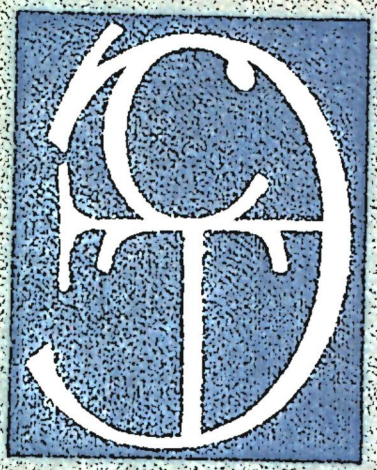


ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

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 · 1964

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ
СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

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

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ

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

3

Погрешность решения— Телеизмерительная система частотная

ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

621(03) [621-52+621.385]
А-224
6П2.15(03)
А22

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ

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

СОТРУДНИКИ РЕДАКЦИИ

Зав. редакцией – к. т. н. Д. М. БЕРКОВИЧ,
ст. научные редакторы – к. т. н. М. Д. БОЧАРОВА, инж. 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 – Ч. А. ЗЕНЦЕЛЬСКАЯ.
Корректорская – М. В. АКИМОВА, Ю. А. ГОРЬКОВ, Л. Н. СОКОЛОВА.

244555
Центральная научная БИБЛИОТЕКА Академии наук Киргизской ССР

П

ПОГРЕШНОСТЬ РЕШЕНИЯ (solution error; erreur de solution; Lösungsfehler) — разность между приближенным решением $\tilde{y}$ математич. задачи и ее точным решением y, т. е. $\delta y = \tilde{y} - y$. В зависимости от задачи y и $\tilde{y}$, а вместе с ними и δy, могут быть числами, векторами, ф-циями и др. В случае, когда y — число, абс. величину $|\delta y|$ наз. абсолютной П. р., а отношение $|\delta y| : |y|$ — относительной П. р. (часто выражаемой в процентах).

Причины возникновения П. р. различны: 1) ошибка приближ. метода, вызванная заменой исходной математич. задачи нек-рой др. задачей (напр., замена дифференц. ур-ния разностным); 2) ошибки округлений, неизбежные во всяком числовом расчете; 3) неточность исходных данных и др. Т. к. точное значение y, как правило, неизвестно, то на практике интересуются оценками П. р. К оценке П. р. можно подходить с двух точек зрения. П. р. рассматривается: а) как обычная перем. величина и выводятся неравенства, ограничивающие ее изменение; б) как случайная величина и определяются параметры ее распределения. Пусть, напр., по точной ф-ле вычисляется значение ф-ции $y = f(x_1, x_2)$. Если ошибки аргументов δx_1 и δx_2 малы, то в соответствии с правилами дифференц. исчисления имеет место приближ. равенство:

$$\delta y = (\partial f/\partial x_1)\,\delta x_1 + (\partial f/\partial x_2)\,\delta x_2.$$

Если известно, что $|\delta x_i| \leqslant \eta_i$, $i = 1,2$, то отсюда следует оценка

$$|\delta y| \leqslant |\partial f/\partial x_1|\,\eta_1 + |\partial f/\partial x_2|\,\eta_2.$$

Иногда, однако, удобнее считать ошибки δx_i независимыми случайными величинами, распредел. по норм. закону, со средними $M(\delta x_i) = 0$ (что означает отсутствие систематич. ошибок) и с дисперсиями $D(\delta x_i) = \sigma_i^2$. Тогда δy также будет норм. случайной величиной с $M(\delta y) = 0$ и

$$D(\delta y) = (\partial f/\partial x_1)^2 \sigma_1^2 + (\partial f/\partial x_2)^2 \sigma_2^2.$$

Величина $\sigma = \sqrt{D\delta y}$ наз. средней квадратич. ошибкой, а $r = 0{,}675\sigma$ — вероятной ошибкой. Границы ошибки определяются т. н. «правилом 3σ»: вероятность неравенства $|\delta y - M(\delta y)| \leqslant 3\sigma$ больше, чем 0,99. Значение r применяют на практике в качестве хар-ки порядка ошибки.

В сложных задачах оценить П. р. с помощью к.-л. теоретич. анализа редко удается (в этом смысле П. р. аналогична погрешности физического эксперимента). Тогда информацию о П. р. получают др. путем: сопоставляют решения, получ. разными методами, считают модельные задачи, для к-рых П. р. легко оценить, и т. п.

Лит.: Крылов А. Н., Лекции о приближенных вычислениях, 5 изд., М.—Л., 1950; Березин И. С., Жидков Н. П., Методы вычислений, т. 1, М., 1959. *И. М. Соболь.*

ПОГРЕШНОСТЬ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ (telemetering error; erreur de télémesure; Fernmessfehler). Для систем ТИ специфично наличие значит. числа соединенных последовательно преобразователей, каждый из к-рых является источником П. т. Существ. причина возникновения П. т.— нестабильность параметров канала связи. Подобно др. измерит. системам, в системах ТИ различают систематические и случайные погрешности (см. *Погрешность измерения*). Характерным источником случайных П. т. являются помехи, или шумы, возникающие как в канале связи, так и в телеизмерит. преобразователях. В системах ТИ с квантованием параметра возникают случайные погрешности, величина к-рых лежит в пределах шага квантования. В погрешность системы ТИ могут также входить динамич. погрешности, обусловленные огранич. быстродействием системы.

Оценивая точность действия системы ТИ, иногда определяют отдельно погрешность телепередачи без погрешности датчика. Такая оценка целесообразна, если в системе ТИ могут использоваться различные датчики с одинаковым диапазоном изменения сигнала на выходе. *В. С. Малов.*

ПОДАВЛЕНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ (self-oscillation elimination; élimination d'auto-oscillations; Selbsterregungs-Unterdrückung) — устранение *автоколебаний* в динамич. системе или уменьшение их амплитуды до допустимой величины. П. а. достигается, как правило, устранением причин, их порождающих; уменьшение постоянной запаздывания, величины гистерезисной петли и люфта ведет обычно к П. а. Если линейная часть нелинейной САР устойчива, то уменьшение коэфф. усиления и загрубление системы за счет увеличения *зоны нечувствительности* в прямой цепи регулирования (главной *обратной связи*) часто способствуют П. а. Однако в этом случае понижается точность регулирования. Если линейная часть неустойчива, то в большинстве случаев зону нечувствительности для П. а. надо уменьшать. Подавить автоколебания также можно соответствующим выбором

времени *сервомотора* и др. динамич. параметров регулятора.

В случае, когда при существующей структуре регулятора выбором его параметров П. а. невозможно, вводят различные корректирующие контуры. Из последоват. корректирующих контуров наибольшее распространение нашли контуры, осуществляющие *воздействия по производным* от регулируемой координаты в *регулирования законе*. Однако в ряде сложных систем чрезмерно большой коэфф. при воздействии по производным, включая случай воздействия лишь по первой производной, может привести к увеличению амплитуды автоколебаний. В качестве параллельных корректирующих контуров чаще всего применяются жесткая, скоростная, изодромная и запаздывающая обратные связи. Кроме того, может применяться спец. обратная связь для компенсации петли и запаздывания в элементах системы. В *релейных системах* при любом виде *релейной характеристики* для П. а. можно применять *линеаризацию вибрационную*. В релейных системах с зоной нечувствительности иногда пользуются прерывистой, или импульсной, стабилизацией.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Цыпкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955.

В. Ю. Рутковский.

ПОДВИЖНОСТИ СТЕПЕНЬ (mobility degree; degré de mobilité; Beweglichkeitsgrad) — показатель качества САР, представляющий собой величину:

$$\delta = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty |Y(j\omega)|^2 \, d\omega, \qquad (1)$$

где $Y(j\omega)$ — частотная хар-ка замкнутой системы. П. с. может быть выражена через импульсную переходную ф-цию $K_y(t)$:

$$\delta = \int_0^\infty [K_y(t)]^2 \, dt. \qquad (2)$$

П. с. имеет физ. смысл: в электромеханич. системах пропорциональна рассеиваемой энергии; при стабилизации траектории плоского движения самолета пропорциональна удлинению траектории по сравнению с траекторией невозмущенного полета при импульсном возмущении на систему. Выражение (1) дает геометрич. смысл: П. с. пропорциональна квадрату площади амплитудной частотной хар-ки системы, приближенно пропорциональна разности длин кривой переходной ф-ции и соответствующего участка оси абсцисс.

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

В. И. Попов.

ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА в полупроводниках (charge carrier mobility; mobilité des porteurs de charge; Ladungsträger-Beweglichkeit) — отношение дрейфовой скорости носителей заряда $V_{др}$ к напряженности электрич. поля

$$\mu = V_{др}/E \ (см^2/в \cdot сек).$$

В отсутствие внешнего электрич. поля носители заряда в ПП движутся хаотически со средней тепловой скоростью, для невырожденного ПП $V_т = \sqrt{8kT/\pi m}$, где: k ($эрг \cdot град^{-1}$) — постоянная Больцмана, T (°K) — абс. темп-ра, $m(г)$ — масса носителя заряда. Электрич. поле обусловливает возникновение скорости дрейфа электронов и дырок.

П. п. з. в ПП определяется выражением $\mu = e\tau/m^*$ и зависит от заряда носителя e ($к$), эффективной массы m^* ($г$) и времени релаксации τ ($сек$), т. е. среднего времени, в течение к-рого носитель заряда движется свободно, не испытывая рассеяния. В идеальном кристалле электрон или *дырка* не испытывали бы рассеяния ($\tau = \infty$). Реальные ПП имеют различного рода нарушения периодичности решетки, к-рые и являются центрами рассеяния (тепловые колебания решетки, атомы примеси, дислокации, вакансии).

Рассеяние на тепловых колебаниях решетки делится на два вида — рассеяние на акустич. и на оптич. фононах. В атомных ПП (элементы IV группы Б) главную роль играют акустич. (продольные) колебания.

Взаимодействие с оптич. фононами имеет место лишь при большой напряженности электрич. поля, когда носители разгоняются до больших энергий (в *германии* при $E = 5 \cdot 10^3$ *в/см*). Это взаимодействие приводит к независимости дрейфовой скорости от напряженности поля.

В сложных ПП доля ионной связи значительно возрастает и поэтому подвижность носителей заряда в *полупроводниковых соединениях* должна быть меньше вследствие влияния оптич. ветви колебаний решетки. Однако в нек-рых соединениях типа AIII BV и AII BVI наблюдается аномально высокая подвижность при комнатных темп-рах. Это объясняется малыми эффективными массами и отсутствием существ. рассеяния на заряж. центрах.

При низких темп-рах, когда рассеяние на тепловых колебаниях решетки мало́, подвижность носителей заряда определяется рассеянием на ионизированных примесях, внедренных в кристаллич.. решетку ПП. Основные примеси — *доноры* и *акцепторы* — имеют малую энергию ионизации. Поэтому, начиная с 50—70° К, рассеяние происходит на ионизированных примесях и носит чисто кулоновский характер. При совсем низких темп-рах, когда примеси еще не ионизированы и тепловые колебания решетки мало сказываются, имеет место рассеяние на нейтральных примесях. Кроме того, влияние на подвижность оказывают структурные дефекты, в частности *дислокации*. Их вклад в рассеяние носителей заряда может быть заметен. Поскольку линейная дислокация в реальном ПП представляет собой экранированную заряженную линию, то рассеяние носит также кулоновский характер.

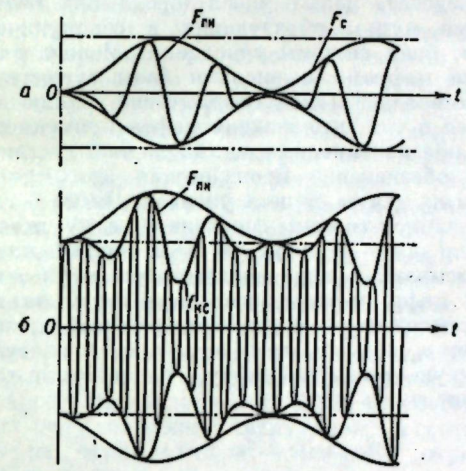
Иногда непосредств. измерение дрейфовой подвижности затруднительно (особенно на ПП соединениях), тогда пользуются холловской подвижностью. При измерении эффекта Холла определяют постоянную Холла R; знание уд. сопротивления ϱ дает возможность вычислить подвижность по Холлу $\mu_x = R/\varrho$.

Лит.: Анселъм А. И., Введение в теорию полупроводников, Л.—М., 1962; Данлэп У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959; Бурштейн Э. и Эглп П., «Пробл. соврем. физ.», 1957, № 8.

Ю. И. Явленский.

ПОДНЕСУЩАЯ ЧАСТОТА (sub-carrier frequency; fréquence de sous-porteuse; Hilfsträgerfrequenz) — вспомогательная частота в одном из методов модуляции, в к-ром основная

несущая частота модулируется неск. вторичными модулированными несущими. Последние наз. «поднесущими» колебаниями. В качестве поднесущих выбираются либо периодич. последовательности импульсов, либо гармонич. колебания. Каждая из поднесущих модулируется сигналом, подлежащим передаче, а затем, в свою очередь, модулирует основную



Формы сигналов при амплитудной модуляции несущей и поднесущей (АМ=АМ): *а* — поднесущая $F_{пн}$ модулирована по амплитуде синусоидальным сигналом $F_с$ с глубиной модуляции 100%; *б* — несущая частота $f_{нс}$ модулирована поднесущей.

несущую частоту (см. рис.). Использование поднесущих позволяет достаточно просто осуществлять многоканальные радиолинии с общим для всей линии ВЧ трактом.

Лит.: Типугин В. Н., Вейцель В. А., Радиоуправление, М., 1962.

И. А. Стрельцов.

ПОДПРОГРАММЫ ВЫДЕЛЕНИЕ (subroutine separation; séparation de sous-programme; Ausgabe der Unterprogramme) — прием *программирования*, заключающийся в том, что при наличии в программе нескольких равносильных между ссбой групп команд одна из этих групп принимается за подпрограмму («выделяется» в качестве подпрограммы), а каждая из остальных групп заменяется т. н. обращением к выделенной подпрограмме. С помощью П. в. в ряде случаев удается уменьшить количество команд в программе при незначит. увеличении машинного времени, потребного для ее выполнения. Возможность и целесообразность П. в. обычно определяют до непосредств. составления программы, еще в процессе разработки логич. схемы программы. Равносильным между собой операторным выражениям, входящим в логич. схему, соответствуют равносильные между собой группы команд программы. Одно из таких выражений принимают за логич. схему выделяемой подпрограммы (и наз. подсхемой), а остальные заменяют операторами обращения к ней. Уменьшение числа команд программы путем П. в. достигается в случае, когда число команд подпрограммы больше числа команд оператора обращения. Только при этом условии П. в. может быть целесообразным. Обычно числа команд подпрограммы и оператора обращения могут быть ориентировочно подсчитаны без составления команд.

Каждый оператор обращения к подпрограмме должен обеспечивать перенос исходных данных в ячейки, откуда подпрограмма их «берет» для вычислений, и формирование команд, позволяющих возвратиться от подпрограммы (после ее выполнения) к той части программы, к-рая расположена после оператора обращения. В ряде случаев оператор обращения должен также предусматривать перенос результатов, получаемых подпрограммой, в ячейки, отведенные для их хранения и дальнейшего использования (напр., путем формирования в подпрограмме соответствующих команд). В системах команд многих машин («Стрела», БЭСМ-2) предусмотрены спец. команды, облегчающие составление операторов обращения (напр., команда условного перехода с одноврем. формированием команды возврата и др.). Для различных ЦВМ технич. выполнение П. в. различно и зависит от особенностей их систем команд.

Следующий упрощенный пример иллюстрирует сущность П. в. Предположим, что требуется составить программу для вычисления таблицы значений ф-ции

$$y = \sin[e^x + \sin(a_0 + a_1 \sin x + a_2 \sin^2 x)]$$

для $x = x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots, x_n$, причем ф-ция $\sin z$ должна вычисляться как сумма

$$\sin z = \frac{z}{1!} - \frac{z^3}{3!} + \ldots + (-1)^{k+1} \frac{z^{2k-1}}{(2k-1)!},$$

где k определяется с таким расчетом, что $(-1)^{(k+1)} \frac{z^{2k-1}}{(2k-1)!}$ является первым слагаемым, абс. величина к-рого не превосходит заданного малого положит. числа ε. Логич. схема программы может иметь вид:

$$\Pi_0 \rfloor \Pi_0^i \, \Pi_1 \lfloor_1 \rfloor_2 A_1 \rfloor_1 A_2 P_1 \lfloor_2 A_3 \Pi_1 \lfloor_3 \rfloor_4 A_1 \rfloor_3 A_2 P_1 \lfloor_4 A_4^i \times$$
$$\times \Pi_1 \lfloor_5 \rfloor_6 A_1 \rfloor_5 A_2 P_1 \lfloor_6 \Pi_2^i F(i) P_2 \lfloor_7 Я. \qquad (1)$$

Здесь Π_0 — начало схемы (т. н. оператор начала); Π_0^i — оператор переноса величины x_i в стандартную ячейку ζ, из к-рой ее берут операторы, вычисляющие величину $\sin x$; $\Pi_1 \lfloor_1 \rfloor_2 A_1 \rfloor_1 A_2 P_1 \lfloor_2$ — операторное выражение, вычисляющее величину $\sin x_i$; A_3 — оператор, вычисляющий $u = a_0 + a_1 \sin x_i + a_2 \sin^2 x_i$ и записывающий результат в ячейку ζ; $\Pi_1 \lfloor_3 \rfloor_4 A_1 \rfloor_3 A_2 P_1 \lfloor_4$ — операторное выражение, вычисляющее величину $v = \sin u$; A_4^i — оператор, вычисляющий величину $w = e^{x_i} + v$ и записывающий ее в ячейку ζ; $\Pi_1 \lfloor_5 \rfloor_6 A_1 \rfloor_5 A_2 P_1 \lfloor_6$ — операторное выражение, вычисляющее величину $t = \sin w$, являющуюся искомым значением y_i ф-ции y; Π_2^i — оператор переноса величины y_i в ячейку, отведенную для ее хранения; $F(i)$ — оператор, увеличивающий на 1 значение параметра i (до выполнения логич. схемы $i = 1$); P_2 — логич. оператор, проверяющий условие $i = n + 1$; $Я$ — оператор останова машины. Операторы, входящие в выражения, вычисляющие значения ф-ции sin, могут быть описаны комплексами (см. *Оператор логической схемы*, *Комплекс*) следующим образом:

оператор Π_1

$$\begin{cases} s := 0 \\ \alpha := 1 \\ \alpha' := 1 \\ \beta := \zeta, \end{cases}$$

оператор A_1

$$\begin{cases} \beta := -\beta \cdot \xi^2 \\ \alpha' := \alpha' + 1 \\ \alpha := \alpha' \cdot \alpha \\ \alpha' := \alpha' + 1 \\ \alpha := \alpha' \cdot \alpha, \end{cases}$$

оператор A_2

$$\begin{cases} \delta := \frac{\beta}{\alpha} \\ S := S + \delta. \end{cases}$$

Логич. оператор P_1 проверяет значение предиката $|\delta| < \varepsilon$.

В логич. схеме (1) операторные выражения

$$\Pi_1 \lfloor_{1\,2} \rfloor A_1 \lfloor_{1} \rfloor A_2 P_1 \lfloor_{2}, \quad \Pi_1 \lfloor_{3\,4} \rfloor A_1 \lfloor_{3} \rfloor A_2 P_2 \lfloor_{4},$$

$$\Pi_1 \lfloor_{5\,6} \rfloor A_1 \lfloor_{5} \rfloor A_2 P_2 \lfloor_{6}$$

между собой равносильны. Поэтому вместо (1) можно построить логич. схему

$$H_0 \lfloor_{7} \rfloor \Pi_0^i (\Pi_1 \lfloor_{1\,2} \rfloor A_1 \lfloor_{1} \rfloor A_2 P_2 \lfloor_{2}) \times$$

$$\times A_3 E A_4^i E \Pi_2^i F(i) P_2 \lfloor_{7} Я, \qquad (2)$$

в к-рой E — оператор обращения к подсхеме, заключ. в круглые скобки.

Составляя программу, соответствующую логич. схеме (2), получают результат П. в., произведенного над программой, соответствующей логич. схеме (1). Выделенной подпрограммой будет группа команд, соответствующая подсхеме $(\Pi_1 \lfloor_{1\,2} \rfloor A_1 \lfloor_{1} \rfloor A_2 P_2 \lfloor_{2})$.

И. А. Кринецкий.

ПОДПРОГРАММЫ СТАНДАРТНЫЕ (standard subroutines; sous-programmes normalisés; standardisierte Unterprogramme) — подпрограммы, составленные т. о., что их применение для решения различных задач на ЦВМ осуществляется по заранее сформулированным правилам, т. е. путем выполнения заранее разработанного алгоритма. Наличие такого алгоритма, к-рый сам может быть представлен в виде программы для ЦВМ, позволяет автоматизировать процесс использования П. с. Характер упомянутого алгоритма зависит от метода использования П. с. Напр., алгоритм может определять процесс объединения П. с. в программы или процесс их включения во вновь составляемые программы (см. *Компиляции метод*). В др. случаях алгоритм определяет процесс вызова П. с. из внешних ЗУ, передачи им управления, а после их выполнения — переход к осн. программе (см. *Интерпретации метод*).

Условия, к-рым должны удовлетворять П. с., и методика их программирования обычно разрабатываются вместе с алгоритмом их использования. *Библиотеку подпрограмм* в совокупности с алгоритмом их использования наз. системой П. с. Система П. с. по мере надобности может расширяться путем составления новых подпрограмм и включения их в библиотеку. Алгоритм использования П. с., как правило, предусматривает определенную их переработку, к-рая должна быть произведена до их выполнения. В связи с этим П. с. могут сильно отличаться от обычных программ (частей программ), применяемых на той ЦВМ, для к-рой создана система П. с. См. также *Библиотечных подпрограмм метод*.

И. А. Кринецкий.

ПОЗИЦИОННАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (positional computation system; système de calcul numérique; Positions-Rechensystem) — система обозначения чисел, в к-рой значение каждой цифры в изображении числа зависит от ее положения (позиции) в последовательности цифр, изображающей число. Системы, не обладающие этим св-вом (напр., римская система, система счисления в остатках), наз. непозиционными.

Опишем в общем виде наиболее распространенный класс П. с. с. Пусть p — нек-рое целое число, большее единицы. Предположим, что задано p попарно различных знаков, наз. p-ичными цифрами, и, кроме того, задано p последоват. целых чисел (среди них содержится нуль), образующих в совокупности т. н. базу системы счисления. Между p-ичными цифрами и числами базы существует взаимнооднозначное соответствие, заключающееся в том, что каждая цифра применяется как обозначение определ. числа базы, а также как обозначение произведения этого числа базы на целую степень числа p. Число p наз. основанием системы счисления, а саму систему счисления — p-ичной. В этой системе число записывают в виде последовательности p-ичных цифр, к-рая разделена запятой на две подпоследовательности. Если каждый из символов $a_n, a_{n-1}, \ldots a_1, a_0, a_{-1}, \ldots, a_{-m}$ означает нек-рую p-ичную цифру, то запись числа может иметь вид:

$$a_n a_{n-1} \ldots a_1 a_0, \; a_{-1} \ldots a_{-m}. \qquad (1)$$

Позиции цифр в последовательности (1) можно перенумеровать следующим образом: позиции левее запятой — подряд справа налево с помощью чисел нуль, один, два и т. д.; позиции правее запятой — подряд слева направо с помощью чисел минус один, минус два и т. д. Эти перенумеров. позиции наз. p-ичными разрядами числа. Из двух разрядов старшим считается тот, к-рый расположен левее.

В p-ичной П. с. с. каждой цифре последовательности (1) приписано определ. значение. Цифра, стоящая в нулевом разряде, имеет своим значением соответствующее ей число базы. Цифра, стоящая в первом разряде, имеет значение в p раз большее того значения, к-рое эта же цифра имела бы в нулевом разряде. Вообще, цифра, стоящая в i-том разряде, имеет значение в p раз больше того, к-рое она имела бы в разряде с номером, меньшим на единицу (или значение в p раз меньшее того, к-рое она имела бы в разряде с номером, большим на единицу).

Последовательность p-ичных цифр (1) обозначает число, равное сумме значений ее цифр:

$$a_n a_{n-1} \ldots a_1 a_0, \; a_{-1} \ldots a_{-m} = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \ldots + a_1 p + a_0 + a_{-1} p^{-1} + \ldots + a_{-m} p^{-m}. \qquad (2)$$

Обычно, если это не вызывает недоразумений, вместо слов «запись числа» говорят просто «число». Подпоследовательность цифр числа, расположенная слева от запятой, наз. целой частью числа. Последовательность, к-рая получится из записи числа, если целую часть заменить цифрой, соответствующей нулю, наз. дробной частью числа. В частном случае дробная часть числа может не содержать ни одной цифры. В этом случае запятую опускают и запись числа состоит из одной только его целой части, причем последняя должна иметь не менее одной цифры.

Из ф-лы (2) видно, что число p в p-ичной П. с.с., база к-рой содержит число один, представляется в виде последовательности, состоящей из двух цифр — единицы в старшем и нуля в младшем разрядах. Если цифра, соответствующая единице, имеет вид «1», а цифра, соответствующая нулю,— вид «0», то число p имеет запись «10».

В тех П. с. с., базы к-рых не содержат отрицат. или положит. чисел, для того, чтобы иметь возможность записывать как положительные, так и отрицат. числа, кроме цифр, используется еще дополнит. символ, наз. знаком (обычно «—», минус). Этот знак в П. с. с., база к-рой не содержит отрицат. чисел, применяют при записи отрицат. чисел, а в П. с. с., база к-рой не содержит положит. чисел,— при обозначении положит. чисел. Его ставят обычно перед целой частью числа. Иногда для обозначения отсутствия знака вводят еще второй знак (напр., «+», плюс). Этот второй знак не является обязательным (его можно ставить, но можно и не ставить перед целой частью числа). В П. с. с., базы к-рых содержат и положительные, и отрицат. числа, знак минус не нужен. Здесь старшая цифра положит. числа соответствует нек-рому положит. числу базы, а старшая цифра отрицат. числа — нек-рому отрицат. числу базы.

В наст. время практич. значение имеют П. с. с. с неотрицат. базами (т. е. с базами, в к-рых наименьшее число — нуль) и П. с. с. с симметричными базами (с базами, к-рые вместе с каждым числом x_1 содержат число x_2, не равное числу x_1, но имеющее одинаковую с ним абс. величину). Основание любой П. с. с. с симметричной базой — нечетно. П. с. с. с неотрицат. базой является десятичная система, использующая десять цифр 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. База этой системы состоит из десяти последоват. целых чисел, начиная с нуля и кончая девятью.

Во многих программно-управляемых ЦВМ числа изображаются с помощью двоичной П. с. с. с неотрицат. базой, использующей цифры 0 и 1. При кодировании программы для таких машин могут применяться четверичная, восьмеричная и шестнадцатиричная П. с. с. с неотрицат. базами. В этих П. с. с. для изображения отрицат. чисел пользуются знаком «—» (минус). Из П. с. с. с симметричными базами в наст. время в нек-рых программно-управляемых машинах применяется троичная система счисления с цифрами $\bar{1}$ (соответствует числу минус один), 0 и 1. При кодировании для таких машин может применяться девятиричная система счисления с симметричной базой, использующая цифры $\bar{4}$, $\bar{3}$, $\bar{2}$, $\bar{1}$, 0, 1, 2, 3, 4.

В П. с. с. с базами, содержащими как положительные, так и отрицат. числа, записи нек-рых правильных дробей имеют целую часть, отличную от нуля. Напр., в троичной П. с. с. с симметричной базой дробь $^2/_3$ записывается как $1{,}\bar{1}$. Осн. арифметич. действия над числами в p-ичной П. с. с. с неотрицат. базой выполняются по тем же правилам, что и в десятичной системе счисления, с той лишь разницей, что при их выполнении используются не десятичные, а p-ичные таблицы сложения, вычитания и умножения.

Ниже даны правила сложения и вычитания, справедливые для любой П. с. с., база к-рой содержит число один. Примем, что числам нуль и один соответствуют цифры 0 и 1. Пусть даны числа a и b, имеющие в целых частях по $n+1$ и в дробных частях по m цифр,

$$a = a_n a_{n-1} \ldots a_1 a_0, \; a_{-1} \ldots a_{-m},$$

$$b = b_n b_{n-1} \ldots b_1 b_0, \; b_{-1} \ldots b_{-m}.$$

Заметим, что количество цифр в целых частях любых двух чисел, если это требуется, можно уравнять, приписывая слева к одному из них нек-рое количество нулей. Количества цифр в дробных частях двух чисел, если это требуется, можно уравнять, приписывая справа к одному из них нек-рое количество нулей.

С л о ж е н и е. Полагаем $z_{-m} = 0$. Затем последовательно для $i = -m, -m+1, \ldots, 0, 1, \ldots, n$ вычисляем $s_i = a_i + b_i + z_i$. Если s_i — одноразрядное число, то полагаем $c_i = s_i$; $z_{i+1} = 0$. В противном случае $c_i = s_i - 10$; $z_{i+1} = 1$ (здесь «10» — запись числа p). Если оказывается, что $z_{n+1} = 0$, то процесс окончен. В противном случае еще полагаем $c_{n+1} = 1$. Располагая цифры c_i в порядке убывания их номеров и помещая после c_0 запятую, получим запись искомой суммы чисел a и b.

В ы ч и т а н и е. Полагаем $z_{-m} = 0$. Последовательно для $i = -m, -m+1, \ldots, 0, 1, \ldots, n$ вычисляем $r_i = (10 + a_i) - (b_i + z_i)$. Если r_i является одноразрядным числом, то полагаем $c_i = r_i$, $z_{i+1} = 1$. В противном случае полагаем $c_i = r_i - 10$; $z_{i+1} = 0$. Если оказывается, что $z_{n+1} = 0$, то процесс окончен. В противном случае еще полагаем $c_{n+1} = 0 - z_{n+1}$.

В П. с. с. с неотрицат. базой приведенное правило вычитания можно применить только если $a \geqslant b$. Располагая цифры c_i в порядке убывания их номеров и помещая запятую после c_0, получим искомую разность чисел a и b. Совокупность действий, позволяющих по заданной записи числа в одной П. с. с. получить запись того же числа в другой П. с. с., наз. переводом чисел.

И. А. Кринецкий.

ПОИСК АВТОМАТИЧЕСКИЙ (automatic search; recherche automatique; selbsttätige Suche) — процесс в замкнутой системе автоматич. управления, при к-ром управляющее устройство производит пробные управляющие воздействия, анализирует результаты и на их основе определяет управляющие воздействия, приводящие управляемый объект к требуемому режиму. При П. а. заранее не известен полностью вид требуемой зависимости управляющих воздействий от управляемой и задающей величин, тогда как при автоматич. регулировании информация о состоянии системы в данный момент времени достаточна для определения необходимых управляющих воздействий.

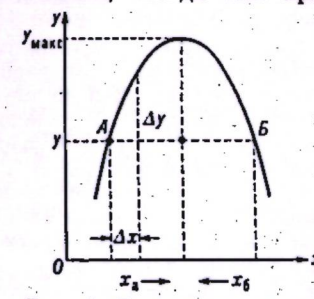


Рис. 1. Статическая хар-ка объекта.

Простейший пример П. а.— выработка управляющего воздействия, при к-ром достигаются макс. значения выходной величины управляемого объекта $y_{макс}$, зависящей от одной входной величины x (рис. 1). По значению y в одной точке статич. хар-ки объекта нельзя определить направление изменения x,

соответствующее желаемому направлению изменения y. В том случае, когда состоянию системы соответствует левая ветвь статич. хар-ки объекта (точка A), величину x следует увеличивать, а если соответствует точка на правой ветви хар-ки (B), то x следует уменьшать. Пусть состоянию системы соответствует точка A. Для нахождения правильного направления движения УУ должно сначала автоматически измерить и запомнить величину y при $x = x_1$, изменить x на Δx и затем снова измерить значение y при новом значении x. После этого, сопоставляя новое и старое значения y, руководствуясь результатом сравнения, система вырабатывает рабочее воздействие, изменяющее состояние управляемого объекта в желаемом направлении. П. а. особенно важен в управляющих объектах со сложными или меняющимися непредвид. образом в широких пределах хар-ками. В таких системах иногда может быть задан только признак, позволяющий производить отбор значений совокупности величин x.

Методы П. а. можно разделить на две осн. группы:

а) **Слепой поиск** — в качестве примера рассмотрим автоматич. минимизацию ф-ции $Q = Q(x_1, \ldots, x_n)$ неск. переменных $x_1, \ldots, x_n$. В данном случае слепой поиск заключается в просматривании точек допустимой области изменения x_i одной за другой в определ. порядке (сканированием) или путем случайного поиска, когда отдельные точки области задаются случайно. В каждом из этих случаев отбираются такие точки области, где Q принимает меньшее значение. Достоинство этого способа в том, что он не связан с к.-л. ограничениями, накладываемыми на вид ф-ции Q. Недостаток — длительность поиска, резко возрастающая с увеличением числа переменных.

б) **Поиск с анализом промежуточных результатов** — весь процесс П. а. разделяется на ряд циклов, причем результаты каждого цикла автоматически анализируются перед началом следующего. К методам такого типа относится поиск по методу Гаусса — Зейделя (см ниже). Разновидность данного метода, при к-рой сначала выясняется, какое из x_i сильнее влияет, а затем производится изменение этого x_i, наз. релаксац. методом. К этой группе относится поиск по методу градиента (см. *Поиск итерациями*). При применении метода наискорейшего спуска (см. *Поиск итерациями*) производится ряд шагов по прямолинейному лучу в пространстве x_j, противоположному направлению градиента в отправной точке. Перемещение производится до точки, в к-рой Q достигает минимума. В этой точке вновь определяют градиент и т. д. Существуют многочисл. разновидности методов П. а. [1, 4].

Существенные затруднения возникают при минимизации сложных ф-ций в виде «гребней» или «оврагов». Такие ф-ции могут быть минимизированы по способу, рассмотренному в [5]. В последнее время возникли методы поиска, при к-рых направление движения к минимуму определяется по каждой из переменных одновременно. С этой целью пробные воздействия по всем каналам делают неодинаковыми между собой как по частоте, так и по фазе и амплитуде. Такой метод при большом числе переменных позволяет существенно сократить время поиска [6]. Рассмотренные методы поиска группы б) пригодны лишь при наличии у минимизируемой ф-ции в заданной области ее изменения одного минимума. Однако существуют и методы поиска, пригодные для более сложных случаев, когда ф-ция имеет неск. минимумов,— см. *Оптимизатор глобальный*.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., О применении вычислительных устройств в автоматических системах «АиТ», 1956, т. 17, № 11; 2) его же, Основные направления разработки вычислительных устройств для автоматических систем, в кн.: Тр. Сессии АН СССР по научным проблемам автоматизации производства, 15—20 октября 1956, [т. 2], М., 1957; 3) Терминология основных понятий автоматики, в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 3], М., 1961, с. 642—77; 4) Стаховский Р. И., Многоканальный автоматический оптимизатор для решения вариационных задач, «АиТ», 1959, т. 20, № 11; 5) Гельфанд И. М., Цетлин М. Л., О некоторых способах управления сложными системами, «УМН», 1962, т. 27, вып. 1(103); 6) Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация сложных систем пространственного распределения, «АиТ», 1964, т. 24, № 5.

Л. Н. Фицнер.

Поиск автоматический по методу Гаусса — Зейделя — отличается тем, что поочередно находятся частные экстремумы по каждой из переменных. Рассмотрим задачу о нахождении минимума ф-ции двух переменных $Q(x_1, x_2)$. Область допустимых изменений x_1 и x_2 изображена на рис. 2 в виде прямоугольника; в общем случае она может иметь и иной вид. Процесс поиска разбивается на циклы, результаты каждого цикла автоматически анализируются перед началом следующего. На рис. 2 в первом цикле производится изменение только величины x_1. Величина x_2 поддерживается неизменной. Движение происходит из точки M_0 в точку M_1 по прямой, параллельной оси абсцисс. Пусть величина x_1 изменяется на небольшую величину Δx_1. Если при этом приращение ф-ции $\Delta Q = Q(x_1 + \Delta x_1) - Q(x_1)$ не меняет знак, то производится следующее изменение величины x_1 и т. д. Как только ΔQ изменит знак, что свидетельствует о прохождении точки частного минимума (точка M_1), изменение величины x_1 прекращается и начинается изменение величины x_2. Движение теперь идет параллельно оси ординат до точки M_2, где наблюдается очередной частный минимум ф-ции Q по x_2. В следующем цикле снова изменяется x_1 и т. д., до тех пор, пока не будет достигнут минимум по обеим переменным. При этом методе поиска пробный шаг объединен с рабочим шагом.

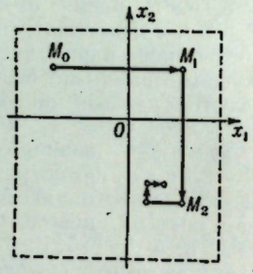


Рис. 2.

Данный метод был предложен Гауссом и дополнен Зейделем для решения систем линейных алгебраич. ур-ний. В случае итерации по методу Гаусса — Зейделя при вычислении $(m+1)$-го приближения для y_{j+1} корня ур-ния учитываются уже ранее найденные $(m+1)$ приближения для корней $y_1, y_2, \ldots, y_j$. Характер поиска методом Гаусса — Зейделя существенно зависит от расположения поверхности, на к-рой находится предполагаемая точка экстремума относительно осей координат. Так, при нахождении экстремума ф-ции $Q = \frac{x_1^2}{a^2} + \frac{x_2^2}{b^2}$ в случае совпадения осей симметрии эллиптич. параболоида с направлением осей, по к-рым производится поиск, система после нахождения лишь одного частного экстремума (M_1) движется к искомой точке 0 (рис. 3, *а*). Если

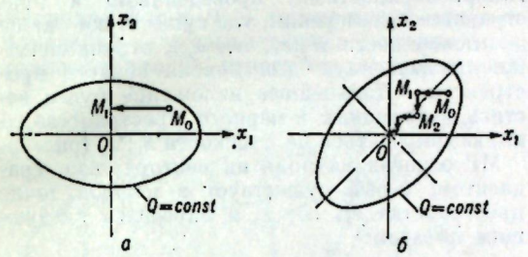


Рис. 3.

же оси симметрии эллиптич. параболоида повернуты относительно осей поиска, процесс поиска существенно удлиняется (рис. 3, *б*). Система из точки M_0 проходит последовательно через точки частных экстремумов M_1, M_2, ... пока не попадет в искомую точку 0. Точность нахождения экстремума зависит от величины шага. В конце поиска возможны колебания около точки, лежащей на значит. удалении от экстремума [4]. Для избежания этого применяют способ, состоящий в чередовании направлений первого шага в повторных циклах [4]. Если в 1-м цикле поиска первый шаг по переменной x_1 делается в положит. направлении, то во 2-м цикле его следует делать по той же переменной x_1 в отрицат. направлении, в 3-м — вновь в положительном и т. д. Подобное же чередование знаков следует вести и для переменной x_2. При таком способе поиска изображающая точка системы не уйдет далеко от минимума 0. Описанный способ применим при любом числе переменных. По ряду осн. показателей (время процесса поиска, точность нахождения экстремума) метод Гаусса — Зейделя, как правило, не является наилучшим. Его гл. достоинство — относит. простота построения аппаратуры. При автоматизации процесса поиска могут быть использованы *оптимизаторы* автоматические одноканальные [5] с коммутатором для последоват. переключения переменных (рис. 4). Если заранее известен примерный вид ф-ции и расположение ее линий равного уровня относительно осей координат, то время П. а. методом Гаусса — Зейделя можно значительно сократить введением преобразователя координат, изменяющего направление осей поиска. П. а. по методу Гаусса — Зейделя удобно использовать в системах, включающих сложные механические устройства с значит. моментами инерции, с люфтами и сухим трением.

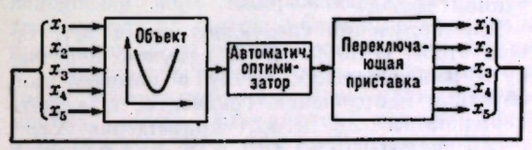


Рис. 4.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 2) Кобринский Н. Е., Математические машины непрерывного действия, М., 1954; 3) Стаховский Р. И., О сравнении некоторых методов поиска для автоматического оптимизатора, в кн.: (Конференция по теории и применению дискретных автоматических систем, М., 1958; 4) Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения. I, «АиТ», 1961, т. 22, № 1, с. 67; 5) Фицнер Л. Н. и Торгашин А. В., Автоматический оптимизатор 1А01—2, М., 1960 (Передовой научно-технич. и произв. опыт. Тема 27, № А—60—23/6).

Э. Е. Гачинский.

ПОИСК ИТЕРАЦИЯМИ (iterative search; recherche itérative; Iterations-Suchbetrieb) — метод решения задач поиска экстремума ф-ции нескольких переменных путем последоват. приближений. Пусть имеется ф-ция неск. переменных $Q(x_1, \ldots, x_n)$, аналитич. вид к-рой неизвестен или достаточно сложен; однако величина Q при любом сочетании параметров $x_1, \ldots, x_n$ может быть измерена. Пусть известно, что Q имеет лишь одну точку экстремума (напр., минимума). Необходимо найти такое сочетание параметров $\overset{*}{x}_1, \ldots, \overset{*}{x}_n$, при к-ром

$$Q(\overset{*}{x}_1, \ldots, \overset{*}{x}_n) = \min. \qquad (1)$$

В более общей постановке требуется решить эту задачу при нек-рых дополнит. условиях, напр.:

$$H_j(\overset{*}{x}_1, \ldots, \overset{*}{x}_n) \leqslant 0 \quad (j = 1, \ldots, m). \qquad (2)$$

П. и. включает последовательность действий. Пусть сначала, после задания произвольной нач. комбинации $x_{10}, \ldots, x_{n0}$, измеряется значение $Q(x_{10}, \ldots, x_{n0})$. Затем производится обследование малой окрестности точки $x_{10}, \ldots, x_{n0}$, т. е. измеряются значения Q при $x_{10} + \delta x_1, \ldots, x_{n0} + \delta x_n$, где $\delta x_1, \ldots, \delta x_n$ — малые величины, могущие, вообще говоря, быть произвольного знака. Обследование состоит из серии измерений, каждое из к-рых производится при фиксиров. комбинации $\delta x_1, \ldots, \delta x_n$. Далее анализируются результаты обследования и вычисляются координаты $x_{10} + \Delta x_1, \ldots, x_{n0} + \Delta x_n$ новой точки, в к-рой величина Q должна быть меньше, чем в нач. точке $x_{10}, \ldots, x_{n0}$. После измерения действит. значения $Q(x_{10} + \Delta x_1, \ldots, x_{n0} + \Delta x_n)$ и его сравнения с $Q(x_{10}, \ldots, x_{n0})$ либо вычисляются новые величины Δx_i, либо обследуются окрестности точки $x_{10} + \Delta x_1, \ldots, x_{n0} + \Delta x_n$ с помощью новых пробных приращений δx_i ($i = 1, 2, \ldots, n$). Выбор того или иного конкретного итеративного метода определяется избранным порядком осуществления приращений δx_i и Δx_i.

В качестве примера П. и. определим точки минимума однозначной непрерывной и дифференцируемой ф-ции $Q(x)$ одного переменного с одним минимумом, для к-рой известно значение производной $\partial Q/\partial x$ в ф-ции x. Нахождение точки экстремума в данном случае можно заменить определением корня выражения $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_0)$, для чего применим метод Ньютона.

Зададимся произвольной нач. точкой x_0 (рис. 1) и вычислим $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_0)$. Проведем прямую через точку $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_0)$ с угловым коэфф. $\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}(x_0)$ и продолжим ее до пересечения с осью x в точке x_1. Вычислив значение $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_1)$, проводим касательную через точку с координ-

соответствующее желаемому направлению изменения y. В том случае, когда состоянию системы соответствует левая ветвь статич. хар-ки объекта (точка A), величину x следует увеличивать, а если соответствует точка на правой ветви хар-ки (B), то x следует уменьшать. Пусть состоянию системы соответствует точка A. Для нахождения правильного направления движения УУ должно сначала автоматически измерить и запомнить величину y при $x = x_0$, изменить x на Δx и затем снова измерить значение y при новом значении x. После этого, сопоставляя новое и старое значения y, руководствуясь результатом сравнения, система вырабатывает рабочее воздействие, изменяющее состояние управляемого объекта в желаемом направлении. П. а. особенно важен в управляющих объектах со сложными или меняющимися непредвид. образом в широких пределах хар-ками. В таких системах иногда может быть задан только признак, позволяющий производить отбор значений совокупности величин x.

Методы П. а. можно разделить на две осн. группы:

а) **Слепой поиск** — в качестве примера рассмотрим автоматич. минимизацию ф-ции $Q = Q(x_1, \ldots, x_n)$ неск. переменных $x_1, \ldots, x_n$. В данном случае слепой поиск заключается в просматривании точек допустимой области изменения x_i одной за другой в определ. порядке (сканированием) или путем случайного поиска, когда отдельные точки области задаются случайно. В каждом из этих случаев отбираются такие точки области, где Q принимает меньшее значение. Достоинство этого способа в том, что он не связан с к.-л. ограничениями, накладываемыми на вид ф-ции Q. Недостаток — длительность поиска, резко возрастающая с увеличением числа переменных.

б) **Поиск с анализом промежуточных результатов** — весь процесс П. а. разделяется на ряд циклов, причем результаты каждого цикла автоматически анализируются перед началом следующего. К методам такого типа относится поиск по методу Гаусса — Зейделя (см ниже). Разновидность данного метода, при к-рой сначала выясняется, какое из x_i сильнее влияет, а затем производится изменение этого x_i, наз. релаксац. методом. К этой группе относится поиск по методу градиента (см. *Поиск итерациями*). При применении метода наискорейшего спуска (см. *Поиск итерациями*) производится ряд шагов по прямолинейному лучу в пространстве x_i, противоположному направлению градиента в отправной точке. Перемещение производится до точки, в к-рой Q достигает минимума. В этой точке вновь определяют градиент и т. д. Существуют многочисл. разновидности методов П. а. [1, 4].

Существенные затруднения возникают при минимизации сложных ф-ций в виде «гребней» или «оврагов». Такие ф-ции могут быть минимизированы по способу, рассмотренному в [5]. В последнее время возникли методы поиска, при к-рых направление движения к минимуму определяется по каждой из переменных одновременно. С этой целью пробные воздействия по всем каналам делают неодинаковыми между собой как по частоте, так и по фазе и амплитуде. Такой метод при большом числе переменных позволяет существенно сократить время поиска [6]. Рассмотренные методы поиска группы б) пригодны лишь при наличии у минимизируемой ф-ции в заданной области ее изменения одного минимума. Однако существуют и методы поиска, пригодные для более сложных случаев, когда ф-ция имеет неск. минимумов,— см. *Оптимизатор глобальный*.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., О применении вычислительных устройств в автоматических системах «АиТ», 1956, т. 17, № 11; 2) его же, Основные направления разработки вычислительных устройств для автоматических систем, в кн.: Тр. Сессии АН СССР по научным проблемам автоматизации производства, 15—20 октября 1956, [т. 2], М., 1957; 3) Терминология основных понятий автоматики, в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 3], М., 1961, с. 642—77; 4) Стаховский Р. И., Многоканальный автоматический оптимизатор для решения вариационных задач, «АиТ», 1959, т. 20, № 11; 5) Гельфанд И. М., Цетлин М. Л., О некоторых способах управления сложными системами, «УМН», 1962, т. 27, вып. 1(103); 6) Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация сложных систем пространственного распределения, «АиТ», 1964, т. 24, № 5.

Л. И. Фицнер.

Поиск автоматический по методу Гаусса — Зейделя — отличается тем, что поочередно находятся частные экстремумы по каждой из переменных. Рассмотрим задачу о нахождении минимума ф-ции двух переменных $Q(x_1, x_2)$. Область допустимых изменений x_1 и x_2 изображена на рис. 2 в виде прямоугольника; в общем случае она может иметь и иной вид. Процесс поиска разбивается на циклы, результаты каждого цикла автоматически анализируются перед началом следующего. На рис. 2 в первом цикле производится изменение только величины x_1. Величина x_2 поддерживается неизменной. Движение происходит из точки M_0 в точку M_1 по прямой, параллельной оси абсцисс. Пусть величина x_1 изменяется на небольшую величину Δx_1. Если при этом приращение ф-ции $\Delta Q = Q(x_1 + \Delta x_1) - Q(x_1)$ не меняет знак, то производится следующее изменение величины x_1 и т. д. Как только ΔQ изменит знак, что свидетельствует о прохождении точки частного минимума (точка M_1), изменение величины x_1 прекращается и начинается изменение величины x_2. Движение теперь идет параллельно оси ординат до точки M_2, где наблюдается очередной частный минимум ф-ции Q по x_2. В следующем цикле снова изменяется x_1 и т. д., до тех пор, пока не будет достигнут минимум по обеим переменным. При этом методе поиска пробный шаг объединен с рабочим шагом.

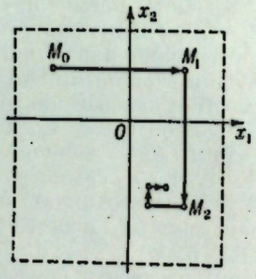


Рис. 2.

Данный метод был предложен Гауссом и дополнен Зейделем для решения систем линейных алгебраич. ур-ний. В случае итерации по методу Гаусса — Зейделя при вычислении $(m+1)$-го приближения для y_{j+1} корня ур-ния учитываются уже ранее найденные $(m+1)$ приближения для корней $y_1, y_2, \ldots, y_j$. Характер поиска методом Гаусса — Зейделя существенно зависит от расположения поверхности, на к-рой находится предполагаемая точка экстремума относительно осей координат. Так, при нахождении экстремума ф-ции $Q = \frac{x_1^2}{a^2} + \frac{x_2^2}{b^2}$ в случае совпадения осей симметрии эллиптич. параболоида с направлением осей, по к-рым производится поиск, система после нахождения лишь одного частного экстремума (M_1) движется к искомой точке 0 (рис. 3, *а*). Если

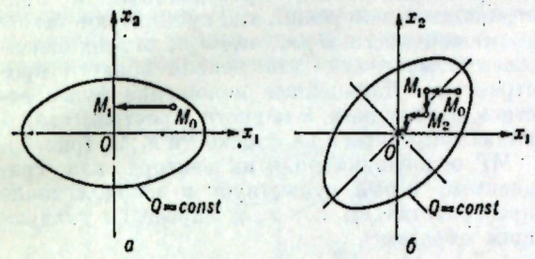


Рис. 3.

же оси симметрии эллиптич. параболоида повернуты относительно осей поиска, процесс поиска существенно удлиняется (рис. 3, *б*). Система из точки M_0 проходит последовательно через точки частных экстремумов M_1, M_2, ... пока не попадет в искомую точку 0. Точность нахождения экстремума зависит от величины шага. В конце поиска возможны колебания около точки, лежащей на значит. удалении от экстремума [4]. Для избежания этого применяют способ, состоящий в чередовании направлений первого шага в повторных циклах [4]. Если в 1-м цикле поиска первый шаг по переменной x_1 делается в положит. направлении, то во 2-м цикле его следует делать по той же переменной x_1 в отрицат. направлении, в 3-м — вновь в положительном и т. д. Подобное же чередование знаков следует вести и для переменной x_2. При таком способе поиска изображающая точка системы не уйдет далеко от минимума 0. Описанный способ применим при любом числе переменных. По ряду осн. показателей (время процесса поиска, точность нахождения экстремума) метод Гаусса — Зейделя, как правило, не является наилучшим. Его гл. достоинство — относит. простота построения аппаратуры. При автоматизации процесса поиска могут быть использованы *оптимизаторы* автоматические одноканальные [5] с коммутатором для последоват. переключения переменных (рис. 4). Если заранее известен примерный вид ф-ции и расположение ее линий равного уровня относительно осей координат, то время П. а. методом Гаусса — Зейделя можно значительно сократить введением преобразователя координат, изменяющего направление осей поиска. П. а. по методу Гаусса — Зейделя удобно использовать в системах, включающих сложные механические устройства с значит. моментами инерции, с люфтами и сухим трением.

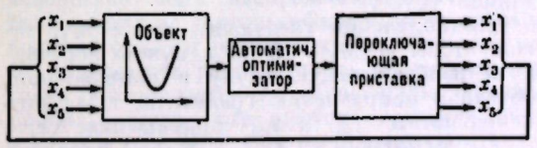


Рис. 4.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 2) Кобринский Н. Е., Математические машины непрерывного действия, М., 1954; 3) Стаховский Р. И., О сравнении некоторых методов поиска для автоматического оптимизатора, в кн.: (Конференция по теории и применению дискретных автоматических систем, М., 1958; 4) Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения. I, «АиТ», 1961, т. 22, № 1, с. 67; 5) Фицнер Л. Н. и Торгашин А. В., Автоматический оптимизатор 1А01—2, М., 1960 (Передовой научно-технич. и произв. опыт. Тема 27, № А—60—23/6).

Э. Е. Гачинский.

ПОИСК ИТЕРАЦИЯМИ (iterative search; recherche itérative; Iterations-Suchbetrieb) — метод решения задач поиска экстремума ф-ции нескольких переменных путем последоват. приближений. Пусть имеется ф-ция неск. переменных $Q(x_1, \ldots, x_n)$, аналитич. вид к-рой неизвестен или достаточно сложен; однако величина Q при любом сочетании параметров $x_1, \ldots, x_n$ может быть измерена. Пусть известно, что Q имеет лишь одну точку экстремума (напр., минимума). Необходимо найти такое сочетание параметров $\overset{*}{x}_1, \ldots, \overset{*}{x}_n$, при к-ром

$$Q(\overset{*}{x}_1, \ldots, \overset{*}{x}_n) = \min. \qquad (1)$$

В более общей постановке требуется решить эту задачу при нек-рых дополнит. условиях, напр.:

$$H_j(\overset{*}{x}_1, \ldots, \overset{*}{x}_n) \leqslant 0 \quad (j = 1, \ldots, m). \qquad (2)$$

П. и. включает последовательность действий. Пусть сначала, после задания произвольной нач. комбинации $x_{10}, \ldots, x_{n0}$, измеряется значение $Q(x_{10}, \ldots, x_{n0})$. Затем производится обследование малой окрестности точки $x_{10}, \ldots, x_{n0}$, т. е. измеряются значения Q при $x_{10} + \delta x_1, \ldots, x_{n0} + \delta x_n$, где $\delta x_1, \ldots, \delta x_n$ — малые величины, могущие, вообще говоря, быть произвольного знака. Обследование состоит из серии измерений, каждое из к-рых производится при фиксиров. комбинации $\delta x_1, \ldots, \delta x_n$. Далее анализируются результаты обследования и вычисляются координаты $x_{10} + \Delta x_1, \ldots, x_{n0} + \Delta x_n$ новой точки, в к-рой величина Q должна быть меньше, чем в нач. точке $x_{10}, \ldots, x_{n0}$. После измерения действит. значения $Q(x_{10} + \Delta x_1, \ldots, x_{n0} + \Delta x_n)$ и его сравнения с $Q(x_{10}, \ldots, x_{n0})$ либо вычисляются новые величины Δx_i, либо обследуются окрестности точки $x_{10} + \Delta x_1, \ldots, x_{n0} + \Delta x_n$ с помощью новых пробных приращений δx_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$. Выбор того или иного конкретного итеративного метода определяется избранным порядком осуществления приращений δx_i и Δx_i.

В качестве примера П. и. определим точки минимума однозначной непрерывной и дифференцируемой ф-ции $Q(x)$ одного переменного с одним минимумом, для к-рой известно значение производной $\partial Q/\partial x$ в ф-ции x. Нахождение точки экстремума в данном случае можно заменить определением корня выражения $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_0)$, для чего применим метод Ньютона.

Зададимся произвольной нач. точкой x_0 (рис. 1) и вычислим $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_0)$. Проведем прямую через точку $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_0)$ с угловым коэфф. $\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}(x_0)$ и продолжим ее до пересечения с осью x в точке x_1. Вычислив значение $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_1)$, проводим касательную через точку с координ-

патами x_1, $\frac{\partial Q}{\partial x}(x_1)$ до пересечения с осью x в точке x_2 и т. д. Метод дает последовательность $x_0, x_1, x_2, \ldots$, к-рая сходится к значению $\overset{*}{x}$, такому, что $\frac{\partial Q}{\partial x}(\overset{*}{x}) = 0$. Из рис. 1 видно, что процедура является сходящейся при $x_0 \gtrless \overset{*}{x}$ на интервале, где $\operatorname{sign}\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = \text{const}$.

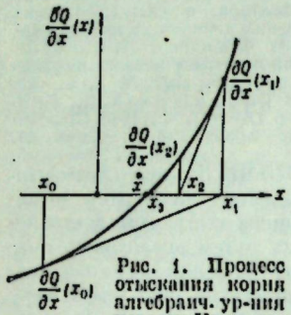


Рис. 1. Процесс отыскания корня алгебраич. ур-ния методом Ньютона.

При увеличении числа переменных используют методы градиента и наискорейшего спуска.

Поиск по методу градиента (МГ) — вариант П. и., при к-ром результатом обследования являются величины

$$\Delta Q_{x_l} = Q(x_{10}, \ldots, x_{l0} + \delta x_l, \ldots, x_{n0}) - Q(x_{10}, \ldots, x_{n0}) \cong \frac{\partial Q}{\partial x_l}\delta x_l,$$

а величины рабочих шагов даются ур-ниями

$$\Delta x_l = \pm a \Delta Q_{x_l} \cong \pm a \frac{\partial Q}{\partial x_l}\delta x_l,$$

где a — положит. величина; знак плюс берется при поиске максимума, а минус — при поиске минимума (считаем, что $\delta x_l > 0$).

Траектория МГ имеет пространств. интерпретацию (рис. 2). Здесь показана плоскость аргументов x_1, x_2 ф-ции Q для случая $n = 2$. На плоскости нанесены линии равного значения Q, т. е. $Q(x_1, x_2) = \text{const}$. Линии уровня замкнуты и не пересекаются друг с другом в силу однозначности ф-ции Q. При $Q = Q_{\min}$ линия пост. уровня стягивается в точку. Задача определения точки минимума заключается в том, чтобы, отправляясь от произвольной точки плоскости x_1, x_2 и не зная предварительно конкретного вида кривых $Q = \text{const}$, достичь точки $Q(\overset{*}{x}_1, \overset{*}{x}_2) = Q_{\min}$. Если существуют дополнит. ограничения $H_j(x_1, x_2) \leqslant 0$ $(j = 1, \ldots, m)$, то на плоскости x_1, x_2 можно провести линии $H_j(x_1, x_2) = 0$, причем в части плоскости x_1, x_2, где $H_j > 0$, поиск запрещен (на рис. показано штриховкой). Ф-ции H_j, так же как и Q, могут быть измерены при любых значениях x_1, x_2. Наличие ограничений означает, что точка, где Q является наименьшим, может находиться лишь в допустимой области $H_j \leqslant 0$ либо на кривой $H_j = 0$ — в частном случае, в точке пересечения неск. кривых $H_j = 0$ (см. рис. 2).

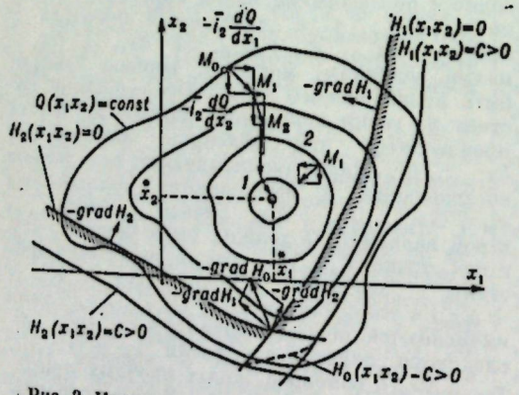


Рис. 2. Процесс поиска: *1* — по методу градиента; *2* — по методу наискорейшего спуска.

Все сказанное выше легко обобщается на случай $n > 2$. В этом случае кривые равного значения $Q(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \text{const}$ становятся гиперповерхностями, проведенными в пространстве n измерений, где существуют также др. поверхности $H_j(x_1, \ldots, x_n)$, ограничивающие разрешенную для поиска область пространства. Дальнейшее изложение будет вестись в терминах n-мерного пространства, а иллюстрироваться на плоскости x_1, x_2 (рис. 2).

МГ основан на понятии вектора, наз. градиентом, к-рый существует в каждой точке пространства $x_1, \ldots, x_n$ и определен следующим образом:

$$\begin{aligned} &\operatorname{grad} Q = \bar{i}_1\frac{\partial Q}{\partial x_i} + \ldots + \bar{i}_n\frac{\partial Q}{\partial x_n} \\ &\operatorname{grad} H_j + \bar{i}_1\frac{\partial H_j}{\partial x_1} + \ldots + \bar{i}_n\frac{\partial H_j}{\partial x_n} \quad (j = 1, \ldots, m). \end{aligned} \tag{3}$$

Здесь $\bar{i}_1, \ldots, \bar{i}_n$ — единичные координатные векторы пространства (орты), $\frac{\partial Q}{\partial x_1}, \ldots, \frac{\partial Q}{\partial x_n}$, $\frac{\partial H_j}{\partial x_1}, \ldots, \frac{\partial H_j}{\partial x_n}$ — частные производные 1-го порядка ф-ций $Q(x_1, \ldots, x_n)$, $H_j(x_1, \ldots, x_n)$. Как известно, градиент указывает в каждой точке пространства M_0 с координатами $x_{10}, \ldots, x_{n0}$ то направление, на к-ром ф-ция Q изменяется наиболее быстро. Если окружить точку M_0 сферой малого радиуса ε, то на ее поверхности будут существовать наибольшее и наименьшее значения Q, находящиеся на пересечении направления градиента и сферы. Градиент направлен в сторону наибольшего возрастания ф-ции.

При поиске минимума ограничения учитываются только в том случае, когда они нарушены, т. е. при $H_j > 0$. В каждой точке запрещ. области, где $H_j > 0$, существует, вообще говоря, неск. векторов градиентов, по числу одновременно нарушенных ограничений $H_j (j = 1, \ldots, m)$.

МГ (в разреш. области) заключается в следующем. Если в точке M_0 узнать величины частных производных, то будет определено направление наибольшего возрастания ф-ции и, следовательно, противоположное ему направление наибольшего убывания ф-ции в данной точке.

Для получения следующей точки M_1, такой, чтобы $Q(M_1) > Q(M_0)$, нужно передвинуть изображающую точку в направлении, обратном направлению градиента, т. е. дать координатам $x_{10}, \ldots, x_{n0}$ приращение $\Delta x_l = -k(\partial Q/\partial x_l)$ $(i = 1, \ldots, n;\ k$ — положит. число). Т. о., получаем точку M_1 с координатами $x_{10} + \Delta x_1, \ldots, x_{n0} + \Delta x_n$. В точке M_1 снова определяем частные производные, а затем передвигаем изображающую точку в новом направлении и т. д. до тех пор, пока $\partial Q/\partial x_l$ в очередной точке не станут равными нулю или пренебрежимо малыми. Это означает, что достигнута точка минимума, характеризующаяся соотношением

$$\frac{\partial Q}{\partial x_l} = 0 \quad (l = 1, \ldots, n). \tag{4}$$

При наличии ограничений процесс поиска (рис. 3) происходит аналогичным образом до

тех пор, пока не будет нарушено к.-н. (или одновременно несколько) из ограничений.

Образуем ф-цию $H_0 = \sum_{j=1}^{m} \overline{H}_j$, где

$$\overline{H}_j = \begin{cases} 0 & \text{при } H_j \leqslant 0 \\ H_j & \text{при } H_j > 0. \end{cases}$$

Величина ф-ции H_0 — суммы нарушенных ограничений — указывает расположение изображающей точки относительно границы области разреш. поиска. Если $H_0 = 0$, то изображающая точка находится внутри разреш. области или на ее границе. Если $H_0 > 0$, то изображающая точка находится в запрещ. области и вектор $\operatorname{grad} H_0$ указывает направление выхода из запрещ. области, поскольку он нормален к обобщ. границе области разреш. поиска $H_0(x_1, \ldots, x_n) = 0$.

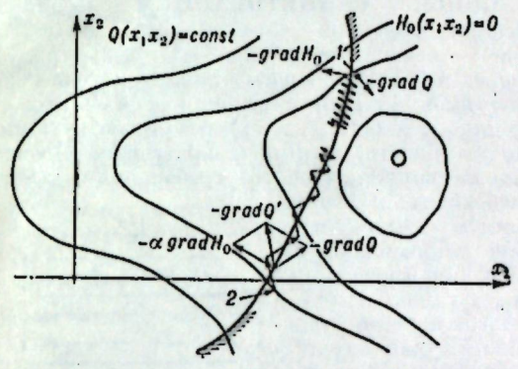


Рис. 3. Процесс поиска условного экстремума (при наличии ограничений): *1* — поиск по границе методом переключений; *2* — поиск по границе методом обобщенного критерия.

Возможны различные варианты поиска минимума по МГ при наличии ограничений. 1) Если $H_0 = 0$, то изображающая точка движется в фазовом пространстве описанным выше образом. Если в процессе поиска H_0 стало больше нуля, то величина H_0 заменяет минимизируемую величину Q и с H_0 производятся те же операции, к-рые в дозволенной области $H_0 = 0$ производились с величиной Q. При этом измеряются превращения $(\Delta H_0)x_l$ при изменениях δx_l величин x_l. Вслед за этим делается рабочий шаг по направлению $\operatorname{grad} H_0$, вследствие чего изображающая точка выталкивается из запрещ. области по нормали к границе области разреш. поиска. Как только H_0 становится равным нулю, т. е. рабочая точка возвращается в разрешенную область поиска, снова измеряются составляющие $\operatorname{grad} Q$ и т. д. При этом изображающая точка снова переходит через границу, но уже в др. точке, в связи с чем H_0 становится больше нуля, аппарат вновь переключается с Q на H_0 и т. д. В результате зигзагообразного процесса поиска вдоль границы изображающая точка приходит к такому положению на границе, в к-ром векторы $\operatorname{grad} Q$ и $\operatorname{grad} H_0$ коллинеарны и направлены навстречу друг другу. 2) Образуем обобщ. критерий $Q' = Q + \alpha H_0$, где α — положит. коэфф., достаточно большой, чтобы удовлетворялось условие

$$\frac{\partial Q'}{\partial x_l} = \frac{\partial Q}{\partial x_l} + \alpha\frac{\partial H_0}{\partial x_l} > 0, \quad (l = 1, \ldots, n). \tag{5}$$

Тогда в процессе поиска минимума обобщ. критерия Q' при переходе границы произойдет скачок производной от $\frac{\partial Q'}{\partial x_l} < 0$ до существенно положит. величины $\frac{\partial Q'}{\partial x_l}$, что будет отмечено как переход через точку частного экстремума. Вслед за этим будет определено $\frac{\partial Q'}{\partial x_l}$, и при рабочем шаге выход из области ограничений будет происходить не нормально к границе, а с наклоном в сторону понижения величины Q, что дает нек-рый выигрыш во времени поиска, поскольку движение к точке минимума на границе происходит как при входе в запрещ. область, так и при выходе из нее. Однако чтобы удовлетворить условию (5) для широкого класса ф-ций, необходимо взять α настолько большим, чтобы слагаемое Q в выражении Q' при $H_0 > 0$ не играло заметной роли.

Если аналитич. вид ф-ции неизвестен, но она может быть измерена при любом сочетании аргументов, то измерение частных производных может быть заменено измерением приращений ф-ции при подаче малых конечных приращений ее аргументам.

Т. о., алгоритм поиска по МГ выглядит так: а) установив нач. значения $x_{l0} (i = 1, \ldots, n)$, аппарат измеряет значение $Q(x_{10}, \ldots, x_{n0})$ и запоминает его; б) дается приращение δx первому аргументу x_{10} и после измерения значения ф-ции $Q(x_{10} + \delta x, x_{20}, \ldots, x_{n0})$ определяется разность $\Delta Q_{x_1} = Q(x_{10} + \delta x, \ldots, x_{n0}) - Q(x_{10}, \ldots, x_{n0}) \cong \frac{\partial Q}{\partial x_1}\delta x$ и запоминается; в) дается приращение δx второму аргументу, причем приращение по первому снимается, измеряется значение ф-ции $Q(x_{10}, x_{20} + \delta x, \ldots, x_{n0})$ и находится разность

$$\Delta Q_{x_2} = Q(x_{10}, x_{20} + \delta x, \ldots, x_{n0}) - Q(x_{10}, \ldots, x_{n0}) \cong \frac{\partial Q}{\partial x_2}\delta x,$$

к-рая запоминается; г) эти операции продолжаются до тех пор, пока не определяется (и запоминается) последняя разность

$$\Delta Q_{x_n} = Q(x_{10}, \ldots, x_{n1} + \delta x) - Q(x_{10}, \ldots, x_{n0}) \cong \frac{\partial Q}{\partial x_n}\delta x;$$

д) даются рабочие приращения аргументам, пропорциональные соответствующим частным производным. При этом получаются новые значения аргументов:

$$x_{11} = x_{10} - k\delta x\frac{\partial Q}{\partial x_1}; \ \ldots; \ x_{n1} = x_{n0} - k\delta x\frac{\partial Q}{\partial x_n};$$

е) значения аргументов x_{l1} принимаются за начальные, и вся операция повторяется до тех пор, пока не получится точка, где ΔQ_{x_l} $(i = 1, \ldots, n)$ оказываются пренебрежимо малыми.

При наличии ограничений опис. метод применяется аналогичным образом для поиска минимума ф-ции $Q' = Q + \alpha H_0$ или для попеременной минимизации ф-ций Q и H_0 в зависимости от величины ф-ции H_0. Выбор величин k и δx_l существенно влияет на характер процесса поиска. Если ф-ция Q непрерывна относительно своих аргументов, то величины δx_l целесообразно выбирать такими, чтобы они составляли неск. процентов от допустимого диапазона изменения аргументов.

Величина k зависит от вида ф-ции и выбирается не слишком большой, чтобы процесс поиска не носил колебат. характера, но и не слишком малой, иначе время поиска недопустимо увеличится.

Метод наискорейшего спуска (МНС) родствен МГ, но отличается от него тем, что после измерения величин частных производных оценивается величина и знак приращения ф-ции за рабочий шаг

$$\Delta Q = Q(x_{10}+\Delta x_1, \ldots, x_{n0}+\Delta x_n) - Q(x_{10}, \ldots, x_{n0}),$$

вслед за чем либо производится еще один рабочий шаг, т. е. вычисляется величина $Q(x_{10}+2\Delta x_1, \ldots, x_{n0}+2\Delta x_n)$, если $\Delta Q<0$, либо переходят к циклу определения величин частных производных, если $\Delta Q>0$. Геометрически (рис. 2) это означает, что из нач. точки $x_{10}, \ldots, x_{n0}$ делается не один шаг, как при использовании МГ, а неск. шагов подряд по направлению, обратному направлению градиента, определенного в нач. точке M_0, до тех пор, пока на этом направлении не будет обнаружен частный минимум. Частный минимум обнаруживается по изменению знака приращения ф-ции за очередной k-тый рабочий шаг

$$\Delta Q_k = Q(x_{10}+k\Delta x_1, \ldots, x_{n0}+k\Delta x_n) - Q[x_{10}+(k-1)\Delta x_1, \ldots, x_{n0}+(k-1)\Delta x_n].$$

В точке, где ΔQ_k изменило свой знак, прекращают рабочие шаги и начинают поочередно подавать пробные приращения δx_i из точки частного минимума, как из начальной. Процедура оканчивается, когда очередные измерения частных производных дают величины, достаточно близкие к нулю.

Осн. преимущество МНС перед МГ — уменьшение времени поиска, поскольку при произ-ве 2-, 3-го и т. д. рабочих шагов не тратится времени на «топтание на месте» для выявления величин частных производных. Конечно, с увеличением числа шагов по принятому вначале направлению рабочая точка двигается, вообще говоря, все более и более удаляясь от наивыгоднейшего в данной точке пространства направления, но общее продвижение к минимуму все же происходит быстрее при МНС.

При решении задач с помощью автоматич. оптимизаторов удобно сочетать оба метода, используя вдали от точки минимума МНС, а вблизи от нее — МГ. Для этого достаточно после рабочего шага сделать выбор между операциями на основании сравнения величины ΔQ_k с нек-рой пороговой величиной ξ_0 ($\xi_0>0$). Если $\Delta Q < -\xi_0$, то необходимо сделать еще один рабочий шаг, а если $\Delta Q > -\xi_0$, то определить частные производные. Тогда при малой отрицат. величине ΔQ аппарат будет работать с помощью МГ, к-рый практически обеспечивает лучшую точность определения точки минимума. Контроль величины ΔQ во время рабочего шага фактически сводится к контролю величины модуля градиента, поскольку

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial x_1}\Delta x_1 + \ldots + \frac{\partial Q}{\partial x_n}\Delta x_n,$$

причем

$$\Delta x_1 = \frac{\partial Q}{\partial x_1}k, \ldots, \Delta x_n = \frac{\partial Q}{\partial x_n}k.$$

Тогда

$$\Delta Q = k\left(\frac{\partial Q}{\partial x_1}\right)^2 + \ldots + k\left(\frac{\partial Q}{\partial x_n}\right)^2 = k\,|\operatorname{grad} Q|^2.$$

Можно вести контроль и по величине

$$k_1\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{\partial Q}{\partial x_i}\right|, \text{ где } k_1 = \text{const}.$$

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959, гл. 14; Стаховский Р. И., О сравнении некоторых методов поиска для автоматического оптимизатора, в кн.: Конференция по теории и применению дискретных автоматических систем. [Доклад № 16], М., 1958. *Р. И. Стаховский.*

ПОИСК СКАНИРОВАНИЕМ (scanning search; recherche par balayage; Abtastsuche) — *поиск автоматический*, при к-ром в определ. порядке просматриваются точки допустимой области изменения переменных x_i ф-ции $Q = Q(x_1, \ldots, x_n)$ и отбираются такие точки области, в к-рых Q наилучшим образом удовлетворяет заданным требованиям! Пусть необходимо найти минимум ф-ции Q в допустимой области изменения переменных x_1, x_2 (рис. 1). Для этого в последовательности, указ. стрелками, изменяют x_1 при пост. значениях x_2 и запоминают значения x_1 и x_2, соответствующие наименьшему Q в просмотренной области; запоминается также само значение Q. Каждый раз, когда в процессе поиска появляется новое значение Q, меньшее запасенного в памяти, новые значения ф-ции Q и соответствующих ей x_1 и x_2 занимают место прежних значений в блоке памяти. П. с. можно вести и в иной последовательности, напр. вдоль спирали, и т. д.

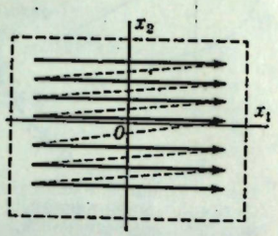


Рис. 1. Пример последовательности изменения x_1 и x_2 при сканировании.

П. с. может производиться автоматич. оптимизатором [2]. Значения каждой из переменных $x_1, \ldots, x_n$ (рис. 2) поступают на вход

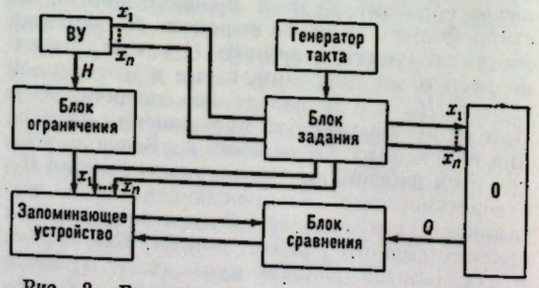


Рис. 2. Блок-схема сканирующего автоматич. оптимизатора.

объекта O с блоков задания, число к-рых равно числу n входов объекта. В блок сравнения поступают напряжения с объекта O и с ЗУ. При поиске максимума Q команда на запоминание нового значения подается лишь в том случае, когда напряжение на выходе O превышает напряжение ЗУ. При этом подается команда на запоминание как нового значения Q, так и новых значений $x_1, \ldots, x_n$, соответствующих максимуму Q в обследованной области. Достоинство П. с. в том, что он не связан с к.-л. ограничениями, накладываемыми на вид ф-ции Q; недостаток — большое время, затрачиваемое на поиск. Оно

равно $T_n = \tau m^n$, где τ — время определения одного значения Q, m — число значений, принимаемых каждой из переменных в процессе сканирования, n — число переменных. Как видно, T_n резко возрастает с увеличением n.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., О применении вычислительных устройств в автоматических системах, «АиТ», 1956, т. 17, № 11, с. 1046; 2) Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения. III, там же, 1961, т. 22, № 8. *Л. Н. Фицнер.*

ПОИСК СТАТИСТИЧЕСКИЙ (statistical search; recherche statistique; statistischer Suchbetrieb) — *поиск автоматический* задач при наличии случайных факторов, предусматриваемых алгоритмом поиска. Пусть метод поиска минимума ф-ции $Q(x_1, \ldots, x_n)$ заключается в установлении случайных комбинаций аргументов $x_1, \ldots, x_n$ и измерении значения Q при каждой комбинации x_i ($i = 1, \ldots, n$). Из получающихся значений Q отбирают наименьшее по величине путем смены содержимого ячейки памяти Q каждый раз, когда новое измеренное значение Q оказывается меньше, чем прежнее, хранимое в этой ячейке. Одновременно в др. ячейках запоминаются и соответствующие значения x_i. После того как сделано достаточное число попыток N (зависящее от заданной точности, с к-рой определяют точку минимума, и от числа n аргументов x_i), поиск прекращается и последнее хранимое в ячейке значение Q считается минимальным, а соответствующая комбинация значений x_i определяет точку минимума. Вероятность попадания найденного решения в заданную малую окрестность точного минимума тем ближе к единице, чем больше N. Метод применим и в том случае, если ф-ция Q имеет локальные минимумы. Однако указ. процедура весьма длительна, особенно при большом n и высоких требованиях к точности решения.

Др. вариант П. с. предполагает разделение случайного поиска на этапы, отличающиеся друг от друга изменением вероятностного распределения x_i. После окончания каждого этапа происходит перераспределение вероятностей выбора различных значений x_i т. о., чтобы значения, для к-рых вероятнее меньшее значение Q, выбирались чаще. В случае применения этого варианта время поиска при заданной точности сокращается, поскольку в процессе поиска область поиска рационально уменьшается, сосредоточиваясь около «наиболее подозрительных» (в смысле близости к экстрем. точке) значений $x_1, \ldots, x_n$.

Возможен также метод, заключающийся в соединении нек-рой регулярной процедуры со статистической. Из нач. точки $M_0(x_{10}, \ldots, x_{n0})$ со значением критерия Q_0 дается случайное приращение всем координатам сразу: $x_{10}+\Delta x_1, \ldots, x_{n0}+\Delta x_n$, где Δx_i — ограниченные по модулю случайные числа; при этом получается точка M_1 со значением критерия $Q_p = Q_0 + \Delta Q$. Далее, изображающая точка движется по направлению, соединяющему точки M_0 и M_1 (угловые коэфф. прямой равны Δx_i), в сторону точки с отрицательным ΔQ. Если ΔQ положительно, то направление движения прямо противоположно предыдущему. Движение по этой прямой (т. е. подача величинам x_{i0} приращений, пропорциональных случайным значениям Δx_i) происходит до тех пор, пока приращение ф-ции за рабочий шаг не изменит свой знак. Тогда процедура повторяется. В окрестности минимума будет происходить только подача случайных приращений.

Особой группой методов являются варианты, представляющие собой комбинации статистич. и итерац. методов (см. *Поиск итерациями*), применяемые для поиска глобального минимума — наименьшего из неск. минимумов (см. *Оптимизатор глобальный*). Напр., можно, установив случайно нач. условия $x_{10}, \ldots, x_{n0}$, дальше вести поиск методом градиента или методом наискорейшего спуска до тех пор, пока не будет получен локальный минимум. Запомнив получ. значения Q_1 и $x_1^*, \ldots, x_n^*$, автомат переходит в новую нач. точку, выбираемую случайно. Из нее ведется поиск любым итеративным процессом. Если вновь найденная точка минимума имеет значение $Q_2 < Q_1$, то запоминается Q_1 вместо Q_2 (вместе с соответствующей комбинацией x_i) и устанавливается очередная новая случайная нач. точка. Если же $Q_2 \geqslant Q_1$, то в памяти остается прежнее значение Q_1. Одновременно отмечается «безрезультатность» данного тура поиска. Если после $k < N$ процессов поиска находится точка, где Q_k меньше хранимого в ячейке памяти минимума, то вместе с запоминанием нового минимума Q_k вместо Q_1 счет «безрезультатных» туров сбрасывается до нуля. Поиск считается законченным, если с момента запоминания последнего минимума произошло заданное число N «безрезультатных» туров поиска без смены содержимого ячейки памяти. Этот и нек-рые другие варианты описаны в [1].

Лит.: 1) Бочаров И. Н., Фельдбаум А. А., Автоматический оптимизатор для поиска минимального из нескольких минимумов (глобальный оптимизатор), «АиТ», 1962, т. 23, № 3; 2) Растригин Л. А., Экстремальное регулирование методом случайного поиска, там же, 1960, т. 21, № 9; 3) Стаховский Р. И., [Выступление по докладу А. А. Красовского. Динамика непрерывных систем автоматического регулирования с экстремальной самонастройкой корректирующих устройств], в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 2], М., 1961. *Р. И. Стаховский.*

ПОИСКОВОЕ УСТРОЙСТВО (search device; dispositif de recherche; Suchgerät) — элемент системы экстремального регулирования (СЭР), предназначенный для определения максимума или минимума нек-рой величины в соответствии с выбранным методом поиска (см. *Поиск автоматический*).

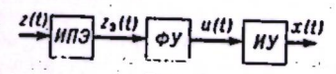


Рис. 1.

П. у. состоит (рис. 1) из измерителя показателя экстремума *ИПЭ*, формирующего устройства *ФУ*, и исполнит. устройства *ИУ*. *ИПЭ* предназначен для измерения величины, по которой производится управление входной координатой объекта. Он может быть дискретного и непрерывного действия. Примером *ИПЭ* непрерывного действия является применяемое в релейных СЭР устройство для измерения отклонения от экстремального значения регулируемой величины (рис. 2). На конденсаторе C запоминается макс. или миним. значение входного напряжения (в зависимости от полярности диода $Д$). Выходное напряжение при этом будет пропорционально отклонению от запомненного на конденсаторе уровня.

Др. примером *ИПЭ* непрерывного действия является синхронный детектор, к-рый применяется в СЭР с синусоидальной модуляцией (рис. 3). Он состоит из фильтра *Ф* для выделения перем. составляющей выходного сигнала объекта $\tilde{z}(t)$, обусловленной периодич. воздействием на его входе $\tilde{\mu}(t)$; умножителя *М*, в к-ром производится умножение $\tilde{z}(t)$ на $\tilde{\mu}(t)$; интегратора *И* для усреднения этого произведения. Выходной сигнал синхронного детектора пропорционален градиенту экстремальной хар-ки. Если экстремальная

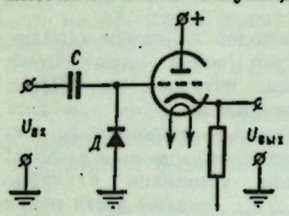


Рис. 2.

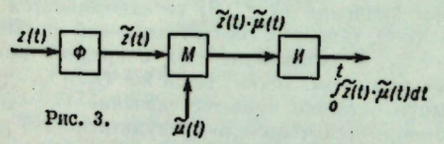


Рис. 3.

хар-ка объекта представляет собой ф-цию многих переменных, то подобные *ИПЭ* устанавливаются по каждому переменному, а выходной сигнал каждого синхронного детектора пропорционален составляющей градиента по этому переменному. К *ИПЭ* дискретного действия относится измеритель первых разностей регулируемой величины, применяемый в импульсных СЭР (рис. 4). Он состоит из импульсного элемента *ИЭ*, предназначенного для квантования по времени регулируемой величины $z(t)$, и звена запаздывания с временем запаздывания $\tau = T$, где T — период повторения импульсного элемента. На выходе такого устройства будет действовать сигнал, пропорциональный разности $\Delta z[nT] = z[nT] - z[(n-1)T]$. В качестве *ИПЭ* могут применяться и более сложные устройства. В СЭР с независимым поиском, как правило, применяются линейные законы управления вида $u(t) = k \cdot z_э(t)$. В этом случае *ФУ* представляет собой обычный усилитель с линейной хар-кой. При использовании закона управления вида $u(t) = k_р \cdot \mathrm{sign}[z_э(t) \pm \varkappa]$ *ФУ* является своеобразным релейным элементом. Если П. у. предназначено для управления объектами с многими регулируемыми координатами, то в *ФУ* входят логич. устройства, к-рые реализуют принятую стратегию поиска (методы градиента, наискорейшего спуска и т. д.). В качестве *ИУ* в П. у. может применяться либо сервомотор с передаточной ф-цией k/p (в СЭР с независимым поиском и в нек-рых видах с зависимым поиском), либо пропорциональный сервомотор с передаточной ф-цией $k/(Tp+1)$ (в СЭР с зависимым поиском); $p = \frac{d}{dt}$.

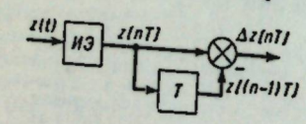


Рис. 4.

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Кунцевич В. М., Системы экстремального управления, Киев, 1961; Мороса нов И. С., Методы экстремального регулирования, «АиТ», 1957, т. 18, № 11.

Ю. С. Попков.

ПОЛЕЗНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ (useful component; composante utile; Nutzkomponente) — составляющая входного сигнала, несущая полезную информацию. В общем случае входной сигнал состоит из П. с. и шума; важнейшая задача — выделить П. с. из принимаемого сигнала. При исследовании САР П. с. может быть как регулярной, так и случайной ф-цией времени. *Б. А. Власюк.*

ПОЛЕЗНЫЙ СИГНАЛ (useful signal; signal utile; Nutzsignal) — сигнал, несущий полезную информацию, к-рая должна быть принята и переработана. Обычно рассматривают: полностью известный П. с., когда информацию несет сам факт наличия или отсутствия этого сигнала в данный момент времени; П. с., известный с точностью до случайных параметров (амплитуды, времени появления, частоты, фазы, формы и т. д.), когда полезная информация определяется значением одного или неск. таких параметров (импульсная, частотная, фазовая, широтная импульсная, кодовая импульсная *модуляции* и т. д.); случайный (шумоподобный) П. с., когда полезная информация заключена в значениях статистич. хар-к (математич. ожидания, дисперсии, корреляц. ф-ции, спектральной плотности и т. д.). См. *Сигнал.* *Э. Л. Наппельбаум.*

ПОЛНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ (full automation; automatisation complète; vollständige Automatisierung) — этап автоматизации произ-ва, при к-ром система автоматич. машин выполняет без непосредств. участия человека весь комплекс операций данного производств. процесса, включая выбор и установление режимов работы, обеспечивающих наилучшие в данных условиях показатели. Обязанности человека сводятся к наблюдению за правильным функционированием системы управления и ее отдельных узлов, а также к введению в эту систему заданий и критериев, к-рым должен удовлетворять процесс.

Для простых процессов, протекающих при неизменных условиях, однажды выбранный и установленный оптимальный режим может сохраняться достаточно долго и понятие П. а. совпадает с понятием *комплексной автоматизации*. Для большинства же процессов, подверженных внешним возмущениям, основным отличием П. а. от комплексной является передача ф-ции выбора и согласования режимов работы отдельных машин и агрегатов (в т. ч. и при аварийных ситуациях) от человека системе автоматич. управления.

Основой перехода к П. а. служит автоматич. отыскание и установление оптимальных режимов работы оборудования и автоматизация оперативного управления, т. е. согласования режимов отдельных машин и агрегатов. Для решения этих задач широко используется вычислит. техника, в частности *управляющие машины*, анализирующие ход производств. процесса, синтезирующие законы управления и определяющие критерии оптимальности. Автоматич. анализ хода процесса и синтезирование законов управления предопределяют самоприспособляемость систем П. а. к условиям, в к-рых процесс протекает.

Системы П. а. имеют иерархичный принцип построения. На 1-й ступени находятся системы программного и логич. управления, а также. системы автоматич. регулирования; на 2-й ступени — системы автоматич. оптимизации отдельных машин и агрегатов; на 3-й ступени — системы автоматич. оперативного управления. Система П. а. представляет собой сложную и разветвленную систему автоматич. управления, что требует высокой ее надежности, обеспечиваемой как надежностью отдельных элементов, так и структурной надежностью. Задача П. а.— создание автоматич. цехов и пр-тий (см. *Завод-автомат*). Большой экономич. эффект П. а. достигается улучшением использования оборудования, обеспечением ритмичности процесса при оптимальных в данных условиях производительности и качестве продукции. См. *Автоматизация производства, Автоматизация управленческих работ, Организация управления производством.*

С. П. Краснянский, А. Б. Челюсткин.

ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ динамической САР (passing band; bande passante; Durchlassbreite, Durchlassband) — участок сплошного спектра частот, пропускаемых системой без существ. ослабления амплитуды. В радиотехнике в пределах П. п. допускается ослабление амплитуды входного сигнала в $\sqrt{2}$ раза.

Лит.: Кузовков Н. Т., Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах, 2 изд., М., 1960.

Е. Ф. Самбурова.

ПОЛОСА ЧАСТОТ (frequency band; bande de fréquence; Frequenzband) — участок сплошного спектра частот. Ширина П. ч. определяется разностью граничных частот. Для модулированного сигнала при двухполосной передаче П. ч. лежит в пределах от $f-F$ до $f+F$, где f — несущая частота, F — верхняя частота модулирующих колебаний. Напр., П. ч. человеч. голоса находится в пределах 100—8 000 *гц*. П. ч., используемая в радиотехнич. устройствах, 10—10^{10} *гц*. П. ч. является важной хар-кой сигнала, определяющей его объем. Ф-ция конечной длительности T с огранич. П. ч. F определяется $m = 2FT$-числами и поэтому она м. б. передана последовательностью m дискретных чисел (См. *Котельникова теорема*). *Т. И. Товстуха.*

ПОЛОСОВОЙ ФИЛЬТР (band filter; filtre de bande; Bandfilter) — электрич. фильтр, полоса пропускания к-рого заключена между частотами f_1 и f_2, где $f_1 \neq 0$, а $f_2 \neq \infty$. П. ф. может быть получен в результате последоват. соединения *фильтра высокой частоты* и *фильтра низкой частоты*. В большинстве случаев применяются спец. схемы П. ф., обладающие лучшими хар-ками. Простейшими П. ф. являются фильтры типа К, схемы и частотные хар-ки к-рых приведены на рис. 1. Для этих фильтров $L_1C_1 = L_2C_2$ (L_1 и L_2, C_1 и C_2 — индуктивности и емкости контуров), а резонансная частота контуров последоват. и паралл. плеч является среднегеометрич. величиной частот среза П. ф. $f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$. Эти частоты среза, в свою очередь, определяются по ф-лам:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_2}}\left(\sqrt{1+\frac{C_2}{C_1}}-1\right),$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_2}}\left(\sqrt{1+\frac{C_2}{C_1}}+1\right).$$

Затухание b вне полосы пропускания определяется из ур-ния: $\mathrm{ch}\frac{b}{2} = \frac{f^2-f_1f_2}{f(f_2-f_1)}$, а фазовый сдвиг a в полосе пропускания — из ур-ния $\sin\frac{a}{2} = \pm\frac{f^2-f_1f_2}{f-(f_2-f_1)}$. Для Т-образного П. ф. характеристич. сопротивление $Z_т = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}\left[1-\frac{(f^2-f_1f_2)^2}{f^2(f_2-f_1)^2}\right]}$ и для П-образного П. ф. $Z_п = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}\cdot\frac{f^2(f_2-f_1)^2}{f^2(f^2-f_1f_2)^2}}$.

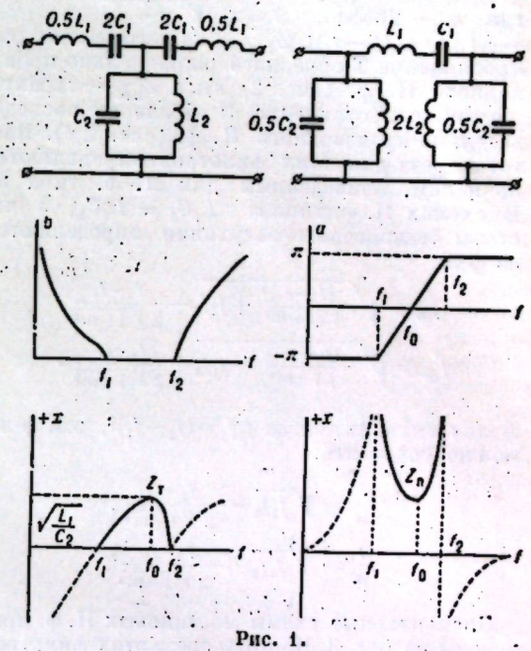


Рис. 1.

На рис. 2 показаны схемы и хар-ки П. ф. типа m. Для этих фильтров $b = \ln\left|\frac{1+m\,t}{1-m\,t}\right|$,

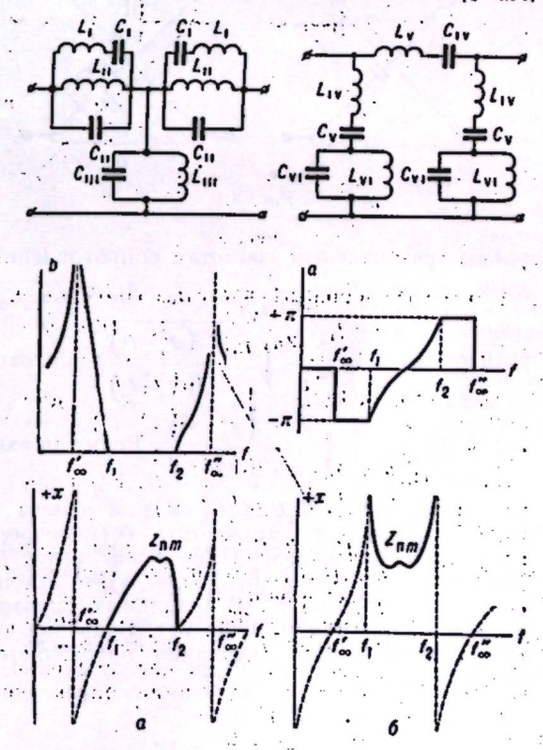


Рис. 2. Схемы и характеристики полосового фильтра типа m:

$L_I = mL/2$; $L_{II} = 2mL_2/(1-m^2)$; $L_{III} = L_2/m$; $L_{IV} = L_1(1-m^2)/2m$; $L_V = mL_1$; $L_{VI} = 2L_2/m$; $C_I = 2C_1/m$; $C_{II} = C_1(1-m^2)/2m$; $C_{III} = mC_2$; $C_{IV} = C_2/m$; $C_V = C_1 2m/(1-m^2)$; $C_{VI} = mC_2/2$. (m — число элементов).

Центральная научная библиотека Академии наук Киргизской ССР

$$\operatorname{tg}\frac{a}{2}=\frac{m\eta}{\sqrt{1-\eta^2}},$$

$$Z_{Tm}=\sqrt{\frac{L_1}{C_2}}\cdot\frac{\sqrt{1-\eta^2}}{1-(1-m^2)\eta^2},$$

$$Z_{\Pi m}=\sqrt{\frac{L_1}{C_2}}\cdot\frac{1-(1-m^2)\eta^2}{\sqrt{1-\eta^2}},$$

где m — коэфф., $t=\eta/\sqrt{\eta^2-1}$, $\eta=(f^2-f_1f_2)/[f-(f_2-f_1)]$, Z_{Tm} — характеристич. сопротивление Т-образного параллельно-производного П. ф. (рис. 2, *а*), а $Z_{\Pi m}$ — характеристич. сопротивление П-образного последовательно-производного П. ф. (рис. 2,*б*). Частоты среза для этих фильтров определяются по ф-лам, приведенным для П. ф. типа *К*. В схемах П. ф. типа *m* $L_1C_1=L_2C_2$, а частоты бесконечного затухания определяются из ф-л:

$$f'_\infty=\sqrt{\frac{(f_2-f_1)^2}{4(1-m^2)}+f_1f_2}-\frac{f_2-f_1}{2\sqrt{1-m^2}},$$

$$f''_\infty=\sqrt{\frac{(f_2-f_1)^2}{4(1-m^2)}+f_1f_2}+\frac{f_2-f_1}{2\sqrt{1-m^2}}.$$

В тех случаях, когда $f_1f_2\gg(f_2-f_1)^2$, эти ф-лы можно упростить:

$$f'_\infty\approx\sqrt{f_1f_2}-\frac{f_2-f_1}{2\sqrt{1-m^2}},$$

$$f''_\infty\approx\sqrt{f_1f_2}+\frac{f_2-f_1}{2\sqrt{1-m^2}}.$$

Элементарные схемы мостиковых П. ф. приведены на рис. 3. Частоты среза этих фильтров

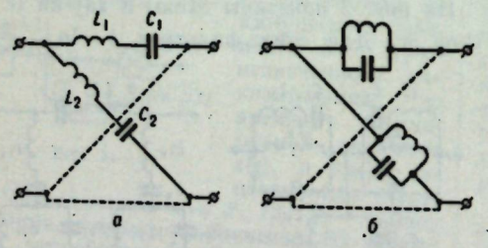


Рис. 3.

равны резонансным частотам сопротивлений плеч, т. е. $f_1=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$, $f_2=1/2\pi\sqrt{L_2C_2}$.

Для схемы *а* $\operatorname{tg}\frac{b}{2}=\sqrt{\frac{L_1(f_1^2-f^2)}{L_2(f_2^2-f^2)}}$; для схемы *б* $\operatorname{th}\frac{b}{2}=\frac{L_1}{L_2}\sqrt{\frac{C_1(f_1^2-f_2^2)}{C_1(f_2^2-f^2)}}$. Если для схемы *а* $0<C_2/C_1<L_2C_2/L_1C_1$ и для схемы *б* $0<L_1/L_2<L_2C_2/L_1C_1$, то частота бесконечного затухания мостикового П. ф. лежит выше f_2. Если же $1\leqslant C_2/C_1\leqslant\infty$ ($0\leqslant L_1/L_2\leqslant\infty$), то эта частота лежит ниже f_1. В остальных случаях полюса затухания у П. ф. нет. Значение частоты бесконечного затухания определяется для схемы *а* по ф-ле:

$$f_\infty=\frac{1}{2\pi C_2}\sqrt{\frac{C_2-C_1}{L_1-L_2}}$$

и для схемы *б*: $f_\infty=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{L_1-L_2}{L_1^2C_1-L_2^2C_2}}$. Наконец, для схемы *а* характеристич. сопротивление П. ф. $Z=\frac{2\pi\sqrt{L_1L_2}}{f}\sqrt{(f^2-f_1^2)(f^2-f_2^2)}$, а для схемы *б* $-Z=\frac{f}{2\pi\sqrt{C_1C_2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{(f^2-f_1^2)(f^2-f_2^2)}}$.

Особенно широко распространены пьезоэлектрич. П. ф. На рис. 4 приведены

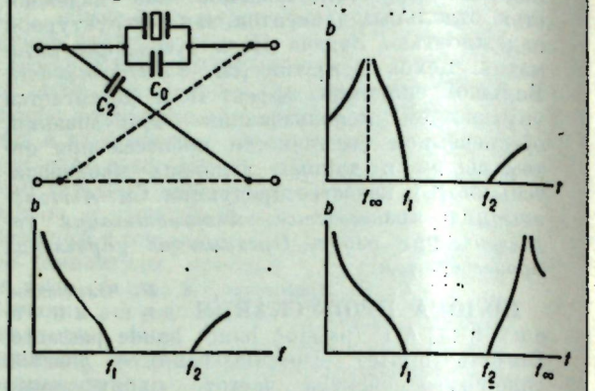


Рис. 4.

схема простейшего двухрезонаторного узкополосного П. ф. и его хар-ка затухания для различных соотношений емкостей C_0 и C_2. Для этого П. ф. $f_1=1/2\pi\sqrt{L_1C_1}$; $f_2=f_1\sqrt{1+C_1/C_0}$; где L_1 и C_1 соответственно индуктивность и емкость пьезоэлектрич. резонатора. Его характеристич. сопротивление $Z=1/2\pi f\sqrt{C_2C_0}\cdot\sqrt{(f_1^2-f^2)/(f_2^2-f^2)}$. Частота бесконечного затухания П. ф. определяется по ф-ле:

$$f_\infty=f_1\sqrt{1-\frac{C_1}{C_2-C_0}}.$$

На рис. 5 приведены схема и частотные хар-ки для двухрезонаторного П. ф. с последовательно подключенными расширит. катушками. Кроме того, для расширения полосы

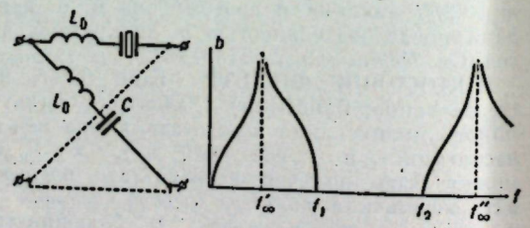


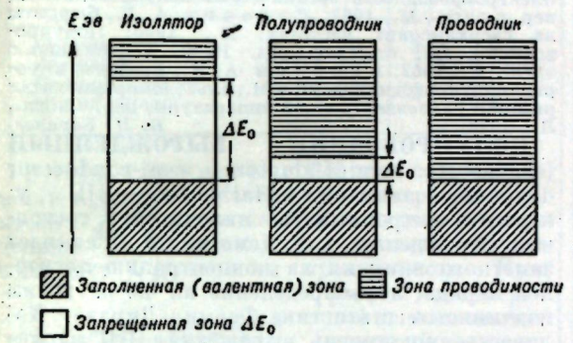
Рис. 5.

пропускания П. ф. можно использовать схемы с параллельно подключенными расширит. катушками или с резонаторами из искусств. кристаллов, обладающих достаточно большим межрезонансным промежутком.

ПОЛУПРОВОДНИК (semiconducteur; Halbleiter) — вещество с электропроводностью 10^{-10}—10^{4} $(ом\cdot см)^{-1}$, находящееся по этим св-вам между проводником и изолятором. Различие между проводниками, ПП и изоляторами по *зонной теории* (рис.) заключается в следующем: в чистых ПП (см. *Полупроводник собственный*) и электронных изоляторах между *заполненной зоной* (валентной) и зоной проводимости находится *запрещенная зона* энергий (в ПП она до 5 *эв*, в изоляторах $\geqslant 5$ *эв*), в проводниках последняя отсутствует (зоны могут даже перекрываться).

Э. Л. Наппельбаум.

Электропроводность ПП σ и обратная ей величина — уд. сопротивление ρ ($ом\cdot см$), определяемые концентрациями электронов n ($см^{-1}$) и *дырок* p ($см^{-1}$), их подвижностями μ_n и μ_p ($см^2/в\cdot сек$) связаны ур-нием: $\sigma=1/\rho=q(n\mu_n+p\mu_p)$, где $q=1{,}6\cdot10^{-19}$ *к* — заряд



Энергетич. различие твердых тел по зонной теории.

электрона. Темп-ра оказывает существ. влияние на хар-ки ПП. Повышение ее преимущественно приводит к уменьшению уд. сопротивления и наоборот, т. е. для ПП характерно наличие отрицат. температурного коэфф. сопротивления. Вблизи абс. нуля ПП становится изолятором. ПП — *германий*, *кремний*, *селен*, *полупроводниковые соединения* (наиболее эффективен тип AIII—BV), *карбид кремния* и др. характеризуются: типом проводимости (электронный — *n*-тип, дырочный — *p*-тип); уд. сопротивлением; *временем жизни носителей заряда* (неосновных) или *диффузионной длиной*; *скоростью поверхностной рекомбинации*; *плотностью дислокаций* (см. *Полупроводника измерение параметров*). К ПП также относят: бор, серое олово, углерод (алмаз), фосфор, сурьму, мышьяк, серу, теллур, йод и ряд соединений, в состав к-рых входит хотя бы один из элементов 4—7-й групп системы Менделеева. Перспективно исследование *полупроводников органических*.

Основой многих приборов служат ПП. В большинстве случаев они должны быть получены в виде *монокристаллов*. Для придания заданных св-в ПП легируют различными примесями (см. *Акцептор*, *Донор*, *Полупроводник вырожденный*). Для этого применяют методы *выращивания монокристалла по Чохральскому* и *зонной плавки*, добиваясь нужной *ориентации кристаллов* ПП по кристаллографич. осям и равномерного распределения примесей. Оба метода, основанные на *диффузии примесей* и разделении их между жидкой и твердой фазами при плавлении и последующем отвердевании, используются и для очистки ПП от примесей.

К чистоте исходных ПП материалов предъявляются повышенные требования, напр. в германии контролируются примеси 40 элементов, в кремнии — 27, и добиваются, чтобы содержание их не превышало 10^{-4}—10^{-9}%.

Развитие всех направлений электроники приводит к созданию и совершенствованию большого количества разнообразной аппаратуры с числом ламп, доходящим до сотен и тысяч (вычислит. устройства, обучающие электронные машины, радиорелейные линии и т.д.). Выход аппаратуры (особенно нестационарной) из строя происходит из-за малой надежности ламп (45—65%). Усовершенствование конструкции и технологии изготовления электронных ламп не решает эту проблему, к-рая часто оказывается за пределами физ. возможностей. Задача создания более надежной аппаратуры в значит. степени решается применением ПП приборов (и др. малогабаритных элементов). Выпускаемые пром-стью *диоды полупроводниковые* и *транзисторы* позволяют заменять до 90% ламповых каскадов схем полупроводниковыми. Ряд ПП приборов в своей основе имеют, напр., германиевую или кремниевую пластинку с размерами ($мм$) $2\times3\times0{,}1$ с вплавленными электродами величиной в доли $мм$ и выводами из проволоки толщиной 50—100 $мк$. Общие размеры приборов с колпачками из металла или пластмассы составляют 0,015—0,3 $см^3$ (средний размер приемно-усилит. ламп 50—100 $см^3$). Отсутствие вибрирующих элементов внутри прибора обеспечивает большую механич. прочность и придает ему способность выдерживать ударную нагрузку в неск. тыс. g (ускорение свободно падающего тела) и вибрацию порядка сотен g. Радиоустройства на ПП приборах практически безынерционны (действие устройства с ламповыми каскадами, после включения, наступает через минуты, а иногда и через большие промежутки времени). Мощность, потребляемая транзистором, до 0,001 $вт$ и меньше (аналогичные радиолампы только на накал расходуют от долей $вт$ до 10 $вт$ и больше). Тщательно выполненный и хорошо герметизированный ПП прибор может служить десятки тыс. часов. В ламповых схемах выделяется количество тепла, к-рое может искажать заданный режим работы; устранение этого приводит к усложнению устройства, повышению веса и объема. Радиоустройства, полностью работающие на ПП приборах, свободны от этого недостатка. Однако нек-рые ПП материалы имеют малый температурный предел (напр., германий), но не очень сложная температурная компенсация или замена основного материала прибора другим (напр., кремнием, карбидом кремния или ПП соединениями) в значит. степени устраняет и этот недостаток. Совершенствование технологии изготовления ПП приборов приводит к уменьшению имеющихся еще разброса и нестабильности параметров.

Освоение космоса, новые требования науки и техники привели к коренному изменению технологии произ-ва нек-рой радиоэлектронной аппаратуры — к ее *микроминиатюризации*, к стремлению еще больше уменьшить веса и объемы, достичь большей надежности. ПП и здесь играют значительную роль — служат основой многих *микроэлементов*, *микромодулей*, *твердых схем* и т. д.

Контакт полупроводник — металл и *электронно-дырочный переход* (*n—p*-переход), созданный в ПП, используются при изготовлении ПП диодов; двойные переходы (*p—n—p* или *n—p—n*) — транзисторов и *тетродов полупроводниковых*. Их хар-ки см. *Диодов полупроводниковых параметры*, *Транзистора параметры*. Эти приборы в основном применяются для выпрямления, генерации и усиления электрич. сигналов.

На основе *фотоэлектрических свойств полупроводников* создают *фотосопротивления*, *фотодиоды* и *фототранзисторы*. П. служит активной частью генераторов (усилителей) коле-

баний оптич. диапазоны волн — ПП лазеров (используются нек-рые ПП соединения типа $A^{III}B^{V}$), к-рые сравнительно с др. имеют высокие кпд. *Термоэлектрические свойства полупроводников* позволили создать *термосопротивления полупроводниковые*, *термоэлементы полупроводниковые*, *термобатареи* и *термоэлектрические генераторы*, а *термоэлектрическое охлаждение* ПП, на основе эффекта Пельтье,—*термоэлектрические холодильники* и термостабилизаторы. Термоэлектрич. охлаждение, осуществляемое с применением ПП, дает возможность создавать холодильные машины, рефрижераторы и т. п. с достаточно большим кпд и найдет широкое применение в нар. х-ве. Перспективны безмашинные преобразователи тепловой энергии в электрическую — термоэлектрич. ПП генераторы, и фотоэлектрич. преобразователи — кремниевые *солнечные батареи*.

Механич. напряжение, приложенное к ПП, изменяет его электрич. сопротивление (эффект сильнее, чем в металлах), что явилось основой *тензометра полупроводникового*.

Создание в нек-рых ПП областей с одинаково направленными магнитными моментами (высокой магнитной проницаемостью) дало возможность изготовлять малогабаритные антенны, сердечники для тр-ров и катушек индуктивности, пост. магниты и др. комплектующие изделия, применяемые в радиолокации, технике связи, автоматике и телемеханике (см. *Полупроводник ферромагнитный*).

Обнаруженный в ПП *электроакустический эффект* — возникновение пост. электрич. поля в направлении бегущей акустич. волны в кристалле ПП, содержащем подвижные носители заряда, не нашел еще значит. применения.

ПП приборы получили широкое распространение в мировой практике, революционно преобразуя радиоэлектронику, они служат основой при разработке и произ-ве: измерит. техники, электронно-вычислит. машин; аппаратуры для всех видов связи и транспорта, для ТС, ТУ и ТК процессов в пром-сти; устройств для научных исследований, ракетной техники; мед. аппаратуры и др. электронных устройств и приборов.

Применение ПП приборов позволяет создавать новую аппаратуру и совершенствовать старую, приводит к значит. уменьшению ее габаритов (15—20 раз), веса (30—50 раз), потребляемых мощностей (40—70 раз), к значит. уменьшению выделения тепла в схеме, к увеличению прочности, к немедленной готовности к действию, позволяет увеличить срок службы и *надежность* электронных устройств (см. также *Надежность полупроводниковых приборов*).

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1957; Болтакс Б. И., Диффузия в полупроводниках, М., 1961; Жданов Г. С., Физика твердого тела, М., 1961; Губанов А. И., Теория выпрямляющего действия полупроводников, М., 1956; Шашков Ю. М., Металлургия полупроводников, М., 1960; Маслов А. А., Электронные полупроводниковые приборы, М.—Л., 1960; Рывкин С. М., Фотоэлектрические явления в полупроводниках, М., 1963; Федотов Я. А., Основы физики полупроводниковых приборов, М., 1963; Кулебакин В. С., Нагорский В. Д., Кукрессенский Ю. Е., Полупроводники в автоматике, М., 1963; Франк Х., Шнейдар В., Полупроводниковые приборы, пер. [с чеш.], Прага, 1960; Шокли В., Теория электронных полупроводников, пер. с англ., М., 1953; Яковчук И. С., Челноков В. Е., Гейфман М. П., Плоскостные транзисторы, Л., 1961; Технология полупроводниковых материалов, под ред. М. И. Иглицына, пер. с англ., М., 1961; Хилсум К., Роуз-Инс А., Полупроводники типа $A^{III}B^{V}$, пер. с англ., М., 1963; Инокути Х., Акамату Х., Электропроводность органических полупроводников, пер. с англ., М., 1963; Гуревич А. Г., Ферриты на сверхвысоких частотах, М., 1960; Полупроводники, Сб. ст., под ред. Н. Б. Хеннея, пер. с англ., М., 1962; Анселъм А. И., Введение в теорию полупроводников, Л.—М., 1962; Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры, пер. с англ., Л., 1962.

В. И. Баранов.

ПОЛУПРОВОДНИК ВЫРОЖДЕННЫЙ

(degenerate semiconductor; semi-conducteur dégénéré, entarteter Halbleiter) — ПП, у к-рого электронный газ находится в состоянии вырождения, т. е. темп-ра не оказывает заметного влияния на концентрацию носителей заряда, а распределение их по энергиям подчиняется статистике Ферми—Дирака. Количественно степень вырождения ПП характеризуется энергией электрона, определяемой по уровню Ферми (μ, *эв*) относительно краев зон *кристалла*. Если значение

$$\mu^* = \frac{\mu}{kT} \geqslant 0, \quad (1)$$

то ПП вырожден (μ^* — приведенный уровень Ферми, k — постоянная Больцмана). Энергетич. диаграмма П. в. показана на рис. 1. Величина уровня Ферми зависит от концентрации электронов n ($см^{-3}$) и от темп-ры T. Для случая полного вырождения уровень Ферми

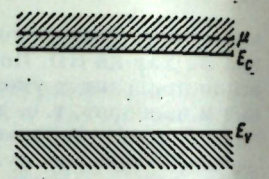


Рис. 1. Энергетич. диаграмма вырожденного ПП n-типа: E_v — край валентной зоны; E_c — край зоны проводимости.

$$\mu = \frac{h^2}{2m^*}\left(\frac{3}{8\pi}\right)^{2/3} n^{2/3} \ (эв), \quad (2)$$

где h — постоянная Планка, m^* — *масса эффективная* носителей заряда. Однако в ПП обычно имеет место частичное вырождение. В этом случае можно оценить положение уровня Ферми при известной концентрации примеси по кривой на рис. 2 (n $см^{-3}$ выражено через N_c — эффективную плотность состояний в зоне проводимости; $n = 0{,}75\ N_e$). Для точного определения величины μ необходимо знать зависимость m^* от концентрации носителей. Кроме того, при больших концентрациях примесей в кристалле может иметь место образование примесных зон, которые могут перекрываться с основными. Тогда положение уровня Ферми определяют с учетом размытия основных зон. Достаточно полно этот вопрос не изучен. Наиболее употребительным способом получения условия вырождения [5] является увеличение числа свободных носителей путем создания в кристалле больших концентраций примесей, близких к пределу растворимости. В нек-рых случаях условие вырождения может иметь место при

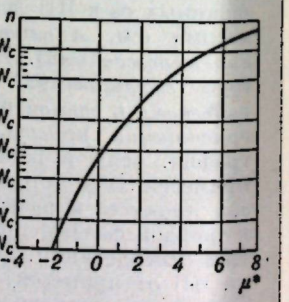


Рис. 2

достаточно низких темп-рах, а также при очень высоких давлениях (~ десятки тыс. *атм*).

Таблица 1

Полупроводник	m^*/m_0	N_d ($см^{-3}$)
Кремний	0,30	$2{,}0\cdot10^{19}$
Германий	0,20	$7{,}0\cdot10^{18}$
Галлий-мышьяк	0,06	$2{,}7\cdot10^{17}$
Индий-сурьма	0,013	$2{,}7\cdot10^{16}$

В табл. 1 для нек-рых ПП n-типа проводимости приведены значения концентраций примесей N_d, к-рые соответствуют началу вырождения. Это означает, что уровень Ферми совпадает с дном зоны проводимости. При расчете концентраций использовался критерий вырождения, данный в работе [5], но с учетом эффективных масс носителей из данных циклотронного резонанса (m_0 — масса свободного электрона). Чем меньше величины m^*, тем при меньших концентрациях примесей наступает вырождение ПП. Но всякая примесь приводит к вырождению. Это связано с различной растворимостью примесей в данном ПП. На рис. 3 и 4 соответственно для *германия* и *кремния* показаны кривые растворимости нек-рых примесей, которые создают наибольшее число носителей заряда в кристалле. Для *полупроводниковых соединений* типа $A^{III}B^{V}$ полных данных о растворимости примесей пока нет.

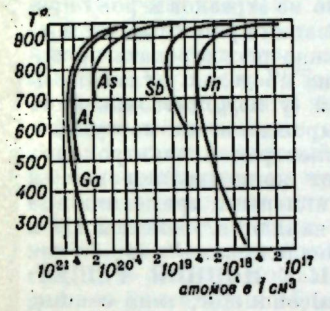


Рис. 3. Кривые растворимости примесей в германии.

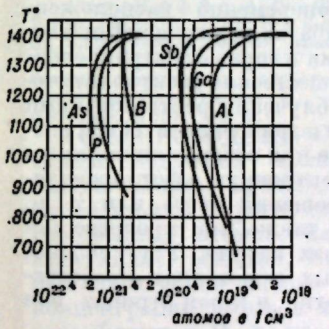


Рис. 4. Кривые растворимости примесей в кремнии.

Методы получения П. в. практически не отличаются от обычных способов получения *монокристаллов* (см. *Выращивание монокристаллов по Чохральскому*, *Зонная плавка*). Германий и кремний вытягивают из расплава с большим содержанием примеси (до 5—10%). Высоколегированные соединения $A^{III}B^{V}$ — обычно получают путем *диффузии примесей* из газовой фазы.

Св-ва П. в. отличаются от св-в невырожд. ПП. Представляет интерес вопрос о влиянии степени вырождения на механизм рассеяния носителей заряда, т. е. на взаимодействие электронов с решеткой кристалла. Это взаимодействие характеризуется зависимостью длины свободного пробега носителей (l, *см*), от энергии (E, *эв*) и темп-ры решетки (T°K). В общем виде

$$l(E, T) = l_0(T)\, E^r. \quad (3)$$

В случае рассеяния на колебаниях решетки $r = 0$, т. е. длина свободного пробега не зависит от энергии электрона. При рассеянии на ионах примеси $r = 2$. Исследование *подвижности носителей заряда* в ПП показывает, что в ряде случаев рассеяние обусловливается как тепловыми колебаниями решетки, так и ионами примесей. Достаточно подробно это рассматривается в работе [1].

На рис. 5 и 6 представлены графики зависимости уд. сопротивления кристалла (ρ, *ом·см*) от концентрации примесей для германия и кремния. Для p-типа германия имеет место одинаковая зависимость для всех указанных примесей вплоть до концентраций 10^{20} $см^{-3}$. В случае германия n-типа при легировании сурьмой и мышьяком наблюдается различие, начиная с концентраций $\sim 5\cdot10^{17}$ $см^{-3}$. То же самое происходит в n-типе и p-типе кремния почти для всех указанных примесей при достаточно высоких концентрациях ($\sim 10^{18}$ $см^{-3}$). Одно из возможных объяснений наблюдаемого различия в подвижностях для одной и той же концентрации различных легирующих примесей может быть связано с величинами энергии ионизации (напр., у сурьмы в германии энергия ионизации 0,0097 *эв*, у мышьяка 0,0127 *эв*).



Рис. 5.

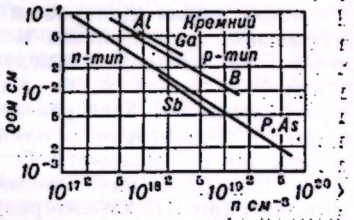


Рис. 6.

Др. особенность П. в. — наблюдаемое на опыте возрастание эффективной массы носителей с ростом концентрации примесей. Следует иметь в виду, что в П. в. из-за несферичности изоэнергетич. поверхностей m^*, определяемые из различных физ. явлений, могут не совпадать по величине.

Результаты экспериментов по определению зависимости m^* от концентрации носителей заряда для n-типа соединений — индий-сурьма, индий-мышьяк и галлий-мышьяк при двух возможных величинах коэфф. r приведены в табл. 2 [2]. Возрастание эффектив-

Таблица 2

n ($см^{-3}$)	m^*/m_0	
	$r=0$	$r=2$
	Индий-сурьма	
$3\cdot10^{16}$	0,029	0,011
$9\cdot10^{17}$	0,048	0,017
$2{,}5\cdot10^{19}$	0,098	0,033
	Индий-мышьяк	
$4{,}3\cdot10^{17}$	0,049	0,016
$2{,}1\cdot10^{18}$	0,052	0,019
$7{,}7\cdot10^{19}$	0,098	0,042
	Галлий-мышьяк	
$2{,}5\cdot10^{16}$	0,063	0,022
$4\cdot10^{17}$	0,087	0,032
$1\cdot10^{19}$	0,15	0,052

ной массы носителей в сильнолегированном германии в ф-ции концентрации примесей (см. табл. 3) было найдено из оптических измерений. Особенности П. в. проявляются также при исследовании коэфф. поглощения, термоэдс, теплопроводности, магнитных свойств и магнито-оптич. явлений [1].

Темп-рная зависимость концентрации носителей у П. п. в основном определяется суммой экспонент с энергиями ионизации каждого типа примеси

$$n+p \simeq a_1 e^{-\frac{E_1}{kT}} + a_2 e^{-\frac{E_2}{kT}} + \ldots + a_n e^{-\frac{E_n}{kT}},$$

где n и p — концентрация электронов и дырок, a_n — пост. коэфф., E_n — энергия ионизации примесных атомов, k — постоянная Больцмана, T — абс. темп-ра, e — основание натур. логарифмов. В связи с этим график зависимости проводимости от обратной темп-ры представляет собой ломаную линию, наклон каждого из отрезков к-рой определяет энергию ионизации примесных атомов.

Таблица 3

n (см$^{-3}$)	$2\cdot10^{18}$	$3{,}7\cdot10^{18}$	$1{,}1\cdot10^{19}$	$4{,}4\cdot10^{19}$	$5{,}2\cdot10^{19}$
m^*/m_0	0,14	0,14	0,21	0,24	0,26

П. в. применяется для изготовления *диодов туннельных*.

Лит.: 1) Самойлович А. Г. и Корен-блит Л. Л., «УФН», 1955, т. 57, в. 4, с. 577; 2) Емельяненко О. В., Кесаманлы Ф. П., Наследов Д. Н., «ФТТ», 1961, т. 3, в. 4, с. 1161; 3) Гашимзаде Ф. М., Кесаманлы Ф. П., там же, с. 1255; 4) Conwell E. M., «Phys. Rev.», 1956, v. 103, № 1; 5) Шокли В., Теория электронных полупроводников, пер. с англ., М., 1953; 6) Cardona M., Paul W. and Brooks H., «Helv. phys. acta», 1960, v. 33, № 5. *К. В. Черкас.*

ПОЛУПРОВОДНИК КОМПЕНСИРОВАННЫЙ (compensated semiconductor; semi-conducteur compensé; kompensierter Halbleiter) — ПП, в к-ром количество *доноров* и *акцепторов* приблизительно равно. В ПП материалах одновременно находится какое-то количество доноров и акцепторов, зависящее от степени очистки материала при его изготовлении. Разность числа доноров и акцепторов для примесной проводимости в области высоких темп-р определяет концентрацию основных носителей заряда и, следовательно, уд. сопротивление ПП. При равенстве количеств доноров и акцепторов с одинаковой энергией ионизации ПП обладает собств. проводимостью (см. *Полупроводник собственный*). Степень компенсации ПП характеризуется отношением суммарной концентрации доноров и акцепторов к разностной. Контроль ее производится путем раздельного измерения концентрации доноров и акцепторов по эффекту Холла в области гелиевых или водородных темп-р.

П. к. имеет более низкую подвижность носителей заряда вследствие их дополнит. рассеяния на скомпенсированных примесях. Кроме того, для П. к. характерны микронеоднородности по уд. сопротивлению. Наличие неконтролируемых примесей в П. к. затрудняет изготовление ПП приборов, особенно диффуз. методами, вследствие дополнит. диффузии, испарения и взаимодействия примесей. В отдельных случаях спец. компенсация используется как технологич. прием при изготовлении тянутых и термоконверсионных *транзисторов*, а также для получения высокоомных материалов, используемых в качестве детекторов ИК лучей.

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1957; Кекелидзе Н. П., Раздельное определение концентрации доноров и акцепторов в полупроводниках, «Тр. Тбилисск. ун-та», 1960, т. 86, с. 343—74. *Ю. А. Концевой.*

ПОЛУПРОВОДНИК ПРИМЕСНЫЙ (addition semiconductor; semi-conducteur à additions; legierter Halbleiter) — ПП, проводимость к-рого обусловлена ионизацией примесных атомов. Последние могут быть *донорами* или *акцепторами*; при избытке первых или вторых проводимость ПП будет соответственно электронной (n-типа) или дырочной (p-типа).

ПОЛУПРОВОДНИК С ИОННОЙ РЕШЕТКОЙ (ionic grid semiconductor; semi-conducteur à grille ionique; Halbleiter mit Ionengitter) — вещество с уд. электропроводностью 10^{-5}—10^{-10} $(ом\cdot см)^{-1}$, у к-рого химич. связь обеспечивается электростатич. притяжением между катионами и анионами. Типичным представителем П. с и. р. является кристаллич. поваренная соль. Кристаллич. решетка NaCl образована попеременно расположенными вдоль ребер куба положит. ионами натрия и отрицат. ионами хлора. Электропроводность у NaCl преимущественно электролитическая. В результате облучения рентгеновскими лучами или потоком электронов в NaCl возникают центры, к-рые при освещении видимым светом создают электронную фотопроводимость. Центры поглощения света или т. н. F-центры возникают также при прогреве поваренной соли в парах натрия. Установлено, что F-центр в ионных кристаллах представляет собой узел решетки, в к-ром отрицат. ион заменен электроном.

Второй пример П. с и. р. —хлористое серебро, для к-рого характерна также электролитич. проводимость, обусловленная ионами серебра. При освещении имеет место проводимость, вызванная электронами и дырками, имеющими сравнительно малую подвижность — 70 $см^2/в\cdot сек$ и 35 $см^2/в\,сек$ соответственно.

Все щелочногалоидные соединения представляют собой кристаллы с ионной решеткой, у к-рых в статич. полях (или для радиочастот) диэлектрич. постоянная $\varepsilon \simeq 5$. Для лучей с длиной волны $\simeq 10^{-4}$ $см$ $\varepsilon_0 \simeq 2{,}2$. Подобное различие наблюдается у всех ионных кристаллов. Напр., для окислов щелочно-земельных элементов $\varepsilon \simeq 10$, $\varepsilon_0 \simeq 3$; для галогенидов таллия $\varepsilon \simeq 30$, $\varepsilon_0 \simeq 5$ (при коэфф. преломления n, $\varepsilon_0 = n^2$). Это расхождение вызвано тем, что поляризация П. с и. р. связана, с одной стороны, со смещением электронных оболочек ионов и, с др., со смещением самих ионов. На ВЧ ионы не успевают смещаться и ε_0 обусловливается лишь искажением электронных оболочек.

В ионных кристаллах при отклонении от стехиометрич. состава избыточные компоненты внедряются в кристалл как атомы с нормальной валентностью. Такие атомы, расположенные в междуузлиях, являются донорами, если они соответствуют катионам решетки, и акцепторами, если — анионам. Дефекты, возникающие при отсутствии ионов в узлах решетки, также могут явиться донорами или акцепторами. Дефекты в ионных кристаллах могут перемещаться под влиянием теплового движения или электрич. поля и тем самым создавать ионный ток.

Замечено, что у кристаллов CdS, ZnS, ZnO, CdTe энергия ионизации донорных центров значительно меньше, чем акцепторных. Ширина *запрещенной зоны* ряда ионных кристаллов типична для ПП. Напр., у PbS $\Delta E_0 =$ = 1,04 *эв*, PbSe 0,83 *эв* и PbTe 0,62 *эв*. Подвижность электронов в PbS составляет $\sim$400 $см^2/в\cdot сек$, в PbTe — до 1500 $см^2/в\cdot сек$. Подвижность дырок в неск. раз меньше.

Новое истолкование электрич., фотоэлектрич. и оптич. явлений в П. с и. р. было дано, основываясь на предположении о возможности существования поляронных состояний. В таком состоянии электрон своим электрич. полем создает локальную поляризацию среды, к-рая притягивает электрон, вынуждая его двигаться в области локальной поляризации. Сов. физик С. И. Пекар развил количеств. теорию полярона и показал, что в П. с и. р. перенос зарядов осуществляется гл. обр. поляронами. Электроны в состоянии полярона могут поглощать и изучать свет, переходя из одних поляронных энергетич. уровней на др.

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1957; Пекар С. И., Исследования по электронной теории кристаллов, М.—Л., 1951; Мотт Н. и Герни Р., Электронные процессы в ионных кристаллах, пер. с англ., М., 1950; Бурштейн Э., Эглит П., «Проблема современной физики», 1957, № 8. *С. М. Файнштейн.*

ПОЛУПРОВОДНИК СОБСТВЕННЫЙ (particular ionization semiconductor; semi-conducteur propre; eigentlicher Halbleiter) — ПП, проводимость к-рого связана с ионизацией собственных атомов, находящихся в узлах кристаллич. решетки. Концентрация подвижных электронов в зоне проводимости равна концентрации *дырок* в валентной зоне. Уровень Ферми в П. с. проходит через середину *запрещенной зоны*, что и означает равенство концентраций. Температурная зависимость равновесной концентрации электронов и дырок определяется ф-лой:

$$n_0 = p_0 = aT^{3/2} e^{-\frac{\Delta E}{2kT}},$$

где a — постоянная, зависящая от плотности квантовых состояний в разрешенной зоне, T — абс. темп-ра, ΔE — ширина запрещ. зоны, e — основание натур. логарифмов. Т. к. подвижность электронов больше подвижности дырок, проводимость П. с. носит электронный характер. Проводимость П. с. обозначают буквой «*i*». Очистка ПП от примесей и получение П. с. является еще тех. проблемой. Удается получать кристаллы *германия*, проводимость к-рых приближается к собственной. Получаемые кристаллы *кремния* еще далеки от свойств П. с. *Н. М. Ройзин.*

ПОЛУПРОВОДНИК ФЕРРОМАГНИТНЫЙ (ferromagnetic semiconductor; semi-conducteur ferro-magnétique; ferromagnetischer Halbleiter) — вещество, по электрич. хар-кам соответствующее ПП и обладающее ферромагнитными св-вами. К П. ф. относят многие простые и сложные окислы металлов переходных групп периодич. системы элементов, а также нек-рые соединения этих металлов с серой, теллуром и селеном. Широкое применение в качестве магнитных материалов получили П. ф.— ферриты с общей хим. ф-лой: $Me_xFe_yO_z$, где Me, как правило, двухвалентный металл (Ni^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+} или Cd^{2+}). Кроме ферритов двухвалентных металлов, в технике применяют феррит лития $[Li_2O(Fe_2O_3)_6]$, ферригранаты $[Me_3Fe_2(FeO_4)_3$, где Me — трехвалентный ион иттрия или редкоземельных элементов] и гексаферриты $(BaO)(Fe_2O_3)_6$ или $(PbO)(Fe_2O_3)_6$. Благодаря сочетанию малой электропроводности с разнообразными магнитными св-вами, ферриты получили большое распространение в технике в качестве материалов для сердечников ВЧ контуров, пост. магнитов, элементов памяти вычислит. машин, устройств СВЧ и т. д.

П. ф. представляют собой твердые кристаллич. вещества черного или темно-коричневого цвета, похожие по механич. св-вам на керамику. Синтез производится из порошков соответствующих металлич. окислов путем реакции, происходящей в твердой фазе при темп-ре 1000—1400°.

Св-ва ферритов сильно зависят от хим. состава, размера частиц исходных окислов, степени их перемешивания, темп-ры и состава атмосферы обжига и режима последующего охлаждения. В зависимости от вида применяемых сырых материалов различают неск. основных способов получения ферритов: из окислов металлов, из солей металлов, путем совместного осаждения смесей гидроокисей из растворов.

При произ-ве ферритов применяется технология, сходная с технологией получения керамики. Смесь порошков окислов подвергается, как правило, первичному низкотемпературному обжигу в электрич. муфельных печах, после чего осуществляется окончат. термообработка (спекание) прессованных или литых заготовок изделий. Монокристаллы ферритов выращиваются из раствора исходных окислов в расплавленном растворителе (PbO, PbF_2 и др.) путем медленного охлаждения.

Магнитные и электрич. св-ва П. ф. в значит. степени определяются их кристаллич. строением. Известно неск. типов структур, в к-рых кристаллизуются ферриты: кубич. структуры типа шпинели ($MgAl_2O_4$), перовскита ($CaTiO_3$) и граната $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$, гексагональная структура типа магнетоплумбита ($PbO\cdot6Fe_2O_3$). Характерная для многих практически применяемых П. ф. структура шпинели является плотноупакованной гранецентрированной кубич. структурой ионов кислорода, в отдельных пустотах к-рой расположены ионы металла. Различают тетраэдрич. и октаэдрич. ионы металлов, окруженные соответственно 4 и 6 ближайшими ионами кислорода. Элементарная ячейка шпинели содержит 8 молекул $MeFe_2O_4$. По виду структуры различают нормальные и обращенные шпинели. В нормальной шпинели тетраэдрич. положения занимают ионы двухвалентных металлов, в обращенной шпинели эти положения занимают ионы трехвалентного железа.

Ф-ла для нормального феррита может быть записана в виде $Me^{2+}[Fe_2^{3+}]O_4$, а для обращенного $Fe^{3+}[Me^{2+}Fe^{3+}]O_4$. Широко известные в практике ферриты Ni, Mn, Fe, Cu и Mg являются обращенными шпинелями; ферриты Zn и Cd относятся к нормальным шпинелям. В ферритах со структурой типа шпинели, атомные магнитные моменты тетраэдрич. ионов ориентируются антипараллельно атомным моментам октаэдрич. ионов. Т. о., магнитную структуру П. ф. с кубич. решеткой можно представлять как состоящую из двух подрешеток с антипараллельно ориентированными магнитными моментами. Неэквивалентность подрешеток (нескомпенсированный антиферромагнетизм) приводит к отличному от нуля разностному магнитному моменту. В результате намагниченность насыщения П. ф. оказывается сравнительно невелика, в неск. раз меньше, чем у железа. Статич. магнитные св-ва П. ф. в основном близки к свойствам ферромагнитных металлов и сплавов. Уд. сопротивление большинства П. ф. лежит в пределах от 10^{-2} до 10^{10} *ом·см*, начальная магнитная проницаемость $\mu = 10 - 6000$ *гс/э*.

Таблица 1

Хим. ф-ла феррита	M_s (*гс*) при 20°	T_k (°C)	ϱ (*ом·см*)
Fe_3O_4	480	585	10^{-2}
$MnFe_2O_4$	400	300	10^5
$NiFe_2O_4$	270	585	10^6
$CoFe_2O_4$	425	520	10^7
$Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$	310	670	10^4
$BaFe_{12}O_{19}$	380	450	10^7
$Y_3Fe_5O_{12}$	135	290	10^7
$MgFe_2O_4$	120	440	10^{10}

Намагниченность насыщения M_s, темп-ра Кюри T_k и уд. электросопротивление ϱ некоторых простых ферритов приведены в табл. 1.

Наибольший интерес представляют св-ва П. ф. в перем. магнитных полях. Благодаря высокому электросопротивлению при перемагничивании П. ф. потери на вихревые токи незначительны. Потери энергии в основном определяются необратимыми (гистерезисными) процессами перераспределения в П. ф. областей самопроизвольной намагниченности, под действием перем. магнитного поля. Во внешнем пост. магнитном поле магнитная проницаемость П. ф. по отношению к вектор. полю электромагнитной волны является тензорной величиной. Тензор магнитной проницаемости несимметричен, что определяет невзаимный характер целого ряда эффектов, возникающих при распространении электромагнитных волн в П. ф. (эффект Фарадея, магнито-оптич. эффект Керра, невзаимность условий распространения электромагнитной энергии в намагнич. П. ф. и др.). Характерной особенностью тензора магнитной проницаемости является резонансная зависимость его компонент от пост. магнитного поля и частоты (эффект ферромагнитного резонанса). При достаточно больших перем. магнитных полях линейная зависимость между перем. составляющими намагниченности и поля в П. ф. нарушается. Это приводит к нелинейным явлениям, использующимся на практике в устройствах для магнитного детектирования, удвоения и преобразования частоты. Нелинейные св-ва П. ф. позволяют также генерировать и усиливать колебания СВЧ.

В зависимости от применения состав ферритов изменяется в широких пределах в системах $NiO-ZnO-Fe_2O_3$; $MgO-ZnO-Fe_2O_3$; $MnO-ZnO-Fe_2O_3$; $Li_2O-ZnO-Fe_2O_3$ и $MgO-Cr_2O_3-Fe_2O_3$. Эти материалы широко используются в радиочастотных устройствах и импульсной технике в качестве сердечников катушек индуктивности, ВЧ дросселей, в широкополосных импульсных и строчных тр-рах, в схемах разверток телевиз. приемников, в магнитных антеннах и т. д. Применение П. ф. с прямоугольной петлей гистерезиса в электронных вычислит. машинах увеличило быстродействие и объем памяти этих машин. Магнитожесткие П. ф. (в особенности гексоферрит бария — $BaFe_{12}O_{19}$) используются для изготовления пост. магнитов, отличающихся высокой коэрцитивной силой (2000—3000 *э*), большим электросопротивлением и малым уд. весом. Гиромагнитные св-ва намагнич. П. ф. используются в технике СВЧ для создания волноводных устройств, не удовлетворяющих принципу взаимности (вентили, циркуляторы, фазовращатели и др.). Нек-рые области применения П. ф. даны в табл. 2.

Лит.: Смоленский Г. А. и Гуревич А. Г., в кн.: Полупроводники в науке и технике, т. 2, М.—Л., 1958; Гуревич А. Г., Ферриты на сверхвысоких частотах, М., 1960; Рабкин Л. И., Высокочастотные ферромагнетики, М., 1960; Рабкин Л. И., Соскин С. А. и Эпштейн Б. Ш., Технология ферритов, М.—Л., 1962; Smit J. and Wijn H. P. J., Ferrites; physical properties of ferrimagnetic oxides in relation of their technical application, [Eindhoven], 1959. *Б.Е. Левин, С.С.Старобинец.*

Таблица 2

Рабочая частота	Тип феррита	μ_0 (*гс/э*)	Области применения
100 *кгц*	Ni—Zn	600—300	Катушки фильтров и контуров, пупиновские катушки, широкополосные тр-ры, головки магнитофонов, тр-ры промежуточной частоты, стабилизаторы, магнитные усилители
10—1000 *кгц*	Mn—Zn	2500—1000	
500—5000 *кгц*	Ni—Zn	1200—20	Ферритовые антенны, т-ры для строчной развертки, ВЧ катушки и фильтры
1—25 *Мгц*	Ni—Zn	100—50	Антенны, ВЧ катушки, фильтры, линии задержки
25 *Мгц*	Ni	15	
500—30 000 *Мгц*	Mg—Ni Mg—Mn Mg—Al Mg—Cr	—	Антенные переключатели, гираторы, фазовращатели, вентили, циркуляторы, СВЧ фильтры, модуляторы
До 3 *Мгц*	Mg—Mn	50	Импульсная техника, магнитные усилители, счетные машины, матричные элементы

ПОЛУПРОВОДНИКА ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ (semiconductor parameters measurement; mesure des paramètres de semi-conducteur; Messung der Halbleiter-Parametern) — нахождение величин, характеризующих ПП: уд. сопротивления, времени жизни носителей заряда (диффузионной длины), плотности дислокаций. Предварительно определяют: тип проводимости, ориентацию кристаллографич. направлений (см. *Ориентация кристалла*). Перед П. и. п., как правило, производят поверхностную механич. и химич. обработку (см. *Травление*) измеряемых образцов ПП.

Тип проводимости ПП определяется: 1) По направлению тока *термоэдс*, возникающей между нагретым (напр., до 323°К) и холодным (напр., при комнатной темп-ре) металлич. зондами (медь, алюминий и др.), при соприкосновении их с поверхностью исследуемого образца ПП. Зонды соединяются с зажимами гальванометра, при этом нагретый контакт обладает положит. потенциалом, а холодный — отрицательным. При возникновении тока отклонение стрелки в положит. направлении соответствует *n*-типу, а в противоположном — *p*-типу проводимости (см. *Электропроводность* ПП). 2) По знаку коэфф. Холла R, определяемого из эффекта Холла: при пропускании электрич. тока $I(a)$ через образец ПП, находящийся в однородном магнитном поле $H(э)$, перпендикулярно последнему возникает эдс $U_x = \frac{RIH}{10^8 a}$ (*в*), где a(*см*) — толщина образца; откуда $R = \left|10^8 \cdot \frac{U_x a}{IH}\right|$ *см*³/*к*. Знак при R обусловливается типом проводимости исследуемого образца ПП; он положителен при дырочной и отрицателен при электронной проводимости. Для ПП численное значение R достигает 10^5 *см*³/*к* (для металлов 10^{-3} *см*³/*к*). Измерение R осуществляется на пост., перем. или импульсном токе (чаще на пост. токе в сочетании с компенсац. методом; см. *Мостовые измерения*) при темп-рах от 4°К и выше, по схеме, показанной на рис. 1. 3) По вольтамперной хар-ке *контакта полупроводник — металл*. В электронном ПП прямой ток имеет направление от кристалла к металлич. острию; в дырочном — наоборот.

При измерении удельного сопротивления (величина, обратная электропроводности) через контакты на концах *монокристалла* (поликристалла) ПП пропускается электрич. ток и фиксируется падение напряжения между двумя подвижными зондами (двухзондовый метод), при этом пренебрегают переходными процессами, возникающими вследствие влияния несовершенства механич. контакта или *запирающих слоев*. Для устранения ошибок измерения применяют компенсац. метод. Однако в поликристаллах влияние переходных процессов между границами отдельных кристаллич. зерен не исключается. Они отсутствуют в монокристаллах и в случаях, когда измерения происходят при ВЧ напряжении, при к-ром емкостный ток в переходных слоях больше, чем ток проводимости. Во многих случаях необходимо избежать влияния *инжекции неосновных носителей заряда* через токовые контакты, к-рая увеличивает концентрацию носителей и уменьшает сопротивление, изменяя падение напряжения между зондами. Влияние инжекции устраняется или значительно уменьшается при применении сварного контакта, а также точечного контакта, соприкасающегося с грубо обработанной поверхностью. За исключением особых случаев, измерения осуществляют при 291—293°К. Уд. сопротивление образцов при применении двухзондового метода рассчитывают по ф-ле: $\varrho = Us/Il$ (*ом·см*), где s (*см*²) — поперечное сечение образца. Широко используется четырехзондовый метод: вольфрамовые зонды расположены по прямой линии насколько возможно близко друг к другу; через наружные зонды пропускается ток, а на внутр. паре измеряется напряжение U. Если расстояние между зондами сделать равным 1,27 *мм*, то уд. сопротивление определяется по ф-ле $\varrho = 0{,}3U/I$ (*ом·см*). Имеется в виду, что диаметр точечного контакта d мал сравнительно с

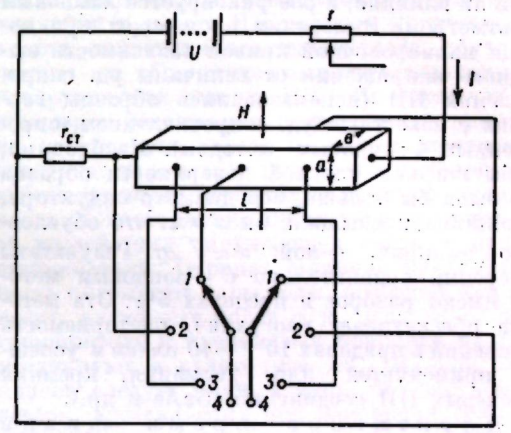


Рис. 1. Схема измерения уд. сопротивления и коэфф. Холла: a и b — высота и ширина образца ПП; l — расстояние между зондами; H — напряженность магнитного поля; I — ток; r — перем. сопротивление; $r_{ст}$ — стандартное пост. сопротивление; U — регулируемое напряжение источника тока. Клеммы для измерений: *11* — эдс Холла U_x, *22* — тока I, *33* — напряжения на зондах U_3, *44* — для включения потенциометра.

расстоянием между зондами l, и если $d/l \leqslant 0{,}05$, то измерение производится с ошибкой менее 2%. При измерениях имеет место влияние краевого эффекта. Если зонды относительно границы образца расположены параллельно и отношение расстояния от границы l_1 к расстоянию между зондами l равно нулю, то ошибка достигает 50%, при $l_1/l = 1$ до 15%, а при $l_1/l \geqslant 3$ ошибка незначительна или отсутствует. При перпендикулярном расположении зондов, если $l_1/l \leqslant 1$ — ошибки измерения составляют 5—30%, при $l_1/l \geqslant 2$ они малы. Величина тока также влияет на результат измерения (от 0,01 до 10 *ом·см* применяют ток в 1 *ма*). Конструкция прибора имеет много вариантов, вплоть до непрерывной записи распределения сопротивления вдоль образца. Метод применяется для измерения ϱ на слитках и на тонких пластинках. На образцах в форме параллелепипеда чаще применяется 2-зондовый метод. Иногда комбинируют оба метода. Для измерения ϱ высокоомных образцов Si и SiC применяют электрометрич. схемы, напр., описанную амер. ученым Дж. Фишером и др. (см. *Лит.*). Существуют бесконтактные методы

измерения ρ; они используются, напр., тогда, когда образец ПП не вынимается из установки и измерение ведут в процессе его создания, при этом не производится механич. и хим. обработки поверхности кристалла и исключается влияние контактной разности потенциалов, инжекции носителей заряда и т. д. Напр., при помощи радиометрич. схемы производится оценка ρ сравнительно с измерениями 4-зондовым методом. В основе методики лежит возникновение вихревых токов в образце ПП под влиянием электромагнитного поля. Схема состоит из блоков: спирального индуктора (в поле к-рого помещается исследуемый образец ПП); генератора (катодный повторитель, усилитель с заземленной сеткой и пост. нулевым смещающим напряжением; частота 10 *Мгц*); фильтра (срезающего колебания, изменяющие настройку контура). Введение образца в поле индуктора оказывает на настройку цепи влияние, к-рое фиксируется ламповым вольтметром. Измерения производят при помощи калибровочной кривой зависимости выходного напряжения от величины уд. сопротивления ПП (использовались образцы германия с известным уд. сопротивлением, определенным 4-зондовым методом). Необходимо, чтобы ширина плоской поверхности образца ПП была бы больше, чем диаметр индуктора, а толщина превышала бы x *мм*, что обусловлено эмпирич. ф-лой: $x=\sqrt{2\rho}$. Результаты измерений сравнительно с 4-зондовым методом имеют разброс в пределах 5%. Эта методика обеспечивает неогранич. повторяемость измерений в пределах 10^{-3}—10 *ом·см* и успешно применяется для германия, кремния и нек-рых ПП соединений (GaAs и др.).

Эффективное время жизни инжектированных неосновных носителей заряда (ННЗ) определяется рекомбинацией в объеме и на поверхности ПП (см. *Время жизни носителей заряда*, *Рекомбинация носителей заряда*). Первую характеризует объемное время жизни τ, а вторую — *скорость поверхностной рекомбинации s*. Методы их измерения, как правило, базируются на определении концентрации инжектированных носителей заряда как ф-ции времени и координат. Существуют: 1) методы, основанные на изучении дрейфа (дрейфовой подвижности, «затухания» импульса); 2) методы модуляции проводимости (Шиттцера, затухания фотопроводимости, нулевой метод Мэнн); 3) методы диффузии ННЗ; 4) методы на основе исследования *электронно-дырочного перехода* или точечного контакта металл — ПП; 5) фотомагнитоэлектрич. методы; 6) фазовые методы. Теория этих методов предполагает равенство концентраций избыточных дырок и электронов (свободных и захваченных ловушками), т. е. электрич. нейтральность. ННЗ инжектируются эмиттером из материала, тип проводимости к-рого обратен исследуемому. При инжекции светом, поглощаемым образцом ПП, генерируются пары: электрон—дырка. При инжекции из сильно легированного материала в менее легированный, но того же типа проводимости, говорят об инжекции основных носителей заряда. При инжекции в *полупроводник собственный* нет деления на основные и ННЗ. Следует также указать, что большинство перечисл. методов эквивалентны друг другу при отсутствии явления прилипания или в предположении, что время нахождения носителей заряда на ловушке до рекомбинации значительно меньше среднего времени жизни, и тогда прилипанием можно пренебречь. При наличии прилипания, существенно влияющего на изменение времени жизни носителей заряда, в расчеты вводят коэфф. — «фактор прилипания». Приводим сущность нек-рых методов. 1) Метод затухания фотопроводимости (рис. 2): образец ПП освещается короткими прямоугольными импульсами света, с малой частотой следования, при этом через образец пропускается небольшой измерит. ток. При помощи временны́х меток на осциллографе определяется экспоненциальное напряжение на зажимах образца, пропорциональное неравновесной концентрации ННЗ. Время их жизни определяется по кривой затухания $\tau^{1/2}/\ln 2$. 2) Метод диффузии ННЗ: в огранич. область образца ПП вводятся ННЗ без наложения электрич. поля; под влиянием градиента концентрации введенные носители диффундируют в остальные области образца. Определяя концентрацию ННЗ на разных расстояниях от точки введения, узнают *диффузионную длину L*. Аналогичное явление можно получить (рис. 3), освещая узким пучком света поверхность образца, на к-рой находится коллектор, и изменяя расстояние между световым пятном и коллектором (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*). При этом между коллектором и неосвещенной областью образца диффундирующие ННЗ создают разность потенциалов $U\approx p=p_0e^{-r/L}$, где p и p_0 (*см*$^{-1}$) — концентрация дырок в данной точке и при граничных условиях; r (*см*) — расстояние между световым зондом и коллектором, e — основание натур. логарифмов. Перемещением пучка света получают U как ф-цию r, откуда и определяется $L=\sqrt{D\tau}$, где D—коэфф. *диффузии носителей заряда*. Этот метод позволяет определять $\tau>1$ *мксек*. Основной источник ошибок этого метода — поверхностная рекомбинация при расчетах считается пренебрежимо малой. Здесь так же, как и во многих случаях, для приближ. определения τ, строят вспомогат. диаграммы $[\tau=f(\Delta r)]$. 3) Фотомагнитоэлектрический метод — сочетание эффекта Холла с диффузией носителей заряда, генерированных светом: на образец ПП падает свет, поглощаемый поверхностью (рис. 4). При небольшой s вблизи поверхности возникает большая избыточная концентрация носителей заряда. Электроны и дырки, диффундируя

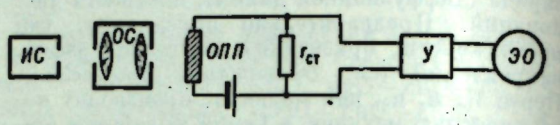


Рис. 2. Схема определения эффективного времени жизни ННЗ методом затухания фотопроводимости: *ИС* — источник света; *ОС* — оптич. система; *ОПП* — образец ПП; *У* — усилитель; *ЭО* — электронный осциллограф.

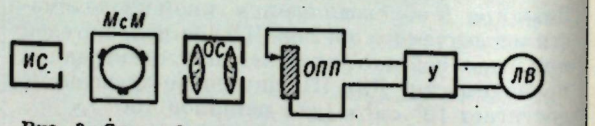


Рис. 3. Схема фотоэлектрич. метода определения времени жизни ННЗ: *МсМ* — мотор с модулятором; *ЛВ* — ламповый вольтметр.

в глубь образца, отклоняются магнитным полем H вправо и влево на углы Холла θ_n и θ_p. Электронная и дырочная составляющие тока складываются и при кз дают его полный ток $I_{кз}$. В условиях хх ток кз компенсируется током дрейфа (вправо), обусловленным пост. полем хх фотомагнитоэлектрич. эффекта. В этих исследованиях измеряют ток кз и относит. увеличение проводимости образца $\Delta\sigma/\sigma$ при той же интенсивности света, но в отсутствии магнитного поля. Учитывая толщину образца ПП, направление магнитного поля, значения подвижностей электронов и дырок, их коэфф. диффузии, диффуз. длину, углы Холла строят семейства кривых, по к-рым определяют величины τ и s. Чувствительность этого метода измерения τ находится ок. 10^{-10} сек.

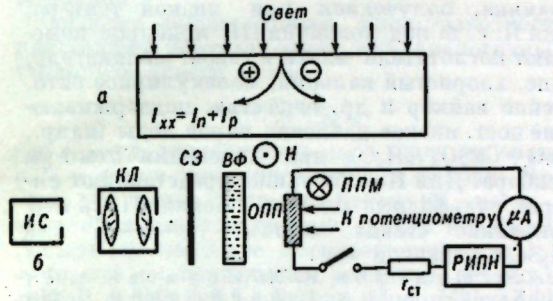


Рис. 4. Фотомагнитоэлектрич. эффект в ПП: *а* — сущность явления; *б* — принципиальная схема для измерения τ и s: *КЛ* — конденсорная линза; *СЭ* — светонепроницаемый экран; *ВФ* — водяной фильтр; *ППМ* — подвижный пост. магнит; *РИПН* — регулируемый источник пост. напряжения; *μА* — микроамперметр.

Плотность дислокаций N_d (число *дислокаций* на 1 *см*^{2} поверхности) определяется методами: химическим (травлением поверхности), рентгеновским, декорирования дислокаций с последующим просвечиванием в ИК свете, наблюдения в поляризованном свете упругих полей вокруг дислокаций и т. д. В элементарных ПП N_d может иметь значения 10—10^5 *см*$^{-2}$. Удается получать кристаллы, не имеющие дислокаций.

Помимо параметров и хар-к, предусмотренных тех. условиями, по к-рым изготовляются ПП материалы, при исследованиях, разработке и изготовлении ПП и приборов из них определяют: ширину *запрещенной зоны* ΔE (*эв*); концентрацию электронов n и дырок p(*см*$^{-1}$), их подвижности μ_n и μ_p (*см*^{2}/*в·сек*) (см. *Подвижность носителей заряда* в ПП); коэфф. диффузии D (см. *Диффузия носителей заряда* и *Диффузия примесей* в ПП); *массу эффективную* носителей заряда m^*; коэфф. теплопроводности λ (*вт*/*м·град*); коэфф. температуропроводности K (*м*^{2}/*сек*), уд. теплоемкость $c_{уд.}$ (*дж*/*кг·град*); уровень Ферми μ (*эв*) в примесных ПП и др. Методы измерения этих и др. величин см. *Лит.*

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1957; Калашников С. Г., Ландсберг Е. Г., Исследование фотомагнитоэлектрического эффекта как метод определения объемной длины диффузии в германии, «ЖТФ», 1958, т. 28, вып. 7, с. 1387; Копыловский Б. Д., Фазовый метод измерения времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниках, «ПТЭ», 1959, № 2; Франк Г., Шнейдер В., Полупроводниковые приборы, пер. с чешск., Прага, 1960; Даннэп У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959; Буш Г., Винклер У., Определение характеристических параметров полупроводников по электрическим, оптическим и магнитным измерениям, пер. с нем., М., 1959; Технология полупроводниковых материалов, пер. с англ., под ред. М. И. Иглицына, М., 1961; Henisch H. K. and Zucker J., Contactless method for the estimation of resistivity and lifetime of semiconductors, «Rev. Scient. Instrum.», 1956, v. 27, № 6, p. 409; Fischer G., Greig D., Mooser E., Apparatus for the measurement of galvanomagnetic effects in high resistance semiconductors, там же, 1961, v. 32, № 7, p. 842—46; Brice J. C. and Moore P., Contactless resistivity meter for semiconductors, «J. Scient. Instrum.», 1961, v. 38, № 7, p. 307; Weingarten J. R. and Rothberg M., Radio-frequency carrier and capacitive coupling procedures for resistivity and lifetime measurements on silicon, «J. Electrochem. Soc.», 1961, v. 108, № 2, p. 167—71. *В. И. Баранов.*

ПОЛУПРОВОДНИКА СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ (semiconductor surface stabilisation; stabilisation de la surface de semi-conducteur; Stabilisierung der Halbleiter-Oberfläche) — создание условий, при к-рых исключаются процессы, вызывающие изменение параметров поверхности ПП. При хранении и работе ПП прибора могут происходить изменения его параметров, обусловленные гл. обр. процессами, протекающими в поверхностных слоях ПП. Перемещение и изменение содержания посторонних примесей на поверхности влечет за собой изменение электрич. параметров материала прибора. Во избежание этого необходимо очистить поверхность от посторонних примесей и защитить ее от воздействия окружающей среды с целью стабилизации. Отрицат. влияние на стабильность оказывают пары воды, особенно при относит. влажности более 30%. Для П. с. п. в германиевых и кремниевых приборах их герметизируют в сухом газе (N_2, H_2 или He), причем следует иметь в виду, что часть процессов, протекающих при изменении темп-ры и относит. влажности, имеет бо́льшую постоянную времени. Время, требуемое для достижения равновесия, велико (48 час.). Этот эффект в различной степени наблюдается в большинстве выпускаемых *транзисторов* и наз. «48-часовым эффектом». Сборку приборов производят в камерах-скафандрах, в к-рых создается контролируемая газовая среда с пониженной влажностью. Однако, несмотря на тщательную герметизацию транзисторов, все же наблюдается дрейф их хар-к. Этот дрейф вызван изменениями поверхностного потенциала вблизи коллекторного и эмиттерного переходов. Для уменьшения «48-часового эффекта» и улучшения стабильности целесообразно тщательно удалить влагу (влаги в транзисторе должно быть меньше $1—2\cdot10^{-3}$ *мг*, или точка росы должна быть не меньше 60°) из герметичной оболочки прибора нагреванием его в течение неск. час. при темп-ре выше номинальной или использовать геттер, у к-рого способность удерживать воду значительно выше, чем у слоя окисла германия или кремния, имеющегося всегда на реальной поверхности. Для защиты поверхности ПП его покрывают лаком МБК-1, эпоксидной смолой. Метод защиты ПП от воздействия окружающей среды, основанный на образовании силиконовых полимеров непосредственно из мономеров на самой поверхности ПП, позволяет улучшить параметры и стабильность ПП приборов.

Формула органо-силановых соединений, применяемых для защиты: $R_{4-i}SiX_i$, где R — органич. радикал, X — гидролизуемая часть соединения (напр., галоид), $i=1, 2, 3$. Дихлорметилсилан $(CH_3)_2SiCl_2$, напр., является представителем этого класса соединений.

Очищенную поверхность погружают на короткое время в силан, после чего при темп-ре 120° производят полимеризацию в термостате, в результате чего на поверхности образуется силиконовый полимер. Нестабильность ПП может быть связана с наличием на его поверхности недоброкачеств. тонкой окисной пленки. Эта пленка, находящаяся между ПП и окружающей средой, не очень плотно примыкает к ПП и не может подвергаться непосредств. контролю. Будучи открытым пористым материалом, подобным силикагелю, окисная пленка впитывает воду и ионы металлов, заполняя поры и щели. Окисная пленка может отдавать или захватывать электроны, вызывая изменение числа носителей заряда в приповерхностной области ПП, что влечет за собой изменение параметров прибора. Это св-во окисной пленки зависит как от самих примесей в окиси, так и от окружающей среды. Как следует из опытов по эффекту поля, толстые окисные пленки, полученные в определ. условиях, затрудняют обмен между носителями области пространств. заряда и медленными состояниями, связанными с окружающей средой, т. е. стабилизируют поверхность. Для П. с. п. в кремниевых приборах специально наносят толстую пленку SiO_2.

В процессе травления ПП происходит поглощение поверхностью примесей из травителя. Целесообразно применять травитель, содержащий минимальное количество примесей. Многократная обработка протравленных германиевых пластинок кипящей дистиллированной водой не приводит к полному освобождению поверхности от адсорбированных на ней катионов (Na, Ca, Fe, Cu). На поверхности могут быть еще и газообразные примеси (N_2, CO, CO_2). Для удаления с поверхности катионов рекомендуют производить дополнит. очистку материала в веществах, к-рые образуют стабильные комплексы с металлич. ионами. После травления ПП промывают деионизированной водой с уд. сопротивлением 10—20 *Мом·см*. Механич. загрязнения с поверхности удаляют ультразвуком, а для уменьшения хемосорбции полярных веществ ПП промывают неполярными органич. жидкостями. С целью очистки очень малых пор, имеющихся на поверхности ПП, от следов электролита используют воду, из к-рой удалены кипячением пузырьки воздуха. Кислород, начиная от давления 10^{-2} *мм рт. ст.*, а пары воды, начиная с 4,6 *мм рт. ст.*, влияют на пробивное напряжение, обратный ток и коэфф. усиления по току для германиевых n—p—n- и p—n—p-структур. Адсорбция газов и паров на поверхности *электронно-дырочных переходов* приводит иногда к появлению инверсионного слоя, вызывающего образование канала, расширяющего площадь перехода. По этой причине возрастает обратный ток, к-рый будет зависеть от окружающей среды в случае плохой защиты перехода. При плохой очистке поверхности ПП от ионов металла и наличии на поверхности молекул воды возникает ионная проводимость, ухудшающая параметры прибора. Причиной дрейфа хар-к ПП приборов может быть перемещение заряда в поверхностных состояниях. На практике для защиты поверхности часто используют инертное вещество (силиконовая замазка), к-рое, кроме того, улучшает теплопроводность между переходом и корпусом. Для улучшения стабильности все детали прибора отжигаются в вакууме до герметизации в инертной газовой среде. Герметизация осуществляется холодной сваркой. Для обеспечения стабильной поверхности ПП и предотвращения выхода из строя транзистора из-за механич. повреждений после герметизации его подвергают старению при макс. рабочем режиме. Положит. результаты по защите поверхности ПП приборов дает пленка *карбида кремния*, полученная при низкой темп-ре. Для П. с. п. под колпачки ПП приборов помещают поглотители влаги и газов: силикагель, гипс, хлористый кальций, молекулярное сито, стекло вайкор и др. вещества, поддерживающие пост. низкое давление паров воды (напр., $BaO+CaSO_4{}^1/_2H_2O$) при изменении темп-ры прибора. Для П. с. п. также представляют интерес сульфидные пленки, пленки TiO_2, легкоплавкие стекла состава As—S—J_2 или Tl_2Se с добавкой Ge.

Лит.: Кулешов И. М., Наумова А. Ф., «ЖФХ», 1958, т. 32, в. 1; Файнштейн С. М., Роль состояния поверхности в производстве полупроводниковых приборов, М.—Л., 1961; Atalla M. M., Tannenbaum E., Scheibner E. J., «Bell System Techn. J.», 1959, v. 38, № 3, p. 749—83; Cooper R. I. B., «Proc. I. R. E.», 1962, v. 50, № 2, p. 141—47.

С. М. Файнштейн.

ПОЛУПРОВОДНИКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ (semiconductor heat conductivity; conductivité thermique de semi-conducteur; Halbleiter-Wärmeleitung)— передача (перенос) телом тепловой энергии при наличии на нем градиента темп-ры. Для случая изотропного твердого тела теплопроводность есть коэфф. пропорциональности между тепловым потоком (q) и градиентом темп-ры: $q=-\varkappa\ \mathrm{grad}\ T$.

В твердом теле перенос тепла осуществляется атомами кристаллич. решетки и свободными носителями (электронным газом). В металлах, где концентрация носителей достигает 10^{22} *см*$^{-3}$, электронный механизм теплопроводности является преобладающим. В изоляторах с малой концентрацией носителей практически вся теплопроводность обусловлена переносом тепла атомами кристаллич. решетки. П. т. определяется, как правило, обоими факторами.

Механизм электронной теплопроводности заключается в переносе тепловой энергии свободными носителями, движущимися в зоне проводимости или в верхней части валентной зоны.

Доля электронной составляющей в общей П. т. связана с концентрацией свободных носителей, а следовательно, и с электропроводностью ПП по закону Видемана—Франца:

$$\varkappa_{эл}=A\,(k/e)^2\,\sigma T,$$

где A — член, зависящий от механизма рассеяния носителей и от степени вырождения электронного газа. Для невырожденных ПП при рассеянии носителей на акустич. ветви колебаний кристаллич. решетки $A=2$, для случая сильного вырождения (металл) $A=\frac{\pi^2}{3}$.

Механизм, обусловливающий теплопроводность кристаллич. решетки, состоит в передаче тепловой энергии колебаниями (упругими волнами) атомов решетки. В идеальном кристалле с атомами, связанными упругими силами, колебания были бы строго гармоническими и кристалл в целом обладал бы бесконечной теплопроводностью. Конечная величина

теплопроводности кристаллич. решетки связана с ангармоничностью колебаний в реальном кристалле и взаиморассеянием упругих волн. В понятиях квантовой механики изменения энергии упругих колебаний при актах рассеивания связывают с появлением и исчезновением квазичастиц—фононов. Поэтому часто решеточную часть теплопроводности наз. фононной.

Согласно теории Дебая, теплопроводность кристаллич. решетки имеет вид, аналогичный теплопроводности газов:

$$\varkappa_ф=\tfrac{1}{3}\,cv_ф l_ф,$$

где c — уд. теплоемкость, $v_ф$ — скорость звука и $l_ф$ — длина свободного пробега фонона. При темп-рах выше темп-ры Дебая (θ), когда в кристалле имеется полный спектр колебаний (вплоть до наиболее коротковолновых с $\lambda=2a$, где a — постоянная решетки), интенсивность колебаний растет пропорционально абс. темп-ре. Поэтому $\varkappa_ф\simeq T^{-1}$. Однако это относится к случаю решетки со структурой, близкой к идеальной. В случае т. н. «дефектной» решетки (напр., у твердых растворов бинарных или более сложных систем) фононная теплопроводность может быть довольно резко снижена за счет дополнит. рассеяния фононов на сверхструктуре решетки. В этом случае дополнит. рассеяние является преобладающим во всем интервале темп-р и повышение темп-ры слабо влияет на $\varkappa_ф$.

У ряда ПП соединений существ. влияние на $\varkappa_ф$ оказывают примеси, обусловливающие дополнит. рассеяние фононов, вследствие чего происходит снижение $\varkappa_ф$.

У ПП и полуметаллов, обладающих сравнительно небольшой шириной *запрещенной зоны* (до 0,6—0,8 *эв*) в определ. условиях (при малых концентрациях примесей, высоких темп-рах) наблюдается увеличение теплопроводности, обусловленное биполярной диффузией. Эта составляющая теплопроводности ПП может достигать значений, сравнимых с $\varkappa_ф$, и даже превышать их при наличии высокой темп-ры, значительной подвижности и концентрации носителей второго знака. При этом тепло переносится парами электрон — дырка, образующимися на горячем спае, диффундирующими к холодному спаю и рекомбинирующими с выделением суммарной тепловой энергии, равной тепловой энергии электрона и дырки плюс энергия, соответствующая ширине запрещ. зоны.

Наличие у ПП механизма образования экситонов приводит к существованию экситонного члена теплопроводности, сходного по своему характеру с членом, обусловленным биполярной диффузией. Однако еще нет убедит. эксперимент. подтверждения этого, т. к. экситонную теплопроводность весьма трудно отделить от теплопроводности, обусловленной биполярной диффузией.

Фононная П. т. и ПП соединений меняется в весьма широких пределах от 0,2 *кал/см·сек·град* у Si до $1{,}5\cdot10^{-3}$ *кал/см·сек·град* у таких соединений, как $AgSbTe_2$.

Е. К. Иорданишвили.

ПОЛУПРОВОДНИКИ ОРГАНИЧЕСКИЕ (organic semiconductors; semi-conducteurs organiques; organische Halbleiter) отличаются от неорганических (германия, соединений типа $A^{III}B^{V}$ и др.) тем, что получаются в виде молекулярных кристаллов или полимерных органич. материалов (пленок, порошков, нитей или тканей). П. о. в основном охватывают 3 группы соединений. К 1-й группе относят П. о., имеющие делокализованные электроны за счет большого числа сопряженных двойных связей в молекуле: двумерные структуры типа полиароматич. соединений (виолантрен, пирен, рис. 1, *а*, *б*), одномерные цепочки

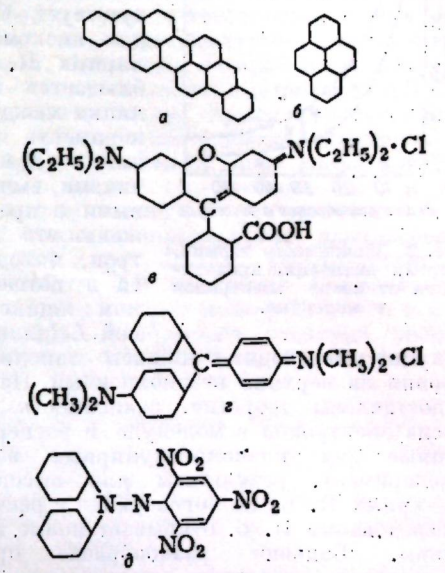


Рис. 1. Структурные ф-лы нек-рых органич. ПП.

(—CR=CR—)$_n$, красители (родамин, малахитовый зеленый, рис. 1, *в*, *г*), полифталоцианин, политетрацианэтилен, спец. обработанный полиакрилонитрил. Во 2-ю группу входят стабильные свободные радикалы. Они найдены в карбонизованных органич. материалах и в твердых веществах, подвергнутых облучению. Синтезированы свободные радикалы, напр. α—α′-дифенилпикрилгидразин (рис. 1, *д*). 3-я группа П. о.— молекулярные комплексы, обычно нестойкие вещества, образованные полициклич. ароматич. углеводородами с *донорами* или *акцепторами*.

П. о. можно получить спец. обработкой высокополимерных веществ или выделить из биологич. объектов (хлорофилл, гемоглобин). Низкомолекулярные П. о. подвергаются очистке с помощью перекристаллизации из растворов, возгонки в вакууме, хроматографии и т. д. Нек-рые П. о. (антрацен, пирен, фталоцианин) получены в виде монокристаллов. П. о. с большим молекулярным весом (глубоко окраш. пленки, нити, порошки и ткани, нерастворимые, неплавкие и плохо прессующиеся) слабо поддаются очистке. Полимерные П. о. обладают высокой термостабильностью структуры (при 773°К и выше).

Для низкомолекулярных соединений с термич. энергией активации электропроводности ΔE от 0,5 до 3,5 *эв* характерны высокие уд. сопротивления ρ от 10^7 до 10^{20} *ом·см*. Высокомолекулярные вещества, молекулярные комплексы и свободные радикалы имеют ΔE от 0,01 до 1 *эв* и ρ от 1 до 10^6 *ом·см*. У высокомолекулярных П. о. ρ и ΔE могут соответствующей обработкой (прогрев, изменение молекулярного веса) варьироваться в очень широких пределах.

Величина термоэдс для П. о. составляет 50—100 *мкв/град* и для большинства веществ

соответствует положит. знаку носителей заряда. Однако получают материалы обоих типов проводимости.

П. о. поглощают свет в видимой и ближней ИК областях. Фотоэлектрич. явления (фотопроводимость и фотовольтаич. эффект) исследованы только для красителей. Удовлетворит. теоретич. объяснение электропроводности П. о. отсутствует. Однако для низкомолекулярных П. о. наблюдается корреляция между эксперимент. значениями ΔE и величинами, вычисленными в предположении, что электрон, находящийся в потенциальном ящике длиной L (длина молекулы), переходит с нижнего заполненного уровня на верхний незаполненный. На рис. 2 сопоставлены теоретич. зависимость ΔE от числа электронов в молекуле и эксперимент. данные для низкомолекулярных веществ. Эксперимент. результаты для высокомолекулярных П. о. не согласуются с расчетами. Исследование П. о. открывает новые перспективы. Большое разнообразие органич. материалов позволит приготовить вещества, сочетающие самые разнообразные электрич. и механич. св-ва (эластичность, плавно меняющуюся энергию активации и т. д.).

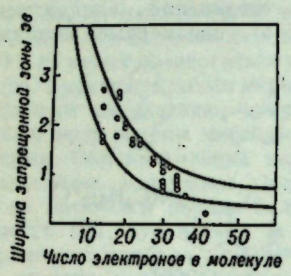
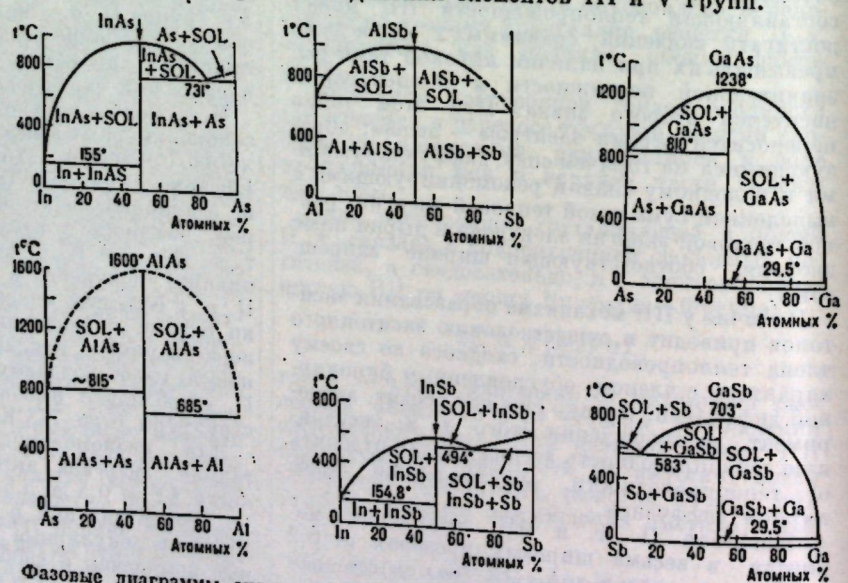


Рис. 2. Зависимость термич. энергии активации проводимости от числа электронов в молекуле.

Возможность получения тончайших нитей, пленок и тканей из П. о. позволит решить ряд задач, недоступных при др. видах материалов, и способствовать микроминиатюризации устройств автоматики и др. Интересны биологич. аспекты исследования П. о., св-ва к-рых важны для изучения энергетич. переноса в нек-рых реакциях. В биохим. процессах возможно существование корреляции между каталитич. активностью и ПП св-вами органич. соединений.

В последнее время ведутся интенсивные исследования возможностей использования органич. полупроводников в качестве диодов для запоминающих устройств, термисторов, фоточувствит. элементов, тензодатчиков и датчиков инфракрасного излучения и СВЧ диапазона, для генерирования когерентного излучения, для применения в электрографии и катализе.



Фазовые диаграммы систем полупроводниковых соединений типа A^{III} B^{V}.

Лит.: Теренин А. Н., Органические красители — полупроводники и их фотоэлектрические свойства, «Ж. Всес. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева», 1960, т. 5, № 5, с. 498; Каргин В. А. [и др.], Полупроводниковые свойства полимерных материалов, там же, с. 507; Данлэп У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959, с. 332; Solid state physics, N. Y.—L., 1961, v. 12, p. 93—148; Полупроводники. Сб. ст., под ред. Н. Б. Хеннея, пер. с англ., М., 1962.

Л. И. Богуславский.

ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ типа A^{III} B^{V} (semiconductor connection of the $A^{III}B^{V}$ type; connexion de semi-conducteurs du type A^{III} B^{V}; Halbleiterverbindung vom Typ $A^{III}B^{V}$, Halbleiterverbindung aus drei- und fünfwertigen Atomen) — соединение элементов III и V групп периодич. системы, кристаллизующееся в структуре цинковой обманки и обладающее ПП св-вами. Иногда этот тип соединений не совсем правильно наз. интерметаллическим. Все бинарные П. с. систематизируются по типам в зависимости от групп периодич. системы, в к-рых находятся составляющие данное соединение элементы, напр. типа A^{I} B^{VII}; A^{II} B^{VI}; A^{III} B^{V} и т. д. Возможные соединения типа A^{III} B^{V} даются в табл. 1 (стрелкой показано направление изменения св-в в зависимости от среднего атомного веса). После исследования ПП св-в бинарных сплавов, с целью изготовления из них ПП приборов, большинство было отвергнуто из-за: малой ширины *запрещенной зоны*, низкой *подвижности носителей заряда*, низкой темп-ры плавления, хим. или термич. нестабильности, технологич. трудностей при получении и очистке и т. д. Наиболее перспективными, сравнительно с Si и Ge, для расширения интервала рабочих темп-р, повышения мощности и частотного предела *диодов полупроводниковых* и *транзисторов* были признаны соединения элементов III и V групп.

Табл. 1
Возможные соединения типа A^{III} B^{V}

BN			
BP	AlN		
BAs	AlP	GaN	
BSb	AlAs	GaP	InN
AlSb	GaAs	InP	
GaSb	InAs		
InSb			

Температура плавления. Ширина запрещенной зоны. Подвижность

На рис. даны диаграммы фазового равновесия П. с. III—V. Для них характерен открытый максимум, к-рый соответствует темп-ре плавления П. с.; отношение концентраций компонентов в этой точке равно 50 атомных %. С металлургич. точки зрения эти П. с. обычно разделяют на антимониды, арсениды и фосфиды, т. к. равновесная газовая фаза этих соединений состоит соответственно из Sb, As и P и определяет специфику оборудования для синтеза, *зонной плавки* и получения *монокристаллов*. Упругость пара летучего компонента в точке плавления составляет у InAs—0,33 *ат*; у GaAs—0,9 *ат*; у InP—15,5 *ат*; у GaP—20 *ат*. Технология изготовления антимонидов наиболее проста. К оборудованию для синтеза и получения монокристаллов арсенидов и фосфидов предъявляется ряд специфич. требований: замкнутость объема; регулирование давления пара над расплавом для обеспечения стехиометрии, путем поддержания определ. темп-ры «холодного» конца; нагрев всех поверхностей, в контакте с к-рыми находятся летучие компоненты, выше темп-ры их сублимации; изготовление деталей рабочего объема из кварца, графита, BN и др. спец. материалов.

Коэфф. распределения примесных элементов в П. с. III—V приведены в табл. 2.

В отношении изменения электрич. св-в для П. с. III—V справедливы те же закономерности, что и для элементарных ПП: при переходе от низких атомных весов к высоким темп-ра плавления и ширина *запрещенной зоны* уменьшаются.

П. с. III—V наряду с ковалентной связью имеют нек-рую долю ионной связи, отличающейся большей прочностью, а следовательно, большей шириной запрещенной зоны по сравнению с элементарными ПП.

В большинстве П. с. III—V подвижность электронов намного больше, чем дырок; у InSb и InAs достигает экстрем. величины. Электрич. и др. свойства П. с. III—V описаны в табл. 3.

К этому виду ПП проявляется большой интерес. Наибольшее использование в технике имеют: GaAs — для изготовления *диодов туннельных*, высокотемпературных диодов и транзисторов, солнечных батарей и др. приборов; InSb — для изготовления детекторов ИК излучения, датчиков эдс Холла и пьезосопротивлений; возможно применение в приборах, работающих при темп-ре ниже комнатной (туннельные диоды, транзисторы СВЧ и др.). Для создания приборов, работающих при высокой темп-ре, перспективно использование AlSb, InP и GaP. Значит. успехи достигнуты по созданию ПП квантовых генераторов (в т. ч. мощных), к-рые непосредственно и с высоким кпд преобразуют электрич. энергию в энергию излучения. Основой их служат П. с. III—V.

Таблица 2. Коэффициенты распределения некоторых элементов в полупроводниковых соединениях типа A^{III} B^{V}

Элемент	InSb	InAs	GaAs	AlSb
Cu	$7\cdot10^{-4}$	$<5\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-3}$	10^{-2}
Ag	$5\cdot10^{-5}$	$<5\cdot10^{-2}$	0,1	—
Mg	—	0,7	0,3	—
Zn	3	0,8	~0,3	—
Cd	0,3	0,1	0,1	—
Si	—	—	0,1	0,1
Ge	—	$7\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	1,2
Sn	$6\cdot10^{-2}$	$<5\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-2}$	1,0
Pb	—	$<5\cdot10^{-2}$	$<2\cdot10^{-2}$	—
S	0,1	1,0	0,5	—
Se	0,2	0,9	0,5	0,3
Te	—	0,4	~0,1	0,5
Fe	$4\cdot10^{-2}$	~0,5	$3\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-2}$
Ni	$6\cdot10^{-5}$	—	$<2\cdot10^{-2}$	—
Co	—	—	$<2\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$

Таблица 3. Некоторые свойства полупроводниковых соединений III—V групп

Соединения	Темп-ра плавления (°C)	Ширина запрещ. зоны при 18° (*эв*)	Холловская подвижность при 18° ($см^2 \cdot в^{-1} \cdot сек^{-1}$)		Постоянная решетки (Å)	Диэлектрич. постоянная
			электронов	дырок		
AlAs	>1600	2,16	—	—	—	—
GaAs	1237	1,4	8500	420	5,6534	11,1
InAs	942	0,36	33000	460	6,0584	11,7
AlSb	1050	1,62	200	420	6,1355	10,1
GaSb	712	0,67	4000	1400	6,0954	14,0
InSb	525	0,17	78000	750	6,47877	15,9
BN *)	—	~10,0	—	—	—	—
GaN *)	—	3,3	—	—	—	—
BP	2000—3000	5,9	—	100	—	—
AlP	—	3,0	—	—	—	—
GaP	1450—1500	2,25	110	75	5,4505	8,4
InP	1062	1,29	4600	150	5,86875	10,8

*) Кристаллич. структура у BN гексагональная и цинковой обманки, а у GaN — вюртцита.

Кроме самих соединений, представляют интерес твердые растворы, напр. для получения заданной ширины запрещ. зоны. Так, в системах GaP—GaAs и InP—InAs образуются непрерывные ряды твердых растворов с шириной запрещ. зоны в интервалах 2,25—1,35 *эв* и 1,25—0,43 *эв* соответственно.

Лит.: 1) Полупроводниковые вещества. Вопросы химической связи. Сб. ст., под ред. В. П. Жузе, М., 1960; 2) Новые полупроводниковые материалы. Сб. ст., под ред. Б. Т. Коломийца, пер. с англ., М., 1958; 3) Хилсум К., Роуз-Инс А., Полупроводники типа A^{III} B^{V}, пер. с англ., М., 1963.

Л. И. Харламова.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ (semiconductor lasers; lasers semi-conducteurs; Halbleiterlazer) — генераторы когерентного света (см. *Лазеры*), в к-рых рабочим веществом (активной средой) является ПП материал. В П. л. используется индуцированное *рекомбинационное излучение*, сопровождающее рекомбинацию носителей через запрещенную зону. Такое излучение является когерентным, и для его появления необходимо: 1) обеспечить инверсию населенностей уровней, между к-рыми происходят рекомбинац. переходы; 2) создать условия, при к-рых возникающее индуцированное рекомбинац. излучение, распространяясь в монокристалле

ПП, усиливается (отрицат. поглощение). В действующих образцах П. л. это достигается путем электрич. инжекции носителей заряда через p—n-переход в сильно легированный материал. Поэтому такие лазеры наз. также инжекционными. Т. о., в отличие от др. лазеров, в к-рых накачка энергии осуществляется светом, в П. л. применяется электрич. накачка энергии. При малых уровнях инжекции излучение некогерентно, неполяризовано, сосредоточено в более широком спектральном участке $\Delta\nu$ и распространяется в большом телесном угле; по достижении критич. уровня инжекции величина $\Delta\nu$ сильно уменьшается, излучение становится когерентным, поляризованным и резко направленным. Критич. уровень инжекции зависит от рабочей темп-ры, от зонной структуры применяемого ПП, концентрации примесей, дефектов, от коэфф. поглощения и преломления (для генерируемого света), от толщины p—n-перехода, от эффективности рекомбинации по отношению к генерации света (последняя величина в принципе может достигать 100%, т. е. рекомбинация каждой электронно-дырочной пары может приводить к генерации одного кванта света). Резонатором служит область, ограниченная двумя полированными параллельными гранями кристалла, к-рые перпендикулярны плоскости p—n-перехода. Из-за большого значения показателя преломления ПП в инфракрасной области коэфф.отражения имеет достаточно большую величину (~30—40%), т. е. можно обходиться без спец. отражающих покрытий на полированных торцах монокристалла.

Наиболее подходящими материалами для П. л. являются ПП, у к-рых максимум валентной зоны и минимум зоны проводимости располагаются при одинаковых (или близких) значениях (см. *Рекомбинационное излучение*), напр. соединение GaAs. В таком материале p—n-переход (толщиной в неск. микрон) можно получить диффузией цинка в GaAs с примесью теллура или кремния при 850° С. При площади перехода ~0,1 *мм*² когерентное излучение возникает при плотностях тока в неск. тысяч *а/см*². При T=77° К длина волны генерируемого когерентного света составляет примерно 8430 Å, причем ширина линии может составлять неск. ангстремов; расходимость пучка света ~10°. Выходная мощность 1,5 *вт* достигается при входной мощности 6,3 *вт*, т. е. кпд составляет 25%. Такой диод может работать в непрерывном режиме. С точки зрения изменения частоты генерируемого света представляет интерес использование тройных соединений, у к-рых ширина запрещенной зоны зависит от процентного содержания двух компонент; так, изменяя состав соединения $Ga(As_{1-x}P_x)$, можно изменять длину волны света в пределах от 6200Å (для GaP) до 8400Å (для GaAs). В таком соединении при λ=7100Å генерация когерентного света наступает при I=11 000 *а/см*².

В ПП типа германия для генерации интенсивного излучения необходимо сильно увеличить концентрацию свободных электронов и дырок с тем, чтобы они заполняли не только области вблизи экстремумов, но и вдали от них. Если в триоде p—n—p на левый p—n-переход подать необходимой величины (порядка неск. вольт) отрицат. смещение, а на правый — положительное, то через левый p—n-переход начнется туннельное прохождение электронов из левой p-области в n-область, а из правой p-области в ту же n-область будут инжектироваться дырки, и т. о. в n-области смогут создаться условия, необходимые для излучательной рекомбинации. На таком принципе может быть построен триодный лазер.

П. л. обладают рядом преимуществ перед др. лазерами: они имеют очень малые размеры, эффективность их значительно выше (кпд порядка десятков %), модулировать излучение в них можно непосредственно подавая управляющее напряжение на p—n-переход. Диапазон спектра, к-рый можно охватить с помощью ПП материалов, простирается примерно от 0,6 до 7 *мк*. Область применения П. л. та же, что и любых лазеров.

Лит.: Лазеры. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; Лендьел Б. А., Лазеры, пер. с англ., М., 1964; Басов Н. Г., Крохин О. Н., Попов Ю. М., «ЖЭТФ», 1961, т. 40, вып. 6, с. 1879; «ДАН СССР», 1963, т. 150, № 2, с. 275.

М. М. Горшков.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ ПРИБОРЫ (semiconductors magnetic controlled plasma devices; appareils à plasma à semi-conducteurs avec commande magnetique; Halbleiterplasmageräte mit Magnetsteuerung) (мадисторы) — ПП приборы, в к-рых используется воздействие внешнего магнитного поля на плазму (т. е. на перекомбинирующие свободные носители заряда), образующуюся в ПП. Сокращенное назв. «мадистор» (madistor) образовано нач. буквами полного англ. назв.: magnetic deflection of an injection plasma, produced by saturating traps — магнитное отклонение инжектированной плазмы, образованной насыщающимися ловушками.

Время жизни неосновных носителей заряда, инжектируемых в кристалл ПП (τ), в сильной степени зависит от концентрации ловушек (см. *Рекомбинация носителей заряда*), к-рыми носители захватываются и перестают участвовать в проводимости. При очень высоких уровнях инжекции может наступить насыщение ловушек, вследствие чего τ увеличится: соответственно возрастает и *электропроводность* кристалла. Таким путем можно осуществить модуляцию проводимости. С увеличением уровня инжекции область, в к-рой ловушки насыщены, будет простираться все дальше вдоль кристалла; свободные носители, инжектируемые в эту область и имеющие значительно большее время жизни, образуют плазму. На схеме (рис. 1) показано образование плазмы между электродами диода. Под действием слабого поперечного магнитного поля происходит ее смещение и резкое уменьшение проводимости. Для эффективной работы такого диода необходимо использовать ПП с малым временем жизни носителей, большим уд. сопротивлением (в этом случае модуляция проводимости в результате насыщения ловушек будет иметь большую величину) и большой подвижностью носителей (в противном случае слабые магнитные поля не вызовут заметного отклонения плазмы). Как пример можно указать на диод с n—p—p^+-структурой на основе InSb, работающий при 77° К.

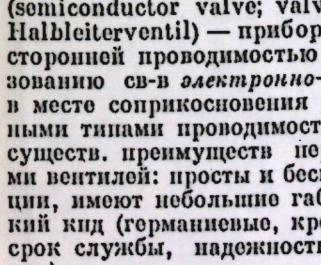


Рис. 1.

Материал базы имеет проводимость p-типа, уд. сопротивление — неск. десятков *ом·см*; подвижность электронов равна $5\cdot10^5$ *см²/в·сек*; время жизни электронов составляет $5\cdot10^{-10}$ *сек*, но при насыщении ловушек оно возрастает до $5\cdot10^{-8}$ *сек*, длина диффузии электронов увеличивается с ~10^{-3} *см* до 1 *мм*; длина базы равна 1 *мм*. Инжектирующий контакт (In с небольшой добавкой Te) имеет диаметр 0,1 *мм*, омический контакт (In с небольшой добавкой Zn) — диаметр 0,05 *мм*. Диод помещается в зазор (0,5 *мм*) тороидального электромагнита с диаметром 3 *мм* (сердечник из прессованного порошка железа). Семейство вольтамперных хар-к такого мадистора приведено на рис. 2. Участок отрицат. сопротивления обусловлен лавинообразным увеличением тока при насыщении ловушек.

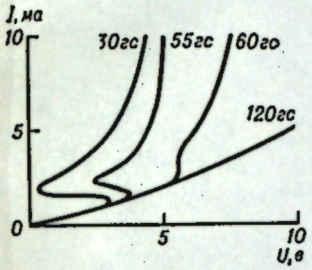


Рис. 2.

Отклонение плазмы магнитным полем можно использовать и для создания переключающихся приборов (рис. 3). При одной напряженности магнитного поля ток проходит через участок ab, при др. — через участок ac (вследствие смещения плазмы). Число переключающихся контактов можно сделать и больше двух. Скорость срабатывания таких переключателей весьма велика, т. к. для перебрасывания плазменной «перемычки» требуется ничтожное время. Мадисторы также могут быть применены в качестве магнитных датчиков и управляющих элементов различных схем. Основное преимущество мадисторов — возможность их работы при низких напряженностях магнитного поля.

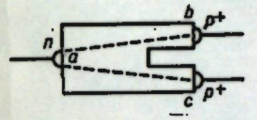


Рис. 3.

Лит.: «Труды Института радиоинженеров» (США), рус. пер., 1962, т. 50, № 12, с. 2451.

М. М. Горшков.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ВЕНТИЛЬ (semiconductor valve; valve à semi-conducteur; Halbleiterventil) — прибор, обладающий односторонней проводимостью благодаря использованию св-в *электронно-дырочного перехода* в месте соприкосновения двух ПП с различными типами проводимости. П. в. имеют ряд существ. преимуществ перед всеми др. видами вентилей: просты и бесшумны в эксплуатации, имеют небольшие габариты и вес, высокий кпд (германиевые, кремниевые), большой срок службы, надежность в работе (селеновые).

Пром-стью выпускаются меднозакисные, селеновые, германиевые и кремниевые П. в. Меднозакисные (купроксные) вентили применяются гл. обр. для выпрямления малых перем. токов в электроизмерит. приборах и нек-рых цепях автоматики. Изготовляются в виде дисков диаметром 2; 4; 5 и 7 *мм* (рис. 1, *а*), шайб диаметром 20 и 40 *мм* или прямоугольных пластин 81×300 *мм*, покрытых слоем закиси меди путем термич. обработки. Выпрямляющий слой образуется между слоями закиси меди с разными типами проводимости. Отдельные вентили собираются в батареи, образуя выпрямит. столбики. Для отвода тепла между шайбами прокладывают радиаторы из красной меди. Параметры вентилей: плотность прямого

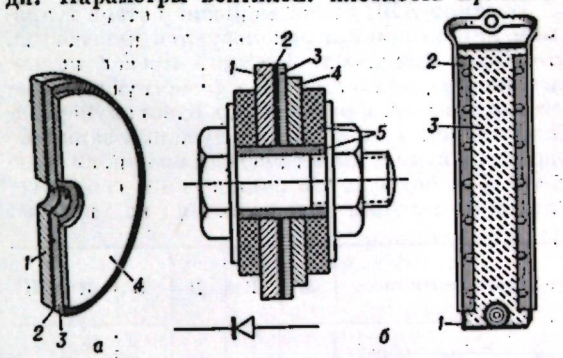


Рис. 1. Меднозакисный вентиль: *а* — диск; *б* — конструкция; *1* — медь, *2* — запирающий слой, *3* — закись меди, *4* — свинец, *5* — изоляция.

тока не выше 50—150 *ма/см*², допустимое обратное напряжение 9—12 *в*, допустимая рабочая темп-ра не более 50° С, кпд 78%. Достоинство таких вентилей — постоянство их хар-к, достигаемое за счет операции искусств. старения.

Селеновые вентили, несмотря на развитие германиевых и кремниевых вентилей, остаются пока наиболее распространенными. Достоинство их — низкая стоимость, а также наибольшая стойкость к импульсным перенапряжениям и к перегрузкам по току. Пром-стью выпускаются вентили серий АВС, ТВС и АТ. В вентиле АВС (рис. 2, *а*) поверхность алюминиевой основы *1* толщиной 0,8 *мм* тщательно подготавливается, висмутируется и покрывается слоем селена *2* толщиной 50—60 *мк*, к-рый напыляется в вакууме. Затем элемент закрывается верхним электродом из спец. пластичного сплава. В вентиле ТВС (рис. 2, *б*) верхний электрод — из алюминиевой фольги толщиной 0,04 *мм*. Вентили АТ отличаются повыш. теплостойкостью. У них оба электрода жесткие. Конструктивно вентиль АТ состоит как бы из двух: АВС и ТВС, но без их верхних электродов (рис. 3). Допустимая темп-ра для АТ до +100° С. Выпрямляющие св-ва вентилей АВС и ТВС вследствие различия их конструкции неодинаковы. АВС пропускает ток в направлении от основания к верхнему электроду, а в ТВС — наоборот, от верхнего электрода к основанию. Селеновые вентили изготовляются различных форм и размеров: от таблетки диаметром 5 *мм* с активной площадью 0,07 *см*²

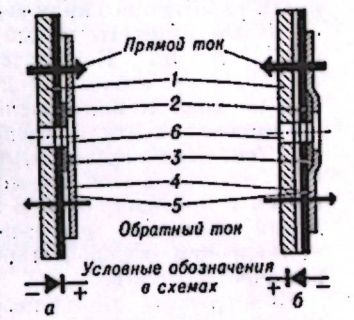


Рис. 2. Селеновые вентили: *а* — элемент типа АВС; *б* — элементы типа ТВС; *1* — основание (нижний электрод); *2* — слой селена; *3* — изоляц. прокладка; *4* — запирающий слой; *5* — контактный слой (верхний электрод); *6* — осевое отверстие.

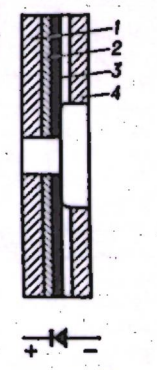


Рис. 3. Селеновые вентили АТ.

до больших пластин 100×400 *мм* с активной площадью 360 *см*². Наиболее распространены вентили квадратной и прямоугольной формы.

Вентили АВС имеют меньшие потери в прямом направлении и используются при повыш. токовых нагрузках. Верхний предел по напряжению составляет 30 *в* (действующее значение прилож. напряжения в однополупериодной схеме). ТВС обладают лучшими запирающими св-вами и имеют пределы по напряжению 30—45 и более *в*. По запирающим св-вам селеновые вентили разделяются на классы:

Класс вентиля	В	Г	Д	Е	И	К
Допустимое обратное напряжение (*в*)	20	25	30	35	40	45

Допустимое значение плотности прямого тока 50 *ма/см*². Допустимая темп-ра 75° С для АВС и 80° С для ТВС.

Германиевые и кремниевые вентили имеют ряд преимуществ перед селеновыми: возможность работы при напряжениях порядка сотен *в*, малые размеры, малый вес, высокий кпд (98%) и др. Недостаток — необходимость в спец. устройствах для защиты от перегрузок по току и напряжению. Германиевые и кремниевые вентили разделяются на точечные (см. *Диод германиевый*) и плоскостные. Они изготовляются из монокристаллов германия с проводимостью *n*-типа. При изготовлении вентилей *p — n*-переход образуется вплавлением в слой германия небольшого количества индия.

Конструкция германиевого вентиля плоскостного типа дана на рис. 4. Кристаллич.

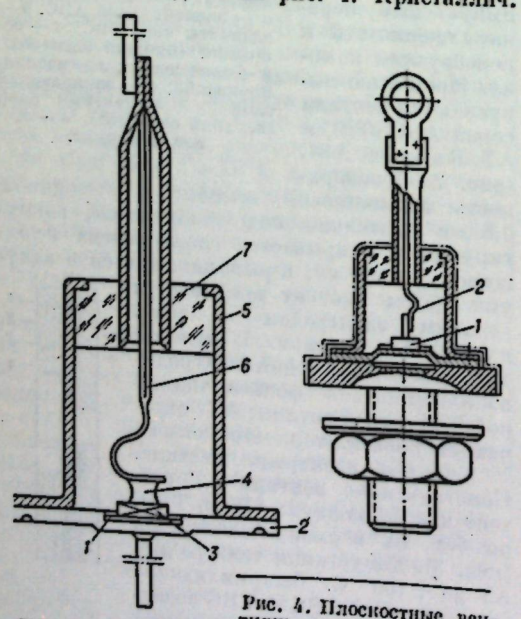


Рис. 4. Плоскостные вентили: слева — германиевые; справа — кремниевые (*1* — кристалл кремния, *2* — припаянный к кремнию кусочек алюминия).

пластинка германия *3* со сплавленным с ней кусочком индия *4* размещена на стальном основании *2*, к к-рому германий припаян оловом *1*. Вывод от *p*-слоя выполнен проволокой *6*, припаянной к индию. Выводы изолируются от корпуса *5* изолятором *7*. Выпускаются плоскостные германиевые вентили, оформленными в цельнометаллич. сварном корпусе. Наибольшая амплитуда обратного напряжения 50—400 *в*, наибольший выпрямл. ток 0,3—10 *а*, предельная рабочая темп-ра 60—70° С.

Плоскостные кремниевые вентили по конструкции аналогичны германиевым. *p—n*-переход создается при вплавлении алюминия в кремний с проводимостью *n*-типа. Если кремний имеет проводимость *p*-типа, то *p—n*-переход получается за счет примесей (сплав олова или свинца с сурьмой или мышьяком). Плоскостные вентили выпускаются с амплитудой обратного напряжения 100—600 *в*, на ср. выпрямл. ток 0,1—0,4 *а* и предельную рабочую темп-ру 125° С.

Для выпрямления больших токов выпускаются силовые германиевые и кремниевые вентили. Осн. их особенности: 1) герметизация металлич. корпуса вентиля для защиты кристаллов германия и кремния от влаги; 2) интенсивный отвод тепла от *p—n*-перехода, обеспечиваемый применением промежуточного молибденового или вольфрамового диска, к верхней стороне к-рого припаивается кристалл германия или кремния, а к нижней — медное массивное основание, находящееся в контакте с воздушным или водяным радиатором; 3) предохранение недостаточно прочных кристаллов германия и кремния от механич. напряжений, возникающих вследствие термич. деформации, для чего используются соединяющие материалы (вольфрам, молибден), имеющие одинаковые с германием и кремнием коэфф. линейного расширения. Конструкция силового германиевого вентиля показана на рис. 5. Вентили имеют весьма малое падение напряжения 0,3—0,6 *в*, но чувствительны к тепловому режиму. Допустимая темп-ра эксплуатации не более 65° С. Силовые вентили с воздушным охлаждением выпускаются на токи 10; 25; 50; 100 *а*, с водяным 200; 500 и 1000 *а*. Силовые кремниевые вентили (рис. 6) имеют ряд эксплуатац. преимуществ по сравнению с германиевыми: бо́льшая нагревостойкость (допустимая темп-ра *p—n*-перехода 140° С), а также бо́льшие значения допустимых обратных напряжений. Недостатки: значит. величина падения напряжения в прямом направлении (1—1,2 *в* при номин. токе) и высокая стоимость. Пром-стью выпускаются силовые кремниевые вентили с воз-

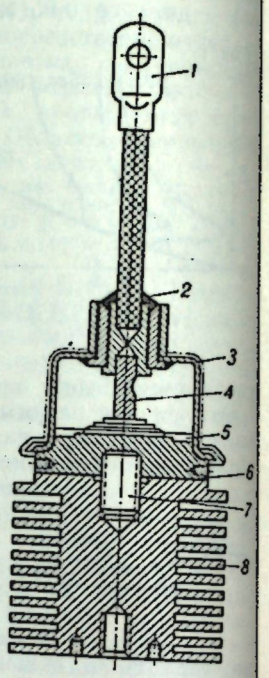


Рис. 5. Силовой германиевый вентиль ВГ-100: *1* — наконечник; *2* — стержень; *3* — крышка; *4* — гибкие соединения; *5* — германиевый *p—n*-переход; *6* — основание; *7* — контактная шпилька; *8* — радиатор.

душным охлаждением на токи 10; 25; 100 и 200 *а* и с водяным охлаждением — на токи 200; 350 и 500 *а* при допустимом обратном напряжении 50—800 *в*. Выпускаются также управляемые кремниевые вентили.

В последние годы в СССР и за рубежом ведутся работы по созданию П. в. на основе др. ПП: карбида кремния, фосфида индия, фосфида галия и арсенида галия. П. в. на основе этих материалов обладают повыш. стойкостью к высоким темп-рам и радиоактивным излучениям. Напр., П. в. на основе карбида кремния работают

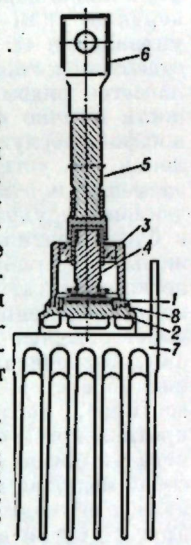


Рис. 6. Силовой кремниевый вентиль ВК-100: *1* — электронно-дырочный переход; *2* — основание; *3* — металло-стеклянный вывод; *4* — гибкое соединение; *5* — вывод; *6* — наконечник; *7* — радиатор; *8* — оловянный припой.

при темп-ре до 700° С, а влияние радиоактивных излучений на них в 10 раз меньше, чем для кремниевых вентилей.

Лит.: Булавин Н. П., Селеновые выпрямители, М.— Л., 1961; Рогинский В. Ю., Выпрямители, М.—Л., 1961.

О. А. Кузнецов.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ (semiconductor rectifier; redresseur à semi-conducteurs; Halbleitergleichrichter) — устройство для преобразования перем. тока в постоянный, в к-ром в качестве выпрямляющих элементов используются *полупроводниковые вентили*. По сравнению с др. видами выпрямителей: мотор-генераторами, ртутными, механическими, П. в. имеют длит. срок службы, высокий кпд, в них отсутствуют движущиеся части и накальные цепи. Поэтому П. в. постепенно вытесняют др. выпрямляющие устройства.

С П. в. строятся как *выпрямители однофазного тока*, так и *выпрямители трехфазного тока*. В обоих случаях обычно используются мостовые схемы включения вентилей. Выходная мощность П. в. может составлять от неск. *вт* до неск. сотен тыс. *квт* при токах от 10 до 50000 *а* и выше и напряжениях от 6 *в* до сотен *кв*. В зависимости от мощности П. в. выбирают тип, количество и схему соединения вентилей.

В мощных П. в. на большие силы тока применяется обычно параллельное соединение неск. вентилей. Вследствие разброса прямых хар-к при параллельной работе возможна перегрузка по току одних вентилей и недогрузка других (это относится к германиевым и кремниевым вентилям). Наиболее простой способ осуществления параллельной работы вентилей — подбор их прямых хар-к во всем диапазоне работы вентиля. Допустимая величина разброса прямого падения напряжения вентиля для параллельной работы составляет 0,05 *в*. Недостаток этого метода — затруднения при замене вышедшего из строя вентиля. При подобранных элементах разбаланс по току может составлять до 20%, поэтому элементы могут работать лишь при 80% номин. мощности. Улучшение распределения тока по параллельным вентилям может достигаться увеличением наклона прямых вольтамперных хар-к за счет последоват. включения сопротивлений. Однако это влечет за собой увеличение потерь мощности, что во многих случаях нежелательно. В мощных П. в. сопротивление предохранителя, включаемого последовательно с вентилем, часто обеспечивает достаточную равномерность распределения тока. Эффективно также применение выравнивающих тр-ров (реакторов). Они представляют собой шихтов. сердечник с двумя обмотками, роль к-рых часто выполняют соединит. провода соседних вентилей. Токи в этих проводах текут навстречу друг другу. Наводимая при этом в обмотках эдс уменьшает разбаланс. Возможны различные схемы включения этих реакторов.

Для повышения выходного напряжения П. в. включают неск. вентилей последовательно. Вследствие разброса обратных хар-к германиевых и кремниевых вентилей необходимы меры для правильного распределения напряжения между ними. При небольшом числе вентилей, соединенных последовательно, обычно применяют шунтирование их сопротивлениями. Величина этого сопротивления должна быть меньше или равна миним. обратному сопротивлению вентиля. Недостаток метода — увеличение обратных потерь и неполное выравнивание распределения напряжения при переходных процессах. В высоковольтных устройствах, где собств. емкости могут вызвать неодинаковое распределение напряжения при переходных процессах, применяют шунтирующие емкости. Величина емкости должна выбираться такой, чтобы она была больше собств. емкости вентиля (с учетом емкости монтажа). В нек-рых случаях одновременно шунтируют и емкостью и сопротивлением. Выравнивание распределения напряжения при последовательном соединении может осуществляться также применением многообмоточного тр-ра, каждая обмотка к-рого питает один или неск. параллельных вентилей или, чаще, отдельные мосты.

Большие плотности тока и малые габариты германиевых и кремниевых вентилей требуют особого внимания к вопросу отвода тепла от них. Если для маломощных выпрямителей достаточно естеств. охлаждения, то мощные требуют, как правило, принудит. вентиляции. Для эффективности охлаждения вентили монтируются на радиаторах с воздушным или водяным охлаждением, на пластинах, опущенных в масло, и т. д.

Регулирование выходных параметров в мощных П. в. может осуществляться: 1) вольтодобавочными тр-рами (при мощностях порядка 200—400 *квт*); 2) автотрансформаторами (тр-рами с подвижной катушкой); 3) тр-рами, регулируемыми подмагничиванием шунта; 4) потенциал-регуляторами; 5) с помощью управляемых вентилей; 6) конденсаторами переменной емкости, установл. в фазах питающей сети; 7) тр-рами с секционир. обмотками высокого напряжения совместно с дросселями насыщения. Устройства с плавным изменением коэфф. трансформации тр-ра с подвижной катушкой конструктивно сложны и имеют низкий cosφ (до 0,8). У тр-ров, регулируемых подмагничиванием шунта, cosφ =0,82—0,87. Схемы конденсаторного регулирования рекомендуются лишь для ручного ступенчатого регулирования, т. к. конденсаторов плавной перем. емкости на большие мощности в наст. время не существует.

Перспективны для целей регулирования управляемые вентили. На практике для этого в большинстве случаев применяется последний (7) способ, дающий более высокие кпд (до 96%) и cos φ (до 0,92). Кроме того, он позволяет объединить аппараты грубого и плавного регулирования в одной конструкции с гл. тр-ром, резко снижая габариты и вес агрегата. Структурная схема приведена на рис. 1.

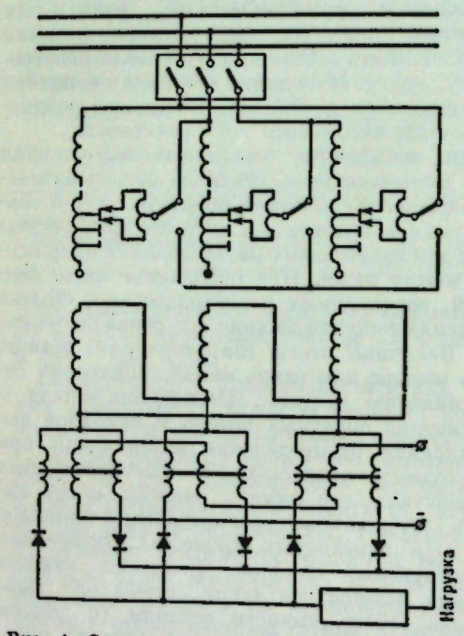


Рис. 1. Структурная схема регулирования ПП выпрямителя с тр-рами с секционировв. обмотками и дросселями насыщения.

Конструктивно П. в. выполняются в виде цилиндрич. блоков (для установок электрич. транспорта, рис. 2) или в виде шкафа (для стационарных пром. установок), в к-ром каждый

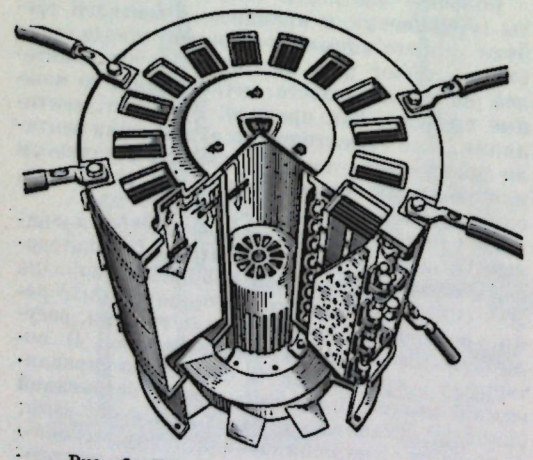


Рис. 2. ПП выпрямительная установка в виде цилиндрич. блока.

вентиль монтируется на радиаторе, ребра к-рого расположены в вентиляц. трубах и образуют вентиляц. канал. Каждая труба может иметь термостат для поддержания определ. темп-ры воздуха и реле потока воздуха. Доступ к вентилям и быстродействующим предохранителям, располагаемым рядом, осуществляется спереди или сзади шкафа. Шины пост. тока вводятся через нижнюю часть шкафа, а шины перем. тока могут проходить через верхнюю или нижнюю часть. Аппаратура управления П. в., как правило, монтируется отдельно в шкафу управления, к-рый располагается рядом. В установках большой мощности обычно объединяется неск. идентичных шкафов, обслуживаемых одним щитом управления. В установках электрич. транспорта элементы монтируются на радиаторе, охлаждаемом воздухом, к-рый всасывается установл. в блоке вентилятором. Все вентили расположены в сотообразных блоках, к-рые можно легко выдвигать после снятия верхнего и нижнего соединений. Каждая группа вентилей имеет обычные средства защиты: сопротивления, обеспечивающие равномерное распределение обратного напряжения на каждой паре вентилей, последовательно включенные сопротивления и емкости для снятия коммутац. перенапряжений. Все блоки соединены между собой медными шинами, вставленными в нижнюю и верхнюю части шкафа; они соединяют друг с другом все группы вентилей по мостовой схеме. Каждый блок образует компактный агрегат объемом ≈0,3 *м*³ на каждое плечо моста и весом ок. 350 *кг*.

Лит.: Tournois M.—G., Redresseurs de puissance au silicium, P., [1961] (Le Matériel Electrique S—W); Blundell A. I., Garside A. E., Hiblerd R. G., Williams I., Silicon power rectifiers, «Proc. Instn Electr. Engrs», 1961, v. 108, pt A, № 40, p. 273—94; Научно-техн. конференция. «Применение силовых полупроводниковых выпрямителей на промышленных предприятиях и транспорте», М., 1959 (Моск. дом научно-техн. пропаганды, Сб. 1—3); «Brown Boveri Mitt.», 1961, Bd 48, № 3/4.

Я. И. Стиоп.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА (напряжения) [semiconductor D.C.(direct current) converter; convertisseur de courant continu à semiconducteurs; Gleichstrom-Halbleiter-Umformer, Halbleiter-Gleichstromumformer] — источник электропитания, в к-ром пост. ток одного напряжения преобразуется с помощью ПП приборов в пост. ток другого (обычно более высокого) напряжения. ПП приборы позволили выполнять преобразователь как статич. аппарат без вращающихся или вибрирующих контактов. Это наряду с известными достоинствами ПП приборов существенно улучшило технич. показатели П. п. п. т. по сравнению с выполняющими ту же роль *вибропреобразователями* и умформерами. Возможность промежуточного преобразования на перем. токе повыш. частоты (300—2000 *гц*) обусловила также выигрыш в весе и габаритных размерах. Следует, кроме того, отметить высокий кпд ПП преобразователей, большой срок их службы и малый уровень помех радиоприему. П. п. п. т. уступают др. типам преобразователей пост. напряжения по максимально допустимому значению темп-ры окружающей среды. При германиевых триодах и диодах это значение не превышает 75°С. Генерирование промежуточной частоты П. п. п. т. осуществляется релаксац. генератором, собранным на транзисторах (ПП триодах). Выпрямление производится ПП диодами. В мощных преобразователях между релаксац. генератором и выпрямителем включается усилитель мощности, также выполненный на транзисторах.

Принцип работы П.п.п. т. поясняется рис.1, на к-ром изображена наиболее распростран.

схема. Здесь *Тр* — тр-р с тремя обмотками, две из к-рых имеют ср. точки; сердечник тр-ра чаще всего изготовляется из материала с прямоугольной петлей гистерезиса; $ПТ_1$ и $ПТ_2$ — плоскостные транзисторы; *В* — выпрямит. мост с фильтром (обычно, простым емкостным);

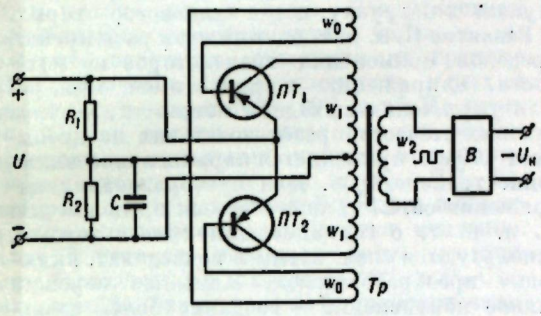


Рис. 1. Основная схема преобразователя.

R_1, R_2, *С* — элементы, облегчающие запуск и улучшающие режим работы П. п. п. т. Транзисторы работают в режиме ключей: в 1-ю половину периода первый транзистор открыт, второй — закрыт, во 2-ю половину периода — наоборот. Сопротивление участка эмиттер — коллектор открытого транзистора весьма мало (0,1 *ом* и ниже в зависимости от типа транзистора); у закрытого транзистора оно сравнительно велико (несколько *ком*). Благодаря этому напряжение батареи *U* попеременно прикладывается то к одной, то к другой половине коллекторной обмотки w_1, чем обеспечивается получение промежуточной частоты. Переключение транзисторов происходит автоматически. При включении схемы напряжение, снимаемое с сопротивления R_1, создает отпирающее смещение на базах транзисторов. Коллекторные токи обоих транзисторов из-за практически всегда имеющейся асимметрии неодинаковы, вследствие чего возникает разностный магнитный поток. При соответствующем подключении обмоток обратной связи w_0 индуктируемая разностным потоком эдс лавинообразно полностью открывает тот транзистор, ток которого определил направление потока, и запирает другой. Ток коллектора открытого транзистора достигает величины, определяемой прилож. напряжением и сопротивлением нагрузки (точка *1* на рис. 2). Далее $I_к$ возрастает за счет намагничивающего тока. При насыщении сердечника тр-ра $I_к$ мгновенно достигает максимально возможного при данном токе базы $I_б$ значения (точка *2*). Дальнейшее возрастание $I_к$ происходит не может, т. к. увеличивается падение напряжения на участке эмиттер-коллектор, что вызывает уменьшение эдс на обмотке w_0 и соответственно уменьшение $I_б$. Это влечет за собой уменьшение $I_к$, поток начинает убывать, индуктированная в обмотке обратной связи w_0 эдс меняет свой знак, закрывает 1-й транзистор и отпирает 2-й. Частота переключения транзисторов определяется величиной прилож. напряжения и параметрами тр-ра по выражению: $U=4fw_1B_mS$. При перегрузках максимально возможный при данном $I_б$ ток коллектора оказывается меньше приведенного к обмотке w_1 потребного тока нагрузки, поэтому транзистор не может обеспечить изменения намагничивающего тока, и переключений транзисторов не происходит (колебания срываются).



Рис. 2. Выходные хар-ки транзистора.

Схема рис. 1 является симметричной двухтактной схемой с самовозбуждением и обратной связью по напряжению. Транзисторы здесь соединены по схеме с общим эмиттером. Перечисл. признаки могут служить основой для общей классификации схем преобразователей. Соответственно П. п. п. т. должны различаться: по способу возбуждения, по виду обратной связи и по схеме включения транзисторов. Кроме того, П. п. п. т. подразделяются на двухтактные и однотактные. В свою очередь, двухтактные схемы могут быть симметричными и несимметричными, а однотактные различаются по схеме подключения вентиля к выходной обмотке.

По способу возбуждения П. п. п. т. бывают с самовозбуждением и с независимым возбуждением, при к-ром имеются самовозбуждающийся задающий генератор и усилитель мощности. Обратная связь у самовозбуждающихся преобразователей, как правило, является трансформаторной и осуществляется по напряжению, по току (рис. 3) и по току и напряжению.

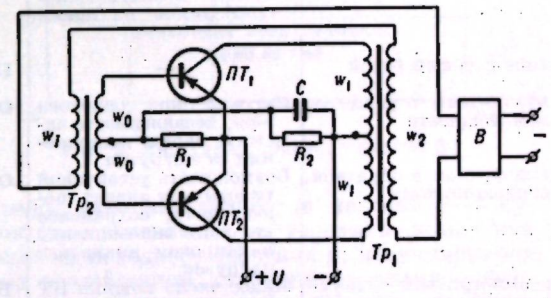


Рис. 3. Схема с обратной связью по току.

Лишь в редких случаях могут применяться генераторы с реостатно-емкостными связями (мультивибраторы). На схеме рис. 3 используется отдельный тр-р обратной связи $Тр_2$, вследствие чего ток базы пропорционален току нагрузки, что является осн. особенностью схемы. Переключение транзисторов происходит в момент насыщения сердечника вспомогат. тр-ра $Тр_2$, поэтому сердечник силового тр-ра $Тр_1$ не насыщается и потери в нем невелики.

Схемы включения транзисторов выполняются: с общим эмиттером, с общим коллектором и с общей базой. В схеме с общим эмиттером достигается лучшее использование тр-ра. В двухтактных преобразователях, в отличие от однотактных, намагничивание тр-ра производится в оба полупериода перем. напряжения и соответственно нет пост. составляющей магнитного потока. В целях экономии мощных транзисторов двухтактная схема может быть выполнена несимметричной (рис. 4). Здесь $ПТ_1$ — мощный транзистор, $ПТ_2$ — маломощный, обеспечивающий лишь протекание намагничивающего тока. Число витков $w_{1А}$ значительно больше $w_{1В}$. Соответственно большую часть периода открыт силовой транзистор, и

показатели оказываются не хуже, чем у симметричной схемы. У однотактных преобразователей имеется пост. составляющая магнитного потока, т. к. намагничивание тр-ра у них происходит только в один из полупериодов перем. напряжения. На рис. 5 дана схема с обратным включением вентиля. При открытом триоде поток в сердечнике нарастает и энергия запасается в магнитном поле тр-ра. После запирания триода убывающий магнитный поток индуктирует эдс, полярность к-рой соответствует пропускному направлению вентиля. Во вторичной обмотке протекает ток, и энергия магнитного поля передается нагрузке и конденсатору C. Если анод и катод вентиля переключить, то будем иметь схему с прямым включением вентиля, при к-рой энергия поступает в нагрузку, когда транзистор открыт.

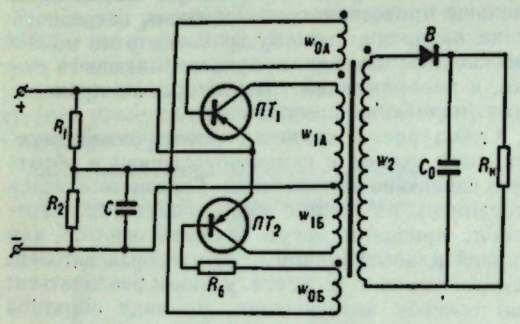


Рис. 4. Несимметричная двухтактная схема.

Развитие П. п. п. т. идет по пути расширения пределов применения транзисторов по мощности, напряжению и допустимой темп-ре. Для увеличения выходной мощности, к-рая в типовых отечеств. преобразователях не превышает 170 *вт*, применяется параллельное включение транзисторов. Для преобразования напряжения св. 27 *в*, являющегося пределом для П. п. п. т. с германиевыми транзисторами, используются спец. схемы и последоват. включение преобразователей. Наиболее перспективное направление — создание более совершенных транзисторов. Сравнит. данные схем П. п. п. т. даны в табл.

Название схемы	Достоинства	Недостатки	Область применения
Симметричная двухтактная с обратной связью по напряжению и общим эмиттером	Наименьшее число витков всех обмоток	Необходима изоляция ПТ от шасси	Применяется в большинстве случаев, когда нет особых условий
То же с общим коллектором	Нет необходимости в радиаторах, т. к. ПТ можно крепить непосредственно на шасси	Большое число витков обмотки обратной связи; при автотрансформаторном включении обмоток — сложная пусковая цепь	Мощные преобразователи при частоте перем. напряжения до 400 *гц*
То же с общей базой	—	Большое число витков коллекторной обмотки	—
Двухтактная с усилителем мощности	Высокий кпд силового т-ра; независимость частоты перем. напряжения от нагрузки	Опасность перегрузок; большое число ПТ; увеличение веса и размеров силового тр-ра	Мощные преобразователи, особенно при частотах перем. напряжения выше 400 *гц*
Двухтактная с обратной связью по току	Возможность устойчивой работы при значит. перегрузках; сохранение высокого значения кпд в широком диапазоне нагрузок	Опасность кз; наличие дополнит. тр-ра обратной связи	Преобразователи для аппаратуры, потребляющей большие пусковые токи (электродвигатели, цепи с емкостью)
Несимметричная двухтактная с обратной связью по напряжению	Малое число мощных ПТ и вентилей	Большая величина обратного напряжения на ПТ	Преобразователи малых напряжений (2—6 *в*)
Однотактная с обратным включением вентиля	Простота; миним. число элементов схемы; возможность получения высокого выходного напряжения при малом числе витков выходной обмотки	Большая величина обратного напряжения на ПТ при хх	Маломощные преобразователи при необходимости высокого выходного напряжения
То же с прямым включением вентиля	Возможность преобразования вдвое большей мощности, чем при обратном включении вентиля	Величина обратного напряжения на ПТ такая же, как при хх в схеме с обратным включением вентиля	Маломощные преобразователи

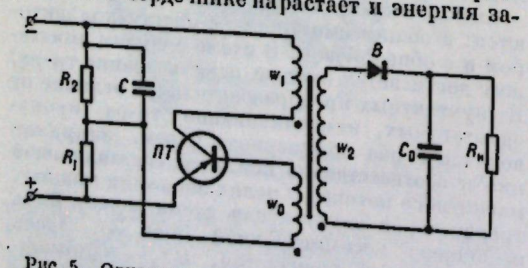


Рис. 5. Однотактная схема с обратным включением вентиля.

Лит.: Журавлев А. А. и Мазель К. Б., Преобразователи постоянного напряжения на транзисторах, М.—Л., 1960; Кузьменко М. И., Сиваков А. Р., Полупроводниковые преобразователи постоянного напряжения, М.—Л., 1961; Рогинский В. Ю., Преобразователи тока, М., 1960.

М. И. Кузьменко, А. Р. Сиваков.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ (semiconductor instruments parameters instability; instabilité des paramètres d'appareils à semiconducteurs; Unstabilität der Parameter von Halbleitergeräten) — изменение электрич. параметров во времени вследствие физ.-хим. процессов, протекающих в приборе при работе или хранении. Причиной П. п. н. п. могут быть изменения, происходящие в объеме кристалла и на его поверхности. Основную роль играет изменение величины электрич.

заряда поверхности. Образующиеся локальные поверхностные состояния в зависимости от способа обработки поверхности и условий внешней среды могут быть как донорного, так и акцепторного типов (см. *Донор, Акцептор*), а энергетич. уровни адсорбированных атомов могут попадать как в разрешенную, так и в *запрещенную зону*. Поверхностная рекомбинация осуществляется через т. н. «быстрые» энергетич. состояния на границе ПП с оксидным слоем, плотность к-рых в *германии* составляет 10^{10}—10^{11} $см^{-2}$. На внешней стороне оксидного слоя и в его объеме расположены локальные уровни, отделенные нек-рым слоем диэлектрика от тела ПП. Вероятность переходов на такой уровень и обратно мала. Поэтому они заполняются медленно. Такие состояния получили назв. «медленных». Плотность их доходит до 10^{13} $см^{-2}$. Скорость дрейфа параметров ПП приборов зависит от состояний, обусловливающих его возникновение.

Наиболее существ. вид П. п. н. п. — нестабильность обратных токов *электронно-дырочных переходов*. В *транзисторах* большую роль играют также дрейф коэфф. усиления по току и особого рода нестабильности, проявляющиеся в импульсных схемах в виде т. н. эффектов «самооткрывания ключей» и «засыпания триггеров».

Дрейф обратного тока перехода $I_{к_0}$ (рис. 1) обусловлен исключительно током поверхностной утечки и проявляется в виде быстрого «скачка» (длительностью 0,1—0,5 *сек*) сразу после подачи напряжения $U_к$ в сторону уменьшения тока от единиц *ма* до единиц или долей *мка* и последующего медленного (от неск. мин. до получаса) и относительно небольшого (до 50—100%) изменения тока в произвольном направлении. Быстрый скачок обусловлен дрейфом протонов, образовавшихся при диссоциации влаги, с подвижностью 10^{-3}—10^{-4} $см^2/в \cdot сек$, через поверхностную границу перехода в коллектор, и соответствующим резким падением умножения носителей в приколлекторной части базы. Направление последующего изменения тока зависит от преобладания затягивающегося окончания дрейфа протонов, либо возникающего дополнительно умножения носителей за счет положит. заряда поверхности при переходе части электронов с медленных состояний оксида в объеме кристалла. Дрейф обратного тока полностью обратим (время восстановления быстрого скачка ок. 10 *мин*, медленного изменения — от 2—3 *мин* до 1 часа), а его величина достаточно стабильна. Следствие дрейфа обратного тока — снижение пробивного напряжения перехода на перем. токе по сравнению с постоянным. Средством уменьшения дрейфа обратного тока может служить обезвоживание поверхности кристалла.

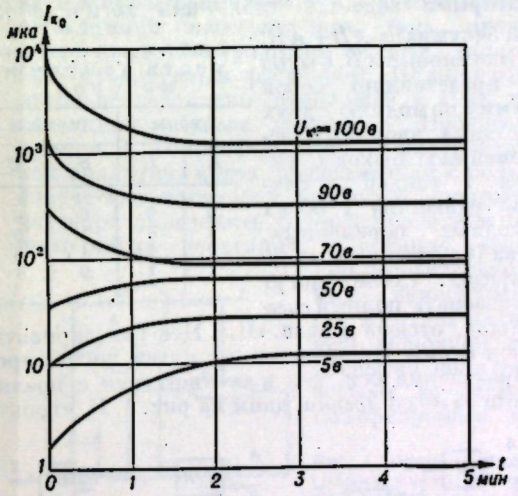


Рис. 1. Типичные хар-ки дрейфа обратного тока.

Нестабильность коэфф. усиления транзисторов по току β может быть двух родов: либо в виде постепенного (в течение неск. мин.) возрастания β при увеличении уровня инжекции и наоборот (рис. 2) — т. н. «токовый» дрейф; либо медленного (в течение 2—5 суток) восстановления в условиях комнатной темп-ры исходного значения β, изменившегося под воздействием старения (в течение неск. часов) при повышенной темп-ре — «температурный» дрейф β (рис. 3). Природа токового дрейфа β — перезаряд медленных поверхностных состояний и его хар-ки (скорость, воспроизводимость и т. п.) — идентичны природе и хар-кам дрейфа обратного тока. Стабильность

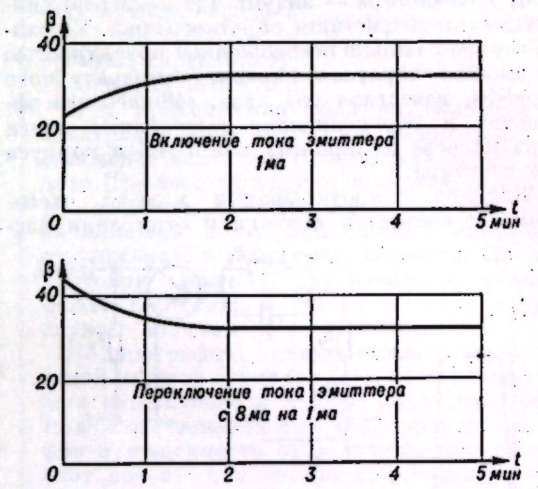


Рис. 2. Вид хар-к токового дрейфа β

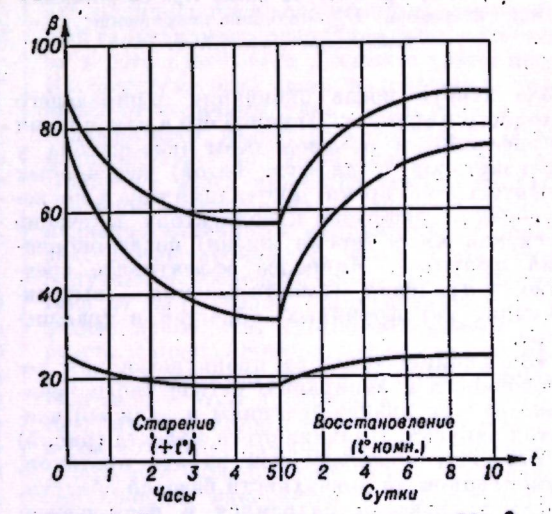


Рис. 3. Вид хар-к температурного дрейфа β.

объемных состояний в кристалле подтверждается отсутствием сопутствующего дрейфа граничной частоты коэфф. усиления по току f_α, к-рая определяется величиной поля и коэфф. диффузии в базе. Темп-рный дрейф β определяется миграцией влаги в оксидном слое: начальное снижение β связано с дегидратацией окисленной поверхности и повышением *скорости поверхностной рекомбинации* в связи с изменением поверхностного потенциала; возрастание β — с обратным процессом гидратации, протекающим при более низкой темп-ре значительно медленнее. Температурный дрейф обычно обратим, однако при длительном старении (неск. суток) вследствие нарастания толщины оксидной пленки обратимость его исчезает. Недостатки такого способа стабилизации транзистора — значит. (до 2—3 раз) снижение β и возрастание обратного тока. У транзисторов с сильно обезвоженной поверхностью возможна обратная картина температурного дрейфа, известная под назв. «48-часового эффекта» и обусловленная выделением влаги при нагреве из лаковых покрытий и корпуса транзистора.

Явление самооткрывания ключей схемы (рис. 4) состоит в повторном отпирании каскада вскоре после окончания запирающего входного импульса. Причина его в накоплении периферийным объемом базы (коллектора у транзисторов с диффуз. базой) неосновных носителей во время протекания тока и последующей их диффузии к коллектору в течение десятков *мксек* (время жизни) после окончания импульса. Наиболее эффективное средство устранения самооткрывания — вытравливание периферийных областей в транзисторе.

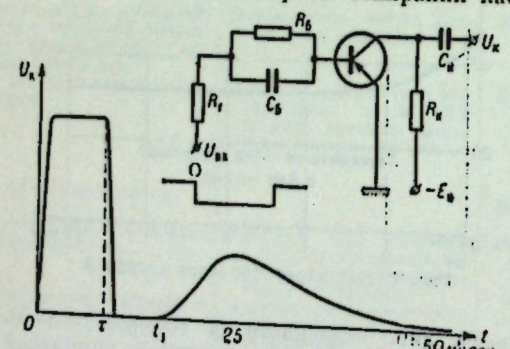


Рис. 4. Проявление эффекта «самооткрывания»: $U_к$ — напряжение на коллекторе; $C_к$ — емкость коллектора; $R_к$ — сопротивление коллектора; $E_к$ — напряжение коллекторной батареи; $R_б$ — сопротивление базы; $C_б$ — емкость базы; $R_г$ — сопротивление генератора; $U_{вх}$ — входное напряжение; τ — длительность импульса.

«Засыпание» триггера проявляется как неспособность к запиранию насыщенного транзистора при низких (единицы и доли *гц*) частотах запуска. Причина этого эффекта (рис. 5) в большом поверхностном заряде протонов, накопленном на поверхности базовой области, когда транзистор находился в насыщенном режиме. Протоны образуются при взаимодействии молекул H_2O с *дырками* в германии. При этом образуется гидроокись германия GeOH и ион водорода H+. Под действием протонов при запирании транзистора в тонком слое на поверхности развивается сильное электрич. поле и, как следствие, возникает интенсивное умножение носителей при невысоком обратном напряжении. Длительность этого процесса может быть достаточно большой

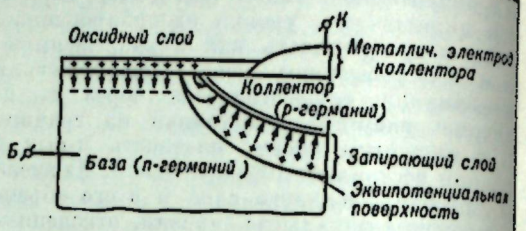


Рис. 5. Схема происхождения эффекта «засыпания».

пока протоны не будут оттянуты полем из района запирающего слоя на поверхности. Известен способ, устранения эффекта «засыпания», состоящий в наружном покрытии границы коллекторного перехода составом с более высокой, чем у германия, диэлектрич. проницаемостью и ослаблением т. о. поверхностного электрич. поля.

Лит.: Ройзин И. М., Исследование некоторых явлений при работе транзисторов в импульсных схемах, «ИВУЗ. Радиотехника», 1959, т. 2, № 4.

А. А. Зайцев

ПОЛУСУММАТОР (half-adder; demiadditionneur; Halbadder) — схема (прибор) с двумя входами и двумя выходами для сигналов двоичной природы, соотношение между которыми задается табл. или логич. ф-лами S (сумма) $= A\bar{B} + \bar{A}B$, C (перенос) $= AB$. Выход S представляет собой сумму по модулю 2 двух входных двоичных переменных. Выход C равен 1 только в случае равенства 1 обеих входных переменных. Два П., соединенных по определ. схеме, могут образовать полный *сумматор*, отсюда и назв. «П.». Нек-рые варианты блок-схемы П., полученные путем логич. преобразований осн. ф-л в соответствии с правилами *алгебры логики*, даны на рис. 1. П. строятся на ламповых элементах, ПП диодах и триодах (рис. 2) и др. Если сигналы на входы П. поступают в разное время, то, в отличие от представленных на рис. комбинац. схем, в качестве П. могут использоваться схемы накапливающего типа: обычный триггер, схемы на магнитных сердечниках, ферритдиодные и ферриттриодные схемы и др. П. в ЦВМ часто применяется в качестве составной части суммирующей схемы; в машине «Стрела» цепочка П. используется для прибавления к сумме единицы кругового переноса, для образования знака произведения и частного. Осн. параметрами П. являются: время установления суммы $t_{сум}$, время установления переноса $t_{пер}$, а также аппаратурные затраты — количество деталей в схеме. *Г. Б. Смирнов.*

Таблица истинности полусумматора

Входы		Выходы	
A	B	S	C
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

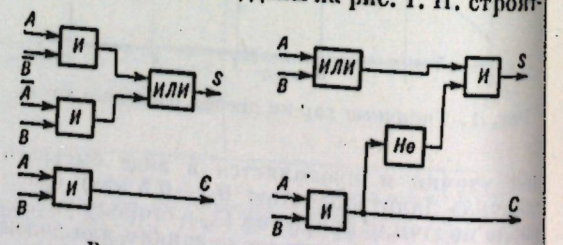


Рис. 1. Блок-схема полусумматора.

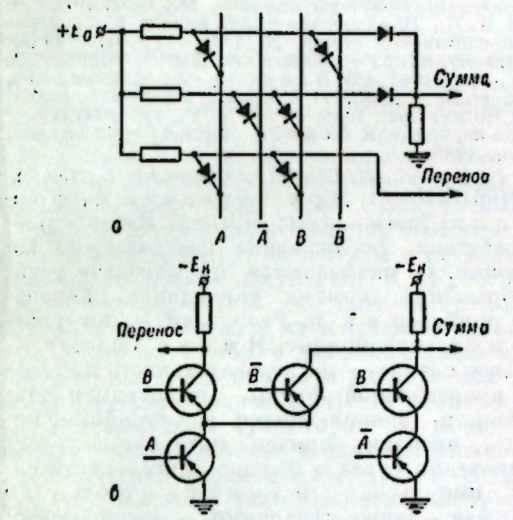


Рис. 2. Принципиальная схема полусумматора: *а* — на диодах; *б* — на триодах.

ПОЛЯРОГРАФ (polarograph; polarographe; Polarograph) — прибор для определения состава и концентрации веществ в растворах путем регистрации электрического тока, проходящего через электролитич. ячейку, заполненную исследуемым раствором. Полярографич. метод исследования предложен в 1922 чехословацким ученым лауреатом Нобелевской премии Я. Гейровским и очень распространен как аналитич. метод, позволяющий с большой скоростью, часто без предварит. подготовки раствора определять содержание в нем большого числа неорганич. и органич. веществ при относительно низких концентрациях (до 10^{-5} *моль/л* и менее). Основная полярографич. цепь (рис. 1) состоит из раствора, поляризуемого и неполяризуемого электродов, измерителей тока и напряжения и регулируемого источника электрического напряжения. Из всех до сих пор исследованных электродов ртутный капельный электрод наиболее приближается по своим св-вам к идеально поляризуемому. Он состоит из стеклянного капилляра, погруженного в раствор и соединенного с резервуаром, наполненным ртутью, расположенным на достаточной высоте над раствором. Из капилляра каждые 2—5 *сек* вытекает капля ртути, так что поверхность электрода постоянно возобновляется.

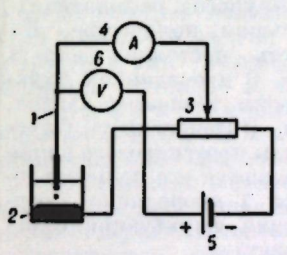


Рис. 1. Основная полярографич. схема: *1* — поляризуемый электрод; *2* — неполяризуемый электрод; *3* — потенциометр для установки поляризующего напряжения; *4* — измеритель электрич. тока; *5* — источник электрич. тока; *6* — измеритель напряжения на ячейке.

Полярография занимается изучением зависимости тока, протекающего через полярографируемый раствор от напряжения, приложенного к электродам. Типичная для полярографии форма зависимости тока от напряжения для раствора, содержащего небольшое количество ионов кадмия, приведена на рис. 2. Полярографическая кривая, получаемая при постепенном повышении напряжения, состоит из 3 характерных участков: остаточного тока $i_{ост}$ волны и предельного тока $i_{пр}$. Установлено, что разность $i_{пр} - i_{ост}$ пропорциональна концентрации вещества, а напряжение $E_{1/2}$, соответствующее средней точке волны полярограммы, характеризует природу вещества.

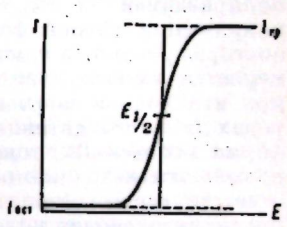


Рис. 2. Типовая полярограмма: $E_{1/2}$ — потенциал полуволны; $i_{ост}$ — остаточный ток; $i_{пр}$ — предельный ток.

При прохождении тока на поляризуемом электроде происходит восстановление или окисление вещества, присутствующего в растворе. При восстановлении поляризуемый электрод является катодом. На нем могут восстанавливаться ионы большинства металлов и ряд органич. и неорганич. молекул. На поляризуемом электроде при известных условиях может протекать и окисление (при этом он служит анодом).

Полярографич. кривую можно получить по самой простой схеме (рис. 1), постепенно повышая напряжение и нанося показание, отсчитанное на измеряющем ток приборе, на график в зависимости от величины напряжения. Этот способ, однако, по своей длительности мало пригоден для аналитич. практики. Поэтому в 1924 Я. Гейровский со своим японским сотрудником М. Шикатой сконструировал аппарат для автоматич. записи полярографич. кривых. Этот прибор — П. — содержит источник медленно изменяющегося напряжения и устройство для записи величины тока, проходящего через раствор между поляризуемым и неполяризуемым электродами. У этого класс-ич. П. для записи тока используется зеркальный гальванометр, поворачивающееся зеркальце к-рого освещается лампой с узкой щелью. Изображение этой щели, положение к-рого зависит от величины тока, проходящего через гальванометр, падает на фотографич. бумагу, находящуюся во вращающемся цилиндре. Вращение этого цилиндра синхронизовано с вращением потенциометра, посредством к-рого медленно изменяется напряжение на электродах. После проявления фотографич. бумаги получают непосредственно запись зависимости тока от напряжения (полярограмму). В последнее время этот способ заменяется непосредств. записью полярографич. кривых электронным компенсационным измерит. прибором. При записи этим прибором в цепь электролитич. ячейки включается сопротивление, на к-ром возникает падение напряжения, пропорциональное проходящему току. Это падение напряжения измеряется и регистрируется. Очевидно, для точных измерений падение напряжения должно быть мало (не более 5 *мв*), чтобы им можно было пренебречь по сравнению с общим поляризующим напряжением. Поэтому для записи полярограмм необходимо применять высокочувствит. самописцы. На этом принципе создан ряд П., мало отличаю-

щихся один от другого (2—3 вида П. с фотографич. записью и ок. 20 — с самописцами); в СССР выпускается электронный самопишущий П. ЦЛА, в ЧССР — П. LP55 с фотографич. записью и электронный самопишущий LP60.

Кроме поляризации пост. током, пользуются поляризацией перем. током и импульсами напряжения разной формы и продолжительности, периодич. и единичными. При этом измеряется амплитудное значение перем. тока при неизменном пост. напряжении на электродах (или его активная составляющая) или форма мгновенных токов наблюдается и записывается катодным осциллографом или соответствующими гальванометрами с весьма коротким периодом колебаний. Все эти методы нашли применение как для аналитич. целей, так и в особенности для исследования хода электродных реакций.

В дифференциальной полярографии для увеличения разрешающей способности метода вместо тока регистрируется производная тока по напряжению. При этом полярограмма приобретает вид неск. пиков, макс. значение к-рых пропорционально концентрации измеряемых веществ.

Для автоматизации производств. процессов химич. пром-сти обычный способ записи полярографич. кривых не подходит. Для долговременных измерений на произ-ве разработан ряд специализиров. полярографич. анализаторов, способных без пост. обслуживания измерять концентрацию определяемого вещества в смеси в течение продолжит. времени. При этом должны быть исполнены след. условия: 1) потенциал неполяризуемого электрода сравнения по отношению к раствору не должен изменяться даже при долговрем. прохождении тока через электрод. Электрод сравнения не должен пассивироваться под действием прохождения тока; 2) св-ва поляризуемого (индикаторного) электрода также не должны изменяться при прохождении тока; 3) продукты электролиза не должны накапливаться вблизи поляризуемого электрода.

Исполнение этих условий у полярографич. анализаторов обеспечивается тем, что анализируемый раствор медленно протекает через сосуд и, кроме того, вблизи от индикаторного электрода он интенсивно перемешивается, чаще всего потоком инертного газа. Т. о., первонач. состав раствора вблизи индикаторного электрода постоянно обновляется; весь раствор через нек-рое время сменяется и продукты электролиза удаляются. Часто взамен капельного электрода в анализаторах применяются ртутные электроды с относительно большой пост. поверхностью, дающие больший ток, и ряд твердых электродов: угольные, платиновые и др. Для каждого анализатора необходимо найти самую выгодную комбинацию индикаторного электрода и электрода сравнения, в зависимости от определяемого вещества. Важным также является выбор соответствующего фона.

Лит.: 1) Heyrovský J., «Chem. listy», 1922, sv. 16, s. 256; 2) Гейровский Я., Полярографический метод. Теория и практическое применение, [пер. с чешск.], Л., 1937; 3) Кольтгоф И. М., Лингейн Дж. Дж., Полярография, пер. с англ., М.—Л., 1948; 4) Фрумкин А. Н. [и др.], Кинетика электродных процессов, [М.], 1952; 5) Гейровский Я., Техника полярографического исследования. Сб. ст., пер. с чешск., нем., англ., М., 1951; 6) Крюкова Т. А., Синякова С. И., Арефьева Т. В., Полярографический анализ, М., 1959; 7) Цфасман С. Б., Электронные полярографы, М., 1960; 8) Делимарский Ю. К., Городысский А. В., Электродные процессы и методы исследования в полярографии, Киев, 1960; 9) Виноградова Е. Н., Галлай З. А., Финогенова З. М., Методы полярографического и амперметрического анализа, М., 1960; 10) Коган И. Б., Полярографический анализ в промышленно-санитарной химии, М., 1961; 11) Progress in polarography, ed. by P. Zuman and I. M. Kolthoff, v. 2, N. Y.—L., 1962; 12) Březina M., Zuman P., Polarografie v lékařství biochemii a farmacii, Praha, 1952; то же, Lpz., 1956; то же, N. Y., 1958; 13) Heyrovský J., Kůta J., Základy polarografie, Praha, 1962.

Я. Гейровский, Л. Немец (J. Heyrovský, L. Němec).

ПОМЕХИ — 1) При передаче информации) (noise; bruit; Störung, Rauschen) — воздействия, искажающие передаваемые сообщения. П. сказываются при передаче речи, изображений, команд управления, показаний приборов и т. п. Различают П. импульсные и флуктуационные. Импульсные П. в общем случае — последовательность импульсов произвольной формы, амплитуды и длительности, появляющихся в случайные моменты времени, причем интервалы между импульсами гораздо больше длительности самих импульсов. Флуктуационные П., наз. также гладкими, — непрерывный во времени случайный процесс (см. *Вероятностный процесс*). Характер П. зависит как от св-в источников, так и от полосы пропускания фильтра, на выходе к-рого эти П. рассматриваются. При прохождении импульсных П. через узкополосный фильтр происходит наложение реакций от отдельных импульсов. При большом числе взаимных наложений П. становятся флуктуационными. Поэтому деление на импульсные и флуктуационные П. условно, граница между ними не резка.

П. могут быть внутренние и внешние. Внутренние П. (шумы) возникают в самой приемной аппаратуре в осн. за счет флуктуаций тока в проводниках, лампах, ПП приборах и т. п. и чаще всего бывают флуктуационными. Эти П. связаны с дискретной природой электрич. тока и представляют последовательность очень коротких импульсов, появляющихся хаотически в большом количестве. Их спектральная плотность постоянна вплоть до светового диапазона. В проводниках флуктуации тока объясняются тепловым хаотич. движением электронов. Интенсивность флуктуаций не зависит от силы протекающего в проводнике тока, а определяется его сопротивлением R и абс. темп-рой T проводника. Средний квадрат напряжения флуктуаций определяется ф-лой Найквиста

$$\overline{E^2} = 4kTR\Delta f,$$

где k — постоянная Больцмана ($1{\cdot}37{\cdot}10^{-23}$ *вт·сек/град*), Δf — ширина полосы частот (*гц*). В электронных лампах внутр. флуктуации обусловлены дробовым эффектом, связанным с неравномерностью потока электронов, вылетающих с поверхности катода. Флуктуации тока эмиссии увеличиваются при наличии в лампе положительно заряж. сеток. Еще более сложный характер носят внутр. П. в ПП, где они складываются из шумов объемных сопротивлений, флуктуаций токов, проходящих через потенц. барьеры, и шумов контактных переходов.

Внешние П. разделяют на промышленные (индустриальные) и атмосферные. Пром. П. создаются разнообразными электрич. установками. В первую очередь они связаны с коммутац. процессами, сопровождающимися

искрообразованием. Значит. уровень П. возникает при включении мощных электрич. двигателей, участков электрич. сети, при работе электросварочных аппаратов, ВЧ медицинской аппаратуры, электробытовых устройств, при движении электро- и автотранспорта. Атмосферные П. обусловлены в осн. молниевыми разрядами, хаотически происходящими во многих участках земной атмосферы и электризацией частиц, находящихся в атмосфере. Пром. П. в полосе пропускания порядка неск. *кгц* имеют чаще всего импульсный характер, а атмосферные представляют смесь импульсных П. значит. амплитуды и несколько меньшего уровня флуктуац. П. Уровень пром. и атмосферных П. довольно быстро падает с ростом частоты, и их мешающее действие сказывается гл. обр. в диапазоне длинных и средних волн (но иногда и на коротких и даже ультракоротких волнах). В диапазоне сантиметровых волн существуют П. космич. происхождения, связанные с радиоизлучением Солнца и планет, мерцанием звезд и т. п. Источником П. является также тепловое излучение окружающих тел, атмосферы, небесных тел и межзвездной среды. Ряд П. обусловлен работой мощных радиовещат. и телевиз. станций, радиолокац. и навигац. оборудования. Из-за несовершенства аппаратуры в канале могут возникать перекрестные П., к-рые существуют в основном в многоканальных системах с частотным разделением каналов. Они обусловлены, с одной стороны, неидеальностью частотных хар-к фильтров, а с другой — нелинейностью амплитудных хар-к тракта передачи, что приводит к образованию большого числа гармоник. и комбинац. составляющих передаваемого сигнала, занимающих широкий спектр частот.

Все перечисл. виды П. создаются источниками электромагнитных колебаний и поэтому считаются активными. Существуют также П., проявляющиеся в случайном изменении параметров канала связи, напр. замирания радиоволн за счет ухудшения условий распространения радиоволн, многократные отражения сигналов и т. д. Такие П. наз. пассивными. Особый вид П., проявляющийся на ВЧ, связан с квантовыми флуктуациями электромагнитного поля сигнала.

В радиовещании и телефонии П. могут проявляться в прослушивании др. программ, треска и шумах. В телевидении П. нарушают синхронизацию, приводят к возникновению полос и вспышек на экране. В радиолокации — маскируют полезный сигнал на трубке индикаторного устройства. В телеуправлении — приводят к возникновению ложных команд; при телеизмерении появляются ошибки в показаниях приборов. Если результат воздействия П. можно рассматривать как простое сложение с сигналом, то такая П. наз. аддитивной. Если же П. случайным образом изменяет интенсивность сигнала, как это имеет место при замираниях, т. е. сигнал можно представить умноженным на случайный процесс, то П. наз. мультипликативной.

П., как импульсные, так и флуктуационные, представляют собой случайный процесс и описываются статистич. хар-ками — ф-циями распределения амплитуд, длительностей выбросов и т. п., а также числовыми параметрами этих распределений. Распределение амплитуд флуктуац. П. наиболее часто описывается норм. законом (законом Гаусса), согласно к-рому вероятность того, что амплитуда П. окажется заключенной в пределах x, $x+dx$, равна

$$p(x)\,dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx,$$

где a — ср. значение процесса, а σ — эффективное значение переменной составляющей, равное среднеквадратичному уклонению.

Для широкого класса импульсных пром. П. распределение амплитуд выбросов П. подчинено логарифмически-норм. закону (логарифм амплитуды распределен по норм. закону). Появление импульсов во времени чаще всего определяется законом Пуассона: вероятность того, что за время t появится m импульсов П.

$$P_m(t) = \frac{(n_0 t)^m}{m!} e^{-n_0 t},$$

где n_0 — ср. число импульсов в единицу времени.

Важными хар-ками П. являются энергетич. спектр и ф-ция корреляции. Энергетич. спектр характеризует распределение мощности П. по частоте, а ф-ция корреляции — степень статистич. связи соседних элементов процесса. Обе хар-ки связаны между собой преобразованием Фурье. Интенсивность П. принято характеризовать мощностью или эффективным значением напряжения в определ. полосе частот. При равномерном энергетич. спектре удобной хар-кой является удельная мощность П., отнесенная к полосе в 1 *гц*. Измерение мощности П. чаще всего производится тепловыми приборами, имеющими детектор с квадратичной хар-кой. Изменение интенсивности П. по частоте удобно в ряде случаев характеризовать частотной зависимостью параметров амплитудного распределения. Так, интенсивность флуктуац. П. довольно полно описывается величиной дисперсии и зависимостью последней от частоты. Для импульсных П., кроме параметров амплитудного распределения, нужно знать ср. число выбросов в единицу времени.

Лит.: Гуткин Л. С., Лебедев В. Л., Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, ч. 1, М., 1961; Лихтер Я. И., Измерение атмосферных радиопомех, М., 1959; Лютов С. А., Индустриальные помехи радиоприему и борьба с ними, 3 изд., М.—Л., 1952. *Л. Б. Венчковский.*

2) В каналах телемеханики (remote-control channels noises; bruit dans les canaux de télécommande; Rauschen im Fernwirkkanalen). Характер и интенсивность П. зависят от типа канала связи, диапазона частот и окружающих условий. В воздушных линиях связи П. обусловлены в основном наводками от линий высокого напряжения, мощных радиостанций, электрич. установок и атмосферных разрядов. Воздушная линия является при этом антенной. Из-за большого количества разнородных источников П. в воздушных линиях в полосе пропускания порядка 1 *кгц* и менее, как правило, П. имеют флуктуац. характер с нормальным распределением амплитуд. Интенсивность флуктуац. П. удобно характеризовать величиной эффективного значения, измеренной на выходе перестраиваемых селективных измерителей помех. Уровень П. уменьшается с частотой и пропорционален корню квадратному из полосы пропускания приемного устройства. В диапазоне частот

выше неск. десятков *кгц* в полосе пропускания 1 *кгц* уровень П. не превышает неск. *мв*. В кабельных линиях связи, вследствие их высоких экранирующих св-в, П. от внешних наводок незначительны, а преобладающими являются *помехи перекрестные*. Для телефонных каналов по воздушным и кабельным линиям установлены допустимые уровни П., обусловленные как шумами аппаратуры, так и внешними наводками. По рекомендации Международного консультативного комитета по телефонии принято проводить оценку П. по т. н. псофометрич. (шумоизмерительным) уровням. Для этого ламповый вольтметр снабжается спец. частотным фильтром, имеющим хар-ку типа «телефон—человеч.ухо», и его показания при измерении П. сравниваются с величиной синусоид. напряжения на частоте 800 *гц*. Качество воздушных каналов связи оценивается только величиной допустимых атм. помех. В сырую погоду псофометрич. напряжение атм. П. на линии длиной 2000 *км* в точке с относит. уровнем — 0,8 *неп* не должно превышать 0,7 *мв*, а при сильной изморози 6—7 *мв*. Допустимое псофометрич. напряжение всех составляющих П., включая перекрестные П., для кабельных линий при тех же условиях не должно превышать 1 *мв*. При передаче телемеханич. информации по радиоканалу мешающее действие оказывают такие же источники П., как и при работе по воздушным линиям связи. Кроме того, возможны искажения сигналов из-за случайных изменений параметров канала: изменений условий распространения радиоволн, многократных отражений сигналов и т. п. В УКВ диапазоне П. создаются гл. обр. мощными радиовещат. и телевиз. станциями, навигац. и радиолокац. оборудованием, а также ВЧ медицинской и пром. аппаратурой. На сантиметровых волнах чувствительность приемных устройств определяется практически внутр. шумами приемного устройства и П. космич. происхождения. Уровень внешних П. значительно снижается при передаче сообщений по радиорелейным линиям связи из-за высокой направленности антенных устройств.

Более высокий уровень П. пром. происхождения имеет место в каналах телемеханики и связи по электрич. сетям. В каналах по высоковольтным линиям электропередачи (ЛЭП) с ВЧ обработкой П. возникают за счет коронирования проводов, разрядов на изоляторах и при различных коммутац. процессах. Последняя группа источников создает кратковрем. импульсные П. значит. амплитуды. П. от коронирования в полосе пропускания порядка неск. *кгц* и меньше имеют флуктуац. характер с периодически изменяющейся интенсивностью. С нек-рым приближением закон распределения амплитуд флуктуац. П. можно считать нормальным. Уровень П. в каналах по ЛЭП зависит от величины напряжения и в значит. степени от погоды и состояния линии. Эффективное значение напряжения П. в среднем в полосе пропускания 5 *кгц* составляет десятки *мв* (при неблагоприятных атм. условиях может возрастать на порядок). В каналах по линиям электропередач пост. тока в НЧ части диапазона высокий уровень П. связан с плохой фильтрацией пром. частоты в многофазных ртутных выпрямителях. В остальной части диапазона источники и характер П. те же, что и в сетях перем. тока. В линиях электрифицированного транспорта сильные импульсные П. создаются при нарушении контакта между проводом и пантографом и в моменты коммутаций.

Высокий уровень П. существует в каналах телемеханики по необработанным распределит. электрич. сетям с напряжением 0,4—35 *кв*. К линиям такого типа подключено большое число электрич. установок, создающих П. Основными источниками П. являются разнообразные коммутац. процессы: включение двигателей, участков сети, изменение нагрузки сети и т. п. Значит. уровень П. возникает за счет частичных разрядов на изоляторах. В НЧ части диапазона до 10—15 *кгц* П. создаются нечетными гармоник. и комбинац. составляющими частоты 50 *гц*. Уровень отдельных составляющих дискретного спектра достигает долей процента от величины напряжения сети. На частотах от 10 до 30 *кгц* в полосе пропускания 1—2 *кгц* существуют флуктуац. П., уровень к-рых быстро падает с частотой. На частотах свыше 35 *кгц* в полосе пропускания 5—10 *кгц* П. приобретают импульсный характер с заметной периодичностью в появлении импульсов с частотой 100 *гц*. Уровень импульсных П. в канале удобно характеризовать средним числом импульсов в единицу времени, превышающим заданный уровень на данной частоте, и частотной зависимостью этого уровня. Так, в сети с напряжением 0,4 *кв* в полосе пропускания 5 *кгц* уровень в неск. *мв* превышает в среднем 10 *импульсов/сек* в диапазоне от 40 до 100 *кгц*. Распределение случайных амплитуд импульсных П. в низковольтной силовой сети, так же как и распределение импульсных П., создаваемых целым рядом пром. источников, описывается логарифмически нормальным законом (логарифм амплитуды распределен по нормальному закону).

Лит.: Белоус Б. П., Высокочастотная связь по линиям электропередачи, М.—Л., 1952; Васильев Р. Р., Шастова Г. А., Передача телемеханической информации, М.—Л., 1960; Венчковский Л. Б., Исследование помех в силовой сети напряжением 0,4/6 *кв*, «АиТ», 1960, т. 21, № 8; Певницкий В. П., Француз А. Г., О статистических распределениях амплитуд импульсов радиопомех, создаваемых электроустройствами, «Э», 1958, № 9.

Л. Б. Венчковский.

ПОМЕХИ ПЕРЕКРЕСТНЫЕ взаимные (cross-noises; bruit croisé; Übersprech-Störungen) — помехи, создаваемые посторонними каналами передачи информации. П. п., как и др. помехи, вызывают погрешности в передаче сообщений, приводят к ложным срабатываниям в каналах телемеханики, мешают телефонным разговорам и т. п. В отличие от тепловых, атмосферных, индустриальных и др. видов помех, возникающих по причинам, не связанным с непосредств. передачей информации, П. п. создаются в канале только из-за влияния соседних каналов.

В результате воздействия группового сигнала, т. е. сигнала неск. каналов, на нелинейные элементы группового тракта возникают нелинейные продукты, занимающие во много раз более широкий спектр, чем сигналы, их образующие. Часть этих продуктов, лежащая в полосе полезного сигнала, создает П. п. Обычно требуют, чтобы уровень П. п. был ниже уровня тепловых шумов, маскирующих П. п. В многоканальной аппаратуре нелинейные продукты группового тракта составляют десятые и сотые доли % от величины сигнала. В групповых трактах П. п. возникают при

прохождении сигналов через общие усилители и преобразователи частоты. Такие устройства, как тр-ры, фильтры и др., при правильном их конструировании создают малые перекрестные искажения.

Нелинейные искажения возникают в элементах с нелинейной зависимостью выходного напряжения от входного. Однако измерение нелинейных искажений непосредственно по форме амплитудной хар-ки практически затруднительно и, кроме того, в ряде случаев приводит к неправильным результатам, т. к. даже при линейной амплитудной хар-ке могут возникать значит. нелинейные искажения. Экспериментальное определение нелинейности группового тракта обычно производится путем подачи на вход устройства напряжения одной или неск. частот и измерения гармоник и комбинац. составляющих, образующихся на выходе. Степень нелинейности при подаче сигнала одной частоты определяется коэфф. нелинейности, под к-рым понимается отношение эффективного значения напряжения всех гармоник к эффективному значению напряжения основной частоты или же к эффективному значению напряжения основной частоты и всех ее гармоник. Соответственно этим определениям коэфф. нелинейности

$$K=\frac{\sqrt{u_2^2+u_3^2+u_4^2+\dots}}{u_1}$$

или

$$K'=\sqrt{\frac{u_2^2+u_3^2+u_4^2+\dots}{u_1^2+u_2^2+u_3^2+\dots}},$$

где u_1, u_2, u_3 ,..., u_n — эффективные значения напряжения основной частоты и ее гармоник. При малых значениях K имеет место равенство $K = K'$. Иногда коэфф. нелинейности определяется для отдельных гармоник основной частоты. В этом случае коэфф. нелинейности по 2-й гармонике определяется выражением:

$$K_2=\frac{u_2}{u_1} \text{ или } K'_2=\frac{u_2}{\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2+\dots}}.$$

Аналогичным образом находят коэфф. и по др. гармоникам. Коэфф. нелинейных искажений зависит от амплитуды подводимого сигнала. В рабочих условиях на нелинейное устройство действуют сигналы неск. частот f_i и f_k. При этом образуются комбинац. частоты, равные $mf_i \pm lf_k$, где m и l — целые числа. Если эти составляющие совпадают со спектром полезных сигналов, возникают П. п. Коэфф. нелинейности определяется в общем случае отношением напряжения наиболее опасной комбинац. частоты к напряжению одной из рабочих частот, подаваемых на вход устройства:

$$K_{mf_i-lf_k}=\frac{mf_i-lf_k}{u_{f_i}},$$

а затухание нелинейности определяется как

$$b=\ln\frac{1}{K_{mf_i-lf_k}}=\ln\frac{u_{mf_i}}{u_{mf_i-lf_k}}.$$

Обычно в групповом тракте имеется неск. нелинейных элементов, через к-рые последовательно проходит групповой сигнал. В каждом из этих элементов возникновение максимума П. п. совпадает во времени с прохождением через них пикового значения группового сигнала. При определ. фазовых соотношениях П. п., создаваемые каждым нелинейным элементом, будут складываться арифметически. В этом заключается существенное различие между П. п. и помехами др. рода, возникновение к-рых носит чисто случайный характер, вследствие чего их сложение происходит по квадратичному закону.

П. п. подвержены системы с частотным разделением каналов. При временно́м разделении, а также при частотной модуляции в групповом тракте нелинейность его не вызывает помех.

Особую группу составляют П. п., вызываемые амплитудными и фазовыми искажениями спектра частот группового сигнала при последующем детектировании этого сигнала общими для всех каналов устройствами. Так, при амплитудной модуляции нарушение фазовых соотношений между боковыми частотами и несущей частотой даже при идеальном детектировании приводит к нелинейным искажениям. В системах с вторичной частотной модуляцией П. п. возникают при ограничении спектра частот группового сигнала. Ограничение частотного спектра при временно́м разделении и импульсных методах передачи вызывает увеличение длительности импульсов, что также создает помехи в соседних каналах.

При использовании системы передачи одной боковой полосы в групповом тракте аппаратуры, индивидуальные каналы к-рой разделены по частоте, возникают взаимные влияния из-за расхождения виртуальных несущих частот в приемнике и передатчике. Расхождение несущих частот приводит к смещению спектра индивидуальных сигналов на величину этого расхождения. Спектр индивидуального сигнала может быть смещен настолько, что попадает в полосу пропускания приемного фильтра соседнего канала, где создает помеху.

При использовании время-импульсной системы передачи могут возникать взаимные помехи из-за нарушения синфазности в работе передатчика и приемника. В этом случае сигнал попадает одновременно в два индивидуальных канала.

Причинами возникновения взаимных влияний переходных помех между каналами являются: электромагнитная связь между проводами соседних цепей, недостаточное затухание фильтров в полосе запирания, связь через общие источники питания и т. п. Переходные помехи возрастают с увеличением разности уровней сигналов в мешающей и подверженной влиянию цепях. Они не зависят от абс. уровня сигналов, поскольку тракт перехода энергии из одной цепи в др. линеен. Помехи тем больше, чем ближе друг к другу расположены полосы частот влияющего и подверженного влиянию канала. Наиболее неблагоприятные условия возникают при совпадении этих полос. Для устранения переходных помех применяют скрещивание на воздушных и симметрирование и экранирование пар в кабельных линиях связи.

Лит.: Аболиц И. А. [и др.], Дальняя связь, М., 1962; Пухальский А. Ч., Измерения в дальней связи, М., 1953; Николь с М. Х. и Раух Л. Л., Радиотелеметрия, пер. с англ., М., 1958.

Р. А. Израилев.

ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ (noise immunity; étendue de protection contre le bruit; Störbefreiung) — способность системы правильно принимать информацию, несмотря на наличие *помех* в канале связи. Этим опреде-

лением охватываются все ресурсы, позволяющие системе противостоять помехам, в т. ч. и действие устройств, защищающих вход приемника от помех. Такая защита достигается в первую очередь использованием пространственной и поляризац. избирательности антенных устройств, что во многих случаях позволяет существенно улучшить условия приема полезного сигнала и затруднить проникновение помех на вход приемника. Далее возможно использование временно́й избирательности, если время поступления полезного сигнала заранее известно: можно закрыть вход приемника на те интервалы времени, когда поступления полезного сигнала не ожидается. Если П. системы $П_з$, ее *помехоустойчивость* $П_у$, эффективность действия устройств, защищающих вход приемника от помех K, то $П_з = K П_у$. Следовательно, П. системы выше ее помехоустойчивости и равняется таковой лишь при $K = 1$, т. е. в случае, когда средства защиты входа приемника не применены или действуют неэффективно. В технич. литературе часто не делают различия между П. и помехоустойчивостью, что противоречит буквальному значению этих терминов. *Г. А. Левин.*

ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА в источниках индустриальных радиопомех (noise-eliminating devices; dispositifs d'élimination de bruit; Störschutzeinrichtungen) — устройства, включаемые в схему и конструкцию различных электротехнич. установок с целью подавления создаваемых ими помех работе радиоприемников. Любая электротехнич. установка, работающая в условиях резких колебаний тока и напряжения, является источником т. н. индустриальных радиопомех. При резком изменении режима работы (включении, выключении, переключении и т. д.) во всяком электротехнич. устройстве возникают нестационарные процессы с весьма широким спектром частот, захватывающим области радиочастот. Радиоприемник, находящийся вблизи от такой установки, оказывается под действием колебаний упомянутых радиочастот, к-рые проникают в приемник либо непосредственно, благодаря создаваемому электромагнитному полю помех, либо путем распространения меняющих колебаний по проводам электрич. сети, питающей приемник.

Прерывистый режим работы свойствен многим электротехнич. устройствам по самому их назначению или по конструктивному выполнению. Таковы различные прерыватели, вибропреобразователи, телеграфная аппаратура, трамвайные и др. электрич. двигатели, магнето автомашин, контактные системы трамваев и троллейбусов, электросварочная аппаратура и др. Существуют также многочисленные пром. и иные установки, работающие непосредственно в ВЧ диапазоне: установки ВЧ нагрева, медицинская электронная аппаратура и др. В этом случае индустриальные радиопомехи возникают не только описанным выше путем, но и благодаря прямому воздействию рабочих токов аппаратуры на радиоприемник.

Наиболее надежный путь борьбы с индустриальными радиопомехами — подавление их в самом источнике возникновения помех, в пром. электротехнич. установке. Основными средствами подавления являются: 1) экранирование тех элементов пром. установки, к-рые генерируют радиопомехи; иногда приходится даже всю аппаратуру в целом заключать в экран; 2) включение фильтров в силовую сеть, питающую пром. установку. Экранирование резко ослабляет электромагнитное поле помех вблизи от индустриальной установки, а включение фильтров в питающую сеть препятствует распространению электромагнитных колебаний помех по проводам сети, в к-рую, между прочим, включены и радиоприемники. Для УЗ и ВЧ установок пром. применения выделены диапазоны частот и ограничены допускаемые значения уровня поля радиопомех, создаваемых установками на этих частотах.

Рассмотрим более подробно устройства для подавления помех, возникающих при работе ВЧ установок для емкостного и индукционного нагрева. Для подавления радиопомех все элементы ВЧ установки, по к-рым протекают токи ВЧ, заключаются в металлич. экраны. Для электрич. связи между элементами, заключенными в различные экраны, применяется концентрич. фидер, наружный полюс к-рого заземлен и имеет надежный электрич. контакт с обоими экранами по всему периметру соприкосновения с ними. Электрическая связь высокочастотных элементов установки с прочими ее частями осуществляется через фильтры (рис. 1), снижающие до значений, не превосходящих установленных норм, переменные высокочастотные напряжения, выносимые по проводам за пределы экрана.

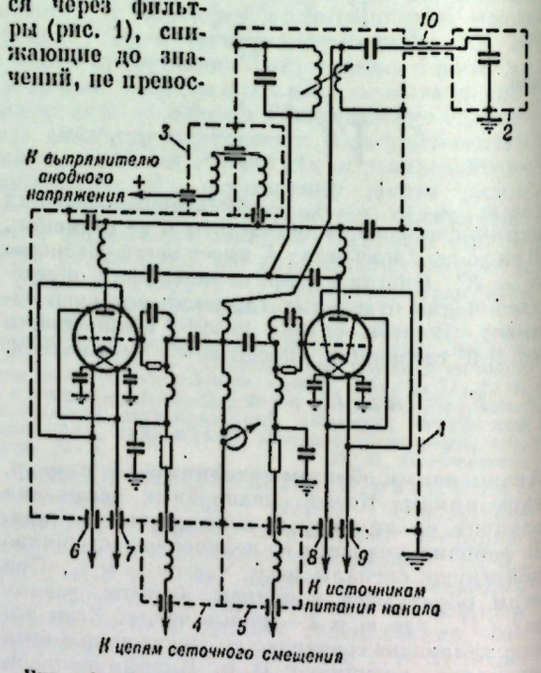


Рис. 1. Схема выполнения помехоподавляющего устройства в установке с ламповым генератором для диэлектрич. нагрева (с выносным рабочим конденсатором): *1* — экран ВЧ части установки; *2* — экран рабочего конденсатора; *3* — фильтр анодной цепи; *4, 5* — фильтры сеточных цепей; *6, 7, 8, 9* — фильтры (проходные конденсаторы) цепей накала; *10* — концентрич. фидер.

Эффективность экранирования $Э$ экрана, т. е. отношение напряженностей поля в данном участке при отсутствии экрана и при его наличии, в случае выполнения его из сплошных металлич. листов достаточной толщины без всяких отверстий и щелей, можно считать бесконечно большой. Эффективность экранирования при наличии в экране прямоугольного отверстия (или щели) выражается приближенным соотношением

$$Э = \frac{1}{4}\left[\frac{S_{экр}}{S_0 \cdot \varphi(a/b)}\right]^{3/2}, \qquad (1)$$

где $S_{экр}$ — площадь экрана; S_0 — площадь отверстия; a и b — размер большей и меньшей сторон отверстия; $\varphi(a/b)$ — функция (рис. 2).

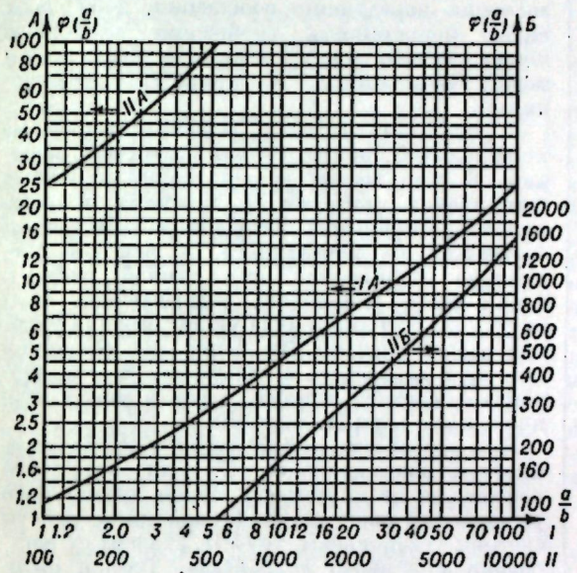


Рис. 2. Функция $\varphi(a/b)$ для подсчета эффективности экранирования при наличии отверстий.

При наличии в экране многих отверстий общая эффективность экранирования находится по ф-ле:

$$\frac{1}{Э} = \frac{1}{Э_1} + \frac{1}{Э_2} + \frac{1}{Э_3} + \ldots, \qquad (2)$$

где $Э_1$, $Э_2$, $Э_3$ и т. д. — эффективности экранирования каждого из отверстий. При наличии n одинаковых отверстий: $Э = Э_1/n$. Отверстия в экране для наблюдения за аппаратурой обычно затягиваются металлич. сеткой. Если в каждой точке пересечения проволок сетки

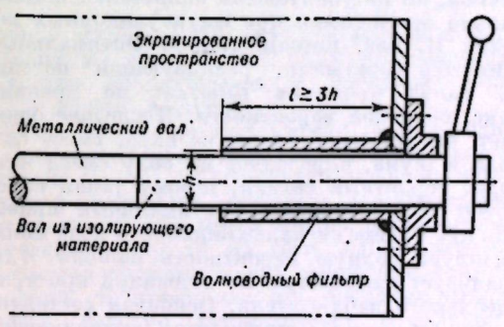


Рис. 3. Схема конструкции волноводного фильтра для прохода через экран рукоятки управления регулируемым элементом, заключенным в экран.

обеспечен электрич. контакт, диаметр проволоки не менее 2 *мм*, а размер ячейки не менее 10 *мм* × 10 *мм*, то эффективность экранирования, подсчитанная для отверстия по ф-ле (1), возрастает в $\sqrt{N}$ раз, где N — число ячеек сетки, умещающееся на площади отверстия.

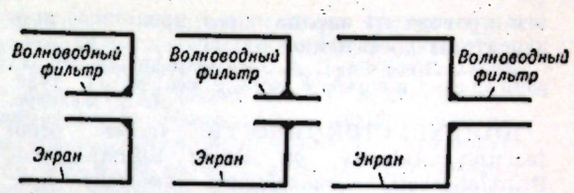


Рис. 4. Схемы волноводных фильтров.

Для более густой сетки $Э$ растет медленнее, чем $\sqrt{N}$. Можно значительно повысить $Э$, если применить две сетки на нек-ром расстоянии друг от друга.

Двери в экране обычно снабжаются по периметру бронзовыми пружинными контактами, а поверхность экрана, к к-рой прижимаются пружинные контакты, покрывается плохо окисляющимся металлом (напр., цинкуется), что обеспечивает хороший электрич. контакт двери с экраном при ее закрывании. Отверстие в экране, к-рое не может быть затянуто сеткой (напр., отверстия для валов рукояток управления, отверстия в экране рабочего конденсатора, через к-рый входит конвейерная лента), защищается волноводным фильтром (рис. 3), т. е. металлич. трубой, сечение к-рой имеет форму отверстия в экране, привариваемой или припаиваемой сплошным швом к экрану по всему контуру отверстия. При наличии волноводного фильтра эффективность экранирования с учетом данного отверстия увеличивается в A раз, где A находится из выражения: $\lg A = 1{,}365\ l/h$, где l — длина трубы (волноводного фильтра); h — диаметр или больший размер поперечного сечения трубы. Волноводный фильтр может быть расположен как вне, так и внутри экрана (рис. 4).

Цепи ВЧ части установки, заключенные в экран, связываются с внешними электрич. цепями питания посредством *фильтров электрических*, состоящих в большинстве случаев из Г-образных звеньев (рис. 5). Индуктивное сопротивление Z_1 звена представляет собой большое сопротивление для токов ВЧ. Емкостное сопротивление Z_2, наоборот, мало для токов ВЧ. Если $Z_1/Z_2 = M$, то подаваемое на вход звена фильтра ВЧ напряжение $u_{вх}$ ослабляется в M раз; при этом $u_{вых} = u_{вх}/M$. Затухание ВЧ составляющей напряжения, обусловленное каждым звеном фильтра, выраженное в *дб*, равно $\beta = 20 \lg M$. Если фильтр состоит из неск. звеньев, каждое из к-рых ослабляет ВЧ напряжение в M_1, M_2, M_3 и т. д. раз, то общее ослабление напряжения, подаваемого на вход фильтра, будет равно: $M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \ldots$, а общее затухание в децибелах: $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \ldots$. Звенья фильтра должны быть заключены в самостоят. экраны, чтобы ВЧ установка или соседние звенья не наводили на них электромагнитных полей, что может резко ослабить или вовсе свести к нулю работу фильтра. Для фильтрации проводов низкого напряжения от незначит. составляющих ВЧ напряжения в ряде случаев достаточно включить параллельную емкость, т. е. вывести

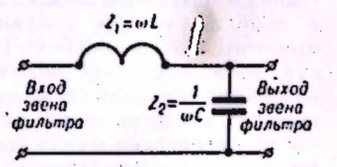


Рис. 5. Схема звена электрического фильтра.

эти провода из экрана через проходные конденсаторы достаточно большей емкости.

Лит.: Лютов С. А., Индустриальные помехи радиоприему и борьба с ними, 3 изд., М.—Л., 1952.

Д. Б. Мондрус.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ (noise proof feature; stabilité au bruit; Störstabilität, Störsicherheit) — способность системы правильно принимать информацию, несмотря на наличие *помех* на входе приемного устройства. Поскольку в данном случае предполагается, что помехи уже проникли на вход приемника, то этим определением не охватывается действие тех устройств, к-рые защищают вход приемника от помех (напр., антенны и т. п.); учитываются лишь общие св-ва системы передачи информации и св-ва приемника.

Наличие помех на входе приемника снижает качество передачи информации, портит воспроизведение речи, приводит к ошибкам при приеме сигналов измерения и управления, т. е. снижает эффективность системы, а иногда и полностью срывает ее работу. При флуктуац. помехах действительна ф-ла Шеннона : $C = F \log (1 + \frac{P_c}{P_п})$, где F— полоса пропускания системы, P_c — мощность сигнала, $P_п$ — мощность помех, C — предельная пропускная способность системы, т. е. пропускная способность системы, разработанной так, чтобы при заданных F, P_c и $P_п$ она могла функционировать с бесконечно малой вероятностью ошибки. Ф-ла Шеннона показывает, что предельная пропускная способность системы падает с ростом уровня помех и неограниченно растет по мере его уменьшения.

Однако системы передачи информации работают вовсе не с бесконечно малой вероятностью ошибки, а с вполне конечным значением этой величины, к-рое лишь стараются снизить до практически достижимых пределов. Вероятность ошибки в системе служит хорошим критерием ее П. Наиболее часто критерий в такой форме применяют к системам, работающим бинарным кодом. Если, напр., пауза в коде приемника пассивна, то в системе мыслимы 2 типа ошибок: 1) сигнал был передан, но в результате действия помех системой не принят (пропуск сигнала); 2) сигнал не был передан, но из-за помех система на приемном конце зарегистрировала не паузу, а наличие сигнала (ложная тревога). Вероятности возникновения ошибок того или др. типа должны быть, вообще говоря, различны. В зависимости от назначения системы оба типа ошибок могут быть либо равноценны с точки зрения ущерба, нанесенного системе, либо один тип ошибок может иметь больший вес, чем другой. В этих условиях возможны 3 варианта критерия П. системы: 1) Критерий **полной вероятности ошибки**, к-рая вычисляется, исходя из равноценности ошибок обоих типов; наз. также критерием идеального наблюдателя. 2) Критерий **полной взвешенной вероятности ошибки**; в этом случае полная вероятность вычисляется с учетом веса каждого типа ошибки. 3) Наконец, если система работает т. о., что вероятность ложной тревоги поддерживается на заданном постоянном уровне, то критерием П. явится вероятность пропуска сигнала (критерий Неймана — Пирсона).

Если информация передается методом непрерывных сообщений, то применяются др. критерии, напр. (при телефонной передаче и т. п.) критерий улучшения отношения сигнал/шум на выходе приемного устройства по сравнению с таким же отношением на входе приемника: $П = (с/ш)_{вых}/(с/ш)_{вх}$. При передаче непрерывным методом информации метрологич. характера чаще используется критерий, основанный на вычислении отношения среднеквадратич. уклонения принятого сообщения от переданного к среднеквадратич. значению переданного сообщения. При всех видах непрерывных сообщений критерием может служить коэфф. взаимной корреляции между переданным и принятым сообщениями.

В последние годы к решению задач П. привлекается аппарат теории статистич. решений. В этой весьма общей теории в основу определения критерия П. кладется не само уклонение принятого методами данной теории сообщения от переданного, а нек-рая специально выбираемая для данной системы ф-ция этого уклонения, учитывающая важность того или иного вида уклонения для условий работы системы. Эта ф-ция наз. функцией потерь, а ее среднее в статистич. смысле значение — средней потерей, к-рая и может служить критерием П. системы.

При разработке любой системы всегда стремятся к повышению ее П., если только это повышение не покупается ценой чрезмерного усложнения системы. Если принципы работы системы установлены, то ее П. зависит от построения приемного устройства. Теория оптимальных методов приема позволяет практически для любой системы и для любого из существующих критериев П. указать пути построения т. н. оптимального приемника, реализующего наивысшую П. с позиций выбранного критерия. В этой теории предполагается, что помехи имеют флуктуац. характер и подчиняются норм. закону распределения. Большое значение для теории оптимального приема имеет теория потенциальной П., устанавливающая, что в принципе существует возможность подавить при приеме любые помехи (импульсные, синусоидальные и т. п.), кроме флуктуационных, действие к-рых может быть существенно ограничено надлежащей системой приема, но не уничтожено полностью. Максимально достижимая при флуктуационных помехах П. наз. потенциальной. Оптимальным считается приемник, реализующий потенц. П. Такой приемник работает по правилу макс. обратной вероятности. Последнее означает, что приемник, имея на входе смесь сигнала и шума, определяет по виду смеси наиболее вероятный сигнал, к-рому такая смесь может соответствовать. Оптимальный приемник при приеме сигналов бинарного кода минимизирует полную вероятность ошибки, т. е. реализует наивысшую П. с позиций критерия идеального наблюдателя. Основная составная часть приемника — коррелятор, вычисляющий ф-цию взаимной корреляции между принятым и ожидаемым сигналами. Поскольку сигнал длится конечное время, таким коррелятором может служить и т. н. оптимальный фильтр, согласованный с сигналом и дающий на выходе макс. для данной ситуации отношение сигнал/шум. Руководствуясь теми же принципами, можно построить оптимальный в смысле потенциальной П. приемник для приема m различных дискретных сигналов.

При приеме непрерывных сообщений оптимальный приемник выбирает то из возможных значений сообщения, к-рому соответствует макс. плотность обратной вероятности. Построенный т. о. приемник реализует минимум среднеквадратичного уклонения принятого сообщения от переданного; одновременно отношение сигнал/шум на выходе приемника приобретает максимально возможное значение. Был проведен теоретич. анализ потенц. П. многих применяемых систем передачи информации (АМ, ЧМ, фазовая модуляция ФМ, временна́я импульсная модуляция ВИМ и др.). Выяснилось, что существующие приемники для этих способов модуляции сигнала могут обеспечить П., близкую к потенциальной.

Решать задачу об оптимальном приеме можно не только методами теории потенциальной П. В последнее время для этого приспособлены методы проверки статистич. гипотез и теории статистич. решений. Первый метод проще всего пояснить на примере задачи бинарного обнаружения, когда, исследуя принятое сообщение, надо решить только один вопрос: о наличии или отсутствии сигнала. Приемник вычисляет т. н. отношение правдоподобия, к-рое представляет собой отношение двух вероятностей: вероятности правильности гипотезы о наличии сигнала к вероятности правильности гипотезы об его отсутствии. Если отношение правдоподобия превосходит нек-рый заданный порог, то принимается решение о наличии сигнала; в противном случае принимается решение об его отсутствии. Можно показать, что оптимальному результату с позиций любого из приведенных ранее критериев П. при бинарном обнаружении (идеального наблюдателя, полной взвешенной вероятности ошибки, Неймана — Пирсона) соответствует свой порог. Т. о., в приемнике, построенном по принципам проверки статистич. гипотез (рис. 1), можно реализовать по

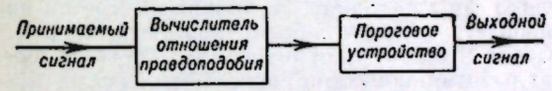


Рис. 1.

выбору путем надлежащей установки порога каждый из трех указанных критериев с наивысшими показателями и добиться макс. П. в любом варианте.

Если важен не весь сигнал, а к.-н. один заключенный в нем параметр (частота, запаздывание и т. п.), то отношение правдоподобия будет ф-цией этого параметра. Интересующее нас значение параметра можно приближенно определить, исходя из того, какое значение параметра максимизирует отношение правдоподобия. В приемнике эта операция выполняется, конечно, автоматически. В большинстве случаев методы макс. правдоподобия и макс. плотности обратной вероятности дают одинаковые результаты.

Наконец, весьма общий подход к определению оптимального приема предлагается в теории статистич. решений, где оптимальным приемником считается такой, к-рый минимизирует ср. потерю. Если ф-ция потерь зависит от правила, по к-рому приемник определяет ожидаемый сигнал на основе знания принятого сигнала, то операция минимизации средней потери наталкивается на существенные математич. трудности. Поэтому ф-цию потерь обычно выбирают так, чтобы этой зависимости не было. Тогда ф-ции потерь присваивается наименование риска, а ср. потеря превращается в ср. риск. Можно доказать, что критерий миним. ср. риска охватывает, как частные случаи, критерии минимума полной вероятности ошибки и минимума полной взвешенной вероятности ошибки. При квадратичной ф-ции потерь критерий миним. ср. риска эквивалентен критерию минимума среднеквадратич. ошибки. Практически во многих важных случаях рассматриваемый критерий приводит к тем же результатам, что и теория потенциальной П.

Повышение П. системы обычно достигается за счет снижения ее эффективности и может быть осуществлено различными способами. Для случая флуктуац. помех один из наиболее распространенных методов — метод накопления, сущность к-рого можно пояснить на след. простом примере. Пусть требуется обнаружить слабый периодич. импульсный сигнал, к-рый поступает в смеси с весьма интенсивными шумами. В силу этого сигнал приемником не обнаруживается. Подадим продетектированный сигнал с выхода приемника на коммутатор (часто электронный), период коммутации к-рого точно равен периоду T сигнала (рис. 2).

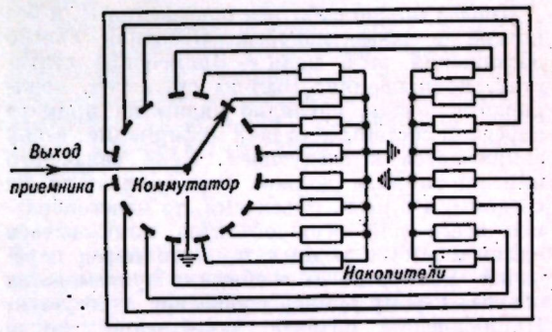


Рис. 2.

В течение периода коммутатор на короткое время подсоединяет к цепи каждый из показанных на рис. 2 накопителей (емкостных или к.-л. иных). Зазор между ламелями коммутатора весьма мал. Тогда сигнал с помехой накапливается на одном из накопителей, а на всех др. накопителях накапливается только помеха. Поскольку энергия помехи, в силу ее флуктуац. характера, будет расти пропорционально числу повторений, а энергия сигнала, по причине его периодичности, будет расти пропорционально квадрату числа повторений, то, как бы ни был слаб сигнал, после достаточного количества накоплений он превзойдет уровень помехи и будет обнаружен. Теория этого вопроса показывает, что для достаточно надежного обнаружения сигнала необходимое количество повторений n должно удовлетворять след. приближенному равенству: $n \approx 10 \frac{P_п}{P_c}$. Т. о., если мощность сигнала P_c слабее мощности помехи $P_п$ в 5 раз, то $n = 50$. В данном случае повышение помехозащищенности достигнуто за счет увеличения времени наблюдения сигнала в 50 раз и соответствующего уменьшения эффективности системы. Можно

ставить задачу о додетекторном накоплении сигнала, имеющего форму ВЧ импульсов. При особо благоприятных условиях эта задача может быть решена и требует применения системы фильтров. Средством борьбы с помехами любого типа могут служить т. н. корректирующие коды, обнаруживающие и исправляющие ошибки работы системы. Основная идея таких кодов в том, что в каждой кодовой комбинации имеются избыточные знаки сверх того необходимого минимума знаков, к-рый обеспечивает правильную передачу информации. Эти избыточные знаки и служат для обнаружения и исправления ошибок. Т. о., увеличение П. в данном случае достигается благодаря увеличению длины кодовой комбинации, что повлечет за собой увеличение времени передачи сообщения; эффективность системы при этом снизится. Если позволяют обстоятельства, то для повышения П. может быть применен канал обратной связи. В этом случае принятая на приемном конце информация передается по каналу обратной связи на передатчик, где она и сопоставляется с фактически переданной информацией. При обнаружении ошибок передатчик повторяет ту часть сообщения, к-рая была принята ошибочно. Более высокая П. систем ЧМ, ФМ, ВИМ по сравнению с АМ объясняется их более широким спектром, что также приводит к снижению эффективности.

Иногда можно добиться повышения П. и без потери в эффективности. Основной способ достижения этой цели — применение статистич. кодирования. Выгоды статистич. кодирования весьма наглядно видны на примере адресной системы передачи информации, к-рая заключается в следующем. Если связь того или иного вида должна поддерживаться не с одним, а с неск. объектами, то целесообразнее всего для всех объектов пользоваться одним и тем же кодом с тем, что перед передачей конкретного сообщения указывается объект, к-рому данное сообщение адресуется. Наименование объекта, естественно, также кодируется. Нетрудно понять, что такая система много выгоднее др. возможных систем, напр. таких, в к-рых полезная информация для каждого объекта передается самостоят. кодовыми комбинациями, предназначенными только для обслуживания данного объекта. Теория показывает, что адресная система передачи информации обеспечивает выигрыш как в П., так и в эффективности одновременно. Эти рассуждения имеют силу до тех пор, пока можно считать, что ошибка при приеме адреса имеет ту же цену, что и ошибка при приеме сообщения. Если же, как это часто бывает, ошибка при приеме адреса имеет много бо́льшую цену, чем др. ошибки, то приведенные выше рассуждения теряют силу.

Разработка методов борьбы с отд. частными видами помех обычно бывает основана на различии между сигналом и помехой. Проявление этого различия и его использование в системе приема часто дают плодотворные результаты. Для борьбы с короткими импульсными помехами могут быть применены след. способы: 1) ограничение уровня помехи или запирание приемника на время ее действия, 2) схема ШОУ, 3) компенсац. методы подавления импульсной помехи.

В первом случае параллельно входу усилителя низкой частоты (УНЧ) включается диод, запертый смещением, равным максимально возможной амплитуде полезного сигнала. Поэтому в отсутствие помехи прохождение полезного сигнала ничем не ограничивается. Помеха, превышающая уровень полезного сигнала, откроет диод, к-рый зашунтирует вход УНЧ. Т. о., ограничивается рост напряжения на входе УНЧ и тем самым ограничивается уровень помехи, оказывающей воздействие на ход приема. Эту схему можно неск. улучшить, сделав смещение на диоде следящим за уровнем несущей полезного сигнала. На базе аналогичных принципов может быть построена несложная схема, запирающая детектор приемника при появлении помехи достаточного уровня.

Схема ШОУ состоит из широкополосного усилителя ШУ, ограничителя по максимуму ОпМ и узкополосного усилителя УУ. ШУ усиливает полезный сигнал, а также короткий, но мощный импульс помехи, с тем чтобы обеспечить эффективность работы ОпМ, к-рый одинаково ограничит уровень помехи и сигнала. Т. о., даже мощный импульс помехи на выходе ОпМ будет иметь уровень, равный уровню полезного сигнала; зато короткий импульс помехи будет иметь длительность, много меньшую длительности полезного сигнала. Выходной УУ имеет большую постоянную времени; долгий полезный сигнал пройдет через УУ и создаст на выходе напряжение, нарастающее до уровня установившегося; в то же время короткий импульс помехи не будет иметь достаточно времени для нарастания при прохождении через УУ и на его выходе создаст напряжение, далеко не достигшее установившегося уровня. В результате на выходе схемы ШОУ соотношение между уровнем полезного сигнала и импульсной помехи резко изменяется в пользу сигнала. Если в дополнение к схеме ШОУ включить на выходе ограничитель по минимуму с хорошо подобранным уровнем ограничения, то импульсная помеха через этот дополнит. ограничитель совсем не пройдет; пройдет только полезный сигнал. Схема ШОУ — пример того, что борьба с импульсными помехами может быть весьма эффективной, вплоть до полной ликвидации помехи на выходе приемника. Основной недостаток схемы ШОУ — ее подверженность действию непрерывных синусоидальных помех.

Основа компенсац. методов борьбы с импульсными помехами — то обстоятельство, что короткие импульсные помехи имеют спектр значительно более широкий, чем полезный сигнал. В результате можно построить приемник с 2 каналами: один из них настроен на полезный сигнал, др. имеет полосу, близкую к полосе полезного сигнала, но не перекрывающуюся с ней. Через 1-й канал проходит как сигнал, так и помеха; через 2-й — только помеха. Выходы обоих каналов подаются на вычитающее устройство, где и происходит компенсация помехи. Если вычитающее устройство включено после детектора, то полной компенсации помехи в ряде случаев не произойдет. Если вычитающее устройство включено на промежуточной частоте, то для хорошей компенсации должны быть применены спец. схемы преобразования частоты.

Серьезным препятствием для помехоустойчивого приема служит явление замирания сигнала на КВ и волнах СВЧ. Для ликвидации вредных последствий внезапного падения уровня сигнала применяется прием на разнесенные антенны. Если две приемные антенны разнести на расстояние в 5—10 длин волн, то вероятность одновременного замирания сигнала в обеих антеннах очень мала. Поэтому, если прием вести раздельно на каждую антенну, включив в нее свой приемник, то, применяя тот или иной способ сочетания сигналов на выходе обоих приемников, можно добиться значит. увеличения П. приема.

Иногда основными помехами при приеме являются помехи межканальные, к-рые заключаются в частичном наложении спектра сигналов одного канала на полосу соседнего канала. В этом случае можно принять меры к тому, чтобы спектр сигналов канала резко убывал за пределами отведенной для него полосы. Такой мерой может служить отказ от импульсов резко прямоугольной формы и переход к импульсам скругленных форм, у к-рых энергия спектра за пределами определенной полосы быстро убывает.

Лит.: Котельников В. А., Теория потенциальной помехоустойчивости, М.—Л., 1956; Гуткин Л. С., Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах, М.—Л., 1961; Харкевич А. А., Очерки общей теории связи, М., 1955; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического регулирования, 3 изд., М., 1962; 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. *Г. А. Левин, Г. А. Шастова.*

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ (remote-measurement noise proof feature; stabilité au bruit de télémesure; Störsicherheit bei Fernmessungen, Störsicherheit einer Fernmessung) — помехоустойчивость передачи параметров в системах ТИ, оцениваемая по величинам средней и среднеквадратной ошибок. Критерии оценки П. т. зависят от требований, предъявляемых к системе ТИ, и от ее св-в. На выходе большинства таких систем включены узкополосные усредняющие устройства (фильтры, инерц. приборы и т. д.). Ошибка от помех в системах ТИ есть непрерывный случайный процесс с законом распределения, близким к нормальному, к-рый полностью определяется средним и среднеквадратичным значениями. Средняя ошибка характеризует среднее отклонение показаний выходного прибора от значения, измеряемого в отсутствии помех. Величина средней ошибки $\delta_{ср}$ определяется усреднением по времени t мгновенного значения ошибки δ:

$$\delta_{ср} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_0^T \delta(t)\,dt,$$

где T — время передачи одного значения передаваемого параметра (быстродействие системы ТИ). Среднеквадратичная ошибка характеризует рассеяние ошибок вокруг среднего значения:

$$\delta_{ср\ кв} = \sqrt{\overline{\delta^2(t)} - \delta_{ср}^2},$$

где

$$\overline{\delta^2(t)} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_0^T \delta^2(t)\,dt.$$

Среднеквадратичная ошибка может быть уменьшена за счет снижения быстродействия путем интегрирования ошибки на выходе системы, напр. включением RC-фильтра в цепь выходного прибора или шунтированием его емкостью. Средняя ошибка при этом не изменяется. Поэтому для измерения средней ошибки можно воспользоваться интегрированием суммарной ошибки за достаточно большое время. Среднеквадратичная ошибка может быть определена по осциллограммам самописца или прибором, вычисляющим интеграл от квадрата перем. составляющей ошибки.

Соотношение величин этих ошибок зависит от уровня помех и полосы частот приемника. Для приемника, параметры к-рого выбраны близкими к оптимальным, с точки зрения помехоустойчивости, средняя ошибка много меньше среднеквадратичной. Если работа системы нарушается, когда ошибка превышает определ. величину, то П. т. рационально оценивать по вероятности возникновения ошибки, превышающей заданную. При известном законе распределения ошибок указанная вероятность легко вычисляется. Перечисленные оценки П. т. должны вычисляться или определяться экспериментально при определ. отношении сигнал/помеха (с/п) в нек-рой полосе частот. Измерять отношение с/п удобно в полосе входного фильтра приемника. Однако сравнивать системы по зависимости ошибки от отношения с/п в полосе входного фильтра нельзя, т. к. у разных приемников могут быть различные полосы фильтров. При сравнит. анализе помехоустойчивости систем ТИ удобно приводить отношение с/п к полосе частот, определяемой наивысшей частотой передаваемого параметра $F_{макс}$, к-рая должна восприниматься приемником. Если известно отношение с/п ($u_с/u_п$) в произвольной полосе Δf, то для флуктуац. помех удельное отношение с/п

$$\varrho = \left(\frac{u_с}{u_п}\right)_{\Delta f} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f}{F_{макс}}}.$$

П. т. характеризуется зависимостью среднеквадратичной и средней ошибок от удельного отношения с/п и коэфф. широкополосности $\gamma = \Delta f/2F_{макс} = \Delta f T$.

П. т. зависит от способов приема и передачи сообщений (вида *модуляции*). Отыскание критериев наилучших способов приема заданных сигналов при наличии помех является основной задачей теории оптимального приема (в ТИ эта теория развита только для слабых флуктуац. помех). В случае аддитивной помехи в виде стационарного флуктуац. шума с нормальным законом распределения эта теория позволяет определить потенциальную (наилучшую) помехоустойчивость различных способов передачи. Миним. среднеквадратичная ошибка от помех с равномерным спектром в диапазоне частот, занимаемых сигналом,

$$\delta^2_{ср\ кв} = \frac{\sigma^2}{\frac{1}{2}\int_{-T/2}^{T/2}\left[\frac{\partial A(\lambda, t)}{\partial\lambda}\right]^2 dt},$$

где σ — мощность помехи в полосе 1 *гц*, $A(\lambda, t)$ — сигнал, к-рый в общем случае является ф-цией времени t и передаваемого параметра λ.

Теория потенциальной П. т. позволяет сравнить различные способы передачи при наилучшем способе приема. Сравнение потенц. помехоустойчивости данного способа передачи с реальной помехоустойчивостью конкретной системы позволяет количественно оценить

возможности повышения П. т. путем усовершенствования приемника.

Для всех видов модуляции (см. *Модуляция* в телемеханике), кроме АМ, расширение полосы используемых частот при одноврем. увеличении девиации частоты в системах с ЧМ, индекса модуляции в системах с широтной импульсной модуляцией (ШИМ) и т. п., позволяет повысить П. т. при слабых помехах. Высокую П. т. при ограниченном по амплитуде сигнале и слабых помехах обеспечивают ЧМ и частотная импульсная модуляция (ЧИМ). При той же полосе частот временная импульсная модуляция (ВИМ) и ШИМ менее помехоустойчивы. Это объясняется тем, что при слабых помехах ошибка в системах с ВИМ и ШИМ убывает обратно пропорционально корню квадратному из полосы частот, а в системах с ЧМ и ЧИМ — обратно пропорционально полосе частот. ЧИМ в ряде случаев обеспечивает несколько более высокую П. т., чем ЧМ, однако это увеличение невелико. Поэтому практически можно считать, что при слабых помехах ЧИМ равноценна по помехоустойчивости ЧМ.

Анализ воздействия не только слабых, но и сильных флуктуац. помех позволил установить оптим. соотношения между быстродействием системы, ее точностью и полосой частот,

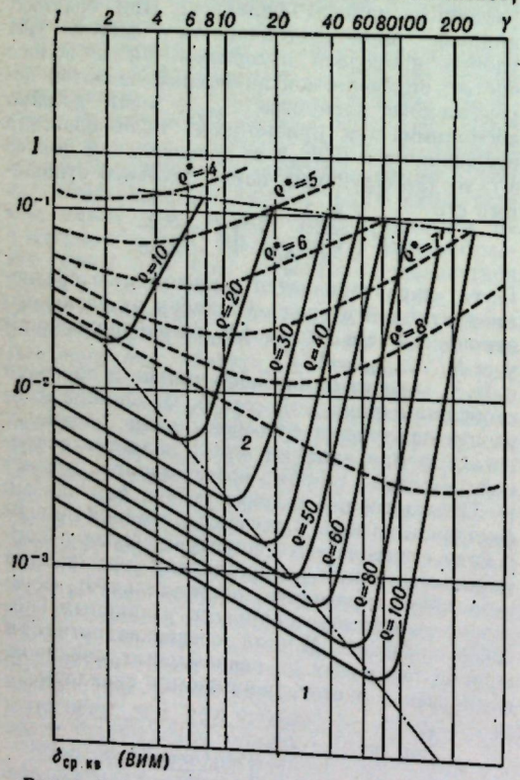


Рис. 1. Зависимость ошибки $\delta_{ср\,кв}$ от коэфф. широкополосности γ в системе с время-импульсной модуляцией при различных уд. отношениях сигнал/помеха ρ; сплошные кривые — при огранич. амплитуде сигнала; пунктирные кривые — при огранич. средней мощности сигнала.

занимаемой сигналом. Для каждого вида модуляции существуют оптимальные, с точки зрения П. т., значения девиации и полосы частот (или $\gamma_{опт}$), обеспечивающие миним. ошибку передачи при данном удельном отношении с/п. В качестве примера на рис. 1 даны зависимости приведенной среднеквадратичной ошибки от коэфф. широкополосности в системе с ВИМ, для различных отношений с/п, при ограниченных амплитуде и средней мощности сигнала. Из рисунка видно, что полосу рабочих частот выгодно расширять только до определ. предела (до $\gamma_{опт}$). Дальнейшее ее расширение вызывает быстрый рост ошибки за счет помех. Существование оптим. полосы частот в системе с ВИМ физически объясняется тем, что при работе с узкой полосой частот ошибка возникает, в основном, из-за флуктуаций фронтов импульса сигнала при наличии шума. Это ошибка падает по мере расширения полосы, т. к. крутизна фронта импульса растет пропорционально полосе, а уровень флуктуац. помех пропорционален корню квадратному из полосы. Уменьшение ошибки с ростом полосы происходит до тех пор, пока не начнут возникать ложные импульсы в интервале между рабочими импульсами или подавляться рабочие импульсы. Оптим. параметры кодоимпульсных и др. дискретных систем ТИ определяются по минимуму суммы ошибок от квантования и помех. Для малого числа импульсов кода энергия каждого импульса велика и ошибка за счет помех мала. С ростом числа импульсов ошибка дискретизации уменьшается, а ошибка за счет помех при той же длительности кодовой комбинации увеличивается. Суммарная ошибка имеет резко выраженный минимум при нек-ром числе импульсов в коде. На рис. 2 приведены зависимости миним. среднеквадратичных ошибок (при $\gamma_{опт}$) и оптим. коэфф. широкополосности от приведенного отношения с/п, позволяющие для различных видов модуляции производить выбор оптим. коэфф. широкополосности (полосы частот, девиаций) по заданному отношению с/п. Видно, что чем выше точность системы, тем она должна быть более широкополосной. Если не задано отношение с/п, а известны лишь требования к быстродействию системы и ее точности, то приведенные зависимости могут быть использованы для выбора оптимальной, с точки зрения П. т., полосы частот в расчете на наихудший случай, т. е. на миним. сигнал или макс. дальность передачи. По допустимой ошибке за счет помех можно определить минимальное ρ и соответствующее ему оптимальное γ. При таком методе расчета γ системы для каждого вида модуляции однозначно связан с допустимой погрешностью передачи.

При оптим. параметрах и огранич. амплитуде сигналов наиболее помехоустойчивыми видами модуляции являются частотная и кодовая. При сильном сигнале в диапазоне ошибок 10^{-3}—10^{-4} более помехоустойчива КИМ (кодовая импульсная модуляция) -АМ, а в диапазоне 10^{-1}—10^{-3}—ЧМ. Для каждого вида вторичной манипуляции в кодовых системах существует нек-рый диапазон значений с/п, в к-ром кодовые системы менее помехоустойчивы, чем частотные, и требуют бо́льшей полосы частот. Ошибки от помех в системах с ВИМ и ШИМ равны. Но при равных ошибках оптимальная полоса частот в системе с ШИМ значительно больше, чем в системе с ВИМ. Вторичная частотная модуляция в системах ВИМ и ШИМ повышает П. т., однако она все же остается ниже помехоустойчивости ЧМ. При огранич. средней мощности сигнала ВИМ обеспечивает наиболее высокую П. т., но требует и наиболее широкой оптим. полосы частот.

Так же как и в случае огранич. амплитуды сигналов, для каждого вида вторичной модуляции в КИМ существует нек-рый диапазон

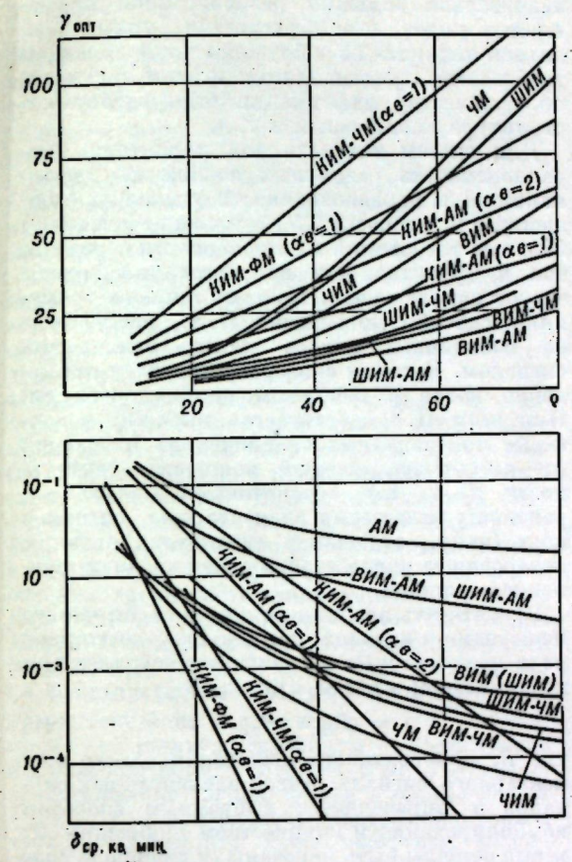


Рис. 2. Соотношения между оптим. коэфф. широкополосности $\gamma_{опт}$ и уд. отношением сигнал/помеха ρ и соответствующие им значения миним. среднеквадратич. ошибки $\delta_{ср\,кв\,мин}$ для различных видов модуляций; *АМ* — амплитудная; *ЧМ* — частотная; *ФМ* — фазовая; *ВИМ* — время-импульсная; *ШИМ* — широтная импульсная; *ЧИМ* — частотная импульсная; *КИМ* — кодовая импульсная; $\alpha_в$ — скважность кода по времени.

значений с/п, в к-ром ЧМ обеспечивает меньшую погрешность передачи, чем КИМ.

П. т. зависит не только от используемого способа передачи (вида модуляции), но и от степени реализации оптим. параметров. Система, в к-рой используется менее помехоустойчивый способ передачи, может оказаться более помехоустойчивой. Напр., если оптим. параметры в частотной системе реализовать трудно, то кодовая система в ряде случаев будет более помехоустойчивой при любом соотношении с/п, т. к. оптим. параметры при КИМ реализовать обычно легче. Осуществление оптимальных по помехоустойчивости значений полос частот и девиаций в ряде случаев встречает трудности, связанные в основном с нестабильностями параметров принимаемого сигнала и аппаратуры. В системах с ЧМ эти трудности обусловлены нестабильностью несущей частоты передатчика, параметров частотного дискриминатора и фильтров приемника, причем трудности возрастают с повышением несущей частоты и уменьшением быстродействия системы. В приемниках ВИМ и ШИМ аппаратурная погрешность вызывается в основном нестабильностью порога фиксирующих устройств и непостоянством амплитуды сигнала. Эта погрешность тем больше, чем больше длительности фронтов импульса. Применение схем со следящим порогом или автоматич. регулировки усиления уменьшает эти погрешности. В системах с ШИМ оптим. полосы частот значительно больше, чем в системах с ВИМ и, следовательно, они проще реализуются. Кроме того, зависимость ошибки от γ выражена в системах ШИМ менее резко. Поэтому отклонение от оптим. параметров при ШИМ вызывает меньшее ухудшение П. т., чем при ВИМ. При вторичной ЧМ в системах с ВИМ и ШИМ (ВИМ-ЧМ, ШИМ-ЧМ) оптимальные параметры реализуются легко, т. к. стабильность частоты, как правило, выше стабильности амплитуды. В системах с КИМ возможности реализации оптим. полосы частот для импульсов с ВЧ заполнением определяются стабильностью несущей частоты. Однако в отличие от ЧМ, где нестабильность частоты составляет абс. погрешность ТИ, в КИМ эта нестабильность не должна приводить лишь к уходу передаваемой частоты за пределы полосы пропускания приемника. Известно также, что высокую стабильность генератора фиксированной частоты получить легче, чем генератора, управляемого по частоте. Эти обстоятельства приводят к тому, что в КИМ реализовать оптим. параметры легче, чем в ЧМ, не говоря уже о ВИМ и ШИМ. При работе с полосой частот, превышающей оптимальную, наиболее помехоустойчивы системы с ЧМ и ШИМ, в к-рых зависимость ошибки от γ имеет менее ярко выраженный оптимум.

В системах ТИ пром. назначения с низким быстродействием трудности реализации оптим. параметров передачи больше, чем в быстродействующих системах. Вследствие этого γ существующих пром. систем обычно много больше оптимальных. Излишняя, с точки зрения П. т., широкополосность систем приводит к тому, что П. т. значительно ниже возможной. Пути повышения помехоустойчивости таких систем лежат в направлении увеличения аппаратурной точности. В быстродействующих системах ТИ оптимальные γ обычно легко осуществляются при существующих аппаратурных погрешностях. Правильный выбор γ при проектировании таких систем весьма важен, особенно в случае работы по каналам с высоким уровнем помех. Излишняя широкополосность систем не только снижает П. т., но и изменяет характер зависимости ошибки от отношения с/п. Эта зависимость приобретает пороговый характер, а для оценки П. т. служит величина порогового отношения с/п (или $\rho_{пор}$). Излишняя широкополосность систем всегда повышает пороговое значение сигнала. При слабом сигнале и излишней широкополосности необходимо учитывать не только среднеквадратичную ошибку, но и среднюю, к-рая ее может превысить. В тех случаях, когда аппаратурная погрешность зависит от способа передачи, целесообразно оптимизировать параметры передачи по минимуму суммарной ошибки от помех и аппаратурных нестабильностей. При этом соотношения различных способов передачи существенно изменяются. Напр., при высокой стабильности несущей частоты помехоустойчивость одноканальной системы ЧМ выше, чем каждого из каналов многоканальной системы ЧМ-ЧМ. Если же относит. нестабильность несущей

частоты, равная отношению макс. ухода несущей частоты к частоте модуляции, больше 5—10, то система ЧМ-ЧМ более помехоустойчива. Для ТИ часто используются многоканальные системы, в к-рых возникают *помехи перекрестные*, обусловленные влиянием соседних каналов. При большом числе каналов их можно рассматривать как флуктуац. шум. При огранич. средней мощности сигналов временное и частотное разделения каналов, с точки зрения П. т., эквивалентны. При огранич. амплитуде сигнала временное разделение может быть более помехоустойчивым.

Рассмотренные выше способы повышения П. т. основаны на использовании более широкополосных видов модуляции по сравнению с АМ, т. е. на снижении эффективности передачи. Др. путем повышения П. т. является использование статистики сообщений, при к-ром эффективность передачи не уменьшается. В ТИ избыточность сообщений обычно велика. Одним из способов повышения П. т. путем использования этой избыточности является следящий прием. При ЧМ это может быть узкополосный приемник со следящей настройкой, при ВИМ — следящее стробирующее устройство, при КИМ — различные защиты, следящий порог и т. п. Использовать избыточность путем статистич. кодирования в каждом из каналов затруднительно вследствие недопустимости запаздываний. В системах с дискретно-разностной модуляцией возможно статистич. кодирование по множеству объектов, к-рое может дать значит. выигрыш в помехоустойчивости и эффективности передачи. Выигрыш в П. т. может быть получен также при точной передаче медленных изменений параметра и грубой передаче быстрых изменений.

Лит.: Котельников В. А., Теория потенциальной помехоустойчивости, М.—Л., 1956; Никольс М. Х. и Раух Л. Л., Радиотелеметрия, пер. с англ., М., 1958; Каширин В. А., Шастова Г. А., Помехоустойчивость передачи сигналов телеизмерения по каналу с флуктуационными помехами, «АиТ», 1958, т. 19, № 8; Каширин В. А., Оптимальные по помехоустойчивости параметры систем телеизмерения, там же, 1959, т. 20, № 2. См. также лит. к ст. *Помехоустойчивость телеуправления*.

В. А. Каширин.

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ (remote-control noise proof feature; stabilité au bruit de télécommande; Störstabilität von Fernwirkanlagen, Fernwirk-Störstabilität) — помехоустойчивость передачи дискретных сообщений в системах ТУ, оцениваемая по вероятностям возникновения несоответствий между переданными и принятыми сообщениями или по нек-рым ф-циям от этих вероятностей. Проблема П. т. имеет две основные задачи: выбор наилучших способов приема и передачи. Задача оптимального приема дискретных сообщений в ТУ при заданном способе передачи не отличается от аналогичных задач в радиолокации, телеграфии и др. системах передачи дискретной информации. Нек-рая специфика заключается в трудностях реализации оптимальной полосы фильтров до детектора при больших длительностях импульсов и синхронного приема при спорадич. передаче информации. В ТУ почти всегда имеется возможность выбора способа передачи (кодирования) сообщений по каналу связи. Задача выбора наиболее помехоустойчивых способов кодирования в телемеханике весьма актуальна.

Способы передачи дискретных сообщений в телемеханике отличаются от аналогичных способов в системах связи, радиолокации и др. значительно бо́льшим разнообразием применяемых кодов, что объясняется бурным развитием техники ТУ и большим разнообразием требований, предъявляемых к этим системам, по количеству информации, быстродействию, структуре линий связи и т. д.

Для систем телемеханики характерны неравноценность различных искажений информации из-за неравнозначности отдельных сообщений для процесса ТУ, а также значительно бо́льшие требования к достоверности передачи, чем к эффективности использования полосы частот канала связи. Поэтому широко применяют способы повышения П. т., основанные на избыточной полосе частот, занимаемой сигналом. К таким способам относится применение кодов с неполным комбинированием. При этом П. т. достигается выбором кодов, к-рые при заданных ограничениях на сигнал (по амплитуде, средней мощности, длительности и т. п.) обеспечивают малую вероятность искажения элементарных сигналов кода (напр., отдельных импульсов), а также построением кодов с обнаружением и исправлением ошибок.

Вероятность возникновения хотя бы одного искажения в кодовой комбинации, состоящей из n элементарных независимых сигналов при поэлементном приеме при $P_1 \ll 1$

$$P_k = nP_1, \qquad (1)$$

где P_1 — вероятность искажения одного элементарного сигнала. Число элементарных сигналов n определяется выбранным способом комбинирования и количеством сообщений M, к-рые должны быть переданы (в двоичном коде на все сочетания $n = \log_2 M$). Помехоустойчивость кода без коррекции ошибок, как видно из (1), может быть повышена только путем уменьшения P_1. В случае флуктуац. помех наиболее эффективный способ уменьшения P_1 состоит в увеличении энергии элементарных сигналов (их амплитуды и длительности). Если амплитуда сигнала и длительность всей кодовой комбинации ограничены, для увеличения энергии элементарного сигнала необходимо уменьшить число импульсов в коде. При заданном числе команд M это достигается применением кодов с большим основанием, напр. кодов с частотными признаками.

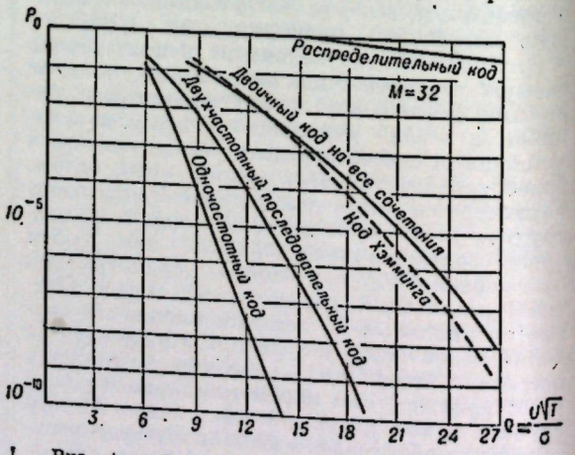


Рис. 1. — Зависимость вероятности ошибки P_0 от Q — уд. отношения сигнал/помеха.

В пром. системах ТУ широко распространены одноимпульсные и двухимпульсные коды с большим числом частотных признаков. Эти коды обладают более высокой помехоустойчивостью, чем двоичные коды на все сочетания (рис. 1) и, в особенности, чем распределит. двоичные коды. Коды с частотными признаками при поэлементном частотном временно́м приеме можно рассматривать как двоичные, использующие не все возможные комбинации из n импульсов и k частот ($M_{\text{макс}} = 2^{kn}$, $M = k^n$).

В кодах с исправлением m ошибок превращение одного сообщения в др. возможно при возникновении более чем m ошибок в одной кодовой комбинации. В большинстве своем коды с коррекцией ошибок связаны с увеличением числа элементарных сигналов в коде, что при огранич. энергии кодовой комбинации приводит к уменьшению энергии одного элементарного сигнала и к увеличению вероятности его искажения. Помехоустойчивость кода с исправлением m ошибок будет выше, чем кода без коррекции, только, если вероятность возникновения в нем $(m+1)$ ошибок будет меньше, чем вероятность одной ошибки в простом коде. Это не всегда имеет место. Как видно из рис. 1, код Хэмминга с исправлением одной ошибки при передаче 32 команд (сообщений) по помехоустойчивости лучше двоичного кода на все сочетания только при $\varrho = U\sqrt{T}/\sigma > 13$, где U — амплитуда сигнала; σ — эффективное напряжение помехи в полосе 1 *гц*; ϱ — удельное отношение сигнал/помеха в полосе частот $F = 1/T$, T — длительность кода. Видно также, что код Хэмминга хуже частотных кодов. В телемеханике широко применяются коды с обнаружением ошибок. Для уменьшения вероятности образования ложных сообщений используются защиты по числу импульсов, по четности повторение команды, квитирование (подтверждение команды) и ряд др. способов. Применение кодов с обнаружением ошибок в системах с обратным каналом как правило связано с использованием более широкополосного канала, т. е. с ухудшением эффективности передачи. Др., не связанным с ухудшением эффективности, методом повышения П. т. является статистич. кодирование по множеству объектов (см. *Эффективность передачи информации в телемеханике*). Этот метод, частным случаем к-рого является адресная передача, позволяет одновременно повышать помехоустойчивость и эффективность передачи, не вызывая запаздывания информации. При адресной передаче каждому из управляемых объектов присваивается определ. код адреса. Команды передаются для всех объектов идентичными сигналами, посылаемыми после сигнала об адресе (номере) объекта. В системе управления многими двухпозиц. объектами, редко изменяющими свое состояние, вероятностью возникновения неск. сообщений можно пренебречь. Поэтому длительность передачи одного адреса и одной команды может быть выбрана равной быстродействию объекта (т. е. допустимому времени запаздывания при передаче информации для одного объекта). Многоканальные системы с временны́м и частотным разделением обычно рассчитываются на передачу за время T сообщений всем объектам. В системах с временны́м разделением это приводит к тому, что время передачи одного сообщения τ обратно пропорционально числу каналов N ($\tau = T/qN$, где q — скважность передачи по времени). В системах с частотным разделением амплитуда сигнала в каждом из каналов U_1 также обратно пропорциональна N ($U_1 = U/\alpha N$). При адресной передаче двоичным кодом на все сочетания длительность элементарного сигнала обратно пропорциональна двоичному логарифму от N ($\tau = T/\log_2 N$), т. е. больше, чем в многоканальных системах. Это и позволяет повысить П. т. при адресном способе передачи. На рис. 2 представлены зависимости относит. энергии элементарных сигналов при многоканальных и адресных способах передачи с различными кодами при ограниченной амплитуде сигнала. Видно, что адресная передача (кроме распределит. кода) обеспечивает большую энергию элементарных сигналов и, следовательно, более высокую помехоустойчивость передачи.

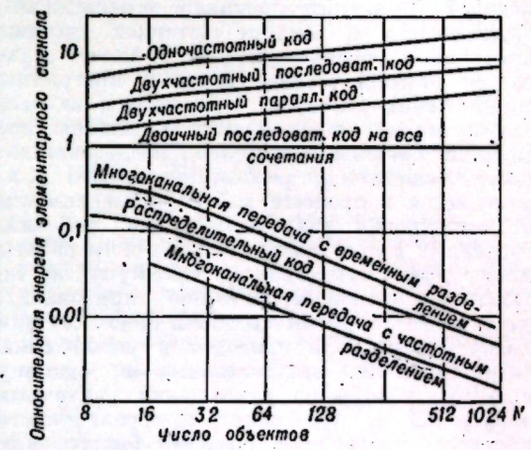


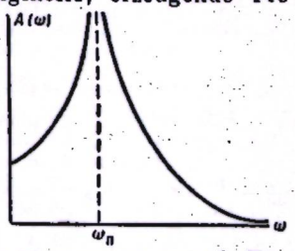
Рис. 2. Зависимость относит. энергии элементарных сигналов от числа объектов при многоканальных и адресных способах передачи.

Лит.: Шастова Г. А., Исследование помехоустойчивости передачи команд телеуправления методами теории потенциальной помехоустойчивости, «АиТ», 1955, т. 16, № 4; 1956, т. 17, № 5; Горбунов Е. С., Сравнение некоторых помехоустойчивых кодов, «Э», 1956, № 12; Гуткин Л. С., Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах, М.—Л., 1961; Васильев Р. Р., Шастова Г. А., Передача телемеханической информации, М.—Л., 1960. См. также лит. к ст. *Помехоустойчивость телеизмерения*.

Г. А. Шастова.

ПОРОГОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ (threshold value; valeur de seuil; Schwellwert) — значение величины на входе элемента САР, при к-ром скачкообразно изменяется его выходная величина. В теории решающих устройств П. з. представляет собой значение ф-ции решения, при к-ром скачком изменяется выходная величина решающего устройства. *Б. А. Власюк.*

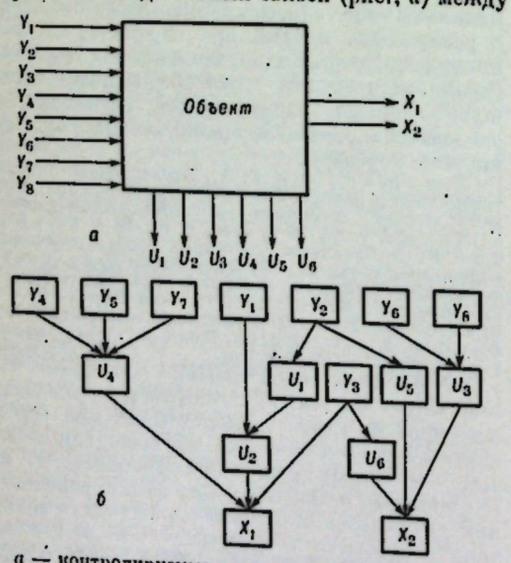
ПОРОЖДАЮЩАЯ ЧАСТОТА (origin frequency; fréquence originelle; erzeugende Frequenz) — частота периодич. (порождающего) решения упрощенной (линейной) системы дифференц. ур-ний, получающейся из полной системы (нелинейной), содержащей малый параметр μ (при $\mu = 0$ см. *Малого параметра метод*). П. ч. ω_n равна мнимой части пары комплексно



сопряженных корней характеристич. ур-ния упрощенной системы, лежащих на мнимой оси. Амплитудная частотная хар-ка упрощенной системы имеет при П. ч. разрыв (рис.; где $A(\omega)$ — амплитудная частотная хар-ка, ω — частота). *В. Ю. Рутковский.*

ПОРЯДОК ОПРОСА ВЕЛИЧИН (values inquest order; ordre d'exploration des grandeurs; Abfrageordnung der Größen) (в машине обегающего цифрового контроля или в управляющей вычислит. машине) — очередность подключения к машине датчиков системы контроля и управления. П. о. в. может задаваться заранее в виде жесткой программы подключения датчиков. При этом в каждом цикле опроса подключаются к машине все датчики системы в определ. последовательности. Возможен др. режим, при к-ром П. о. в. изменяется в процессе работы в зависимости от выполнения различных логич. условий, введенных в программу. Такой режим работы может иметь существенные преимущества по сравнению с первым, особенно при значит. числе контролируемых величин (неск. сот или тысяч единиц). Он приводит к уменьшению числа величин, опрашиваемых в единицу времени, ускорению нахождения различных нарушений в протекании контролируемого процесса, увеличению среднего быстродействия работы машины без изменения конструкции ключей ее входного переключателя.

Один из возможных путей изменения П. о. в., уменьшающий число величин, опрашиваемых в единицу времени, без существенного изменения количества информации, поступающей в машину, основан на знании причинно-следственных связей (рис., *а*) между



а — контролируемые величины объекта; *б* — схема причинно-следственных связей между контролируемыми величинами объекта (Y_i — входная величина, U_i — промежуточная, режимная величина, X_i — выходная величина).

контролируемыми величинами объектов. Эти связи позволяют для каждой выходной величины объекта проследить совокупность величин, определяющих ее поведение во времени. Так, напр. (рис., *б*), на значении величины X_2 сказываются изменения значений величин: U_6, U_5, U_3, Y_3, Y_2, Y_6, Y_8. Норм. состояние выходной величины свидетельствует о норм. состоянии всех величин, входящих в совокупность причин ее изменения. Это дает возможность проверки норм. состояния всей совокупности величин с помощью циклич. опроса только выходных величин объектов (величин X_1 и X_2 на рис., *б*). Лишь при отклонении этих величин за пределы норм появляется необходимость в опросе др. величин, причем и в этом случае можно ограничиться опросом только малой их части. Для этого после обнаружения отклонения выходной величины опрашивается непосредственно влияющая на ее поведение группа величин, из них определяется величина, вышедшая за пределы нормы; дальнейший опрос уже производится только по причинным связям этой величины и т. д. до обнаружения всех величин совокупности, получивших недопустимые отклонения. Так, напр., при отклонении значения X_2 за пределы нормы опрашиваются непосредственно влияющие на X_2 величины U_6, U_5 и U_3. Если значение величины U_3 находится за пределами нормы, а значения величин U_6 и U_5 лежат в пределах их норм, то дальнейший опрос ограничивается величинами Y_6 и Y_1. При этом, напр., выясняется, что недопустимое изменение значения величины Y_6 и послужило причиной отклонения выходной величины X_2. Т. о., все величины, значения к-рых вышли за пределы норм, обнаружены, и машина переходит к циклич. опросу след. выходной величины.

Указанные рассуждения не учитывают динамич. хар-к причинных связей и нуждаются в уточнении. Если к.-л. нарушение хода процесса в объекте сказывается на изменении выходной циклически опрашиваемой величины через недопустимо большой интервал времени, то величина, характеризующая данное нарушение, должна быть вынесена в группу величин, опрашиваемых машиной циклически. *Э. Л. Цукович.*

ПОРЯДОК ЧИСЛА (number order; ordre d'un nombre; Ordnung der Ziffer) — целый показатель степени p при представлении числа в форме с *запятой плавающей*, т. е. в виде $m \cdot n^p$, где n — основание системы счисления, а m удовлетворяет условию $0 \leqslant |m| < 1$. *Н. А. Криницкий.*

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ МАШИНА (serial computer; machine d'action série; Maschine vom Serienwirkungstyp) — ЦВМ, в к-рой передача информаций и действия над кодами осуществляется последовательно, разряд за разрядом. В П. д. м. применяется время-импульсное кодирование информации. Передача кодов между устройствами производится по одноканальным магистралям с выделением для каждого разряда отдельного временного интервала. П. д. м. конструктивно проще параллельных машин. Экономия оборудования достигается в осн. из-за одноканальности передачи информации и существенного упрощения АУ, к-рое может быть построено на одноразрядном сумматоре и системе линий задержек. Время выполнения операций в П. д. м. значительно больше соответствующего времени в машинах параллельного действия. Последовательная передача информации позволяет, однако, легко совмещать процессы передачи и обработки информации. Напр., такие операции, как сложение, сравнение и т. д., вообще не требуют спец. времени для своей реализации и выполняются непосредственно в процессе передачи операндов. Для сложных операций (умножение, деление) полное совмещение обычно не достигается.

По способу выборки и хранения информации П. д. м. делятся на машины с циклич. и произвольной выборкой информации (с последовательными и параллельными ЗУ). В машинах с последоват. ЗУ (напр., ДИСЕАК) выборка информации осуществляется так же, как ее передача,— разряд за разрядом. ЗУ строятся либо на *магнитных барабанах*, либо на *линиях задержки* (напр., магнитострикционных), информация в к-рых непрерывно циркулирует по замкнутому тракту. К достоинствам подобного типа П. д. м. можно отнести сравнит. простоту ЗУ, отсутствие спец. преобразователей параллельного кода в последовательный после выборки информации, возможность совмещения во времени процессов выборки кодов, их передачи и обработки. Существ. недостаток П. д. м. с циклич. выборкой информации — необходимость ожидания момента прихода выбираемого слова к цепям выборки, поскольку информация в последоват. ЗУ подходит к этим цепям поочередно. Время ожидания в этом случае практически лимитирует скорость работы всей машины. Время ожидания снижается дроблением всего ЗУ на ряд блоков с небольшими трактами циркуляции, увеличением числа схем выборки с размещением их в разных точках тракта циркуляции, применением оптим. программирования, предусматривающего такое размещение информации в ЗУ, при к-ром время ожидания для каждого обращения оказывается минимальным. П. д. м. с параллельным ЗУ, допускающим произвольный доступ к каждой ячейке, обладают постоянным, миним. для данного типа ЗУ, временем ожидания, однако требуют спец. преобразователей параллельного кода в последовательный в выходных цепях ЗУ (машина «Сетунь»). Кроме того, параллельное ЗУ вместе с управляющими и формирующими цепями к нему оказывается весьма громоздким в сравнении с остальными устройствами машины. Схемная и конструктивная простота П. д. м. делает их удобными для использования в тех случаях, где требование минимума оборудования является решающим.

Лит.: Вычислительные машины (СЕАК и ДИСЕАК) Национального бюро стандартов США. [Сб. ст.], пер. с англ., М., 1958; D a l l O. G., Una nuova calcolatrice Ferranti a transistori: il modello «Sirius», «Automaz. e Strum.», 1960, v. 8, № 11, p. 456—58.
И. А. Данильченко.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УЛУЧШЕНИЯ ПЛАНА МЕТОД (consequent method of plan improvement; méthode d'amélioration successive du plan; Methode der konsequenten Planverbesserung) — см. *Симплексный метод.*

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВХОДНАЯ (input sequence; séquence d'entrée; Eingangs-Folge) — последовательность входных комбинаций, т. е. комбинаций состояний воспринимающих элементов автомата. Напр., если в автомате со входами X_1, X_2, X_3 сначала все входы отключены, в след. момент включается X_2, затем включается X_1, затем одновременно включается X_3 и отключается X_2, то П. в. выглядит так: 000, 010, 110, 101. При математич. описании условий работы устройства П. в. рассматривается как последовательность букв *входного алфавита.* *О. П. Кузнецов.*

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫХОДНАЯ (output sequence; séquence de sortie; Ausgangs-Folge) — последовательность выходных комбинаций; т. е. комбинаций состояний выходных элементов автомата. При математич. описании условий работы устройства П. в. рассматривается как последовательность букв *выходного алфавита.* *О. П. Кузнецов.*

ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ (time constant; constante de temps; Zeitkonstante) — параметр нек-рых типовых звеньев систем автоматич. управления, имеющий размерность времени. П. в. входит в дифференц. ур-ния апериодич. звена:

$$T\frac{dx_{вых}}{dt} + x_{вых} = kx_{вх},$$

и колебат. звена:

$$(T')^2\frac{d^2x_{вых}}{dt^2} + 2\xi T'\frac{dx_{вых}}{dt} + x_{вых} = kx_{вх}$$

(T и T' — П. в. этих звеньев). П. в. апериодич. звена равна времени затухания переходного процесса, т. е. времени, в течение к-рого отклонение выходной величины от установившегося значения $x_{уст}$ уменьшается в e раз. Реакция апериодич. звена на единичный скачок имеет вид $h(t) = k(1 - e^{-t/T})$ (рис. 1

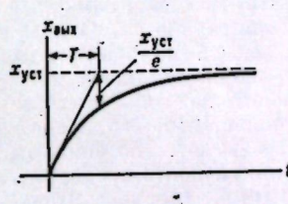


Рис. 1.

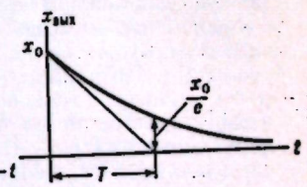


Рис. 2.

и 2). П. в. апериодич. звена при коэфф. передачи $k = 1$ равна тангенсу угла наклона графика переходного процесса в начальной точке.

Реакция колебат. звена на единичный скачок (рис. 3):

$$h(t) = k\left[1 - \frac{e^{-\zeta t/T}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{T'}t + \arctg\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right)\right].$$

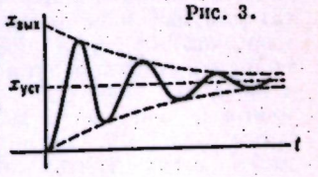


Рис. 3.

В этом случае время затухания переходного процесса равно T'/ζ, где ζ — относит. коэфф. затухания (величина безразмерная). При $\xi = 0$ П. в. колебат. звена равна периоду собств. колебаний звена, деленному на 2π.

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

ПОСТОЯННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ (constant component; composante constante; konstante Komponente) — среднее значение периодич. ф-ции $x(t)$. П. с. определяется выражением $\frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} x(t)\,dt$, где T — период, t_0 — произвольное значение t. В разложении в ряд Фурье

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}\left(a_n\cos\frac{2\pi}{T}nt + b_n\sin\frac{2\pi}{T}nt\right),$$ где

П. с. представляет собой член нулевого порядка a_0. *В. А. Власюк.*

ПОТЕНЦИАЛОВ МЕТОД (method of potentials; methode des potentiels; Potentialmethode) — метод решения *транспортной задачи* в матричной или сетевой постановке. Был предложен в 1949 сов. учеными Л. В. Канторовичем и М. К. Гавуриным [1]. Применительно к транспортной задаче в матричной постановке с m пунктами-производителями и n пунктами-потребителями (суммарный объем произ-ва равен суммарному объему потребления) П. м. можно описать так.

План перевозок (система перевозок, удовлетворяющая потребности всех пунктов потребителей) считают оптимальным, если его реализация минимизирует значение заданного критерия оптимальности (например, затраты на перевозки). Коммуникация, связывающая пункт-производитель с пунктом-потребителем, наз. осн. коммуникацией плана, если вдоль нее намечена положит. перевозка. План перевозок наз. опорным, если невозможно составить замкнутого маршрута из его осн. коммуникаций.

П. м. позволяет, отправляясь от нек-рого опорного плана перевозок, построить оптим. план задачи за конечное число однотипных шагов; на каждом шаге метода суммарные транспортные расходы сокращаются. Отдельный шаг П. м. складывается из следующих операций. По данному опорному плану каждому пункту (производителю или потребителю) сопоставляется число, наз. его предварит. потенциалом. Предварит. потенциалы определяются из условия: разность предварит. потенциалов пары пунктов (производитель, потребитель) равна стоимости перевозки (СП) единицы продукта между этими пунктами, если связывающая их коммуникация является основной. Сформулиров. условие позволяет, задавшись предварит. потенциалом одного из пунктов, легко определить предварит. потенциал остальных пунктов задачи. Далее, для каждой пары пунктов (производитель и потребитель) вычисляется относит. стоимость перевозки единицы продукта, равная разности предварит. потенциалов этих пунктов. Если относит. стоимость перевозки не превосходит СП для любой пары пунктов, то имеющийся план оптимален, а предварит. потенциалы являются потенциалами задачи. Пусть это условие не выполняется для нек-рых пар пунктов, одна из к-рых содержит пункты с номерами j и i. Соединим j-й пункт-производитель с i-м пунктом-потребителем обходным маршрутом, составленным из осн. коммуникаций имеющегося плана. Перенумеруем коммуникации обходного маршрута в порядке движения по ним при перемещении из j-го пункта-производителя в i-й пункт-потребитель. Пусть x — величина миним. перевозки среди перевозок, запланированных по нечетным коммуникациям обходного пути. Новый опорный план строится по след. правилу: между пунктами j и i планируется перевозка размера x; перевозки по нечетным коммуникациям обходного маршрута уменьшаются на величину x; перевозки по четным коммуникациям увеличиваются на x. Реализация получ. плана перевозок приводит к меньшим транспортным расходам по сравнению со старым планом. Количество шагов, необходимое для решения транспортной задачи, обычно колеблется между $m+n$ и $1{,}5\,(m+n)$. При описании П. м. транспортная задача предполагалась невырожденной (суммарный объем произ-ва любой неполной системы пунктов-производителей отличен от суммарного объема потребления всякой неполной системы пунктов-потребителей). В вырожденном случае суммарные транспортные расходы могут не измениться в пределах неск. шагов ($x=0$). Однако небольшое усовершенствование метода позволяет и в этом случае получить оптим. план за конечное число шагов, укладывающееся обычно в указанные выше оценки. П. м. основан на втором алгоритме метода улучшения плана (см. *Симплексный метод*). Отличие состоит в том, что на каждом шаге параметры задачи (план, предварит. потенциал) вычисляются не по реккурентным ф-лам, а непосредственно. Это оказывается более выгодным из-за простоты условий транспортной задачи. В иностр. литературе П. м. обычно наз. модифицированным распределит. методом. Компактный алгоритм, примыкающий к П. м., дан в работе [3]. Известен также распределит. метод, основанный на первом алгоритме метода улучшения плана. Подробное изложение П. м. дано в [2]. Описание П. м., приспособленное к сетевой постановке задачи, дано в [4].

Лит.: 1) Канторович Л. В. и Гавурин М. К., Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков, в сб.: Проблемы повышения эффективности работы транспорта, М.—Л., 1949, с. 110—38; 2) Юдин Д. Б. и Гольштейн Е. Г., Задачи и методы линейного программирования, М., 1961; 3) Глейзал А., Алгоритм для решения проблемы транспортировки, «Математика», 1958, № 2: 1; 4) Яковлева М. А., Задача о минимуме транспортных затрат, в кн.: Применение математики в экономических исследованиях, [т. 1], М., 1959, с. 390—99.

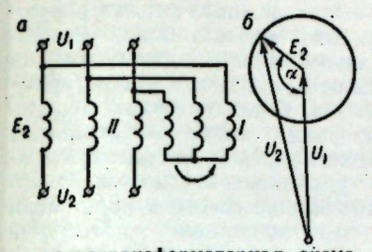
Е. Г. Гольштейн.

ПОТЕНЦИАЛОСКОП (potentialscope; potentieloscope; Sichtspeicherröhre) — электронно-лучевая трубка, обладающая св-вом записывать входные электрич. сигналы в форме зарядов, образующих потенциальный рельеф на поверхности диэлектрика, длительно сохранять эту запись и воспроизводить записанные сигналы путем модуляции считывающего пучка потенциальным рельефом. Эти трубки наз. также накопит. или запоминающими ЭЛТ. П. широко используются в устройствах оперативной памяти ЭВМ благодаря большой емкости и быстродействию (время считывания и записи порядка неск. *мксек*).

В. М. Кондратенков.

ПОТЕНЦИАЛ-РЕГУЛЯТОР (индукционный регулятор) (potential regulator; régulateur de tension; Spannungsregler) — устройство для плавного регулирования величины электрич. напряжения, выполненное в виде заторможенной асинхронной машины. Применяется для регулирования напряжения на стороне нагрузки при пост. напряжении питающей сети и для поддержания напряжения на стороне нагрузки при колебании напряжения сети. В СССР серийно изготовляются П.-р. на напряжения от 127 до 6000 *в* и мощности от 4 до 1770 *ква* [1]. В отдельных единицах П.-р. могут изготовляться на напряжения до 18 *кв* и более и на мощности 4500—6000 *ква* [1, 2].

По конструкции П.-р. представляет однофазную или чаще трехфазную заторможенную асинхронную машину с фазовым ротором. Обычно обмотка ротора *I* приключается к первичной сети, а обмотка статора *II* включается последовательно с нагрузкой и, т. о., осуществляется автотрансформаторная схема соединений (рис., *а*). В зависимости от величины мощности П.-р. изготовляют в горизонт. или вертик. исполнении. П.-р. малой и ср. мощности имеют естеств. или искусств. воздушное охлаждение, крупные П.-р. — масляное; бак масляного П.-р. аналогичен баку тр-ра [1, 2].



а — автотрансформаторная схема соединений обмоток потенциал-регулятора; *б* — векторная диаграмма.

Выходное напряжение U_2 регулируется поворотом ротора относительно статора вручную или сервоприводом. В обмотке статора наводится эдс E_2, неизменная по величине, но сдвинутая по фазе относительно первичного напряжения U_1 (рис., *б*). U_2 может изменяться от U_1+E_2 до U_1-E_2. Различают кажущиеся мощности П.-р.: внешнюю (проходную), передаваемую нагрузке, и внутреннюю. Та часть внешней мощности, к-рая трансформируется П.-р., наз. внутренней. Размеры П.-р. определяются его внутр. мощностью. П.-р. (одиночный) в процессе регулировки напряжения меняет фазу этого напряжения. Кроме того, на валу П.-р. возникают при определ. положениях ротора значит. вращающие моменты, нагружающие червячный привод П.-р. Известны П.-р., в к-рых эти недостатки устранены (сдвоенные П.-р.). Они представляют собой, в сущности, два П.-р., роторы к-рых закреплены на одном валу, роторные обмотки соединены параллельно, а статорные — последовательно. Одна из машин сдвоенного П.-р. имеет обратный порядок следования фаз обмоток статора и ротора.

П.-р. постепенно утрачивают свое значение и заменяются тр-рами с плавным регулированием напряжения под нагрузкой, напр. тр-рами с подвижной кз обмоткой и тр-рами, регулируемыми подмагничиванием. Совершенствование П.-р. идет гл. обр. по пути улучшения системы охлаждения и применения новых изоляц. материалов.

Лит.: 1) Костенко М. П. и Пиотровский Л. М., Электрические машины, ч. 2, М.—Л., 1958; 2) Шайт Г. Ф., Индукционные регуляторы трехфазного тока, пер. с нем., М.—Л., 1933.

В. Нерсесян.

ПОТЕНЦИОМЕТР (potentiometer; potentiomètre; Potentiometer) — регулируемый делитель напряжения, построенный из активных сопротивлений (проволочных, металлопленочных или жидкостных). Из-за неизбежно присущих всякой системе проводников паразитных емкостей и индуктивностей сопротивление П., строго говоря, является комплексным. Реактивная компонента сопротивления П. становится сравнимой с активной только в области ВЧ. Коэфф. передачи по напряжению П. вследствие этого зависит от частоты, причем эта зависимость определяется конструкцией П. и материалами, из к-рых он построен.

П. широко применяются в схемах автоматики, вычислит. и измерит. техники в качестве датчиков линейных и угловых перемещений, преобразующих последние в электрич. напряжения соответствующей величины. В этих схемах П. используются гл. обр. в области НЧ, где роль паразитных реактивных параметров пренебрежимо мала. В этой области частот коэфф. передачи ненагруженного П. (рис. 1) равен:

$$\frac{U_2}{U_0}=\frac{R_2}{R_1+R_2}=\frac{R_x}{R_0}.$$

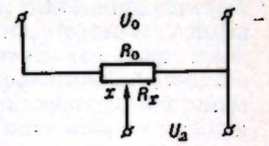


Рис. 1.

Отношение R_x/R_0 изменяется механическим перемещением подвижного контакта (движка). Сопротивление R_x может быть линейной ф-цией перемещения контакта:

$$R_x=ax,$$

где $a=\text{const}$. При этом $\frac{U_2}{U_1}=\frac{a}{R_0}x$.

П. такого вида наз. линейными. Возможны и более сложные зависимости $R_x=f(x)$, при к-рых

$$\frac{U_2}{U_1}=\frac{1}{R_0}f(x).$$

Такие П. наз. функциональными. Они бывают синусные, логарифмические, квадратичные и др. видов.

В нек-рых конструкциях П. имеется вывод ср. точки сопротивления. Это дает возможность получать на выходе (между ср. точкой и движком) напряжение, к-рое при переходе движка через ср. точку проходит через нуль, изменяя знак или фазу.

Осн. хар-ки П.: разрешающая способность (для проволочных), функциональная хар-ка, величина сопротивления R_0. Точность характеризует, в какой мере фактич. коэффициент передачи в различных положениях движка отличается от значения, которое в этих положениях должно быть согласно функциональной хар-ке П. Разрешающая способность проволочных П. определяет ступенчатость выходного напряжения, обусловленную дискретными изменениями R_x (рис. 2) при переходе движка с витка на виток обмотки:

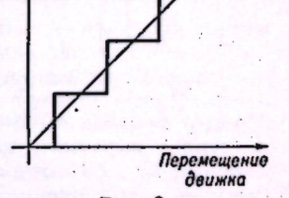


Рис. 2.

$$\Delta U=\frac{U_0}{n},\ \text{где } n \text{ — число витков.}$$

Др. важными хар-ками П. являются: длина или угол перемещения; усилие или момент, необходимые для перемещения движка; допустимое число циклов перемещения движка; допустимая скорость перемещения движка; допустимая мощность рассеяния при различных темп-рах; предельный допустимый ток; макс. и миним. рабочие темп-ры; надежность (обычно при номин. значениях рассеиваемой мощности).

Наибольшее распространение получили проволочные П. Конструктивно они выполняются намоткой изоляров. проволоки в один ряд на каркас из изоляц. материала или металла, покрытого изоляц. пленкой. По очищенной от изоляции поверхности провода скользит движок (контакт) в виде металлич. ленточки или 1—3 проволок из драгоценного металла. Для намотки сопротивления чаще всего используется провод с высоким удельным сопротивлением (нихром, константан и т. п.), в

особо ответственных случаях — платина или др. благородные металлы.

Проволочные П. выполняются однооборотными и многооборотными. Последние позволяют получить лучшую разрешающую способность. Однооборотные П. бывают кольцевыми, цилиндрич. и пластинчатыми. В зависимости от величины погрешности по отношению к общему сопротивлению П. выпускаются: общего назначения (с допуском 5—10%), повыш. точности (с допуском 0,2—1%) и высокоточные (с допуском не более 0,05—0,2%). П. первых двух типов изготовляются на номин. значения сопротивлений от 50 *ом* до 50 *ком* (однооборотные). П. третьего типа — 63 *ом* — 50 *ком* (однооборотные) и 1—40 *ком* (многооборотные). Значения номинальных мощностей рассеяния для П.—от 1 до 10 *вт*. Момент трогания у П. общего назначения — от 50 до 360 *гсм*, у П. повыш. точности — от десятых долей до 10—60 *гсм* у однооборотных и от 70 до 250 *гсм* и выше у многооборотных. Скорость вращения движка во избежание повыш. износа обычно не должна превышать 100—200 *об/мин*.

Заданный закон изменения сопротивления в функциональном П. выполняется с помощью фигурных каркасов, обмоток с перем. шагом или шунтированием отдельных участков обмотки линейных П. Каркасом многооборотных П. (рис. 3) служит спираль *1* из изолиров.

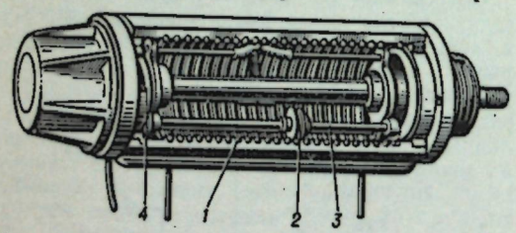


Рис. 3. Многооборотный потенциометр.

медного провода с намотанным на нем сопротивлением из голого провода. Спираль залита компаундом на основе эпоксидных смол. Выходное напряжение снимается роликом *2*, катящимся по внутр. стороне спирали и одновременно скользящим по валику *3*, расположенному параллельно оси. С валика ток снимается на токосъемное кольцо *4*.

Металлопленочные П. имеют обычно в качестве элемента сопротивления стеклянную пластинку, на к-рую нанесен тонкий слой (2—3 *мк*) родия или др. металла. В отличие от проволочных, изменение сопротивления металлопленочных П. не имеет ступенчатого характера, они способны выдерживать более высокие темп-ры, имеют больший срок службы. Выпускаются на сопротивления от 100 *ом* до 1 *Мом* при мощности рассеяния до 3 *вт* с моментом вращения 7,5 *г·см*.

Жидкостные П. имеют подвижной электрод, заменяющий движок, перемещающийся между неподвижными внутренними электродами. В качестве одного из электродов иногда используется внешний корпус. В зависимости от характера перемещения и формы подвижного и неподвижных электродов могут быть получены различные функциональные зависимости. Недостаток жидкостных П. — сильная зависимость их сопротивления от темп-ры.

Лит.: Белевцев А. Т., Потенциометры, М., 1962.

И. В. Кудрявцев, А. Г. Мейна, В. Ф. Мостовой.

ПОТЕРЯ НА ПОИСК (search loss; perte de recherche; Suchverlust) — среднее значение отклонения *выходной величины* от экстремальной в установившемся режиме, характеризующее качество процесса поиска. В экстремальных системах с автоматическим поиском П. на п. всегда отлична от нуля, т. к. для обнаружения экстремума в таких системах необходимо иметь колебания выходной величины около экстремума. В экстрем. системах с пропорциональным управлением скоростью поиска эту величину можно свести к нулю, если предположить, что положение экстремума меняется мало (идеализированный случай). Так, в экстрем. системах с синусоидальной модуляцией она в этом случае равна нулю. В шаговых системах экстрем. регулирования с пропорциональным поиском П. на п. может быть сделана не меньше миним. величины шага. Однако практически положение экстремума и его величина меняются, и, т. к. система находится в состоянии пост. поиска, П. на п. будет отличной от нуля. При работе систем экстрем. регулирования в условиях помех величина П. на п. может увеличиться из-за неправильного определения положения экстремума.

Лит.: Автоматическая оптимизация управляемых систем, пер. с англ., под ред. Б. Н. Петрова, М., 1960.

Ю. С. Попков.

ПРЕДВАРЕНИЕ (lead; anticipation; Vorgreifen, Präzession) — введение воздействия по производной в закон регулирования. При этом регулятор реагирует не только на уже появившееся отклонение регулируемой величины, но и на тенденцию его дальнейшего изменения. В замкнутых системах непрямого регулирования П. широко используется в качестве стабилизирующего средства. Применяются устройства, служащие датчиками непосредственно скорости изменения величины (напр., тахометры, тахогенераторы и т. д.) или спец. дифференц. устройства (напр., дифференцирующие *RC*-цепочки, блок П. автоматич. унифицированной системы и т. д.).

Л. А. Тененбаум.

ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ (limit value; valeur-limite; Grenzwert) — значение, к к-рому стремится ф-ция $f(x)$ при стремлении ее аргумента x к нек-рому значению a, наз. точкой предела. При этом для каждого числа $\varepsilon>0$ найдется число $\delta>0$ и тогда $|f(x)-A|<\varepsilon$, если $|x-a|<\delta$. Здесь A — П. з.

Б. А. Власюк.

ПРЕДИКАТ в математической логике (predicate; prédicat; Bewertungsziffer) — пропозициональная ф-ция, т. е. ф-ция, значениями к-рой являются высказывания (предложения, суждения). В зависимости от числа аргументов, определяющих значения П., различают одно-, дву-,..., n-местные П. Так, «x — четное число» есть одноместный П., $a=b$ и $a<b$ — двуместные П., $a+b=c$ — трехместный и т. д. (т. о., высказывания можно считать «нульместными П.»). В логико-математич. исчислениях (см. *Логика математическая*) П. обозначаются т. н. предикатными буквами с различным числом переменных: A, B,... (пропозиционные буквы, т. е. «предикатные буквы с 0 переменных»), $A(x)$, $B(a)$, $C(b)$,..., $A(a, b)$, $B(y, z)$,..., и т. д. Т. о., для П. в формализов. языках применяются обычные обозначения, принятые в математике для ф-ций. Однако вместо $=(x, y)$ для обозначения П. равенства все же пишут $x=y$, вместо $\cdot(x, y, z)$ пишут $x\cdot y=z$ и т. п.

В то время как произвольные ф-лы формальных систем соответствуют в их интерпретациях высказываниям и играют роль фраз (предложений) обычных (неформализов.) языков, а термы соответствуют предметам из описываемой формальной системой области, служащей интерпретацией последней, и играют роль подлежащих и дополнений в разговорном языке, П., описывающие **свойства** предметов и **отношения** между ними, служат аналогом и обобщением понятия сказуемого в грамматике (или определения, к-рое, впрочем, всегда можно считать именной частью сказуемого).

Ф-лы т. н. исчисления предикатов (или функцион. исчисления) образуются из предикатных букв (являющихся элементарными ф-лами исчисления) при помощи логич. операторов отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, импликации и эквивалентности (см. *Алгебра логики*) и т. н. кванторов, применение к-рых к предикатным ф-лам позволяет образовывать выражения, обозначающие т. н. общие и экзистенциальные высказывания (см. *Логика*). Результат применения т. н. квантора всеобщности к ф-ле исчисления П. $A(x)$ обозначается через $\forall xA(x)$ [др. обозначение $(x)A(x)$] и интерпретируется предложением «для всех x верно, что $A(x)$». Т. н. квантор существования, примененный к ф-ле $A(x)$, приводит к ф-ле $\exists xA(x)$ [др. обозначение $(\exists x)A(x)$], интерпретируемой как «существует такой x, что для него верно $A(x)$». П., выражаемый ф-лой $A(x)$, зависит от значений т. н. **свободной** предметной переменной x; предложения же (или П.), выражаемые ф-лами $\forall xA(x)$ и $\exists xA(x)$, уже не зависят от x. В таких случаях говорят, что x является **связанной** переменной в этой ф-ле. Т. о., применение квантора («квантификация») к нек-рой ф-ле, вообще говоря, уменьшает на единицу число аргументных мест П., служащего интерпретацией этой ф-лы: n-местный П. переходит в $(n-1)$-местный, в частности двуместный П. переходит в одноместный, а одноместный — в высказывание. Так, «X есть сын Y и Z» (или, напр., $x=y+z$) есть трехместный П., «существует такой Y, что X есть сын Y и Z» [соответственно $\exists y\,(x=y+z)$] — двуместный, «существуют такая Z и такой Y, что X есть сын Y и Z» (соответственно $\exists y\,(x=y+z)$] — одноместный П. Наконец, «для каждого X существуют такая Z и такой Y, что X есть сын Y и Z» [соответственно $\forall x\ \exists z\ \exists y\ \ (x=y+z)$] есть высказывание, не зависящее от «значений» X, Y и Z (или x, y и z). В то же время входящие в предикатную ф-лу связанные переменные (по отношению к к-рым говорить о подстановке их значений бессмысленно) можно «переименовывать»: выражения $\exists x\,A(x)$ и $\exists y A(y)$ эквивалентны, чего, конечно, нельзя утверждать о произвольных ф-лах $A(x)$ и $A(y)$. (Употребление свободных и связанных переменных общепринято в математике; напр., эквивалентные между собой выражения $\sum_{i=1}^{10} n^i$ и $\sum_{j=1}^{10} n^j$ зависят от свободной переменной n и не зависят от связанных переменных i и j).

Подстановка вместо свободной предметной переменной к.-л. значения из области ее изменения также уменьшает число аргументных мест П. Напр., подставляя в трехместный П. «X есть сын Y и Z» слова «Иван» вместо «X», «Петр» вместо «Y» и «Мария» вместо «Z», мы получаем последовательно двуместный и одноместный П., а затем — высказывание «Иван есть сын Петра и Марии». Аналогичный пример из арифметики: $x=y+z$ (трехместный П.), $2=y+z$ (двуместный), $2=3+z$ (одноместный); подставляя в последнюю ф-лу $z=-1$, получаем истинное высказывание, а, напр., $z=5$—ложное.

В **классическом** исчислении П. справедливы соотношения $\forall xA(x)\sim\neg\exists\, xA(x)$ (в интерпретации: то, что все x из нек-рой области предметов обладают св-вом A, равносильно тому, что не существует такого x, для к-рого не выполняется A) и $\exists xA(x)\sim\neg\forall\, x\,\neg A(x)$ (существование x со свойством A равносильно тому, что не все x таковы, что для них неверно A); для области, состоящей из **конечного** числа предметов, квантор общности совпадает с оператором конъюнкции, а квантор существования — с оператором дизъюнкции: первая из вышеуказ. ф-л имеет в этом случае тот же смысл, что $(A_1\&\dots\&A_n)\sim\neg(\neg A_1\vee\dots\vee\neg A_n)$, а вторая — $(A_1\vee\dots\vee A_n)\sim\neg(\neg A_1\&\dots\&\neg A_n)$. Подробнее об исчислении предикатов см. *Логика математическая*; см. также *Логика*.

Кроме т. н. переменных (неопределенных) П., для обозначения к-рых используются предикатные буквы, в различных аксиоматич. (и, конечно, содержательных) теориях употребляются то или иные постоянные (специальные, индивидуальные) П., характеризующиеся спец. аксиомами.

Примеры: аксиома $a=a$ и схема аксиом $x=y\supset[A(x)\supset A(y)]$ для двуместного П. равенства (тождества, эквивалентности), $a+0=a$ и $a+b'=(a+b)'$ для трехместного П. «быть суммой», $a\cdot 0=0$ и $a\cdot b'=a\cdot b+a$ для П. «быть произведением».

При анализе и формализации естеств. языков, что важно, в частности, для теории машинного перевода, возникает необходимость рассматривать П., зависящие от др. П.; таков, напр., П. «быть цветом», в «предметную» область к-рого входят П. «синий», «красный» и т. п. Такие П. рассматриваются в т. н. расширенном исчислении предикатов, в к-ром допускается квантификация не только по предметным, но и по предикатным переменным. Представляют значит. интерес и теории, оперирующие с иерархией П. нескольких (или даже бесконечного количества) «типов» («ступеней») — т. н. теории типов.

Понятие П., будучи одним из осн. понятий математич. логики, используется в большинстве приложений последней. В частности, в программах многих ЭЦМ предусмотрены спец. команды для выполнения логич. операций, состоящих, напр., в вычислении значений нек-рых спец. П. Так наз. признаки, вырабатываемые в процессе выполнения нек-рых команд, исходя из значений к-рых посредством команд условного перехода определяется тот или иной порядок дальнейшего выполнения программы, также (независимо от способа их кодирования в ЭЦМ) являются нек-рыми спец. П. (см. *Программирование*, *Логическая операция*). Понятие П. используется также в теории *логических схем программ*. Различные видоизменения исчисления П. (или нек-рые

его части) лежат в основе машинных языков программирования (см., напр., *Алгол*), информационно-логич. языков и аппарата теории *конечных автоматов* [1]. Вообще при исследовании логико-лингвистич. проблем, возникающих при попытках автоматизации решения к.-л. научных или производств. задач (предполагающим прежде всего их алгоритмизацию), важнейшую роль играет выделение соответствующей системы понятий, нужных для разумной и точной постановки данной задачи. При формализации такой системы приходится учитывать св-ва выделяемых понятий и отношения между ними (могущие быть использованными в ходе решения задачи), т. е. подходящим образом выбранные П., определенные на множестве этих понятий. Это удается сделать, как правило, при помощи аппарата математич. логики и в первую очередь при помощи исчисления П.

Лит.: 1) Кобринский Н. Е., Трахтенброт Б. А., Введение в теорию конечных автоматов, М., 1962. См. также лит. к ст. *Логика*, *Логика математическая*. *Ю. А. Гастев.*

ПРЕДМЕТНОЕ ТОЖДЕСТВО СЛОВ (objective words identity; identité objective des mots; semantische Identität, sachliche Wort-Identität) — неразличимость между собой *слов* в неравных *алфавитах*. Если алфавит A является частью алфавита B, то всякое слово в алфавите A предметно тождественно нек-рому слову в алфавите B, а именно слову, состоящему из тех же букв, взятых в том же порядке. В более сложных случаях алфавиты A и B могут не содержать одинаковых букв, но тем не менее допускать П. т. с. Это связано с тем, что буквы, являясь целыми в каждом алфавите, все же состоят из отдельных более простых частей, к-рые можно различным образом объединить. Напр., пусть алфавит A состоит из букв {00, 01, 10, 11}, т. е. каждая его буква является парой двоичных цифр, а алфавит B — из букв {000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111}, т. е. каждая его буква является тройкой двоичных цифр. Слово в алфавите A 001011, состоящее из трех букв 00, 10, 11, предметно тождественно слову в алфавите B 001011, состоящему из двух букв 001, 011.

Два алфавита, имеющие одинаковые объемы (одинаковые количества букв), если между буквами одного из них и буквами другого установлено взаимно однозначное соответствие, наз. р а в н о з н а ч н ы м и. Буквы одного из таких алфавитов можно считать кодами букв другого. Замена букв в к.-н. слове в одном из равнозначных алфавитов их кодами, принадлежащими др. из этих алфавитов, наз. э л е м е н т а р н о й п е р е к о д и р о в к о й. Всякий алгоритм, к-рый, будучи применен к словам в нек-ром алфавите, может приводить к результатам, являющимся словами только в том же алфавите, назовем алгоритмом или операцией в этом алфавите. Применяя элементарные перекодировки и пользуясь П. т. с., можно операции в одном алфавите заменять операциями в др. алфавите (причем упомянутые алфавиты могут иметь неравные объемы и не содержать одинаковых букв). Такой прием наз. т р а н с п о н и р о в а н и е м о п е р а ц и й. Для того чтобы операцию в алфавите A транспонировать в алфавит B, строят вспомогат. алфавит C, равнозначный алфавиту A и состоящий из букв, являющихся словами в алфавите B. Если слово в алфавите A подвергнуть элементарной перекодировке с помощью букв алфавита C, то получится слово, предметно тождественное нек-рому слову в алфавите B. К последнему можно применить соответствующим образом выбранную операцию в алфавите B. Если при этом получится результат, предметно тождественный нек-рому слову в алфавите C, то, подвергая упомянутое слово в алфавите C элементарной перекодировке с помощью букв алфавита A, получаем слово в алфавите A, являющееся результатом транспонированной операции.

П. т. с. и транспонирование операций широко используются в ЭЦМ. Напр., П. т. с. позволяет код команды, если это удобно, рассматривать как код числа или наоборот. Пользуясь транспонированием операций, задачи, сформулированные в десятичной позиц. системе счисления, решают на ЭЦМ, имеющей в качестве рабочей системы счисления двоичную.

В принципе возможно нетривиальное П. т. с. внутри одного алфавита (тривиальным является предметное тождество слова самому себе). Напр., если алфавит состоит из букв {1, 1+, +, 2}, то слово 1+2, состоящее из двух букв 1+, 2, и слово 1 + 2, состоящее из трех букв 1, +, 2, между собой предметно тождественны. В таком случае говорят, что слово 1 + 2 допускает разночтения. В теории алгоритмов обычно рассматриваются алфавиты, не допускающие разночтения слов, т. е. не допускающие внутри себя П. т. с. На практике такие алфавиты применяются, но при этом используются не все возможные слова, а лишь нек-рые, удовлетворяющие условиям, исключающим возможность разночтения. Напр., при записи в памяти ЭЦМ двоично-десятичных чисел (см. *Двоично-десятичная система счисления*) применяется алфавит {0, 1, 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001}, буквы к-рого являются соответственно кодами букв {+, −, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}, но при этом используются лишь слова, в к-рых на первом месте стоит одна из букв 0 или 1, а на остальных местах эти буквы не встречаются. *Н. К. Кришкий.*

ПРЕДСКАЗАНИЕ (п р о г н о з и р о в а н и е) (prediction; prédiction; Voraussage) — операция, состоящая в точном или приближенном определении последующего значения ф-ции по нек-рой совокупности данных, зависящих от ее предыдущих значений. Примеры П.: прогноз темп-ры на день вперед; П. времени ближайшего солнечного затмения и района на Земле, где оно будет полным; гипотеза о полном содержании телеграммы, построенная в момент, когда телеграмма принята лишь частично. Возможность П. основывается на предположении, что закономерности, наблюдавшиеся в прошлом, будут сохранены в будущем.

В классич. физике результаты измерений, производимых над физич. системой в будущем, однозначно определяются нек-рой совокупностью данных о состоянии системы в настоящий момент. Так, на законах классич. механики основано весьма точное П. движения небесных тел. Однако с точки зрения квантовой физики, классич. физика — приближ. теория, пригодная для описания только макроскопич. объектов. В квантовой теории полное описание системы в настоящий момент определяет, вообще говоря, лишь вероятности тех

или иных результатов измерений в будущем. Кроме того, как правило, доступным является только неполное описание состояния системы в настоящем и прошлом, на основе к-рого можно сделать лишь вероятностные выводы о состоянии системы в будущем. Поэтому особый интерес представляет статистич. П. (см. *Предсказания теория*). *Б. С. Цыбаков.*

ПРЕДСКАЗАНИЯ ТЕОРИЯ (prediction theory; théorie de prédiction; Theorie der Wahrsagung) — математич. дисциплина, предметом к-рой является построение и исследование методов оптимального предсказания. П. т. — это статистич. теория, тесно связанная с теорией вероятностей, математич. статистикой, теорией вероятностных процессов, а также с такими невероятностными математич. дисциплинами, как теория аппроксимации и функцион. анализ. Основы математич. П. т. были заложены сов. ученым А. Н. Колмогоровым и амер. ученым Н. Винером.

Типичная задача статистической П. т. может быть сформулирована следующим образом. Заданы вероятностные хар-ки случайного процесса $\xi(t)$ и значения $x_1,\dots,x_n$ этого случайного процесса, соответствующие моментам времени $t_1,\dots,t_n$. Требуется по возможности более точно определить значение x_{n+1}, к-рое $\xi(t)$ примет в момент t_{n+1}. Иными словами, нужно построить ф-цию $\varphi(x_1,\dots,x_n)=\bar{x}_{n+1}$, к-рая была бы в нек-ром смысле наилучшим приближением к x_{n+1}. Решение этой задачи зависит от того, какие вероятностные хар-ки процесса $\xi(t)$ заданы, какие ограничения наложены на класс ф-ций $\varphi(x_1,\dots,x_n)$, допустимых для использования при предсказании, какая мера выбрана для хар-ки близости предсказания $\bar{x}_{n+1}$ и истинного значения x_{n+1}.

Приведем неск. важных для приложений выборов перечисл. условий и имеющихся для них решений.

1) Путь $\xi(t)$ — случайный процесс, при любом t принимающий значения, взятые из множества всех вещественных чисел. Пусть задана совместная плотность распределения вероятностей $p(y_1,\dots,y_n,y_{n+1})$ случайных величин $\xi(t_1),\dots,\xi(t_n),\xi(t_{n+1})$. Будем считать, что мера близости предсказания $\bar{x}_{n+1}=\varphi(x_1,\dots,x_n)$ к истинному значению x_{n+1} оценивается ср. величиной абс. уклонения $\bar{x}_{n+1}$ от x_{n+1}, т. е. величиной

$$M\,|\xi(t_{n+1})-\varphi[\xi(t_1),\dots,\xi(t_n)]\,|=\varrho.$$

В указанных условиях наилучшее предсказание определяется как решение ур-ния

$$2\int_{-\infty}^{\bar{x}_{n+1}} p(x_1,\dots,x_n,y_{n+1})\,dy_{n+1}=\int_{-\infty}^{\infty} p(x_1,\dots,x_n,y_{n+1})\,dy_{n+1}$$

относительно $\bar{x}_{n+1}$ при заданных $\xi(t_n)=x_n$. Наилучшее предсказание приводит к миним. значению ошибки ϱ.

2) Пусть процесс $\xi(t)$ принимает при каждом t значения из нек-рого конечного множества X. Пусть $P(x_1,\dots,x_n,x_{n+1})$ вероятность того, что $\xi(t_1)=x_1,\dots,\xi(t_n)=x_n$, $\xi(t_{n+1})=x_{n+1}$, где $x_i\in X$, $i=1,\dots,n+1$. Будем считать вероятность отсутствия ошибки при предсказании за меру ϱ близости предсказания $\bar{x}_{n+1}$ к истинному значению x_n, т. е.

$$\varrho=P\{\xi(t_{n+1})=\varphi[\xi(t_1),\dots,\xi(t_n)]\}.$$

При заданных $\xi(t_1)=x_1,\dots,\xi(t_n)=x_n$ предсказание, приводящее к максимальному значению ϱ, определяется как мода условного распределения $F(y)=\sum_{y\geqslant x_{n+1}}\frac{P(x_1,\dots,x_n,x_{n+1})}{P(x_1,\dots,x_n)}$ величины $\xi(t_{n+1})$. В случае, когда распределение $F(y)$ мультимодально, наилучшим предсказанием является одна из мод.

3) В условиях п. 1 относительно $\xi(t)$ предположим, что мера близости предсказания оценивается среднеквадратич. уклонением, т. е. величиной

$$\varrho=M\{\xi(t_{n+1})-\varphi[\xi(t_1),\dots,\xi(t_n)]\}^2.$$

В этом случае наилучшим предсказанием, минимизирующим значение ϱ, является

$$\bar{x}_{n+1}=\int_{-\infty}^{\infty} y_{n+1}\,p(x_1,\dots,x_n,y_{n+1})\times$$

$$\times\,dy_{n+1}\Big/\int_{-\infty}^{\infty} p(x_1,\dots,x_n,y_{n+1})\,dy_{n+1}.$$

4) Пусть $\xi(t)$ ($t=0,\pm1,\pm2,\dots$) — стационарная случайная последовательность со спектр. плотностью

$$f(\omega)=\left|\sum_{j=0}^{v} b_j e^{2\pi ij\omega}\right|^{-2},\quad (b_0 b_v\neq 0).$$

Пусть заданы все значения последовательности, предшествующие моменту $t=0$, т. е. заданы $\xi(t_i)=x_i$ при $t_i=-1,-2,\dots$. Требуется построить наилучшее предсказание величины $\xi(0)$, если за меру близости принято среднеквадратич. уклонение, т. е. та же мера, что и в п. 3. Дополнительно будем считать, что допустимы лишь линейные относительно x_i предсказания, т. е. предсказания вида

$$\varphi(x_1,\dots,x_n)=\sum_{k=-\infty}^{-1} c_k x_k.$$

В этих условиях наилучшее предсказание $\xi(0)$ дается ф-цией

$$\varphi(x_1,\dots,x_n)=-\frac{1}{b_0}(b_v x_{-1}+\dots+b_0 x_{-v}),$$

а миним. ошибка ϱ, возникающая при этом, выражается ф-лой

$$\varrho=\frac{1}{|b_0|^2}.$$

Лит.: Колмогоров А. Н., Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей, «ИАН СССР. Сер. матем.», 1941, т. 5, с. 3—14; Wiener N., Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series, [2 ed.], N. Y.—L., 1950; Яглом А. М., Введение в теорию стационарных случайных функций, «УМН», 1952, т. 7, вып. 5 (51), с. 3—168; Шеннон К., Боде Г., Упрощенный вывод линейной теории сглаживания и предсказания по методу наименьших квадратов, в кн.: Шеннон К., Работы по теории информации и кибернетике, пер. с англ., М., 1963, с. 687—708. *Б. С. Цыбаков.*

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОБЫТИЙ (representation of event; représentation d'événements; Darstellung der Ereignisse, Darstellung der Erscheinungen] — способность автомата от-

личать одни *события*, происходящие на его входе, от других. Выражение «автомат представляет событие S выходным символом α» означает, что всякий раз, когда наступило S (т. е. на вход подана последовательность из множества S), на выходе автомата появляется α; и обратно α появляется только тогда, когда наступило S. Напр., событие S_1 (в алфавите 0,1) состоит из всех входных последовательностей, содержащих $3n$ единиц, S_2 — из всех последовательностей, содержащих $3n+1$ единицу, S_3 — из всех последовательностей, содержащих $3n+2$ единицы. Если автомат с входным алфавитом $\{0,1\}$ и выходным алфавитом $\{\alpha, \beta, \gamma\}$ на все последовательности из S_1 выдает выходной символ α, на все последовательности из S_2 — выходной символ β, а на все последовательности из S_3 — выходной символ γ, то говорят, что данный автомат представляет событие S_1 выходным символом α, событие S_2 — выходным символом β, событие S_3 — выходным символом γ. Событие S_4, состоящее из всех последовательностей, содержащих $2n$ единиц, не представляется в данном автомате никаким символом, т. к. в ответ на различные последовательности из S_4 могут появляться различные выходные символы (в ответ на последовательность, содержащую 6 единиц, появится α, на последовательность из 8 единиц — γ, а на последовательность из 10 единиц — β). Существуют события, не представимые ни в каком *конечном автомате*. *О. П. Кузнецов.*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ВХОДНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В КОД (quantizing coder; codeur quantificateur; Umsetzer einer kontinuierlich veränderlichen Größe in einen Code) — устройство, осуществляющее *квантование* входной непрерывной величины заменой непрерывной последовательности значений конечным числом дискретных значений и формирующее кодовые комбинации в соответствии с выбранным кодом. Физ. величины, подлежащие цифровому преобразованию, как правило, вначале преобразуются в пропорцион. механич. величину (угловое или линейное перемещение) или в электрич. величину (напряжение или ток). Код формируется в виде комбинации состояний электромеханич., электронных, магнитных или др. элементов, либо в виде параллельных или последоват. во времени комбинаций электрич. импульсов. Чаще всего применяются двоичные коды, для представления к-рых используются элементы с двумя состояниями. Для записи таких кодов используются цифры 0 и 1. В цифровых измерит. приборах, в кодо-импульсных системах телеизмерения, а также в тех аналоговых телеизмерит. системах, к-рые снабжены устройствами цифрового воспроизведения показаний, применяются двоично-десятичный и десятичный коды (см. *Кодирование* в телемеханике). Эти коды удобны для восприятия информации человеком и для регистрации на цифропечатающих машинах.

Для преобразования механич. перемещений в код применяется *кодирующий диск*. Иногда применяются устройства, отсчитывающие число элементарных приращений углового или линейного перемещения и преобразующие их в код при помощи пересчетной схемы; выходной код выражается комбинацией состояний ячеек пересчетной схемы, к-рая может быть построена по схеме двоичного, десятичного или двоично-десятичного счета.

Для преобразования напряжения (тока) в цифровой код широко используются методы развертывающего преобразования без обратной связи и с обратной связью и поразрядного уравновешивания. При развертывающем преобразовании без обратной связи используется промежуточное преобразование напряжения (тока) в длительность временно́го интервала или в частоту импульсов. Временной интервал преобразуется в код путем подсчета на пересчетном устройстве числа импульсов фиксированной частоты за этот интервал; частота преобразуется в код подсчетом числа импульсов за фиксированный интервал времени. Структура кода определяется структурой пересчетной схемы. Принцип действия развертывающего преобразователя с промежуточным преобразованием напряжения во временной интервал иллюстрируется схемой рис. 1, *а*,

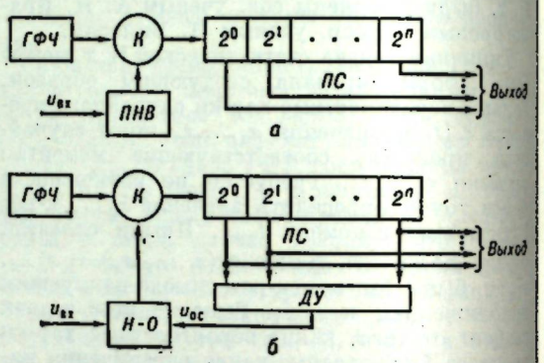
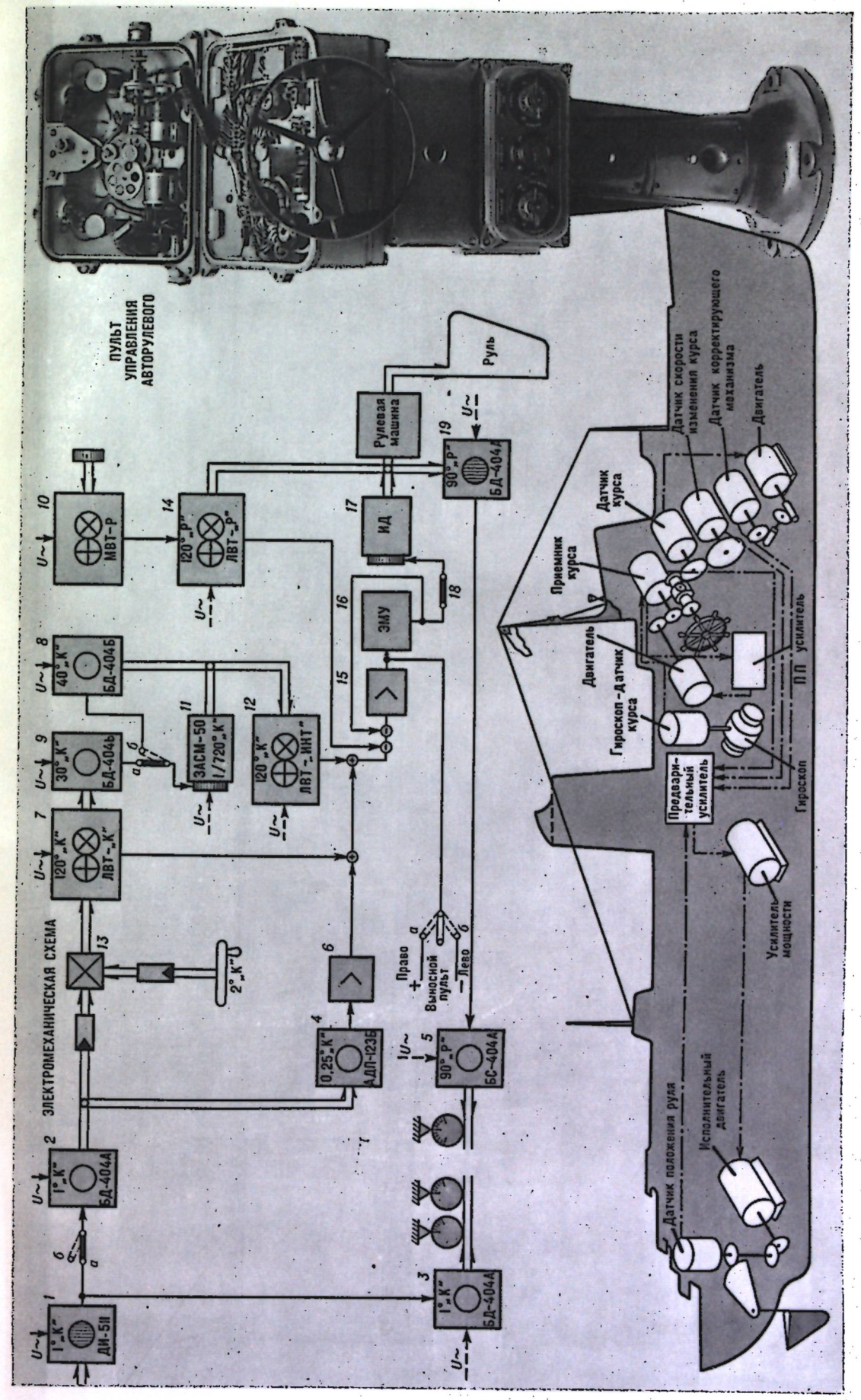


Рис. 1. Схемы развертывающих преобразователей напряжения в код: *а* — без обратной связи; *б* — с обратной связью; *ГФЧ* — генератор фиксированной частоты; *К* — клапан; *ПС* — пересчетная схема; *ПНВ* — преобразователь «напряжение-время»; *ДУ* — декодирующее устройство; *Н-О* — нуль-орган; $u_{вх}$ — входное напряжение; $u_{ос}$ — напряжение обратной связи.

где показан клапан, пропускающий импульсы генератора фиксированной частоты на вход пересчетной схемы в течение временно́го интервала, к-рый вырабатывается преобразователем входного напряжения в пропорцион. временной интервал. Выходной код снимается с ячеек пересчетной схемы. В рассмотр. преобразователе пересчетная схема последовательно набирает все кодовые комбинации, соответствующие натуральному ряду чисел от 0 до N, являющемуся цифровым эквивалентом входной непрерывной величины. Такой же последоват. набор всех возможных кодовых комбинаций происходит и в развертывающих преобразователях с обратной связью. Но в них отсутствует промежуточное преобразование непрерывной величины во временной интервал или в частоту; вместо этого осуществляется преобразование вырабатываемого пересчетной схемой кода в эквивалентную ей непрерывную величину — напряжение (ток) обратной связи. Эта непрерывная величина сравнивается посредством нуль-органа с входной непрерывной величиной. Когда после очередного элементарного приращения напряжение обратной связи становится равным входному напряжению, клапан на входе пересчетной схемы закрывается и набор кода прекращается. При такой схеме кодирования от генератора импульсов не требуется стабильности частоты. Точность кодирования определяется величиной элементарного приращения напря-



Авторуневой. Электромеханическая схема: *1* — датчик курса; *2* — сельсин-приемник; *3* — двухпикальный репитер курса; *4* — асинхронный тахометр; *5* — указатель заданного положения руля; *6* — усилитель на полупроводниках; *7* — линейный вращающийся тр-р; *8* — масштабный вращающийся тр-р; *9* — сельсин-датчик; *10* — масштабный вращающийся тр-р; *11* — синхронный двигатель; *12* — интегрирующий линейный усилитель; *13* — дифференциал; *14* — линейный вращающийся тр-р; *15* — усилитель на полупроводниках; *16* — электромашинный усилитель; *17* — исполнительный двигатель; *18* — дифференцирующий контур; *19* — сельсин-датчик положения руля.

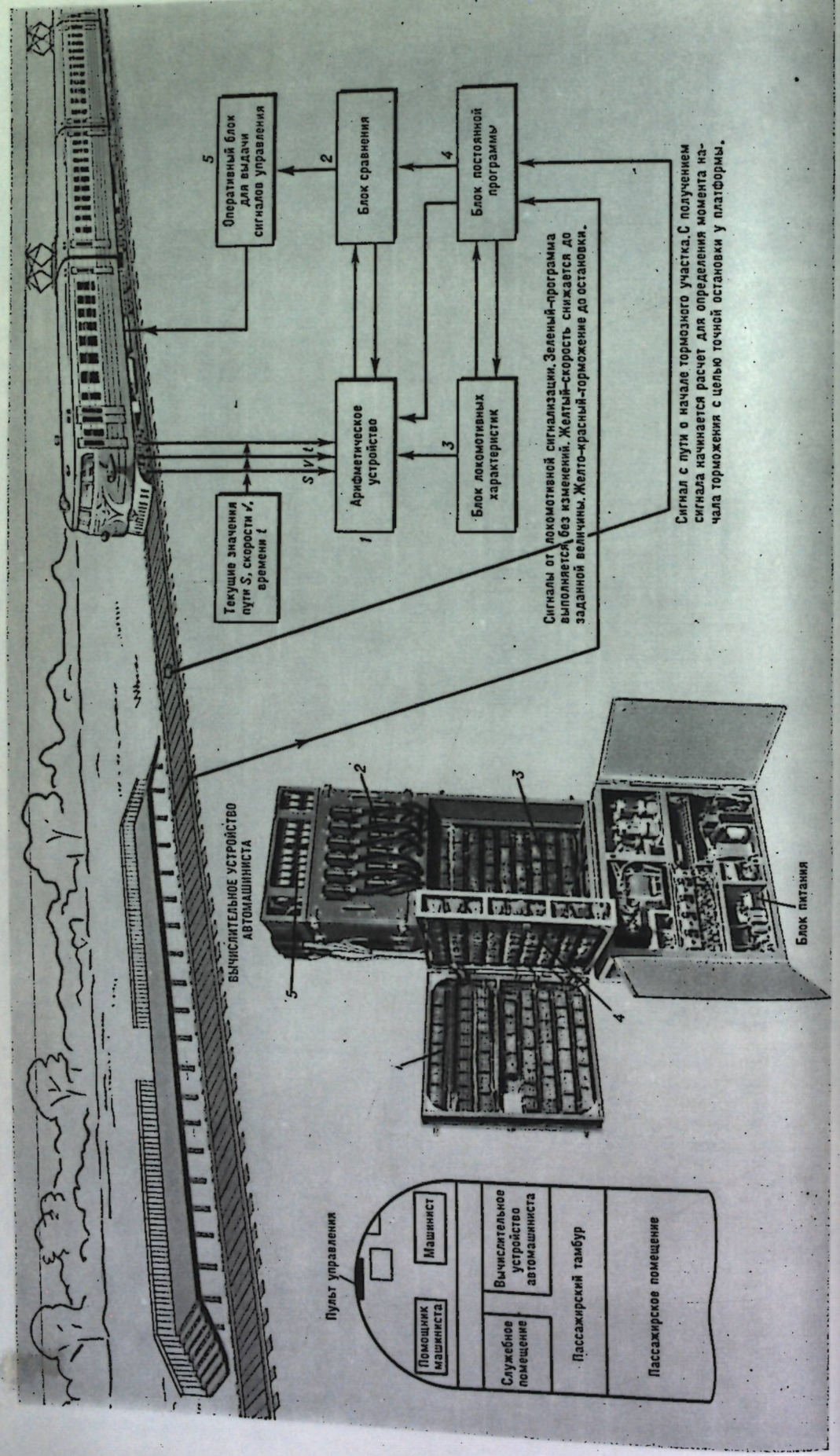


Схема автоматизации управления движением моделирующих пригородных поездов с применением счетно-решающих устройств. Разработана в Научно-исследовательском институте управления движением железнодорожного транспорта.

жения (тока) обратной связи, а также точностью преобразования кода в напряжение (ток) обратной связи и стабильностью порога срабатывания нуль-органа. Принцип действия развертывающего преобразователя с обратной связью иллюстрируется схемой рис. 1, *б*, на к-рой новыми узлами по сравнению со схемой рис. 1, *а* являются декодирующее устройство, преобразующее код в напряжение обратной связи u_{oc}, и нуль-орган, сравнивающий u_{oc} и $u_{вх}$ и управляющий закрытием клапана на входе пересчетной схемы.

Метод поразрядного уравновешивания также основан на сравнении входной непрерывной величины с сигналом обратной связи, являющимся эквивалентом набираемого кода. Но, в отличие от развертывающего преобразования, здесь код набирается не за N тактов работы схемы, а за столько тактов, сколько разрядов содержится в коде. Набор кода происходит в такой последовательности: вначале включается единица в старшем разряде, а в остальных разрядах — нули. Если эквивалентное этому коду напряжение обратной связи ниже входного напряжения или равно ему, единица в старшем разряде кода сохраняется на все последующее время набора кода; если напряжение обратной связи превышает входное напряжение (случай перекомпенсации), единица из старшего разряда кода исключается на втором такте работы схемы. На втором такте к коду добавляется единица в следующем по старшинству разряде. В зависимости от того, сохраняется ли при этом или изменяется первоначальный знак разности между входным напряжением и напряжением обратной связи, единица сохраняется в этом разряде кода или исключается из него в третьем такте работы схемы. Так продолжается набор кода, вплоть до самого младшего разряда. Если при этом нужно передавать код входного напряжения в последоват. форме, то это может быть сделано в процессе кодирования, т. к. значение очередного разряда кода выявляется в каждом такте. Принцип работы преобразователя с поразрядным кодированием иллюстрируется схемой рис. 2, на к-рой программное

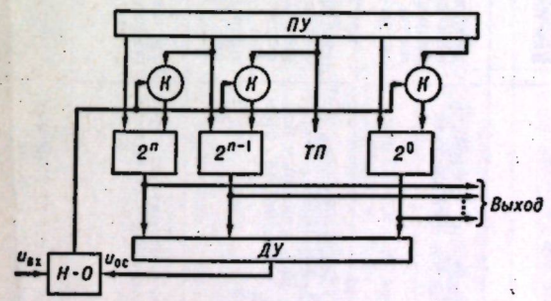


Рис. 2. Схема преобразователя с поразрядным уравновешиванием; *ТП* — триггеры памяти.

устройство по очереди выдает команды на включение в состояние «*1*» триггеров памяти, посредством к-рых набирается код. Декодирующее устройство преобразует код в напряжение обратной связи u_{oc}, сравниваемое нуль-органом с входным напряжением $u_{вх}$. Нуль-орган подает на группу клапанов отпирающий сигнал в случае перекомпенсации. На вторые входы клапанов поступают от программного устройства импульсы, подающие команду на перевод предыдущего триггера памяти в состоянии «*0*» одновременно с включением очередного триггера в состояние «*1*». Перевод в состояние «*0*» происходит, если выходной сигнал нуль-органа свидетельствует о перекомпенсации. Др. методы получили меньшее распространение из-за малой точности или чрезмерной сложности.

Лит.: Гитис Э. И., Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств, М.—Л., 1961.

Я. А. Купершмидт.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИОННЫЙ (ionic converter; convertisseur ionique; Ionenumwandler) — см. *Вентильный преобразователь.*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОДА (code converter; convertisseur de code; Code-Umsetzer, Codewandler) — вычислит. устройство для автоматич. изменения способа кодирования нек-рого множества сообщений без изменения их смыслового содержания. Необходимость преобразований кода возникает при установлении связи между преобразователями информации или между машиной и человеком-оператором. При этом различают входной и выходной коды, к-рыми представлены, соответственно, исходное и преобразованное сообщения. Каждой комбинации входного кода соответствует строго определенная комбинация выходного кода. Такое соответствие задается системой правил, представляющих собой алгоритм работы П. к. Различают два вида преобразований. Первый — когда входной и выходной коды формально совпадают, а изменяется только временно́е или пространств. разделение позиций. Примерами служат преобразования: параллельных кодовых комбинаций в последовательные или последовательных в параллельные; из двоичной системы счисления в восьмеричную или любую 2^k-ричную, сводящееся к разделению исходной кодовой комбинации на группы по $k-1$ разрядов и присвоению этим группам смысла разрядов 2^k-ричной системы счисления. Ко второму виду относятся преобразования, связанные с изменением основания или оснований исходного кода. Преобразование двоичного числа x $(0<x<1)$ может быть осуществлено по ф-ле:

$$C_i=\left\{\left(D\cdot 10^{(i-1)}-\sum_{j=0}^{i-1} C_j\cdot 10^j\right)10\right\}_{\text{ц.ч.}},\qquad (1)$$
$$i=1,2,\ldots,\quad C_0'=0,$$

где C_i — i-тая справа от десятичной запятой цифра десятичного числа, D — исходное двоичное число; фигурные скобки означают, что от заключенной в них величины берется целая часть. Преобразование рефлексного кода в обычный двоичный код осуществляется по ф-ле:

$$A_k=\sum_{i=n}^{k} a_i \pmod 2,\qquad (2)$$

где a_i — i-тый разряд рефлексного кода, A_k — разряды исходного двоичного кода, n — число разрядов в исходном коде. Ф-лы (1) и (2) есть алгоритмы работы П. к. В более сложном случае при преобразовании полностью изменяется система кодирования с более или менее точным сохранением смыслового содержания исходного сообщения, напр. автоматич. перевод с одного языка на другой.

А. В. Шилейко.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МАГНИТНЫЙ (magnetic converter; convertisseur magnétique; magnetischer Umformer, magnetischer Wandler)—

Физические явления, пригодные для преобразования магнитных величин

№ п. п.	Условное наименование преобразователя	Явление или свойство вещества	Первичный воспринимающий элемент (рабочее тело)	Физич. величина на выходе преобразователя	Диапазон преобразуемой индукции, *тл*	Порог чувствительности, *тл*	Примеры применения в качестве датчиков магнитного поля
1	Магнитомеханический	Механич. взаимодействие магнитного поля и пост. магнита	Подвижный пост. магнит на оси или на подвесе	Механич. усилие или перемещение	от 10^{-9} до 10^{-1}	10^{-9}	Магнитный компас; стрелочный инклинатор; магнитомеханич. магнитометры
2	Пондеромоторный	Механич. взаимодействие магнитного поля и ферро-, пара- или диамагнитного тела	Ферро-, пара- или диамагнитное тело на подвесе; мелкие частицы ферромагнитного вещества; парамагнитная жидкость или газ	Механич. усилие или перемещение	от 10^{-3} до 10^{2}	10^{-4}	Порошковая дефектоскопия; измерение магнитной восприимчивости в сильных полях; магнитные газоанализаторы
3	Магнитоэлектрический	Механич. взаимодействие магнитного поля и проводника с электрич. током	Подвижная обмотка; проводящая жидкость	Механич. усилие или перемещение	от 10^{-8} до 10^{2}	10^{-9}	Пермеаметры Кепселя и Германа; магнитоэлектрич. магнитометры
4	Простой индукционный	Электромагнитная индукция в неподвижной обмотке	Неподвижная обмотка с ферромагнитным сердечником или без него	Электрич. напряжение	от 10^{-11} до 10^{2}	10^{-11}	Испытание магнитных материалов; дефектоскопы; металлоискатели; стационарные морские магнитометры
5	Генераторный	Электромагнитная индукция в движущихся проводниках	Однократно поворачиваемая или перемещаемая катушка; непрерывно вращаемая обмотка; вращающийся диск; струя проводящей жидкости	Электрич. напряжение	от 10^{-9} до 10^{2}	10^{-9}	Измерения магнитного поля в зазорах электрич. машин; испытание пост. магнитов; индукц. инклинатор; аэромагнитометр
6	Магнитомодуляционный	Изменение магнитных св-в тела при перемещении его частей или под влиянием воздействий немагнитной природы	Движущееся ферро-, пара-, диамагнитное, проводящее, сверхпроводящее тело; деформируемое или нагреваемое ферромагнитное тело; нагреваемый парамагнитный газ	Перем. магнитное поле	от 10^{-8} до 10^{2}	10^{-8}	Переносный морской магнитометр; лабораторные макеты магнитометров
7	Магнитонасыщенный	Нелинейность магнитных хар-к ферромагнитных материалов	Ферромагнитное тело с наложенным на него вспомогат. перем. магнитным полем	Перем. составляющая поля с частотой вспомогательного или двойной	от 10^{-9} до 2	10^{-10}	Стационарные, переносные и авиац. магнитометры; дистанц. компасы; авиац. и переносные металлоискатели
8	Гистерезисный	Остаточное намагничение ферромагнитного материала	Ферромагнитное тело	Остаточная намагниченность	от 10^{-3} до 2	—	Регистрация импульсных магнитных полей от токов молнии; палеомагнитные измерения
9	Магнитоанизотропный	Различие магнитных св-в по осям трудного и легкого намагничивания	Анизотропное ферромагнитное тело	Направление самопроизвольного намагничивания	от 10^{-6}	10^{-6}	Индикатор нуля магнитного поля с ферромагнитной пленкой
10	Ядерно-прецессионный	Прецессия поляризов. ядер атомов в магнитном поле	Ядра атомов, обладающие магнитным моментом	Частота вращающегося магнитного поля	от 10^{-5} до 10^{2}	10^{-10}	Стационарные и переносные магнитометры
11	Магнитооптический (зеемановский)	Ориентирующее действие света на атомы в магнитном поле («оптическое перекачивание атомов»)	Внешние электронные оболочки атомов, обладающие магнитным моментом	Световой поток	от 10^{-7} до 10^{-2}	10^{-11}	Передвижные магнитометры
12	Магнитооптический (фарадеевский)	Вращение плоскости поляризации поляризов. света при распространении вдоль магнитного поля в прозрачной среде или при отражении	Спец. стекла (тяжелый флинт), сероуглерод, ферромагнитные металлы	Угол поворота плоскости поляризации	от 10^{-2} до 10^{2}	10^{-4}	Лабораторный магнитометр для сильных полей (около 10 *тл*)
13	Электронный	Отклоняющее действие магнитного поля на движение заряж. частиц в вакууме	Поток электронов (или др. заряж. частиц) в вакууме	Электрич. ток	от 10^{-7} до 10^{2}	10^{-10}	Магнитронные магнитометры; дистанц. компас
14	Гальваномагнитный	Воздействие магнитного поля на движение носителей тока в проводнике или ПП	Проводник или ПП, обтекаемый электрич. током	Электрич. напряжение или изменение сопротивления	от 10^{-6} до 2	10^{-6}	Измерение магнитного поля в зазорах висмутовой спиралью и датчиками эдс Холла; магнитометры с датчиками Холла
15	Магнитострикционный	Изменение формы и размеров тела при изменении его магнитного состояния	Тело из материала с большой магнитострикцией	Механич. усилие или перемещение	от 10^{-7} до 2	10^{-7}	Макет дистанц. компаса
16	Магнитофотоэлектрический	Возникновение электрич. тока в ПП при совм. действии света и магнитного поля	Освещаемый ПП	Электрич. напряжение	от 10^{-2} до 2	—	
17	Сверхпроводящий	Исчезновение сверхпроводимости в магнитном поле, превосходящем критическое	Нек-рые металлы, сплавы и соединения при очень низких темп-рах	Изменение электрич. сопротивления	от 10^{-4} до 10	10^{-6}	
18	Магнитокалорический	Поглощение и выделение тепла при изменении магнитного состояния вещества	Ферромагнитное тело	Темп-ра	от 10^{-3}	—	
19	Магнитотермоэлектрический	Изменение термоэдс при изменении магнитного состояния вещества	Термопара с ферромагнитным электродом	Электрич. напряжение	от 10^{-3} до 2	—	

устройство, преобразующее изменение магнитных величин (магнитной индукции и магнитного потока) на входе в изменения механических, электрических, отличных от входных магнитных и иных физич. величин на выходе. П. м. используют в качестве воспринимающих элементов (*датчиков* и др.) в устройствах для *магнитных измерений*, в устройствах автоматики и вычислит. техники, при воспроизведении записи звука, изображений или иной информации с магнитной ленты и т. п. П. м. в подобных устройствах могут также выполнять ф-ции промежуточных преобразователей (внутри устройства) и исполнит. элементов (на выходе его).

Для преобразования магнитных величин могут быть использованы разнообразные физич. явления (табл.).

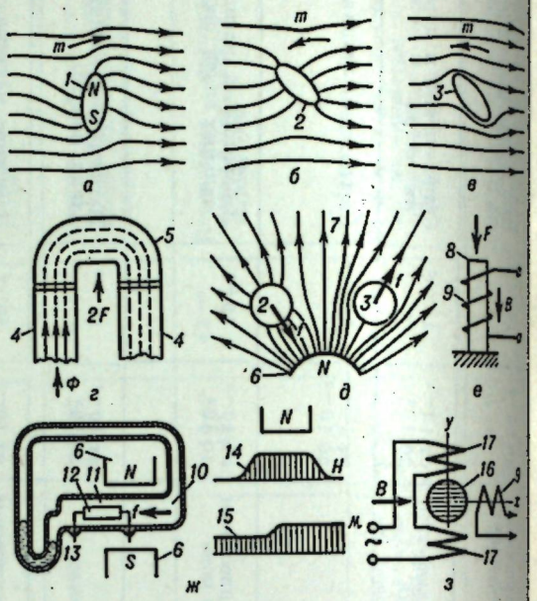
Применения П. м. указаны в таблице только для П. м. (1—15) как датчиков магнитного поля. Из них наиболее употребительны П. м. (1, 3—7, 9—11) (см. *Магнитометр*). Помимо этого, П. м. (1—3) используют как части электроизмерит. приборов и приборов автоматики; П. м. групп 5 и 7— в магнитных и электромашинных усилителях. П. м. (8) применяют в устройствах для записи на магнитной ленте, в нек-рых магнитных усилителях и в элементах памяти ЦВМ (в последних наряду с П. м. группы 9). П. м. (12) использован в автоматич. сахариметрах и для дистанц. измерения малых углов поворота. С помощью датчиков эдс Холла — П. м. (14) — осуществляют операцию умножения в АВМ. П. м. (15), помимо преобразования перем. тока в механич. колебания (см. *Магнитострикционный преобразователь*), используются для выполнения с высокой точностью малых перемещений в быстродействующих исполнит. органах устройств автоматики.

Пондеромоторные преобразователи (2) магнитной индукции однородного магнитного поля (рис. *б*, *в*) отличаются от магнитомеханич. П. м. (1) по существу только тем, что в них пост. магнит (*1* на рис., *а*) заменен ферро-, пара- или диамагнитным телом (*2* и *3* на рис., *б*, *в*). К пондеромоторным относится также П. м. (рис., *г*) для измерения магнитной индукции B ($тл$) или магнитного потока Ф ($вб$) в магнитопроводе *4* по силе F ($нт$), отрывающей ферромагнитный якорь *5*. В соответствии с приближ. ф-лой Максвелла

$$F = B^2S/2\mu_э = \Phi^2/2\mu_0 S,$$

где S ($м^2$) — площадь соприкосновения якоря с магнитопроводом, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ($гн/м$) — магнитная постоянная. Пондеромоторными П. м. пользуются также для определения относит. магнитной восприимчивости $k_о$ пара- и диамагнитных тел по силе $\overline{F} = (k_о - k_0) V_о \Delta \left(\frac{B^2}{2\mu_0}\right)$, действующей на испытуемое тело объема $V_о$ ($м^3$), помещенное в известное неоднородное магнитное поле в среде с относит. магнитной восприимчивостью k_0 (рис., *д*).

Простые индукционные П. м. (4) в виде измерит. катушек без сердечников практически не вносят изменений в измеряемое поле, что делает возможным доведение порога чувствительности до 10^{-13} $тл$. Они позволяют непосредственно, без дополнит. дифференцирования, получать сигнал, пропорцион. скорости изменения магнитной индукции, и при соответствующей конструкции (шаровые катушки) следить за изменениями магнитной индукции в строго определ. точке пространства (в центре катушки). Однако высокая чувствительность достигается у них только



Принципиальные схемы нек-рых преобразователей магнитных величин: *а* — магнитомеханич. преобразователь для измерения магнитной индукции однородного магнитного поля; *б* — пондеромоторный преобразователь для той же цели с ферро- или парамагнитным телом ($\mu_a > \mu_0$); *в* — то же, что *б*, но с диамагнитным рабочим телом ($\mu_a < \mu_0$); *г* — пондеромоторный преобразователь для измерения магнитного потока Ф в магнитопроводе; *д* — пондеромоторные преобразователи для измерения магнитной восприимчивости; *е* — магнитомодуляц. преобразователь с магнитоупругим модулятором и индукц. вторичным преобразованием; *ж* — магнитомодуляц. преобразователь с термомагнитной модуляцией и пондеромоторным вторичным преобразованием; *з* — магнитоанизотропный преобразователь; *1* — пост. магнит; *2* — ферро- или парамагнитное тело; *3* — диамагнитное тело; *4* — магнитопровод; *5* — якорь; *6* — полюсный наконечник магнитопровода; *7* — неоднородное магнитное поле; *8* — сердечник из материала с большим магнитоупругим эффектом; *9* — измерит. обмотка; *10* — парамагнитный газ; *11* — нагретый парамагнитный газ (пониженная магнитная проницаемость); *12* — нагреватель; *13* — манометр; *14* — распределение измеряемой напряженности магнитного поля в зазоре; *15* — распределение магнитной проницаемости газа; *16* — ферромагнитный монокристалл или ферромагнитная пленка с направлением легкого намагничивания, ориентированным по оси x; *17* — обмотка для намагничивания пленки *16* до насыщения в направлении оси трудного намагничивания y; B — направление преобразуемой индукции внешнего поля; F — внешняя сила; f — направление силы магнитного взаимодействия; H — напряженность преобразуемого магнитного поля; m — направление вращения от магнитного взаимодействия; x — ось координат в направлении легкого намагничивания; y — ось координат в направлении трудного намагничивания; Ф — направление магнитного потока; μ — магнитная проницаемость.

путем увеличения размеров, веса или сопротивления, т. к. чувствительность, определяемая у такой катушки суммой площадей витков, равна $S_э = cD\sqrt{RG}$, где c — постоянная, зависящая от материала обмотки, формы и конструкции катушки, D — ср. диаметр витка и R — сопротивление обмотки, G — вес (масса) катушки. Измерит. катушка из медного провода с чувствительностью $S_э = 1500$ $м^2$, позволяющей с помощью фотоэлектрич. флюксметра

типа Ф18 обнаруживать изменения магнитного поля на 10^{-10} $тл$ (на 0,1 гамма), при диаметре $D = 0{,}45$ $м$ и сопротивлении $R = 500$ $ом$ обладает массой ок. 80 $кг$. Введением в катушку сердечника из магнитно-мягкого материала высокой проницаемости (пермаллой) уменьшают размеры и массу катушки, но ограничивают возможность снижения порога чувствительности (из-за влияния гистерезиса), вносят искажение в измеряемое поле и лишают возможности однозначно определять точку, в к-рой измеряется индукция неоднородного поля.

Явления или св-ва, указанные в табл. для магнитомодуляционного (6), магнитонасыщенного (7), гистерезисного (8), магнитоанизотропного (9) и ядернопрецессионного (10) П. м., служат только для первичного преобразования измеряемого магнитного поля в др. магнитное поле: постоянного — в переменное (6, 7, 9, 10) или переменного (импульсного) — в постоянное (8). За этим преобразованием всегда следует еще к.-л. из указанных в таблице, чаще всего — индукционное (4). Для модуляции поля в магнитомодуляционном преобразователе (6), помимо механич. перемещения ферро-, пара-, диамагнитных, проводящих или сверхпроводящих тел (см. рис. 1, *д* к ст. *Магнитометр*), могут быть использованы магнитоупругие явления, состоящие в изменении магнитных хар-к тела под действием механич. напряжений (рис., *е*; см. также *Датчик магнитоупругий*), и термомагнитные явления, заключающиеся в изменении магнитных хар-к тела при изменении темп-ры (рис., *ж*). Гистерезисный преобразователь (8) представляет собой ферромагнитное тело, помещенное в измеряемое поле. Под действием измеряемого импульса магнитного поля в магнитном состоянии преобразователя возникают остающиеся изменения. Измеряя затем с помощью магнитомеханич. (1) или индукц. (4 или 5) преобразователя остаточный магнитный момент тела и размагничивающую его напряженность внешнего магнитного поля, можно определить знак, амплитуду и длительность импульса магнитного поля, воздействовавшего на преобразователь. В магнитоанизотропном (9) индикаторе нуля магнитного поля (рис., *з*) используется неустойчивость остаточного намагничения однородно ориентированной ферромагнитной пленки по направлению трудной оси y, спонтанно переходящего в намагничение по легкому направлению вдоль оси x, знак к-рого определяется знаком слабого измеряемого поля, действующего вдоль оси x во время исчезновения сильного вспомогат. поля, принудительно ориентировавшего намагниченность пленки по оси y.

Лит.: Сотсков Б. С., Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, М.—Л., 1950, с. 348—63; Белов К. П., Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках, 2 изд., М., 1957; Brown W. F., Sweer J. H., The Fluxball, «Rev. Scient. Instrum.», 1945, v. 16, № 10, p. 276—79; McCutchen C. W., TIM; a brushless generating magnetometer, «J. Scient. Instrum.», 1959, v. 36, № 11, p. 471—74; Кобелев В. В., Корсунский А. А., Простой нуль-индикатор магнитного поля на ферромагнитной пленке, «ПТЭ», 1962, т. 7, № 5, с. 154—56; Alers P. B., High-field optical magnetometer, «Rev. Scient. Instrum.», 1962, v. 33, № 1, p. 74—75; Gragg B. G., An electronic magnetometer, «J. Scient. Instrum.», 1955, v. 32, № 10, p. 385—86; Пикус Г. Е., Сорокин О. В., Нелинейное полупроводниковое сопротивление, чувствительное к магнитному полю, «АиТ», 1958, т. 19, № 2, с. 187—88; Rowe R. G., Magnetostriction compass, «Electronics», 1945, v. 18, № 7, p. 123—25; Dixon J. B., Photoelectromagnetic effect in Indium arsenide, «Phys. Rev.», 1957, v. 107, № 2, p. 374—78; см. также лит. при ст. *Магнитометр*. *Б. И. Филипович.*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ (magnetostrictive converter; convertisseur à magnétostriction; Magnetostriktiver Umformer, Magnetostriktions-Wandler) — см. *Магнитострикционный преобразователь*.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН (analogue-digital or digital-analogue converter; convertisseur d'analogique en numérique ou de numérique en analogique; Umformer der Größendarstellung, Größen-Darstellungswandler) — устройство, с помощью к-рого машинные переменные преобразуются из аналоговой формы в цифровую или наоборот.

Создание П. п. в. было связано прежде всего с необходимостью в процессе вычислений на ЦВМ осуществлять ввод и вывод данных в аналоговой форме. Такая необходимость может также возникнуть при включении ЦВМ в контур САР (при использовании ее для управления технологич. процессами), при построении комбинированной аналого-цифровой вычислит. аппаратуры и т. п. Во всех таких случаях с помощью П. п. в. обеспечивается двухсторонний обмен информацией между аппаратурой цифрового или аналогового типа.

В зависимости от выполняемых ф-ций бывают П. п. в., преобразующие переменные из цифровой формы в аналоговую — цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), и П. п. в., преобразующие переменные из аналоговой формы в цифровую — аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Среди ЦАП наиболее широко распространены такие, с помощью к-рых цифровой код преобразуется в электрич. непрерывную величину (напряжение, ток, проводимость). На рис. 1 дана блок-схема ЦАП, предназнач.

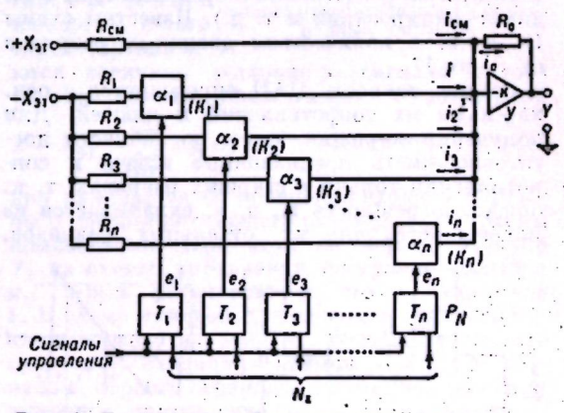


Рис. 1. Блок-схема цифро-аналогового преобразователя.

для преобразования цифровой информации в аналоговую при связи ЦВМ с АВМ. Основу схемы составляют входной регистр числа P_N, электронные токовые ключи K_1, ..., K_n, проводимости $^1/R_{см}$, $^1/R_1$,..., $^1/R_n$, операц. усилитель пост. тока $У$. Число в дополнит. коде $[Nx]_{доп}$ поступает из ЦВМ во входной регистр, где оно хранится все время, необходимое для преобразования. В регистре в соответствии с кодом Nx формируются электрич. сигналы e_j ($j = 1, 2, \ldots, n$), с помощью к-рых

устанавливаются величины передаточных коэфф. α_j ($j=1, 2, ..., n$) электронных ключей $K_1,..., K_n$. Коэфф. α_j могут принимать только два значения: 0 или 1. При $\alpha_j = 1$ к точке суммирования Σ операц. усилителя $У$ через ключ протекает ток i_j, величина к-рого определяется значениями эталонного напряжения $X_{эт}$ и проводимости $1/R_j$. При $\alpha_j=0$ ток $i_j=0$. Первый разряд является знаковым, причем $\alpha_1=0$ при положительном знаке числа X и $\alpha_1=1$ при отрицательном знаке числа X.

Значение выходного напряжения усилителя $У$ при одноврем. действии всех ключей:

$$Y=-R_0\left(i_{см}-\sum_{j=1}^{n} i_j\right)=$$

$$=-R_0\left(\frac{1}{R_{см}}-\sum_{j=1}^{n}\frac{\alpha_j}{R_j}\right)X_{эт}.$$

Величины сопротивлений R_j выбираются пропорцион. сопротивлению R_c с соответствующим весовым коэфф., равным $2^{-(j-1)}$. Если $R_{см}=R_0$, то выходная величина

$$Y=-\left(1-\sum_{j=1}^{n}\alpha_j 2^{-(j-1)}\right)X_{эт}$$

будет пропорцион. числу N_X, поданному на вход преобразователя.

Осн. хар-ками схемы ЦАП являются количество двоичных разрядов, статич. точность преобразования и макс. частота смены кодов. Количество двоичных разрядов обычно выбирается т. о., чтобы дискретность преобразования, характеризуемая значением младшего разряда 2^{-n}, была неск. меньше осн. статич. погрешности. Этим обеспечивается более плавное изменение выходной величины, что в ряде случаев имеет важное значение (напр., при регистрации переменных, при их дифференцировании и т. д.). Известны схемы П. п. в. с количеством двоичных разрядов от 8 до 17.

Статич. точность ЦАП определяется в осн. хар-ками их сопротивлений и ключей. Для получения хороших хар-к по точности достаточно иметь прецизионные ключи и сопротивления только в старших разрядах, т. к. общая погрешность П. п. в. складывается из погрешностей для их отдельных разрядов,

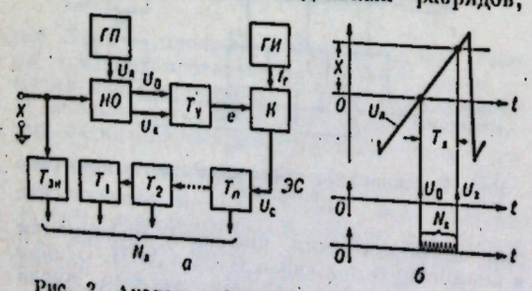


Рис. 2. Аналого-цифровой преобразователь, работающий на принципе динамич. компенсации: *а* — блок-схема; *б* — кривые изменения напряжения во времени.

умноженных на соответствующие весовые коэфф. Практически схемы удается строить с погрешностью преобразования, равной 0,1%—0,01%.

Макс. частота смены кодов характеризует быстродействие преобразователя. Определяется она в осн. теми деталями и принципами, на к-рых строится схема. Известны схемы, в к-рых частота смены кодов составляет сотни тысяч в сек.

В АЦП аналоговыми величинами, преобразуемыми в цифровой код, чаще всего являются электрич. напряжения и механич. перемещения. Для преобразования электрич. напряжений пост. тока в цифровой код наиболее широкое распространение получили схемы с динамич. компенсацией, с реверсивной следящей системой и с поразрядным опросом.

В преобразователе, работающем на принципе динамич. компенсации (рис. 2,*а*), входное напряжение X сравнивается с эталонным сигналом ($U_л$) пилообразной формы. На выходе сравнивающего блока, т. н. нуль-органа (*НО*), вырабатываются два управляющих импульса в моменты, когда мгновенное значение напряжения $U_л$ равно нулю (сигнал U_0) и когда оно равно входному напряжению X (сигнал U_X). Управляющие импульсы U_0 и U_X в дальнейшем используются для включения и выключения электронного ключа K.

Из диаграммы рис. 2,*б* видно, что время T_X, в течение к-рого ключ находится во включенном состоянии, будет пропорционально входному напряжению X. Через ключ от генератора эталонной частоты (*ГИ*) поступают импульсы частотой $f_г$ на электронный счетчик *ЭС*. В результате за время одного преобразования на счетчик будет послана серия импульсов, количество к-рых пропорционально времени T_X, а следовательно, и величине входного напряжения X.

В конце преобразования на выходных шинах счетчика *ЭС* появится код числа N_x. Время одного цикла преобразования в устройстве АЦП с динамич. компенсацией определяется ф-лой $T_n = m/f_г$, где m — количество импульсов, соответствующее макс. значению переменной X. Так, при $m = 1000$ (что соответствует дискретности преобразования ± 0,1%) и эталонной частоте импульсов, равной 100 *кгц*, время одного преобразования составит 10 *мсек*.

Точность преобразования для схем с динамич. компенсацией определяется в осн. линейностью и стабильностью пилообразного напряжения $U_л$ и отклонением от номин. значения частоты $f_г$ генератора импульсов. Высокая точность поддержания частоты может быть обеспечена путем применения схем с кварцевой стабилизацией. Значительно труднее бывает получить стабильное пилообразное напряжение, т. к. линейность и наклоны «пилы» для большинства генераторов пилообразного напряжения существенно зависят от темп-ры окружающей среды и времени преобразования; параметры выходной величины обычно ухудшаются с уменьшением длительности «пилы», т. е. с уменьшением времени преобразования.

Преобразователи с динамич. компенсацией широко распространены благодаря сравнит. простоте их электрич. схемы и конструкции. Однако быстродействие их схемы имеет существенные ограничения.

АЦП с реверсивной следящей системой является устройством компенсац. типа. Его схема (рис. 3,*а*) делится на следующие осн.

части: входной канал ($R_п$, $R_{см}$), узел токовой компенсации (R_1, ..., R_n, K_1, ..., K_n), сравнивающий усилитель *СУ* со схемой формирования сигналов управления, и реверсивный счетчик *РС*.

Узел токовой компенсации и *РС* образуют цепь отрицат. обратной связи, в к-рой вырабатывается компенсирующий сигнал (ток $i_к$),

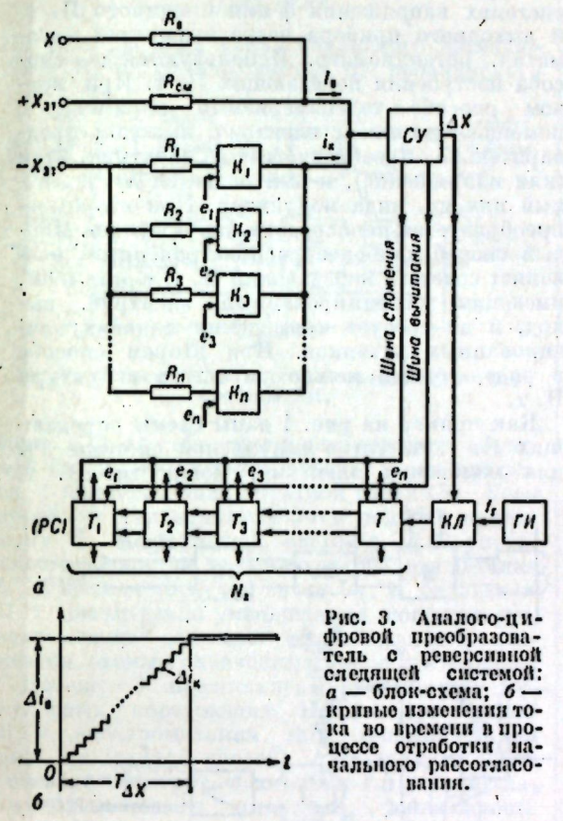


Рис. 3. Аналого-цифровой преобразователь с реверсивной следящей системой: *а* — блок-схема; *б* — кривые изменения тока во времени в процессе отработки начального рассогласования.

пропорцион. входному сигналу (току $i_п$). Узел токовой компенсации содержит ряд сопротивлений R_j ($j = 1, 2,..., n$), включенных с одной стороны к источнику эталонных напряжений $X_{эт}$, а с другой стороны соединенных через ключи с нижним входом усилителя сравнения *СУ*. Ключи могут быть открыты или закрыты в зависимости от значений сигналов управления e_j ($j = 1, 2,..., n$), поступающих из *РС*. Схема узла токовой компенсации по своей структуре и параметрам может быть такой же, как схема формирования тока в устройстве ЦАП (рис. 1). В этом случае число в *РС*, пропорциональное компенсирующему току $i_к$, должно находиться в дополнит. коде.

СУ реагирует на знак и абс. величину разности между входным и компенсирующим сигналом. Если разность превышает значение младшего разряда счетчика, то на выходе усилителя появляется сигнал управления, включающий ключ на входе *РС*. Одновременно с этим в схему *РС* подается сигнал на шину сложения или шину вычитания (в зависимости от знака рассогласования входного и компенсирующего сигналов). При появлении рассогласования ΔX между входным и компенсирующим сигналами на вход *РС* (через клапан *КЛ*) от генератора (ГИ) поступают импульсы частоты $f_г$. Код числа в *РС* при этом начинает изменяться, и в системе происходит равномерная ступенчатая отработка начального рассогласования (рис. 3, *б*). Процесс отработки закончится через время $T_{\Delta X} = \frac{\Delta X}{X_m}\cdot\frac{2^n}{f_г}$, когда величина рассогласования $|\Delta X| < 2^{-n}X_m$ (X_m — макс. значение величины X). Макс. время преобразования $T_{макс} = 2^n/f_г$. Так, при частоте следования импульсов на входе *РС* 100 *кгц* и количестве двоичных разрядов в *РС* $n = 10$, величина макс. времени преобразования будет порядка 10 *мсек*. Преобразователь с *РС* обычно применяется в тех случаях, когда входная переменная X изменяется монотонно и с ограниченной по величине скоростью.

Принцип работы преобразователя с поразрядным опросом иллюстрируется схемой рис. 4. Эта схема содержит в осн. те же элементы, что и схема АЦП с *РС*: входной канал, узел токовой компенсации, нуль-орган и триггерный регистр. Однако последовательность включения триггеров и ключей здесь иная и вырабатывается схемой управления в процессе преобразования. Перед началом преобразования все триггеры регистра находятся в состоянии 0, при к-ром ключи заперты и ток $i_к=0$.

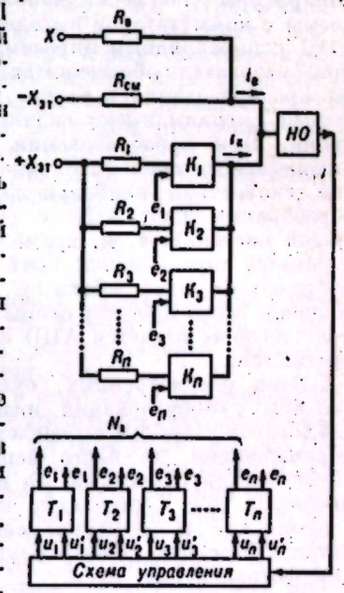


Рис. 4. Блок-схема аналого-цифрового преобразователя с поразрядным опросом.

Процесс преобразования делится на n тактов. В течение каждого k-того такта сравниваются величины эталонного сигнала k-того разряда схемы компенсации с величиной $X-X_{эт}+\sum_{j=1}^{k-1} X_{эт}\alpha_j 2^{-(j-1)}$. Цикл преобразования начинается со сравнения входной величины с сигналом старшего разряда $X_{эт}\cdot 2^0$ схемы компенсации. При этом на первый триггер T_1 из схемы управления поступает импульс u_1, к-рый устанавливает его в состояние 1. В схеме токовой компенсации включается ключ первого разряда K_1. Если в результате сравнения входной величины $X-X_{эт}$ с сигналом первого разряда схемы компенсации выходное напряжение нуль-органа не изменит знака на противоположный, то T_1 в дальнейшем остается включенным. В противном случае в конце первого такта сравнения на T_1 будет подан импульс u_1', к-рый вернет его в состояние 0. Затем повторяется аналогичный такт сравнения величины $X-X_{эт}+\alpha_1 X_{эт}$ со вторым эталонным уровнем $X_{эт}\cdot 2^{-1}$. В результате выполнения n тактов поразрядного сравнения триггерные разряды регистра будут установлены в состояние, соответствующее дополнит. коду числа, причем старший разряд будет знаковым.

Схема преобразователя с поразрядным опросом характеризуется постоянством величины времени преобразования, к-рое равно $T_X = n/f_{тш}$, где n — количество разрядов в регистре, $f_{тш}$ — частота тактовых импульсов. Точность преобразования, как и в предыдущих случаях, определяется количеством разрядов n в схеме токовой компенсации. Время преобразования и величина статич. погрешности существенно зависят от хар-к нуль-органа, к-рый должен обладать стабильным нулевым уровнем и иметь малую инерционность.

Различные схемы АЦП имеют ряд особенностей, к-рые следует учитывать при выборе П. п. в. в каждом конкретном случае. Так, при связи цифровой и аналоговой вычислит. аппаратуры по неск. каналам с помощью схемы с коммутатором выгоднее использовать АЦП с поразрядным опросом, т. к. этот тип преобразователя обеспечивает наименьшее время преобразования в случае, когда преобразуемые сигналы имеют скачкообразные изменения. При преобразовании сигнала, изменяющегося во времени плавно и с ограниченной скоростью, наибольшую скорость преобразования дают АЦП с реверсивной следящей системой, т. к. время преобразования в данном случае может быть равно длительности одного такта работы $РС$. Если решающее значение имеет простота схемы и конструкция, предпочтение отдается АЦП с динамич. компенсацией.

Кроме рассмотренных, существуют и др. способы преобразования информации. Если аналоговая величина выражается пространств. перемещением, то часто используются преобразователи с масками, на к-рых наносится цифровой код. Считывание кода и преобразование его в электрич. сигналы производится с помощью соответствующих контактов или фотоэлектрич. схем.

Лит.: Клейн М., Морган Р., Аронсон М., Цифровая техника для вычислений и управления, пер. с англ., М., 1960. *Г. М. Петров.*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (piezoelectric converter; convertisseur piézoélectrique; piezoelektrischer Wandler) — см. *Пьезоэлектрический преобразователь.*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ (remote measurement converter; convertisseur de télémesure; Fernmeßwandler) — устройство, входящее в систему ТИ, преобразующее выходной сигнал датчика в сигнал, передаваемый по каналу связи (передающий преобразователь) или принимаемый сигнал — в воздействие, управляющее выходным прибором (приемный преобразователь). В системах ТИ с непрерывными сигналами П. т. является функциональным преобразователем (в системах интенсивности), модулятором или демодулятором (в системах с модулированными сигналами). В системах ТИ с дискретными сигналами П. т. выполняет функции кодирующего или декодирующего устройства.

П. т. подразделяются на преобразователи без обратной связи (побалансные) и преобразователи с обратной связью (балансные). В последних осуществляется отрицат. обратная связь по параметру выхода для повышения стабильности коэфф. преобразования. П. т. с обратной связью могут быть статическими и астатическими.

В *телеизмерительных системах интенсивности* наиболее широко применяются простейшие передающие П. т. без обратной связи, аналогичные датчикам с электрич. выходом, а также токоуравновешенные передающие (функциональные с обратной связью по току выхода) П. т. (см. *Телеизмерительная система токоуравновешенная*); в телеизмерительных системах напряжения ф-ции приемного П. т. и выходного прибора часто выполняет автоматич. потенциометр. Используются два способа построения передающих П. т. При первом способе телеизмеряемый параметр с помощью датчика с электрич. выходом предварительно преобразуется в электрич. ток (или напряжение), к-рый подается на частотный или др. вида модулятор. При втором — преобразуется непосредственно в сигнал. Первый способ наиболее распространенный, позволяет сочетать передающий П. т. с датчиком, имеющим унифицированный электрич. выход, и не требует применения индивидуализированных датчиков. При втором способе в ряде случаев можно упростить структуру П. т.

Как пример на рис. 1 даны схемы передающих П. т. частотно-импульсной системы ТИ для измерения электрич. мощности. П. т.

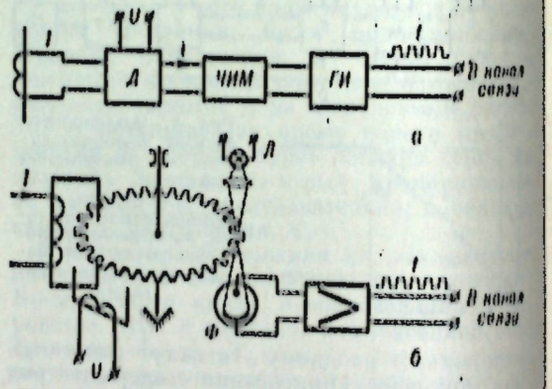


Рис. 1. Передающие преобразователи частотной импульсной системы ТИ для измерения электрич. мощности.

на рис. 1,*а* построен по первому способу: электрич. мощность с помощью датчика $Д$ превращается в пропорциональный пост. ток; последний через модулятор $ЧИМ$ управляет частотой импульсов, вырабатываемых генератором $ГИ$. П. т. (рис. 1,*б*), в к-ром реализован второй способ, представляет собой механизм счетчика электроэнергии, диск к-рого снабжен зубцами. Вращаясь, диск модулирует (прерывает) световой поток, падающий на фотоэлемент $Ф$ от источника света $Л$. Усиленные импульсы фототока передаются в канал связи. Скорость вращения диска пропорциональна измеряемой мощности, и поэтому частота импульсов также пропорциональна мощности.

В П. т. на рис. 2, *а* (схема выполнена по 2-му способу) первичный измерит. прибор $ПИ$ снабжен емкостным датчиком $Сдат$. С помощью последнего, в зависимости от отклонения $ПИ$, изменяется частота f настройки генератора синусоидальных колебаний $Г$. В П. т. на рис. 2, *б* (схема выполнена по 1-му способу) измеряемый параметр x с помощью датчика $Д$ преобразуется в пост. ток I_x. Последний питает обмотку управления W_y дросселя насыщения $ДН$. Обмотка перем. тока $W_\sim$ дросселя насыщения включена в колебат. контур генератора $Г$. С увеличением тока индуктивность обмотки L_x уменьшается и генератор настраивается на более высокую частоту. Зависимость частоты от измеряемого параметра может быть практически линейной:

$$f = f_0 + kx.$$

На рис. 2,*в* дана схема балансного передающего П. т., отличающегося от небалансного

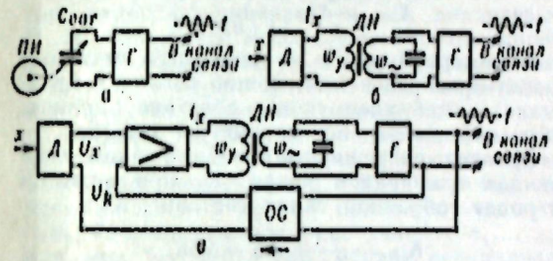


Рис. 2. Передающие преобразователи частотной системы ТИ.

(рис. 2,*б*) гл. обр. наличием отрицат. обратной связи по частоте выхода, к-рая вводится с помощью узла обратной связи $ОС$. Узел обратной связи выполняется подобно приемному П. т. частотной системы. $ДН$ управляется разностью напряжений выхода датчика U_x и выхода обратной связи U_k. В балансном П. т. значительно уменьшаются погрешности, возникающие за счет нестабильности элементов схемы, охваченных обратной связью.

На рис. 3 представлены схемы время-импульсных передающих П. т. Простейший П. т. электромеханич. типа, показанный на рис. 3,*а* (второй способ), представляет собой сочетание измерит. механизма *1* и устройства, вырабатывающего импульсы, длительность к-рых пропорциональна углу отклонения подвижной части измерит. механизма. Это устройство выполнено в виде диска с фигурным выступом *3*, вращающегося с пост. скоростью, и контактной системы *4*. Форма фигурного выступа выбрана такой, что угол касания

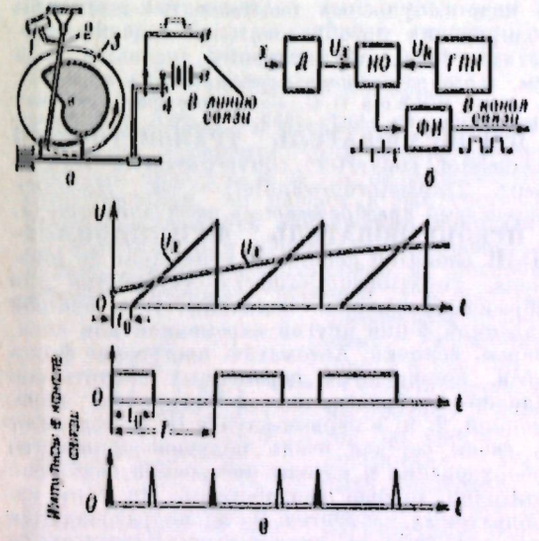


Рис. 3. Передающие преобразователи время-импульсной системы ТИ.

с ним рычажка *2*, а следовательно, и продолжительность замыкания контактов связаны линейной зависимостью с измеряемой величиной. Контакты замыкают выходную цепь, посылая импульсы соответствующей длительности в канал связи.

В П. т. на рис. 3,*б* (первый способ) использован принцип т. н. развертывающего преобразования. Контролируемый параметр x преобразуется датчиком $Д$ в пропорциональное напряжение U_x. Выход генератора напряжения пилообразной формы $ГПН$ включен навстречу выходу датчика. Разность напряжений U_x и U_k контролируется нуль-органом $НО$. Моменты перехода разности этих напряжений через нуль отмечаются посылкой коротких импульсов; последние с помощью формирования импульсов $ФН$ (триггерной схемы) преобразуются в продолжит. импульсы, длительность к-рых соответствует промежутку времени между короткими импульсами. Эти импульсы и посылаются в канал связи. Как нетрудно проследить на диаграмме рис. 3,*в*, длительность импульсов $t_и$ находится в линейной зависимости от напряжения выхода датчика U_x:

$$t_и = t_0 + kU_x.$$

П. т. на рис. 3,*б* может использоваться и для фазоимпульсного ТИ. В этом случае в канал связи передаются первоначальные кратковрем. импульсы (рис. 3,*в*).

Приемные П. т. в системах с модулированными сигналами рассчитываются либо на аналоговый, либо на цифровой выход. В первом случае, как правило, приемный П. т. преобразует сигнал в пост. ток или напряжение, измеряемые выходными электроизмерит. приборами. В частотных импульсных и частотных системах ТИ приемным П. т. служит частотомерное устройство того или иного типа. На рис. 4 представлены два

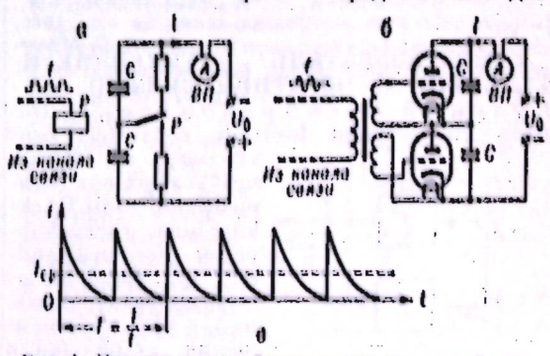


Рис. 4. Приемные преобразователи частотной импульсной и частотной систем ТИ (конденсаторные частотомеры).

варианта схемы конденсаторного частотомера, широко распространенные в системах ТИ. Схемы рис. 4,*а* и 4,*б* построены по одинаковому принципу и отличаются лишь аппаратурой для приема сигналов и коммутации конденсаторов; в схеме рис. 4,*а* для этой цели применено реле $Р$, а в схеме рис. 4,*б* — электронные лампы. При периодическом (с частотой сигнала f) поступлении импульсов или полуволн синусоидальных колебаний поочередно один из конденсаторов схемы заряжается, а второй разряжается. Среднее значение

зарядного тока, имеющего импульсный характер (см. рис. 4,*в*)

$$I_{ср} \approx 2CU_0 f.$$

Этот ток и измеряется выходным прибором *ВП*. В частотных системах в качестве П. т. применяются также балансные частотомерные устройства с обратной связью по току выхода. Такие устройства содержат частоточувствительную схему, настройка которой меняется в зависимости от тока выхода (см. *Преобразователь телеизмерительный с обратной связью*). Во время-импульсных системах приемный П. т. обычно строится как измеритель коэфф. импульса $k_и = t/T$. Такой П. т., как правило, реализуется в виде ключевой схемы, пропускающей ток стабилизированной величины в цепь выходного электроизмерит. прибора (рис. 5). Реле *P*, воспринимающее поступающие из канала связи широтномодулированные импульсы, своими контактами коммутирует цепь *ВП*. При этом среднее значение тока в цепи прибора

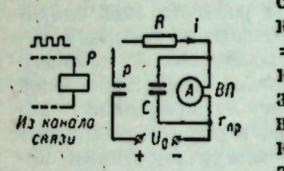


Рис. 5. Приемный преобразователь широтной импульсной системы ТИ, построенный по принципу измерения среднего тока.

$$I_{ср} = I_0 t_и / T; \quad I_0 = U_0/(R + r_{пр}).$$

В медленнодействующих время-импульсных системах (период T=5, 15 или более сек.) ф-ции приемного П. т. и ВП исполняет электромеханич. измеритель отношения длительности импульса к интервалу между импульсами. Применяются выходные П. т.: напряжение — код, время — код или частота — код с цифровыми индикаторами и печатающими устройствами (см. *Преобразователь представления величин* и *Телеизмерительная система кодо-импульсная*).

Лит.: Фремке А. В., Телеизмерения, М.—Л., 1958; Малов В. С., Телемеханика, М.—Л., 1960.

В. С. Малов.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ (балансный преобразователь) (remote measurement feedback converter; convertisseur de télémesure à réaction; Fernmeßwandler mit Rückkopplung, rückgekoppelter Fernmeßwandler) — *преобразователь телеизмерительный*, к-рый для повышения стабильности преобразования охвачен отрицат. обратной связью (рис.). Преобразователь *1* реализует функциональную зависимость:

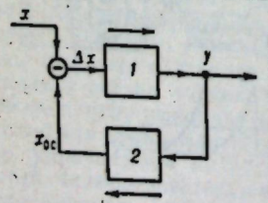


Схема телеизмерит. преобразователя с обратной связью: *1* — основной преобразователь; *2* — преобразователь обратной связи; x, y — входной и выходной параметры.

$$y = \varphi(x - x_{ос}),$$

а преобразователь *2* — зависимость:

$$x_{ос} = \psi(y).$$

В частном случае линейных ф-ций преобразования:

$$y = y_0 + K(x - x_0),$$
$$x_{ос} = \beta(y - y_0),$$

где K и β — коэфф. прямого и обратного преобразования. Результирующая ф-ция преобразования, связывающая выходной и входной параметры, имеет вид:

$$y = y_0 + \frac{K}{1 + K\beta} x$$

или

$$y = y_0 + \frac{K}{S} x;$$

статизм преобразования

$$S = \frac{x - x_{ос}}{x} = \frac{1}{1 + K\beta} < 1.$$

На примере П. т. с о. с., имеющего линейную ф-цию преобразования, можно наглядно представить стабилизирующее действие отрицат. обратной связи по параметру выхода.

Относит. погрешность преобразования, вызванная изменением коэфф. K, при наличии отрицат. обратной связи составит:

$$\delta_{(K)} = \frac{1}{1 + K\beta} \delta K = S\delta K.$$

Т. о., погрешность преобразования в $1/S$ раз меньше, чем без обратной связи. S обычно не превышает 0,05; при этом повышение стабильности преобразования значительно (напр., при $S = 0{,}02$ погрешность преобразования уменьшается в 50 раз). Введение отрицат. обратной связи существенно сказывается также на динамич. хар-ках преобразователя.

П. т. с о. с. получили распространение в телеизмерит. системах интенсивности с током в качестве сигнала (см. *Телеизмерительная система токоуравновешенная*). В системах ТИ с модулированными сигналами П. т. с о. с. применяются преимущественно в передающих устройствах, причем обратная связь вводится соответственно по временны́м параметрам сигнальных импульсов (продолжительности или фазе) или по частоте сигнала. В кодо-импульсных системах нек-рые типы кодирующих преобразователей содержат обратную связь по числовому значению кода (см. *Преобразователь представления величин*).

Лит.: Малов В. С., Балансные преобразования в телеизмерении, «АиТ», 1952, т. 13, № 5.

В. С. Малов.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТРАНЗИСТОРНЫЙ (transistor converter; convertisseur à transisteur; Transistorumwandler) — см. *Полупроводниковый преобразователь постоянного тока*.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ (function generator; générateur de fonctions; Funktionsumformer) — устройство для образования перем. величины, т. е. нек-рой заданной ф-ции другой переменной или неск. перем. величин. Автоматич. построение ф-ции неск. независимых переменных значительно сложнее образования ф-ции одной переменной, т. к. в первом случае П. ф. содержит в своем составе очень большое количество оборудования и методы построения еще недостаточно хорошо разработаны. По типу используемых элементов П. ф. подразделяются на цифровые и аналоговые. Применяются методы образования ф-ций: интерполяция между опорными точками, заданными в виде таблицы; решение «образующих» ур-ний; аппроксимация. П. ф., работающие по 1-му методу, представляют собой вычислит. устройства, реализующие алгоритм, соответствующий одной из интерполяц. ф-л. П. ф.

этого типа должен содержать запоминающее устройство для хранения опорных точек; поэтому метод используется гл. обр. при построении цифровых П. ф. При 2-м методе выбирается класс ур-ний, решениями к-рых являются искомые ф-ции. Эти ур-ния решаются с помощью П. ф. точно или приближенно. Класс ф-ций, образуемых таким методом, вообще говоря, ограничен. 3-й метод состоит в образовании нек-рой ф-ции (чаще всего степенного или тригонометрич. полинома), аппроксимирующей данную ф-цию. Этот метод наиболее универсален. В аналоговых П. ф. чаще всего используют кусочно-линейную или квадратичную аппроксимацию. Методы образования ф-ций неск. переменных сводятся к разбиению пространства этих переменных на области и построению в каждой из этих областей нек-рых аппроксимирующих гиперповерхностей. При переходе от одной области к другой применяют «логические» операции выбора вида: *макс* $\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ или *мин* $\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$. Всякое специализированное вычислит. устройство, работающее по жесткой программе, представляет собой сложный П. ф.

А. В. Шилейко.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДИОДНЫЙ (diode function generator; générateur de fonctions à diodes; Dioden-Funktionsumformer) — устройство для образования функциональной зависимости от одной переменной вида $y = f(x)$, содержащее диоды в качестве осн. коммутирующих элементов. Используется в АВМ. Схема П. ф. д. позволяет воспроизвести функцион. зависимости методом кусочно-линейной аппроксимации. Этот процесс может быть сведен к воспроизведению ломаной, состоящей из комбинации трех типов элементарных прямых отрезков вида

$$y = y_0, \quad y = ax \quad \text{и} \quad y = b(x - x_{нач}),$$

а также к изменению углов наклона отдельных линейных отрезков,
где

$$b = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leqslant x_{нач} \\ \text{const} & \text{при } x > x_{нач}, \end{cases}$$

$x_{нач}$ — значение x в начале каждого отрезка разбиения аргумента. Для воспроизведения отрезков вида $y = y_6$ и $y = ax$ используются сопротивления, ко входам к-рых соответственно подключаются напряжения, постоянные по величине или изменяющиеся пропорционально изменению переменной x. Воспроизведение линейных отрезков $y = b(x - x_{нач})$ обеспечивается диодными элементами (рис. 1 и рис. 3).

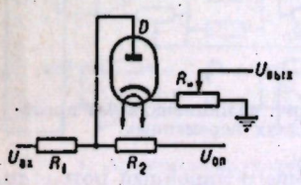


Рис. 1. Схема диодного элемента с нагрузочным сопротивлением.

Существующие схемы диодных элементов по способу их построения могут быть разделены на диодные элементы с нагрузочным сопротивлением, диодные элементы с потенциально заземляемым диодом и диодные элементы с диодами-ограничителями. В схеме диодного элемента с нагрузочным сопротивлением $R_н$ (рис. 1) значение входного напряжения $U_{вх}$, при к-ром диод D начинает проводить, определяется отношением сопротивлений R_1 и R_2, входящих в состав делителя, из выражения $R_2/R_1 = U_{оп}/U_{вх}$, где $U_{оп}$ — опорное напряжение. Угол наклона линейного отрезка определяется соотношением элементов схемы и коэфф. передачи операц. усилителя. В упрощ. схеме совмещения нагрузочного сопротивления диодного элемента со входным сопротивлением операц. усилителя угол наклона может быть определен из выражения

$$b = \frac{R_{обр}}{R_н} \frac{R_2 \parallel R_н}{R_1 + R_2 \parallel R_н}.$$

Изменение знака угла наклона обеспечивается сменой знаков входного и опорного напряжений и направлением включения диода, как это показано на рис. 2. На этом рис. знак

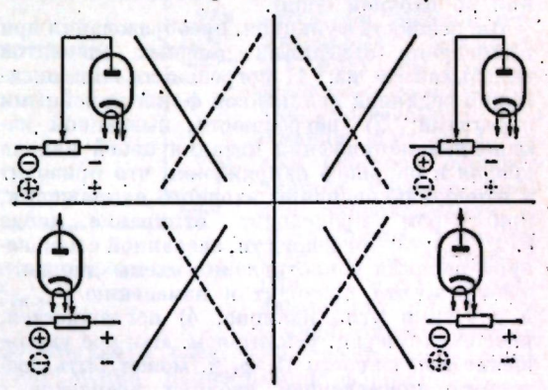


Рис. 2. Схемы включения диодов и смены знаков входного и опорного напряжений для изменения угла наклона. Пунктиром указаны линейные отрезки и знаки напряжений для случая, когда увеличение входного напряжения приводит к запиранию диода.

входного напряжения, указанный в кружке, означает соответствие или несоответствие знака входного напряжения знаку переменной-аргумента (для двух вариантов наклона).

Схема диодного элемента с потенциально-заземляемым диодом предусматривает совместное использование этой схемы с операц. усилителем (рис. 3). Диод D открывается при входном напряжении $U_{вх} = U_{оп} \times R_1/R_2$; при этом потенциал точки a (если пренебречь сопротивлением диода в проводящем состоянии) оказывается близким к потенциалу сетки операц. усилителя. Изменение выходного напряжения усилителя происходит в соответствии с отношением $R_{обр}/R_1$. Диодные элементы с потенциально-заземляемыми диодами характеризуются взаимосвязанностью величины входного напряжения, при к-ром открывается диод, и величины угла наклона линейного отрезка. Их применение ограничивается специализир. функциональными преобразователями, не предусматривающими легкую смену нелинейных зависимостей в процессе эксплуатации. Расчет диодных элементов с потенциально-заземляемыми диодами проще, чем расчет элементов с нагрузочными сопротивлениями.

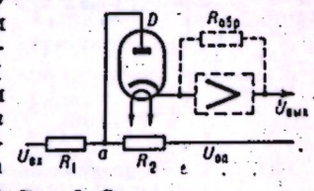


Рис. 3. Схема диодного элемента с потенциально заземленным диодом.

По способу работы вышеописанные диодные элементы делятся на элементы, в к-рых диоды работают на отпирание, и на элементы, использующие диоды, работающие на запирание. В первых увеличение входного напряжения по абс. величине приводит к отпиранию, а во вторых — к запиранию диода. Диодные элементы с диодами, работающими на запирание, имеют знаки входных и опорных напряжений, указанные пунктиром на рис. 2. Применение диодных элементов, работающих на запирание, целесообразно в тех случаях, когда при увеличении аргумента по абс. величине абс. значение производной воспроизводимой функцион. зависимости уменьшается (для увеличения точности воспроизведения и уменьшения мощности потребления во входной цепи).

Погрешность функцион. преобразования при применении описанных диодных элементов складывается из: 1) погрешности аппроксимации заданной нелинейной ф-ции линейными отрезками; 2) погрешности, вызванной изменением напряжения питания цепей накала диодов и опорного напряжения, что приводит к изменению величины входного напряжения, при к-ром происходит отпирание диода ($U_{вх.\ нач}$); 3) погрешности, связанной с изменением величин сопротивлений схемы диодного элемента, что приводит к изменению $U_{вх.нач}$ и значения угла наклона; 4) погрешностей, вносимых операц. усилителем. Нек-рое уменьшение погрешности П. ф. д. может быть достигнуто применением диодных элементов с диодами-ограничителями. В этом случае исключается накапливание погрешностей при увеличении числа параллельно работающих диодных элементов. Возможные варианты построения диодных элементов этого типа

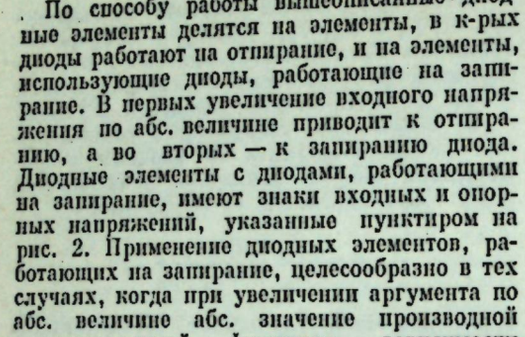


Рис. 4. Схема диодных элементов, выполненных по типу ограничителей.

(рис. 4) отличаются способами включения диода. В первом варианте при достижении напряжения ограничения диод отключается от схемы, и изменение его хар-к не влияет на выходную величину.

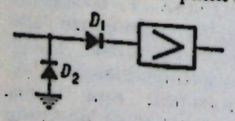


Рис. 5. Схема включения шунтирующего диода D_2 при применении ПП диода.

Появление ПП диодов позволило перейти к построению безламповых П. ф. д.; однако наличие сравнительно больших величин обратных токов ПП диодов потребовало применения спец. схем, исключающих по возможности влияние этих токов. В схеме элемента с потенциально-заземляемым диодом (рис. 5) этой цели служит шунтирующий диод D_2.

Частотные хар-ки диодных элементов определяются величинами паразитных емкостей, шунтирующих делитель напряжения R_1, R_2 и диоды.

Улучшение динамич. качеств схемы может быть достигнуто применением потенциально-заземл. диодов, уменьшением величин сопротивлений делителя R_1, R_2 или дополнит. шунтированием сопротивлений делителя конденсаторами C_1 и C_2, так чтобы $R_1C_1 = R_2C_2$.

Лит.: Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, 2 изд., М., 1963; Петров Г. М., Применение полупроводниковых диодов в схемах нелинейных блоков электромоделирующих установок, «АиТ», т. 17, 1956, № 5.

И. М. Витенберг.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ НЕСКОЛЬКИХ ПЕРЕМЕННЫХ (multivariable function generator; générateur de fonctions à variables multiples; Funktionsumformer für mehrere Veränderliche) — устройство, выходная величина к-рого y является однозначной ф-цией двух или большего числа входных величин $x_1, x_2, \ldots, x_n$.

П. ф. н. п. входит в состав АВМ. Наибольшее распространение получили функцион. преобразователи (ФП) двух переменных. В них используются следующие способы воспроизведения ф-ций: разложением в ряд и воспроизведением его с помощью ФП одной переменной, множительных и суммирующих устройств [1]; аппроксимацией ф-ции линейчатыми поверхностями [2, 3, 4, 5]; механич. коноидами [6]; электронными «коноидами», основанными на применении полупрозрачных ширм [7]. Применяются механич., электромеханич. и электронные П. ф. н. п. На рис. 1 дан механич. П. ф. н. п., состоящий из коноида *1* и штока *2*, перемещающегося вдоль коноида. При заданной форме коноида расстояние y конца штока от оси вращения *3* коноида зависит от угла отклонения x_1 коноида и от величины смещения x_2 штока. На рис. 2 дан вариант схемы электромеханич.

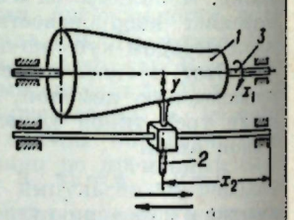


Рис. 1. Механич. функциональный преобразователь двух переменных.

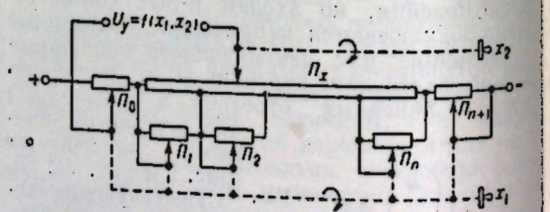


Рис. 2. Электромеханич. функциональный преобразователь двух переменных.

П. ф. н. п., включающего линейный потенциометр Π_x и линейные потенциометры, шунтирующие участки потенциометра Π_x. Движки потенциометров $\Pi_0, \ldots, \Pi_{n+1}$ перемещаются пропорционально переменной x_1, а движок потенциометра Π_x — пропорционально переменной x_2. Напряжение между движками потенциометров Π_x и Π_0 равно $U_y = f(x_1, x_2)$. Вид воспроизводимой ф-ции f определяется величинами сопротивлений потенциометров Π_x и $\Pi_0, \ldots, \Pi_{n+1}$. На рис. 3 дан вариант

схемы П. ф. н. п., позволяющей воспроизводить ф-цию двух переменных x_1, x_2 путем ее аппроксимации ста участками линейчатой поверхности. Вид воспроизводимой ф-ции может изменяться дистанционно под воздействием управляющих напряжений $y_1, \ldots, y_{121}$.

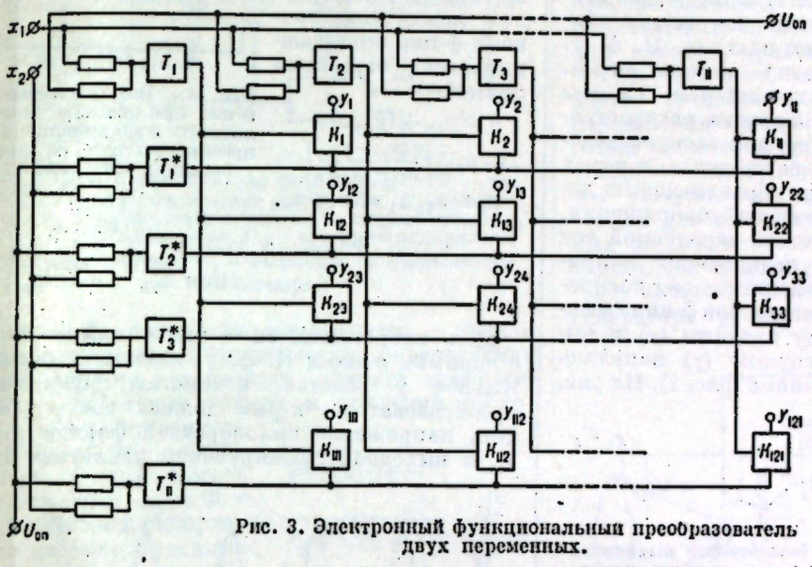


Рис. 3. Электронный функциональный преобразователь двух переменных.

Преобразователь включает два ряда триггерных ячеек $T_1 - T_{11}$ и $T_1^* - T_{11}^*$. На вход триггерных ячеек 1-го ряда подается напряжение x_1 и опорное напряжение $U_{оп}$, на вход триггерных ячеек 2-го ряда — x_2 и $U_{оп}$. Через каждый из электронных ключей $K_1 - K_{121}$ может протекать ток лишь при одноврем. воздействии на ключ напряжения триггера ряда $T_1 - T_{11}$ и напряжения триггера ряда $T_1^* - T_{11}^*$. В каждом ряду триггеров одновременно возбуждены лишь два соседних триггера. Поэтому в каждый данный момент открыты 4 ключа, выходные напряжения к-рых идут в схему аппроксимирующего блока (рис. 4). Ключи $K_1 - K_{121}$ разбиты на 4 группы. На вход усилителя $У_1$ подаются напряжения ключей, открываемых при одновременном воздействии нечетных триггеров ряда $T_1 - T_{11}$ и нечетных триггеров ряда $T_1^* - T_{11}^*$ ($y_{нн}$). На вход $У_2$ — напряжения через ключи, связанные с четными триггерами ряда $T_1 - T_{11}$ и нечетными триггерами ряда $T_1^* - T_{11}^*$ ($y_{чн}$), на вход $У_3$ — через ключи, связанные с нечетными триггерами ряда $T_1 - T_{11}$ — и четными ряда $T_1^* - T_{11}^*$ ($y_{нч}$) и, наконец, на вход $У_4$ — через ключи, связанные с четными триггерами обоих рядов $T_1 - T_{11}$ и $T_1^* - T_{11}^*$ ($y_{чч}$). Кусочно-линейная аппроксимация двух ф-ций переменной x_1 ($y_ч^*$ и $y_н^*$) производится при помощи множительных устройств $МУ_1$ и $МУ_2$ (см. *Преобразователь функциональный управляемый*). При помощи $МУ_3$ аналогичным способом осуществляется кусочно-линейная аппроксимация по переменной x_2. Сомножители блоков произведения Δx_1 и Δx_2, необходимые для кусочно-линейной аппроксимации, формируются спец. ФП, воспроизводящими напряжения пилообразной формы.

Выходное напряжение электронного П.ф.н.п. снимается с усилителя $У_{11}$ и равно:

$$y = y_ч^* + (y_н^* - y_ч^*)\,\Delta x.$$

Для воспроизведения рассмотренным способом ф-ций трех переменных (x_1, x_2, x_3) в схему преобразователя следует включить третий ряд триггеров, поочередно срабатывающих под воздействием напряжения x_3. Каждый из электронных ключей такого преобразователя открывается при одновременном воздействии напряжения триггера ряда $T_1 - T_{11}$, напряжения триггера ряда $T_1^* - T_{11}^*$ и напряжения триггера 3-го ряда.

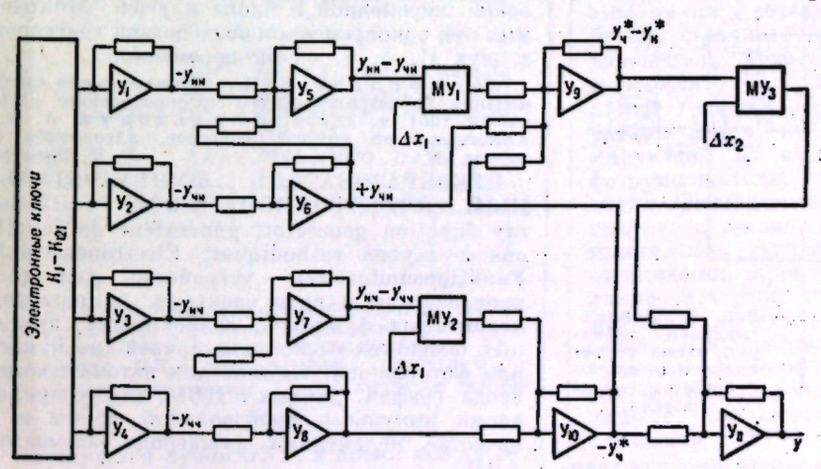


Рис. 4. Аппроксимирующий блок электронного функционального преобразователя.

Лит.: 1) Pike E. W., Silverberg T. R., Designing mechanical computers, «Machine Design», 1952, v. 24, № 7—8; 2) Манухин А. И., Фельдбаум А. А. и Фицнер Л. Н., Нелинейные преобразователи с двумя входами, «ПТЭ», 1957, № 4; 3) Майоров Ф. В., Электрическое изображение функций, «Э-во», 1950, № 11; 4) Гинзбург С. А., Логический метод синтеза функциональных преобразователей, в кн.: Тр. 1-го Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 4], М., 1961; 5) Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения, III, «АиТ», 1961, т. 22, № 8; 6) Кобринский Н. Е., Математические машины непрерывного действия, М., 1954; 7) Корн Г. и Корн Т., Электронные моделирующие устройства, пер. с англ., М., 1955.

Л. Н. Фицнер.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ — см. *Пневматический функциональный преобразователь.*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ (controlled function generator; générateur de fonctions commandé; gesteuerter Funktionsumformer) — устройство, воспроизводящее функцион. зависимости между входными и выходными величинами и допускающее дистанц. изменение вида воспроизводимых зависимостей под воздействием внешних управляющих величин. П. ф. у. применяется при автоматич. синтезе оптим. систем автоматич. управления (см. *Синтез оптимальных систем*). Получили распространение электронные П. ф. у. для воспроизведения ф-ций одной и двух переменных, в к-рых входными, выходными и управляющими величинами являются электрич. напряжения. В электронном П. ф. у. одной переменной под воздействием внешних управляющих напряжений $y_1, \ldots, y_n$ может изменяться вид воспроизводимой ф-ции f между входным (x) и выходным (y) напряжениями (рис. 1). На рис.

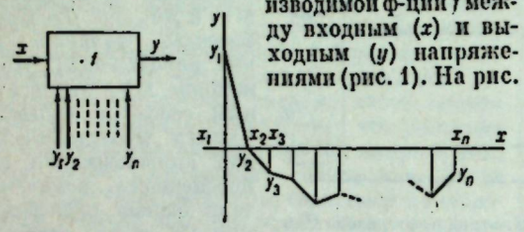


Рис. 1. Воспроизведение зависимости выходного напряжения y от входного x при помощи управляемого функционального преобразователя; $y_1, \ldots, y_n$ — управляющие напряжения; $x_1, \ldots, x_n$ — значения x, при к-рых зависимость воспроизводится точно.

2 дан вариант схемы П. ф. у., позволяющий при $x=x_i$, $i=1, \ldots, 11$ воспроизводить ф-цию точно, а в интервалах между указанными значениями x аппроксимировать ее отрезками прямой. Входное напряжение преобразователя x через делители напряжения на сопротивлениях R подается на вход триггерных ячеек

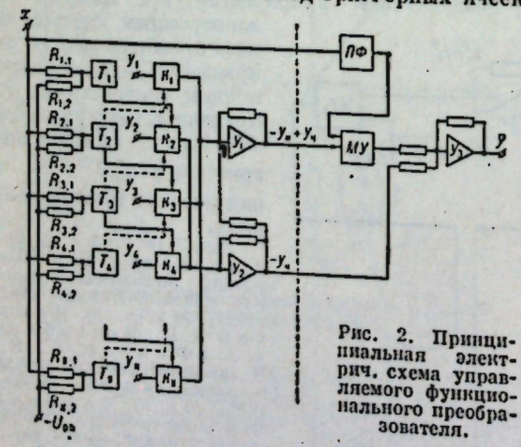


Рис. 2. Принципиальная электрич. схема управляемого функционального преобразователя.

T_1—T_{11}. Делители напряжения рассчитываются так, чтобы каждый из триггеров перебрасывался при определ. значениях x (триггер T_1 при $x \geqslant x_1$, триггер T_2 при $x \geqslant x_2$ и т. д.). Триггеры воздействуют на *ключи электронные*. При срабатывании триггера один из ключей K_1—K_{11} открывается (соединенный с триггером сплошной линией) и один из ключей (K_1—K_{11}) запирается (соединенный с триггером пунктиром). На вход усилителя $У_1$ через один из ключей K_1—K_{11} подается одно из напряжений y_1—y_{11} с нечетным порядковым номером ($y_н$), а на вход $У_2$ — с четным порядковым номером ($y_ч$). На рис. 3 показаны значения выходного напряжения преобразователя (y_{2n-1}, y_{2n}, y_{2n+1}) для трех значений x (x_{2n-1}, x_{2n}, x_{2n+1}). В интервалах между указ. точками ф-ция аппроксимируется отрезками прямой

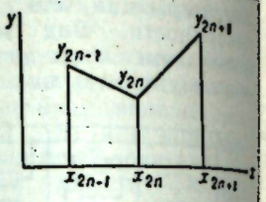


Рис. 3. Воспроизведение ф-ции при помощи управляемого функционального преобразователя на двух соседних интервалах.

$$y = y_{2n} + (y_{2n-1} - y_{2n}) \left| \frac{x_{2n} - x}{x_{2n} - x_{2n-1}} \right|$$

при $x_{2n-1} < x < x_{2n}$

и

$$y = y_{2n} + (y_{2n+1} - y_{2n}) \left| \frac{x_{2n} - x}{x_{2n} - x_{2n-1}} \right|$$

при $x_{2n} < x < x_{2n+1}$.

Для аппроксимации ф-ции в соответствии с данными ф-лами П. ф. у. включает множительное устройство, вспомогат. функцион. преобразователь, к-рый должен воспроизводить напряжение пилообразной формы (рис. 4), и выходной суммирующий усилитель $У_3$.

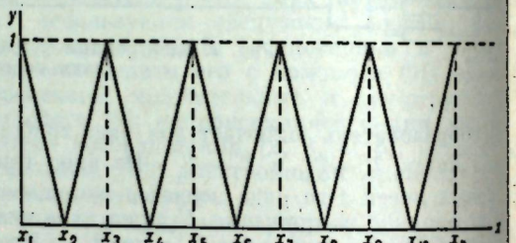


Рис. 4. Напряжение пилообразной формы, воспроизводимое вспомогат. функциональным преобразователем.

П. ф. у. двух переменных может быть построен при помощи двух рассмотренных П. ф. у. одной переменной и блока ключей, отпирае-мых при одновременном воздействии триггеров с двух П. ф. у. одной переменной.

Лит.: Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения, «АиТ», 1961, т. 22, № 8; Фельдбаум А. А., Автоматический синтез процессов, алгоритмов и систем, «ИАН. ОТН», 1960, № 4. *Л. Н. Фицнер*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ (cathode-ray function generator; générateur de fonctions à rayons cathodiques; Electronenstrahl-Funktionsumformer) — устройство для воспроизведения в виде электрич. напряжения нелинейных функцион. зависимостей, заданных шаблоном-маской или кривой (на бумаге или фотопленке). Служит для автоматизации ввода графич. данных в ЦВМ, для генерирования импульсов произвольной формы и в качестве нелинейных решающих элементов АВМ.

В большинстве П. ф. э. реализован фотоэлектрич. метод считывания, основанный на осмотре изображения считывающим световым пятном ЭЛТ и регистрации с помощью чувствит. элементов изменений отраженного или проходящего светового потока [1].

Снятие данных о ф-ции производится методами следящего или развертывающего преобразования. Первый метод применен в фотоформере (рис. 1), в к-ром луч ЭЛТ «обегает» профиль маски, выполненный в соответствии

с заданной функциональной зависимостью [2]. Устройство имеет точность 1—3% и полосу пропускания порядка десятков *кгц*.

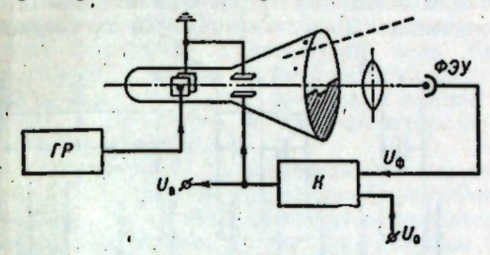


Рис. 1. Функцион. схема фотоформера: *ГР* — генератор горизонтальной развертки; *К* — усилитель в цепи обратной связи; U_0 — напряжение первонач. смещения луча; $U_ф$ — выходное напряжение фотоумножителя; $U_в$ — выходное напряжение фотоформера.

Основной недостаток фотоформера — низкая эксплуатационная надежность, определяемая изменениями во времени яркости флюоресцирующей точки экрана и усиления по току фотоэлектронного умножителя *ФЭУ*. При данном методе считывание кривой с бумаги возможно, если диаметр проекции светового пятна меньше толщины линии; при этом с ростом крутизны кривой толщина линии должна быть увеличена. Сочетание следящей системы фотоформера с кодовой маской Грея позволяет получить выходное напряжение в цифровой форме [3].

В устройствах развертывающего преобразования (УРП) (рис. 2) маска с прорезями

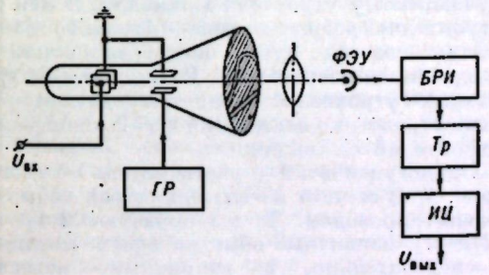


Рис. 2. Функцион. схема преобразователя разомкнутого типа: *ГР* — генератор сканирующей развертки; *БРИ* — блок разделения импульсов; *Тр* — триггер; *ИЦ* — интегрирующая цепочка; $U_{вх}$ — входное напряжение; $U_{вых}$ — выходное напряжение.

сканируется лучом ЭЛТ, и время между соответственно возникающими импульсами используется для определения ординаты ф-ции. При сканировании графика на бумаге отсчет времени производится относительно начала развертки. Выходное напряжение можно получать в цифровой форме (с помощью масштабных импульсов) или в аналоговой при переходе от фазовой модуляции к широтной или амплитудной с последующим детектированием [4]. Точность УРП, как системы регулирования разомкнутого типа, существенно зависит от изменения параметров отдельных элементов; полоса пропускания порядка десятков *гц*. Преимущество УРП перед фотоформером — в устранении дрейфа выходного напряжения, т. к. *ФЭУ* используются лишь как индикатор относит. изменения светового потока. Как метод следящего, так и метод развертывающего преобразования не позволяют воспроизводить с достаточной точностью ф-ции с большим углом наклона кривой.

Требуемые качества П. ф. э. по универсальности, точности и стабильности выходного напряжения можно реализовать при объединении упомянутых выше методов в функцион. устройстве, построенном на принципе импульсной астатич. следящей системы и предназначенном для воспроизведения любых нелинейных зависимостей без предварит. обработки записанной кривой [5]. В таком устройстве (рис. 3) луч ЭЛТ под действием напряжения генератора развертки *ГР* прочерчивает на

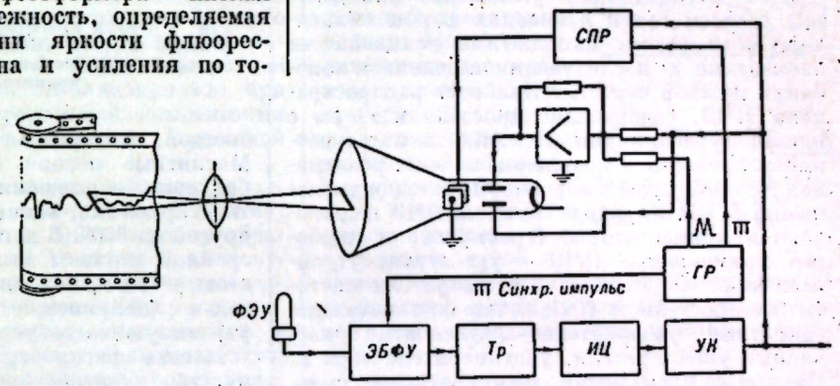


Рис. 3. Структурная схема импульсного фотоформера: *УК* — корректирующий усилитель.

экране короткую линию, к-рая проецируется на бумагу с графиком. С помощью цепи обратной связи достигается совмещение середины этой линии с серединой линии графика. Требуемая при этом стабильность при значит. изменениях яркости луча трубки, чувствительности *ФЭУ*, а также толщины и окраски линии графика обеспечивается электронным блоком фотоэлектрич. устройства *ЭБФУ*, формирующим из импульсов, поступающих от фотоумножителя, стандартные импульсы отметки. Фиксация точки встречи луча с линией графика позволяет применить (для предотвращения сбоев устройства при большой крутизне считываемой кривой) спец. систему поворота линии развертки *СПР* на угол, пропорцион. значению производной этой кривой в данной точке. При дополнит. горизонт. развертке луча или протяжке бумажной ленты выходное напряжение устройства пропорционально последоват. значениям ординат графика. В сравнении с УРП данный импульсный фотоформер при прочих равных условиях обладает большей полосой пропускания (1—5 *кгц*). Разновидностью П. ф. э. являются преобразователи, не требующие преобразования тока луча в световой поток [1]. Однако вследствие низкой точности и невозможности смены ф-ции для устройств с внутренней мишенью эти П. ф. э. не получили широкого применения.

Лит.: 1) Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, 2 изд., М., 1963; 2) Петренко О. І., До теорії функціональних генераторів на електронно-променевій трубці, «Автоматика», Київ, 1962, № 2; 3) Ковалев-

ский В. А., Пархоменко И. Т., Автомат для ввода графиков в цифровые вычислительные машины, «Автоматика и приборостроение», Киев, 1962, № 1; 4) Петренко А. И., Абакумов В. Г., Будняк А. А., Генератор импульсов сложной формы, там же, № 4; 5) Петренко А.И., «ИВУЗ. Радиотехника», 1961, т. 4, № 6. *А. И. Петренко.*

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ (frequency changer; convertisseur de fréquence; Frequenzwandler) — устройство для изменения частоты электрич. напряжения. Применяется для питания регулируемого электропривода, магнитных усилителей и др. Изготовляется на мощность от неск. *ва* до сотен *ква*. П. ч. делятся на: электромагнитные (ПЧЭ), машинные (ПЧМ), ионные и полупроводниковые. Особый, смешанный, класс составляют магнитотранзисторные преобразователи, представляющие собой автогенераторные ПП преобразователи с электромагнитным задающим генератором.

ПЧЭ осуществляют умножение или деление частоты путем изменения формы синусоидального перем. напряжения нелинейными элементами с последующим выделением колебаний нужной частоты. Наиболее распространены ПЧЭ, содержащие дроссели и тр-ры с насыщ. сердечниками. Наличие таких сердечников приводит к появлению значит. реактивной составляющей в первичном токе, для уменьшения к-рой на входе мощных ПЧЭ подключаются компенсаторы. Простейшие и наиболее применяемые ПЧЭ — удвоители, утроители и одноступенчатые учетверители частоты. Из простейших ПЧЭ можно составить многократные умножители: ступенчатые каскадные ушестерители, увосьмерители и т. д. Наряду с каскадными многократными умножителями применяются и одноступенчатые с самоподмагничиванием токами промежуточных частот. Кпд умножителей частоты довольно высок — для ПЧЭ мощностью в неск. *ква* он составляет 70—80%. Вес активных материалов удвоителя и утроителя частоты (без компенсирующих емкостей) в 1,5—2,5 раза больше веса соответствующего тр-ра, вес учетверителя — в 2,5—3,5 раза. С увеличением кратности умножения технико-экономич. показатели ПЧЭ ухудшаются. Для улучшения хар-к на выходе ПЧЭ включаются конденсаторы. Форма кривой выходного напряжения утроителя, учетверителя и нек-рых типов удвоителя близка к синусоидальной.

Удвоитель Жоли — Эпштейна (рис. 1, *а*) состоит из двух тр-ров с обычным магнитопроводом — стержневым или броневым. Первичные обмотки w_1 соединены последовательно; вторичные w_2, питаемые пост. током, — встречно. В цепи вторичной обмотки включен защитный фильтр. При протекании тока подмагничивания по обмотке w_2 сердечники тр-ров поочередно насыщаются. Результирующая эдс, наводимая в обмотках w_2, изменяется с частотой, в два раза большей, чем входная.

В мостовых удвоителях частоты первичная и вторичная обмотки объединены, а одни и те же конденсаторы служат как для уменьшения реактивной составляющей первичного тока, так и для увеличения жесткости внешней нагрузочной хар-ки. В нек-рых мостовых удвоителях осуществляется самоподмагничивание. Хорошая форма кривой выходного напряжения наблюдается у удвоителя с трехфазным входом и однофазным выходом. Трехфазные удвоители либо составляются из 3 однофазных удвоителей, либо имеют спец. шестистержневой магнитопровод.

Утроитель Спинелли (рис. 1, *б*) состоит из трех отдельных тр-ров с насыщенными сердечниками. Первичные обмотки w_1 соединены

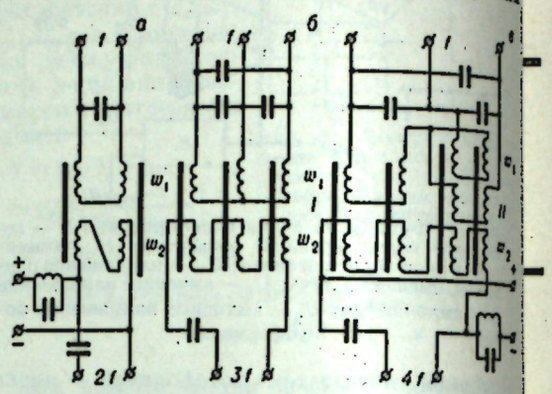


Рис. 1. Схемы преобразователей частоты: *а* — удвоителя частоты Жоли—Эпштейна; *б* — утроителя частоты Спинелли; *в* — одноступенчатого учетверителя частоты.

звездой, вторичные w_2 — последовательно. Магнитные потоки всех трех тр-ров из-за большого насыщения содержат значит. третьи гармоники, сдвинутые одна относительно другой на 360°. В цепи вторичных обмоток эдс тройной частоты складываются, а осн. частоты — взаимно уничтожаются и, следовательно, напряжение на выходе ПЧЭ имеет утроенную частоту.

Нашли распространение утроители с искусств. нулевой точкой, образованной звездой конденсаторов. В этих ПЧЭ объединены первичные и вторичные обмотки и конденсаторы для уменьшения реактивной составляющей первичного тока и для увеличения жесткости внешней (нагрузочной) хар-ки ПЧЭ. Технико-экономич. показатели таких П. ч. лучше, чем у утроителя Спинелли. В нек-рых утроителях регулирование выходного напряжения ведется путем подмагничивания их сердечников пост. током. Наилучшим из трехфазных утроителей является двухэлементный утроитель, состоящий из 2 однофазных утроителей Спинелли.

Одноступенчатый учетверитель частоты (рис. 1, *в*) состоит из четырех тр-ров с обычным магнитопроводом. Тр-ры образуют 2 группы [I и II], первичные обмотки к-рых соединены последовательно, а вторичные — встречно. Первичные обмотки обеих групп соединены между собой по Т-образной схеме. Ввиду этого перем. магнитные потоки в сердечниках обеих групп взаимно сдвинуты на 90°. Вторичные обмотки учетверителя подключены к источнику пост. тока. Ток подмагничивания, протекающий по его вторичной обмотке, поляризует сердечники. В результате их потоки содержат четные гармоники — 2-ю, 4-ю и т. д. Эдс всех гармоник, кроме 4-й и кратной ей, взаимно уничтожаются. Эдс 4-й гармоники складываются, и напряжение на выходе изменяется с учетверенной частотой. Учетверитель с самоподмагничиванием 2-й гармоникой потока имеет добавочные обмотки с выходом на удвоенной частоте. К этим обмоткам подключен конденсатор, благодаря чему резко возрастают 2-я и 4-я гармоники потока. Технико-экономич. св-ва такого ПЧЭ выше, чем ПЧЭ,

приведенного на рис. 1, *в*. Трехфазные учетверители изготовляются групповыми или со спец. трехфазными магнитопроводами.

Магнитный делитель частоты по конструкции аналогичен удвоителю, но источник пост. тока подключен к первичной цепи. Работа делителя основана на возбуждении субгармонич. колебаний. Для получения пониж. частоты применяются и автогенераторные магнитные делители.

Машинные П. ч. изготовляются различных типов: 1) агрегаты, представляющие собой соединение электрич. приводного двигателя с синхронным генератором, индукторным генератором, П. ч., основанным на искажении магнитного поля, и коллекторным П. ч.; 2) контактные и бесконтактные асинхронные П. ч. Наиболее распространены асинхронные П. ч. Контактные асинхронные ПЧМ выпускаются для преобразования частоты 50 *гц* в 100—200 *гц*, мощностью до 100 *квт*. Кпд и коэфф. мощности их неск. ниже, чем у соответствующего асинхронного двигателя. При нагрузке выходное напряжение на 6—20% меньше, чем при хх, и может быть стабилизировано при помощи емкостной продольной компенсации или включением управляемых дросселей насыщения.

Асинхронные ПЧМ могут работать параллельно. Такой ПЧМ состоит из 2 машин: приводного двигателя и собственно преобразователя — асинхронной машины с контактными кольцами. Первичная обмотка последней приключена к сети с частотой f_1, а со вторичной обмотки снимается напряжение с частотой f_2. Для получения повыш. частоты ротор преобразователя вращают против поля. Частоты f_2 и f_1 связаны зависимостью:

$$f_2 \cong \frac{p_1 + p_2}{p_1} f_1,$$

где p_1 и p_2 (соответственно) — числа пар полюсов двигателя и преобразователя.

Выходная мощность преобразователя состоит из двух частей: одна передается нагрузке трансформаторным путем (от первичной обмотки), а вторая образуется механич. путем. В контактных одномашинных асинхронных ПЧМ в общем магнитопроводе объединены приводной асинхронный двигатель и собственно асинхронный преобразователь. Одномашинные асинхронные ПЧМ компактнее двухмашинных. Обмотки двигателя и преобразователя, размещенные в общих пазах, магнитно уравновешены и не связаны индуктивно. Существуют одномашинные ПЧМ, представляющие собой объединение приводного двигателя с синхронным генератором. Недостаток одномашинных контактных ПЧМ — наличие скользящих контактов.

Бесконтактный асинхронный ПЧМ состоит из двух отдельных машин: приводного двигателя и совмещен. машины, являющейся каскадом простого асинхронного П. ч. с обращенным преобразователем. Со статорной обмотки последнего снимается напряжение повыш. частоты f_3. Статорная обмотка простого асинхронного преобразователя питается от первичной сети с частотой f_1. Роторные обмотки обоих преобразователей наглухо соединены между собой. Частоты f_3 и f_1 связаны зависимостью:

$$f_3 \cong \frac{p_1 + p_2 + p_3}{p_1} f_1,$$

где p_1, p_2 и p_3 (соответственно) — числа пар полюсов двигателя, простого и обращенного преобразователей. Бесконтактные асинхронные ПЧМ имеют кпд и коэфф. мощности несколько ниже, чем соответствующие контактные ПЧМ.

Известны бесконтактные ПЧМ, состоящие из двух машин: совмещ. каскада приводного асинхронного двигателя с обращенным асинхронным преобразователем и обращенного синхронного генератора. Разработан также одномашинный трехфазный бесконтактный ПЧМ, преобразующий 50 *гц* в 500 *гц*. Одномашинный бесконтактный ПЧМ является объединением в одном магнитопроводе приводного асинхронного двигателя и каскада простого с обращенным асинхронным преобразователем (рис. 2). Обмотки w_1, w_2 и w_3 размещены в общих пазах статора, обмотки w_4, w_5 и w_6 — в общих пазах ротора. Частоты f_3 и f_1 связаны такой же зависимостью, как и в двухмашинном бесконтактном асинхронном ПЧМ. Форма кривой его выходного напряжения синусоидальна.

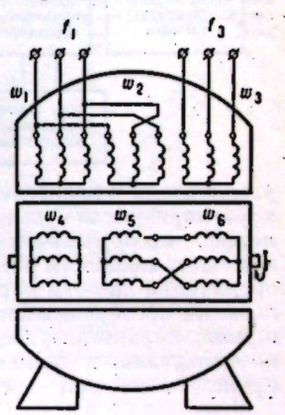


Рис. 2. Схема одномашинного бесконтактного машинного преобразователя частоты.

Лит.: Бамдас А. М., Кулинич В. А., Шапиро С. В., Статические электромагнитные преобразователи частоты и числа фаз, М.—Л., 1961; Костенко М. П., Пиотровский Л. М., Электрические машины, ч. 2, М.—Л., 1958.
А. М. Бамдас, В. С. Нересян, С. В. Шапиро.

Преобразователь частоты в электронике. Необходимость преобразования частоты обычно связана с подготовкой к усилению и фильтрации электрических колебаний. П. ч. является одной из основных составляющих приемных устройств супергетеродинного типа. С помощью П.ч. в супергетеродинных приемниках сигналы любой принимаемой радиостанции преобразуются в сигналы нек-рой пост. для данного приемника частоты, наз. промежуточной, на к-рой происходят основное усиление и фильтрация принятого сигнала. В схемах П. ч. чаще всего применяются элементы с переменными (управляемыми) параметрами. Подавляющее большинство П. ч. строится на основе элементов с управляемой проводимостью. Если на элемент, проводимость к-рого изменяется во времени с частотой $\omega_г$, воздействовать напряжением сигнала с частотой $\omega_с$, то в токе через этот элемент появляются в ряду др. составляющие вида $\omega_с \pm n\omega_г$, где n — целое число. Выбрав с помощью фильтров одну из этих составляющих, можно сместить спектр источника сигнала в любую сторону по оси частот. П. ч. обычно состоят из элемента с управляемым параметром, фильтра, цепей подачи напряжения сигнала и напряжения, управляющего изменением проводимости элемента с переменным параметром (рис. 3).

В качестве элемента с управляемым параметром используются диоды, триоды, пентоды, тетроды и транзисторы, к-рые при подаче

на них напряжения, управляющего изменением проводимости, периодически переходят из режима запирания в режим проводимости. Обычно в сантиметровом диапазоне применяются П. ч. на диодах, на метровых волнах — П. ч. на триодах, а на более длинных волпах — П. ч. на тетродах и пентодах. К П. ч. могут быть отнесены также выпрямители,

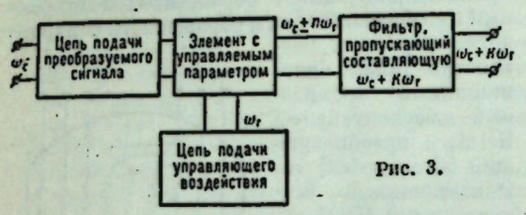


Рис. 3.

умножители и делители частоты. П. ч. обычно характеризуются следующими параметрами: коэфф. преобразования, показывающим, какая часть мощности источника колебаний преобразуемой частоты переходит в мощность колебаний преобразованной частоты, и темп-рой шумов, характеризующей возрастание шумов по отношению к шумам источника сигнала, происходящее при преобразовании частоты.

Лит.: Гуткин Л. С., Преобразование сверхвысоких частот и детектирование, М.—Л., 1953; Харкевич А. А., Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике, М., 1956.

И. М. Мошкунов.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ (electromechanical converter; convertisseur électro-mécanique; elektromechanischer Umformer, elektromechanicher Wandler) — устройство, преобразующее изменение электрич. тока в соответствующее ему механич. перемещение. Эффективность преобразования определяется коэфф. электромеханич. связи, т. е. отношением механич. силы F на выходе преобразователя к электрич. сигналу I на его входе $M = F/I$.

В электромагнитном П. э. преобразование электрич. энергии в механическую основано на взаимодействии магнитного поля, созданного протекающим по обмотке током, с ферромагнитным сердечником, помещенным в это поле. Создаваемая сила $F = (Iw)^2 \frac{dG}{dx}$ или при плоских полюсах $F = (Iw)^2 S/x^2$, где Iw — ампервитки управления, G — проводимость рабочего зазора, S — площадь полюса, x — смещение якоря.

Коэфф. электромеханич. связи электромагнитных П. э. $M_{эм}$ зависит от тока в управляющей катушке,

$$M_{эм} = F/I = A_1 I, \text{ где } A_1 = w^2 (S/x^2).$$

Электромагнитные П. э. выполняются с поворотным и поступат. ходом якоря, по простой или дифференциальной схемам. При дифференц. схеме результирующая сила, действующая на якорь П. э., в случае плоских полюсов равна

$$F_р = w^2 \left(I_1^2 \frac{S_1}{x_1^2} - I_2^2 \frac{S_2}{x_2^2} \right).$$

На рис. 1 изображен дифференц. П. э., к-рый составлен из электромагнитных преобразователей, построенных по простой схеме. При подаче сигналов в обмотки w_1 и w_2 возбуждаются магнитные потоки Φ_1 и Φ_2, образующие два замкнутых контура. При равенстве потоков в зазорах результирующее усилие, действующее на якорь, равно нулю.

В случае, когда в одном из зазоров поток больше, чем в другом, появляется результирующая сила, стремящаяся вывести якорь

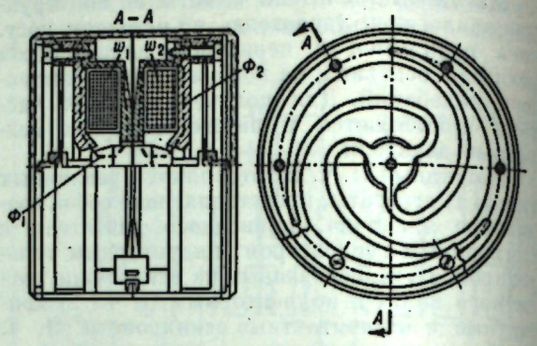


Рис. 1. Электромагнитный дифференц. электромеханич. преобразователь.

из нейтрального положения. Перемещению якоря противодействуют плоские пружины.

Поляризованные электромагнитные П. э. имеют два источника магнитного потока: для рабочего потока — обмотка, обтекаемая рабочим током; для поляризующего потока — пост. магнит или обмотка, обтекаемая пост. током от вспомогат. источника. Работа по перемещению подвижного (выходного) элемента в таких П. э. частично выполняется за счет энергии поляризующего источника. Поэтому поляризованные электромагнитные П. э. отличаются малой мощностью управления.

Усилие, воздействующее на якорь поляризованного электромагнитного П. э.,

$$F = \frac{F_0^2 S}{x} + 2\frac{F_0 S}{x^2} Iw,$$

где F_0 — магнитодвижущая сила пост. магнита или поляризующей обмотки. Здесь коэфф. электромеханич. связи

$$M_{эмп} = \frac{F}{I} = A_2, \text{ где}$$

$$A_2 = \frac{F_0^2 S}{Ix} + 2\frac{F_0 S w}{x^2}.$$

Поляризированные электромагнитные П. э. строятся с поворотным и поступат. ходом якоря. Электромагнитный поляризованный П. э. с поворотным якорем (рис. 2) состоит из неподвижного магнитопровода *1*, поворотного якоря *2*, обмотки управления *3*, расположенной на якоре, и двух пост. магнитов *4*. Когда ток в катушке управления отсутствует, якорь занимает среднее положение. При подаче сигнала управления возникающий магнитный поток в якоре складывается с потоком пост. магнита в одном из зазоров и вычитается в другом, вследствие чего якорь отклоняется в правую или левую сторону.

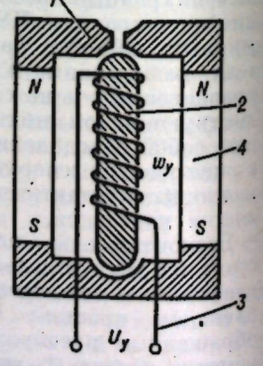


Рис. 2. Электромагнитный поляризованный электромеханич. преобразователь.

В магнитоэлектрич. П. э. электрич. энергия преобразуется в механическую в результате взаимодействия магнитного поля пост. магнита и тока, протекающего в проводнике, находящемся в поле пост. магнита. Сила взаимодействия

$$F = BIwl \sin(\alpha),$$

где B — средняя индукция в зазоре, l — длина среднего витка катушки управления, α — угол между направлением магнитного поля и направлением тока в проводнике (обычно $\alpha = 90°$). Коэфф. электромеханич. связи магнитоэлектрич. П. э.

$$M_{мэ} = \frac{F}{I} = A_3, \quad A_3 = Bwl.$$

$M_{мэ}$ — пост. величина в том случае, когда поток, охватываемый управляющей обмоткой, не меняется при смещении катушки.

Приведенный на рис. 3 магнитоэлектрич. П. э. имеет пост. магнит *1*, расположенный между магнитопроводом *2* и магнитопроводящей насадкой *3*, напрессованными на немагнитное кольцо *4*. Это кольцо фиксирует зазор между магнитопроводом и насадкой. В зазоре находится цилиндрич. рамка (с обмоткой) *5*, к-рая крепится на тонком штоке из немагнитного материала *6*. Шток подвешен на плоских пружинах *7*. Для подвода тока к обмотке использованы эластичные токовыводные шины, одним концом подпаянные к неподвижным лепесткам, а другим — к плате, закрепленной на подвижной рамке. Сила, возникающая в результате взаимодействия тока в обмотке с магнитным полем в зазоре, смещает рамку с обмоткой вдоль оси. Величина смещения при одном и том же усилии зависит от жесткости подвесных пружин. В тех случаях, когда требуется пружина переменной жесткости, используется электрич. пружина, представляющая собой две дополнит. обмотки, помещенные на той же рамке; половина каждой из обмоток находится в зазоре. Усилие электрич. пружины $F_{пр} = F_{пр_1} - F_{пр_2} = cx$, где x — смещение каркаса обмотки электрич. пружины; c — жесткость электрич. пружины, равная $c = 2BIlh(w/H)$, H — вся высота катушки электрич. пружины; h — смещение электрич. пружины от нейтрали.

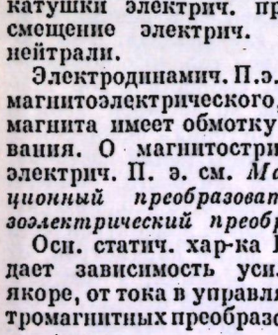


Рис. 3. Магнитоэлектрич. преобразователь.

Электродинамич. П. э., в отличие от магнитоэлектрического, вместо пост. магнита имеет обмотку подмагничивания. О магнитострикц. и пьезоэлектрич. П. э. см. *Магнитострикционный преобразователь* и *Пьезоэлектрический преобразователь*.

Осн. статич. хар-ка П. э. — рабочая, к-рая дает зависимость усилия, создаваемого на якоре, от тока в управляющей обмотке. У электромагнитных преобразователей рабочая хар-ка нелинейна (рис. 4, кривая *1*), у электромагнитных поляризованных и магнитоэлектрич. П. э. — линейна (кривая *2*). Для оценки работоспособности П. э. используют хар-ку зависимости коэфф. преобразования от мощности управляющего (входного) сигнала. Наибольший коэфф. преобразования при одинаковом по мощности входном сигнале имеют магнитоэлектрич. преобразователи, несколько меньший — электромагнитные поляризованные с поступат. ходом якоря, затем — электромагнитные нейтральные и электромагнитные поляризованные с угловым перемещением якоря. Наиболее широким диапазоном частот собств. колебаний подвижной системы обладают электромагнитные поляризованные П. э. с поступат. ходом якоря (до 260 *гц*; редко выше). Электромагнитные поляризованные П. э. с поворотным ходом якоря имеют от 140 до 180 *гц*; магнитоэлектрич. преобразователи — порядка 100—120 *гц*; электромагнитные П. э. нейтральные — порядка 30 *гц*.

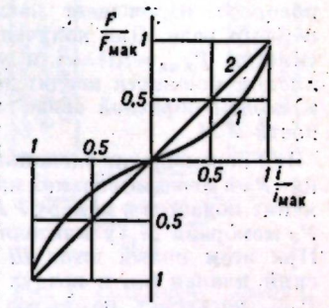


Рис. 4. Рабочие хар-ки электромеханич. преобразователей.

Т. М. Воробьева.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (electropneumatic converter; convertisseur électro-pneumatique; elektro-pneumatischer Umformer) — устройство, преобразующее изменение электрич. тока в соответствующее изменение давления воздуха. Используется в системах регулирования в тех случаях, когда измерение осуществляется электрич. устройствами, а управление — пневматическими. Принцип действия П. э. определяется принципом действия его электрич. части (см. *Преобразователь электромеханический*). Осн. хар-ка П. э.— статич. хар-ка

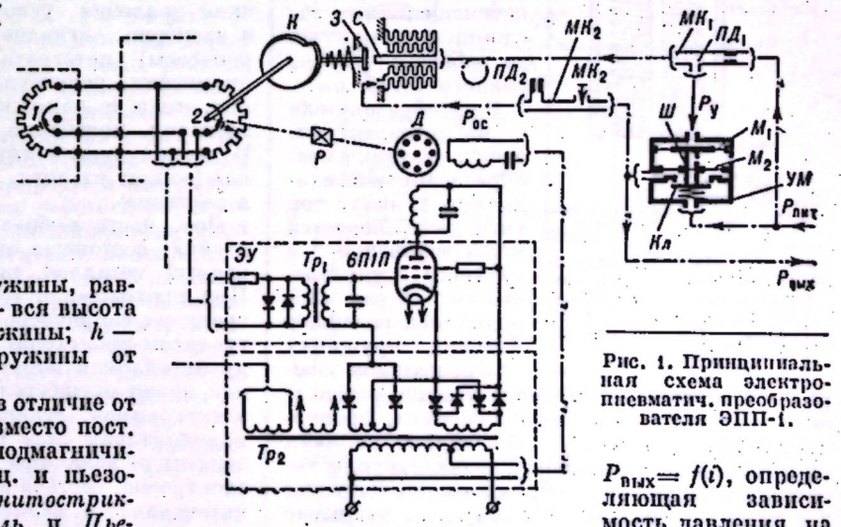


Рис. 1. Принципиальная схема электропневматич. преобразователя ЭПП-1.

$P_{вых} = f(i)$, определяющая зависимость давления на выходе П. э. от тока управления на его входе.

Существует неск. разновидностей П. э. В преобразователе с электродвигателем (рис. 1) при рассогласовании положения движков *1* и *2* потенциометров появляется сигнал,

к-рый через электронный усилитель *ЭУ* подается на управляющую обмотку двухфазного асинхронного реверсивного двигателя *Д*. Вал двигателя через редуктор *Р* связан с движком *2*. При изменении фазы входного сигнала происходит реверс двигателя, к-рый включен так, чтобы перемещением движка *2* уменьшать сигнал разбаланса. Движок *2* следит т. о. за движком *1*, и его положение пропорционально измеренному параметру. На одном валу с движком *2* находится кулачок *К*, к-рый при повороте перемещает заслонку *3* сопла *С* первого реле. Для получения линейной зависимости $P_{вых}=f(i)=ci$ и увеличения управляемой мощности вводят дополнит. элементы: элементы обратной связи и усилители мощности *УМ*.

При перемещении заслонки изменяется давление P_y в междроссельной камере $МК_1$. Это давление подается в камеру *УМ*. При увеличении P_y мембрана $М_1$ усилителя прогибается вниз. При этом полый шток *Ш* нажимает на плоский клапан *Кл*, и воздух из линии питания $P_{пит}$ поступает на выход преобразователя. Если P_y уменьшается, то $М_1$ прогибается вверх. В результате *Ш* отрывается от клапана *Кл* и воздух из емкости, подключенной к выходу, выпускается в атмосферу. Давление на выходе $P_{вых}$ убывает до тех пор, пока не уравновесятся силы, действующие на мембраны $М_1$ и $М_2$. Узел отрицат. обратной связи образуют два сильфона. Воздух из линии $P_{вых}$ подается в камеру, расположенную между этими сильфонами. Сопло *С* жестко соединено с днищем сильфонов и перемещается вместе с ними при изменении давления в межсильфонной камере. Устройство обратной связи позволяет соплу *С*, перемещаясь, следить за перемещениями заслонки с точностью до рабочего зазора, равного 0,015 *мм*.

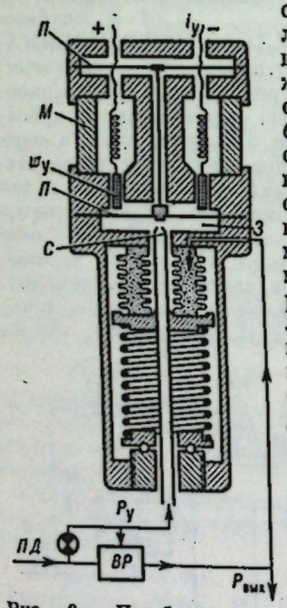


Рис. 2. Преобразователь ЭПП-2 с магнитоэлектрич. электромеханич. преобразованием на входе: *ПД* — пост. дроссель; *ВР* — вторичное реле.

В преобразователе с магнитоэлектрич. электромеханич. преобразованием на входе (рис. 2) пост. ток сигнала i_y подается непосредственно в катушку управления w_y, к-рая свободно центрована на плоских пружинах *П* в воздушном зазоре пост. магнита *М*. Тяговое усилие, развиваемое катушкой при подаче сигнала, пропорционально силе тока i_y. Вследствие наличия упругой подвески каждому значению силы тока соответствует определ. положение катушки в воздушном зазоре *З* и определ. открытие сопла *С*.

Др. тип П. э. с магнитоэлектрич. электромеханич. преобразователем отличается наличием рычажного устройства (рис. 3). Рычаг *2* под действием силы, вызываемой током в управляющей катушке *1*, прикрывает (открывает) сопло *С*; давление в межсопловой камере *МСК* увеличивается (уменьшается), мембрана опускается на шток и открывает (закрывает) клапан. Воздух из камеры питания поступает

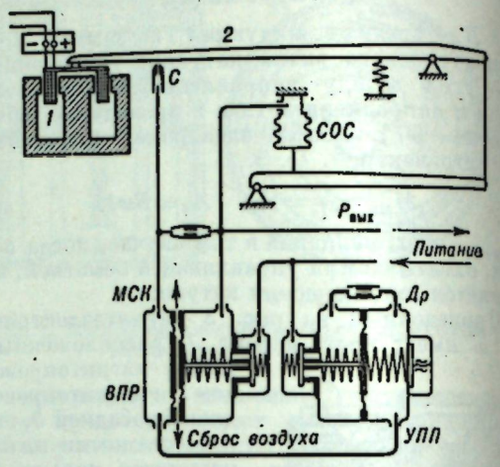


Рис. 3. Преобразователь с магнитоэлектрич. элементом с рычажным устройством.

в камеру выходного давления и, т. о., на выход прибора. Одновременно воздух под давлением на выходе прибора поступает в сильфон обратной связи *СОС*. Усилие от сильфона через тягу передается на верхний рычаг. Оно частично уравновешивает усилие, действующее на катушку. Устройство пост. перепада *УПП* поддерживает пост. перепад на дросселе *Др*, через к-рый питается *МСК* вторичного пневмореле *ВПР*. Создание пост. перепада уменьшает влияние изменения питания.

Т. М. Воробьева.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ (electrochemical converter; convertisseur électrochimique; elektrochemischer Umwandler) — датчики и элементы электронных устройств, действие к-рых основано на использовании электрохимич. явлений. Имеются разнообразные типы П. э.: преобразователи неэлектрич. воздействия в электрич. сигнал (датчики давления, ускорения, вибрации и др.) и электрич. сигналов в неэлектрические (микронасосы), интеграторы электрич. тока, выпрямители, усилители, стабилизаторы электрич. тока и напряжения, реле, генераторы электрич. колебаний и т. п. Нек-рые типы П. э. получили в лит-ре наименование *солионов* (solion; от англ. ions in solution — ионы в растворе).

Осн. часть любого П. э.— электролитич. ячейка, состоящая из последовательно соединенных металлич. электродов и электролита. При прохождении тока через такую цепь на границах соприкосновения электродов с электролитом происходит обмен электронами между металлом и ионами электролита. Этот обмен может осуществляться только с помощью электрохимич. реакции, скорость к-рой пропорциональна силе тока во внешней цепи и зависит от величины и состояния поверхности электродов, состава и концентрации раствора, интенсивности движения жидкости, темп-ры и др. факторов. Под воздействием входного сигнала (напр., ускорения) могут изменяться один или неск. из перечисл. выше параметров, от к-рых зависит скорость реакции, а следовательно, и сила тока во внешней цепи, т. е. величина выходного электрич. сигнала П. э.

Простейший П. э.— электрохимич. выпрямитель тока — представляет собой электролитич. ячейку в виде небольшой ампулы, заполненной электролитом, содержащим йодистый калий с небольшой добавкой йода, в к-рой расположены два электрода, отличающиеся друг от друга величиной рабочей площади. При подключении отрицат. полюса источника тока к малому электроду ток в цепи будет значительно меньше, чем при обратной полярности, т. е. наблюдается эффект выпрямления. В более сложном П. э.— электрохимич. реле, использованы явления, происходящие на электродах, покрытых ПП окисными пленками. Отличит. особенности П. э.: простота устройства и электрич. схемы, малая потребляемая мощность (~20—30 *мквт*), стабильность параметров, высокая чувствительность и малая стоимость. П. э. предназначены для использования в области низких и инфранизких частот.

Лит.: Hurd R. M., Lance R. N., «J. Electrochem. Soc.», 1957, v. 104, № 12, p. 727; Reed H. B. [a. o.], «Yale Scient. Mag.», 1958, v. 32, № 5, p. 13; Стрижевский И. В., Соколов Л. А., в кн.: Сборник научных трудов Акад. коммунального хоз-ва им. К. Д. Памфилова, вып. 4, М., 1960; «Электроника» (рус. пер.), 1962, т. 35, № 6, с. 48.

П. Д. Луковцев.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (converter sensibility; sensibilité de convertisseur; Umformer-Empfindlichkeit)—отношение изменения выходной величины преобразователя к соответствующему изменению входной: $S=\Delta y/\Delta x$. Геометрически П. ч.— тангенс угла наклона (крутизна) статич. хар-ки $y=f(x)$. П. ч. в общем виде выражается именованным числом, напр. *мв/град* — для термопар, *в/мм* — для индуктивных датчиков перемещения, и т. п. В электронике вместо П. ч. пользуются терминами «крутизна характеристики» (*ма/в*) и «коэффициент усиления», применительно к стабилизаторам — величиной *М*, обратной *S*, наз. *стабилизации коэффициентом*. П. ч., учитывающая динамич. св-ва преобразователя, наз. *передаточной функцией*.

Д. И. Агейкин.

ПРЕОБРАЗУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО для связи с реальной аппаратурой (converter unit for connection with actual hardware; unité de transformation pour liaison avec appareillage réel; Umform-Einrichtung für die Kopplung mit der wirklichen Apparatur) — устройство, предназнач. для преобразования величин одной физич. природы в величину др. физич. природы и используемое совместно с АВМ при работе с реальной аппаратурой управления. Машинной величиной в АВМ обычно служит электрич. напряжение, системы же управления могут иметь на входе и на выходе величины самой различной физич. природы, напр. механич. перемещения, давление, темп-ру и т. д. Поэтому в контур моделирования с реальной аппаратурой необходимо дополнительно включить преобразователи на входах и на выходах этой аппаратуры (рис. 1). Наибольшее значение получили П. у., предназнач. для преобразования электрич. напряжения в угол поворота.

Во избежание больших погрешностей при моделировании системы в целом к П. у. предъявляются жесткие требования по точности и быстродействию. Так, при частоте преобразуемого синусоидального сигнала порядка $f=5$—10 *гц* и амплитуде до 5° сдвиг по фазе, вносимый П. у., не должен превышать 0,1 радиан при амплитудной погрешности не более 1%.

При отработке возмущения в виде ступенчатой ф-ции перерегулирование не должно превышать 30%, а статич. погрешность — 10′. Эти технич. хар-ки должны обеспечиваться при изменении инерц. нагрузки в широком диапазоне.

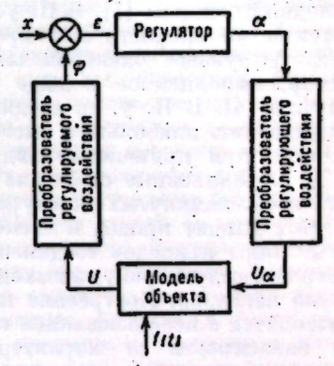


Рис. 1. Скелетная схема включения преобразующих устройств в контур моделирования.

П. у. строятся на основе прямой аналогии, на основе быстродействующих *следящих систем* и комбинировании обоих принципов. Эти принципы построения, общие для всех П. у., ниже рассматриваются на примере П. у. для преобразования напряжения в угол поворота.

Использование метода прямой аналогии здесь предполагает, что решение дифференц. ур-ния, определяющего преобразуемую координату, осуществляется не с помощью АВМ, а с помощью специально разработанного для этой цели электромеханич. исполнит. механизма (ИМ), ур-ние движения к-рого аналогично исходному ур-нию. Если ур-ние выбранного ИМ не отражает точно исходные ур-ния, напр. в части нагрузки, к-рая может зависеть от угла поворота и скорости вращения, то применением вспомогат. сумматора и наложением дополнит. обратных связей, как это показано на рис. 2, *а*, это различие может быть устранено. Для повышения точности такой системы вводят дополнит. корректирующие

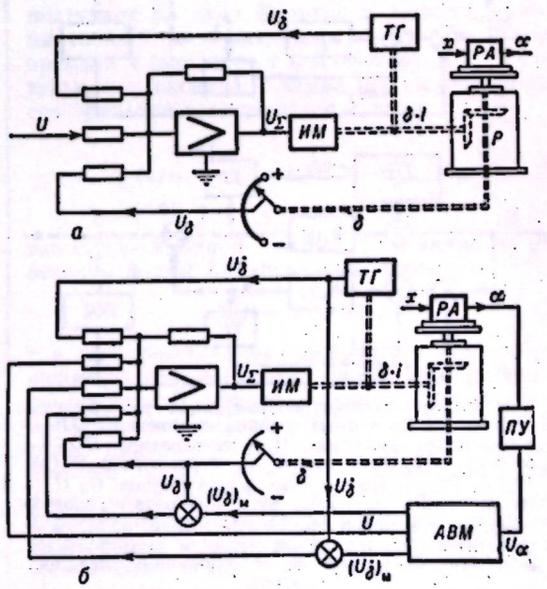


Рис. 2. Блок-схемы преобразующих устройств на основе прямой аналогии: *ТГ* — тахогенератор; *Р* — редуктор с платформой; *РА* — реальная аппаратура; *ПУ* — преобразующее устройство угла поворота в напряжение; δ, $\dot{δ}$ — угол поворота и угловая скорость выходного вала преобразующего устройства; *i* — передаточное число редуктора.

сигналы по положению и скорости [1], получаемые путем сравнения этих величин с выхода П. у. с таковыми, полученными в АВМ, где решается это же ур-ние (рис. 2, *б*).

Следящие системы для П. у. выполняются 3 типов: со слежением по скорости [2], по положению [3, 4] и в виде т. н. объединенных следящих систем [5]. В П. у. со следящей системой по скорости ИМ представляет собой интегрирующее электромеханич. устройство, напр. выполненное в виде электродинамич. муфты [4]. В П. у. со следящей системой по положению наибольшее быстродействие получается при применении гидравлич. привода [3]. Объединенные следящие системы состоят из неск. замкнутых контуров, в каждый из к-рых входит привод и элементы управления им. Валы приводов соединены с общим дифференц. редуктором, на выходе к-рого подключена нагрузка. Построение таких систем производится с использованием принципов, к-рые в зависимости от характера входных сигналов, подаваемых на отдельные следящие системы, условно называются: скорость — скорость (рис. 3, *а*), угол — скорость (рис. 3, *б*)

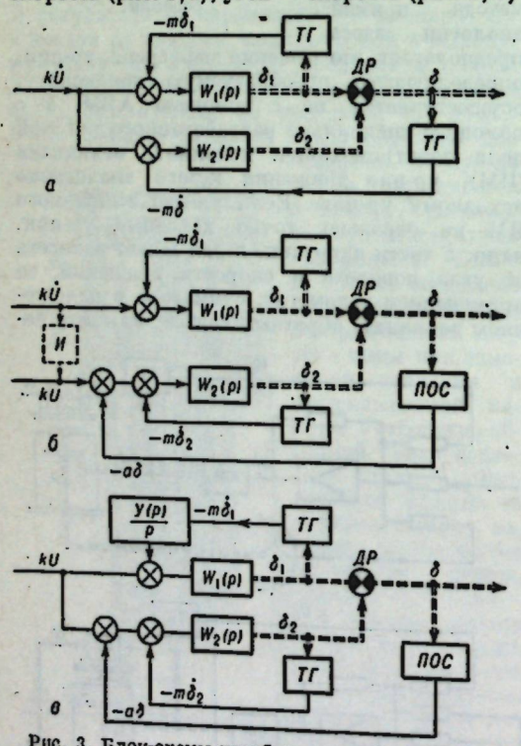


Рис. 3. Блок-схемы преобразующих устройств на основе объединенных следящих систем: *ДР* — дифференц. редуктор; *И* — интегратор; *ПОС* — датчик обратной связи по положению; $W_1(p)$, $W_2(p)$, $Y(p)$ — передаточные ф-ции блоков; U, $\dot{U}$ — напряжения, задающие угол поворота и угловую скорость следящей системы; δ_1, δ_2, δ, $\dot{\delta}_1$, $\dot{\delta}_2$, $\dot{\delta}$ — углы поворота и угловые скорости выходных валов первой, второй и объединенной следящих систем.

и угол — угол (рис. 3, *в*). Теоретич. ошибка слежения в объединенных следящих системах может быть скорректирована и сведена к нулю. Недостаток таких систем — их сложность, особенно механич. части.

В П. у. с компенсацией искажений следящей системы уменьшению динамич. погрешности, вносимой в контур моделирования собственно П. у., осуществляется за счет замены ур-ний истинного объекта ур-ниями т. н. «приведенного объекта», учитывающими в сигнале, подаваемом на вход П. у., искажения, вносимые его собств. передаточной ф-цией.

Допустим, что модель объекта (рис. 1) описывается дифференц. ур-нием $A(p)U = f(t) - kU_\alpha$, а преобразователь — ур-нием $G(p)\varphi = U$, где U — выходная координата объекта, k — коэфф. пропорциональности, $f(t)$ — возмущение, $A(p)$ и $G(p)$ — операторные полиномы, φ — входная координата регулятора, U_α — выходное напряжение преобразователя на выходе регулятора. Тогда дифференц. ур-ние приведенного объекта, формирующего сигнал на вход преобразователя, запишется в виде

$$A(p)\,U_{\text{п}} = G(p)\,[f(t) - k\,U_\alpha],$$

где $U_{\text{п}}$ — выходное напряжение модели приведенного объекта.

О способах набора на АВМ ур-ний приведенного объекта см. *Аналоговой вычислительной машины применения*, 1.

Лит.: 1) Фицнер Л. Н., Об одном типе следящих систем с корректирующими воздействиями, «АиТ», 1956, т. 17, № 3; 2) Макаров И. М., Аналитическое исследование устойчивости движения электромеханического преобразующего устройства, там же, 1957, т. 18, № 4; 3) Котельников В. А., Хохлов В. А., Электрогидравлическое преобразующее устройство к электронным интеграторам постоянного тока, там же, 1956, т. 17, № 7; 4) Клубникин П. Ф., Электромагнитные муфты для исполнительных механизмов, в кн.: Автоматическое управление и вычислительная техника, в. 1, М., 1958; 5) его же, Объединенные следящие системы с двумя приводами, «АиТ», 1959, т. 20, № 2. *И. М. Макаров, Н. А. Смирнов.*

ПРИЕМ СИГНАЛА НА ФОНЕ ПОМЕХ (signal reception on noise background; réception de signal sur un fond de bruit; Empfang von verrauschten Signalen) — получение информации о полезном сигнале $W(t)$ по входному сигналу $Z(t)$, отличающемуся от $W(t)$ вследствие влияния помех $N(t)$. Конкретно задача ставится в зависимости от вида сведений о полезном сигнале, к-рые требуется получить, и распадается на следующие самостоят. задачи: фильтрация, выделение сигналов известной формы, оценка параметров сигнала, обнаружение сигнала, различение неск. сигналов.

Фильтрация. В этой задаче и шум $N(t)$, и полезный сигнал $W(t)$, сумма к-рых является входным сигналом $Z(t)$, представляют собой нек-рые случайные процессы. Задача заключается в построении такой физически реализуемой динамич. системы, к-рая наилучшим образом отфильтровывала бы помеху от входного сигнала, т. е. давала бы на выходе полезный сигнал в наиболее «чистом» виде. Математически эта задача формулируется как определение такой физически реализуемой системы, к-рая по случайной ф-ции $Z(t)$ на входе строила бы на выходе случайную ф-цию $W(t)$, наиболее близкую в нек-ром смысле к полезному сигналу $W(t)$ [ф-ция $W^*(t)$ наз. оценкой полезного сигнала]. Подобные системы наз. оптимальными.

Для точной постановки задачи необходимо определить: 1) в каком смысле оценка сигнала $W^*(t)$ должна наилучшим образом воспроизводить полезный сигнал $W(t)$, т. е. дать критерий оптимальности системы; 2) в классе каких операторов ищется оптим. система (поскольку выходная ф-ция произвольной динамич. системы есть результат применения нек-рого оператора к входной ф-ции). Обычно

оператор системы ищется в классе линейных операторов, т. к. определение его в классе всех возможных операторов бывает затруднительным. Кроме того, для определения оптим. линейного оператора достаточно знать корреляц. ф-ции случайных процессов.

Наиболее часто применяемым критерием является критерий ср. квадратич. ошибки. В этом случае ищется такая оценка $W^*(t)$, чтобы математич. ожидание квадрата разности оценки и полезного сигнала было минимальным, т. е.

$$\text{M}\,[W^*(t) - W(t)]^2 = \min$$

(M — символ математич. ожидания). Если записать выходной сигнал линейной системы в виде интеграла

$$\int_{-\infty}^{s} w(s, t)\,Z(t)\,dt, \qquad (1)$$

то оптим. весовая ф-ция $w(s, t)$, определяемая по этому критерию, является решением интегр. ур-ния

$$K_{WZ}(s,\tau) = \int_{-\infty}^{s} w(s, t)\,K_{ZZ}(t, \tau)\,dt, \qquad (2)$$

где K_{WZ} — взаимная корреляц. ф-ция случайных ф-ций $W(t)$ и $Z(t)$, а $K_{ZZ}(t, \tau)$ — корреляц. ф-ция случайной ф-ции $Z(t)$. В частном случае стационарных и стационарно связанных полезного сигнала и шума оно переходит в ур-ние Винера — Хопфа

$$K_{WZ}(\tau) = \int_{0}^{\infty} w(t)\,K_{ZZ}(\tau - t)\,dt. \qquad (3)$$

Обычно решение этого ур-ния проводится в частотной области. Пусть $S_Z(\omega)$ — спектральная плотность входной случайной ф-ции $Z(t)$, $S_{WZ}(\omega)$ — взаимная спектр. плотность случайных ф-ций $W(t)$ и $Z(t)$. Для решения ур-ния (3) используется представление $S_Z(\omega)$ в виде

$$S_Z(\omega) = S_Z^+(\omega)\,S_Z^-(\omega), \qquad (4)$$

где $S_Z^+(\omega)$ — аналитич. ф-ция, не имеющая нулей в верхней полуплоскости комплексного переменного ω, а ф-ция $S_Z^-(\omega)$ является аналитич. ф-цией и не имеет нулей в нижней полуплоскости. Это разложение легко осуществить, если $S_Z(\omega)$ — дробно-рациональная ф-ция. Тогда частотная хар-ка искомой динамич. системы определяется из ф-лы:

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{2\pi S_Z^-(\omega)} \int_0^\infty e^{-i\omega\tau}\,d\tau \int_{-\infty}^{\infty} e^{i w \tau} \frac{S_{WZ}(w)}{S_Z^+(w)}\,dw. \qquad (5)$$

Часто задача фильтрации понимается несколько шире. Может представлять интерес не сам полезный сигнал, а нек-рое его преобразование, напр. производная или интеграл. В этом случае система должна воспроизводить заданное преобразование полезного сигнала. Тогда в ур-нии (2) вместо взаимной корреляц. ф-ции полезного и входного сигналов появляется взаимная корреляц. ф-ция преобразов. полезного сигнала и входного сигнала.

В общем случае линейная система не является наилучшей в классе всех физич. возможных систем. Но в частном случае гауссовых входного и полезного сигналов линейная система, определяемая из ур-ния (2),— наилучшая в смысле средней квадратич. ошибки среди всех физически возможных систем.

Оценка параметров сигнала. В ряде случаев полезный сигнал — не случайный процесс, а нек-рая известная ф-ция неизвестных параметров. Т. о., форма полезного сигнала является фиксированной. Напр., в радиолокации полезный сигнал может представлять собой импульс известной формы, занимающий перем. положение на оси времени (зависящее от расстояния до отражающего объекта) и имеющий неизвестную амплитуду. В этих случаях полезный сигнал полностью определяется значениями его параметров. Поэтому ставится задача не наилучшего воспроизведения полезного сигнала, а наиболее точной оценки его параметров. Довольно часто эта задача решается при помощи такой обработки выходного сигнала, в результате к-рой на выходе приемника получается макс. *отношение сигнал/помеха*. Затем по внешнему виду выходного сигнала оператор делает заключение о значениях параметров полезного сигнала. Приемник, получающий макс. отношение сигнал/помеха, как правило, ищут в классе линейных. Пример системы, получающей макс. отношение сигнал/помеха на выходе,— т. н. согласованный фильтр, предназначаемый для приема ограниченного во времени полезного сигнала полностью известной формы на фоне белого (т. е. дельта-коррелированного) шума. Считается, что время поступления сигнала на вход фильтра неизвестно. Т. о., полезный сигнал имеет вид:

$$g(t - \tau) \neq 0 \quad \text{при} \quad -\Delta T < t - \tau < 0$$

$g(t - \tau) = 0$ — в остальных случаях. Сигнал поступает на вход фильтра в момент времени $\tau - \Delta T$ и обращается в нуль в момент времени τ (значение τ неизвестно). ΔT — длительность сигнала. Сигнал на выходе согласов. фильтра записывается в виде

$$y(t) = \int_0^{\Delta T} g(-t')\,x(t - t')\,dt', \qquad (6)$$

где $x(t)$ — входной сигнал. Как видно из (6), весовая ф-ция $h(t)$ согласов. фильтра

$$h(t) = g(-t), \qquad (7)$$

т. е. она представляет собой зеркальное отображение полезного сигнала, смещенного к началу координат. В привед. примере параметром, представляющим интерес, является, как правило, положение полезного сигнала на оси времени (напр., задержка радиолокац. сигнала). Если на выходе получается достаточно большое отношение сигнал/помеха, то полезный сигнал в виде импульса выделяется на общем фоне помехи. Положение импульса и принимается в качестве значения задержки сигнала.

Критерий макс. отношения сигнал/помеха имеет нек-рые недостатки. Не ясен его смысл при нелинейных преобразованиях сигналов. Кроме того, он не пригоден для оценки нек-рых параметров. С более фундаментальной точки зрения ставится задача оценки параметров на основе построения апостериорных вероятностей.

Пусть полезный сигнал имеет вид $\varphi(t, U_1, \ldots, U_n)$, где φ — полностью известная ф-ция времени t и неизвестных параметров $U_1, \ldots, U_n$, к-рые обычно рассматриваются как случайные. При приеме входного сигнала требуется оценить значения параметров полезного сигнала. Среди всех оценок наименьшую ср. квадратич. ошибку имеет условное математич. ожидание параметров относительно входного сигнала. Т. к. математич. ожидание параметра U дается ф-лой $M[U|Z] = \int_{-\infty}^{\infty} u p_Z(u) du$, то его можно определить, если известна апостериорная плотность вероятности $p_Z(u)$. Если наблюдение ведется в интервале времени $(0, T)$, а входной сигнал имеет вид $Z(t) = \varphi(t, U_1, \ldots, U_n) + X(t)$, то апостериорная плотность вероятности параметров $U_1, \ldots, U_n$ дается ф-лой:

$$p_Z(u_1, \ldots, u_n) = kp(u_1, \ldots, u_n) \times$$

$$\times \exp\left\{\int_0^T g(t, u_1, \ldots, u_n) Z(t)\, dt - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\int_0^T g(t, u_1, \ldots, u_n)\varphi(t, u_1, \ldots, u_n) dt\right\},$$

где k — нормирующий множитель, $p(u_1, \ldots, u_n)$ — априорная плотность вероятности, а $g(t, u_1, \ldots, u_n)$ определяется из интегр. уравнения

$$\int_0^T g(t, u_1, \ldots, u_n) K_X(t, t')\, dt = \varphi(t', u_1, \ldots, u_n)$$

[$K_X(t, t')$ — корреляц. функция шума $X(t)$]. В качестве истинного значения к.-н. параметра можно также брать то его значение, при к-ром апостериорная плотность вероятности максимальна. В этом случае апостериорная плотность вероятности усредняется по значениям остальных параметров.

Обнаружение сигналов. Эта задача возникает, если входной сигнал может либо содержать, либо не содержать полезный сигнал. Как один шум, так и сумма сигнала и шума приводят ко множеству различных реализаций на входе приемника. Множество реализаций, вызываемых одним шумом, наз. «совокупностью N»; множество реализаций, вызываемых полезным сигналом и шумом,— «совокупностью SN». Задача приемника, на вход к-рого поступает реализация X, — решение о принадлежности этой реализации к той или иной совокупности. Предполагается, что известны условные плотности вероятности $f_N(X)$ и $f_{SN}(X)$ реализации X для случаев, когда X принадлежит совокупностям N и SN соответственно. Принятие решений может сопровождаться ошибками. Условная вероятность ложного решения о присутствии сигнала наз. вероятностью ложной тревоги. Условная вероятность ложного решения об отсутствии сигнала наз. вероятностью пропуска. При построении оптим. приемника возникает вопрос о выборе критерия. Наиболее часто применяемыми критериями являются критерий Котельникова (критерий идеального наблюдателя), когда минимизируется полная вероятность ошибочного решения, и критерий Неймана — Пирсона, когда при заданной вероятности ложной тревоги минимизируется вероятность пропуска. Оптим. приемником обнаружения в обоих случаях, а также и во многих др. является приемник, получающий т. н. отношение правдоподобия, к-рое дается ф-лой $l(X) = \frac{f_{SN}(X)}{f_N(X)}$. Если для данного входного сигнала $l(X)$ больше нек-рой величины, называемой порогом, то принимается решение о присутствии полезного сигнала. Если же $l(X)$ меньше порога, то принимается решение об отсутствии полезного сигнала. Для критерия идеального наблюдателя величина порога равна отношению априорных вероятностей отсутствия и наличия сигналов. Для критерия Неймана — Пирсона величина порога зависит от заданной вероятности ложной тревоги. Т. о., задача обнаружения сводится к вычислению отношения правдоподобия в отдельных конкретных случаях, т. е. к выражению его через входной сигнал. В качестве примера можно рассмотреть обнаружение сигнала, представляющего собой гауссов случайный процесс, на фоне др. гауссового процесса. Входной сигнал $X(t_k)$ наблюдается в дискретные моменты времени $t_1, t_2, \ldots, t_n$. В этом случае отношение правдоподобия записывается в виде

$$l(X) = \sqrt{\frac{|K_N|}{|K_S + K_N|}} \times$$

$$\times \exp\left\{\frac{1}{2} X' [K_N^{-1} - (K_S + K_N)^{-1}] X\right\},$$

где X — вектор-столбец, составленный из значений входного сигнала в моменты времени $t_1, \ldots, t_n$; X' — транспонированный вектор; K_N — корреляц. матрица шума; K_S — корреляц. матрица полезного сигнала; $|K_N|$ и $|K_S + K_N|$ — определители матриц K_N и $K_S + K_N$ соответственно.

Обычно приемник обнаружения дает ответ на вопрос: присутствует ли сигнал + шум или присутствует один шум. Наблюдатель может также интересоваться апостериорной вероятностью присутствия сигнала. В этом случае он получает наибольшую информацию от приемного устройства, но должен самостоятельно принимать решение о наличии или отсутствии полезного сигнала.

Решение о наличии или отсутствии полезного сигнала принимается оператором также и в том случае, когда задача обнаружения решается при помощи критерия макс. отношения сигнал/помеха. Впрочем, такая постановка задачи несколько устарела. В этом случае многое зависит от личных качеств оператора. Кроме того, критерий отношения сигнал/помеха в задаче обнаружения применим лишь к сравнительно узкому классу полезных сигналов, к-рые должны по форме резко отличаться от помехи. Напр., полезный сигнал может быть коротким импульсом на фоне широкополосной помехи. Оператор заключает о присутствии полезного сигнала в том случае, если выходной сигнал содержит более или менее резко выраженный выброс на общем фоне.

Различение нескольких сигналов. Входной сигнал может состоять из шума и одного из n полезных сигналов $S_i(t)$. Требуется определить, какой из сигналов присутствует. Для этого можно вычислять апостериорные вероятности присутствия каждого из сигналов и принимать решение по наибольшей из них или использовать методы *распознавания образов*.

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Питерсон В. В., Бердсал Т. Дж., Фокс В. К., Теория обнаружения сигналов, в сб.: Теория информации и ее приложения, М., 1959; Прием сигналов при наличии шума. Сб. ст., пер. с англ., М., 1960; Вайнштейн Л. А., Зубаков В. Д., Выделение сигналов на фоне случайных помех, М., 1960; Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 2, М., 1962.

Л. П. Сысоев.

ПРИЕМНАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТРУБКА (кинескоп) (television receiver tube; tube récepteur de télévision; Bildwiedergabröhre, Bildröhre) — электронно-лучевой прибор, преобразующий электрич. видеосигнал телевиз. приемника в световое изображение. П. т. т. предназначаются для непосредств. наблюдения или проецирования черно-белого или цветного изображения и для фотографирования телевиз. изображения с экрана на фотопленку (рис. 1). Электронный прожектор

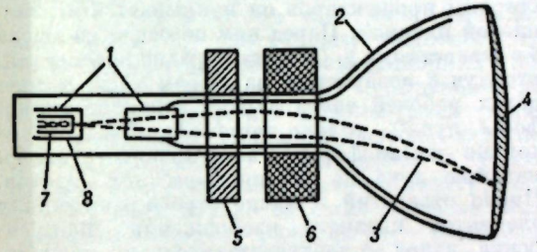


Рис. 1.

1 в колбе *2* высокого вакуума создает электронный луч *3*, электроны к-рого под действием высокого ускоряющего напряжения бомбардируют люминесцентный экран *4*, вызывая свечение люминофора. Четкое изображение светящегося пятна на экране устанавливается изменением электромагнитного поля фокусирующей катушки *5*, а отклонение электронного луча в любую точку рабочей части экрана осуществляется электромагнитными полями отклоняющей системы *6*. Видеосигнал с выходного каскада телевиз. приемника подается на катод *7* или модулятор *8*, изменяя ток луча (яркость свечения экрана при пост. ускоряющем напряжении пропорциональна току луча). На экране получается полутоновое изображение. Яркость свечения экрана регулируется изменением напряжения на модуляторе, а контрастность изображения — изменением амплитуды видеосигнала. Электронный прожектор кинескопа — триодная или тетродная электронно-оптич. система [катод, эмитирующий электроны, модулятор (управляющий электрод) и высоковольтный анод]. В триодной системе на величину напряжения запирания электронного луча и вольтамперную хар-ку кинескопа сильно влияет изменение анодного напряжения. Для устранения такого влияния применяют тетродную систему, отличающуюся от триодной наличием между модулятором и высоковольтным анодом спец. экранирующего электрода, на к-рый подается напряжение порядка 300 *в*. Ускоряющее напряжение (4—16 *кв*) подается на анод, соединенный с аквадаговым покрытием, нанесенным внутри колбы. В кинескопах применяются оксидные подогревные катоды, обладающие высокой уд. эмиссией при относительно низкой рабочей темп-ре. Электрич. поле между катодом и анодом электронного прожектора создает систему двух электронных линз, к-рая наз. иммерсионным объективом. На внутр. поверхность дна колбы кинескопа наносится тонкий слой порошкообразного люминофора — люминесцентный экран. Под действием электронной бомбардировки в месте попадания луча экран светится, т. к. электроны луча передают часть своей энергии электронам кристаллич. решетки люминофора, возбуждая их. Возбужденные электроны отдают полученную энергию в виде светового излучения определ. длины волны. Последняя зависит от хим. состава люминофоров, к-рые изготовляют из сульфидов цинка и кадмия, дающих свечение, близкое к белому. Спектральная хар-ка экрана, состоящего из смеси сульфида цинка, активированного серебром, и цинкокадмиевого сульфида, приведена на рис. 2. Переход электронов из возбужденного состояния в нормальное после прекращения возбуждения происходит в течение нек-рого времени, наз. временем послесвечения. Этот переход сопровождается уменьшением яркости послесвечения. Под временем послесвечения понимается время, в течение к-рого яркость; соответствующая моменту возбуждения, после прекращения возбуждения, упадет до 1—5%. Светоотдача люминофора составляет 7—8 *св/вт*. Время послесвечения порядка 0,001 сек. Для повышения светоотдачи люминофора и контрастности изображения на поверхность люминофора наносят алюминиевую пленку, отражающую ту часть светового потока, к-рая направлена внутрь колбы. Толщина такой пленки 0,05—0,5 *мк*. При анодном напряжении в 14—16 *кв* светоотдача алюминированного экрана на 50—60% выше, чем неалюминированного. Фокусировка электронного луча осуществляется электромагнитным или электростатич. полем. Электромагнитная фокусирующая система представляет собой катушку, через витки к-рой пропускается пост. ток. Поле катушки создает собират. электронно-оптич. линзу. Напряженность поля пропорциональна количеству ампер-витков. Для фокусировки электронного луча кинескопов требуется 400—500 *ав*. Оптимальная фокусировка и наименьшая аберрация получаются при совпадении осей фокусирующей катушки и неотклоненного луча. Электростатич. фокусировка осуществляется изменением напряжения на цилиндрич. электроде (первом аноде), расположенном между двумя также цилиндрич. электродами, находящимися под потенциалом второго анода. Напряжение первого анода, соответствующее оптим. фокусировке, лежит обычно в пределах от —100 *в* до +425 *в*. Отклонение электронного луча осуществляется электромагнитными отклоняющими системами, состоящими из двух пар катушек спец. формы, включенных так, чтобы их поля складывались. Поле одной пары катушек при пропускании через них тока спец. формы

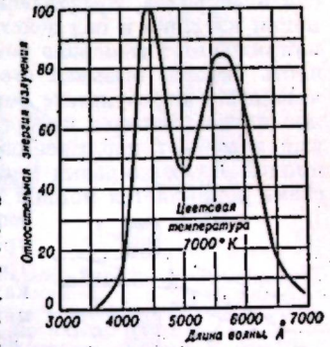


Рис. 2.

отклоняет луч в горизонт. направлении (строчная развертка), другой — в вертикальном направлении (кадровая развертка). В результате воздействия обоих полей луч образует на экране светящийся растр, состоящий из прямых параллельных линий. Отклоняющие катушки располагаются на горле кинескопа между линией перехода горла в конус и электронным прожектором. Достоинством такой системы отклонения по сравнению с электростатической является относительно малая чувствительность к изменениям анодного напряжения. Однако ей присущ эффект «ионного пятна», появляющегося в процессе работы кинескопа. Отрицат. ионы, образующиеся за счет эмиссии с катода или ионизации молекул остаточного газа вблизи катода, обладающие большей массой по сравнению с массой электронов, практически не отклоняются полем катушки и под действием ускоряющего напряжения интенсивно бомбардируют центр. часть экрана, вызывая его разрушение. Появившееся в результате бомбардировки «ионное пятно» снижает контрастность изображения и мешает наблюдению. Для устранения ионной бомбардировки электронно-оптич. система дополняется ионной ловушкой, отделяющей ионы от электронов (рис. 3). Электроны, эмитируемые катодом *1*, и отрицат. ионы проходят систему электродов (модулятор *2*, ускоряющий электрод *3*), в районе анода *4* поле пост. магнита *5* искривляет траекторию электронов *7*, а траектория ионов *8* практически не изменяется и они перехватываются анодом (*6* — траектория электронов и ионов). В кинескопах с алюминированными экранами алюминиевая пленка защищает экран от разрушения, перехватывая отрицат. ионы. Колбы кинескопов с диаметром экрана до 23 *см* — выдувные из стекла, с диаметром экрана 31 *см* и выше — штампованные. Конич. часть колбы может быть изготовлена как из стекла, так и из металла. Для увеличения контрастности изображения донья колб изготовляют из нейтрального контрастного стекла с коэфф. пропускания 65—85%.

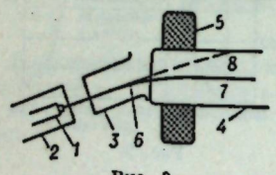


Рис. 3.

Для получения телевиз. изображений гораздо больших размеров, чем можно получить с помощью кинескопа для непосредств. наблюдения, применяются спец. проекц. кинескопы. Изображение с экрана такого кинескопа проецируется оптич. системой на большой экран. Яркость экранов проекц. кинескопов в 100—2500 раз выше яркости экранов кинескопов для непосредств. наблюдения. Разрешающая способность порядка 600 строк. Такие кинескопы используются как в проекц. телевизорах обычного типа, так и в театральном телевидении. В последнем случае изображение проецируется на экран, расположенный на расстоянии порядка 20 *м* от экрана кинескопа. Для воспроизведения цветного телевиз. изображения используются спец. кинескопы, позволяющие воспроизводить основные цвета — красный, зеленый и синий — и смешивать их в различных пропорциях, получая необходимые цвета. Такие кинескопы могут быть как трехпрожекторные, так и однопрожекторные. В трехпрожекторном кинескопе луч каждого из трех независимых прожекторов возбуждает элементы люминофора, излучающего определ. цвет (рис. 4). Каждый из прожекторов устроен точно так же, как и в кинескопах для непосредств. наблюдения черно-белого изображения, и создает лучи *6*, *7*, *8*. На катод или модулятор каждого прожектора с соответствующего выходного каскада телевиз. приемника подается свой видеосигнал — красный, зеленый и синий. Люминесцентный экран *4* состоит из отдельных точек люминофоров, излучающих красный *1*, зеленый *2* и синий *3* цвета. Три точки разных люминофоров образуют один элемент цветного изображения. Такой экран наз. мозаичным. С стороны прожекторов он покрывается алюминиевой пленкой. Перед ним помещается маска *5* с отверстиями *9*. Отверстия расположены так, что луч *8* возбуждает на любом месте в пределах рабочей части экрана только люминофор *1*, луч *7* — только люминофор *2* и луч *6* — только люминофор *3*. Маска препятствует попаданию луча на люминофоры др. цветов. Число отверстий в маске строго равно числу элементов цветного изображения. Фокусировка лучей — электростатическая, раздельная для каждого луча. Отклонение — электромагнитное — общее для всех трех лучей. Лучи отклоняются т. о., что они в любой точке рабочей поверхности экрана остаются сходящимися и сфокусированными. В однолучевом кинескопе для воспроизведения цветного изображения (рис. 5) люминесцентный экран состоит из параллельных перемежающихся полосок цветных люминофоров с красным *2*, зеленым *3* и синим *4* свечением. Перед экраном устанавливается фокусирующая сетка *5*, состоящая из ряда паралл. проволочек (они параллельны также полоскам люминофора). Нечетные проволочки соединены между собой и изолированы от четных, также соединенных между собой. При отсутствии напряжения между четными и нечетными группами луч *6* попадает на полоску зеленого люминофора в любом месте рабочей поверхности экрана. При положительном потенциале на нечетных проволочках сетки луч попадает на полоску красного люминофора, а на четных проволочках — на полоску синего люминофора. Т. к. глаз наиболее чувствителен к восприятию мелких деталей зеленого цвета свечения и наименее чувствителен к деталям синего, то центр. полосками являются полоски люминофора с зеленым светом свечения и их в два раза больше, чем полосок др. цветов. Цветное изображение на больших экранах получают методом оптич. совмещения трех изображений основных цветов, проецируемых тремя кинескопами. Устройство такого кинескопа аналогично

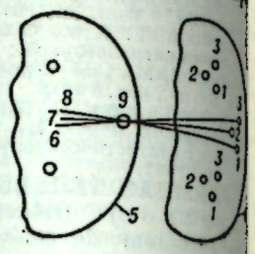


Рис. 4.



Рис. 5.

проекц. кинескопу для черно-белого изображения. Люминесцентные экраны же каждого из трех кинескопов состоят соответственно из люминофоров с красным, зеленым и синим цветами свечения. Для записи черно-белых телевиз. изображений на кинопленку также используется кинескоп. Запись осуществляется фотографированием изображений обычным киноаппаратом с временем продергивания кадра порядка 20 *мсек*.

Лит.: Зворыкин В. К. и Мортон Д. А., Телевидение. Вопросы электроники в передаче цветного и монохромного изображений, пер. с англ., М., 1956; Шмаков П. В., Основы цветного и объемного телевидения, М., 1954; Барановский В. И., Электронно-лучевые трубки, М.—Л., 1961.

В. У. Седунов.

ПРИЕМНИК УЛЬТРАЗВУКА (ultrasonic receiver; récepteur d'ultrasons; Ultraschallempfänger) — устройство для индикации или измерения УЗ (акустич.) поля. Для прямой визуальной индикации УЗ поля в жидкости часто используют различные *нелинейные эффекты в акустическом поле*, напр. рябь или фонтанчики на поверхности жидкости, появление газовых или кавитационных (см. *Кавитация ультразвуковая*) пузырьков и др. Нелинейные эффекты используются также для измерения мощности (потока энергии) или интенсивности. Очень прост и удобен для абс. измерения мощности радиометр, основанный на контроле *давления звукового поля*. Основной элемент радиометра — подвижное крылышко, по смещению к-рого судят о давлении звукового поля; в нек-рых системах к крылышку прикладывается калиброванная возвращающая сила, компенсирующая давление поля. Радиометрич. П. у. чаще всего применяются для измерения полной акустич. мощности, излучаемой источником УЗ. Мощность и интенсивность звукового поля могут быть измерены также термич. методом: приемный элемент — маленький шарик из вещества, хорошо поглощающего УЗ (воска, смолы, пластмассы); поглощенная энергия нагревает шарик до определ. темп-ры, измеряемой находящейся в нем миниатюрной термопарой; метод относительный и требует предварит. калибровки.

Для получения точных параметров принимаемого сигнала (амплитуды частотного спектра, формы самого сигнала или его огибающей и др.) звуковой сигнал преобразуется П. у. в электрический, к-рый затем анализируется и измеряется измерителями напряжений, осциллоскопами, спектрометрами и др. Все такие приемники-преобразователи могут быть разбиты на 2 группы: измерительные и контрольные. Первые применяют для исследования неизвестного звукового поля или для измерения излучения неизвестного источника УЗ (напр., структуры поля в фокальной области УЗ фокусирующей системы, интенсивности и спектра шума кавитации, формы и спектра УЗ сигналов, используемых для эхолокации различными животными — источниками УЗ). П. у. этой группы не должны искажать измеряемое поле своим присутствием, должны отличаться равномерной чувствительностью в широком диапазоне частот, отсутствием направленности, строгой линейностью преобразования и стабильностью калибровки. Для выполнения первых 3 требований сам приемный элемент должен иметь малые размеры по сравнению с длиной волны, соответствующей верхней границе рабочего диапазона частот Пьезоэлектрич. измерит. П. у. (рис. 1) при диаметре приемного элемента 3—5 *мм* имеет порог чувствительности (миним. воспринимаемое звуковое давление) неск. *бар*, при частотном диапазоне до 100 *кгц*. В области более ВЧ применяются точечные П. у. (рис. 2), в к-рых приемным элементом служит сферич. оболочка из керамики титаната бария (см. *Пьезоэлектрические материалы*) внешним диаметром 80—120 *мк*, окружающая платиновый шарик — электрод; 2-й электрод — внешний серебряный экран. Чувствительность такого П. у. ниже, чем предыдущего, но неизменна в диапазоне частот до неск. *Мгц* при практич. отсутствии направленности. При наличии в измеряемой среде высоких темп-р или кавитации в химически активных средах и др. приемный элемент должен быть защищен от воздействий, могущих его разрушить. Для этого применяют волноводные П. у., в к-рых звуковое давление из точки наблюдения передается измерит. элементу посредством звукопровода-волновода. Последний может быть твердым, жидким или газообразным; часто применяют твердые волноводы в виде стержней (рис. 3). Весь волновод, кроме принимающего кончика, изолируется от окружающей среды для того, чтобы приемный элемент не воспринимал колебания среды, омывающей боковую поверхность волновода.

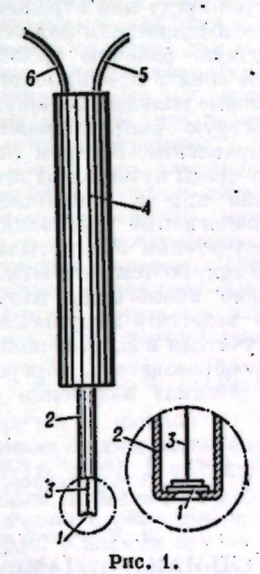


Рис. 1.

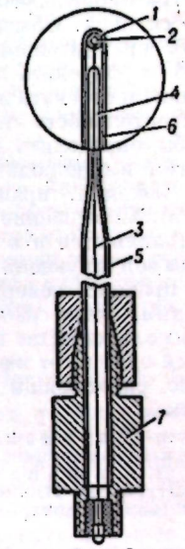


Рис. 2.

Рис. 1. Схема пьезоэлектрич. измерительного приемника УЗ: *1* — кристалл; *2* — трубочка-держатель; *3* — вывод от заднего электрода; *4* — экран, внутри к-рого находится усилитель; *5* — кабель питания усилителя; *6* — вывод измеряемого напряжения.

Рис. 2. Схема точечного пьезоэлектрич. приемника УЗ: *1* — оболочка из титаната бария; *2* — платиновый шарик; *3* — платиновая проволочка-вывод; *4* — стеклянный капилляр; *5* — стеклянная трубка; *6* — наружный серебряный экран; *7* — патрон-держатель.

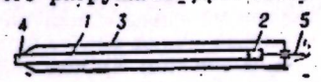


Рис. 3. Схема волноводного приемника УЗ с пьезоэлектрич. приемным элементом: *1* — металлич. стержень-волновод; *2* — пьезоэлектрич. чувствит. элемент; *3* — изолирующая рубашка; *4* — принимающий кончик; *5* — вывод напряжения от чувствит. элемента.

Вторая группа — контрольные приемники — характерна для таких применений УЗ, как

гидролокация, УЗ дефектоскопия, УЗ контроль и др. При этом в среду посылается УЗ зондирующий сигнал (обычно остронаправленный) известной формы и спектра; П. у. обнаруживает изменение амплитуды, формы или спектра прошедшего через среду или отраженного сигнала. Обычно эти приемники должны иметь сравнительно узкую рабочую полосу (чтобы пропускать лишь спектр принимаемого сигнала и отсекать шумовые помехи), большую чувствительность и острую направленность (чтобы определять направление, в к-ром находится неоднородность среды путем электрич. или механич. вращения хар-ки направленности). Совершенно аналогичные требования предъявляются и к излучателям УЗ, посылающим зондирующий сигнал, поэтому эти П. у., как правило, совершенно аналогичны излучателям. Когда работа ведется в импульсном режиме, в качестве излучателя и П. у. используется один и тот же преобразователь, попеременно работающий в режимах излучения и приема.

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; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962.

Л. Д. Розенберг.

ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНАЯ ЛАМПА (receiver-amplifier electron tube; tube électronique récepteur-amplificateur; Empfänger-Verstärkerröhre, Empfangsverstärker-Röhre) — маломощная электронная лампа для генерирования, усиления и детектирования электромагнитных колебаний, преобразования их частоты и др. целей. Применяются, как правило, в приемно-передающих радиоустройствах, электронной автоматике, телемеханике, счетно-решающих машинах и др. Подробно см. *Лампа приемно-усилительная.*

ПРИЗНАК ДЛИНЫ ЯЧЕЙКИ (single-address instruction length mark; signe de longueur de cellule; Symbolgruppe zur Bestimmung der Entladungszahl im Speicher) — группа символов в коде команды, определяющих количество разрядов ЗУ, из к-рых извлекается или в к-рые направляется информация по одному адресу. При двух фиксированных длинах ячеек (напр., в машинах «Урал», ИБМ-701) П. д. я. занимает один двоичный разряд на каждый адрес. Наличие или отсутствие единицы в этом разряде определяет полную или половинную длину ячейки. В машинах с ячейками произвольной длины П. д. я. является многоразрядная кодовая группа. При этом различают следующие способы указания длины ячейки: а) кодовой группой задается длина буферного регистра (номер регистра соответствующей длины), данные в к-рый передаются до его заполнения (ИБМ-705); б) двумя кодами, располож. в адресной части команды, указывается размер ячейки и место ее размещения в ЗУ. Напр., фиксируется адрес самого левого (старшего) разряда ячейки и ее длина (машина «Стретч»). Кроме того, размер ячейки может указываться спец. комбинацией разделит. символов, хранящихся в ячейках совместно с осн. информацией. Этот способ удобен при последоват. передаче данных.

И. А. Данильченко.

ПРИМЕСНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ (addition electrical conductivity; conductibilité électrique d'additions; Legierungs-Leitung) — см. *Электропроводность.*

ПРИМЕСНЫЕ УРОВНИ ЭНЕРГИИ (addition energy levels; niveaux d'énergie d'additions; Energiepegel der Legierung) — см. *Электропроводность.*

ПРИПАСОВЫВАНИЯ МЕТОД (method of solutions sewing; méthode des intervalles; Bereitsstellungsmethode) — метод изучения поведения динамич. системы (построение переходного процесса, исследование автоколебаний и др.), основанный на нахождении точного решения дифференц. ур-ний на отдельных участках изменения независимой переменной при согласовании между собой значений координат системы и ее производных в конце предыдущего и в начале следующего участков.

Динамика нелинейных систем может быть описана при помощи ряда линейных дифференц. ур-ний с различными коэфф. на разных участках процесса, ограниченных определ. значениями переменных. П. м. может оказаться удобным для исследования монотонных процессов, т. к. позволяет получить хорошую точность даже при не очень малом шаге интегрирования. П. м. может также применяться при отыскании периодич. решений, т. к. позволяет ограничить рассмотрение малым числом участков внутри одного периода.

При исследовании колебат. процессов по заданному нелинейному дифференц. ур-нию даже в случае, когда задачу можно свести к решению линейных ур-ний по участкам, получается настолько большое число участков, что соотношения, получаемые П. м., оказываются очень громоздкими (особенно для ур-ний высокого порядка). При построении колебат. процессов численным или графич. методами возникает опасность получить большую ошибку и даже неверный результат вследствие быстрого изменения переменной во времени. Для систем 2-го порядка в этом случае лучше применять *фазовой плоскости метод.*

В качестве примера исследуем методом припасовывания релейную систему, описываемую ур-нием

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\frac{dx}{dt}+F(x)=0, \qquad (1)$$

где $F(x)$ — релейная ф-ция,

$$F(x)=\varkappa=\begin{cases}-1 \text{ при } x>0\\ 1 \text{ при } x<0.\end{cases}$$

Сделав подстановку $dx/dy = y$, получим

$$\left.\begin{aligned}\frac{dy}{dt}+y&=\varkappa\\ \frac{dx}{dt}&=y\end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

Ур-ния (2) можно решать, считая величину $\varkappa$ постоянной на участках, где x не меняет знака, и учитывать в процессе решения изменение значения $\varkappa$ при перемене знака x.

Решая систему (2) при начальных условиях $t=0$, $x=x_0$, $y=y_0$, получим выражения для y и x в виде:

$$y=y_0e^{-t}+\varkappa(1-e^{-t}) \qquad (3)$$

$$x=x_0+y_0(1+e^{-t})+\varkappa[t-(1-e^{-t})]. \qquad (4)$$

Поскольку поведение нелинейной системы на отдельных участках описывается выражениями (3) и (4), то это позволяет применять для решения нелинейного ур-ния (1) П. м. или метод «сшивания» по участкам кривых, являющихся решениями нелинейных ур-ний.

На рис. 1 приведены графики изменения $x(t)$ и $y(t)$, построенные П. м. по ур-ниям (3) и (4) для начальных условий $t=0$, $x_0=a_0$ и $y_0=0$. Конечные значения y и x каждого предыдущего участка есть начальные зна-

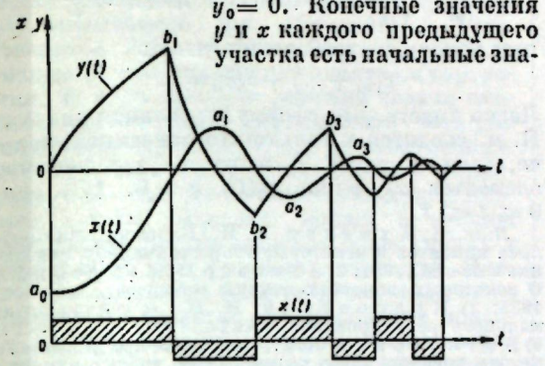


Рис. 1. Графики изменения координат релейной системы, построенные методом припасовывания.

чения y и x каждого последующего участка, причем в каждом участке свой отсчет времени, т. е. момент перемены знака x есть момент $t=0$ для последующего участка.

Для систем второго порядка нагляден и удобен П. м. при построении фазовых траекторий. В нашем примере, исключая время из выражений (3) и (4), найдем ур-ние фазовых траекторий

$$x=x_0+y_0-y+\varkappa\ln\frac{y_0-\varkappa}{y-\varkappa}. \qquad (5)$$

На рис. 2 построены решения ур-ния (1) на фазовой плоскости при начальных условиях

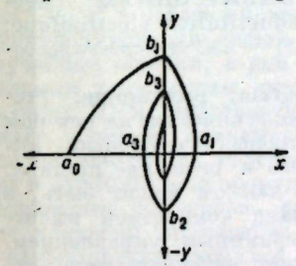


Рис. 2. Построение фазовой траектории.

$t=0$, $y_0=0$ и $x_0=-a_0$. Здесь для всей левой полуплоскости $\varkappa=1$, а для всей правой полуплоскости $\varkappa=-1$. Постоянная $\varkappa$ меняет знак при пересечении изображающей точки оси y.

Лит.: Попов Е. П., Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960; Красовский А. А., Поспелов Г. С., Основы автоматики и технической кибернетики, М.—Л., 1962.

В. И. Попов.

ПРИСВОЕНИЕ ИСТИННЫХ АДРЕСОВ (actual address attribution; attribution d'adresses réelles; Annahme der realen Adressen, Übernahme der wirklichen Adressen) — переход от программы, написанной в *символических адресах* или в условных числах, к программе в адресах, соответствующих действит. расположению программы и величин в ЗУ вычислит. машины. Как символические (условные числа), так и истинные адреса однозначно определяют команду программы или нек-рую величину. Но символич. адреса и условные числа не указывают места величины, над к-рой должна быть выполнена операция или к-рая является результатом операции в ЗУ машины. Символич. адреса указывают только, к какой части программы они относятся и какое место в этой части они занимают. Условные числа являются обозначениями величин, над к-рыми должны быть произведены действия. Благодаря этому как с помощью символич. адресов, так и с помощью условных чисел возможно написать программу, не зная распределения ЗУ машины, т. е. не зная, в каких конкретных ячейках будут расположены программа и величины.

Т. о., написание программы (или частей программы) и распределение ЗУ можно рассматривать как отдельные задачи, что имеет важное значение для всех систем *автоматизации программирования*, т. к. автоматич. распределение ЗУ может выполняться лишь при условии, что известны длины отдельных частей программы.

После того, как программа написана в символич. адресах, и после того, как произведено распределение ЗУ, может быть осуществлено П. и. а. В простейшем случае это делается следующим образом. Пусть программа состоит из трех частей (нек-рые части являются командами, а нек-рые — числами), символич. адреса к-рых соответственно

$$\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_l;\ \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_m;\ \delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n,$$

причем в каждой из трех групп символич. адреса являются последоват. целыми числами. Пусть далее, в результате распределения ЗУ установлено, что указ. части должны стоять, начиная с ячеек a_1, b_1 и d_1 соответственно. П. и. а. будет в данном случае состоять в замене символич. адресов α_i, β_i, δ_i на истинные адреса

$$a_i=a_1+(\alpha_i-\alpha_1),\quad b_i=b_1+(\beta_i-\beta_1),\quad d_i=d_1+(\delta_i-\delta_1).$$

Правила перехода от символич. адресов к истинным могут быть и более сложными. О способе П. и. а. в случае применения условных чисел см. *Программирующая программа.*

П. и. а. играет важную роль в следующих широко применяемых системах: 1) в автотизов. библиотеках стандартных программ (см. *Конкретизация стандартной программы*); 2) в программах автоматич. присвоения адресов (см. *Компиляции метод*); 3) в программирующих программах.

С. С. Камынин.

ПРОБЛЕМА МОМЕНТОВ (problem of moments; problème de moments; Probleme der Momente) — проблема, заключающаяся в определении необходимых и достаточных условий для того, чтобы наперед заданная последовательность чисел $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ являлась последовательностью моментов нек-рой ф-ции $u(t)$; при этом моментами ф-ции $u(t)$, определенной на отрезке $[0, T]$ относительно последовательности ф-ций $g_1(t), g_2(t), \ldots, g_n(t)$, определенных на том же отрезке $[0, T]$, наз. числа

$$\alpha_k=\int_0^T g_k(t)\,u(t)\,dt,\quad k=1, 2, \ldots, n.$$

Последовательности $\{\alpha_k\}$ и соответственно $\{g_k(t)\}$ могут быть и бесконечными. Решение этой задачи существ. образом зависит от класса, в к-ром ищется ф-ция $u(t)$.

П. м. наз. L-проблемой моментов, если ф-ции $g_k(t)$, $k=1, 2, \ldots, n$ измеримы и интегрируемы с p-той степенью, т. е. существуют интегралы

$$\int_0^T |g_k(t)|^p\,dt,\quad k=1, 2, \ldots, n,\quad p\geqslant 1,$$

а ф-ция $u(t)$ — также измерима и интегрируема со степенью q, $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=1$ или существует

$\max_{[0,T]}|u(t)|$, причем на норму ф-ции

$$\|u\|=\left(\int_0^T |u(t)|^q\,dt\right)^{1/q} \quad \text{или}$$

$$\|u\|=\max_{[0,T]}|u(t)|$$

накладывается ограничение $\|u\|\leqslant L$.

Необходимое и достаточное условие разрешимости П. м. можно сформулировать следующим образом: для того, чтобы существовала измеримая и интегрируемая с p-той степенью ф-ция $u(t)$, норма к-рой меньше L и последовательностью моментов к-рой была бы $\{a_k\}$, необходимо и достаточно, чтобы для всех конечных числовых систем $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n$ выполнялось неравенство

$$\left|\sum_{k=1}^n a_k\xi_k\right|\leqslant L\left(\int_0^T\left|\sum_{k=1}^n \xi_k g_k(t)\right|^p dt\right)^{1/p},$$

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=1, \quad p>1$$

или

$$\left|\sum_{k=1}^n a_k\xi_k\right|\leqslant L\int_0^T\left|\sum_{k=1}^n \xi_n g_n(t)\right|dt, \quad (p=1).$$

Решение L-проблемы моментов тесно связано с решением следующей задачи. Задано n ф-ций $g_1(t), \ldots, g_n(t)$, $0\leqslant t\leqslant T$ и n чисел $a_1, \ldots, a_n$ (не все равны нулю одновременно). Требуется найти

$$\min_{\xi_k}\int_0^T\left|\sum_{k=1}^n \xi_k g_k(t)\right|dt=\lambda^p$$

при дополнит. условии

$$\sum_{k=1}^n \xi_k a_k=1.$$

Оказывается [2], что для разрешимости П. м. необходимо и достаточно, чтобы число

$$\lambda\geqslant 1/L.$$

В терминах П. м. формулируется широкий класс задач оптим. управления для линейных систем как с сосредоточенными, так и распредел. параметрами [3, 4]. Решение последней задачи используется для *синтеза оптимальных систем* [5].

П. м. может быть сформулирована и в более общей форме. Задано n линейно независимых элементов $x_1, \ldots, x_n$ из нек-рого линейного нормированного пространства E. Нужно найти необходимые и достаточные условия для чисел $c_1, \ldots, c_n$, не все из к-рых равны нулю, чтобы существовал линейный функционал $f(x)$, удовлетворяющий соотношениям

$$f(x_i)=c_i, \quad i=1, 2, \ldots, n.$$

Если же при этом накладывается дополнит. ограничение, заключающееся в том, что норма функционала $f(x)$ не должна превышать нек-рого положит. числа L, т. е. если $\|f\|\leqslant L$, то соответствующая усложненная задача наз. L-проблемой моментов в абстрактном линейном нормированном пространстве. В [2] показано, что необходимым и достаточным условием разрешимости L-проблемы моментов является выполнение следующего условия:

$$\frac{1}{\lambda}=\inf_{\{\xi_k\}}\|\xi_1x_1+\ldots+\xi_nx_n\|\geqslant\frac{1}{L}$$

при дополнит. требовании, чтобы

$$c_1\xi_1+\ldots+c_n\xi_n=1.$$

Легко видеть, что сформулированная сначала П. м. сводится к только что описанной задаче, если за числа c_k взять a_k, а в качестве элементов x_k ф-ции $g_k(t)$, $k=0, 1, \ldots,$ $0\leqslant t\leqslant T$.

Лит.: 1) Ахиезер Н. И., Классическая проблема моментов и некоторые вопросы анализа, связанные с нею, М., 1961; 2) Ахиезер Н. И., Крейн М. О некоторых вопросах теории моментов, Харьков, 1938; 3) Красовский Н. Н., К теории оптимального регулирования, «АиТ», 1957, т. 18, № 1; 4) Бутковский А. Г., Некоторые приближенные методы решения задач оптимального управления системами с распределенными параметрами, там же, 1961, т. 22, № 12; 5) его же, Метод моментов в теории оптимального управления системами с распределенными параметрами, там же, 1963, т. 24, № 9; 6) Воробьев Ю. В., Метод моментов в прикладной математике, М., 1958.

А. Г. Бутковский

ПРОВОДИМОСТЬ ДЫРОЧНАЯ (hole conductivity; conductibilité des trous; Lochleitfähigkeit, Löcherleitfähigkeit) — см. *Электропроводность*.

ПРОВОДИМОСТЬ n-ТИПА (p-ТИПА) (n-type conductivity; conductibilité du type n; Leitfähigkeit vom n-Typ, n-Leitung) — см. *Электропроводность*.

ПРОВОДИМОСТЬ СОБСТВЕННАЯ (particular conductivity; conductibilité propre; eigene Leitfähigkeit, Eigenleitfähigkeit) — см. *Полупроводник собственный*.

ПРОВОДИМОСТЬ ЭЛЕКТРОННАЯ (electron conductivity; conductibilité électronique; Elektronenleitfähigkeit) — см. *Электропроводность*.

ПРОГРАММА (program; programme; Programm) — полное и точное описание на нек-ром формальном языке процесса обработки информации, приводящего к решению поставл. задачи. Формальным языком может быть, в частности, язык команд конкретной вычислит. машины с программным управлением. В этом случае П. может непосредственно использоваться для реализации описанного процесса в режиме автоматич. работы машины. В общем случае П., как полное и точное описание, служит надежным источником информации об алгоритме и может быть использована для решения задачи на той или иной конкретной машине при наличии комплекса спец. программ, обеспечивающих правильное истолкование информации, содержащейся в исходной программе.

Часто под термином «П.» понимается лишь частный случай П., заданной на языке команд конкретной машины. Такая П. состоит из последовательности команд, выполнение к-рых обеспечивает решение задачи. Однако, как правило, такая П., позволяя осуществить алгоритм решения задачи, является описанием более общего т. н. расширенного алгоритма, содержащего наряду с операциями, предусмотренными исходным алгоритмом, нек-рые вспомогат. операции, создающие внутри машины команды для выполнения заданного алгоритма. Создание машиной новых команд дает возможность задавать П. в весьма компактной форме. Это обстоятельство и возможность быстрой выборки любой необходимой команды позволяют в полной мере использовать высокое быстродействие внутр. перерабатывающих устройств и оперативной памяти ЭВМ.

Указанные возможности появились в результате реализации идеи «хранимой программы», высказанной Дж. Нейманом в 1945. Помещение П. в память машины сделало команды П. доступными для анализа и переработки. Т. о., в процессе решения задачи оказалось возможным видоизменять нек-рые команды выполняемой П. при помощи вспомогат. операций, т. е. переадресовывать и формировать команды. Дальнейшее усовершенствование логики вычислит. машин в значит. степени шло по линии введения более гибких и удобных форм этих вспомогат. операций. Наиболее существенным было введение индексных регистров и автоматич. формирования исполнит. адресов команды непосредственно перед ее выполнением. Наличие индексных регистров позволяет четко отделить неизменную часть П. от управляющей информации, меняющейся в процессе выполнения алгоритма, и свести к минимуму время, затрачиваемое на вспомогат. операции переработки команд П. Такое выделение неизменной части П. делает саму П. более простой и облегчает ее проверку. Кроме того, появляется возможность использовать для хранения П. односторонние ЗУ, что оказывается весьма ценным в машинах для решения спец. задач.

М. А. Шура-Бура.

ПРОГРАММА АНАЛИЗА СБОЕВ [malfunctioning (machine failure) analysis program; programme d'analyse du mauvais fonctionnement; Programmanalyse des Maschinenausfalls] — спец. служебная программа для автоматич. обнаружения и исправления случайных ошибок (сбоев) в работе управляющих ЦВМ. При функционировании любой ЦВМ имеют место случайные ошибки, к-рые приводят к неправильным результатам вычислений. В управляющих ЦВМ, работающих в реальном масштабе времени, принимаются схемные меры для повышения их надежности: резервирование и дублирование оборудования, повышение надежности элементов, введение профилактич. контроля, применение контрольных схем и самокорректирующихся и исправляющихся кодов. Однако схемные способы не гарантируют полного исключения всех сбоев в работе машины. Поэтому для повышения устойчивости применяют также и программные способы анализа и исправления ошибок.

Для эффективного применения этих способов необходимо иметь в машине достаточно полную и надежную систему схемного контроля ее функционирования. При этом ошибки обнаруживаются как программными, так и схемными способами, а анализ ошибок и автоматич. их исправление (или устранение последствий) производятся в основном при помощи П. а. с., входящей в состав рабочей программы.

П. а. с. может включаться в работу двумя способами: программным и схемным. В первом случае программист, применяя тот или иной способ контроля вычислений, заранее определяет возможный характер ошибки и ее влияние на ход вычислений и программирует переход к нужной подпрограмме исправления ошибок, входящей в состав П. а. с., или к определ. участку осн. программы. Схемным способом П. а. с. включается в работу при появлении сигнала ошибки, поступающего от к.-л. из контрольных схем. Осн. программа при этом автоматически разрывается. Каждая контрольная схема посылает сигнал сбоев на свой триггер в общем регистре неисправностей машины, и П. а. с. по содержимому этого регистра определяет характер сбоя и включает в работу соответствующую подпрограмму для его исправления.

Для автоматич. исправления ошибок в зависимости от их характера могут быть применены следующие приемы: повторение той же команды; повторение предыдущей команды; возвращение к началу автономного участка программы; возвращение к регламентирующей подпрограмме (подпрограмме-диспетчеру); прекращение использования ячеек или зон с искаженной информацией или включение подпрограммы для восстановления или обновления этой информации; переключение работы на резервную машину; выдача информации о характере сбоя оператору на пульт управления и выполнение дальнейших действий по указанию оператора. В последнем случае оператор может дать одно из следующих указаний: а) в случае первого сбоя, к-рый произошел во время выполнения одной из второстепенных подпрограмм и не мог привести к искажению важной информации, не принимать никаких мер и продолжать работу; б) включить дополнит. подпрограмму проверки информации или результатов, относительно к-рых есть подозрение, что они могут быть искажены, или вызвать их для визуального просмотра; в) при серьезном характере сбоя повторить несколько раз выполнение данной подпрограммы, а при повторении сбоев переключиться на резервную машину; г) вызвать тесты для проверки машины и ее отдельных устройств; д) включить в работу спец. анализирующую подпрограмму, к-рая будет выполнять данную подпрограмму методом интерпретации по отдельным командам с анализом результатов операций по каждой команде с целью выявления вида и места сбоя.

В общем случае работа П. а. с. включает следующие этапы: а) контроль работы и сигнализация сбоев (выполняется схемными и программными способами); б) фиксация состояния машины (запоминание содержимого регистров, АУ) в момент появления сигнала сбоя. Это необходимо для диагноза сбоя и для продолжения вычислений после устранения последствий сбоя; в) диагноз ошибки, т. е. определение участка программы, на к-ром произошел сбой, и вида сбоя (неправильное следование команд, переполнение АУ и др.); г) регистрация ошибки в спец. таблице «опыта» (для анализа характера сбоев и с целью профилактики); д) выдача информации о сбое оператору для визуального наблюдения; е) исправление или устранение последствий сбоев и продолжение вычислений.

Структурно П. а. с. состоит из собственно исправляющей программы, включающей ряд подпрограмм, к-рые устраняют последствия сбоев различных видов, и ряда функцион. блоков. В состав П. а. с. входят следующие функцион. блоки, выполняющие одни и те же ф-ции независимо от характера сбоев: 1) блок фиксации состояния машины, засылающий в спец. фиксированные ячейки ЗУ значения счетчика команд, признака ω, содержимое АУ и др. регистров; 2) блок диагноза ошибки, определяющий по содержимому счетчиков и регистров команд и регистра неисправностей вид

и место сбоя и включающий в работу соответствующую исправляющую подпрограмму; 3) блок регистрации сбоя в таблице опыта. Эта регистрация необходима для работы исправляющих подпрограмм, т. к. в зависимости от кратности (т. е. повторяемости) сбоя могут применяться различные способы исправления их последствий. Кроме того, регистрация нужна для анализа работы машины и проведения профилактич. работ; 4) блок выдачи визуальной информации оператору о виде сбоя и участке программы, на к-ром он произошел.

В общем случае ф-ции и возможности П. а. с. определяются структурой машины и, в первую очередь, имеющимися в машине схемами контроля, а также методикой построения рабочей программы. П. а. с., составленная для машины ANFSQ-7 (США), включала около 5 000 команд и обеспечивала обнаружение и исправление свыше 90% случайных сбоев.

Лит.: Doyle R. H., Meyer R. A., Pedowitz R. P., Automatic failure recovery in a digital data processing system. IBM, «J. Res. and Develop.», 1959, v. 3, № 1, p. 3—12. *А. И. Китов.*

ПРОГРАММА ВВОДА (introduction program; programme d'introduction; Programm-Einspeisung, Programm-Zuführung) — участок программы решаемой задачи, служащий для первонач. ввода ее вместе с исходными данными и размещения в ЗУ машины. П. в. позволяет исключить ввод всей программы с пульта управления и обеспечить начало работы путем передачи управления в ячейку, содержащую первую команду программы.

П. в. обычно помещается либо на отдельной *перфорационной карте*, либо в определ. зоне *перфорационной ленты* и вводится в заданные ячейки оперативного ЗУ нажатием на *пульте управления* кнопки «начальный пуск». После ввода начинает автоматически выполняться первая команда П. в. Для этого на пульте управления предусматривают спец. схемы, с помощью к-рых при нажатии кнопки «начальный пуск»: 1) на регистр команд автоматически записывается и затем выполняется команда ввода П. в. и 2) на счетчик команд устанавливается номер той ячейки, в к-рую записана первая команда П. в.

В П. в. предусматривают команды первонач. ввода программы и исходных данных в соответствующие ячейки ЗУ, а также, если это удобно, включают команды проверки правильности ввода (см. также *Ввод данных в ЦВМ*). В нек-рых машинах конструкция вводного устройства такова, что не требуется спец. П. в. Напр., существуют вводные устройства, с помощью к-рых каждый из вводимых кодов поступает в ЗУ вместе с номером той ячейки, в к-рую он должен быть записан, а последний из кодов снабжается спец. признаком конца ввода и содержит номер той ячейки, к-рой после ввода передается управление.

Примеры некоторых П. в.

1) П. в. с контролем правильности ввода. Может быть описана с помощью логич. схемы:

$$V\sum_{n}P(\sigma;\ \sigma_{вт})\ \Big|^{1}_{n}\!\!\!

этим в П. возникла задача создания удобного языка для описания алгоритмов и, естественно, задача перевода с этого языка на язык конкретной машины. Первоначально задача создания удобного языка решалась в осн. расширением языка конкретной машины путем включения в него более сложных операций, выполняемых машиной, по т. н. СП. Перевод с такого расширенного языка обеспечивался наличием подпрограмм и сводился к включению их по определ. правилам в программу. При этом совокупность имеющихся СП обычно наз. библиотекой, а этот способ П.— *библиотечных подпрограмм методом*. Он по-прежнему играет существ. роль и, как правило, входит в той или иной форме как составная часть более совершенных способов П.

В настоящее время подключение подпрограмм производится автоматически по спец. программам. Др. способ создания удобного языка — метод псевдокода, т. е. системы команд нек-рой условной машины, способной в качестве элементарных выполнять значительно более сложные операции, чем данная конкретная машина. Программа, написанная в псевдокоде, может быть переведена в обычную программу заменой каждой псевдокоманды группой команд конкретной машины. В том случае, когда такая замена проводится автоматически самой машиной по спец. программе, псевдокод обычно наз. автокодом.

Более общим подходом к задаче создания удобного языка для описания алгоритмов является операторный метод, при к-ром алгоритм расчленяется на операторы, каждый из к-рых описывается по определ. правилам. Выбор употребляемых операторов и правила их описания определяют нек-рый язык. К таким языкам относятся, напр., созданный в СССР язык логич. схем (см. *Логическая схема*, *Логическая схема программ*), разработанные в США входной язык автоматич. П. *фортран*, обобщенный язык для описания учетно-экономич. задач — *кобол* и международный язык П. «Алгол-60» (см. *Алгол*).

Тот или иной язык становится эффективным средством П. лишь после создания средств автоматич. перевода с этого языка на язык машины (т. е. автоматич. программирования). Задаче отыскания алгоритмов для такого перевода и составления программ, осуществляющих перевод (т. н. трансляторов и *программирующих программ*), посвящена значит. часть работ в области П. Нек-рые из этих работ направлены на создание общих методов и средств, позволяющих стандартизовать и автоматизировать составление трансляторов. Широко употребляется в трансляторах т. н. рекурсивное П. С переводом тесно связана задача исследования св-в алгоритма по его записи. Успех такого анализа в значит. степени определяет качество программ, получаемых в результате перевода. Существ. этапом в подготовке программы является ее проверка — *отладка программы*. Разработка методов отладки и автоматизация этого этапа является важной задачей П.

Глубокое и всестороннее исследование вопросов, встающих при разработке языков, алгоритмов перевода и отладки программ, потребовало изучения общих закономерностей, связанных с использованием автоматов и анализом алгоритмов. В ряде случаев такое изучение оказывается полезным проводить в весьма абстрактном уровне.

Возникшее в результате появления вычислит. машин П. оказало и продолжает оказывать существ. влияние на развитие логики этих машин. Многие св-ва совр. вычислит. машин являются, в сущности, аппаратной реализацией возникших в П. приемов и методов. Появились машины, внутр. язык к-рых основан на языках П. Связь здесь настолько тесная, что выбор логики машин следует рассматривать, как особую задачу П.

Оказывая влияние на развитие машин, П. всегда использовало и продолжает использовать реальные машины как источник новых проблем и идей. Так, появление машин, в составе к-рых имеются параллельно и независимо работающие устройства, поставило перед П. задачу эффективного использования новых возможностей. В этом случае программа должна составляться с учетом времени выполнения отдельных ее частей—операторов и должна приниматься во внимание возможность совмещения во времени нек-рых групп операторов. Еще более сложной оказывается задача организации одноврем. решения нескольких задач одной машиной. Существенно новые требования предъявляются к логике таких машин. Круг возникающих здесь проблем охватывается новым разделом П.— *мультипрограммированием*.

Задача организации многопрограммной работы машины решается в осн. при помощи спец. программ-диспетчеров, анализирующих возникающие в процессе работы машины ситуации и устанавливающих порядок обслуживания задач отдельными устройствами машины. Разработка алгоритмов работы программ-диспетчеров и их составление — также новое важное направление в П. Проблема здесь сводится к разработке общих методов решения этой задачи и автоматизации составления программ-диспетчеров.

Лит.: Гнеденко Б. В., Королюк В. С., Ющенко Е. Л., Элементы программирования, 2 изд., М., 1963; Королюк В. С., Ющенко Е. Л., Питания теорії і практики програмування, «Збірник праць з обчислювальної математики і техніки», т. 1, Киев, 1961; Автоматизация программирования. Сб. переводов, под ред. А. П. Ершова, М., 1961; Крицкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963; Проблемы кибернетики. Сб. ст., вып. 1, М., 1958; Китов А. И., Крицкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961.

М. Р. Шура-Бура.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ АССОЦИАТИВНОЕ (associative programming; programmation par association; assoziative Programmierung) — совокупность способов решения информационно-логич. задач, основанных на программной реализации ассоциативных связей между данными, хранящимися в памяти машины. В иностр. лит-ре этот круг вопросов известен под назв.: списковая обработка, узловая обработка, ценная адресация, метод управляющих слов.

Ассоциативные системы. Решение многих информационно-логич. задач сводится к т. н. категоризации объектов, т. е. к разделению объектов на виды, типы, классы и т. д. в зависимости от их св-в и признаков. Запись информации об объектах в память машины или поиск информации при этом ведется по значениям этих признаков. Такими задачами являются учет и планирование материально-технич. снабжения, учет кадров, задачи массового логич. управления действиями больших количеств объектов и т. д. Для их эффективного решения необходима спец. организация работы ЗУ машин, к-рая позволяла бы вести поиск информации не только по ее адресам, но и по ее признакам.

Всю информацию об объектах можно условно разделить на 2 вида: ассоциативную и собственную. К первому относятся значения тех св-в или признаков объектов, по к-рым в данной задаче производится поиск и классификация объектов. Все остальные данные об объектах, использующиеся не для их классификации и поиска, а для различных вычислений, справок и др. целей, отнесем к собств. информации.

Существуют 2 осн. пути организации машинной памяти, называемой ассоциативной (АП) и обеспечивающей быстрый поиск информации в зависимости от ее признаков. 1-й путь — схемный, состоящий в построении спец. памяти, запоминающие ячейки к-рой (частично или полностью) обладают св-вом выполнять операции сравнения. Для поиска информации в такой памяти вместо адресов задаются наборы признаков. В ячейках памяти имеющиеся признаки сравниваются с заданными, а на выход выдаются адреса ячеек, в к-рых хранится информация, обладающая заданными признаками, или непосредственно искомая информация. Такой схемный способ организации памяти наз. параллельно-ассоциативным, т. к. необходимые наборы признаков хранятся во всех ячейках памяти, и информация, обладающая заданным набором признаков, ищется одновременно и независимо по всему объему памяти. При этом непосредств. ассоциативная связь между отдельными ячейками памяти отсутствует. Св-во ассоциативности такой памяти проявляется в возможности обращения к информации по ее признакам, т. е. в характере связи между памятью и внешним потребителем информации. Одноврем. выбор из всех ячеек информации, обладающей общим набором признаков, позволяет выявить наличие ассоциативных связей между данными, хранящимися в разных ячейках.

2-й путь организации АП — программный (последовательно-ассоциативный). В соврем. условиях он более реален для практич. осуществления при больших объемах изменяющейся информации, т. к. не требует разработки спец. АП большого объема. Способ основан на использовании обычных адресных систем памяти и заключается в том, что ассоциативные связи между различными данными, хранящимися в памяти, осуществляются либо путем спец. упорядоч. расположения этих данных (или их наименований) в памяти машины, либо объединением их в последовательные цепочки при помощи специальных адресов связи, коды к-рых хранятся в тех же ячейках памяти совместно с данными. Группы последовательно расположенных данных или данных, связанных адресами связи, наз. списками. Необходимые признаки информации хранятся либо во всех объединяемых членах, либо только в вершинах списков.

Способ реализации ассоциативных связей с помощью П. а. обладает большой гибкостью, позволяя в широких пределах изменять алгоритмы поиска информации.

Варианты построения списков. Двухадресный способ, предложенный А. Ньюуеллом, Симоном и Шоу [1], использует списковые члены 2 типов: объектные и структурные. Формат обоих типов членов одинаков; они различаются спец. признаком в коде. Объектный член состоит из 3 осн. частей: а) адреса связи *Ас*, указывающего адрес следующего члена данного списка; в последнем члене списка вместо адреса связи ставится условный код *КС*, показывающий конец списка; б) именной части *И*, представляющей собой условный код или адрес собств. информации объекта, являющегося данным членом списка; в) признаковой части, содержащей признак типа члена *S* и др. вспомогат. признаки.

Структурный член содержит в себе все те же части, но вместо именной части, относящейся к какому-то объекту, в нем содержится вторая адресная часть, указывающая адрес вершины подсписка, отходящего от данного члена списка. От подсписков могут отходить другие подсписки и т. д. Любой список со всеми отходящими от него подсписками наз. списковой структурой.

В табл. 1,*а* показан пример построения двухадресного цепного списка, состоящего из 3 членов, а в табл. 1,*б* — пример списковой структуры, состоящей из осн. списка и 2 подсписков, причем 2 объекта (371 и 373) входят в оба списка. Во всех примерах нумерация объектов произвольная.

Таблица 1, *а*

Адреса ячеек	Содержимое списковых ячеек			Адреса ячеек	Содержимое ячеек с собств. информацией об объектах
	S	*И*	*Ас*		
10				62	x_1
11	0	65	14	63	y_1 } 1-й объект
12				64	z_1
13				65	x_3
14	0	62	*КС*	66	y_3 } 5-й объект
15				67	z_3
Начало списка → 16	0	68	11	68	x_2
17				69	y_2 } 2-й объект
				70	z_2

Т. о., в двухадресных списковых членах в явном виде указываются 2 адреса — адрес следующего члена списка и адрес объекта, являющегося данным членом списка. Следовательно, такой способ построения списков приводит к значит. увеличению объема памяти.

Таблица 1,6

	Адреса ячеек	Содержимое списковых ячеек S	П	Ас	Адреса ячеек	Содержимое ячеек с собств. информацией в объектах
Начало осн. списка →	33	1	38	КС	367	α_1 } 1-й объект
	34	0	369	КС	368	β_1 }
	35	0	371	40	369	α_{10} } 10-й объект
	36	0	373	39	370	β_{10} }
	37	1	36	34	371	α_4 } 4-й объект
	38	0	367	37	372	β_4 }
	39	0	371	КС	373	α_{30} } 30-й объект
	40	0	373	33	374	β_{30} }

Гнездовой способ отличается тем, что слова, представляющие членов одного списка (списковые слова), располагаются подряд в последоват. ячейках памяти. Адреса связи в таком случае не нужны, и в списковых словах указываются только имена (адреса) объектов, являющихся членами данного списка, и нек-рые дополнит. признаки. Однако состав различных списков переменный, что не позволяет заранее точно определить размер списков и выделить им соответствующие места в памяти. Поэтому данный вариант реализуется не в виде сплошных последовательностей списковых ячеек, относящихся к одному списку, а в виде гнезд слов одного списка. Внутри гнезда списковые слова размещаются подряд, а связь между гнездами осуществляется при помощи адресов связи. Отсюда происходит назв. — «гнездовой» способ. Он обладает нек-рым преимуществом перед двухадресным вариантом в отношении экономии ячеек памяти и более быстрого просмотра списковых членов внутри гнезда. При гнездовом способе списковые слова содержат имена объектов и 3 признака: признак структурного или объектного слова S, признак переходного слова $П$, осуществляющего связь между гнездами, и признак конца списка $КС$. В табл. 2 приведена списковая структура, построенная по гнездовому способу. В структурных словах (S-1) вместо имени объекта указывается адрес вершины ответвляющегося подсписка. Следующий член осн. списка располагается за структурным словом.

Таблица 2

	Адреса ячеек	Содержимое списковых ячеек S	П	КС	И	Адреса ячеек	Содержимое ячеек с собств. информацией
Начало осн. списка →	21	0	0	0	626	620	α_3 } 3-й объект
	22	0	0	0	620	621	β_3 }
	23	0	0	1	622	622	α_8 } 8-й объект
	24	0	0	0	628	623	β_8 }
	25	0	0	1	620	624	α_{30} } 30-й объект
	26					625	β_{30} }
	27	0	0	0	624	626	α_2 } 2-й объект
	28	1	0	0	21	627	β_2 }
	29	0	1	0	24	628	α_5 } 5-й объект
						629	β_5 }

При **узловом способе** все списковые слова, представляющие один и тот же объект в разных списках, располагаются в памяти машины не независимо друг от друга, как это имеет место при двухадресном и гнездовом вариантах, а совместно в одной ячейке или группе последовательно располож. ячеек памяти, образующих т. н. ассоциативные узлы. При этом вместе с ассоциативными узлами может располагаться либо вся собств. информация о данном объекте (формуляр объекта), либо только отсылочный адрес, указывающий местоположение формуляра объекта в памяти машины. Объединенное размещение ассоциативных узлов и формуляров объектов удобно при пост. составе узлов и формуляров; раздельное расположение — при их перем. составе. В узловых списковых структурах (с объединенным или раздельным расположением узлов и формуляров) нет необходимости повторять в каждом списковом слове, входящем в состав узла, адрес формуляра данного объекта. В ассоциативных узлах указываются адреса связи, определяющие положение следующих членов соответствующих списков, а также признаки объектов, по к-рым производится их поиск в списках. Для каждого объекта образуется свой ассоциативный узел и свой формуляр, содержащий собств. информацию о данном объекте.

Ассоциативные узлы позволяют строить многосвязные пересекающиеся списковые структуры, отражающие наличие сложных ассоциативных отношений между большим количеством различных объектов. Каждой отдельной цепочкой адресов связи объединяются в единые списки те объекты, у к-рых имеются одинаковые значения определ. признаков.

В табл. 3 показана схема построения узловой списковой структуры с раздельным расположением ассоциативных узлов и формуляров объектов (вершины списков обведены прямоугольниками). В ячейках размещается

Таблица 3

	Адреса ячеек	Содержимое ячеек ассоциативных узлов		Адреса ячеек	Содержимое ячеек формуляров объектов
Ассоциативные узлы	105	1031	107,1	1025	α_{10} } 10-й объект
	106	111,2	КС	1026	β_{10} }
	107	1029	КС	1027	α_2 } 2-й объект
	108	109,2	109,3	1028	β_2 }
	109	1025	105,1	1029	α_{40} } 40-й объект
	110	КС	105,3	1030	β_{40} }
	111	1027	109,1	1031	α_8 } 8-й объект
	112	107,2		1032	β_8 }
	113			1033	

по 2 списковых слова (адреса связи), каждый узел располагается в 2 ячейках, и левые половины первых ячеек узлов отводятся под адреса их формуляров, к-рые можно рассматривать как условные имена объектов. В качестве адресов связи указываются адреса первых ячеек ассоциативных узлов. Если места списковых слов внутри узла не закреплены постоянно за определ. списками, то необходимо в адресе связи указывать положение спискового слова в узле. В примере для этой цели служит младший разряд адреса связи (после запятой), указывающий номер спискового слова (адреса связи) в узле, соответствующего данному списку. Обычно адреса связи, относящиеся к одному списку, располагаются в ассоциативных узлах на одинаковых местах, и в этих случаях указывать дополнительно номера списковых слов не требуется.

В примере табл. 3 в ассоциативных узлах указаны только адреса связи без признаков объектов, и поэтому поиск объектов в данном случае может производиться либо по их именам (адресам формуляров), либо по данным, содержащимся в формулярах.

При практич. построении списковых структур рассмотр. типов (двухадресный, гнездовой, узловой) используются нек-рые дополнит. приемы, в частности, иногда применяют спец. ячейки, играющие роль заголовков списков (т. н. фиксаторы). С помощью фиксаторов можно вести учет числа членов в списках, осуществлять переходы к подспискам, обеспечивать возможность повторного использования ячеек гнездовых списков, освободившихся после исключения выбывших членов, просматривать и наращивать гнездовые списки. Для просмотра списков и списковых структур, а также включения и исключения членов списков предусматриваются спец. операторы, реализуемые в машинах, либо при помощи подпрограмм, либо спец. схемами.

П. а. удобно применять при логич. обработке информации, существенно изменяющейся по своему составу и объему, когда процессы поиска и обработки имеют иерархич. и рекурсивный характер.

В общем случае при П. а. не требуется производить жесткого распределения памяти. Оно осуществляется автоматически в ходе процесса обработки в соответствии с фактич. поступлением данных.

П. а. позволяет значительно (в сотни и тысячи раз, в зависимости от количества обрабатываемых объектов) ускорить поиск данных, их анализ и обработку. Из работ, выполненных в СССР, наиболее близко к П. а. подходит методика адресного программирования, разработанная в Вычислительном центре АН УССР.

Лит.: 1) Newell A. and Tonge F. M., An introduction to information processing language V, «Commun. Assoc. Comput. Machinery», 1960, v. 3, № 4, p. 205; 2) Cooper D. C., Whitfield H., ALP: An autocode list-processing language, «Comput. J.», 1962, v. 5, № 1; 3) Gelernter H., Hansen J. R., Gerberich C. L., A fortran-compiled list-processing language, «J. Assoc. Comput. Machinery», 1960, v. 7, № 2, 4) Ющенко Е. Л., Адресное программирование и особенности решения задач на машине «Урал», Киев, 1960; 5) Гнеденко Б. В., Королюк В. С., Ющенко Е. Л., Элементы программирования, 2 изд., М., 1963. *А. И. Китов.*

ПРОГРАММИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА (programming programme; programme programmant; programmierendes Programm) — программа, при помощи к-рой вычислит. машина строит программы по заданным схемам программ, составленным из стандартных операторов (см. *Автоматизация программирования, Программирующих программ метод, Операторы стандартные*). Всякая П. п. рассчитана на определ. набор стандартных операторов и на определ. форму описания этих операторов. Эта форма — т. н. входной язык П. п., выбирается такой, чтобы программисту было удобно описывать схемы программ. Входной язык предполагает набор осн. символов, из к-рых по определ. правилам составляются «слова» — понятия этого языка. Осн. символы — это буквы, цифры и спец. значки (знаки операций, различные скобки и др.). Примерами «слов» входного языка могут служить переменные (буква или комбинация букв), числа (цифра или комбинация цифр), операции (знаки операции), формулы (комбинация перем. чисел, операций и скобок). Ввод в вычислит. машину схемы программы, описанной на входном языке, обычно производится при помощи клавишного устройства, к-рое при нажатии клавиши с изображением символа перфорирует соответствующий ему набор из нулей и единиц на перфокарте. П. п., как правило, оперирует не с символами

входного языка, а с понятиями — «словами». При этом часто бывает важно знать, к какой группе понятий относится данное «слово», т. е. является ли оно переменной или операцией и, безразлично, напр., какую именно переменную оно собой представляет a или b. В связи с этим работа П. п. начинается с перевода исходной информации на внутр. язык П. п., в к-ром наборами из нулей и единиц (двоичными числами) обозначаются уже не символы, а «слова». Эти числа (т. н. условные числа) выбираются так, чтобы по ним легко было определить, к какой группе понятий относятся обознач. ими «слова». Обычно неск. старших цифр условного числа являются номером группы, а младшие цифры служат для различения «слов», относящихся к одной и той же группе понятий.

П. п. слишком велика для того, чтобы она могла целиком разместиться в оперативной памяти вычислит. машины. Поэтому П. п. разбивается на части — блоки, к-рые записываются во внешнюю память и оттуда вызываются по одному. Обычно разбивка на блоки производится т. о., чтобы за все время работы П. п. каждый блок вызывался не более чем один раз.

В общих чертах работа П. п. протекает примерно следующим образом. Первым работает блок ввода, к-рый вводит исходную информацию в память и переводит ее на внутр. язык П. п. Затем вызываются блоки, реализующие алгоритмы программирования. Каждый блок обрабатывает информацию для всех операторов определ. типа и вызывается в оперативную память, если в схеме программы имеются операторы этого типа. При этом сначала вызываются блоки, работа к-рых целиком основана на информации, заданной программистом (напр., блок программирования ф-л), а затем блоки, информацией для к-рых служат команды, написанные др. блоками. К последним относится, напр., блок программирования операторов переадресации.

Для связи между блоками П. п. служат стандартные ячейки, в к-рых каждый блок получает информацию о деятельности предыдущих блоков и оставляет информацию о своей работе. В одной стандартной ячейке стоит номер ячейки, содержащей последнюю напис. команду составляемой программы, чтобы можно было узнать, куда нужно писать новую команду. В другой — хранится номер ячейки, содержащей последнюю запасенную константу, к-рой будет пользоваться будущая программа, и т. д.

Важную роль играет группа стандартных ячеек, т. н. таблица хар-к операторов (ТХО). Каждая строка этой таблицы соответствует одному оператору схемы программы. При вводе исходной информации в эту строку заносится порядковый номер оператора в схеме программы, его тип и номера ячеек памяти, в к-рых располагается информация об этом операторе, переведенная на внутр. язык П. п. Блоки П. п. просматривают все строки ТХО и выбирают с ее помощью по очереди все операторы нужного типа. После того как оператор запрограммирован, в соответствующую ему строку вместо номеров ячеек, содержащих информацию об операторе, заносятся номера ячеек, в к-рых располагается получ. группа команд. После того как запрограммированы все операторы схемы программы, работает блок расстановки, к-рый собирает группы команд в единую программу в порядке возрастания номеров операторов, к-рым они соответствуют. Предыдущие блоки писали в адресах составляемых команд условные числа. Теперь можно заменить их на истинные адреса ячеек памяти машины. Для этого вызывается блок *присвоения истинных адресов*. Условные числа, обозначающие переменные, он заменяет на истинные адреса в соответствии с распределением памяти. Истинные адреса, соответствующие условным числам, обозначающим команды к.-л. операторов, находятся при помощи таблицы хар-к операторов, рабочие ячейки располагаются непосредственно за программой (теперь ее длина известна) и т. д. После присвоения истинных адресов работает последний блок П. п.— блок вывода. Кроме составленной программы, выдается ТХО, чтобы можно было находить группу команд, соответствующую каждому оператору.

Представление о работе блоков П. п., программирующих операторы различных типов, можно получить при рассмотрении алгоритма программирования арифметич. ф-л и операторов переадресации. Программирование счета по к.-л. ф-ле начинается с нахождения действия, к-рое можно выполнить первым. Такое действие наз. возможным. Для того, чтобы его найти, можно, напр., перебирать все символы ф-лы слева направо, рассматривая каждый раз пятерку стоящих подряд символов. Обозначим их s_1, s_2, s_3, s_4 и t_5, а всю пятерку s. Считается, что s содержит информацию о действии, если s_4 есть условное число переменной (или другого «слова», могущего быть аргументом действия,— напр., числа), а s_3 — условное число операции. Если при этом s_2 — также условное число переменной, то s содержит информацию о действии над двумя аргументами, в противном случае — над одним аргументом. Действие над двумя числами возможно (т. е. его можно выполнять), если s_1 — условное число открывающей скобки или операции, ранг к-рой ниже, чем ранг операции s_2, а s_5 — условное число закрывающей скобки или операции, ранг к-рой не выше, чем ранг операции s_2. Напр., «$(a+a\times$» содержит информацию о действии, но его нельзя выполнить, т. к. сначала должно быть выполнено умножение b на следующий за ним символ. Действие, содержащееся в пятерке «$-a+b)$», также невозможно. Зато пятерка «$+a\times b:$» содержит информацию о возможном действии, т. к. ранг сложения ниже, чем ранг умножения, а ранг деления такой же. Для того чтобы было возможным действие над одним аргументом, достаточно, чтобы s_5 было условным числом закрывающей скобки или операции, ранг к-рой не выше, чем ранг s_2. Напр., действие «$\times(-a+$» возможно, а действие «$+(-a\times$» невозможно. После того как возможное действие найдено, в программу запосится команда, задающая выполнение этого действия и засылку результата в свободную рабочую ячейку. Информация об этом действии (s_2, s_3 и s_4 или s_3 и s_4) стирается в ф-ле и на ее место записывается условное число рабочей ячейки, в к-рую помещен результат. Если теперь вернуться к началу алгоритма, то можно найти следующее возможное действие и т. д., пока не будет запрограммирована вся ф-ла.

Пусть нам надо запрограммировать счет по ф-ле:

$$x=(a+b\times c-d\times e):(1+b\times c+a).$$

Первая пятерка, содержащая возможное действие, есть «$+b\times c-$». После написания команды «$\times bcr_1$» ф-ла примет вид:

$$x=(a\times r_1-d\times e):(1+b\times c+a).$$

Теперь возможное действие содержится в первой же пятерке «$(a+r_1-$» и после написания следующей команды «$+ar_1r_1$» ф-ла примет вид: $x=(r_1-d\times e):(1+b\times c+a)$ и т. д. Очевидно, что так можно запрограммировать всю ф-лу, если не забывать вовремя стирать скобки, когда они становятся ненужными, т. е. когда между ними остается только одно условное число. Получаемая т. о. программа не может нас удовлетворить, т. к. одна и та же операция $b\times c$ будет в ней выполняться дважды (для числителя и знаменателя отдельно). Чтобы избежать этого, в алгоритмах программирования ф-л предусматривается экономия действий. Так, напр., после написания каждой команды просматривается ф-ла до конца и каждое возможное действие сравнивается с только что выполненным. Если оно ему эквивалентно, то информация о нем также стирается и заменяется той же самой рабочей ячейкой. Тогда ф-ла после написания команды «$\times bcr_1$» примет вид: $x=(a+r_2-d\times e):(1+r_1+a)$, а после написания команды «$+ar_1r$»

$$x=(r_2-d\times e):(1+r_2).$$

После этого будут написаны команды

$$\times der_1, \quad -r_2r_1r_1, \quad +1r_2r_2, \quad :r_1r_2x,$$

а ф-ла будет сокращаться в следующей последовательности:

$$x=(r_2-r_1):(1+r_2)$$
$$x=(r_1):(1+r_2) \quad x=r_1:(1+r_2)$$
$$x=r_1:(r_2) \quad x=r_1:r_2.$$

Информацией для оператора переадресации служат номера операторов и номер параметра, по к-рому их нужно переадресовывать. Кроме того, П. п. должна иметь возможность определить, какие переменные зависят от этого параметра и как они от него зависят, т. е. насколько должен быть увеличен (или уменьшен) их адрес при переходе к следующему значению параметра. Будем считать, что к моменту начала работы блока программирования операторов переадресации эта зависимость выражена в таблице зависимости от параметра (ТЗП). Каждая строка ТЗП содержит условное число переменной, адрес к-рой зависит от данного параметра, и число (положительное или отрицательное), к-рое должно быть прибавлено к адресу этой переменной при переходе к следующему значению параметра. Найдя по таблице хар-к операторов информацию для оператора переадресации, блок программирования операторов переадресации вновь возвращается к этой таблице, но на этот раз затем, чтобы найти команды, соответствующие тем операторам, к-рые нужно переадресовать. Каждый адрес каждой из этих команд сравнивается со всеми условными числами из ТЗП для данного параметра. Пусть, напр., условное число, находящееся во втором адресе 5-й команды оператора номер 3, имеется в ТЗП и ему соответствует число $+2$, а условные числа из остальных адресов этой команды не имеются в ТЗП. Тогда при составляемой программе запасается константа, содержащая $+2$ единицы во втором адресе, и в оператор переадресации вносится команда прибавления этой константы к 5-й команде 3-го оператора. Если же оказывается, что от параметра зависят переменные, находящиеся, напр., в 1-м и 3-м адресах, то запасается константа, содержащая соответствующие числа в единицах 1-го и 3-го адреса. Программирование оператора переадресации (как и всякого другого оператора) заканчивается занесением в таблицу хар-к операторов адресов только что написанных команд.

Лит.: Китов А. И. и Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961, гл. 10; Ершов А. П., Программирующая программа для быстродействующей электронной счетной машины, М., 1958; Система автоматизации программирования, под ред. И. П. Трифонова и М. Р. Шура-Бура, М., 1961; Камынин С. С., Любимский Э. З., Шура-Бура М. Р., Об автоматизации программирования при помощи программирующей программы, в сб.: Проблемы кибернетики, под ред. А. А. Ляпунова, вып. 1, М., 1958. *Э. З. Любимский.*

ПРОГРАММИРУЮЩИХ ПРОГРАММ МЕТОД (programming programme method; méthode des programmes programmants; Methode der programmierenden Programme) — метод *автоматизации программирования*, предусматривающий автоматич. составление программы по схеме программы, состоящей из операторов определ. типов. Для каждого из операторов, составляющих схему программы, выбирается удобное и по возможности короткое описание и разрабатываются алгоритмы для переработки этих описаний в группы команд, т. е. для их перевода «на язык машины». Программа, реализующая эти алгоритмы и т. о. переводящая описание каждого оператора схемы программы в соответствующую ему группу команд и объединяющая эти группы в единую программу, наз. *программирующей программой*. Для произвольно определяемого оператора в программе, т. е. для любой группы команд, невозможно найти удобное короткое описание. Однако программа обычно легко разбивается на группы операторов, связанных между собой единством выполняемых ими ф-ций. Операторы одной группы реализуют счет по различным ф-лам, в др. группу входят операторы, определяющие дальнейший путь вычислений, и т. д. При этом различные программы, составл. для решения задач из одного класса (напр., задач численного анализа), распадаются на операторы, относящиеся к одинаковым группам, и общее число таких групп невелико. Операторы, относящиеся к одной функцион. группе, наз. операторами одного типа. Способы удобного описания выбираются отдельно для операторов каждого типа.

Для программирования операторов различных типов, естественно, нужны и отдельные алгоритмы. Набор таких алгоритмов определяет набор типов операторов, допускаемых в схемах программ при использовании данной программирующей программы. Операторы допускаемых типов наз. стандартными (см. *Операторы стандартные*). Т. о., система команд вычислит. машины заменяется набором обобщ. команд — стандартных операторов, при помощи к-рых программист описывает алгоритм вычислений. Каждая программирующая программа составляется для задач определ. класса и оценивается тем, насколько

алгоритмы решения этих задач удобно описываются при помощи допускаемых ею операторов. Кроме того, алгоритмы программирования должны быть такими, чтобы составляемая программа получалась не на много длиннее и требовала не на много больше времени для счета, чем аналогичная программа, составленная вручную опытным программистом. Нек-рые программирующие программы допускают также использование операторов, описанных непосредственно при помощи команд вычислит. машины. Такие операторы наз. нестандартными и употребляются для описания частей программ, к-рые либо не могут быть удобно описаны при помощи стандартных операторов, либо имеются в библиотеке стандартных программ, т. е. запрограммированы заранее. *Э. З. Любимский.*

ПРОГРАММНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМА (program control system; système de règlage à programme; Programmregelung eines Systems) — САР, у к-рой регулируемые величины должны изменяться по определенным законам, заданным в виде желаемых ф-ций времени или к.-л. параметра, характеризующего работу системы, с помощью спец. программного устройства (см. *Регулирование программное*). Для пояснения принципа действия П. р. с. рассмотрим регулирование темп-ры печи для термообработки металла (рис. 1). Темп-ра θ в печи измеряется

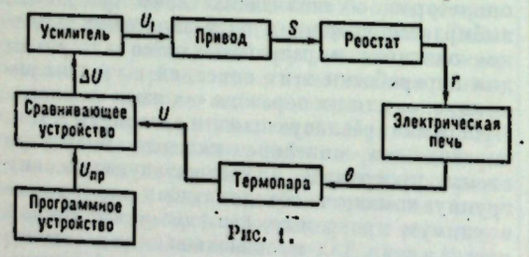


Рис. 1.

термопарой, к-рая выдает электрич. напряжение U. Т. к. темп-ру в печи необходимо изменять по заданному закону во времени, согласно режиму термич. обработки металла, то надо вводить напряжение $U_{пр}$, к-рое соответствует программному значению темп-ры $\theta_{пр}$. Для этой цели имеется программное устройство, изменяющее положение движка потенциометра по заданному во времени закону (рис. 2). Потенциометр питается постоянным током. Сюда же поступает напряжение

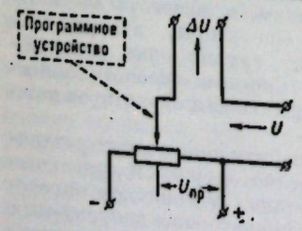


Рис. 2.

от термопары U и сравнивается с программным $U_{пр}$. Разность напряжений $\Delta U = U - U_{пр}$, пропорциональная отклонению действительного значения темп-ры θ от требуемого значения $\theta_{пр}$, наз. рассогласованием.

Напряжение рассогласования ΔU мало и недостаточно для приведения в действие электродвигателя. Поэтому ΔU усиливается до определ. значения U_1 и поступает на привод, к-рый производит перемещение реостата на величину S и этим увеличивает или уменьшает сопротивление r в электрич. цепи нагрева печи. Ток в цепи нагрева уменьшается или увеличивается и соответственно темп-ра θ в печи уменьшается или увеличивается.

В этом случае САР работает в следящем режиме, т. к. в процессе регулирования производится сравнение величин θ и $\theta_{пр}$. Если оказывается, что $\theta < \theta_{пр}$, то необходимо увеличить θ, если $\theta > \theta_{пр}$, то необходимо уменьшить θ.

Т. о., система работает на уничтожение рассогласования $\Delta\theta = \theta - \theta_{пр}$, т. е. она автоматически следит за задаваемым программным значением. Разница между системой программного регулирования и следящей системой сводится к тому, что при программном регулировании регулируемая величина изменяется по определ. заданной программе, а в следящей системе регулируемая величина воспроизводит произвольное, заранее неизвестное ей действие задающего устройства.

Рассмотренный принцип работы распространяется на системы программного регулирования др. физ. величин: давление в гермет. камере, скорость вращения вала двигателя, курс и высота полета самолета и т. п.

Лит.: Попов Е. П., Автоматическое регулирование. Основные понятия, 3 изд., М., 1959; его же, Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, Х., 1959. *В. И. Попов.*

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (program control; commande à programme; Programmsteuerung) — управление к.-л. процессом по заданному закону — п р о г р а м м е. В простейшем и наиболее распростран. случае программа не зависит от результатов ее выполнения в процессе всего П. у. или его нек-рого этапа. Для управления технич. объектами программа задается аналоговой записью — кривыми на бумаге, кино- и магнитной ленте, в виде профилирования шайб, кулачков и т. п. — или кодовой записью — на магнитной ленте, пробивками отверстий на перфолентах или перфокартах и т. д.

Для управления процессом статич. информация программоносителя преобразуется в динамич. форму — сигнал управления как ф-ция времени — с помощью барабанных и ленточных тяжных механизмов, с часовым, электрич. и др. приводами. Сигнал управления может быть непрерывным или дискретным. Наиболее употребительна импульсная числовая запись унитарным кодом и импульсная или непрерывная гармонич. запись фазомодулированными сигналами. Сигнал управления преобразуется в заданные программой движения при помощи воспроизводящих устройств с разомкнутой или замкнутой цепью воздействий.

В качестве воспроизводящих устройств систем П. у. с разомкнутой цепью чаще всего применяются импульсные синхронно-реактивные шаговые двигатели. В П. у. с замкнутой цепью информация сигнала управления с помощью датчиков сравнивается с информацией о текущем значении управляемой величины. При программе, не зависящей от результатов ее выполнения, внешний контур П. у., включающий программоноситель, всегда остается разомкнутым. Кодовая информация в процессе преобразования в сигнал управления предварительно дешифруется. При этом в ряде случаев, напр. при П. у. металлорежущими станками, возникает необходимость вычисления большого числа промежуточных точек по опорным точкам, заданным

программой. Для этого используются спец. вычислит. устройства — *интерполяторы*.

Наибольшее развитие П. у. получило в машиностроении, применительно к фрезерным, токарным и др. станкам, а также в автоматич. линиях. П. у. находит применение в прокатных станах и в ряде др. машин. Системы П. у. делятся на два класса: 1) системы координатного управления для стартстопного перемещения рабочих органов механизма из одного положения в др., с остановкой в каждом положении, для выполнения технологич. операций; 2) контурные системы с обработкой непрерывных траекторий плоских и пространственных, напр. с целью обработки изделий сложной формы.

Воспроизводящие устройства систем П. у. станками являются разновидностью *следящих приводов* и отличаются весьма высокими требованиями к динамич. и статич. точности. Программа для станков изготовляется с применением цифровых вычислит. устройств универсальных или спец. аналоговых установок, а также путем записи образцового цикла при ручном управлении станком. Вычислит. устройства систем П. у. могут выполнять, кроме интерполирования, и др. вычисления: поправки на радиус инструмента, вычисление оптим. технологич. скоростей и т. п., и вместе со следящими приводами являются основной частью систем П. у. станками.

В машиностроении системы П. у. имеют основное значение при автоматизации произ-в с индивидуальным и мелкосерийным выпуском изделий или с частым изменением их конструктивных и технологич. параметров. Основной технико-экономич. эффект определяется экономией времени на подготовит. и переналадочные операции, увеличением точности и однородности изготовления изделий. С кинематич. точки зрения системы П. у. приводят к новому типу машин, в к-рых все кинематич. преобразования движения вычисляются машинами, в результате создается рабочее движение с помощью воспроизводящих следящих приводов.

Лит.: Булгаков А. А., Программное управление металлорежущими станками, М.—Л., 1959; Вопросы программного управления металлорежущими станками, Сб. ст., М., 1959; Чернышев А. В., Яхин А. Б., Автоматизация обработки на металлорежущих станках с применением программного управления, М., 1959; Кучер И. М., Станки с цифровым программным управлением, [Л.], 1961. *А. А. Булгаков.*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЦВМ [digital computer structure designing; etablissement du projet de structure de calculatrice numérique; Entwurf der Struktur elektronischen Ziffernrechner (Digitalrechner)] — первый этап проектирования ЦВМ, включающий в себя определение вычислит. параметров, системы команд и общей структурной схемы машины. К осн. вычислит. параметрам ЦВМ относятся: быстродействие, разрядность и способы представления чисел, емкости ЗУ различных видов, скорости работы вводных и выводных устройств.

Проектирование структуры ЦВМ осуществляется, как правило, методом последоват. приближений. Осн. исходными данными для этого являются, с одной стороны, состав задач и алгоритмов, для реализации к-рых предназначается проектируемая машина, и, с др. стороны, осн. хар-ки системы *логических элементов*, на базе к-рых предполагается строить данную машину. На основе анализа этих данных определяются в первом приближении состав осн. устройств, схема их соединения, вычислит. параметры и система команд машины. Затем производится экспериментальное программирование типовых задач, анализ получ. программ и их моделирование (на существующих ЦВМ), по результатам к-рых определяются времена решения задач, объемы программ, степень использования различных команд и их эффективность, объемы ЗУ. На основе этих данных уточняются параметры, система команд и структура машины и затем задачи вторично программируются (при этом могут программироваться только наиболее характерные или сложные участки задач). Получающиеся на этом этапе результаты позволяют обычно произвести окончат. выбор осн. хар-к машины; отдельные параметры машин могут уточняться и на более поздних стадиях разработки.

Структура специализиров. машин обычно в значит. степени зависит от характера задач и особенностей алгоритмов, в частности от возможности их расчленения на независимые параллельные ветви, к-рые могут выполняться одновременно с помощью автономных вычислит. блоков. Отдельно исследуется вопрос о требуемой разрядности и способах представления данных. Разрядность АУ и ячеек памяти определяется на основе требований к точности решений с учетом дополнит. разрядов, необходимых для исключения ошибок округления.

Способы представления данных в машине определяются в основном ее назначением. В зависимости от характера решаемых задач используются следующие способы представления величин: с фиксированной запятой, с плавающей запятой, с переменной длиной слова, с разделением слова на слоги (как правило, по 6 двоичных разрядов), а также комбинации указанных способов.

Емкость и состав ЗУ определяются на основании оценки связности алгоритмов, т. е. макс. объемов данных, к-рые требуется одновременно хранить в процессе вычислений и периодичности использования данных различных видов.

Определение осн. параметров машины тесно связано с построением системы операций и команд машины. В универс. машинах небольшой и ср. производительности общее количество различных машинных операций измеряется в пределах от 32 до 64. В мощных машинах («Стретч», «Атлас», IBM-3060 и др.) количество различных операций превосходит 100 и больше.

Формат команды определяет структуру и размер машинного слова команды (количество разрядов) и распределение ф-ций между различными частями слова команды. Машины имеют, как правило, один основной и один или неск. дополнит. форматов. В формате команды имеется в общем случае 4 осн. части, называемые полями: операционная, индексная, признаковая и адресная. Операционное поле — группа двоичных разрядов (от 5 до 9 в разных машинах), служащая для представления кодов операций. Индексное поле состоит из одной или двух групп разрядов, представляющих собой короткие адреса (от 1 до 6 разрядов) и служащих для указания адресов индексных регистров, используемых

для изменения адресов команд. Признаковая часть команды содержит ряд спец. признаков, модифицирующих действия команды. Наиболее важными признаками являются: а) признак непрямой адресации, при к-ром адрес в команде является не адресом операнда, а адресом ячейки, в к-рой хранится адрес операнда; б) признак числового значения, при к-ром адресная часть команды используется не как адрес, а как число — операнд; в) признак контроля кода команды на четность, служащий для проверки правильности выборки и передачи команд.

Адресная часть включает в себя осн. адрес (или неск. адресов) операнда и в нек-рых случаях дополнит. группы разрядов, определяющие положение величины внутри ячейки. Дополнит. группы разрядов в адресной части команды могут указывать, напр., значение старшего разряда и количество разрядов, занимаемых величиной, а также величину и направление сдвига этих разрядов при передачах из ОЗУ в АУ или наоборот.

П. с. ЦВМ имеет целью найти такую организацию машины, к-рая обеспечивала бы выполнение ею заданных ф-ций при миним. объеме оборудования, высокой надежности и удобстве эксплуатации. Осн. тенденции в развитии структуры ЦВМ: макс. повышение производительности оборудования путем совмещения операций и исключения простоев отдельных устройств, упрощение подготовки (программирования) задач благодаря использованию более сложных и «выразительных» *машинных языков*.

Один из главных принципов проектирования структуры ЦВМ — обеспечение взаимного согласования параметров отдельных устройств в части их быстродействия, емкости памяти, разрядности и т. д. Можно выделить следующие осн. принципы организации управления процессом вычислений и построения структуры ЦВМ:

1) Программное управление с применением управляющих слов. При этом способе формат команды включает в себя код операции, один или неск. адресов операндов и один или неск. коротких адресов спец. индексных регистров, обеспечивающих использование комбиниров. приемов переадресации. Так, в машине «Стретч» вместо простых индексных регистров, содержащих приращения адресов команд, используются сложные регистры, содержащие в себе составные индексы, наз. управляющими словами. Управляющее слово служит для задания операций над массивами величин и включает в себя в общем случае следующие 4 части: а) приращение (индекс) адресов операндов, определяющее собой, как правило, базисный адрес обрабатываемого массива данных; б) счетчик, определяющий число повторений групповой операции над элементами массива; в) шаг изменения адресов элементов массива, представляющий собой величину приращения индекса управляющего слова; г) адрес связи, определяющий положение следующего управляющего слова в памяти машины.

При использовании способа управляющих слов достаточно просто осуществляются операции над списками величин. Каждый список задается своим управляющим словом, причем как сами списки, так и соответствующие им управляющие слова могут размещаться в памяти произвольным образом (не обязательно подряд).

Обработка группы списков данных начинается с выбора (спец. командой) управляющего слова первого списка и установки его на соответствующий регистр, к-рый в дальнейшем управляет ходом групповой операции. После окончания обработки первого списка (в этот момент значение счетчика становится равным нулю) производится выборка следующего управляющего слова по адресу связи, имеющемуся в первом управляющем слове, и обработка второго списка и т. д. Конец обработки группы списков определяется по спец. признаку конца цепи управляющих слов, указываемому в последнем управляющем слове.

2) Слоговое управление, при к-ром вместо команд, хранимых в памяти и выбираемых для исполнения как единое целое, программа строится из отдельных не связанных схемно частей команд, т. н. слогов (коды операций, адреса, спец. управляющие коды и др.). Этот способ использован в машине B5000 (США) и представляет собой принципиально новый путь организации структуры машины. Он сочетается с рядом др. принципов: бесскобочной записью арифметич. и логич. выражений, способом динамич. хранения операндов и способом непрямой адресации. Слоговое управление обеспечивает высокую компактность программы, повышение быстродействия за счет сокращения пересылок данных между АУ и ОЗУ, а также широкие возможности автоматизации программирования с использованием языков типа *алгол*.

Осн. принципы построения слогового управления следующие. При бесскобочной записи знаки операций записываются не между операндами, а сбоку (обычно справа) и распространяют свое действие на ближайшие слева операнды (один или два в зависимости от вида операции — однокомпонентной или двухкомпонентной). Результат операции записывается вместо операндов и может быть использован в качестве операнда для следующей операции и т. д. После выполнения каждой операции знак ее стирается.

Напр., выражение $(X+Y)\times Z$ в бесскобочной записи будет иметь вид:

$$XY+Z\times \quad \text{или} \quad ZXY+\times.$$

Принцип динамич. хранения операндов состоит в циклич. перемещении операндов и результатов операции между регистрами АУ и спец. участком памяти ОЗУ. В АУ для приема операндов имеются два регистра A и B. Кроме того, предусматривается спец. счетчик адресов ОЗУ C, к-рый хранит адрес последней посланной в ОЗУ из АУ величины. Вызываемая для операции из ОЗУ величина поступает сначала в регистр A; если этот регистр занят к.-л. величиной, то последняя предварительно пересылается в регистр B, а если и в этом регистре имеется величина, то она пересылается в ОЗУ по адресу, определяемому при помощи счетчика C (увеличением на единицу). Поступивший код операции всегда относится к текущим содержимым регистров A и B; результат операции всегда записывается в регистр B; при этом регистр A освобождается для следующего операнда. Если следующим слогом является код к.-л. операции, то начинается обратная передача: содержимое B передается в A, а из ОЗУ по адресу, указываемому счетчиком C, извлекается последняя переданная туда величина; операция выполняется над числами, установленными в регистрах A и B. Способ динамич. очереди хорошо согласуется со слоговым принципом программного управления и бесскобочной записью ф-л.

При способе непрямой адресации с использованием спец. отсылочной адресной таблицы непосредственно в программе (в адресных слогах) указываются не фактич. адреса операндов или слогов программы, а адреса ячеек спец. таблицы, в к-рых хранятся адреса операндов или слогов программы. Т. к. эта таблица имеет значительно меньший объем, чем весь объем ОЗУ, то количество разрядов в слогах программы, обращающихся к этой таблице, может быть значительно меньше, чем это требуется для обращений к полному объему ОЗУ; за счет сокращения разрядности непрямых адресов существенно уменьшается общий объем программы. Адреса ячеек отсылочной таблицы, указываемые в слогах, используются либо для вызовов из отсылочной таблицы нач. адресов массивов данных, либо для вызовов подпрограмм. Таким же способом могут вызываться и отдельные величины; в ячейках отсылочной таблицы могут храниться либо сами величины, либо их адреса. При работе с элементами массивов адреса, указываемые в адресных слогах программы, являются относит. адресами, так же как и адреса, указываемые в слогах переходов, являются относит. адресами переходов внутри подпрограмм.

3) Совмещение операций является осн. структурным (логическим) способом повышения быстродействия машин. Оно может проводиться на различных уровнях. Высший уровень — одноврем. работа различных устройств машины при решении неск. задач по разным программам. Следующий уровень — одноврем. выполнение неск. команд одной и той же программы. Типичный пример — трехкратное совмещение одноадресных команд: выборка следующей команды, выполнение операций для очередной команды и посылка результата для предшествующей команды. В трехадресных машинах часто совмещают выполнение операции и выборку следующей команды. В машине «Стретч» осуществлено семикратное совмещение команд. В спец. т. н. «виртуальной» памяти хранятся семь очередных команд, для к-рых одновременно выполняются необходимые действия (обращения к ЗУ, арифметич. операции, модификации адресов или индексов и др.).

3-й уровень совмещения — совмещение элементарных действий, выполняемых различными схемами машины при реализации каждой команды. Напр., обращение к ОЗУ расчленяется на ряд действий (посылка адреса, дешифрация адреса, выборка кода числа), к-рые могут быть совмещены. Аналогичным образом выполнение операции в АУ состоит из ряда действий, допускающих совмещение. Во многих случаях для совмещения действий в структуре соответствующих устройств требуется предусматривать дополнит. регистры и схемы управления.

4) Одноступенчатая организация системы ЗУ машины с использованием непрямой адресации. Для расширения объемов ЗУ, допускающих произвольное обращение к величинам, применяется единая система непрямой адресации для оперативной памяти (на сердечниках) и для промежуточной памяти (на магнитных барабанах или дисках). При этом вводится единая система индивид. адресов ячеек для всего объема указанных ЗУ машины. Этот объем разделяется на блоки определенного пост. размера (напр., 256, 512 или 1024 ячейки). Старшие разряды единого кода адреса определяют номер блока, а младшие — адрес ячейки внутри блока. В соответствии с количеством блоков, к-рое может быть помещено в ОЗУ, вводится ряд адресных регистров, служащих для непрямой адресации ОЗУ. Каждый из этих регистров постоянно закреплен за определ. зоной ОЗУ, а его содержимое указывает номер того блока, к-рый хранится в настоящий момент в данной зоне ОЗУ. Т. о., содержимыми указанных адресных регистров являются значения старших разрядов адреса.

Для непрямой адресации остального объема памяти (кроме ОЗУ) используется спец. адресная оперативная память, объем к-рой равен общему количеству блоков. Каждая ячейка адресной оперативной памяти (ее адрес) соответствует постоянно определ. значению старших разрядов адреса, а содержимым ячейки является фактич. адрес зоны магнитного барабана или диска, в к-рой находится в данный момент данный блок информации. При выборке или записи к.-л. величины в команде программы указывается просто ее полный адрес. По этому адресу спец. схемами сначала производится проверка местонахождения требуемой величины (точнее, ячейки с данным адресом) в ОЗУ (путем сравнения старших разрядов заданного адреса со значениями величин в адресных регистрах).

При наличии в ОЗУ требуемого блока производится непосредств. обращение к соответствующей ячейке в ОЗУ. При этом старшие разряды кода адреса задаются номером того адресного регистра, содержимое к-рого совпало со старшими разрядами заданного кода адреса. Если окажется, что блок, к к-рому относится искомая ячейка, не находится в данный момент в ОЗУ, производится обращение к адресной оперативной памяти, и по значению старших разрядов заданного адреса определяется ячейка этой памяти, содержимое к-рой указывает действит. адрес зоны магнитных барабана или диска, в к-рой находится требуемый блок. Этот блок переписывается на свободное место в ОЗУ (для этого в ОЗУ всегда одна зона остается свободной), а в соответствующий адресный регистр записываются старшие разряды адреса данного блока. После переписи каждого нового блока в ОЗУ, если ОЗУ заполнено полностью, производится вывод из ОЗУ на магнитный барабан или магнитный диск одного из хранящихся там блоков. Выбор выводимого блока может быть сделан либо на основе непосредств. определения данных, к-рые не потребуются для ближайших вычислений, либо статистич. путем по принципу «самообучения» (на основе учета частоты обращений к отдельным блокам). Описанная одноступенчатая организация адресации применена в англ. машине «Атлас» для оперативной памяти на сердечниках емкостью в 16 384 слова и промежуточной памяти на магнитных барабанах с макс. емкостью

$2^{16}=1\,048\,576$ слов. Указанная система адресации обеспечивает большую гибкость в использовании ОЗУ и магнитных барабанов, что особенно важно при многопрограммных режимах работы. Для оперативного регулирования заполнения ОЗУ данными в соответствии с решаемыми задачами составляется заранее таблица-справочник, показывающая для каждой программы необходимые блоки информации. По этой таблице программа-диспетчер перед включением в работу к.-л. программы переписывает в ОЗУ необходимые ей блоки информации.

Выбор того или иного принципа П. с. ЦВМ в каждом конкретном случае зависит гл. обр. от назначения машины. Командно-программное управление применяется как осн. вариант для построения большинства совр. ЦВМ универс. назначения. *Микропрограммное управление* используется в основном в машинах, где требуется изменять систему команд в зависимости от классов решаемых задач. Слоговое управление выгодно применять в машинах, предназнач. для выполнения особо сложных и больших программ, насчитывающих десятки и сотни тыс. команд; оно упрощает автоматизацию программирования и резко сокращает объем программ.

Одноуровневая организация памяти и совмещение операций являются такими принципами построения машин, к-рые в той или иной степени могут быть использованы при П. с. ЦВМ различных назначений.

Лит.: Ричардс Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, пер. с англ., М., 1957; Зимин В. А., Электронные вычислительные машины, М., 1962; Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; Кибернетический сборник. Сборник переводов, [№] 2, М., 1961.

А. И. Китов.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА (secondary switching element; elément intermédiare de dispositif à relais; Zwischenelement einer Relaiseinrichtung) — функциональный элемент, состояние к-рого определяется состоянием не только воспринимающих, но и др. функциональных элементов релейного устройства. В частности, состояние П. э. р. у. в наст. момент может зависеть от состояния этого же П. э. р. у. в предыдущий момент (напр., триггер). Такой элемент наз. П. э. р. у. с фиксацией воздействий. Устройства, содержащие П. э. р. у., наз. *релейными устройствами многотактными*. Интервал времени между наст. и последующим моментами определяется задержкой срабатывания П. э. р. у. (см. *Неустойчивое состояние внутреннее*, *Такт работы машины*). С помощью задержки П. э. р. у. осуществляется зависимость между наст. и предыдущим состояниями релейного устройства. Поскольку, благодаря такой зависимости, наст. состояние релейного устройства зависит от воздействий на входы в предыдущие моменты, то П. э. р. у. часто, особенно в вычислит. технике, наз. элементами памяти, или запоминающими элементами. В качестве П. э. р. у. могут использоваться электромагнитные, пневматич., гидравлич. и др. реле, триггеры, линии задержки и т. д. О методах уменьшения числа П. э. р. у. в релейных устройствах см. *Минимизация*.

О. П. Кузнецов, В. Г. Лазарев.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА (industrial electronics; electronique industrielle; industrielle Elektronik) — раздел прикладной (технической) электроники, охватывающий разработку и применение в пром-сти электровакуумных, газоразрядных, электролитических и полупроводниковых электронных приборов и устройств. Области П. э.: информационная — сбор, передача, хранение и переработка информации с целью управления производств. процессами; энергетическая — получение, преобразование и передача электрич. энергии; технологическая — непосредственное воздействие на вещество потоками электронов, ионов, нейтронов и фотонов, а также электромагнитными полями. См. *Электроника*.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ КАНАЛА (channel transmission capacity; capacité de transmission d'un canal; Kanalkapazität) — наибольшая скорость передачи информации по каналу. Скорость передачи зависит от: 1) физич. св-в канала — ограничений, налож. на входной сигнал (напр., ограничение средней либо пиковой мощности), статистич. св-в помех и т. п. и 2) способа передачи и приема сигналов. Передача данных б. ч. сопровождается ошибками. При избранном способе передачи и приема сигналов вероятность ошибки можно снизить лишь ценой уменьшения скорости передачи данных. Применяя более совершенный способ передачи и приема, можно одновременно увеличить скорость передачи и снизить вероятность ошибки. Предел возможного улучшения способов передачи и приема сигналов указывается осн. теоремой Шеннона: скорость передачи данных по каналу может быть сделана сколь угодно близкой к П. с. к., и при этом вероятность ошибки может быть сделана сколь угодно малой. Т. о., П. с. к. есть предельная скорость передачи данных без ошибок. Она зависит только от физич. св-в канала передачи. Приближение скорости передачи данных к П. с. к. (при сохранении вероятности ошибки ниже установл. уровня) достигается применением весьма сложных способов передачи и приема сигналов (кодирования и декодирования), связанных с обработкой длинных отрезков сигнала и, вследствие этого, с большой задержкой во времени. Как правило, при конечной сложности способов кодирования и декодирования нельзя достигнуть скорости передачи данных, точно равной П. с. к.

П. с. к. есть точная верхняя грань скорости передачи информации (см. *Информации скорость передачи*) по множеству различных ф-ций распределения входного сигнала: $C=\sup\limits_{F(x)} R$, где R — скорость передачи информации, $F(x)$ — ф-ция распределения входного сигнала.

Если сигналы на входе канала $\xi(t)$ и на выходе канала $\eta(t)$ — стационарные случайные процессы (ограничимся только этим случаем), то $R=\lim\limits_{T\to\infty}\frac{1}{T}I(\xi,\eta_T)$, где $I(\xi_T,\eta_T)$ — *информации количество* в случайной величине η_T относительно ξ_T. (ξ_T, η_T — отрезки соответствующих процессов длительностью T).

В этом случае $C=\lim\limits_{T\to\infty}\left\{\sup\limits_{F(x)}\left[\frac{1}{T}I(\xi_T,\eta_T)\right]\right\}$, где $F(x)$ — ф-ция распределения случайной величины ξ.

Примеры (во всех примерах основание логарифмов равно 2, τ измеряется в сек., частоты — в *гц*, C — в двоичных единицах/сек.).

1) Симметричный двоичный канал. Входной и выходной сигналы длительностью τ принимают два значения: 0 и 1. Вероятность того, что $\eta=1$ при $\xi=0$ (ошибка вследствие действия помехи) и вероятность того, что $\eta=0$ при $\xi=1$ равны (условие симметрии).

$$R=\frac{1}{\tau}\left\{H(\eta)+p\log p+(1-p)\log(1-p)\right\},$$

где p — вероятность ошибки.

$$C=\sup R=\frac{1}{\tau}\left\{1+p\log p+(1-p)\log(1-p)\right\},$$

т. к. два последних члена не зависят от распределения вероятностей входного сигнала, а $\sup H(\eta)=\log 2=1$. При $p\to 0$ $C\to\frac{1}{\tau}$. Когда $p=0{,}1$ $C=\frac{1}{\tau}0{,}53$; при $p=0{,}5$ $C=0$, хотя половина сигналов передается правильно.

2) Канал с непрерывным сигналом и аддитивной гауссовой помехой. Входной и выходной сигналы — $\xi(t)$ и $\eta(t)$ — являются случайными процессами, причем $\eta(t)=\zeta(t)+\xi(t)$, где $\zeta(t)$ — помеха — случайный процесс с норм. распределением.

$$C=\int\limits_0^\infty\log\left(1+\frac{S_\xi(f)}{S_\zeta(f)}\right)df,$$

где $S_\xi(f)$ и $S_\zeta(f)$ — спектральные плотности сигнала $\xi(t)$ и помехи $\zeta(t)$. П. с. к. достигается, если $\xi(t)$ тоже имеет норм. распределение. Если спектральная плотность сигнала $S_\xi(t)$ не задана, а ограничена ср. мощностью сигнала

$$P=\int\limits_0^\infty S_\xi(f)\,df, \qquad (1)$$

то оптимальное $S_\xi(f)$ находится из условия (1) и условия

$$S_\xi(f)+S_\zeta(f)=A \quad (A=\text{const}). \qquad (2)$$

Тогда $C=\int\limits_0^\infty\log\frac{A}{S_\zeta(f)}\,df$. Если удовлетворить условию (2) для всех частот нельзя, то

$$S_\xi(f)=\max\left\{A-S_\zeta(f),\ 0\right\},$$

где A определено из условия (1). В этом случае

$$C=\int\limits_{S_\xi(f)>0}\log\frac{A}{S_\zeta(f)}\,df.$$

3) Канал с огранич. полосой частот и аддитивной гауссовой помехой типа «белый шум». $S_\xi(f)$ отлична от нуля в интервале частот $[f_0, f_0+\Delta f]$. $S_\zeta(f)=N_0$ — постоянна в этом интервале. Тогда оптимальное $S_\xi(f)=P/\Delta f$ — тоже величина постоянная в этом интервале и

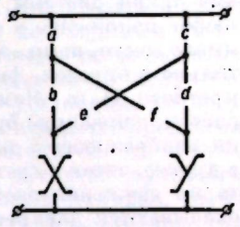
$$C=\Delta f\log\left(1+\frac{P}{\Delta f N_0}\right)=\Delta f\log\left(1+\frac{P}{N}\right)$$

($N=\Delta f N_0$ — мощность шума). Это ф-ла Шеннона—Таллера. Если мощность сигнала много меньше мощности шума, то $C\approx\frac{P}{N_0}\log e=1{,}44\frac{P}{N_0}$. Это выражение определяет максимальное при данной мощности сигнала P количество информации, к-рое можно передать в единицу времени через канал с аддитивной гауссовой помехой, имеющей спектральную плотность N_0.

Лит. см. при ст. *Информации теория*.

Д. С. Лебедев.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА (непланарная, неплоская) (space structure; structure spatiale; räumliche Struktur) — структура релейного устройства, схема к-рой не может быть изображена на плоскости без пересечения линий, представляющих цепи соединения входящих в нее элементов (см. рис.).



Элементарная пространственная структура релейного устройства.

В. И. Иванов.

ПРОСТРАНСТВО ПАРАМЕТРОВ (parametric space; espace paramètrique; Parameter-Raum) — пространство, координатами к-рого являются параметры системы. Каждой точке в этом пространстве соответствует совокупность значений параметров. В П. п. выделяют области одинакового качеств. поведения системы. Так, для линейных систем выделяют области устойчивости. Для нелинейных систем, кроме того, выделяют области с одинаковым числом предельных циклов и т. д. В случае двух параметров П. п. является плоскость параметров. Простейшим примером плоскости параметров, в к-рой выделена область устойчивости, является диаграмма Вышнеградского.

В. Ю. Рутковский.

ПРОСТРАНСТВО СОСТОЯНИЙ динамической системы (state space; espace d'états; Zustandsraum) — пространство, каждой точке к-рого (т. н. изображающей точке) однозначно соответствует определ. состояние рассматриваемой динамич. системы. Каждому процессу изменения состояний системы (движению) соответствует определ. траектория перемещения изображающей точки в пространстве. В небесной механике, в теории колебаний и в теории автоматич. регулирования широко применяется метод исследования движений динамич. систем, основанный на использовании *фазового пространства* (n-мерного эвклидова пространства), по осям к-рого откладываются значения всех n обобщ. координат рассматриваемой динамич. системы [1]. Такое пространство пригодно для изучения динамич. св-в автономных систем, описываемых обыкнов. дифференц. ур-ниями. В фазовом пространстве (ФП) соответствие между состоянием системы и положением изображающей точки взаимно однозначно.

В нек-рых случаях, когда это необходимо для решения поставл. задачи, может быть использовано ФП, дополненное координатой времени или координатой возмущающего воздействия, введение к-рой оказывается нужным при исследовании движений неавтономных динамич. систем [2]. Использование ФП особенно эффективно при исследовании систем, описываемых нелинейными дифференц. ур-ниями 2-го порядка, т. к. изображение движений в таких системах производится в двухмерном ФП, т. е. на фазовой плоскости. Однако обыч-

ная (одполистная) фазовая плоскость пригодна лишь для изображения движений систем, в к-рых связи между координатами выражаются через однозначные ф-ции. В противном случае приходится использовать многолистные фазовые поверхности [3].

Во многих технич., биологич. и экономич. системах, в *конечных автоматах* и др. координаты исследуемой системы могут принимать лишь дискретные значения. П. с. таких систем, разумеется, также должно рассматриваться как дискретное. Точка, изображающая состояние такой системы, уже не может занимать любое положение в определ. области, как это имело место, напр., в ФП, а может находиться только в определ. фиксированных точках дискретного П. с. Изменению состояний таких систем (движению) будут соответствовать скачки изображающей точки из одного состояния в другое, затем в третье и т. д. При этом траектории движения изображающей точки также оказываются дискретными [4].

Для изображения состояний систем, содержащих распредел. в пространстве параметры, при к-ром обеспечивалось бы однозначное соответствие между состоянием системы и положением изображающей точки в соответствующем П. с., уже недостаточно пространство с конечным числом измерений. Геометрич. образ состояния такой системы в виде точки может быть получен в пространстве с бесконечным числом измерений. Элементами такого абстрактного пространства могут быть ф-ции или вектор-функции одного или неск. переменных. Такое пространство наз. функциональным [5]. Каждой точке этого пространства соответствует определ. ф-ция или вектор-функция распределения в пространстве величины, характеризующей состояние рассматриваемой системы. Изменению во времени формы этой ф-ции соответствует движение изображающей точки в функциональном П. с. по определ. траектории. Примером такой системы может служить тело, состояние к-рого характеризуется его температурным полем. Каждой форме температурного поля тела соответствует определ. положение изображающей точки в функциональном пространстве, а изменению поля во времени — движение изображающей точки в этом пространстве.

Лит.: 1) Андронов А. А., Витт А. А. и Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; 2) Лернер А. Я., О предельном быстродействии систем автоматического управления, «АиТ», 1954, т. 15, № 6; 3) Казакевич В. В., Многократные системы и простейшие динамические модели часов, «ДАН СССР», 1950, т. 74, № 4; 4) Куницевич В.М., Исследование переходных и установившихся процессов в релейно-импульсных и экстремальных системах с постоянным и переменным периодом регулирования, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1961, № 5; 5) Бутковский А. Г., Некоторые приближенные методы решения задач оптимального управления системами с распределенными параметрами, «АиТ», 1961, т. 22, № 12. *А. Я. Лернер.*

ПРОТОЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (flow element; élément à débit; Abflußelement) — элемент пневматич. приборов и устройств, не содержащий подвижных механич. деталей, действие к-рого основано на св-вах течений воздуха. К числу П. э. относятся: *дроссель пневматический, камера пневматическая, длинная линия пневматическая, струйный элемент,* эжектор пневматический, а также др. элементы аэродинамич. действия. По мере развития пневмоавтоматики и др. смежных с ней отраслей техники увеличивается значение П. э., они все в большей мере заменяют в пневматич. приборах элементы, содержащие подвижные механич. детали, к числу к-рых относятся упругие элементы (напр., *мембраны*) и др. На основе использования различных св-в течений воздуха выполняются не только простейшие операции управления и контроля, но и сложные логич. операции, производится запоминание сигналов управления и др. *Л. А. Залманзон.*

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРИГОДНОСТЬ в автоматизированном производстве (professional qualification in automated production; qualification professionnelle dans la production automatisée; berufliche Tauglichkeit in der automatisierten Produktion) — совокупность психофизиологич. особенностей человека, к-рые наряду со спец. знаниями и умениями необходимы для данной трудовой деятельности. В П. п. могут входить, напр., величина абс. световой чувствительности, скорость реакции выбора, сохранение устойчивой работоспособности при неблагоприятных условиях, нек-рые черты характера и св-ва мышления и др. в таких количественных и качественных проявлениях, к-рые нужны для выполнения заданных трудовых ф-ций. При определении П. п. учитываются также в зависимости от условий труда анатомич. показатели и медицинские противопоказания. В социалистич. обществе, как правило, соответствие психофизиологич. особенностей человека избранной им профессии стимулирует творч. отношение к труду. Творч. труд в любой сфере науки, культуры и произ-ва получает обществ. признание и дает трудящемуся моральное удовлетворение, к-рое имеет большое положит. значение для П. п. В тех случаях, когда имеется несоответствие между психофизиологич. особенностями человека и требованиями профессии, может возникнуть неудовлетворенность своим трудом, к-рая понижает П. п. Для данного лица П. п. не есть нечто неизменное. Она формируется на основе природных данных в процессе общей и профессиональной подготовки и трудовой деятельности. Ученые (психологи Л. А. Шварц, А. Н. Леонтьев и его сотрудники и др.) разрабатывают лабораторные методы формирования нек-рых компонентов П. п. На практике важно считаться с наличным состоянием П. п. и возможными перспективами ее развития. Интересы общества и каждого трудящегося сходятся на том, чтобы П. п. формировалась в наиболее короткие сроки, а творч. труд, в к-ром реализуется П. п., был наиболее длительным. Нужно также учитывать, что болезнь, возраст, переход на др. работу, длит. перерывы могут привести к утрате П. п.— временной или постоянной. Изучение П. п. имеет экономич. значение только для тех областей культуры и произ-ва, где отчетливо обнаруживаются индивидуальные различия между работниками по количеству и качеству труда. Морально-психологич. же значение такого изучения сохраняется для всех без исключения профессий, т. к. оно призвано помочь людям выбрать труд, к-рый принесет им наибольшее удовлетворение.

Автоматизация произ-ва ведет к сокращению непосредственного участия рабочего в технологич. процессе и к изменению требований к П. п. Уменьшаются требования к таким

необходимым для ручного труда психофизиологич. ф-циям, как, напр., двигат. координация, меткость, глазомер и пр., но возрастают к др., как, напр., длит. неотвлекаемость внимания. Профессия рабочего-оператора, контролирующего технологич. процесс по приборам, к-рые предоставляют ему всю необходимую информацию, еще не окончательно сложилась. На пр-тиях с различными конкретными особенностями произ-ва и различными уровнями автоматизации складываются и разные виды этой профессии. Так, на нек-рых пр-тиях оператор функционирует как своеобразный канал связи, передающий информацию с одних узлов агрегата на др. Такова, напр., деятельность оператора на нефтеперерабатывающем заводе с автоматич. управлением. С контрольного щита такого завода регулируется ок. ста перем. величин. Оператор должен следить за индикаторами и принимать меры корректирующего характера. Все его действия полностью обусловлены инструкциями. Поскольку операторам еще приходится нажимать кнопки, завод не является полностью автоматизированным. Со временем оператор может быть заменен машинными каналами связи, в к-рые при необходимости будут включены счетно-решающие устройства. Это не означает, однако, что вопрос о П. п. операторов, обслуживающих такие пр-тия, тем самым снимается. Завершение автоматизации определяется технич. и экономич. факторами и может затянуться, практика же показывает, что не все операторы, даже при сознательном отношении к своему труду, удовлетворительно справляются со своими обязанностями.

Другой вид этой профессии — оператор на пр-тии с таким уровнем автоматизации, что система автоматич. управления не требует участия человека. Последний включается в работу системы лишь в тех случаях, когда ее устройства оказываются недостаточными для исправления возникших нарушений. Такова работа оператора, напр. на электрич. станциях и подстанциях.

Требования к П. п. оператора существенно меняются в зависимости от объема поступающей информации, сроков и способов ее преобразования, темпов, периодичности и регулярности ее поступления, от характера требований к знаниям и опыту человека-оператора, необходимым для преобразования поступившей информации (за счет ранее накопленной и конъюнктурной), а также для принятия и исполнения решений при неисправностях автоматизиров. систем. На всю деятельность оператора накладывает отпечаток неизбежное сознание им последствий его возможных ошибок: ущерб народному х-ву, опасность для жизни и здоровья людей и др. В этом многообразии деятельности операторов на разных пр-тиях можно выделить общие черты, присущие всем и особые, присущие нек-рым видам этой профессии, чтобы наметить признаки П. п. Оператор должен иметь более высокую общую и спец. подготовку, чем, напр., рабочий-станочник неавтоматизиров. произ-ва: оператор должен обладать знаниями не только по технике и технологии своего произ-ва, но и по электронике и связи, чтобы не только справляться с перекодированием полученной информации, но и разбираться в искажениях, возникших из-за шумов и помех. Успешное овладение такими знаниями одновременно определяет необходимый оператору уровень мыслительно-интеллектуальной подготовки.

Трудовая деятельность оператора происходит под воздействием автоматич. системы, не зависящей от его воли. Он не может планировать по часам распределение своей нагрузки, к-рая определяется работой оборудования и технологич. процессом. Оператор никак не может предусмотреть, на какой отрезок времени придется наиболее напряженный и ответств. момент его деятельности, когда от его умелых и своеврем. действий будет зависеть ликвидация аварии и т.п. Для оператора второго вида профессионально необходимым св-ном является сохранение готовности включиться в работу системы немедленно по получении сигналов о том, что ее устройства не могут наладить управление производств. процессом. Поэтому статич. показатели П. п. нельзя признать достаточными для этой профессии. Необходимо пользоваться и динамич. показателями, к-рые должны учитывать, как сохраняется или изменяется работоспособность и психофизиологич. особенности, ее обеспечивающие, под влиянием факторов времени, внезапности, повышенной интенсивности внешних воздействий. Исследования по психофизиологии, ведущиеся в Сов. Союзе, показывают, что динамич. показатели психофизиологич. особенностей человека ближе всего могут быть раскрыты путем определения индивидуальных различий в отношении основных св-в нервной системы и их психологич. проявлений в учебной и трудовой деятельности (работы Б. М. Теплова и его сотрудников). Из этих исследований вытекает, что для сохранения длит. работоспособности, в частности при воздействии чрезвычайно сильных раздражителей, нужен сильный тип нервной системы. Значение силы нервной системы велико и в таких ситуациях, где человек подвергается внезапным интенсивным воздействиям. При этом положит. роль играет также и баланс основных нервных процессов — их относит. уравновешенность. Однако для применения на произ-ве результатов, полученных в лаборатории, нужно учитывать конкретные условия трудовой деятельности, для чего нужны дополнит. исследования. Практич. оценка П. п. определенного лица не дает достоверного прогноза, но лишь вероятный. Эта оценка может означать только то, что данное лицо в предполагаемой ситуации вероятнее всего проявит себя так, а не иначе. Вероятностное значение прогноза П. п. зависит от того, что под влиянием ряда неучитываемых факторов, воздействующих на психику человека, динамич. показатели его П. п. могут измениться в ту или др. сторону.

Лит.: Берг А. И., Кибернетику — на службу коммунизму, в сб.: Кибернетику на службу коммунизму, т. 1, М.—Л., 1961; Панов Д. Ю. и Ошанин Д. А., Человек в автоматических системах управления, там же; Леонтьев А. Н., Проблемы развития психики, М., 1959; Гуревич К. М., К вопросу о психологических проявлениях основных свойств нервной системы в трудовой деятельности, «Вопр. психологии», 1961, № 1; Суворова В. В., Идашкин Ю. В., Гаджиев С. С., Опыт психологического изучения деятельности операторов, там же, № 3; Гуревич К. М., Гаджиев С. С., Изучение роли личного фактора в управлении электрооборудованием электростанций, там же, 1962, № 3; Рождественская В. И., Проявление силы нервной системы в способности нервных клеток выдерживать длительное концентрированное возбуждение, в кн.: Типологические особенности высшей нервной деятельности человека, т. 2, М., 1959; Теплов Б. М., Исследо-

вание свойств нервной системы как путь к изучению индивидуально-психологических различий, в кн.: Психологическая наука в СССР, т. 2, М., 1960; Шварц Л. А., Влияние различных условий тренировки на порог зрительного узнавания, в сб.: Вопросы изучения высшей нейродинамики в связи с проблемами психологии, М., 1957. *К. М. Гуревич.*

ПСЕВДОЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА (pseudo-linear system; système pseudo-linéaire; pseudolinearer System) — нелинейная динамич. система, движение к-рой оказывается близким к движению соответствующей линейной системы. П. с. соответствуют нелинейные дифференц. ур-ния, в к-рые нелинейные члены входят с малыми параметрами.

Пусть дифференц. ур-ния САР будут:

$$\sum_{k=1}^{n} f_{jk}(p,\mu)\,x_k = \mu\varphi_j(x_1,\ldots,x_n),(j=1,\ldots,n),$$

где $f_{jk}(p,\mu)$ — заданные полиномы конечных порядков по отношению к p, $\varphi_j(x_1,\ldots,x_n)$ — данные нелинейные ф-ции, x_k — неизвестные координаты, зависящие от времени, p — дифференц. оператор $\frac{d}{dt}$, μ — малый параметр.

Т. к. произведения $\mu\varphi_j(x_1,\ldots,x_n)$ малы, то система наз. псевдолинейной (термин применяется редко).

Лит.: Булгаков Б. В., Колебания, М., 1954; Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Булгаков Б. В., О применении метода А. Пуанкаре к свободным псевдолинейным колебательным системам, «Прикл. матем. и механ.», 1942, т. 6, вып. 4. *Н. Н. Попов.*

ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ МЕТОД (pseudo-random number method; méthode des nombres pseudoaléatoires; Methode der Pseudo-zufallszahlen) — наиболее распространенный метод получения случайных элементов на ЦВМ. Вместо значений к.-л. случайной величины П. ч. м. предлагает использовать вполне определ. числа, вычисляемые на ЦВМ по нек-рым спец. ф-лам, лишь бы распределение этих чисел походило на теоретич. распределение значений имитируемой случайной величины. Такие числа наз. псевдослучайными числами (ПЧ). Обычно ПЧ имитируют значения случайной величины γ, равномерно распредел. в интервале (0,1). Осн. достоинства П. ч. м.: 1) ПЧ не надо хранить в памяти машины, 2) они могут быть легко воспроизведены, 3) на получение каждого ПЧ затрачивается всего неск. операций.

Чаще других для получения ПЧ используется метод вычетов Лемера и нек-рые его видоизменения. В методе вычетов целое число $x_i (i=0,1,2,\ldots;\ x_0$ — задано) умножается на нек-рое простое число p; остаток, получающийся при делении произведения px_i на заданное M, образует следующее число x_{i+1}; в качестве ПЧ используют $\gamma_i = x_i/M$. Напр., для машины ИБМ-701 полагают $p=23$, $M=2^{35}+1$. Многие методы получения ПЧ строятся с учетом особенностей конкретной ЭВМ. Напр., для машины «Стрела» очередное ПЧ γ_i умножается на 10^{17} и затем изображение произведения $10^{17}\gamma_i$ (в коде «Стрелы») сдвигается на 7 разрядов влево; абс. величина получ. числа принимается за следующее ПЧ γ_{i+1}, $(i=0,1,2,\ldots;$ число γ_0 — задано).

Проверка «качества» ПЧ осуществляется эмпирически: с помощью статистич. тестов можно проверить, не противоречат ли те или иные св-ва группы чисел $\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_n$ гипотезе о том, что они суть значения случайной величины γ (конечно, строго говоря, все такие тесты только необходимы). Для проверки ПЧ используют также результаты расчетов (с помощью этих ПЧ) модельных задач (см. *Монте-Карло метод*).

Обычно для получения ПЧ применяют рекуррентные ф-лы вида $\gamma_{i+1} = \Phi(\gamma_i)$. Однако любые рекуррентные последовательности при реализации их на ЦВМ оказываются периодическими. Поэтому в качестве ПЧ используют лишь нач. отрезки таких последовательностей. Теоретич. оценка длины такого отрезка $\sqrt{(\pi/8)}N$, где N — число различных чисел интервала (0,1), к-рые можно изобразить в коде машины.

Для решения ряда задач существуют числ. методы, вполне аналогичные методу Монте-Карло, с той разницей, что вместо случайных элементов в расчетах используется конкретная числовая последовательность $p_1, p_2, \ldots$ и сходимость оценивается не по вероятности, а в обычном смысле. Числа $p_1, p_2, \ldots$ иногда также называют ПЧ (т. н. детерминистические ПЧ). Область применимости таких ПЧ более ограничена, однако в нек-рых задачах они позволяют добиться ускорения сходимости.

Лит.: Соболь И. М., Псевдослучайные числа для машины «Стрела», «Теория вероятностей и ее применения», 1958, т. 3, в. 2, с. 205—11; Постников А. Г., Арифметическое моделирование случайных процессов, «Тр. Матем. ин-та АН СССР», 1960, т. 57. *И. М. Соболь.*

ПСИХОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНАЯ (human engineering, engineering psychology; technopsychologie, technologie humaine; technische Psychologie) — наука, изучающая психологич. особенности трудовой деятельности человека, с целью создания совершенных орудий труда. Вопросы П. и. входит в более широкий круг проблем *эргономики*, являющихся смежными для ряда наук и разрабатываемых психологами совместно с физиологами, гигиенистами, математиками, художниками-конструкторами, инженерами различных профилей (см. *Профессиональная пригодность*). П. и. рассматривается также как отрасль психологии труда, к-рая изучает, кроме вопросов П. и., вопросы рационализации труда на произ-ве, профориентации и профконсультации, подбора и расстановки кадров и др. П. и. оформилась в самостоятельную научную дисциплину в годы 2-й мировой войны, в связи с развитием подвижных сложных и чувствит. военных машин — самолетов, танков, подводных лодок и т. д. При этом за рубежом было замечено, что военная техника на деле часто не давала ожидаемого при ее проектировании эффекта, из-за ее недостаточного соответствия функциональным возможностям людей, призванных ею управлять. Это и явилось толчком к развитию П. и. После окончания войны значит. часть работ по П. и. была перебазирована в область пром-сти, транспорта и связи, сельского х-ва. Особое значение П. и. приобрела в условиях комплексной механизации и автоматизации производственных и др. процессов, применительно к т. н. системам «человек и машина» (СЧМ) и «человек и автомат» (СЧА) (см. *Система «человек и автомат»*).

В таких системах человек выступает в роли своеобразной «подсистемы». Для них типично сопряжение человеч. и машинного факторов в единое функц. целое, причем деятельность человека сводится к приему от машины осведомит. информации, ее переработке в командную информацию и передаче командной информации машине с целью оказания через посредство машины управляющих воздействий на объект (рис. 1). В СЧМ машины выполняют

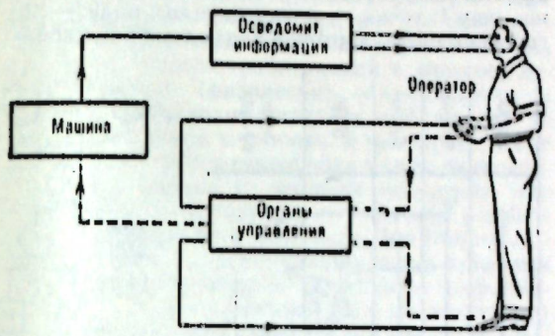


Рис. 1. Поток информации в системе «человек и машина».

более или менее самостоятельно технологич. операции, а человек управляет работой машин, т. е. является субъектом управления. СЧА — высший класс СЧМ, в к-рых процесс управления более или менее автоматизирован и осуществляется совместно человеком и автоматич. устройствами, т. е. сам субъект управления как бы состоит из человеч. и автоматич. звеньев.

Главная теоретич. задача П. и. — исследование СЧМ и СЧА как особого вида кибернетич. систем. При этом П. и. опирается на основные абстрактные понятия кибернетики. Важнейшая практич. задача П. и. — разработка общих принципов проектирования и конструирования рациональных СЧМ и СЧА, с учетом функциональных возможностей человека и свойственных ему ограничений и с целью обеспечения как высокой производительности и надежности систем, так и оптим. условий для работающих в них людей.

Распределение ф-ций между человеком и машинными звеньями системы может быть весьма различным, в зависимости от класса и специфики назначения СЧМ и СЧА. Если в системе механизиров. произ-ва человеку приходится выполнять все ф-ции регулирования и управления, то на более высоком уровне технич. оснащенности (СЧА) бо́льшая часть этих ф-ций доверяется машинам, а человек лишь планирует операции в целом, принимает важнейшие решения, контролирует общий ход работы СЧА, страхует автоматику на случай ее сбоя, оказывает корректирующие воздействия при ухудшении процессов автоматич. регулирования и вмешивается непосредственно в управление там, где почему-либо имеет место разрыв в программах машин.

Вопросы автоматизации отд. процессов управления касаются П. и. постольку, поскольку средством автоматизации является моделирование психич. ф-ций, к-рые в этих процессах могут играть решающую роль. Моделирование же предполагает предварит. психологич. анализ и описание ф-ций. Особое значение в этой связи имеет психологич. исследование процессов восприятия, различения и узнавания человеком предметов и фигур, а также процессов решения им различных видов и классов оперативных задач.

Данные П. и. об особенностях протекания психич. ф-ций могут быть непосредственно использованы для машинного моделирования лишь в той мере, в какой они поддаются точному количественному выражению и анализу. Большую роль в этом отношении играет внедрение в П. и. методов математич. формализации, теории информации, вероятностный подход к явлениям и т. д., а также применение в эксперименте совершенных стимуляторов, позволяющих формировать раздражители различных модальностей с любыми точно измеряемыми координатами, счетно-решающих устройств для гибкого управления стимуляторами как произвольно, так и по предварительно заданной программе, аппаратуры для фиксирования различных возникающих в процессе деятельности человека биомеханич., электрофизиологич. и др. изменений, регистрирующих устройств промежуточной памяти, всякого рода анализаторов (в т. ч. и анализаторов биотоков), математич. машин для обработки экспериментальных данных, АВМ и ЦВМ для электронного моделирования работы управляемых объектов на основе изучения их св-в.

Вопрос о распределении ф-ций между человеком и машиной не может быть правильно разрешен без учета специфики «человеч. фактора» и того особого места, к-рое, ввиду этой специфики, принадлежит ему в СЧМ и СЧА: 1) Человек-оператор — не средство или орудие труда, подобно машинным компонентам системы. Поэтому и критерии оптимальности условий работы для человека и для машин должны быть различными по существу. Если работа машин оценивается прежде всего по ее производит. эффекту, т. е. по тому воздействию, к-рое она оказывает на объект труда, то при определении ф-ций человека в системе мы исходим, в первую очередь, из того, как выполнение этих ф-ций сказывается на состоянии самого человека-оператора как субъекта труда. Вот почему при определении ф-ций человека в системе, наряду с экономич. критериями рентабельности, высокой производительности труда и др., решающее значение приобретают требования его макс. безопасности, защищенности от вредоносных или излишне утомляющих факторов, а также требования к содержательности, увлекательности труда и др. 2) Конструктор не может «синтезировать» психофизиологич. особенности человека, как он это делает с особенностями машин. Поэтому при распределении ф-ций между человеком и машинами он вынужден учитывать прежде всего наличные особенности человека и исходить из функцион. возможностей и ограничений ор. работника соответствующей квалификации. В инженерно-психологич. исследованиях, направленных на выявление общих психологич. закономерностей, индивидуальные различия между людьми, как правило, устраняются статистически. С др. стороны, раскрывая диапазон нормальных индивидуальных отклонений от ор. значений, П. и. показывает, в какой мере такие всегда возможные отклонения должны предусматриваться уже при проектировании СЧМ и СЧА. 3) Важная особенность человека-оператора — чрезвычайная изменчивость и пластичность его поведения в системе, зависимость протекания его психич. ф-ций (напр., особенностей восприятия и др.) от множества воздействий, непрерывным потоком поступающих к нему из внешней и

«внутренней» сред, часто не несущих никакой информации о состоянии управляемого объекта и практически не имеющих значения для работы автомата. 4) Еще в гораздо большей степени психич. ф-ции человека зависят от поставленных перед ним конкретных трудовых заданий. В соответствии с характером задания и основными условиями его выполнения («производственными детерминантами»), уже в результате предварит. инструктирования происходит оперативная настройка воспринимающих и перерабатывающих информацию систем человека, являющаяся, по-видимому, важным психологич. механизмом регулирования человеком своих действий. Так, напр., экспериментально изучено влияние оперативной настройки на зависимость латентных периодов реакций от интенсивности сигнальных раздражителей (т. н. физиологич. «закон силы»), от ср. количества информации, передаваемой со стимула на реакцию (закон Хика) и др. 5) Пропускная способность человека ограничена как в отношении симультанного восприятия одноврем. сигналов, так и в смысле быстродействия; она вообще не поддается однозначному количеств. определению, а зависит непосредственно от того значения, к-рое передаваемая информация приобретает для оператора в данный момент и от характера переработки информации. Она существенно различна, напр., в зависимости от того, сведена ли деятельность оператора в системе к элементарным условнорефлекторным реакциям на привычные раздражители или от него требуется выполнение умств. операций по диагностированию сложных ситуаций и планированию на этой основе ответных действий.

Сопряжение человека и машины в единое функциональное целое требует понимания не только поведения человека в системе, но также и поведения СЧА в целом, т. е. работы всего замкнутого контура регулирования, включающего, кроме человеческого, также и машинное звено. В П. и. существуют различные способы описания поведения СЧА. Примером такого описания могут служить «диаграммы оперативных этапов», разработанные в США Дэнлапом и его сотрудниками (рис. 2, *а* и *б*). Форма диаграммы (рис. 2, *б*), лучше приспособленная для логич. анализа поведения человека-оператора в системе, читается след. образом: после ряда предварит. оперативных этапов (*A*, *B*, *C*, *D*, *E*) вахтенный офицер принимает решение *F* об изменении курса судна. Даны две альтернативы *G* и *H*. Курс *G*, введенный в счетно-решающее устройство *M*, интегрируется в нем с данными радиолокац. установки *K* и с данными о положении собственного судна *L*. Если в результате вычисления в *M* окажется, что выбор курса *G* может привести к новому столкновению, на индикаторе счетно-решающего устройства появится соответствующее показание *R*. Вахтенный офицер должен будет в соответствии с этим принять ряд решений (*S*, *V*) по пролонжению нового курса. В случае выбора альтернативы *H* ее введение в *M* даст, совместно с входами *K* и *L*, показания *P* и *Q* о том, что при избранном теперь курсе столкновение не произойдет. Основываясь на этой информации, вахтенный офицер примет решение *S* об отдаче распоряжения *T* относительно изменения курса судна.

При условии, что: *A*, *B*, *C* и т. д. — элементы диаграммы оперативных этапов; индексы 0 — нулевое состояние элемента, *i* — элемент имеет одно единственное активное состояние, *a*, *b*, *c* и т. д. — отдельные возможные выходы элемента там, где таковых имеется больше, чем 1; точка — логическое «и»; плюс — логическое «или»; черточка над большой буквой—

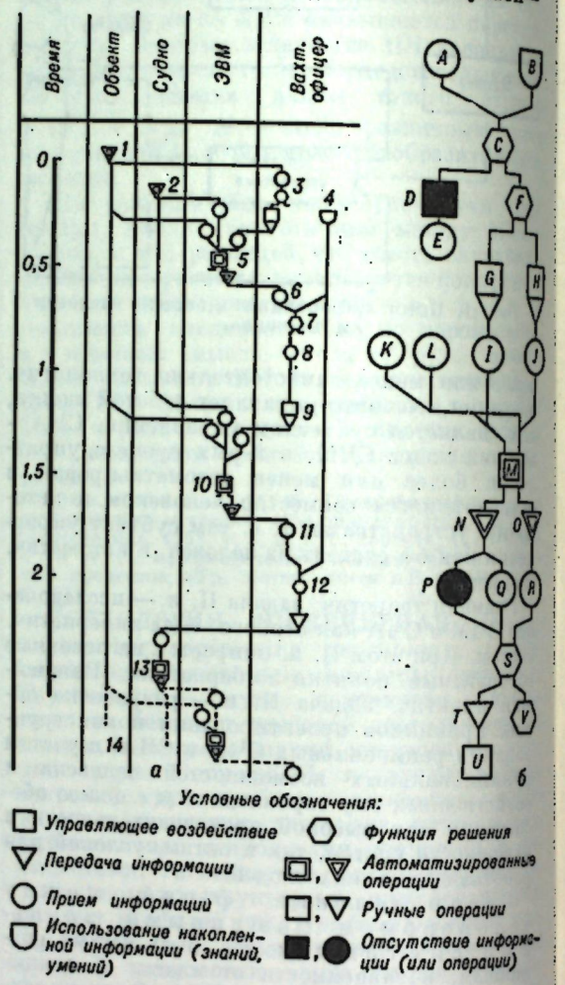


Рис. 2. Диаграммы оперативных этапов работы СЧА по изменению курса судна во избежание столкновения с объектом, движущимся по воде (по Дэнлапу): *1* — радиолокационная информация; *2* — собственные данные судна; *3* — решение ввести данные в ЭВМ; *4* — знание правил движения; *5* — вычисление курса; *6* — указание «тревоги»; *7* — принятие решения об уклонении; *8* — выбор нового курса; *9* — ввод пробного курса в ЭВМ; *10* — расчет пробного курса; *11* — указание «безопасности»; *12* — решение о переходе на новый курс; *13* — переход на новый курс; *14* — непрерывные вычисления и оценка.

элемент получает на данном этапе лишь часть информации и для его перехода от нулевого к активному состоянию требуются др. входы,— диаграмма может быть выражена в форме алгоритмов.

$$A_i \cdot B_i \longrightarrow C_i \longrightarrow [(D_i \cdot F_0] \longrightarrow E_i] + (D_0 \cdot F_i)$$
$$F_i \longrightarrow [(G_i \longrightarrow I_i) \cdot H_0] +$$
$$+ [G_0 \cdot (H_i \longrightarrow J_i)] \longrightarrow \overline{M}$$
$$K_i \cdot L_i \cdot (I_i + J_i) \longrightarrow M_i$$
$$(H_i \longrightarrow J_i) K_i \cdot L_i \longrightarrow M_a \longrightarrow (N_i \cdot O_0) \longrightarrow$$
$$\longrightarrow (P_0 \cdot Q_i) \longrightarrow S_a \longrightarrow T_i \longrightarrow U_i$$
$$(G_i \longrightarrow I_i) \cdot K_i \cdot L_i \longrightarrow M_b \longrightarrow (N_0 \cdot O_i) \longrightarrow$$
$$\longrightarrow R_i \longrightarrow S_b \longrightarrow V_i$$

К решению проблемы оптим. сочетания человеч. и машинного звена в СЧМ и СЧА можно подходить с двух противоположных сторон: путем приспособления техники к человеку и, наоборот, путем приспособления человека к технике. П. и. идет по первому из этих двух путей. Особый интерес для нее представляют те части машинного звена СЧМ и СЧА, с к-рыми человек, работающий в системе, непосредственно (физически) соприкасается и в к-рых происходит передача информации из машинного звена в человеч. и наоборот. Такие части находятся у сенсорного входа человека, где поступающая от машины осведомит. информация преобразуется в систему индикации, подаваемой на панель, и у моторного выхода человека, где он, манипулируя органами управления, переводит командную информацию на алфавит, удобный для последующего ее преобразования в исполнит. операции машин (рис. 3).

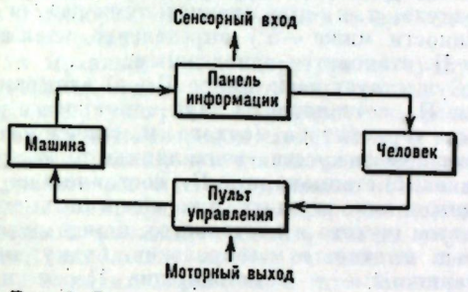


Рис. 3. Сенсорный вход и моторный выход в системе «человек и машина».

П. и. изучает вопросы, связанные с выбором сигнальных раздражителей для кодирования информации при ее подаче на панель. Эффективность сигнальных раздражителей зависит от особенностей психофизиологич. нервного аппарата человека и, в первую очередь, органов чувств. Доказано, напр., что ср. латентные периоды реакций, являющиеся одними из основных показателей эффективности раздражителей, существенно различны как для разных модальностей раздражителей (зрительных, слуховых, тактильных и др.), так и для их отдельных сенсорных качеств (яркостей, форм, величин, цветов для зрительных сигналов, высот, громкостей, тембров для слуховых сигналов, и др.), а также для их временны́х и пространственных хар-к (продолжительности, дискретности или непрерывности, удаленности, направления и др.).

Большое количество инженерно-психологич. исследований посвящено восприятию человеком лицевых частей индикаторных устройств (см. *Информации представление*). Наиболее разработана проблема читаемости шкал в зависимости от их взаиморасположения на панелях, а также от их формы и размеров, от расположения больших и малых делений на шкалах, от модулей оцифровки и т. п. Разработаны наиболее легко читаемые начертания цифровых и буквенных изображений. Установлена зависимость порога читаемости (т. е. того расстояния в *м* от глаза, при к-ром испытуемый правильно читает цифры более чем в 50% случаев) от степени освещенности, от соотношения высоты цифры и ее толщины, от соотношения цифры и фона (см. табл.).

Пороговое расстояние читаемости цифр (по Саару)

Степень освещенности (в люксах)	Черным по белому		Белым по черному	
	Отношение толщины к высоте			
	1:16	1:4	1:16	1:4
5400	2,72	3,17	3,57	2,39
5,4	1,40	1,77	1,58	1,88

Осуществляя ф-ции дистанц. управления в СЧА, человек вынужден решать в уме ряд сложных задач по диагностированию ситуаций, планированию действий и др. При этом он всегда оперирует нек-рым представлением объекта (его оперативным образом). Внешней опорой оперативному образу служит изображение объекта на панели, напр. в виде мнемонич. схемы, к-рое вместе с нанесенной на него и действующей системой сигнализации образует динамич. оперативную модель объекта. От того, как построено изображение объекта на панели, зависит эффективность выполнения оператором ф-ций управления. Существенно важно при этом, чтобы изображение объекта было функционально соотносимо с его оперативным образом, т. е. чтобы для оператора не представлял трудности переход в уме от модели к образу и наоборот. Общие принципы построения рациональных оперативных моделей управляемых объектов могут быть разработаны только в инженерно-психологич. плане, на основе психологич. анализа оперативного образа. Уже первые попытки экспериментального решения данной проблемы показали, что изображение объектов на панелях информации должно существенно отличаться от используемых обыкновенно для этой цели принцип. технологич. схем (рис. 4

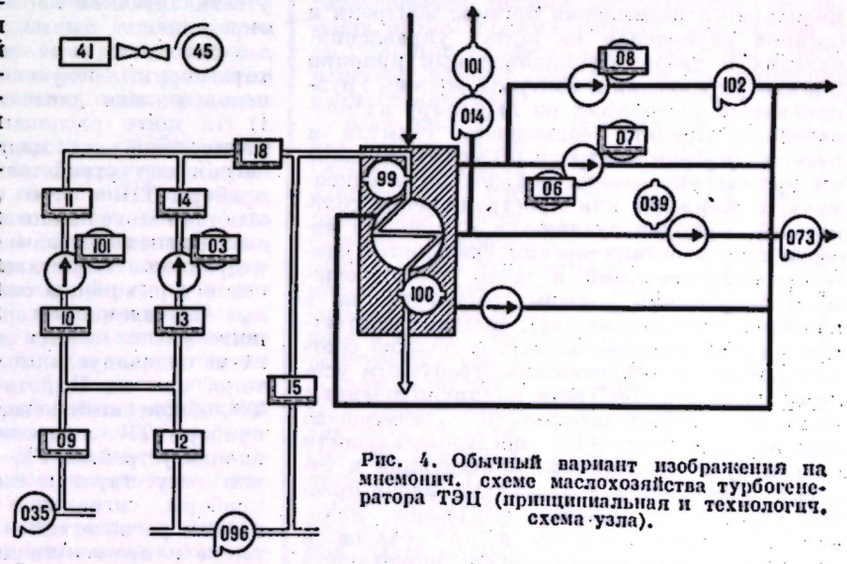


Рис. 4. Обычный вариант изображения на мнемонич. схеме маслохозяйства турбогенератора ТЭЦ (принципиальная и технологич. схема узла).

п 5) и что основанная на психологич. принципах оперативная модель объекта значительно сокращает как время и временну́ю изменчи-

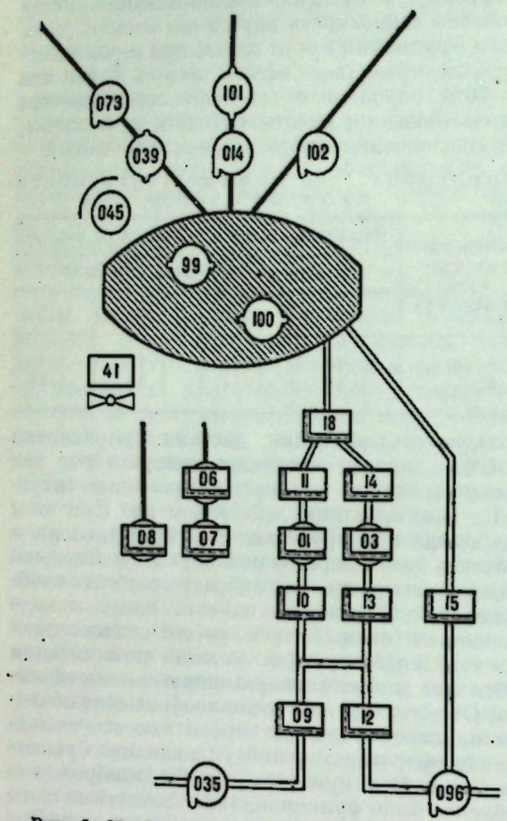


Рис. 5. Изображение на мнемонич. схеме маслохозяйства турбогенератора ТЭЦ на основе инженерно-психологич. анализа оперативного узла (по Ошанину).

вость работы испытуемого, так и процент ошибочных действий при решении им оперативных задач.

П. и. выдвинула ряд общих принципов рационального размещения органов контроля и органов управления на щитах управления, панелях и табло: функциональный принцип (органы управления и контроля должны группироваться на панелях по характеру их назначения); принцип совмещения стимула и реакции (органы контроля и соответствующие им органы управления должны быть максимально сближены или пространственно соотнесены); принцип значимости и принцип частоты использования (органы, связанные с наиболее существенными и часто повторяющимися операциями должны располагаться в наиболее удобных местах); принцип соответствия (расположение элементов должно соответствовать их особенностям, требуемым усилиям, точности, быстроте манипулирования); принцип последовательности (размещение должно соответствовать последовательности операций) и др. Вопросы конструкции и относит. эффективности различных видов органов управления (кнопок, штурвалов, маховиков, рычагов, педалей и др.) относятся скорее к области антропологии, биомеханики и физиологии, чем к П. и. (см. *Эргономика*).

Лит.: Ломов Б. Ф., Человек и техника. (Очерки инженерной психологии), [Л.], 1963; Ошанин Д. А., Венда В. Ф., О некоторых путях повышения эффективности операторского труда в системах «человек и автомат», «Вопр. психологии», 1962, № 3; Леонтьев К. Л., Лернер А. Я., Ошанин Д. А., О некоторых задачах исследования системы «человек и автомат», там же, 1961, № 1; Ошанин Д. А., Панов Д. Ю., Человек в автоматических системах управления, «Вопр. философии», 1961, № 5; Фиттс П. М., Инженерная психология и конструирование машин, в кн.: Экспериментальная психология, пер. с англ., т. 2, М., 1963. *Д. А. Ошанин.*

ПСИХРОМЕТР (psychrometer; psychromètre; Psychrometer) — прибор для определения влажности воздуха с помощью двух термометров — сухого и смоченного. Смоченный термометр отличается от сухого тем, что его термоприемник (напр., резервуар со ртутью у ртутного термометра) в процессе измерения поддерживается увлажненным. По показаниям сухого и смоченного термометров с помощью психрометрич. таблиц, номограмм или счетных линеек, рассчитанных по психрометрич. ф-ле, определяется упругость водяного пара в миллиметрах, миллибарах или относит. влажность. Измерения при помощи П. производятся гл. обр. при положит. темп-рах воздуха, т. к. при отрицат. темп-рах (в особенности ниже —5°) определение влажности по П. становится ненадежным.

Существует неск. типов П.: а) аспирационные П., состоящие из двух одинаковых ртутных термометров (сухого и смоченного) и имеющие искусств. вентиляцию термоприемников; б) стационарные П., состоящие из двух одинаковых ртутных или спиртовых термометров (сухого и смоченного), помещаемых на спец. штативе в метеорологич. будку; в) дистанционные и самопишущие П., в к-рых вместо ртутных термометров используют два (сухой и смоченный) электрич. термометра сопротивления, термисторы или термопары. Нек-рые из этих П. указывают непосредственно относит. влажность в %. См. также *Влажности газов измерение*.

ПУЛЬТ ДИСПЕТЧЕРСКИЙ (dispatching desk; pupitre de dispatching; Dispatcherpult) — устройство, с помощью к-рого оператор осуществляет средствами телемеханики и связи диспетчерское управление производственными или др. процессами. Характер аппаратуры, устанавливаемой на П. д., в значит. степени определяется типом *щита диспетчерского*, с к-рым часто комплектуется П. д. Наиболее характерны следующие способы взаимного использования диспетчерского щита в П. д. 1) На щите располагаются совмещенные с мнемосхемой все индивидуальные и общие сигнальные устройства, ключи ТУ и выходные приборы ТИ; в этом случае на П. д. размещаются только немногие индикаторные устройства (сигнальные лампы, табло) для контроля исправности телемеханич. устройств и фиксации нек-рых общих сигналов, а также служебные ключи и кнопки аппаратуры ТУ-ТС. 2) На щите располагаются монтируемые в мнемосхеме индивидуальные сигнальные устройства, тогда как на П. д. устанавливаются ключи ТУ, общие сигнальные устройства и выходные приборы ТИ, а также служебные ключи и кнопки устройств ТУ—ТС. 3) Диспетчерский щит отсутствует и все перечисленные выше приборы, сигнальные устройства, ключи и кнопки располагаются на П. д. Применяются также и промежуточные варианты использования пульта и щита. Для управления средствами диспетчерской связи на П. д. монтируется или устанавливается вблизи диспетчерский коммутатор. Конструктивно П. д. выполняется часто на одно или два рабочих

места в виде стола с наклонной верхней рабочей поверхностью в передней части пульта. Над рабочей поверхностью устанавливаются выходные приборы ТИ. *В. С. Малов.*

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ (control desk; pupitre de commande; Steuerpult) — устройство в виде стола, стенда, колонки и др., на к-ром размещены средства представления информации человеку и органы управления энергетич., пром., транспортными, коммунальными и др. объектами. П. у. бывают местными, находящимися непосредственно около обслуживаемого объекта, и дистанционными, с к-рых воздействие на управляемые объекты осуществляется при помощи устройств телемеханики. П. у. широко применяются на сложных агрегатах (напр., прокатных станах), автоматизиров. поточных линиях, заводах-автоматах и др. объектах, контролируемых операторами, наблюдающими за ходом технологич. процесса или исправностью машин (приборов) на местах или в диспетчерских пунктах.

Как правило, вся аппаратура в пунктах управления, где сосредоточены связь, сигнализация, контроль и управление, размещается на диспетчерском столе, П. у. и контрольном вертикальном (диспетчерском) щите. На диспетчерском столе устанавливаются телефоны, микрофоны, громкоговоритель, поисковые и вызывные кнопки, ключи управления, сигнальные лампы, важнейшие контрольно-измерит. приборы и др. Конструктивно диспетчерские столы выполняются поразному, напр. Т- или Ш-образной формы с вертикальной надстройкой. В тех случаях, когда по количеству управляемых объектов или по габаритам и количеству аппаратуры последняя не помещается на столе, ее располагают на П. у., представляющем собой обычно стол с наклонной плоскостью. Ключи управления и сигнализаторы монтируются на мнемонич. схеме, отображающей управляемые объекты в их технологич. или операционной последовательности (см. *Мнемосхема*). Обычно на П. у. мнемосхема имеет мимич. исполнение. На вертикальном диспетчерском щите устанавливаются измерит. приборы, визуальные и световые сигнальные указатели на изображениях мнемонич. схем производственных процессов.

Однако не всегда на практике соблюдается именно такое размещение аппаратуры. Нередко П. у. объединяется со столом диспетчера, иногда — с контрольным щитом. Могут быть объединены в одно целое диспетчерский стол, П. у. и контрольный щит. Кроме того, в различных отраслях пром-сти оператора может интересовать различная информация. Напр., для пром. пр-тий важно графич. отображение хода производств. процесса; в энергетике же основная информация отображается сигнализаторами и измерит. приборами, требующими непрерывного наблюдения за ними. Это обусловливает то или иное размещение аппаратуры на П. у., контрольном щите и диспетчерском столе.

Ввиду того, что из центральных диспетчерских пунктов управляют сложными системами и объектами, П. у. достигают больших размеров, а количество приборов и органов управления на них зачастую составляет неск. сотен (иногда тысяч) штук. Поэтому при проектировании современных П. у. приходится учитывать рекомендации новой отрасли науки — *психологии инженерной*. Последняя, на основе экспериментально выведенных положений качественного или количественного характера, помогает проектировщикам полнее использовать все возможности человека, а также учесть те ограничения, к-рые вызваны особенностями человеч. организма. Инженерная психология дает рекомендации по компоновке рабочих мест операторов, в частности П. у., на основании теоретич. положений и опыта работы операторов, обслуживающих различные системы, машины и т. п. Качество компоновки определяется следующими показателями: удобством положения человека-оператора при работе, качеством обзора приборов и органов управления, а также удобством воздействия на последние. Для эффективного использования оборудования на П. у. необходимо правильно выбрать и рационально разместить основные приборы и органы управления, правильно спроектировать рабочее место (пульт, кресло) оператора, выбрать для него соответствующую позу. Приборы контроля и органы управления должны быть так выполнены и размещены относительно оператора, чтобы все часто выполняемые манипуляции осуществлялись как сознательные, а манипуляции, необходимость в к-рых возникает внезапно,— рефлекторно.

Правильным решением устройства рабочего места человека-оператора является «типизация» компоновки П. у., предполагающая четкие нормативы на основные размеры рабочего помещения, обзор и расположение оператора относительно приборов контроля и органов управления. Важнейшими требованиями к обзору с точки зрения инженерной психологии являются следующие: 1) направление обзора должно совпадать с главным направлением движения машины (с постом управления) или ее основного элемента; 2) вспомогательные зоны обзора, к-рые требуют большого угла поворота головы оператора, обычно должны наблюдаться при помощи оптич. средств (зеркал, перископов и др.); 3) при наблюдении за внешним пространством следует обращать особое внимание на расстояние между осью визирования и центрами главных приборов наблюдения. Это расстояние во всех случаях рекомендуется делать наименьшим для обеспечения минимального времени перемещения взора оператора от объекта наблюдения вне поста управления до основных приборов на П. у.

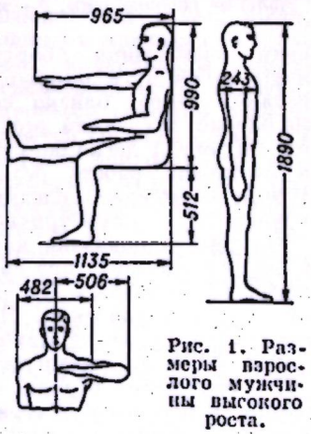


Рис. 1. Размеры взрослого мужчины высокого роста.

Размеры помещения поста управления часто приходится делать минимальными. Однако при этом необходимо учитывать тот факт, что в тесном помещении вследствие психологич. влияния стесненности человек устает быстрее. Поэтому закрытые помещения постов управления

должны проектироваться в расчете на взрослого мужчину высокого роста (рис. 1), тогда люди среднего и низкого роста будут располагаться в таком помещении вполне комфортабельно.

Рабочая поза (определенное положение головы, туловища и конечностей) оператора в значит. степени определяет расположение оборудования и органов управления. От расположения головы (глаз) зависит, напр., обзор; от расположения туловища — продолжительность пребывания в данной позе, а также возможность перенесения ускорений (определяется гл. обр. наклоном спинки кресла); от расположения туловища, рук и ног — способность оператора развивать то или иные усилия при работе с органами управления и т. д. Пределы досягаемости и поле зрения у оператора при вертикальном зафиксированном корпусе, т. е. нормальные и максимальные зоны рабочих движений рук в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также максимальное поле зрения при проектировании принимаются для фигуры мужчины низкого роста (рис. 2). Зоны наивыгоднейшего размещения оборудования представляют собой дуги окружностей вокруг человека-оператора, близко совпадающие с нормальными пределами его досягаемости. При этом в зоне *А* легко берутся мелкие предметы и возможна работа без вытягивания рук. В зоне *Б* возможно следить глазами за одновременной и симметричной работой рук.

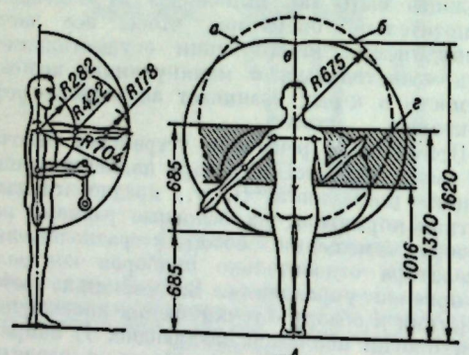


Рис. 2. Пределы досягаемости и поле зрения у оператора при вертикально зафиксированном корпусе: *а* — граница макс. рабочей зоны; *б* — поле зрения при макс. расстоянии от глаз в крайних точках; *в* — оптимальная зона; *г*, *е* — нормальные рабочие зоны; *д* — макс. рабочая зона.

На рис. 3 показана картина досягаемости в положении оператора сидя и стоя в случае, когда он находится на расстоянии 710 *мм* от пульта управления. Положение сидя является на практике наиболее частым, т. к. имеет большие преимущества перед всеми др. в отношении обзора, подвижности, утомляемости (однако при этом зона досягаемости рук и ног оператора значительно уменьшается). Для увеличения досягаемости рекомендуются кресла, дающие оператору возможность отклоняться вперед или в сторону.

Панели П. у. с размещенными органами управления и приборами контроля рекомендуется располагать, исходя из следующих установленных практикой норм: 1) высота сиденья оператора от пола для взрослого мужчины должна составлять 450 *мм*; 2) уровень глаз оператора от пола при положении сидя для мужчины среднего роста следует принимать равным 1200—1250 *мм*; 3) расстояние от туловища оператора до органов управления, к к-рым оператор часто обращается, должно быть не более 500 *мм*.

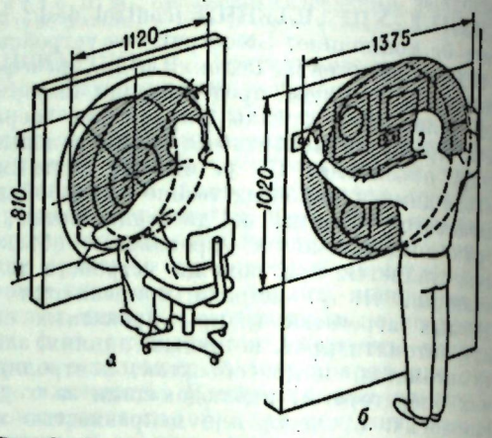


Рис. 3. Досягаемость рук оператора при положениях: *а* — сидя, *б* — стоя.

На рис. 4 приведены размеры рабочего кресла и П. у., определенные из условий пользования ими человеком низкого роста. При этом нек-рые размеры такого П. у. (пространство для ног) определяются для человека высокого роста. Такой П. у. оказывается вполне удобным примерно для 95% операторов.



Рис. 4. Размеры рабочего кресла и пульта управления.

При размещении оборудования и органов управления на рабочем месте необходимо облегчать физич. и умственную работу человека-оператора. Поэтому каждый прибор и орган управления должен иметь свое точно определенное место, чтобы у оператора вырабатались чередующиеся и совершенно одинаковые движения глаз или рук, т. е. выработалась «автоматичность» навыков.

Определение допустимых зон размещения оборудования, гл. обр. органов управления, сводится к распределению оборудования в зависимости от его важности, частоты применения и трудоемкости, а также объема рабочих движений оператора. Для размещения органов управления вокруг оператора пространство разбивается на ряд зон с различной доступностью (рис. 5). На рис. 6 приводится горизонтальное сечение поста управления. Здесь указаны рабочие зоны размещения рычагов управления и приборов, требующих зрительного наблюдения. Кроме приведенных выше рекомендаций, инженерная психология дает ряд др., связанных с проектированием и компоновкой пунктов управления вообще и П. у. в частности.

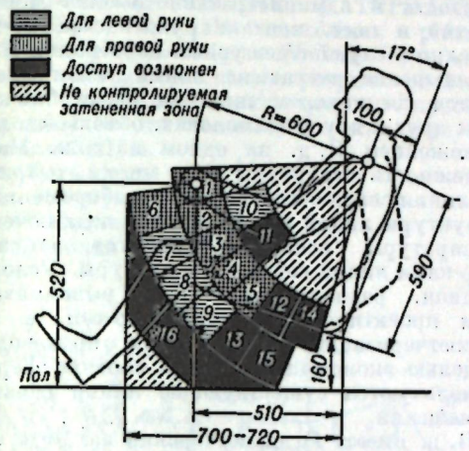
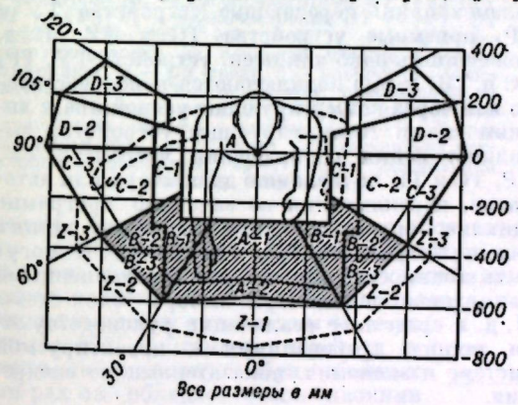


Рис. 5. Доступность различных зон для рук сидящего оператора (номера зон возрастают в порядке убывающей доступности).



Все размеры в мм

Рис. 6. Горизонтальное сечение поста управления, разбитое на зоны досягаемости, обозначенные буквами и цифрами в порядке убывающей доступности.

Лит.: Сидоров О. А., Физиологические факторы человека, определяющие компоновку поста управления машиной, М., 1962; Ломов Б. Ф., Человек и техника. (Очерки инженерной психологии), Л., 1963; Надежность наземного радиоэлектронного оборудования, пер. с англ., М., 1957.

А. И. Галактионов.

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ЦВМ (digital computer control desk; pupitre de commande de calculateur numérique; Steuerpult einer Ziffernmaschine) — устройство, с помощью к-рого человек управляет работой ЦВМ. П. у. позволяет осуществлять: установку режимов работы машины, текущий контроль за работой машины и функционированием программ, отладку программ, оперативное воздействие на ход решения задачи, поиск неисправностей в машине и ее профилактич. проверку.

Установка режимов работы машины производится набором кнопок, тумблеров и переключателей, располагаемых на соответствующих панелях П. у., и включает в себя: запуск машины на автоматич. работу посылкой запускающего импульса в УУ машины; остановку машины с фиксацией состояния оси. цепей машины в момент остановки; ввод машины в режим работы по тактам с остановкой после выполнения каждой команды; ввод машины в работу по синхронизирующим циклам (БЭСМ, «Киев») для визуального просмотра функционирования цепей машины в процессе выполнения каждого элементарного действия заданной операции; выбор входных и выходных устройств (СЕАК), блоков внешних и буферных ЗУ с перераспределением между ними адресов и признаков («Стрела») и определением режимов их работы (например, блокировка записи на ленту или магнитный барабан, выбор системы счисления для печати выводимой из машины информации — «Урал» и т. д.). В нек-рых машинах допускается выбор с П. у. структуры команд, напр. переключение с трехадресной кодировки на четырехадресную и наоборот (СЕАК). На П. у. могут также располагаться кнопки или ключи для снятия со всей машины или отдельных ее устройств питающего напряжения в аварийных случаях.

Текущий контроль работы машины и функционирования программ решения задач осуществляется приборами, контролирующими энергетич. режимы машины, малоинерц. *индикаторными лампами*, контрольно-индикаторными ЭЛТ и т. д. На П. у. сигнальными лампочками отражается состояние всех осн. цепей и узлов машины. Нек-рые машины (БЭСМ) имеют на П. у. своеобразную мнемонич. схему из сигнальных ламп, отражающих взаимосвязь и взаимодействие узлов, блоков и устройств машины. В машинах, обладающих схемным контролем прохождения информации (с помощью контрольных кодов), на П. у. установлены сигнальные элементы, указывающие на появление несоответствия между осн. и контрольным кодом (НОРК). Как правило, на П. у. имеется сигнализация о всех логич. режимах работы машины и причинах ее остановки. Контролируется правильность выполнения программы отражением на П. у. логич. методов проверки процесса решения задачи. Напр., на П. у. выдаются сигналы остановки машины при несовпадении контрольных сумм результатов двух просчетов («Стрела») с фиксацией на П. у. этих сумм; сигналы переполнения разрядной сетки и др. В нек-рых машинах предусматривают текущий контроль результатов решения выводом их на осциллограф в виде графика (БЭСМ).

Наряду с контрольными элементами, постоянно связанными с определ. цепями, существуют также индикаторные приборы, подключаемые оператором к тем или иным узлам машины (контрольная трубка для визуального просмотра отдельных разрядов ОЗУ машины «Стрела» или 9 контрольных разрядов в машине НОРК, к-рые могут подключаться к различным частям машины).

Отладка программ с П. у. ведется с помощью спец. приспособлений, позволяющих опера-

тору останавливаться в требуемом месте программы, визуально просматривать работу того или иного участка программы и т. д. К таким приспособлениям можно отнести систему остановок по заданному содержимому различных регистров и счетчиков (остановка по адресу команды, по адресу операнда, результата операции и т. д.), остановки по контрольным разрядам в командах, остановки при передачах управления по спец. командам (НОРК) и т. д. Иногда с П. у. можно снижать частоту выполнения операций на определ. участке программы, что позволяет оператору грубо оценивать ход выполнения программы и останавливать машину примерно там, где функционирование программы вызывает сомнение (ИБМ-704).

Оперативное воздействие на ход решения задачи обеспечивается возможностью выполнения с П. у. любой предусмотр. в машине команды, изменение содержимого ЗУ машины и нек-рых ее регистров, управление условными переходами и т. д. Код команды, к-рую предполагается выполнять с П. у., набирается оператором на спец. панели с помощью тумблеров или кнопок. Выполняется набранная команда вручную нажатием соответствующей кнопки или автоматически по спец. команде. В нек-рых машинах на П. у. имеется неск. наборных адресуемых регистров, обращение к к-рым может происходить так же, как и к любой ячейке ОЗУ. Изменяя содержимое этих регистров, можно управлять вычислительным процессом без его прерывания. Управление условными переходами можно вести с помощью спец. команд, характер выполнения к-рых зависит от положения переключателей на П. у. (команды 74—79 машины НОРК).

В машинах, допускающих мультипрограммное управление, имеется неск. П. у., каждый из к-рых обеспечивает контроль и управление решением одной из задач (СТРЕТЧ). Ввод данных для решения, все проверки, изменение хода решения каждой задачи происходят при этом независимо от решения др. задач. Функции технич. контроля работы машины, поиска неисправностей и профилактич. наладки могут возлагаться в этом случае на отдельный П. у.

Весьма перспективным является т. н. интерпретируемый пульт или пульт с произвольной логич. структурой. Все контрольно-индикац. элементы в нем воспринимаются как элементы вывода, а наборные и управляющие — как элементы ввода без фиксации их функцион. назначения. Конкретный смысл этим элементам при работе машины в том или ином режиме задается спец. подпрограммами.

И. А. Данильченко.

ПУНКТ ДИСПЕТЧЕРСКИЙ (dispatching station; poste de dispatching; Dispatcherpunkt) — место, из к-рого средствами телемеханики и связи осуществляется диспетчерское управление производств. или др. процессами. В тех случаях, когда многочисл. объекты рассредоточены на большой площади и потоки информации с объектов и обратно велики, может быть экономически целесообразно иметь неск. П. д., связанных между собой или объединенных центральным П. д.

Выбор места расположения П. д. определяется требованиями: оперативности управления производством; миним. затрат на линии связи; макс. надежности структуры, образованной П. д., исполнит. пунктами на объектах и линиями связи между ними. Оперативности управления производств. процессом способствует расположение П. д. в непосредств. близости к административно-технич. центру пр-тия и пост. контакт руководства пр-тия и технич. служб с дежурным персоналом П. д. Уменьшение затрат на линии связи достигается соединением линиями связи ближайших друг к другу технологич. объектов и расположением П. д. на одном из них. Макс. надежность структуры при миним. затратах на линии связи обеспечивается выбором оптим. структуры линий связи, методом подключения аппаратуры исполнит. пунктов, технич. хар-ками линий связи и аппаратуры. Условия рацион. расположения П. д. выполняются при проектировании новых пр-тий, а при диспетчеризации действующих производств с целью экономии средств в первую очередь используются существующие линии связи и помещения.

П. д. имеет: 1) диспетчерский зал, где размещаются *щит диспетчерский* и *пульт диспетчерский*; 2) аппаратурный зал — место размещения аппаратуры, не требующей пост. наблюдения со стороны диспетчера; 3) мастерскую для ремонта и наладки аппаратуры; 4) вспомогат. помещения (кладовая, санузел, комната отдыха и т. п.). Взаимное расположение помещений П. д. должно обеспечивать удобство доступа в них, монтажа оборудования и коммуникаций между его элементами.

На П. д. размещается аппаратура связи и телемеханики: передающие устройства ТУ и ТР, приемные устройства ТС и ТИ. П. д. может иметь одно или неск. устройств ТУ, ТР, ТС и ТИ, к-рые подключаются непосредственно или через коммутирующие устройства к линиям связи. Коммутирующее устройство выполняет ф-ции подключения устройств ТУ, ТР, ТС и ТИ по желанию диспетчера или автоматич. переключения по заданной программе (циклич. опрос) к одной или неск. линиям связи. Устройства ТУ, ТР, ТС и ТИ могут быть взаимосвязанными или выполненными как единое целое. При выборе блок-схемы П. д. и средств ее реализации руководствуются технич. требованиями к проектируемой системе и экономич. показателями ее внедрения.

В связи с увеличением объема информации между П. д. и объектами с усложнением ф-ций диспетчера возникает необходимость отбора существенных данных, их автоматич. классификации и обработки, а также применения управляющих машин, исключающих промежуточное участие человека между системой контроля и обработки данных и органами управления производств. процессом. Применяются П. д., на к-рых большое число приборов ТИ заменено сигналами о выходе контролируемых параметров за допустимые пределы. Такая система не только экономит контрольную аппаратуру, но и решает важную задачу предварит. отбора информации. Данные ТИ часто воспроизводятся в более удобной цифровой форме и регистрируются печатающим устройством. Информация в цифровой форме и дискретные данные ТС приспособлены для передачи в цифровую управляющую или вычислит. машину, к-рые облегчают работу диспетчера.

О. И. Бронштейн.

ПУШПУЛЬНАЯ СХЕМА (push-pull circuit; circuit push-pull; Gegentaktschaltung) — см. *Двухтактная схема.*

pH-МЕТР — см. *Концентрации водородных ионов измерение.*

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ (piezoelectric materials; matériaux piézoélectriques; piezoelektrische Werkstoffe) — материалы, обладающие пьезоэлектрич. свойствами, из к-рых изготовляют чувствит. преобразующие элементы *пьезоэлектрических преобразователей*. П. м. могут быть природные и искусственные монокристаллы, поликристаллич. керамич. материалы, пьезоэлектрич. текстуры [1] и сегнетоэлектрики. Кварц, применяемый в фильтрах, стабилизаторах частоты и УЗ преобразователях, является химически устойчивым П. м. до темп-ры 573° С (темп-ра перехода α-кварца в β-кварц). При обычных темп-рах он обладает очень низкими внутр. потерями и применяется в фильтрах с высокой избирательностью (напр., для многоканальной связи), а также для первичных стандартов частоты. С помощью косых срезов кварца (рис. 1) получают резонаторы с очень низкими температурными коэфф. частоты.

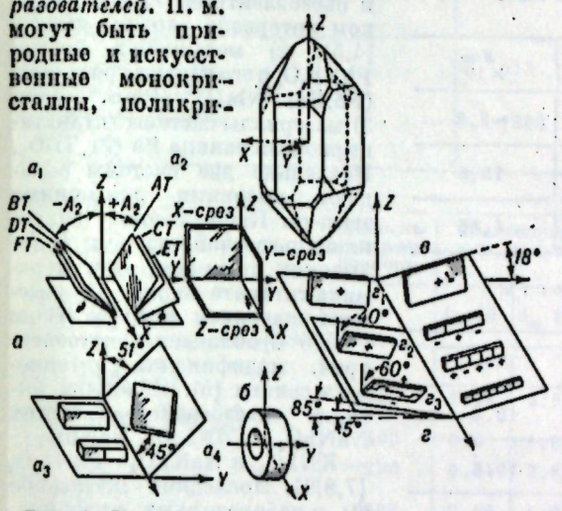


Рис. 1. Кристалл кварца с естеств. огранкой и основные срезы кварца; *а* — с нулевым температурным коэфф. частоты (a_1, a_2, a_4 — для генераторов и фильтров) [a_1 — высокочастотные *AT* (+35°15′), *BT* (—49°); a_2 — низкочастотные *CT* (+38°), *DT* (—52°), *ET* (+66°), *FT* (—57°); a_3 — 0°Z-срез (для генераторов на основной частоте и второй гармонике); a_4 — *GT*-срез]; *б* — кольцо; *в* — моночастотный —18° *X*-срез ($s'_{24}=0$), работающий на 1, 3, 5, 7-й гармониках; *г* — срезы с низким температурным коэфф. частоты (*г* — +5° *X*-срез для фильтров), z_2 — *MT*-срез, работающий на продольных колебаниях, z_3 — *NT*-срез, работающий на изгибных колебаниях).

Константы кварца (по Фохту) даны в табл. 1 (здесь и в др. таблицах в системе CGSE).

Широкое техническое применение находят кристаллы **сегнетовой соли** (двойная калиево-натриевая соль винно-каменной кислоты с 4 молекулами кристаллизационной воды), точки Кюри которой лежат при температурах —18°, +24°. Она легко растворима в воде и не обладает температуро- и влагостойкостью. Пластины, вырезанные из кристаллов сегнетовой соли (рис. 2, *а*), гораздо менее прочны, чем кварцевые (разрушающее усилие для сегнетовой соли $15\cdot10^6$ *н/м*², для кварца $76\cdot10^6$ *н/м*²). Поэтому в ряде применений (например, в подводной акустике) сегнетова соль требует защитных приспособлений. В технике радиовещания (микрофоны, адапторы и др.) используются пластинки сегнетовой соли, работающие в режиме изгибных и крутильных колебаний. При комнатной темп-ре сегнетова соль — наиболее сильный пьезоэлектрик из всех известных материалов. При темп-ре +55° С сегнетова соль разлагается. Константы сегнетовой соли по Мэзону даны в табл. 2.

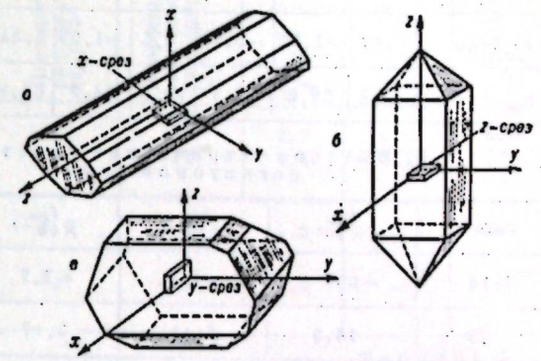


Рис. 2. Характерные формы кристаллов: *а* — сегнетовой соли; *б* — ADP; *в* — сульфата лития.

В гидроакустике получили применение кристаллы дигидрофосфата калия (KDP) и дигидрофосфата аммония (ADP). Кристаллы ADP (рис. 2,*б*) не содержат кристаллизац. воды, выдерживают без разложения темп-ру до 100° С и обладают большей стабильностью электромеханич. параметров, чем сегнетова соль. Наиболее употребителен *Z*-срез. Высокая чувствительность к изменениям темп-ры и электрич. поля ограничивает применение KDP и сегнетовой соли. Кристаллы сульфата лития (рис. 2,*в*) выдерживают нагревание до 75° С и обладают большей температурной стабильностью параметров, чем сегнетова соль.

Таблица 1.

а) Упругие константы кварца

lm	11	12	13	14	33	44
$s_{lm}\cdot10^{12}$	11,14	—1,63	—1,49	—4,23	9,71	19,66
$c_{lm}\cdot10^{-9}$	8,08	0,71	1,44	1,72	10,75	5,82

б) Пьезоэлектрические константы кварца

lm	d_{lm} $\times10^9$	e_{lm} $\times10^{-4}$	f_{lm} $\times10^{-4}$	g_{lm} $\times10^3$
11	—6,27	—4,27	—13,3	—17,6
14	1,93	—1,23	—3,44	5,4

в) Диэлектрическая проницаемость кварца $\varepsilon_{11}=\varepsilon_{33}=4,5$; $\varepsilon_{33}=4,6$.

Таблица 2.

а) Упругие константы сегнетовой соли

lm	11	12	13	22	23	33	44	55	56
$s_{lm}\cdot10^{12}$	5,18	−1,53	−2,11	3,5	−1,03	3,34	7,98	32,8	10,1
$c_{lm}\cdot10^{-10}$	42,5	29,6	35,7	51,5	34,3	62,9	12,5	3,04	9,96

б) Пьезоэлектрические константы сегнетовой соли

lm	d_{lm} $\times10^{7}$	e_{lm} $\times10^{-4}$	f_{lm} $\times10^{-4}$	g_{lm} $\times10^{7}$
14	~90	~110	~7,7	~3,8
25	16,9	5,15	5,17	15,6
36	3,94	3,91	4,81	4,80

в) Диэлектрическая проницаемость сегнетовой соли

ll	11	22	33
$(\varepsilon_{ll})_\varepsilon$	~176	12,6	10,2
$(\varepsilon_{ll})_\sigma$	~302	136	10,3

В узкополосных фильтрах и стабилизаторах частоты кварц часто заменяют кристаллами этилен-диамин тартрата (EDT) и тартратом калия (DKT). Пьезоэлектрич., диэлектрич. и упругие константы этих синтетич. кристаллов по Мезону и Бехману см. в табл. 3.

Таблица 3.

Константы синтетических кристаллов

	Тип кристалла			
	ADP	EDT	DKT	$LISO_4$
d_{14}	$5\cdot10^{-8}$	$-30,4\cdot10^{-8}$	$-25\cdot10^{-8}$	$14\cdot10^{-8}$
d_{15}	—	$-36,6\cdot10^{-8}$	$6,5\cdot10^{-8}$	$-12,5\cdot10^{-8}$
d_{21}	—	$30,3\cdot10^{-8}$	$-2,2\cdot10^{-8}$	$11\cdot10^{-8}$
d_{22}	—	$6,6\cdot10^{-8}$	$8,5\cdot10^{-8}$	$-4,5\cdot10^{-8}$
d_{23}	—	$-34,0\cdot10^{-8}$	$-10,4\cdot10^{-8}$	$-5,5\cdot10^{-8}$
d_{25}	—	$-53,8\cdot10^{-8}$	$-22,5\cdot10^{-8}$	$16,5\cdot10^{-8}$
d_{36}	$-148\cdot10^{-8}$	$-50,9\cdot10^{-8}$	$29,4\cdot10^{-8}$	$-26,4\cdot10^{-8}$
c_{14}	$3,6\cdot10^{3}$	$-55,1\cdot10^{-8}$	$-66\cdot10^{-8}$	$10,0\cdot10^{-8}$
c_{25}	$9,04\cdot10^{3}$	—	—	—
g_{25}	$118\cdot10^{-3}$	—	—	—
h_{36}*	$8,09\cdot10^{4}$	—	—	—
ε_{11}	58,0	—	—	—
ε_{22}	58,0	5,0	6,44	—
ε_{33}	14,0	8,22	5,8	5,6
Q_0	1,803	6,0	6,49	10,3
s_{11}	$1,81\cdot10^{-12}$	1,563	1,988	6,5
s_{12}	$0,19\cdot10^{-12}$	$3,34\cdot10^{-12}$	$2,24\cdot10^{-12}$	2,06
s_{13}	$-1,18\cdot10^{-12}$	$-0,3\cdot10^{-12}$	$-0,08\cdot10^{-12}$	$2,39\cdot10^{-12}$
s_{15}	—	$-3,0\cdot10^{-12}$	$-1,64\cdot10^{-12}$	$-0,95\cdot10^{-12}$
s_{23}	—	$-1,7\cdot10^{-12}$	$-0,64\cdot10^{-12}$	$-0,5\cdot10^{-12}$
s_{22}	—	$3,65\cdot10^{-12}$	$3,37\cdot10^{-12}$	$-0,71\cdot10^{-12}$
s_{25}	—	$-1,8\cdot10^{-12}$	$-1,05\cdot10^{-12}$	$2,13\cdot10^{-12}$
s_{33}	$4,35\cdot10^{-12}$	$15\cdot10^{-12}$	$-0,57\cdot10^{-12}$	$-0,36\cdot10^{-12}$
s_{35}	—	$10,0\cdot10^{-12}$	$3,86\cdot10^{-12}$	$-1,20\cdot10^{-12}$
s_{44}	$11,53\cdot10^{-12}$	$-2,65\cdot10^{-12}$	$0,90\cdot10^{-12}$	$2,31\cdot10^{-12}$
s_{46}	$2\cdot10^{-12}$	$19,1\cdot10^{-12}$	$11,9\cdot10^{-12}$	$0,05\cdot10^{-12}$
s_{55}	—	$0,38\cdot10^{-12}$	$0,57\cdot10^{-12}$	$3,69\cdot10^{-12}$
s_{66}	$16,64\cdot10^{-12}$	$11,6\cdot10^{-12}$	$8,15\cdot10^{-12}$	$-0,41\cdot10^{-12}$
		$19,1\cdot10^{-12}$	$10,41\cdot10^{-12}$	$4,1\cdot10^{-12}$
				$7,4\cdot10^{-12}$

* Или l_{36} в обозначениях Харкевича.

Наиболее перспективны керамич. пьезоматериалы, напр. титанат бария. Это сегнетоэлектрич. поликристаллы, пьезоэлектрич. свойства к-рых проявляются после предварит. поляризации в пост. электрич. поле. Они отличаются прочностью, влагостойкостью и высокими значениями пьезокоэфф. Основные керамич. пьезоматериалы: 1) титанат бария $BaTiO_3$ и его твердые растворы (Ba,Pb) TiO_3 и (Ba,Pb,Ca)TiO_3, разработанные для стабилизации упругих и пьезоэлектрич. св-в в широком интервале рабочих темп-р [4,5]; 2) метаниобат свинца $PbNb_2O_6$ и его твердые растворы (Pb,Ba) Nb_2O_6; (Pb,Sr)Nb_2O_6; 3) материалы системы титанат-цирконата свинца Pb (Zr,Ti)O_3. Последние две системы обладают высокими значениями темп-ры Кюри, поэтому сохраняют пьезосвойства при более высоких темп-рах, чем керамика титаната бария. Наивысшим значением темп-ры Кюри (+570° C) обладает сегнетоэлектрич. модификация метаниобата свинца [6]. Известны высокие пьезосвойства систем $NaNbO_3$ — $CdNb_2O_6$, $NaNbO_3$ — $KNbO_3$ и $NaNbO_3$—$PbNb_2O_6$ [7,8,9]. Последние исследованы в лабораторных условиях, но пока не получили практич. применения из-за технологич. трудностей.

Все пьезоэлектрич. керамич. материалы с высокой точкой Кюри обладают высокой коэрцитивной силой при комнатной темп-ре и требуют поляризации пост. полем (более 20 *кв/см*) при 200—250° C. Однако поляризация керамики при нагревании («горячая» поляризация) часто затруднена (особенно для поликристаллич. метаниобата свинца) увеличением электропроводности при приближении к точке Кюри. Введением малых добавок к основному материалу можно существенно изменить как темп-ру синтеза состава, так и его основные св-ва. Данные исследований наиболее перспективных керамич. материалов при измерениях в слабых электрич. полях и при нормальном давлении (1 *атм*) приводятся в табл. 4 и 5. При больших механич. нагрузках и в сильных электрич. полях у ряда керамич. материалов (титанат бария, система титанат-цирконат свинца и др.) заметно изменение основных параметров. Все керамич. П. м. в той или иной мере подвержены процессам старения.

Лит.: 1) Шубников А. В. [и др.], Исследование пьезоэлектрических текстур, М.—Л., 1955; 2) Кэди У., Пьезоэлектричество и его практические применения, пер. с англ., М., 1949; 3) Мезон У., Пьезоэлектрические кристаллы и их применения в ультраакустике, пер. с англ., М., 1952; 4) Mason W. P., «J. Acustica», 1954, v. 4, № 1, p. 200; 5) Пасынков Р. Е., Виноградов В. В., «ЖАН СССР. Сер. физ.», 1957, т. 21, № 3, с. 450; 6) Goodman G., «J. Amer. Ceram. Soc.», 1953, v. 36, № 11, p. 368; 7) Смоленский Г. А., Исупов В. А., Аграновская А. И., «Физика твердого тела», 1959, вып. 1, с. 442; 8) Исупов В. А., Косяков В. И., «Журнал техн. физ.», 1958, т. 28, вып. 10, с. 2175; 9) «Физика твердого тела», 1959, т. 1, вып. 6, с. 929.

А. А. Ананьева.

Таблица 4.

Константы основных керамических пьезоматериалов

Составы	Диэлектрич. проницаемость (ε)	Пьезоэлектрич. модуль $(d_{31})\cdot10^{6}$	Коэффициент электромеханич. связи (k_p) %	$\frac{d_{31}\cdot10^{9}}{\varepsilon}$	$(d_{31}\cdot E)^2\times10^{-12}$	Точка Кюри (°C)
$(Pb_{0,8}Sr_{0,2})Nb_2O_6$	440	1,3	26	2,9	0,5	450
$(Pb_{0,6}Ba_{0,4})Nb_2O_6$	1190	1,7	27	1,4	2,2	290
$Pb(Zr_{0,54}Ti_{0,46})O_3$	513	2,3	0,50	4,5	—	387
$(Pb_{0,95}Sr_{0,05})(Zr_{0,54}Ti_{0,46})O_3$+ + 1 вес. % Nb_2O_5	1609	5,1	0,56	3,2	—	306

Таблица 5.

Состав	Диэлектрич. проницаемость	Пьезоэлектрич. модуль		Коэфф. электромеханич. связи			Упругие постоянные		Точка Кюри (°C)
	(ε)	$d_{31}\cdot10^{6}$	$d_{33}\cdot10^{6}$	k_p	k_{31}%	k_{33}%	Q	$E\cdot10^{-12}$ *дин/см²*	
$(Ba_{0,95}Ca_{0,05})TiO_3$	1200	1,74	4,5	0,325	0,19	49	500	1,16	115
$(Ba_{0,80}Ca_{0,08}Pb_{0,12})TiO_3$	400	0,6	1,8	0,19	0,11	34	1200	1,19	140
$PbNb_2O_6$	280	0,34	2,8	0,07	0,45	42	Низкая	1,04	570
$(Na_{1,6}Cd_{0,2})Nb_2O_6$	2000	2,33	5,84	0,30	0,18	—	300	1,1	220
$(K_{0,5}Na_{0,5})NbO_3$	294	1,06	2,6	0,34	0,21	51	140	1,04	210
$BaTiO_3$	1500—1800	1,4—1,7	3,0—5,0	—	—	40		1,0—1,1	120

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (piezoelectric converter; convertisseur piézo-électrique; piezoelektrischer Wandler) — преобразователь электрич. энергии в механич. (и наоборот), основанный на пьезоэлектрич. эффекте. П.п. широко применяются для генерирования и приема звуковых и УЗ волн в акустике и всех ее технич. приложениях. Чувствит. элементы для П.п. из пьезоэлектрич. кристаллов применяются в основном в виде мозаик, стержней, пакетов, простых и биморфных пластинок, полых сфер или сферич. сегментов и цилиндрич. трубок. Мозаичные П.п. используют при необходимости иметь большие излучающие или принимающие звук поверхности. В мозаичных П.п. пьезоэлементы, как правило, колеблются по толщине, чаще всего на основной частоте. Частотная постоянная многих пьезоэлектрич. веществ близка к 250 *кгц·см*, поэтому простые мозаики (рис. 1,*б*) могут работать в частотном диапазоне 200 *кгц*—30 *Мгц*. На частотах ниже 200 *кгц* применяют составные вибраторы (рис. 1,*а*). Кроме основной частоты, П.п., колеблющиеся по толщине, могут возбуждаться на нечетных гармониках, но при этом амплитуда колебаний падает с увеличением номера гармоники.

Пьезоэлектрич. стержни применяются в преобразователях, колеблющихся по длине, в диапазоне частот 20—200 *кгц*. Их недостаток — малая излучающая (приемная) площадь. Кроме того, для ряда пьезоматериалов, в частности для широко применяемых сейчас керамических, поперечный пьезоэлектрич. эффект существенно меньше продольного. Напр., для керамики титаната бария при толщинных колебаниях коэфф. электромеханич. связи достигает 46—50%, а при колебаниях по длине стержня — 18—20%. Из двух тонких пластин, работающих на продольные колебания (сжатие — растяжение), могут быть составлены биморфные изгибные элементы (рис. 1, *в*), к-рые применяются в микрофонах, пьезотелефонах и др. В ряде конструкций П.п. биморфные пьезоэлементы работают на скручивание или подвергаются более сложным типам деформаций. Биморфные пьезоэлементы, в частности из сегнетовой соли, отличаются очень высокой чувствительностью по сравнению с простыми пьезоэлектрич. пластинами, работающими на сжатие — растяжение.

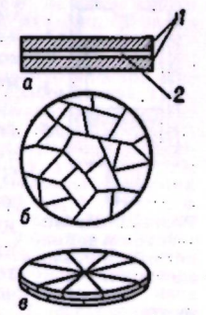


Рис. 1. Примеры классич. конструктивных форм пьезопреобразователей: *а* — УЗ кварцевый вибратор Ланжевена; *б* — кварцевая мозаика; *в* — пьезоэлектрич. диафрагма Балантайна; *1* — металлич. пластины; *2* — кварц.

Пьезоэлектрич. фокусирующие преобразователи в виде сферич. сегментов или частей цилиндров из пьезоэлектрич. кристаллов изготовляются в мозаичном варианте; применение пьезоэлектрич. керамики позволило получать монолитные П.п. спец. форм (полые сферы и цилиндры, низкие цилиндры больших диаметров, длинные трубки и др.). В цилиндрич. и трубчатых керамич. преобразователях используются 3 вида колебаний: 1) колебание растяжения — сжатия в радиальном направлении, сопровождающееся изменением толщины стенки кольца или трубки; 2) поперечные колебания, при к-рых меняется диаметр; 3) продольные колебания в направлении оси цилиндра. Трубчатые и цилиндрич. вибраторы могут излучать УЗ как внутрь, так и наружу.

По ширине принимаемой (излучаемой) полосы частот П. п. делятся на резонансные узкополосные преобразователи, имеющие макс. отдачу или чувствительность в узкой полосе частот, и на широкополосные измерит. преобразователи. Широкополосными П. п. являются измерит. звукоприемники (гидрофоны, микрофоны), радиовещат. микрофоны, звукосниматели, виброметры. В этом случае преобразующий пьезоэлектрич. элемент работает на частотах ниже собственных резонансов. В измерит. технике применяются звукоприемники из поляризованной керамики титаната бария в виде тонкостенных полых сфер и цилиндров, размеры к-рых меньше длины звуковой волны во всем рабочем диапазоне частот. Их чувствительность ок. 4,5 *мкв/бар* на 1 *см* радиуса сферы (цилиндра) и увеличивается пропорционально радиусу.

Для сфер и цилиндров из керамики ЦТС эта нувствительность превышает 10 *мкв/бар* на 1 *см* радиуса. Сферич. и цилиндрич. измерит. звукоприемники пригодны как для звукового, так и для УЗ диапазона частот. В простейшем пьезоэлектрич. виброметре (рис. 2) чувствительный пьезоэлектрич. элемент *1* из поляризованной керамики заключен в металлич. корпус-экран *3* и дополнен для увеличения чувствительности на НЧ металлич. массой *2*. Широкополосные П. п. для излучения звука с достаточно большой отдачей конструктивно трудно выполнить, поэтому они применяются только для лабораторных исследований и выполняются либо в виде набора стержней (с различными резонансными частотами), нагруженных на общую диафрагму, либо в форме усеченных керамич. цилиндров, имеющих различную осевую длину по образующей, либо в виде диапазонного пьезоэлектрич. излучателя с примыкающим к одной его поверхности столбом жидкости переменной длины для плавной настройки по частоте.

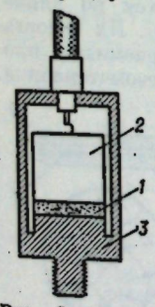


Рис. 2. Пьезоэлектрич. виброметр: *1* — пьезоэлектрич. диск; *2* — металлич. масса; *3* — корпус.

Узкополосные П. п. применяются в технике чаще, чем широкополосные. П. п. с большой добротностью — для стабилизации частоты и в фильтровой технике; резонансные преобразователи в виде простых тонких пластин с резонансной частотой в несколько *Мгц* — в дефектоскопии. Напр., пьезоэлектрич. щуп дефектоскопа (рис. 3) служит как для излучения, так и для приема УЗ. Мощный НЧ преобразователь (рис. 4) для технологич. целей выполнен в виде составного продольно колеблющегося вибратора Ланжевена с чувствит. керамич. элементом *3* и понижающими

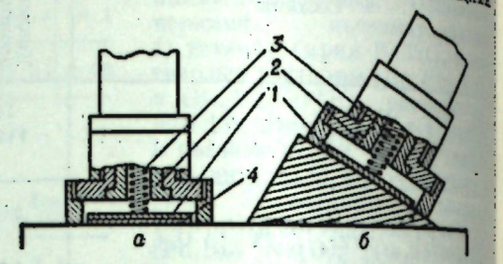


Рис. 3. Щуп дефектоскопа: *а* — с прямой головкой; *б* — с наклонной головкой; *1* — пьезопластина; *2* — изолирующая втулка; *3* — пружина; *4* — диск с толщиной, равной $^1/_2$ длины волны.

резонансную частоту накладками *4* и *5* из двух металлов с различной плотностью. Такие вибраторы работают на частотах 15—80 *кгц*. Используя керамику титаната бария, можно получить акустич. мощность при длит. работе до 2 *вт/см²* (при хорошем охлаждении, кратковременно до 200 *вт/см²*). На этих же

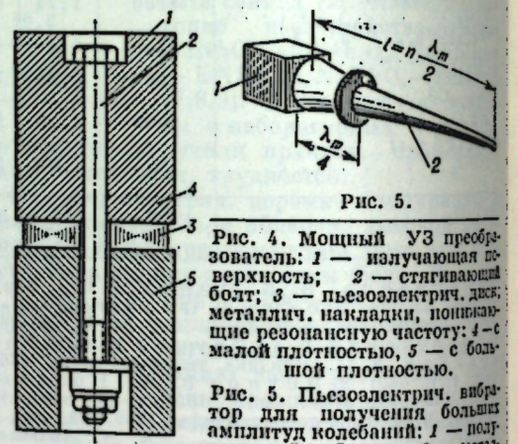


Рис. 4.

Рис. 5.

Рис. 4. Мощный УЗ преобразователь: *1* — излучающая поверхность; *2* — стягивающий болт; *3* — пьезоэлектрич. диск; металлич. накладки, понижающие резонансную частоту: *4* — с малой плотностью, *5* — с большой плотностью.

Рис. 5. Пьезоэлектрич. вибратор для получения больших амплитуд колебаний: *1* — полуволновой вибратор; *2* — металлич. рупор; λ_m — макс. длина волны.

частотах работают мощные вибраторы пакетного типа (составленные из неск. пластин) и трубчатые керамические. Продольный трубчатый вибратор из керамики титаната бария (с добавкой 4% свинца) развивает амплитуду колебаний торцовой поверхности $4 \cdot 10^{-3}$ *мм* при напряженности электрич. поля ~ 20 *кв/см* на резонансной частоте 18 *кгц*. Бо́льшие амплитуды (примерно в 10 раз) можно получить, присоединяя к торцовой колеблющейся поверхности вибратора (трубки, стержня, пакета) концентратор (рис. 5; см. *Волновод ультразвуковой*).

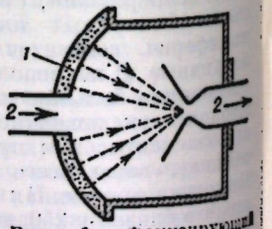


Рис. 6. Фокусирующий преобразователь для облучения протекающей жидкости: *1* — керамика или др. пьезоматериал; *2* — жидкость.

Для создания очень высоких интенсивностей УЗ в малом объеме (чаще всего в жидкостях) служат фокусирующие излучатели, имеющие сферич. или цилиндрич. форму (рис. 6). Они работают на резонансе по толщине стенки и имеют ср. коэфф усиления 5—20 для

цилиндрич. и 50—150 для сферич. излучателей. Применяются для очистки деталей, помещенных в жидкость, для смешивания жидкостей, для воздействия УЗ на химич. и биологич. процессы и др.

Наивысшая частота колебаний, достигнутая (1962) с помощью П. п. (кварцевых пластин), составляет 10^9 *гц*. В мощных вибраторах максимально достижимая интенсивность ограничена рядом факторов и в первую очередь механич. прочностью пьезоэлектрич. материала и сопротивлением среды, на к-рую нагружен П. п. При работе в газообразных средах достигнуты мощности ок. 1 *вт/см²*. При работе в воде и др. жидкостях прочность современных пьезоматериалов допускает интенсивность в сотни *вт/см²*. В непрерывном режиме практически достижима интенсивность 50 *вт/см²* (на плоском кварцевом вибраторе). При этом общий кпд излучателей с кварцевым преобразователем ок. 80—90%. Лучшие преобразователи из керамики титаната бария имеют кпд от 60 до 85%.

Для согласования мощных излучателей с генератором существенное значение имеет внутр. сопротивление преобразователя. Преобразователи из монокристаллов (кварц, сульфат лития и др.) представляют собой высокоомные системы; для их раскачки необходимо переменное напряжение, исчисляемое *кв*. Керамич. П. п., как правило, низкоомны и требуют напряжения в неск. десятков *в*.

При всем многообразии конструктивных форм П. п. все они (кроме сверхмощных излучателей) являются линейными электромеханич. системами. Принцип их работы можно сформулировать единым образом: в чувствит. пьезоэлектрич. элементе преобразователя, находящемся под действием механич. сил, возникает электрич. смещение за счет пьезоэффекта и механич. напряжение; при подведении внешнего поля E к пьезоэлементу в последнем появляются электрич. смещение (как в любом диэлектрике) и механич. напряжения (за счет обратного пьезоэффекта).

Употребляемые в технике П. п. по способу преобразования часто разделяют на преобразователи-генераторы и преобразователи-двигатели. Преобразователи-генераторы могут быть разбиты на 2 группы: 1) виброметры, звукосниматели, сейсмографы и др. приборы, чувствительность к-рых определяется константой f (см. *Пьезоэлектрический эффект*); 2) микрофоны, гидрофоны, динамометры, манометры и пр. приборы, чувствительность к-рых определяется константой g. Для преобразователей-двигателей (телефон, громкоговоритель, осциллограф) чувствительность характеризует отношение смещения к электрич. напряжению и определяется константой d. Для приборов, развивающих механич. усилия при заданном электрич. напряжении, чувствительность зависит от пьезоэлектрич. константы e.

При анализе работы П. п. удобно пользоваться эквивалентной схемой, к-рая вблизи резонансной частоты П. п. представляется колебат. контуром, состоящим из эквивалентной емкости C, эквивалентной индуктивности L и сопротивления R, а также собственной емкости пьезокристалла C_1. Сопротивление R складывается из сопротивления неизлучающей пластины R_0 и сопротивления излучения R_s. Эквивалентная схема (рис. 7) обладает двумя резонансными частотами: частотой последоват. резонанса

$$f_R = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}},$$

и частотой паралл. резонанса (частотой антирезонанса):

$$f_A = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}\left(1+\frac{C}{C_1}\right)}.$$

Относит. разность этих двух частот $\Delta f = f_A - f_R$ определяет коэфф. механич. связи П. п.:

$$\frac{\Delta f}{f} \approx \frac{4}{\pi^2}\frac{k}{1-k^2} = \frac{C}{2C_1}.$$

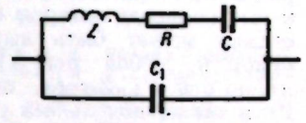


Рис. 7. Эквивалентная электрич. схема пьезопреобразователя.

Декремент затухания колеблющегося пьезокристалла, обусловленный внутр. трением, определяется как

$$\theta = \frac{1}{f}\frac{R}{2L} = \pi R\sqrt{C/L}.$$

Декремент затухания, вносимый излучением, намного превосходит декремент, определяемый внутренним трением в кристалле. Реактивное сопротивление кристалла вблизи его электромеханич. резонанса имеет частотную зависимость, представленную на рис. 8.

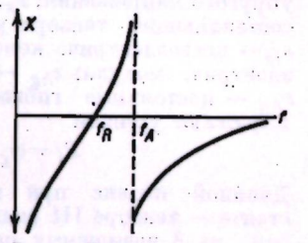


Рис. 8. Зависимость реактивного сопротивления кристалла X от частоты f.

Лит.: Харкевич А.А., Теория преобразователей, М.—Л., 1949; Андреев Н. Н., Равновесие и колебания пьезоэлектрического кристалла, «ЖПФ», 1928, т. 5, вып. 3—4, с. 119; его же, Расчет пьезоэлектрического передатчика, Всес. заочный Энергетический институт. Сб. трудов, М.—Л., 1951, с. 5; Cady W. G., The piezo-electric resonator, «Proc. I. R. E.», 1922, v. 10, № 2, p. 83; его же, Уравнение состояния для пьезоэлектрика и их приложение к преобразователю с колебаниями по толщине, «Проблемы современной физики», 1951, сер. 3, вып. 4, с. 48; Гутин Л. Я., К теории электроакустических пьезоаппаратов, «Изв. электропром. слабого тока», 1941, № 1, с. 46; № 2, с. 50; его же, К теории пьезоэлектрического эффекта, «ЖЭТФ», 1945, вып. 15, с. 367; его же, Пьезоэлектрические излучатели и приемники, «Журнал техн. физ.», 1946, т. 16, № 1, с. 39; Харкевич А. А., К расчету пьезоэлектрических вибраторов, там же, 1945, т. 15, № 4—5, с. 212; его же, Эквивалентные электрические схемы преобразователей, там же, № 7, с. 393; Русаков И. Г., Пьезоэлектрический преобразователь низкой частоты, там же, 1943, т. 13, № 9—10, с. 473; его же, Пьезоэлектрический преобразователь высокой частоты, там же, с. 483; Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962.

А. А. Ананьева.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ (piezoelectric effect; effet piézo-électrique; piezoelektrischer Effekt) — возникновение электрич. зарядов на поверхностях нек-рых кристаллов при механич. воздействии на них. Открыт франц. учеными, братьями Пьером и П. Ж. Кюри в 1880. Наблюдается только в диэлектриках и присущ многим кристаллам, относящимся к разным классам, но обязательно имеющим одну или неск. полярных осей и не имеющим при этом центра симметрии. П. э. обратим, т. е. приложенное электрич. напряжение вызывает деформацию пьезоэлектрич. образца — сжатие или растяжение его

соответственно знаку приложенного напряжения (обратный П. э., неправильно наз. электрострикцией). Для описания св-в пьезоэлектрич. кристалла в любом направлении установлены основные координатные оси: главная или оптич. ось Z и перпендикулярные к ней электрич. X и механич. Y оси. Электрич. ось соединяет точки кристалла, в к-рых электрич. заряд максимален. В зависимости от симметрии в кристалле имеется неск. осей X и Y, к-рые перпендикулярны к оптич. оси Z. Пластинка может быть вырезана под прямым углом к любой оси (Y-срез, перпендикулярно оси Y; Z-срез, перпендикулярно оси Z), а также под любым углом к осям (повернутые или косые срезы, напр. 45° Y-срез). Различают продольный и поперечный пьезоэффект (как прямой, так и обратный).

В широком диапазоне давлений П. э. линеен. Поэтому он может быть выражен через линейную зависимость механич. величин от электрич. и обратно. Обычно обозначают: E_x, E_y, E_z — составляющие вектора напряженности электрич. поля; P_x, P_y, P_z — составляющие вектора электрич. поляризации; X_x, Y_y, Z_z, Y_z, Z_x, X_y — составляющие тензора упругого напряжения; x_x, y_y, z_z, y_z, z_x, x_y — составляющие тензора упругой деформации; e_{ig} — пьезоэлектрич. константы; d_{ig} — пьезоэлектрич. модули; c_{hg} — модули упругости; s_{hg} — постоянные гибкости. Прямой П. э. выражают ур-нием

$$P_i = e_{ig} x_g. \qquad (1)$$

Двойной индекс при пьезоэлектрич. константе — тензоре III ранга, означает, что любая из 3 возможных пар противоположных граней кубич. образца ($g = 1, 2, 3$) может получить заряд в результате шести ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) возможных упругих деформаций. P_i — электрич. поляризация вследствие деформации образца или заряд на единицу поверхности образца $P_i = Q/S$ при внешнем электрич. поле пьезопластинки $E = 0$. Обратный пьезоэффект при закрепленном образце ($x = 0$) описывается ур-нием:

$$X_h = e_{hj} E_j. \qquad (2)$$

Индекс j учитывает направление вектора электрич. поля по отношению к компоненте h упругого напряжения. Возможно описание пьезоэффекта через др. пьезоэлектрич. константы (модули). Напр.: $P_i = d_{ih} X_h$ — прямой пьезоэффект в отсутствии внешнего поля. $X_g = d_{gj} E_j$ — обратный пьезоэффект в отсутствии внешних сил.

Известны также константы Мэзона f (в иностр. лит-ре и на рис. — h) и Харкевича g. Связь между этими константами, если отвлечься от их тензорной формы, выражается ф-лами [1]

$$d = \varepsilon_э g; \quad e = E_э d; \; g = \frac{1}{E_D} f; \; f = \frac{1}{\varepsilon_\xi} e,$$

где $E_э$ — модуль Юнга при отсутствии электрич. поля, E_D — модуль Юнга при индукции, равной нулю, $\varepsilon_э$ — диэлектрич. проницаемость при отсутствии механич. напряжения, ε_ξ — диэлектрич. проницаемость при отсутствии деформаций. Каждая из четырех констант g, d, f, e может применяться для хар-ки пьезоэлектрич. св-в кристалла, т. к. они определяют коэфф. преобразования пьезоэлектрич. преобразователя. Смысл этих коэфф. преобразования:

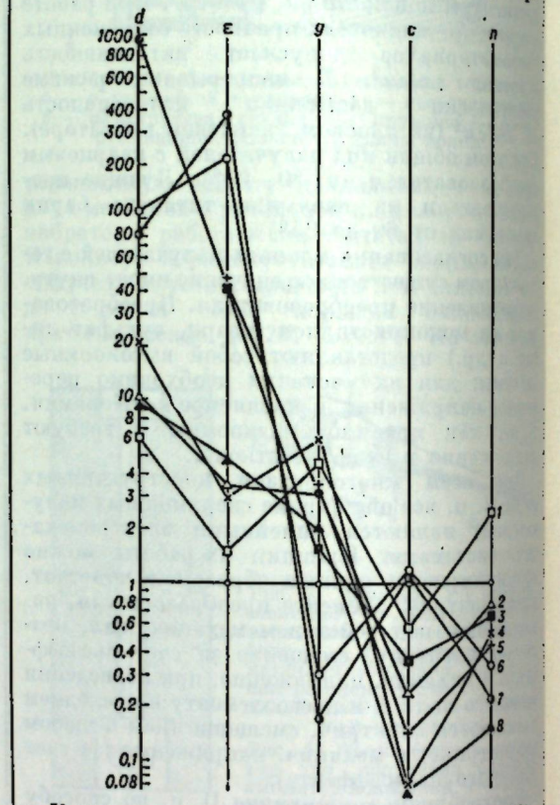
$$d = -\frac{D}{\sigma}\Big|_{э=0} = -\frac{\xi}{э}\Big|_{\sigma=0};$$

$$f = \frac{э}{\xi}\Big|_{D=0} = \frac{\sigma}{D}\Big|_{\xi=0};$$

$$e = -\frac{D}{\xi}\Big|_{э=0} = \frac{\sigma}{э}\Big|_{\xi=0};$$

$$g = \frac{э}{\sigma}\Big|_{D=0} = \frac{\xi}{D}\Big|_{\sigma=0}.$$

С точностью до пост. множителей они характеризуют работу пьезоэлектрич. преобразователей в различных режимах. Константу $g = 4\pi d/\varepsilon$ часто наз. пьезоэлектрич. константой давления; она характеризует электрич. напряжение, возникающее на кристалле при сжатии (или растяжении) его заданным давлением. Константу f наз. пьезоэлектрич. константой деформации; она характеризует электрич. напряжение, возникающее при заданной механич. деформации.



Константы: *1* — сульфат лития (компонента 22); *2* — кварц (11); *3* — ADP, 45° Z-срез; *4* — сегнетова соль, 45° X-срез; *5* — ADP (36), сдвиг; *6* — сегнетова соль, X-срез (14); *7* — титанат бария (15) сдвиг; *8* — титанат бария (33); *9* — KDP (36), сдвиг.

Константы g и f (на рис. — h) пьезомодуль d, диэлектрич. проницаемость ε и модуль упругости c для нек-рых синтетич. пьезокристаллов и поликристаллич. титаната бария приведены на рис. Все константы на рис. выражены в отношении к соответствующим параметрам кварца при комнатной темп-ре. В зависимости от класса симметрии кристаллы имеют различное число диэлектрич., пьезоэлектрич. и упругих постоянных, отличных от нуля. Ниже приведены тензоры пьезоэлектрич. модулей нек-рых кристаллов, необходимые для выбора ориентации пьезоэлектрич. пластины.

Кварц

$$\begin{matrix} d_{11} & -d_{11} & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} & -2d_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Сегнетова соль

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{36} \end{matrix}$$

Титанат бария

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ -d_{31} & -d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

П. э. проявляется не только в природных и синтетич. кристаллах. Известно [2,3], что пьезосвойствами обладают текстуры, искусственные и естественные (дерево) и поликристаллич. материалы (титанат бария), а также электреты (затвердевшие в присутствии высоковольтного поля смолы и дипольные жидкие диэлектрики). Заметные пьезосвойства обнаружены в новых синтетич. кристаллах, таких, как гуанидиналюминий сульфат, триглицин сульфат, l — ромноза и др.

Лит.: 1) Харкевич А. А., Теория преобразователей, М.—Л., 1949; 2) Кэди У., Пьезоэлектричество и его практические применения, пер. с англ., М., 1949; 3) Мэзон У., Пьезоэлектрические кристаллы и их применения в ультраакустике, пер. с англ., М., 1952; 4) Voigt W., Lehrbuch der Kristallphysik, Lpz.— B., 1910; 5) Petržílka V., Piezoelektřina, Praga, 1951.

А. А. Ананьева.

Р

РАБОТА ВЫХОДА (outer work function; travail d'extraction, travail de sortie; Austrittsarbeit) — наименьшая энергия, к-рую необходимо затратить для удаления электрона из твердого или жидкого тела в вакуум. Р. в. металлов почти полностью определяется энергией связи электрона с наведенным им в металле зарядом (иначе говоря, с зеркальным изображением). В ПП, кроме взаимодействия с наведенным зарядом подвижных носителей, электрон взаимодействует с наведенным им связанным зарядом (диэлектрическая поляризация ПП в области проникновения в него поля электрона). Сам выход электрона из ПП сопровождается преодолением потенциального барьера и разрывом химич. связи. Из ПП *n*-типа эмитируются в основном электроны проводимости (их энергия наиболее высокая), а из ПП *p*-типа — в основном валентные электроны (электронов проводимости очень мало). Поэтому Р. в. у ПП *n*-типа меньше, чем у *p*-типа. Точнее говоря, Р. в. ПП зависит от положения уровня Ферми: чем он выше, тем Р. в. ПП меньше. Для того чтобы электрон был в состоянии выйти за пределы твердого или жидкого тела, ему должна быть сообщена энергия: нагреванием тела, освещением его поверхности или бомбардировкой поверхности электронным или ионным пучком. В результате возникает соответственно термо-, фото- или вторичная эмиссия. Малейшие загрязнения на поверхности оказывают сильное влияние на величину Р. в. Для разных граней кристалла Р. в. неодинакова. По этой причине эмиссия электронов с поверхности зависит от ее кристаллографич. ориентации.

Для оценки эмиссионной способности различных веществ необходимо знать Р. в. Определение ее может быть произведено, напр., из измерения температурной зависимости *термоэлектронной эмиссии*. Ток насыщения металла I при темп-ре T определяется по ф-ле Ричардсона:

$$I = AT^2 \exp(-\varphi_0/kT), \qquad (1)$$

где A — пост. коэфф.; k — постоянная Больцмана; φ_0 — работа выхода (расстояние от дна зоны проводимости до уровня потенциальной энергии в вакууме). По зависимости I от T строят графики $\ln(I/T^2)$ от $1/T$. Эта зависимость линейна:

$$\ln(I/T^2) - \ln A = -\frac{\varphi_0}{k}\cdot\frac{1}{T}. \qquad (2)$$

Тангенс угла наклона полученной прямой равен φ_0/k. Отсюда находят Р. в.

Термоэлектронный ток из примесных ПП определяется по ф-ле Козляковской:

$$I = aN^{1/2}T^{3/4}\exp\left(-\frac{\varphi_0 + Q/2}{kT}\right), \qquad (3)$$

где a — пост. коэфф.; Q — разность энергий между дном зоны проводимости и уровнем атомов примеси. N для данного ПП является постоянной. Из (3) графически определяется величина $(\varphi_0 + Q/2)$. $Q/2$ можно найти из анализа хода темп-рной зависимости электропроводности ПП σ, к-рая возрастает с повышением темп-ры по закону:

$$\sigma = a\exp(-Q/2kT). \qquad (4)$$

Р. в. металла или ПП можно определить из измерений контактной разности потенциалов $U_к$ между исследуемым образцом и стандартным электродом $\varphi_{ос}$, для к-рого известна Р. в., т. к.

$$U_к = \varphi_{оп} - \varphi_{ос}. \qquad (5)$$

При фотоэмиссии Р. в. определяет «порог» или длину волны λ_0, соответствующую «красной границе» *фотоэффекта* для данной поверхности. Если измерять Р. в. в *эв*, а граничную длину волны в Å, то зависимость между φ_0 и λ_0 имеет след. вид:

$$\varphi_0 = 12\,400/\lambda_0. \qquad (6)$$

Напр., для сурмяно-цезиевого фотокатода $\varphi_0 = 1{,}3$ *эв*, для серебряно-цезиевого фотокатода $\varphi_0 = 0{,}3$—$0{,}5$ *эв*. Следует отметить, что Р. в., определенная фотоэлектрическим методом, отличается от Р. в., определенной по термоэлектронной эмиссии, т. к. фотоэффект — термодинамически неравновесный процесс.

В таблицах 1, 2, 3 приведены значения Р. в. в *эв* для элементов, окислов и оксидных катодов. Мономолекулярный слой посторонних веществ на поверхности металла и ПП заметно влияет на Р. в. Так, напр., адсорбция O_2 и CO на германии увеличивает Р. в. соответственно на 0,2 *эв* и 0,1 *эв*, а адсорбция H_2 и N_2 уменьшает ее на 0,3 *эв*.

Таблица 1

Элемент	Работа выхода	Элемент	Работа выхода
Литий	2,49	Родий	4,80
Бериллий	3,92	Палладий	4,97
Бор	4,5	Серебро	4,79
Углерод	4,4	Кадмий	4,1
Натрий	2,28	Олово	4,09
Магний	3,79	Сурьма	4,14
Алюминий	4,2	Теллур	4,76
Кремний	4,2	Цезий	1,9
Калий	2,26	Барий	2,48
Кальций	3,21	Лантан	3,3
Титан	4,17	Церий	2,84
Ванадий	4,44	Празеодим	2,7
Хром	4,60	Неодим	3,3
Марганец	4,14	Самарий	3,2
Железо	4,48	Гафний	3,53
Кобальт	4,4	Тантал	4,19
Никель	5,24	Вольфрам	4,50
Медь	4,55	Рений	5,1
Цинк	4,28	Осмий	4,55
Галлий	3,50	Иридий	4,57
Германий	4,5	Платина	5,36
Мышьяк	5,1	Золото	4,46
Селен	4,4	Ртуть	4,5
Рубидий	2,16	Таллий	3,84
Стронций	2,74	Свинец	3,94
Цирконий	3,91	Висмут	4,25
Ниобий	4,01	Торий	3,47
Молибден	4,20	Уран	3,74
Рутений	4,52	—	—

Таблица 2

Окислы	Работа выхода	Окислы	Работа выхода
Cs_2O	0,99—1,17	TiO_2	2,96—3,1
MgO	3,1—4,4	ZrO_2	4,2—4,75
BeO	3,8—4,7	ThO_2	4,7
Al_2O_3	4,7	SiO_2	5,0
B_2O_3	4,7	Ta_2O_5	4,65
NiO	5,55	WO_2	4,96
FeO	3,85	—	—
CuO	4,35	MoO_2	4,25

Таблица 3

Оксидные катоды	Работа выхода
Ni—BaO—SrO	1,2
Ba (на окисленном W)	1,1
Ba—O—W	1,34
Pt—Ni; BaO—SrO	1,37
Pt—Ni; BaO—SrO	1,00
BaO на сплаве Ni (в зависимости от степени активности)	1,503—1,830
BaO—Sr на Ni (в зависимости от степени активности)	1,062—1,240
Торцево-оксидный (простой или спеченный на металлич. керне)	2,55
CaO (на W-подложке)	2,1

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, [2 изд.], М.—Л., 1957; Царев Б. М., Контактная разность потенциалов и ее влияние на работу электровакуумных приборов, 2 изд., М., 1955; Добрецов Л. Н., Электронная и ионная эмиссия, М.—Л., 1952.

С. М. Файнштейн.

РАБОЧАЯ ОБЛАСТЬ [work region; domaine de fonctionnement (de travail); Arbeitsbereich] — область в пространстве параметров или координат системы, внутри к-рой находятся значения, допустимые по условиям нормального функционирования системы автоматич. управления или ее отдельных звеньев. Р. о. для любой системы управления заранее рассчитывается в строгом соответствии с технологич. и эксплуатац. требованиями. Важно учитывать, что значения параметров, определяющие оптим. режим системы, лежат в Р. о., но область оптим. параметров значительно уже ее.

Применительно к регуляторам в качестве Р. о. может рассматриваться полоса частот (см. *Полоса пропускания*) входных воздействий, для к-рой в выходном сигнале погрешности по амплитуде и фазе не превышают установленных значений. Для объектов управления: электрич. двигатели, силовые тр-ры, выпрямит. установки и т. д. Р. о. параметров (напряжение, частота, ток нагрузки, скорость вращения и т. п.) определена гос. стандартами. Для сложного объекта, напр. для мартеновской печи, Р. о. определяется для каждого периода плавки диапазоном изменения: темп-ры кладки, ванны, факела, дыма; давления газов в рабочем пространстве; скорости выгорания углерода и др. вредных примесей шихты; периодов скачивания шлака; хим. состава шлака; тепловой нагрузки печи и др.

Лит.: Дудников Е. Г., Основы автоматического регулирования тепловых процессов, М.—Л., 1956, с. 113.

А. Г. Адоян.

РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ релейной цепи (operating state of relay circuit; état de travail d'une chaîne de commutation; Betriebszustand) — состояние цепи, при к-ром ее выходной узел находится в состоянии, соответствующем воздействию, принятому за единицу. Р. с. противоположно *запрещенному состоянию*. В релейно-контактной цепи Р. с. цепи наз. такое состояние элементов, входящих в нее, при к-ром между входным и выходным узлами образуется замкнутая цепь контактов, т. е. ф-ция проводимости принимает значение 1. В релейной цепи, построенной на бесконтактных элементах, под Р. с. обычно понимается такое состояние элементов, входящих в нее, при котором на выходном узле появляется высокое напряжение (постоянное по времени или импульсное). Р. с., как правило, обозначаются символом 1 в столбце значений соответствующего выхода. Кроме Р. с. и запрещенных состояний, в таблице состояний могут быть *безразличные состояния* и *неиспользуемые состояния*. Если работа релейной цепи описывается логич. (или булевой) ф-цией, записанной в совершенной дизъюнктивной нормальной форме, то каждому из Р. с. будет соответствовать одна из конъюнкций этой ф-ции. Напр., ф-ция $f = x_1x_2\bar{x}_3 \vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ будет означать два Р. с. релейно-контактной цепи: 1) контакты реле X_1 и X_2 замкнуты, а контакты реле X_3 разомкнуты и 2) контакты реле X_1 замкнуты, а контакты реле X_2 и X_3 разомкнуты. В обоих случаях будет существовать замкнутая цепь контактов от нач. до конечного узла описываемой релейной цепи или при бесконтактных элементах на выходном узле будет появляться высокое напряжение.

В. Д. Казаков.

РАВНОВЕСИЯ СОСТОЯНИЕ (stationary state; état d'équilibre; Gleichgewichtszustand) — состояние динамич. системы, в к-ром сумма действующих сил и моментов равна нулю. На фазовой плоскости Р. с. соответствуют особые точки ур-ния интегральных кривых. Различают устойчивое, неустойчивое и безразличное Р. с. Рассмотрим для примера маятник (рис. 1). В нем возможны два Р. с.

Первое, когда груз помещают, не сообщая скорости, в самую нижнюю точку, второе — когда его помещают, опять-таки не сообщая скорости, в самую верхнюю точку. Если груз маятника находится в точке b, то достаточно сколь угодно малого толчка, чтобы он начал двигаться с возрастающей скоростью и ушел из этой точки. Если груз маятника находится в точке a, то при достаточно малом толчке он вернется в эту точку. Точка a соответствует устойчивому, а точка b — неустойчивому Р. с. Т. о., Р. с. является устойчивым, если в любой заданной области допустимых состояний ε (рис. 2) можно указать область $\delta(\varepsilon)$, окружающую Р. с. и обладающую тем св-вом, что ни одно движение, начавшееся в $\delta(\varepsilon)$, не выйдет за пределы границы области ε. Р. с. является неустойчивым, если может быть указана область ε, для к-рой не существует области $\delta(\varepsilon)$. Характер движения системы к Р. с. может быть двояким. Либо система достигает Р. с. в обычном смысле, либо за бесконечно большое время и имеет место равенство $\lim_{t\to\infty} y_k = 0$,

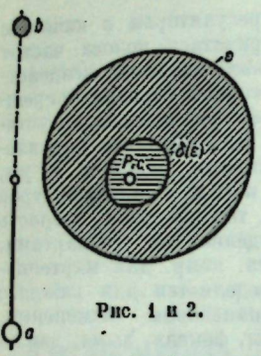


Рис. 1 и 2.

где y_k — *возмущенное движение*. В этом случае говорят, что имеет место асимптотич. устойчивость. Аналитич. метод исследования устойчивости Р. с. дан А. М. Ляпуновым (см. *Ляпунова метод*). *И. Н. Крутова.*

РАВНОСИЛЬНОСТЬ АЛГОРИТМОВ (algorithmes equivalence; équivalence d'algorithmes; Äquivalenz von Algorithmen) — взаимозаменяемость алгоритмов по отношению к возможным для них исходным данным. Частным случаем Р. а. является эквивалентность *алгоритмов*. Пусть A_1 и A_2 алгоритмы, для к-рых нек-рые слова в алфавите B возможны в качестве исходных данных. Если всякий раз, когда один из этих алгоритмов перерабатывает слово в алфавите B в новое слово в том же алфавите B, а другой из них делает то же, то алгоритмы A_1 и A_2 наз. эквивалентными относительно B. Если вышесказанное имеет место и в случаях, когда результат является словом в алфавите, отличном от B, то алгоритмы A_1 и A_2 наз. вполне эквивалентными относительно B.

Понятие эквивалентности и вполне эквивалентности алгоритмов имеет большое значение в теории. Для практики более важно следующее понятие Р. а. Пусть для алгоритма A_1 возможными исходными данными являются слова в алфавите B. Пусть, кроме того, даны алгоритмы K_1, A_2 и K_{-1}. Если всякий раз, когда A_1 перерабатывает нек-рое слово в B в нек-рый результат, алгоритм $K_1\ A_2\ K_{-1}$ перерабатывает то же слово в тот же результат ($K_1\ A_2\ K_{-1}$ — произведение алгоритмов; см. *Алгоритмов конструирование*), то алгоритм A_2 равносилен алгоритму A_1 относительно исходных данных алгоритма A_1, являющихся словами в алфавите B. При этом алгоритм K_1 наз. кодирующим, а алгоритм K_{-1} — декодирующим. Исходными данными и результатами выполнения алгоритма A_2 могут быть слова в алфавитах, отличных от алфавита B.

Важный случай Р. а. — случай, в к-ром а) алгоритм K_{-1} перерабатывает исходные данные алгоритма A_1 в слова в алфавите B таким образом, что каждая буква, входящая в эти исходные данные, содержится и в получаемых словах; б) алгоритм A_2 перерабатывает свои исходные данные в слова в том же алфавите, в к-ром получаются результаты алгоритма A_1; в) алгоритм K_{-1} по отношению к «выходному» алфавиту алгоритма A_2 удовлетворяет условиям, приведенным выше для алгоритма K и алфавита B. В этом случае замена алгоритма A_1 алгоритмом A_2 наз. равносильным преобразованием алгоритма A_1. С описанным случаем Р. а. приходится встречаться в практике программирования. Сам процесс программирования при заданном решающем алгоритме A_1 представляет собой его равносильное преобразование в программу A_2 (программы для ЭВМ являются разновидностью алгоритмов). При этом K_1 представляет собой правила размещения в ЗУ машины исходных данных (разрабатываются программистом в процессе программирования), а алгоритм K_{-1} — правила, по к-рым среди кодов, выданных из ЗУ машины после выполнения программы, производится выделение искомого результата. При решении задачи на ЭВМ программа A_2 выполняется машиной, а K_1 и K_{-1} — человеком. Переделка программы с целью ее улучшения также представляет собой ее равносильное преобразование. *Н. А. Криницкий.*

РАВНОСИЛЬНОСТЬ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ (logical circuits equivalence; équivalence de circuits logiques; Äquivalenz logischer Schaltungen) — взаимозаменяемость *логических схем* по отношению к нек-рому классу задач. Если имеет место Р. л. с., то для исходных данных любой задачи упомянутого класса выполнение логич. схем приводит к одному и тому же результату. В остальном же равносильные логич. схемы могут заметно отличаться друг от друга (напр., могут иметь различную структуру, различный состав операторов, при одних и тех же исходных данных требовать выполнения различного числа операций и т. п.).

Пример. Логич. схемы

$$H_0 \lfloor_3 P(x>y) \rfloor^1 P(y>x) \lceil^2 [z:=x]\, Я \lfloor_1 \times$$

$$\times [x:=x-y] \lfloor_3 \lfloor_2 \begin{bmatrix} r:=y \\ y:=x \\ x:=r \end{bmatrix} \rfloor_3 \text{ и} \qquad (1)$$

$$H_0 \lfloor_3 P(x>y) \lceil^1 P(y>x) \lceil^2 [z:=x]\, Я \times$$

$$\times \lfloor_1 [x:=x-y] \rfloor_3 \lfloor_2 [y:=y-x] \rfloor_3, \qquad (2)$$

имеющие входной кортеж (упорядоченный набор конечного числа элементов), состоящий из ячеек x и y, и выходной кортеж, состоящий из единств. ячейки z, равносильны между собой. Каждая из них является описанием нек-рого метода нахождения общего наибольшего делителя двух целых положит. чисел x и y. Выполнение схем при одних и тех же исходных данных приводит к одному и тому же результату. Так, при $x = 63$, $y = 42$ схема (1) определяет процесс: проверяется $x>y$; ответ — да. Принимается $x = 63-42 = 21$. Теперь $x = 21$, $y = 42$. Проверяется $x>y$; ответ — нет. Проверяется $y>x$; ответ — да.

Принимается $r = 42$, $y = 21$, $x = 42$. В итоге $x = 42$, $y = 21$. Проверяется $x>y$; ответ — да. Вычисляется $x = 42-21 = 21$. Теперь $x = y = 21$. Проверяется $x>y$; ответ — нет. Проверяется $y>x$; ответ — нет. Принимается $z = 21$. Процесс окончен.

Для тех же исходных данных $x = 63$, $y = 42$ логич. схема (2) определяет процесс: проверяется $x>y$; ответ — да. Принимается $x = 63-42 = 21$ (осталось $y = 42$). Проверяется $x>y$; ответ — нет. Проверяется $y>x$; ответ — да. Принимается $y = 42-21 = 21$ (осталось $x = 21$). Проверяется $x>y$; ответ — нет. Проверяется $y>x$; ответ — нет. Принимается $z = 21$. Процесс окончен.

При *операторном методе программирования* с помощью равносильных логич. схем будут получены равносильные (в принципе взаимозаменяемые) программы, к-рые, будучи программами решения одних и тех же задач, могут отличаться друг от друга количеством и составом команд. Переделка программы с целью ее «улучшения», иногда крайне необходимая на практике, сводится к замене ее другой программой, ей равносильной. Такое улучшение путем *равносильных преобразований логических схем* возможно (при операторном методе программирования) еще до составления программы. Ниже приведено строгое матем. определение Р. л. с., позволяющее вывести ф-лы равносильных преобразований.

Пусть задана нек-рая логич. схема Σ с областью задания G и пусть $g(x)$ принадлежит G, т. е. является таким состоянием входного кортежа логич. схемы Σ, при к-ром выполнение Σ заканчивается после конечного числа шагов. Выполняя Σ для $g(x)$ и выписывая каждый раз значение выполняемого действующего оператора (см. *Оператор логической схемы*), получим последовательность ф-л, к-рая вместе с входным и выходным кортежами логич. схемы Σ образует *комплекс*, наз. реализацией логич. схемы. Совокупность возможных реализаций схемы представляет собой *комплексов пакет*. Две логич. схемы наз. равносильными, если пакеты их реализаций эквивалентны. Р. л. с. обозначается знаком равенства. Р. л. с. обладает св-вами: а) рефлексивности: каждая логич. схема равносильна самой себе, т. е. $\Sigma = \Sigma$; б) симметрии: если $\Sigma_1 = \Sigma_2$, то $\Sigma_2 = \Sigma_1$; в) транзитивности: если $\Sigma_1 = \Sigma_2$ и $\Sigma_2 = \Sigma_3$, то $\Sigma_1 = \Sigma_3$.

Лит.: Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963, гл. 5.
Н. А. Криницкий.

РАВНОСИЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ (logical circuits equivalent transformations; transformations équivalentes de circuits logiques; äquivalente Umwandlungen logischer Schaltungen) — изменения *логических схем*, приводящие к новым логич. схемам, к-рые равносильны исходным (см. *Равносильность логических схем*). Осн. часть Р. п. л. с. заключается в замене одного операторного выражения (коротко — выражения) другим или в изменении взаимного расположения выражений. Под выражением в данном случае понимается конечная строка термов (определение терма см. в ст. *Логическая схема*), в к-рой индексы правых знаков перехода попарно различны, и терм с оператором H_0 может присутствовать только на первом (самом левом) месте. Простейшими выражениями являются сами термы; их наз. элементарными выражениями. Для однообразия ф-л необходимо понятие пустого выражения, т. е. выражения, не содержащего ни одного терма. Предполагается, что в логич. схеме после каждого терма присутствует пустое выражение. В тех случаях, когда пустое выражение нужно показать явно, его обозначают символом Λ. Заменить к.-л. выражение пустым выражением значит вычеркнуть первое; заменить в логич. схеме пустое выражение к.-л. выражением значит вписать последнее на определ. месте в логич. схему. Если в любой логич. схеме замена выражения W_1 выражением W_2 является Р. п. л. с., то применяют ф-лу

$$W_1 : \longrightarrow W_2.$$

Два выражения W_1 и W_2 наз. равносильными, если справедлива как ф-ла $W_1 : \to W_2$, так и ф-ла $W_2 : \to W_1$. При этом пишут $W_1 = W_2$. В том случае, когда выражения $W_1, W_2, \ldots, W_n$ стоят в логич. схеме на определ. местах, употребляется запись

$$\sum \{W_1; W_2; \ldots; W_n\}.$$

Результат замены этих выражений (на тех местах, на к-рых отмечены их вхождения) соответственно выражениями $W_1', W_2', \ldots, W_n'$ обозначается символом:

$$\sum \{W_1'; W_2'; \ldots; W_n'\}.$$

Р. п. л. с., заключающееся в согласованной замене выражений $W_1, W_2, \ldots, W_n$ соответственно выражениями $W_1', W_2', \ldots, W_n'$, записывается в виде равносильности

$$\sum \{W_1; W_2; \ldots; W_n\} = \sum \{W_1'; W_2'; \ldots; W_n'\}.$$

Ниже приведены осн. Р. п. л. с. в предположении, что операторы формирования и варьирующие операторы (см. *Оператор логической схемы*) не зависят от параметров.

I. Р. п. л. с., не изменяющие операторов.

а) Правые знаки перехода, стоящие рядом, могут переставляться:

$$\lfloor_{z_1} \lfloor_{z_2} = \lfloor_{z_2} \lfloor_{z_1}.$$

б) Если в преобразуемой логич. схеме отсутствует левый знак перехода с индексом, равным или принимающим значение ξ, то правый знак перехода с этим индексом можно вычеркнуть

$$\lfloor_{\xi} = \Lambda.$$

в) Левые знаки перехода, принадлежащие логич. оператору, могут переставляться, что позволяет заменить их объединенным левым знаком перехода

$$P \lfloor_{z_1} \lceil^{z_2} = P \lceil^{z_2} \lfloor_{z_1} = P \lceil^{z_2}_{z_1}.$$

г) Если z — пост. индекс, то

$$R\lambda_z \lfloor_z = R\lambda_\zeta \lfloor_\zeta \lfloor_z,$$

где λ_z обозначает левый знак перехода с индексом z, R — нелогич. оператор или совокупность логич. оператора и одного левого знака перехода ($P\lfloor_{z_1}$ или $P\lceil^{z_2}$), а ζ — пост.

индекс, отличный от индексов всех знаков перехода преобразуемой схемы.

д) Если в преобразуемой схеме присутствует только один левый знак перехода с пост. индексом ζ, то

$$R\lambda_{\zeta}\underset{\zeta}{\rfloor}: \longrightarrow R.$$

Если в преобразуемой схеме ни один правый знак перехода не имеет индекса ζ, то

$$R: \quad \longrightarrow R\lambda_{\zeta}\underset{\zeta}{\rfloor}.$$

Предпоследняя ф-ла позволяет переводить левые знаки перехода в неявный вид и является удобным соглашением, принятым для упрощения записи логич. схем. Последняя ф-ла позволяет неявные левые знаки перехода переводить в явный вид.

е) Если в логич. схеме Σ оператор S является ближайшим справа для правого знака перехода $\underset{z}{\rfloor}$, то говорят, что правый знак перехода $\underset{z}{\rfloor}$ принадлежит оператору S. Выражение, к-рое состоит из терма, содержащего оператор S (вместе с соответствующими левыми знаками перехода), и всех принадлежащих этому оператору правых знаков перехода, наз. замыканием (в схеме Σ) оператора S. Выражение $\overline{W}$, начинающееся замыканием оператора, наз. замкнутым относительно схемы Σ.

Если T_0 и T — замыкания операторов относительно схемы Σ, то

$$\sum\{T_0;\ T\}=\sum\{T_0T;\ \Lambda\}.$$

ж) Если $\overline{W}$ — замкнутое выражение относительно логич. схемы Σ и если в этой схеме нет входа в $\overline{W}$, т. е. нет ни одного левого знака перехода, не принадлежащего $\overline{W}$, индекс к-рого равен или принимает значение, равное индексу одного из правых знаков перехода, присутствующих в $\overline{W}$, то

$$\overline{W}=\Lambda.$$

Если w — элементарное выражение, входящее в состав $\overline{W}$ и не являющееся правым знаком перехода, то также

$$w=\Lambda.$$

з) Пусть $i_1, i_2, \ldots, i_k$ — параметры. Левый знак перехода с индексом вида $\beta=\theta(i_1, i_2, \ldots, i_k)$ можно исключить из логич. схемы или включить в нее с помощью ф-лы

$$R\lambda_{\beta=\theta}=RP_1\overset{\beta=\theta_1}{\ulcorner}P_2\overset{\beta=\theta_2}{\ulcorner}\ldots P_{n-1}\underset{\beta=\theta_n}{\overset{\beta=\theta_{n-1}}{\lfloor}},$$

где $\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_n$ — все попарно различные натуральные числа, образующие область изменения ф-ции $\theta(i_1, i_2, \ldots, i_k)$, а каждый логич. оператор p_i $(i=1, 2, \ldots, n-1)$ вычисляет значение предиката $\theta(i_1, i_2, \ldots, i_k)=\theta_i$.

Во всех нижепривед. ф-лах предполагается, что преобразуемая логич. схема не содержит левых знаков перехода с перем. индексами.

и) Левый знак перехода, принадлежащий W, наз. внутренним, если в этом выражении присутствует правый знак перехода с тем же индексом. Остальные левые знаки перехода, присутствующие в W, наз. внешними. Предположим, что: 1) совокупность операторов, входящих в W, разбита на группы по n операторов в каждой; 2) эти группы между собой не пересекаются; 3) внутри каждой группы операторы между собой одинаковы. Операторы одной и той же группы наз. подобными; 4) если оператору S из W принадлежит внешний левый знак перехода с индексом z, то такой же левый знак перехода (и с тем же индексом z) принадлежит каждому оператору, подобному S; 5) если λ_z и λ_ζ — внутр. левые знаки перехода (одновременно верхние или нижние), принадлежащие операторам из W, подобным между собой, то правые знаки перехода $\underset{z}{\rfloor}$ и $\underset{\zeta}{\rfloor}$ тоже принадлежат подобным операторам из W (или одному и тому же оператору).

Выражение W, удовлетворяющее вышепривед. условиям, наз. n-кратным. Нек-рые из знаков перехода, упоминаемые в определении n-кратного выражения, могут быть неявными.

Если W — n-кратное выражение, а w и w' — входящие в его состав элементарные выражения, содержащие подобные между собой операторы S и S', то

$$W\{w;\ \underset{\zeta}{\rfloor}w'\}=W\{\underset{\zeta}{\rfloor}w;\ w'\},$$

т. е. перенос любого правого знака перехода, входящего в n-кратное выражение перед оператором S', на место перед оператором S, подобным оператору S', является Р. п. л. с.

к) Если все индексы знаков перехода логич. схемы постоянны и в логич. схеме отсутствует индекс ζ, но присутствует z, то замена везде в логич. схеме индекса z индексом ζ является Р. п. л. с.

л) Если Q — нелогич. оператор, то справедлива ф-ла

$$\underset{z_1}{\rfloor}\underset{z_2}{\rfloor}Q\underset{\zeta}{\lfloor}=\underset{z_1}{\rfloor}Q\underset{\zeta}{\lfloor}\underset{z_2}{\rfloor}Q\underset{\zeta}{\lfloor}.$$

Для логич. оператора P имеет место

$$\underset{z_1}{\rfloor}\underset{z_2}{\rfloor}P\overset{\zeta_2}{\underset{\zeta_1}{\lfloor}}=\underset{z_1}{\rfloor}P\overset{\zeta_2}{\underset{\zeta_1}{\lfloor}}\underset{z_2}{\rfloor}P\overset{\zeta_2}{\underset{\zeta_1}{\lfloor}}.$$

Для оператора конца —

$$\underset{z_1}{\rfloor}\underset{z_2}{\rfloor}Я=\underset{z_1}{\rfloor}Я\underset{z_2}{\rfloor}Я.$$

II. Основные Р. п. л. с., изменяющие логич. операторы.

а) След. ф-ла описывает Р. п. л. с., к-рое еще можно отнести к неизменяющим операторам:

$$P\overset{z}{\underset{z}{\lfloor}}\underset{z}{\rfloor}=\underset{z}{\rfloor}.$$

В дальнейшем, как это принято, логич. операторы и вычисляемые ими предикаты будем обозначать одними и теми же символами. При этом справедливы след. три ф-лы:

б) $\overline{P}\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=P\overset{z_1}{\underset{z_2}{\lfloor}}$;

в) $P_1\wedge P_2\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=P_1\underset{z_1}{\lfloor}P_2\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}$;

г) $P_1\vee P_2\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=P_1\overset{z_2}{\ulcorner}P_2\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}$.

д) Большое значение имеют равносильности

$$\sum\{P\overset{\zeta_2}{\underset{\zeta_1}{\lfloor}};\ \underset{\zeta}{\rfloor}P\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}\}=\sum\{P\overset{\zeta_2}{\underset{z_1}{\lfloor}};\ \underset{\zeta_1}{\rfloor}P\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}\};$$

$$\sum\{P\overset{\zeta_2}{\underset{\zeta_1}{\lfloor}};\ \underset{\zeta_2}{\rfloor}P\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}\}=\sum\{P\overset{z_2}{\underset{\zeta_1}{\lfloor}};\ \underset{\zeta_2}{\rfloor}P\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}\}.$$

е) Если обозначить через 0 и 1 тождественно пост. предикаты и соответствующие им логич. операторы, то можно написать ф-лы

$$0\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=0\overset{z_1}{\underset{z_1}{\lfloor}};$$

$$1\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=1\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}.$$

ж) Если $P_1=P_1\wedge P_2$, то

$$P_1\overset{\zeta}{\ulcorner}P_2\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=P_2\underset{z_1}{\lfloor}P_1\overset{\zeta}{\underset{z_2}{\lfloor}}.$$

з) Если $P_1\wedge P_2=0$, то

$$P_1\overset{\zeta}{\ulcorner}P_2\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=P_2\overset{z_2}{\ulcorner}P_1\overset{\zeta}{\underset{z_1}{\lfloor}}.$$

III. Р. п. л. с., в к-рых участвуют нелогич. операторы.

а) Если при каждом наборе значений параметров нелогич. операторам Q_1 и Q_2 соответствуют эквивалентные комплексы, у к-рых входные кортежи и выходные кортежи соответственно одинаковы, то

$$Q_1\underset{z}{\lfloor}=Q_2\underset{z}{\lfloor}.$$

При тех же условиях, но без требования, чтобы выходные кортежи были одинаковы

$$Q_1Я=Q_2Я.$$

б) Если при каждом наборе значений параметров комплекс оператора Q — произведение комплексов операторов Q_1 и Q_2, то

$$Q\underset{z}{\lfloor}=Q_1Q_2\underset{z}{\lfloor}.$$

в) Если входной и выходной кортежи комплекса нелогич. оператора при любом наборе значений параметров между собой не пересекаются, то

$$Q\underset{z}{\lfloor}=QQ\underset{z}{\lfloor}.$$

г) Если при любом наборе значений параметров комплекс оператора Q обратен справа комплексу оператора Q_1, то

$$Q_1Q_2\underset{z}{\lfloor}\underset{z}{\rfloor}=\underset{z}{\rfloor}.$$

д) Если Q — действующий оператор, выходные ячейки к-рого не являются ни входными для др. операторов, ни выходными ячейками всей логич. схемы, или если Q — варьирующий оператор, причем в логич. схеме нет операторов, существенно зависящих от параметров, принадлежащих выходному кортежу Q, то

$$Q\underset{z}{\lfloor}\underset{z}{\rfloor}=\underset{z}{\rfloor}.$$

е) Пусть $i_1, i_2, \ldots, i_k$ — параметры схемы Σ. Можно ввести новый параметр α, удовлетворяющий соотношению

$$\alpha\equiv\varphi(i_1, i_2, \ldots, i_k),$$

и заменить всюду или в нек-рых местах в Σ выражение $\varphi(i_1, i_2, \ldots, i_k)$ буквой α. При этом необходимо в конце комплекса каждого варьирующего оператора, изменяющего хотя бы один из параметров $i_1, i_2, \ldots, i_k$, приписать ф-лу $\alpha=\varphi(i_1, i_2, \ldots, i_k)$ и в выходной кортеж включить ячейку α.

ж) Предположим, что среди входных величин нелогич. оператора Q присутствует значение предиката β и обозначим Q как $Q(\beta)$. В этом случае имеет место равносильность

$$Q(\beta)\underset{z}{\lfloor}=\beta\underset{\nu}{\lfloor}Q(1)\underset{z}{\lfloor}\underset{\nu}{\rfloor}Q(0)\underset{z}{\lfloor}.$$

В частности, если $Q(\beta)$ имеет комплекс, сводящийся к единств. ф-ле

$$i:=i+n\beta,$$

где i — параметр, то, обозначая $Q(\beta)$ символом $F^{\beta n}(i)$, получаем

$$F^{\beta n}(i)\underset{z}{\lfloor}=\beta\underset{z}{\lfloor}F^{n}(i)\underset{z}{\lfloor}.$$

IV. Перестановки операторов.

а) Если ни при одном наборе значений параметров выходной кортеж каждого из действующих (варьирующих) операторов Q_1, Q_2 не пересекается ни с входным, ни с выходным кортежем другого, то

$$Q_1Q_2\underset{z}{\lfloor}=Q_2Q_1\underset{z}{\lfloor}.$$

б) Если ячейки выходного кортежа варьирующего оператора V не являются существ. параметрами действующего оператора Q, то

$$VQ\underset{z}{\lfloor}=QV\underset{z}{\lfloor}.$$

в) Если ни при одном наборе значений параметров ячейки выходного кортежа действующего оператора Q не являются существенными аргументами предиката, вычисляемого логич. оператором P, то

$$QP\overset{z_2}{\underset{z_1}{\lfloor}}=P\overset{\nu}{\ulcorner}Q\underset{z_1}{\lfloor}\underset{\nu}{\rfloor}Q\underset{z_2}{\lfloor}.$$

Если ячейки выходного кортежа действующего оператора являются существ. аргументами вышеуказ. предиката, то одновременно с перестановкой действующего и логич. операторов необходимо произвести нек-рое изменение предиката, соответствующего логич. оператору. Если логич. оператор не зависит от параметров, то его перестановка с варьирующим оператором производится по правилу, сформулированному для перестановки с действующим оператором.

Р. п. л. с. могут быть полезными как при исследовании логич. схем, так и при программировании.

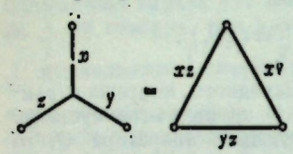
В процессе программирования нередко получаются неудовлетворительные по к.-л. причинам программы; их приходится переделывать. Переделку программы можно произвести при операторном методе программирования на уровне логич. схемы с помощью Р. п. л. с. Кроме того, Р. п. л. с. могут быть использованы для разработки логики ЭЦМ, если для ее описания воспользоваться *логической операторной схемой ЭЦМ*.

Лит.: Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963.

Н. А. Криницкий.

РАВНОСИЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРЫ РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА (relay device structure equivalent transformations; transformations équivalentes de la structure d'un dispositif de commutation; äquivalente Wandlung der Funktionen einer Relaisanlage) — преобразования, в результате к-рых получается структура нового вида, эквивалентная по своему функционированию исходной. Р. п. с. р. у. обычно имеют целью получение структуры, обладающей к.-л. заданными

св-вами, напр. содержащей меньшее число элементов (см. *Минимизация*), имеющей равномерное распределение контактов по отдельным реле (в случае релейно-контактного устройства), имеющей большую надежность и др. Эти преобразования производятся как аналитически, путем равносильных преобразований структурных формул (при условии, что данная структура однозначно описывается структурной ф-лой), так и графически. Методы преобразований структурных формул зависят от того, какой математич. аппарат применяется при аналитич. или графич. записи структуры. Напр., равносильные преобразования *параллельно-последовательных структур* используют основные законы и соотношения булевой алгебры. В мостиковых структурах, кроме преобразований, аналогичных преобразованиям параллельно-последовательных структур, к-рые могут быть применены к отдельным ветвям структуры, возможен еще ряд преобразований, связанных с введением мостиковых элементов. При переходе к мостиковым структурам используются дополнит. преобразования, напр. матричные. Простейший случай такого преобразования — преобразование звезды в треугольник и обратно (рис.), записываемое матрицами непосредственных проводимостей:



$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ x & y & z & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & xy & xz & \\ xy & 1 & yz & \\ xz & yz & 1 & \end{vmatrix}$$

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; Рогинский В.Н., Элементы структурного синтеза релейных схем управления, М., 1959; Колдуэлл С. Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962.

В. В. Воржева.

РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ПРИМЕНЕНИЕ (application of radioactive isotopes; application des radioisotopes; Anwendung radioaktiver Isotope) — радиоактивные изотопы (РИ) применяются в различных устройствах автоматич. контроля. Осн. преимущества радиоизотопных устройств: 1) бесконтактность измерения (отсутствие непосредств. контакта измерит. элементов с контролируемой средой); 2) высокие метрологич. качества, обеспечиваемые стабильностью источников излучения; 3) удобство использования в типовых схемах автоматизации (электрич. выход, унифициров. блоки). Принципы действия радиоизотопных устройств основаны на явлениях взаимодействия ядерных излучений с контролируемой средой. Схема устройства, как правило, содержит источник излучения, приемник излучения, промежуточный преобразователь принятого сигнала и выходной прибор.

Осн. св-ва и области применения отдельных видов излучения:

1) α-излучение — поток ядер гелия. Сильно поглощается средой; пробег α-частиц в воздухе несколько *см*, а в жидкостях — несколько десятков *мк*. Применяется для измерения давления газа и газового анализа. Методы измерения основаны на ионизации газовой среды;

2) β-излучение — поток электронов или позитронов. Пробег β-частиц в воздухе достигает нескольких *м*, в твердых телах — нескольких *мм*. Поглощение β-частиц средой используется для измерения толщины, плотности и веса материалов (ткань, бумага, табачная масса, фольга и т. п.) и для контроля состава жидкостей. Отражение (обратное рассеяние) β-излучения средой позволяет измерять толщины покрытий и концентрацию отдельных компонентов в веществе. β-излучение применяется также в ионизац. газовом анализе и для ионизац. снятия зарядов статич. электричества;

3) γ-излучение — поток квантов электромагнитной энергии, сопутствующий ядерным превращениям. Пробег в твердых телах — до десятков *см*. Применяется γ-излучение в тех случаях, когда требуется большая проникающая способность (дефектоскопия, контроль плотности, уровня) или используются особенности взаимодействия γ-квантов с жидкими и твердыми средами (контроль состава);

4) *n*-нейтронное излучение — поток незаряж. частиц. Обычно используются источники типа Po + Be (в к-рых α-частицы Po бомбардируют Be, испускающий при этом нейтроны). Применяется для измерения влажности и состава сред.

В качестве приемников излучения в устройствах автоматич. контроля наиболее распространены ионизац. камеры, газоразрядные и сцинтилляц. счетчики.

Промежуточный преобразователь принятого сигнала излучения может содержать усилительную (формирующую) схему и измеритель скорости счета импульсов (интегратор). Кроме того, в нек-рых случаях используются спец. спектрометрические, пересчетные и счетно-решающие схемы. Выходным прибором может быть стрелочный прибор, самописец, электромеханич. счетчик, световое табло. Иногда устройства автоматич. контроля включаются непосредственно в систему регулирования.

Отличит. особенность радиоизотопных устройств — наличие, помимо обычных аппаратурных погрешностей, дополнит. вероятностных погрешностей. Они обусловлены статистич. природой радиоактивного распада, в связи с чем при неизменной ср. величине потока излучения в каждый данный момент времени могут регистрироваться разные значения этого потока. Величина относит. среднеквадратичной статистич. погрешности определяется выражением:

$$\delta J_{ст} = \frac{1}{\sqrt{\nu J_{пр}\, t_{изм}}}, \qquad (1)$$

где ν — эффективность регистрации потока излучения, или отношение общего числа частиц или квантов, падающих на приемник — $J_{пр}$, к числу частиц или квантов, зарегистриров. приемником; $t_{изм}$ — время измерения (при применении простейшей схемы с интегрирующей RC-цепочкой $t_{изм} = 2RC$). Уменьшения $\delta J_{ст}$ можно добиться увеличением интенсивности потока излучения или времени измерения. Однако первое лимитируется требованиями техники безопасности, а второе ухудшает быстродействие устройства. Поэтому во всех случаях целесообразно применять приемники излучения с наибольшей эффективностью регистрации ν. Простейшая прямая схема измерения потока излучения (рис. 1)

не обеспечивает достаточной точности из-за большой аппаратурной погрешности. Для повышения точности измерения применяются дифференц. и компенсац. схемы. Для дифференц. схемы (рис. 2) характерно сравнение двух потоков излучения — измеряемого ($J_{изм}$) и эталонного ($J_{эт}$). Промежуточный преобразователь 3 выделяет разностный сигнал, к-рый поступает затем на выходной прибор. Применение компенсац. схемы (рис. 3) позволяет устранить влияние нестабильности промежуточного преобразователя и выходного прибора, т. к. в этом случае разностный сигнал воздействует на сервопривод, перемещающий компенсац. клин т. о., что величина разностного сигнала приводится к нулю. Отсчет ведется по положению компенсац. клина. Статистич. погрешность в схемах рис. 2 и рис. 3 получается в $\sqrt{2}$ раз больше, чем в схеме рис. 1, т. к. дисперсии ср. величины заряда на емкости интегратора от измеряемого и эталонного потоков складываются. Однако уменьшение аппаратурной погрешности является определяющим, и в конечном счете компенсац. схемам отдают предпочтение. Иногда применяют спец. схемы, позволяющие уменьшать аппаратурную погрешность и при использовании простейших схем прямого преобразования (рис. 1). Такой схемой является, напр., метод контрольного сигнала (рис. 4). В этом случае эталонный поток периодически прерывается с нек-рой частотой при помощи модулирующего устройства. Промежуточный преобразователь содержит в себе цепи, позволяющие выделить в нем перем. составляющую сигнала, соответствующую эталонному потоку, и суммарный сигнал. Выходной же прибор показывает отношение этих двух сигналов. Все изменения за счет нестабильности приемного тракта одинаково влияют и на числитель и на знаменатель отношения и не вносят изменений в показания выходного прибора.

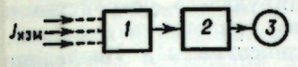


Рис. 1. Простейшая схема измерения интенсивности излучения: *1* — приемник излучения; *2* — промежуточный преобразователь; *3* — выходной прибор.

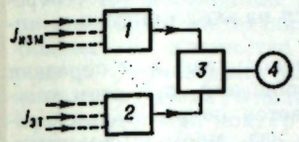


Рис. 2. Дифференц. схема: *1—2* — приемники излучения; *3* — промежуточный преобразователь; *4* — выходной прибор.

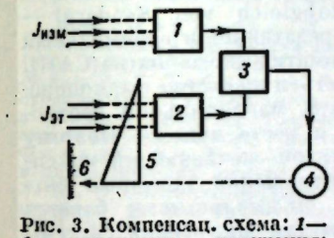


Рис. 3. Компенсац. схема: *1—2* — приемники излучения; *3* — промежуточный преобразователь; *4* — сервопривод; *5* — компенсац. клин; *6* — выходной прибор.

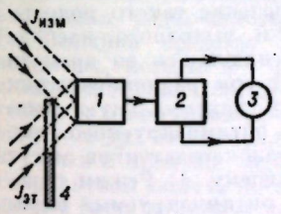


Рис. 4. Схема измерения по методу контрольного сигнала: *1* — приемник излучения; *2* — промежуточный преобразователь; *3* — выходной прибор; *4* — модулирующее устройство.

является конечной целью, т. к. в действительности важно точно контролировать не интенсивность J, а технологич. параметр x, с к-рым J связано функцион. зависимостью $J = f(x)$. При этом относит. погрешность измерения параметра x связана с относит. погрешностью измерения интенсивности δJ зависимостью

$$\delta x = \frac{\delta J}{x\,[\ln f(x)]'}. \qquad (2)$$

Отсюда видно, что наряду с рацион. выбором схемы, обеспечивающей миним. погрешность δJ, важно также определить условия, при к-рых данной погрешности δJ соответствует миним. погрешность δx.

Радиоизотопные толщиномеры и плотномеры. Наибольшее распространение получили устройства для измерения толщины d или плотности ϱ по поглощению излучения (рис. 5). Для устройств такого рода зависимость $J = f(x)$ имеет вид

$$J = J_0 e^{-\mu\rho d}, \qquad (3)$$

где J_0 — интенсивность потока излучения, па-

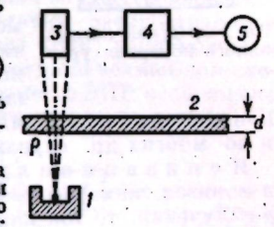


Рис. 5. Простейшая схема измерения толщины или плотности материала по поглощению излучения: *1* — источник излучения; *2* — контролируемый материал; *3* — приемник излучения; *4* — промежуточный преобразователь; *5* — выходной прибор.

дающего на контролируемый материал, J — интенсивность потока излучения, прошедшего через материал, μ — массовый коэфф. ослабления излучения в материале, зависящий от энергии излучения и св-в материала. В этом случае минимум δx в зависимости от того, преобладает ли аппаратурная или статистич. ошибка, имеет место при выполнении условий $\mu\varrho d = 1$ или $\mu\varrho d = 2$. При измерении толщины покрытий по обратному рассеянию β-излучения зависимость $J = f(x)$ имеет вид $J_{расс.} = J_{расс.\ покр.} - (J_{расс.\ покр.} - J_{расс.\ подложки})\exp(-k_{расс.}\varrho_{покр.} \times d_{покр.})$, где $k_{расс.}$ — пост. коэфф., зависящий от энергии излучения. При этом минимум δx достигается при $k_{расс.}\varrho_{покр.} \times d_{покр.} = 1$.

Если в ф-лу (2) подставить из ф-лы (1) погрешность измерения δJ и задаться определ. величиной погрешности окончат. результата измерения δx, то можно получить осн. ур-ние, позволяющее связать хар-ки источника излучения с параметрами прибора и объекта измерения. Напр., для типовой схемы рис. 5 осн. ур-ние имеет вид

$$a = \frac{3{,}4 \cdot 10^{-7} e^{\mu x}}{\Omega^2 \mu^2 x^2 (\delta x)^2\, t_{изм}\, \nu},$$

где a — необходимая для обеспечения заданной точности измерения δx активность источника в мкюри, Ω — телесный угол, в к-ром из источника виден приемник.

Релейные устройства. Наряду с устройствами, точность к-рых определяется точностью измерения интенсивности потока излучения, важны устройства, в к-рых задача точного измерения интенсивности потока излучения не ставится вообще. Это системы, работающие в релейном режиме, при к-ром важен только самый факт наличия или отсутствия потока излучения, а также системы, работающие по фазовому или частотному

принципу. В этих случаях фиксируется не наличие излучения и не его интенсивность, а, напр., частота или фаза чередования состояний, для к-рых характерна различная интенсивность потока излучения или различная степень взаимодействия этого потока с контролируемой средой.

Одно из наиболее широко распространенных применений релейных систем — позиц. контроль уровня (рис. 6). Источник излучения *1* располагается по одну сторону контролируемого сосуда *2*, а приемники излучения *3* и *4* — по другую. При нормальном положении уровня излучение попадает только на приемник *3* и не попадает на приемник *4*.

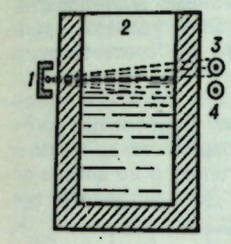


Рис. 6. Схема позиционного контроля уровня.

Релейные системы применяются также для счета изделий на конвейере, контроля положения подвижных предметов, бесконтактного измерения скорости вращения и во многих др. случаях.

Ионизационные методы. Если в ионизац. камере поместить источник α- или β-излучения, то ток камеры будет зависеть от давления газа при пост. его составе или от состава при пост. давлении. Это явление используется при конструировании радиоизотопных манометров и газоанализаторов бинарных смесей.

Использование нейтронных потоков. При прохождении через контролируемое вещество, взаимодействуя с его ядрами, нейтроны теряют часть своей энергии и замедляются. В силу закона сохранения количества движения нейтроны передают ядру тем больше энергии, чем ближе масса ядра к массе нейтрона. Поэтому самое сильное замедление быстрые нейтроны испытывают при столкновении с ядрами водорода. Это используется, напр., для контроля влажности различных сред или уровня водородосодержащих сред. Измерение степени поглощения нейтронов различными веществами использовано для определения содержания элементов с большим сечением поглощения нейтронов — B, Cd, Zi и ряда др. Перспективен метод контроля состава веществ путем спектр. анализа γ-излучения, возникающего при захвате нейтронов веществами. Такая методика используется, напр., для каротажа нефтяных скважин.

Лит.: Шумиловский Н. Н., Мельцер Л. В., Применение ядерных излучений в устройствах автоматического контроля технологических процессов, М.—Л., 1958; их же, Основы теории устройств автоматического контроля с использованием радиоактивных изотопов, М., 1959; Верховский Б. И., Применение радиоактивных изотопов для контроля производственных процессов, М., 1959; Таточенко Л. К., Радиоактивные изотопы в приборостроении, М., 1960.

Л. В. Мельтцер.

РАДИОЛИНИЯ (в телемеханике) (radio link; ligne radio; Funklinie) — совокупность радиоустройств, образующих один или неск. каналов связи для передачи на расстояние сигналов контроля и управления. Р. в простейшем виде: радиопередатчик на пункте управления и приемник на управляемом объекте или наоборот. В первом случае Р. наз. командной, т. к. по ней передаются команды или распоряжения; во втором — контрольной, т. к. по ней передаются сигналы, извещающие о выполнении переданных распоряжений, либо информация о состоянии агрегатов и т. п.

В каждом радиоканале на передающей стороне, с помощью кодирующего устройства и модулятора, сообщение, подлежащее передаче, преобразуется в радиосигналы. Последние после преодоления пространства и возбуждения эдс в антенне с выхода приемного антенно-фидерного устройства поступают на вход радиоприемника. После усиления, демодуляции и декодирования полученные сигналы преобразуются в сообщение, эквивалентное передаваемому, и подаются на вход приемника информации.

Р., как правило, используют для передачи не одного, а неск. сообщений, при этом каждое сообщение передается по отдельному радиоканалу. Такие Р. наз. многоканальными. Применяются Р. с частотным, временны́м и кодовым *разделением каналов* (сигналов). Для модуляции ВЧ колебаний сигналами, несущими информацию, применяются методы амплитудной, частотной и фазовой модуляции.

Лит.: Барсуков Ф. И., Измерения на расстоянии, М., 1963; его же, Радиотелемеханика, М.—Л., 1962; Типугин В. Н., Вейцель В. А., Радиоуправление, М., 1962.

П. И. Евдокимов.

РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА (automatic trimming of transmitters; accord automatique des émetteurs radio; Selbstabgleich von Sendern) — подстройка радиопередатчиков в оптимальный режим системой автоматического поиска (САП). Наилучшие дальность и качество радиопередачи получаются при максимальном соотношении сигнал-шум в месте приема. Поэтому режим передатчика, обеспечивающий максимальное значение отношения полезный сигнал-шум, считается оптимальным и берется основным критерием для построения системы автоматич. поиска (САП) оптимальных режимов радиопередатчиков. Повышение отношения полезного сигнала к помехе требует повышения мощности, излучаемой радиопередатчиком. На оптимизируемый параметр — полезную мощность передатчика—обычно налагаются ограничения как по тепловым или электрич. показателям работы, так и по качественным показателям передатчиков, работающих в однополосном либо телефонном режимах.

Конечной задачей системы автоматич. поиска является обеспечение такого положения органов настройки выходного каскада для конкретных и изменяющихся во времени условий работы, при к-ром радиопередатчик излучал бы в антенну максимальную мощность. С точки зрения оптимизируемого критерия все режимы радиопередатчиков могут быть сведены к следующему. 1) Режим передатчика, при к-ром на оптимизируемый параметр в области экстремума не могут быть наложены ограничения. Ограничения, накладываемые по тепловым или электрич. показателям, находятся далеко от оптимальной точки в пространстве режимов (телеграфный режим и т. д.). 2) Режим передатчика, при к-ром на оптимизируемый критерий могут быть наложены ограничения в области оптимальной точки в пространстве режимов (телефонный режим и т. д.). Ограничения могут быть наложены и по качественным показателям работы передатчика (нелинейные искажения). В первом случае система автоматич. поиска автоматически находит и поддерживает оптимальную точку в пространстве режимов путем определения частных экстремумов оптимизируемого параметра по каждой управляемой переменной. Одним из основных показателей передатчика, работающего в телефонном режиме, является определенное значение коэфф. нелинейных искажений в этом режиме. Большое количество передатчиков работает в телефонном режиме и поэтому рассмотрение управления такими передатчиками посредством самонастраивающейся системы представляет большой интерес. Этот режим интересен и тем, что необходимо выбрать оптимальный режим радиопередатчика, при к-ром обеспечивалось бы и качество и дальность радиопередачи. Управляемые параметры влияют как на качество, так и на дальность радиопередачи. При этом всегда контур каскада должен быть настроен на частоту задающего генератора. Т. к. требования к нелинейным искажениям не стабильны, то оптимальность телефонного режима определяется предварительно, т. е. должна быть определена допустимая величина нелинейных искажений. Т. о. возможно применение системы автоматич. поиска для определения наибольшего значения мощности в телефонном режиме, ограничив при этом ее работу на загрузку передатчика и величину возбуждения с предыдущего каскада заранее заданным значением нелинейных искажений.

Лит.: Капланов М. Р., Левин В. А., Автоматическая подстройка частоты, 2 изд., М.—Л., 1956; Городецкий С. Э., «Вести. св.», 1960, № 6, с. 6—8; Лернер А. Я., Применение самонастраивающихся систем автоматического управления, в кн.: Тр. I Междунар. конгресса Междунар. федерации по автоматическому управлению, [т. 6], М., 1961; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Салихов З. М., О самонастраивающейся системе управления режимом работы радиопередатчика, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1961, № 6; Фицнер Л. Н., Норкин К. Б., Автоматический оптимизатор 1А01-1, М., 1959 (Передовой научно-техн. и произв. опыт. Тема № 42, № 11—59—15/1).

З. М. Салихов.

РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ (radiospectroscopy; radiospéctroscopie; Radiospektroskopie) — область физики, возникшая на базе атомной и молекулярной физики, спектроскопии и радиотехники и изучающая квантовые переходы между энергетич. уровнями молекул, атомов и атомных ядер, сопровождающиеся резонансным поглощением электромагнитного излучения радиочастотного диапазона волн. Р.— мощное средство физич. исследования вещества; методы Р. применяют в физике, химии, биофизике, биохимии, квантовой радиотехнике, в полупроводниковой технике, в медицине и др. Число приложений Р. к решению научных и практич. задач непрерывно растет. Резонансная частота поглощаемой электромагнитной энергии определяется основным квантовым условием $hf = E_1 - E_2$, где f — частота поглощаемого излучения, h — постоянная Планка, E_1 и E_2 — энергии нач. и конечного состояний молекулы, атома или ядра, поглощающих излучение. Энергии переходов, изучаемые в Р., очень малы (от 10^{-2} до 10^{-7} *эв*, что соответствует диапазону частот 10^6—$3 \cdot 10^{11}$ *гц*). В Р. используются источники монохроматич. излучения, обладающие очень узким спектром частот, благодаря чему удается получить исключительно высокое разрешение радиочастотных спектров; разрешающая способность радиоспектрометров определяется не свойствами прибора, а естественной шириной наблюдаемых спектральных линий.

В зависимости от типа изучаемых энергетич. переходов в Р. наметилось несколько самостоят. направлений; наиболее важны: электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), ядерный магнитный резонанс (ЯМР), газовая микроволновая спектроскопия и ядерный квадрупольный резонанс.

Явление ЭПР, открытое в 1944 советским физиком Е. К. Завойским, состоит в резонансном поглощении радиочастотной энергии веществом, помещенным в пост. магнитное поле и обладающим электронным парамагнетизмом. Явление ЭПР связано с квантовыми переходами между зеемановскими энергетич. уровнями, возникающими вследствие взаимодействия спинового электронного магнитного момента частицы с внешним магнитным полем. Для наблюдения и регистрации спектров парамагнитного поглощения служат радиоспектрометры ЭПР. Наибольшее распространение получили спектрометры ЭПР, работающие в сантиметровом диапазоне длин волн. Блок-схема простейшего спектрометра ЭПР изображена на рис. 1. От клистронного генератора *1* СВЧ

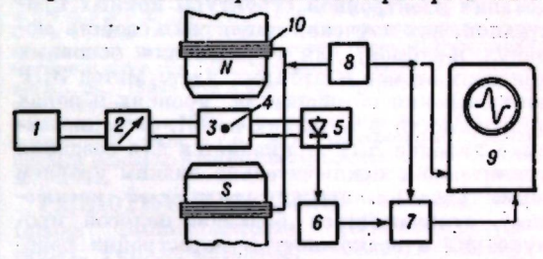


Рис. 1. Блок-схема радиоспектрометра ЭПР с проходным резонатором, видеоусилителем и синхронным детектором: *1* — клистронный генератор; *2* — аттенюатор; *3* — резонатор; *4* — исследуемый образец; *5* — кристаллический детектор СВЧ; *6* — усилитель низкой частоты (видеоусилитель); *7* — синхронный детектор; *8* — модулятор; *9* — осциллограф; *10* — модулирующие катушки; *NS* — электромагнит.

колебания по волноводам подаются в объемный резонатор *3* и далее на кристаллич. СВЧ детектор *5*. Исследуемый образец *4* помещается в пучность магнитной составляющей СВЧ поля резонатора. Перпендикулярно магнитной составляющей СВЧ поля приложено сильное, медленно и линейно меняющееся магнитное поле электромагнита NS. При нек-ром значении напряженности поля электромагнита, определяемого основным квантовым условием для случая спинового магнитного момента электрона, в образце происходит резонансное поглощение энергии СВЧ, что вызывает изменение уровня энергии, падающей на кристаллич. детектор. При наложении на постоянное магнитное поле переменного низкочастотного поля небольшой амплитуды от модулятора *8* на детекторе будет выделяться переменный сигнал такой же частоты. Далее сигнал подается на усилитель низкой частоты *6*, выпрямляется фазочувствительным детектором *7* и поступает на вертикальные пластины осциллографа *9*. Напряжение на горизонтальных пластинах синхронизировано с модуляцией магнитного поля. При медленном изменении постоянного магнитного поля около резонансного значения напряжение на выходе синхронного детектора будет меняться пропорционально первой производной линии поглощения ЭПР и на осциллографе появится изображение ее первой производной.

ЭПР широко применяется в химии для исследования строения и химич. свойств свободных радикалов, парамагнитных ионов и радиационных дефектов. ЭПР — наилучший метод непосредственного обнаружения свободных радикалов-частиц, играющих огромную роль во многих химич. процессах (полимеризация, теломеризация, окисление и др.). Современные радиоспектрометры ЭПР позволяют обнаруживать в исследуемом образце до 10^{-13} грамм-моля, т. е. десятые и сотые доли микрограмма свободных радикалов. Исследование спектров ЭПР в жидких и твердых растворах, содержащих свободные радикалы, дает очень ценную информацию относительно природы и свойств последних, а спектры, снятые в ходе химич. реакций, позволяют изучать механизмы свободнорадикальных химич. процессов, в том числе фотохимич., радиационно-химич. и биологич. При помощи ЭПР изучаются структура и химич. свойства металлоорганич. парамагнитных комплексов, определяющих активность сложных органич. катализаторов В физике метод ЭПР применяется для исследования электронной структуры ионных кристаллов, для изучения магнитных свойств молекул и атомов, для определения основных констант атомов и атомных ядер. Метод ЭПР дает сведения об энергетич. уровнях и зонах проводимости в металлах и ПП. В радиотехнике явление ЭПР применяется для создания усилителей с исключительно низким уровнем шума (*парамагнитных усилителей квантовых*), отличающихся большой полосой пропускания и возможностью перестройки рабочей частоты в широких пределах. Высокая чувствительность и избирательность метода ЭПР позволяют применять его в аналитич. целях для определения содержания парамагнитных компонентов (стабильных свободных радикалов, парамагнитных ионов и ион-радикалов, парамагнитных комплексов, дефектов кристаллич. решетки облученных веществ) в жидких и твердых средах. На радиоспектрометрах ЭПР можно производить анализ содержания перекисных соединений в количестве от 10^{-8} моля на литр и больше в органич. растворителях, мономерах, моторном топливе, смазочных маслах и в твердых полимерных материалах.

Явление ЯМР открыто в 1946 амер. физиками Э. Перселлом и Ф. Блохом и состоит в резонансном поглощении радиочастотного излучения веществом, обладающим ядерным парамагнетизмом и помещенным в магнитное поле. Явление ЯМР вызвано квантовыми переходами между зеемановскими энергетич. уровнями атомных ядер, возникающими вследствие взаимодействия ядерного магнитного момента с внешним магнитным полем.

Ядерное магнитное резонансное поглощение наблюдается при помощи спектрометров ЯМР. Блок-схема простого спектрометра ЯМР с регистрацией линии поглощения на осциллографе изображена на рис. 2. Исследуемый образец *2* помещается в катушку L настроенного контура LC, расположенную в поле H_0 постоянного магнита NS. Контур LC питается от генератора высокой частоты *1* через большое сопротивление R. При определенном значении магнитного поля H_0, определяемого основным квантовым условием для случая ядерного магнитного момента, образец *2* поглощает радиочастотную энергию, что приводит к падению добротности контура и уменьшению напряжения радиочастоты на нем. Это изменение напряжения усиливается усилителем высокой частоты *3*, выпрямляется детектором *4* и через усилитель низкой частоты *5* подается на вертикальные пластины осциллографа *6*. Магнитное поле H_0 модулируется генератором низкой частоты *7*, вследствие чего

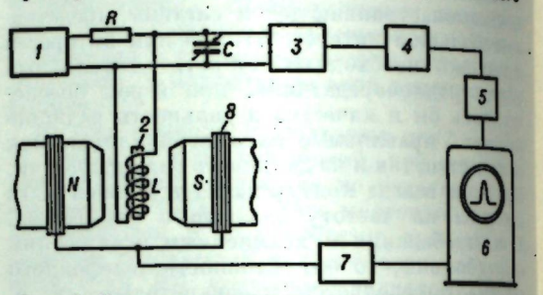


Рис. 2. Блок-схема простого ядерного магнитного спектрометра: *1* — генератор радиочастоты; *2* — ампула с исследуемым образцом; *3* — усилитель радиочастоты; *4* — детектор; *5* — усилитель низкой частоты; *6* — осциллограф; *7* — модулятор; *8* — модулирующие катушки.

на выходе детектора появляется сигнал ЯМР этой же частоты. На горизонтальные пластины осциллографа подается напряжение, синхронизированное с модуляцией, и луч осциллографа дает визуальную индикацию линии ЯМР поглощения. ЯМР — один из наиболее эффективных методов определения химич. структуры молекул, содержащих ядра водорода, фтора, фосфора и др., обладающих ядерным магнитным моментом. В химии ЯМР применяется для структурного анализа молекул, позволяет в нек-рых случаях следить за ходом химич. реакций, изучать действия твердых катализаторов на реакции, протекающие в жидкостях, а также получать сведения о структуре и механизме действия катализаторов. Методом ЯМР получают сведения об орбитах электронов, участвующих в образовании химич. связи, о внутримолекулярных магнитных и электрич. полях. В физике метод ЯМР применяется для определения величины магнитного момента и гиромагнитного отношения атомных ядер; в совокупности с ЭПР — для ориентировки (поляризации) ядер. В технике ЯМР используется для точного измерения пост. магнитных полей (ядерные магнитометры). Методом ЯМР измеряется напряженность магнитного поля земли с точностью до 1/15000. Спектральные линии ЯМР используются для стабилизации магнитных полей в электромагнитах.

Газовая микроволновая спектроскопия основана на резонансном поглощении газами электромагнитной энергии в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн, вызванном квантовыми переходами между вращат. энергетич. уровнями молекул.

Для наблюдения и регистрации микроволновых спектров газов применяются спец. газовые радиоспектроскопы. Блок-схема одного из таких спектроскопов изображена на рис. 3. Электромагнитная энергия, генерируемая клистроном *1*, по волноводам подается в поглощающую ячейку *5*, представляющую собой отрезок волновода, отгороженный с двух сторон от волноводного тракта герметичными

слюдяными перегородками. Далее СВЧ энергия попадает на кристаллич. детектор. Частота клистрона модулируется с помощью низкочастотного напряжения пилообразной формы, подаваемого от модулятора *9* на отражатель клистрона. При некотором значении частоты клистрона, определяемом основным квантовым условием, происходит поглощение СВЧ

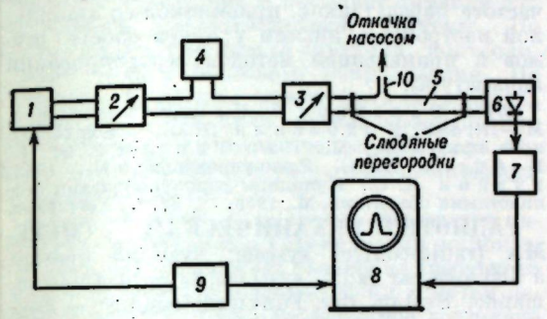


Рис. 3. Блок-схема газового микроволнового видеоспектроскопа: *1* — клистронный генератор; *2*, *3* — аттенюаторы; *4* — волномер; *5* — поглощающая ячейка; *6* — кристаллический детектор; *7* — усилитель низкой частоты (видеоусилитель); *8* — осциллограф; *9* — модулятор; 10 — патрубок.

энергии молекулами газа в поглощающей ячейке и уровень падающей на детектор СВЧ мощности изменяется. Частота изменения равна частоте модуляции. С детектора сигнал через усилитель низкой частоты *7* подается на вертикальные пластины осциллографа. Горизонтальная развертка осциллографа синхронизирована модулирующим напряжением и на экране осциллографа наблюдается изображение спектральной линии поглощения. При помощи вакуумного насоса, подключаемого к патрубку *10*, в поглощающей ячейке поддерживается необходимое разряжение.

В физике и химии газовая микроволновая Р. применяется для точного определения ядерных квадрупольных моментов и моментов инерции молекул. Газовые микроволновые спектры позволяют очень точно определять длины химич. связей (с точностью до 1 Å), углы между ними (с точностью до 1′) и величины дипольных моментов молекул, что имеет большое значение для теории химич. строения молекул. Перспективно применение газовой Р. для качественного и количественного анализа малых концентраций газов, обладающих вращат. спектрами в сантиметровой области. Газовые микроволновые радиоспектрометры позволяют обнаруживать до 10^{-9} *г* анализируемого газа. Радиочастотные спектральные линии газов используются в радиотехнике в качестве очень точного стандарта частоты и для измерения времени (атомные часы). При помощи таких стандартов достигается высокая степень стабилизации частоты генераторов, не зависящая от окружающих условий.

Метод ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) основан на взаимодействии в электрич. полях ядерного квадрупольного момента с радиочастотным излучением. Этот метод менее распространен, чем первые три. ЯКР позволяет получать сведения о силах взаимодействия в кристаллах и о химич. связях в нек-рых молекулах. При помощи ЯКР можно с высокой точностью измерять отношение квадрупольных моментов изотопов данного ядра.

Ценная информация о строении, составе и свойстве вещества, получаемая методами Р., может быть использована в системах автоматич. контроля и управления технологич. процессами в ряде производств химич. и смежных с ней отраслей промышленности. Перспективно, напр., создание автоматич. анализаторов состава и структуры вещества, основанных на различных методах Р. Так, метод ЭПР начинает применяться для автоматич. анализа содержания ванадия в нефти и нефтепродуктах. Не менее перспективно применение Р. методов для экспрессанализа твердых и жидких веществ. Радиоспектрометры ЭПР могут быть использованы в лабораториях и в промышленности для быстрого определения содержания перекисных примесей различного происхождения в жидких и твердых продуктах; спектрометры ЯМР — для быстрого анализа состава нефти и для определения влаги в гигроскопич. веществах.

Лит.: Горди В., Смит В., Трамбаруло Р., Радиоспектроскопия, пер. с англ., М., 1955; Альтшулер С. А., Козырев Б. М., Электронный парамагнитный резонанс, М., 1961; Блюменфельд Л. А., Воеводский В. В., Семенов А. Г., Применение электронного парамагнитного резонанса в химии, Новосибирск, 1962; Стрендберг М., Радиоспектроскопия, пер. с англ., М., 1956; Эндрю Э., Ядерный магнитный резонанс, пер. с англ., М., 1957; Инграм Д., Спектроскопия на высоких и сверхвысоких частотах, пер. с англ., М., 1959; его же, Электронный парамагнитный резонанс в свободных радикалах, пер. с англ., М., 1961.

А. И. Кашлинский.

РАДИОТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ [radiotelemetering; radiotélémesure (télémesure par radio); Funkfernmessung] — область ТИ, применяемая преимущественно для автоматич. передачи значений контролируемых величин с подвижных и труднодоступных объектов (самолетов, ракет, космич. кораблей, метеорологич. шаров-зондов и т. п.) при помощи *радиолиний*. Для Р. используют частоты от 200 *Мгц* до 2500 *Мгц* и полосу частот канала от сотен *кгц* до 1—2 *Мгц*. Специфика радиоканалов: меняющиеся условия распространения радиоволн, приводящие к изменению уровней полезных сигналов, и значит. интенсивность помех. Это влияет на выбор сигналов и способов обработки данных. При конструировании аппаратуры для подвижных объектов часто требуется предельно уменьшить ее габариты и вес, обеспечить устойчивую работу при сильных внешних воздействиях — механических (ускорения, вибрации, удары, тряска) и климатических (давления и темп-ры окружающей среды). Системы Р., как правило, выполняются многоканальными для передачи от десяти до неск. сот контролируемых величин с временны́м и частотным разделением каналов (см. *Телеизмерительная система многоканальная*). В системах с временны́м разделением коммутация каналов осуществляется электромеханич. коммутаторами со скоростью переключения до 70—100 *гц* или быстродействующими электронными коммутаторами. Применяется двойная модуляция. При модуляции сигналов датчиков — первичная: амплитудная импульсная (АИМ), широтная импульсная (ШИМ), фазовая импульсная (ФИМ) или кодовая импульсная (КИМ) модуляции, а при вторичной модуляции ВЧ колебаний, излучаемых радиопередатчиком,— амплитудная (АМ), частотная (ЧМ) или фазовая (ФМ) модуляции. В системах с частотным разделением каналов также применяется двойная

модуляция: напр., первичная АМ или ЧМ и вторичная ЧМ или ФМ. Используется также система ЧМ—АМ. Все эти особенности отличают радиотелеизмерит. системы для подвижных объектов от пром. систем ТИ.

Данные, передаваемые системой Р., обычно регистрируются и затем подвергаются обработке. Применяются след. основные способы регистрации сигналов первичной модуляции и демодулированных: периодич. фотографирование сигналов на экране электроннолучевой трубки с помощью фотокамер; запись на фотопленку или фотобумагу шлейфовым осциллографом; запись на магнитную ленту. Часто применяется регистрация данных в дискретной форме, к-рая осуществляется путем преобразования сигналов в цифровой код; последний записывается на фотопленке или на перфоленте, перфокарте, магнитной ленте и т. п. или воспроизводится быстродействующими цифровыми указателями и фотографируется фотокамерой. Для визуального контроля регистрируемые сигналы воспроизводятся на экране электроннолучевой трубки.

Обработка принятых данных с помощью цифровых вычислит. машин и др. устройств позволяет осуществить интерполяцию при временно́м разделении, повысить точность и достоверность результатов измерения путем коррекции по калибровочным меткам или по сигналам коррекции нелинейностей в тракте и т. п. Применяется также статистич. обработка данных, осуществляемая либо синхронно с приемом сигналов, либо при воспроизведении записанных данных. В последнем случае скорость обработки может быть существенно ниже скорости записи.

Лит.: Изюмов Н. М., Импульсные системы многоканальной радиосвязи, М., 1947; Никольс М. Х., Раух Л. Л., Радиотелеметрия, пер. с англ., М., 1958; Управление и измерение на расстоянии. Сб. ст., пер. с англ.,[ч.] 1—2, М., 1957—59. *В. С. Малов.*

РАДИОТЕЛЕМЕТРИЯ (radiotelemetry; radiotélémètrie; Radiotelemetrie) — см. *Радиотелеизмерение.*

РАДИОТЕЛЕМЕХАНИКА (radiocontrol; technique d'opérations à distance par radio, radio-télécommande; Funkfernmessung) — область телемеханики, в к-рой для передачи сигналов управления на расстояние используются радиоканалы (см. *Канал радио и радиорелейный*). Комплекс радиотехнич. и электронных устройств контроля и управления объединяется в радиотелемеханическую систему. Р. развилась на базе радиотехники и техники передачи информации по проводам для целей контроля и управления на расстоянии.

Р. используется для ТК и ТУ неподвижными и подвижными объектами с неподвижных и подвижных пунктов управления. Р. применяется на пром. объектах (напр., нефтепромыслах), при освоении космич. пространства, в метеорологии, в военной технике и др.

Управляемые и контролируемые по радио объекты могут быть удаленными от пункта радиоуправления в земных условиях на сотни и тысячи *км*, а в космосе — на сотни миллионов *км*.

Передача информации в Р. осуществляется на радиочастотах всех диапазонов волн. В связи с освоением волн оптич. диапазона возможности построения информац. каналов для Р. значительно расширяются.

К методам повышения надежности ТК и ТУ с помощью Р. относится выбор способов кодирования и модуляции ВЧ колебаний, к-рые обеспечивают уверенное выделение на приемной стороне передаваемых сигналов при наличии помех.

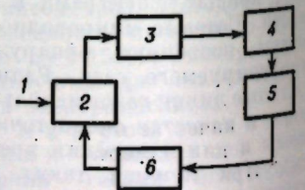
Повышение надежности действия в Р. достигается применением высокостабильных по частоте передатчиков, приемников со стабильной настройкой, низким уровнем собств. шумов и применением методов резервирования аппаратуры.

Лит.: Барсуков Ф. И., Радиотелемеханика, М.—Л., 1962; Быховский Я. Л., Телемеханика и ее применение, М., 1956; Типугин В. Н., Вейцель В. А., Радиоуправление, М., 1962; Гуткин Л. С., Принципы радиоуправления беспилотными объектами, М., 1959. *П. И. Евдокимов.*

РАДИОТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (radio-control system; système opérant à distance par radio, système de radio-télécommande; System der Funkfernmessung) — комплекс основных и вспомогат. приборов и устройств, обеспечивающий управление и контроль состояния объектов или процессов на расстоянии с помощью радиотехнич. средств.

Р. с. во многих случаях включает в себя системы радиотелеуправления, местной автоматики и радиотелеконтроля. Система радиотелеуправления есть совокупность устройств, обеспечивающих передачу на управляемый объект команд по радио. Система местной автоматики — это комплекс местных устройств, обеспечивающий заданный режим поведения объекта (процесса), на к-рый воздействуют команды управления, передаваемые Р. с. с целью изменения или поддержания определ. режима процесса работы. Р. с. состоит из комплекса устройств, с помощью к-рых с управляемого объекта на пункт управления передается информация о состоянии объектов управления или о происходящих процессах. Если передаются сигналы, фиксирующие состояние, типа «включено» — «выключено», то устройства относятся к системе радиотелесигнализации, а если сигналы несут информацию о величине параметра, тогда устройства относятся к системе радиотелеизмерений. Принципы радиотелесигнализации и радиотелеметрии могут быть такими же, как и в радиоуправлении.

В разомкнутых Р. с. (рис.) участвует оператор, к-рый получает информацию о требуемом режиме, и используются сигналы системы радиотелеконтроля. Оператор воздействует



Блок-схема радиотелемеханич. системы: *1* — информация о требуемом режиме; *2* — оператор или автоматич. электронно-вычислит. машина; *3* — устройство формирования и передачи команд по радио; *4* — приемное и исполнит. устройство; *5* — объект управления; *6* — система контроля по радио.

на устройство для формирования передачи команд управления на объект. Исполнение команд и изменение режима или состояния управляемого объекта контролируются системой радиоконтроля. Требуемый режим для объекта управления задается оператору с помощью световых сигналов, стрелочных приборов, программных устройств и т. п. В процессе управления оператор сравнивает фактич. состояние объекта с требуемым. При наличии рассогласования он решает, какие команды и когда необходимо передать на объект управления.

Примером подобной Р. с. является система контроля работы оборудования искусств. спутника Земли. В заданное время оператор включает передатчик и посылает команду для включения радиотелеметрич. системы. По сигналам, получаемым со спутника, контролируется работа бортового оборудования. По командам оператора может быть подвергнута контролю та или иная система оборудования на спутнике, при этом процесс контроля может быть удлинен или укорочен в зависимости от необходимости.

В замкнутых Р. с. оператор заменяется автоматич. электронным управляющим устройством, к-рое осуществляет сравнение требуемого режима (процесса) с фактическим и путем передачи команд задает необходимое состояние или изменяет его. Характерные примеры такой Р. с.: для управления по радио подвижными объектами (зенитными ракетами и др.), для управления устройствами определения координат искусств. спутников Земли и т. п. Эти Р. с., наз. командными системами радиоуправления, получили распространение в связи с быстрым развитием вычислит. техники.

Устройства Р. с. интенсивно развиваются на основе ПП элементов, микроминиатюризации отдельных блоков, широкого внедрения печатных радиотехнич. схем, что позволяет значительно сократить потребление энергии, повысить срок службы радиотехнич. и электронных приборов и увеличить их надежность. Все это существенно улучшает эксплуатац. хар-ки Р. с. и расширяет возможности их применения.

Лит.: Барсуков Ф. И., Радиотелемеханика, М.—Л., 1962; Типугин В. Н., Вейцель В. А., Радиоуправление, М., 1962. *П. И. Евдокимов.*

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА (radioelectronics; radio-électronique; Radioelektronik) — см. *Электроника.*

РАЗБИЕНИЕ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОБЛАСТИ (phase space decomposition; décomposition de l'espace de phase en régions; Zerlegung des Phasenraums in Bereiche) — определение особых траекторий динамич. системы, разбивающих ее фазовое пространство

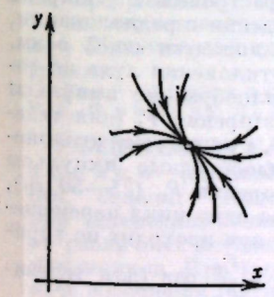


Рис. 1. Устойчивый узел.

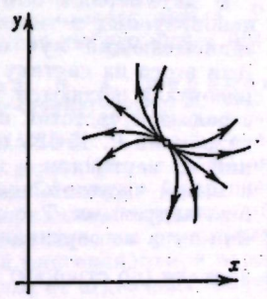


Рис. 2. Неустойчивый узел.

на области, в к-рых динамич. системы ведут себя одинаково. Метод Р. ф. п. на о. наиболее полно разработан для качественного исследования систем второго порядка. Особыми траекториями на фазовой плоскости (x, y) являются особые точки, предельные циклы и сепаратрисы — кривые, отделяющие траектории различных видов. Особая точка типа узла, фокуса или седла есть точка, к к-рой приближаются (устойчивое состояние равновесия) или от к-рой удаляются (неустойчивое состояние

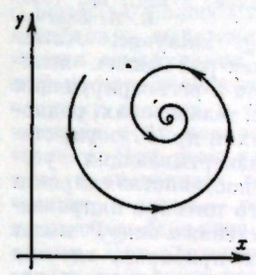


Рис. 3. Устойчивый фокус.

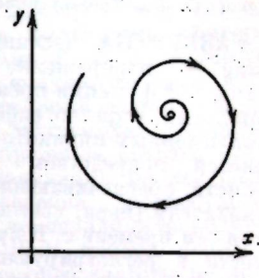


Рис. 4. Неустойчивый фокус.

равновесия) с течением времени изображающие точки системы, находившиеся в начальный момент времени в области притяжения или в области отталкивания этой точки. На рис. 1—4 изображен характер фазовых траекторий вблизи особых точек. Стрелками показаны направления движения изображающей точки по траекториям. Граничным случаем между особыми точками типа устойчивого и неустойчивого фокусов является особая точка типа центра (рис. 5). Предельный цикл — изолированная замкнутая траектория, на к-рую накручиваются (устойчивый предельный цикл) или с к-рой скручиваются (неустой-

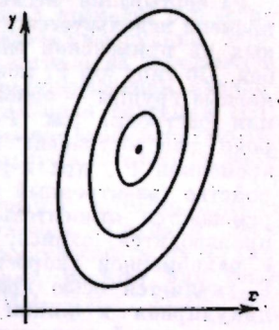


Рис. 5. Центр.

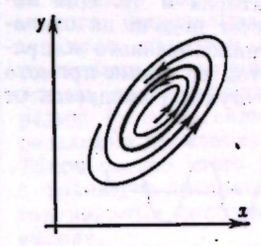


Рис. 6. Устойчивый предельный цикл.

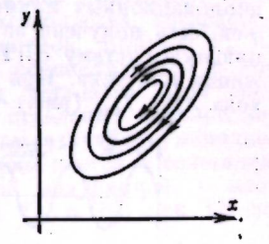


Рис. 7. Неустойчивый предельный узел.

чивый предельный цикл) все соседние траектории, лежащие в области притяжения или в области отталкивания этого предельного цикла (рис. 6, 7). В реальной системе устойчивому предельному циклу соответствуют автоколебания. Как пример на рис. 8 показаны фазовые траектории системы, имеющей устойчивый фокус, неустойчивый фокус, седло и устойчивый предельный цикл. Особые траектории разбивают фазовую плоскость на области, каждая из к-рых

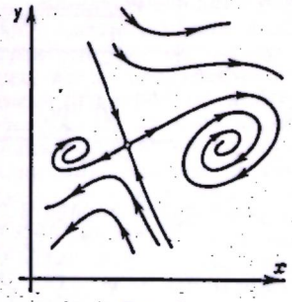


Рис. 8.

заполнена траекториями одного типа, давая, т. о., полную качеств. картину всех возможных движений системы.

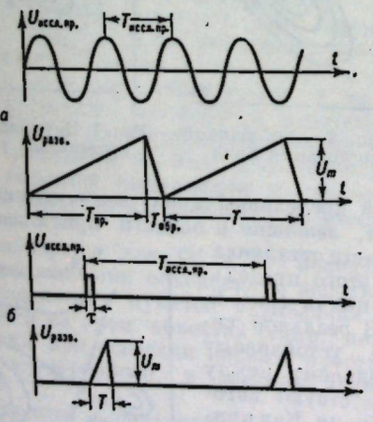
Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959.

Б. А. Власюк.

РАЗВЕРТКА (scanning; balayage; Abtastung) — изображение нек-рой физич. величины как функции времени в регистрирующих приборах, осциллографах, телевизорах, радиолокационных индикаторах и др. Р. осуществляется посредством развертывающих устройств, обеспечивающих постоянство скорости указателя (пера, светового пятна) в направлении оси времени x. В простейшем виде Р. имеет место в регистрирующих приборах, где она создается поступат. движением бумаги в направлении, перпендикулярном к перемещению подвижной части измерит. механизма (пера). Р. является равномерное движение пленки осциллографа в направлении, перпендикулярном колебаниям светового указателя.

Развертывание исследуемого процесса во времени используется в устройствах, основанных на применении электроннолучевых трубок. По типу эти Р. можно разделить на 2 основные группы — одномерные и двухмерные, или растровые (см. *Растр*). Наиболее широко распространена линейная одномерная временна́я Р., при к-рой записывающее устройство (электронный или световой луч) перемещается относительно экрана, на к-ром производится запись, в одной плоскости с равномерной скоростью. При этом линия Р. является осью времени, а ось, перпендикулярная к линии Р.,— осью мгновенных значений исследуемого процесса. В зависимости от формы линии Р. одномерные Р. делятся на прямолинейную (Р. типа «А»), круговую и спиральную.

Простейшая линейная одномерная Р. применяется в электронных осциллографах, радиолокационных индикаторах и др. Она может быть получена за счет подачи на отклоняющую систему ЭЛТ пилообразного напряжения или тока. При этом во время прямого хода луча $T_{пр}$ (рис.) — луч перемещается от



одного конца экрана к др. (обычно слева направо). За время обратного хода $T_{обр}$ луч возвращается в исходную точку. На время обратного хода луча ЭЛТ запирается гасящим импульсом и обратный ход луча на экране не просматривается. Амплитуда пилообразных импульсов U_m подбирается так, чтобы за время прямого хода луч переместился от одного до др. конца экрана. Поэтому линейный масштаб Р. определяется как временем прямого хода, так и амплитудой пилообразных импульсов.

Чтобы получить на экране устойчивое, неподвижное изображение исследуемого процесса, необходимо, чтобы период напряжения Р. был равен или кратен периоду исследуемого напряжения. Если периоды Р. и исследуемого процесса не кратны, то на экране наблюдается изображение, «скользящее» вдоль горизонтальной оси. Линейная одномерная Р. может быть выполнена различными методами в зависимости от параметров исследуемого процесса. Для наблюдения процессов, близких по форме к синусоидальным, и импульсных процессов малой *скважности* используется непрерывная Р., при к-рой пилообразные импульсы следуют один за другим (рис. *а*). Для наблюдения импульсных процессов большой скважности (рис. *б*) используется «ждущая» Р., при которой пилообразный импульс подается на отклоняющую систему ЭЛТ только с приходом исследуемого импульса. «Ждущая» Р. позволяет наблюдать импульсы малой длительности с большим периодом повторения в укрупненном масштабе по оси времени.

Кольцевая линейная Р. позволяет улучшить использование площади экрана, увеличивая длину Р. в π раз. Для получения кольцевой Р. на систему ЭЛТ, отклоняющую луч в одной плоскости, подается синусоидальное напряжение $U_1 = U_m \sin \Omega t$, а на др. систему, отклоняющую луч в перпендикулярной плоскости, такое же напряжение, но сдвинутое на 90° по фазе $U_2 = U_m \sin(\Omega t + \frac{\pi}{2})$. При этом луч перемещается по окружности, радиус к-рой зависит от амплитуды U_m и чувствительности ЭЛТ по отклонению луча, а угловая скорость вращения луча по окружности равна $\frac{\Omega}{2\pi}$ *об/сек*.

Спиральная Р. создается так же, как и кольцевая, но амплитуды синусоид. напряжений изменяются по пилообразному закону. С уменьшением амплитуды колебаний луч перемещается по спирали от периферии экрана к его центру, с шагом, определяемым уменьшением амплитуды за период синусоид. напряжения. Спиральная Р. неподвижна, если период пилообразного напряжения кратен периоду синусоид. колебаний.

В двухмерных или растровых Р., широко используемых в телевидении и радиолокации, записывающий луч отклоняется по 2 осям. Для этого на систему отклонения луча по горизонтали подаются пилообразные импульсы с большой частотой повторения $F_г$ (для телевизионной Р. 15 625 *гц*), а на систему отклонения по вертикали — пилообразные импульсы с малой частотой повторения $F_в$ (25—50 *гц*), наз. кадровыми. Т. о., за один цикл перемещения луча по вертикали луч проходит по горизонтали (по строкам) $n = \frac{F_г}{F_в}$ раз (для телевидения в СССР принят стандарт 625 строк на 1 кадр). В радиолокационных растровых индикаторах перемещение луча пропорц. измеряемым координатам, напр.: дальности и азимуту, дальности и высоте, азимуту и углу места или азимуту и скорости цели, а мгновенное значение наблюдаемого процесса (наличие в данной точке импульса, отраженного от цели) оценивается по яркостной модуляции

луча. Напряжения на системы отклонения подаются от соответствующих датчиков.

Р. В. Фельдман.

РАЗВЕТВЛЕНИЕ ПРОГРАММЫ (programme splitting; ramification de programme; Programmverzweigung) — команда программы, после к-рой дальнейшее выполнение программы может идти различными путями в зависимости от полученных промежуточных результатов. В большинстве ЭВМ для осуществления Р. п. предусмотрены спец. типы команд, наз. командами условного перехода. В нек-рых машинах по команде условного перехода производится предварит. проверка выполнения к.-л. условия и в зависимости от того, выполнено оно или нет,— переход к одной из двух команд, адреса к-рых указаны в ее адресной части. В частном случае предусматривается переход к след. по порядку команде или к команде, адрес к-рой указан в адресной части команды условного перехода. В др. машинах при выполнении целого ряда операций АУ вырабатывает спец. сигнал, наз. сигналом ω. При его появлении говорят, что $\omega = 1$, а при отсутствии $\omega = 0$. Условием выработки сигнала $\omega = 1$ является, напр., наличие у результата отрицат. знака, несовпадение (или, наоборот, совпадение) сравниваемых кодов, наличие «1» в определ. разряде сумматора после выполнения операции сдвига и т. п. Выработанное значение сигнала ω фиксируется в УУ с помощью спец. триггера до тех пор, пока не возникнет новое значение ω. Выполнение команды условного перехода при этом заключается в проверке состояния этого триггера (напр., ЦВМ «Урал-2», «Стрела») и в передаче управления той или иной команде в зависимости от значения ω. Кроме того, в машинах, оборудованных индексными регистрами, предусматривается возможность передачи управления командами перехода в зависимости от содержимого индексных регистров; обычно этими же командами производится изменение содержимого этих регистров (напр., команда «конец цикла» в системе команд машины «Урал-2»). Наконец, Р. п. может быть осуществлено с помощью переадресации команд безусловного (или условного) перехода. Этот прием применяют обычно в случае большого количества «путей», возможных после Р. п., закономерность выбора к-рых заранее известна программисту. Средством осуществления Р. п. является также *логическая шкала*. Р. п.— обязательный элемент любого *цикла программы*.

Лит.: Крицкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963.

Н. А. Крицкий.

РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ в телемеханике (channels separation; séparation des canaux; Kanalentfernung) — разделение телемехапич. информации, передаваемой от различных источников или для различных приемников. При такой многоканальной передаче сообщения (сигналы) от отдельных источников передаются независимо друг от друга. С целью Р. к. осуществляют формирование и сложение сигналов в передающем устройстве и селекцию их в приемном устройстве. Применяют след. методы Р. к.: частотный, временной, кодовый и комбинированный. Частотное разделение каналов выполняется как по несущей, так и по поднесущей частоте. В первом случае передаваемое сообщение модулирует в каждом канале непосредственно свою несущую частоту. Последние выбирают т. о., чтобы спектры сигналов отдельных каналов не перекрывались. На приемной стороне разделение сигналов осуществляется с помощью полосовых фильтров. Модулиров. колебания, выделенные фильтрами, подвергаются демодуляции. При Р. к. по поднесущей частоте сообщение модулирует свою поднесущую частоту, а суммарный сигнал из поднесущих всех каналов модулирует несущую частоту. При этом на приемной стороне сначала производится демодуляция по несущей частоте, а затем — разделение поднесущих с помощью фильтров и демодуляция по поднесущим. При частотном Р. к. широко используется *модуляция* поднесущей частоты по амплитуде или частоте (АМ, ЧМ) и несущей частоты — по частоте. Эти способы модуляции носят назв. АМ—ЧМ, ЧМ—ЧМ. Первые буквы означают модуляцию по поднесущей, вторые — по несущей.

При временно́м Р. к. каждому из них поочередно отводится интервал времени, в течение к-рого происходит передача информации. Формирование группового сигнала на передающей стороне с заданным распределением канальных интервалов и временна́я селекция (выборка) сигналов на приемной стороне осуществляется с помощью распределителей (коммутаторов).

В системах с временны́м Р. к. часто используется вторичная модуляция. Сигналы всех каналов в виде видеоимпульсов модулируют при этом по амплитуде, частоте или фазе несущую частоту (АИМ—АМ, АИМ—ЧМ, ВИМ—ЧМ и т. п.).

Широкое применение в телемеханике находит кодовый метод разделения каналов. Применяется как циклическое, так и спорадич. кодовое разделение. При циклическом кодовом разделении каждому каналу присваивается определ. кодовая группа импульсов. Кроме того, устанавливается определ. последовательность передачи каналов. Кодовое Р. к. на приемной стороне осуществляется с помощью декодирующих устройств. При спорадич. Р. к. сигналы отдельных каналов передаются в произвольном (случайном) порядке. Такой способ часто применяется в сочетании с разностно-дискретной модуляцией, в многоканальных системах ТУ и ТС, при ТИ по вызову.

При передаче телемеханич. информации применяются также комбиниров. методы. Так, в системах с частотным Р. к. в одном или неск. каналах может применяться временно́е или кодовое разделение, а в системе с временны́м Р. к. в ряде временны́х каналов осуществляется передача с частотным или кодовым Р. к. Комбиниров. системы используют обычно в тех случаях, когда необходимо передавать большое число разнородной информации с различной точностью. В этом случае передаваемые сообщения разбиваются на группы с примерно одинаковыми данными по скорости изменения или по точности передаваемой информации. Для передачи быстро изменяющейся информации обычно используют каналы с частотным разделением, а для передачи медленно изменяющейся информации — каналы с временны́м разделением. При многоканальной передаче, помимо искажений сигналов, характерных для одноканальной линии, возникают дополнит. искажения, связанные

с взаимным влиянием каналов. В системах с частотным Р. к. искажения от соседних каналов возникают при недостаточной избирательности по частоте полосовых канальных фильтров и из-за наличия нелинейных элементов в общем (групповом) тракте системы (перекрестные помехи). Уменьшение искажений может быть получено разносом спектров сигналов отдельных каналов или улучшением частотных хар-к фильтров. Снижение перекрестных помех достигается улучшением линейности всего тракта передачи. Эти меры борьбы с взаимными помехами могут быть использованы только в огранич. степени, из-за расширения общей полосы частот. При частотном Р. к. перекрестные помехи являются одним из основных препятствий к созданию систем с большим числом каналов. В системах с временны́м Р. к. основными искажениями являются переходные искажения, возникающие вследствие перекрытия канальных импульсов (в основном соседних каналов), и аппаратурные искажения, связанные со смещением канальных импульсов. Первый вид искажений вызывается недостаточной полосой пропускания общего тракта передачи, а второй — уменьшением коэфф. передачи тракта в области НЧ. При временно́м Р. к. осуществляется поочередная передача сигналов, поэтому нелинейные искажения в системе несущественны. Уменьшение взаимных помех при временно́м Р. к. может быть достигнуто путем увеличения занимаемой полосы частот, расширением временно́го интервала между сигналами и выбором помехоустойчивых методов передачи и приема сигналов. При временно́м Р. к. предъявляются высокие требования к надежной работе коммутирующих устройств, т. к. несовершенство коммутации и нарушение в синхронизации (напр., под влиянием помех) оказывает существ. влияние на работу всей системы. В системах с циклич. кодовым Р. к. основными искажениями сигнала являются те же искажения, к-рые характерны и для систем с временны́м Р. к. При спорадич. кодовом Р. к. может возникать наложение во времени сигналов от неск. каналов. Это приводит либо к потерям информации, либо к ее задержке.

Выбор метода Р. к. определяется помехоустойчивостью и эффективностью передачи при данном методе и требованием к аппаратуре. Эти показатели зависят от числа каналов системы, максимальной скорости изменения передаваемого сообщения и от степени рассредоточенности объектов управления.

Достоинством систем с частотным Р. к. является возможность передачи информации с широким спектром частот (до неск. десятков *кгц*). При небольшом числе каналов ($N<10$) аппаратура системы реализуется сравнительно простой и надежной. Однако при большом числе каналов возникают трудности в обеспечении малых междуканальных помех, усложняется задача конструирования разделит. канальных фильтров. Системы с временны́м Р. к. реализуются проще при большом числе объектов на одном исполнительном пункте.

Лит.: Барсуков Ф. И., Максимов М. В., Радиотелеметрия, М., 1962; Тишгин В.Н., Нейцель В. А., Радиоуправление, М., 1962; Николькс М. Х., Раух Л. Л., Радиотелеметрия, пер. с англ., М., 1958; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.—Л., 1961.

Ю. И. Чугин.

РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАДАЧА [allocation task; problème de disposition (répartition, aménagement); Aufgabenstellung] — задача *нелинейного программирования*, содержание к-рой состоит в следующем. Имеется ряд пунктов, потребляющих нек-рый однородный продукт. Известен рост потребности каждого из этих пунктов за планируемый период. Требуется разместить дополнит. произ-во продукта по территории страны или отдельного экономич. района (построить новые пр-тия, расширить уже имеющиеся) т. о., чтобы удовлетворить возникшие потребности при миним. возможных затратах, к-рые складываются из капитальных и текущих затрат на произ-во продукта и транспортных расходов на его перевозку к местам потребления. В более сложных случаях речь может идти об оптим. размещении произ-ва нескольких видов продукции.

Математич. формулировки простейшей Р. з. Пусть имеется n пунктов $A_1, A_2, \ldots, A_m$ возможного размещения произ-ва нек-рого однородного продукта. Потребители продукта — пункты $B_1, B_2, \ldots, B_n$ с дополнит. объемами потребления, равными соответственно $b_1, b_2, \ldots, b_n$ единиц. Кроме того, для каждого пункта A_i предполагается известной зависимость стоимости произ-ва единицы продукта (с учетом удельных капитальных вложений) от величины дополнит. объема произ-ва в данном пункте. Эта зависимость определяется ф-цией $\varphi_i(X_i)$, где X_i — дополнит. объем произ-ва в пункте A_i. Если в пункте A_i запланировать произ-во дополнит. объема X_i, причем x_{ij} единиц вновь произвед. продукта предназначить для перевозки в пункт B_j, то суммарные затраты на произ-во и перевозки окажутся равными величине:

$$\Phi=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}+\sum_{i=1}^{m} X_i\varphi_i(X_i), \qquad (1)$$

где

$$X_i=\sum_{j=1}^{n} x_{ij},\ i=1, 2, \ldots, m \qquad (2)$$

и c_{ij} — затраты на перевозку единицы продукта из пункта A_i в пункт B_j. Необходимость полного удовлетворения дополнит. потребностей во всех пунктах B_j и отсутствие перевозок от пунктов-потребителей к пунктам-производителям приводят к ограничениям

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij}=b_j,\ j=1, 2, \ldots, n; \qquad (3)$$

$$x_{ij}\geqslant 0,\ i=1, 2, \ldots, m;\ j=1, 2, \ldots, n. \qquad (4)$$

Задача состоит в выборе таких объемов произ-ва $X_i^*(i=1, 2, \ldots, m)$ и таких перевозок $x_{ij}^*(i=1, 2, \ldots, m;\ j=1, 2, \ldots, n)$, к-рые минимизируют ф-цию (1) при соблюдении условий (2)—(4). В ряде случаев возникает необходимость в учете огранич. возможностей по расширению произ-ва в пунктах A_i, т. е. в соблюдении условий

$$X_i\leqslant r_i,\ i=1, 2, \ldots, m, \qquad (5)$$

где r_i — верхний предел для расширения произ-ва в пункте A_i.

Иногда приходится учитывать также огранич. возможности коммуникаций, что приводит к условиям

$$x_{ij}\leqslant d_{ij},\ i=1, 2, \ldots, m;\ j=1, 2, \ldots, n, \qquad (6)$$

где d_{ij} — предельное количество продукта, к-рое может быть перевезено из A_i в B_j

Структура расходов на произ-во такова, что (1) в большинстве случаев оказывается ф-цией, выпуклой вверх (с ростом произ-ва затраты на его дальнейшее единичное увеличение падают). Минимум выпуклой вверх ф-ции, заданной на нек-ром выпуклом многограннике, достигается в одной из его вершин. Однако, в отличие от *линейного программирования*, отсутствие соседних вершин со значениями минимизируемой ф-ции, меньшими, чем в данной вершине, вовсе не указывает на оптимальность этой вершины. При соблюдении отмеч. условий можно лишь утверждать, что рассматриваемая вершина — точка локального минимума ф-ции. Таким образом, Р. з. не укладывается в схему *выпуклого программирования* и для ее анализа необходимо привлечь спец. разработанные приемы.

1. Метод случайного выбора представляет собой соединение метода улучшения плана (см. *Симплексный метод*) со случайным выбором вершины многогранника условий, определяемого ограничениями (2) — (4) или (2)—(6). Общая схема метода состоит в следующем. Случайным образом выбирается какая-то вершина многогранника условий. Из этой вершины начинается процесс, состоящий в движении по соседним вершинам многогранника в соответствии с правилами метода улучшения плана [на каждом шаге значение ф-ции (1) снижается]. После неск. шагов дальнейшее уменьшение ф-ции (1) за счет перехода к одной из соседних вершин оказывается невозможным. Это означает, что получен локальный минимум Р. з. Затем описанная процедура (большая итерация) повторяется, исходя из другой, случайно выбранной вершины. Если после ряда больших итераций не образуется планов размещения произ-ва, требующих меньших расходов по сравнению с уже найденными, то процесс решения следует прекратить и в качестве оптимального принять план, соответствующий наименьшему из обнаруж. локальных минимумов.

Большая итерация осуществляется особенно легко для Р. з. типа (1)—(4), структура многогранника условий к-рой предельно проста. Берем пункт B_j и прикрепляем его к пунктам A_i с равными вероятностями. То же самое проделываем с пунктами $B_2, B_3, \ldots, B_n$. В результате образуется нек-рое прикрепление пунктов B_j к пунктам A_i (вершина многогранника условий). Далее пытаемся переприкрепить пункт B_1 ($m-1$ возможностей). Если это оказывается невыгодным, аналогичная попытка осуществляется для пункта B_2 и т. д. После не более чем $(m-1)n$ испытаний либо обнаруживается пункт-потребитель, к-рый целесообразно прикрепить к др. пункту-производителю, либо констатируется, что переприкрепление одного из пунктов B_j не приводит к сокращению общих расходов. Первая возможность отвечает переходу к соседней вершине, вторая — указывает на наличие локального минимума. После неск. шагов обязательно реализуется вторая возможность, и большая итерация заканчивается. При необходимости учета дополнит. ограничений (5), (6) описанный алгоритм несколько усложняется. Но и в этом случае он остается достаточно простым: большая итерация складывается из неск. шагов *потенциалов метода*. Метод случайного выбора, являясь в принципе приближенным, в большинстве практич. задач дает либо оптимальный, либо близкий к оптимальному результат.

2. Целочисленный метод основан на сведении Р. з. к задаче целочисл. линейного программирования (см. *Целочисленное программирование*). В практич. задачах искомые размеры произ-ва часто оказываются ограниченными существующими стандартами, т. е. X_i может принимать одно из неск. заранее заданных значений. Допустим, что возможности расширения произ-ва в каждом пункте определяются числами $r_0=0, r_1, r_2, \ldots, r_s$. Введем вспомогат. переменные $y_{i\lambda}$, где i—номер пункта A_i ($i=1, 2, \ldots, m$), а λ отвечает объему произ-ва в A_i, равному r_λ ($\lambda=1, 2, \ldots, s$). Пусть $\psi_{i\lambda}=r_\lambda\varphi_i(r_\lambda)$ — затраты на дополнит. произ-во в пункте A_i, если в нем запланировано расширение произ-ва на r_λ единиц продукта. Р. з. типа (1)—(4) сводится к минимизации линейной формы

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}+\sum_{i=1}^{m}\sum_{\lambda=1}^{s}(\psi_{i\lambda}-\psi_{i\lambda-1})\,y_{i\lambda} \qquad (7)$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij}=b_j,\quad j=1, 2, \ldots, n; \qquad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\leqslant\sum_{\lambda=1}^{s}(r_\lambda-r_{\lambda-1})\,y_{i\lambda},$$

$$i=1, 2, \ldots, m; \qquad (9)$$

$$x_{ij}\geqslant 0,\ i=1, 2, \ldots, m;\ j=1, 2, \ldots, n; \qquad (10)$$

$$0\leqslant y_{i\lambda}\leqslant 1,\ y_{i\lambda}\leqslant y_{i\lambda-1},\ i=1, 2, \ldots, m;$$

$$\lambda=2, \ldots, s \qquad (11)$$

и предположении о целочисленности всех переменных x_{ij}, $y_{i\lambda}$. Для решения задачи (7)—(11) может быть далее использован один из известных алгоритмов целочисл. линейного программирования. Целочисл. метод обладает рядом достоинств: он дает возможность получить точное решение Р. з., при использовании этого метода на каждом этапе может быть получено приближ. решение Р. з. и оценка его уклонения от оптимума.

3. Метод вариации объемов производства. Пусть, как и прежде, возможности расширения пр-тий ограничены существующими стандартами. Если зафиксировать значение X_i в каждом пункте A_i, то Р. з. превращается в обычную *транспортную задачу*. Т. о., решение Р. з. сводится к анализу серии транспортных задач. В случае, если число этих задач не слишком велико, указанный путь решения Р. з. вполне приемлем, поскольку на исследование каждой транспортной задачи затрачивается сравнительно немного времени (каждая последующая мало отличается от уже решенной предыдущей задачи). Однако в ряде практич. постановок число вспомогат. транспортных задач может оказаться очень большим. В подобных ситуациях следует воспользоваться к.-л. приемом упорядоченного просмотра вспомогат. задач, когда выбор последующей задачи зависит от результата анализа предыдущих транспортных задач (такие приемы пока разработаны еще сравнительно слабо).

Е. Г. Гольштейн.

РАЗОМКНУТЫЙ КОНТУР (open circuit; circuit ouvert; offener Stromkreis) — цепь последовательно соединенных звеньев с направленной передачей воздействий. В случае

наличия в системе замкнутых контуров их часто условно размыкают и по хар-кам Р. к. судят о поведении контура в замкнутом состоянии. В частности, о поведении САР в замкнутом состоянии можно судить по ее хар-кам в разомкнутом состоянии. Такой подход, имея преимуществом значительно более легкое получение (аналитич. и эксперимент. путем) хар-к для Р. к., широко используется при анализе и синтезе САР. Он лежит в основе частотного критерия устойчивости синтеза САР посредством типовых логарифмич. хар-к и т. д. Основной и наиболее удобной хар-кой Р. к. является логарифмич. частотная хар-ка, из к-рой легко могут быть получены многие качеств. показатели работы замкнутой САР. НЧ асимптота логарифмич. хар-ки определяет порядок астатизма САР и коэфф. усиления. Среднечастотная часть определяет запас устойчивости и в значит. мере качество САР при входных воздействиях типа ступенчатой ф-ции. В этой части расположена частота среза, определяющая порядок времени переходного процесса. По логарифмич. частотной хар-ке Р. к. может быть также легко определено установившееся значение ошибки при гармонич. управляющем воздействии и т. д.

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

Б. И. Андрейчиков.

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ [resolution, resolving ability (power), discrimination; pouvoir de résolution, pouvoir résolvant; Auflösungsvermögen] — минимальное значение различий, обнаруживаемых физич. прибором в однородных явлениях: в оптике Р. с.— способность инструмента давать раздельные изображения 2 близко лежащих точек исследуемого объекта (разрешение в пространстве). Р. с. оптических приборов ограничивается гл. обр. дифракцией, вследствие к-рой, напр., изображение далекой звезды в фокальной плоскости телескопа получается не в виде светящейся точки, а в виде ряда концентрич. светлых и темных колец. Радиус первого темного кольца зависит от диаметра объектива D и длины волны падающего света λ. По Релею за предел Р. с. принимают такое положение изображения звезд, при к-ром первое темное кольцо от одной звезды проходит через светлый центр от др. звезды, что соответствует угловому расстоянию между звездами

$$\theta \approx 1{,}22\,\lambda/D \qquad (1)$$

Под Р. с. объектива понимают величину

$$R = D/1{,}22\,\lambda. \qquad (2)$$

Светящиеся предметы, угловые размеры к-рых меньше θ, представляются наблюдателю точечными, а две различные точки с угловым расстоянием между ними меньше θ сливаются в одну. Для глаза человека, согласно ф-ле (1), $\theta \approx 46''$; в действительности Р. с. глаза $\geqslant 1'$. Это несовпадение объясняется оптич. дефектами глаза.

Для микроскопа объекты исследования, как правило, не самосветящиеся и находятся на конечном расстоянии от объектива. Согласно Аббе, в этом случае миним. линейное расстояние d между 2 различными точками

$$d \geqslant 0{,}5\lambda/n \sin u, \qquad (3)$$

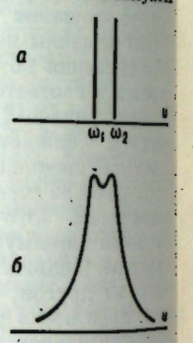
где λ — длина волны, n — показатель преломления среды между объективом и предметом, $2u$ — телесный угол с вершиной в фокусе, проходящий через края объектива. Т. о., увеличивать Р. с. микроскопа можно как уменьшением длины волны, так и увеличением показателя преломления n. С этой целью пространство между объективом и предметом заполняют средой с показателем $n>1$ (кедровое масло). Высокая Р. с. электронного микроскопа объясняется тем, что длина волны де Бройля на четыре порядка меньше длины волны видимого света.

Применяемые в атомной физике масс-спектрографы и счетчики различают элементарные частицы по массе и по моменту их появления в приборе (разрешение по массе и по времени) и т. д.

Р. с. электрического фильтра — наименьший интервал по частоте между 2 близкими гармонич. составляющими, при к-ром они еще разделяются фильтром. Критерий разделения строго не определен. Обычно считают, что 2 гармонич. составляющие одинаковой интенсивности разделены, если при плавной перестройке собств. частоты фильтра провал между 2 соседними максимумами на выходе фильтра не менее 0,5 значения в максимуме (рис.). Для одиночного колебат. контура это условие приводит к неравенству

$$\Delta\omega/2\alpha \geqslant \sqrt{15}, \qquad (4)$$

где $\Delta\omega$ — наименьший различимый частотный интервал, α — коэфф. затухания контура. Уменьшая затухание, можно увеличивать Р. с. контура, но неизбежные потери кладут предел этому увеличению.



Разрешающая способность электрич. фильтра: *а* — гармонич. составляющие на входе фильтра; *б* — зависимость напряжения на выходе фильтра от частоты настройки.

Все сказанное выше относится к случаю, когда время воздействия исследуемого сигнала на прибор не ограничено. При различении по частоте 2 огранич. во времени отрезков гармонич. колебаний (радиоимпульсов) предел Р. с. зависит от длительности исследуемого процесса. Это объясняется переходным процессом в анализирующем фильтре и конечностью времени установления вынужденного режима колебаний. Т. о., если длительность исследуемых импульсов мала по сравнению с постоянной времени контура, равной $1/\alpha$, то Р. с. меньше, чем по ф-ле (4), и равна

$$\Delta\omega \geqslant 10/\tau, \qquad (5)$$

где $\Delta\omega$ — наименьший разрешимый частотный интервал, τ — длительность импульса. Т. о., в случае очень коротких импульсов Р. с. не зависит от св-в фильтра и определяется только длительностью импульса (последнее справедливо лишь при условии $\alpha\tau \leqslant 1$).

В радиолокации различают Р. с. по дальности, по угловым координатам (азимуту или углу места), по скорости (для станций, ведущих определение скорости целей по эффекту Допплера). Р. с. по дальности характеризует способность приемника различать 2 сигнала, сдвинутых по времени, и зависит от ширины спектра сигнала. Чем

шире спектр сигнала, тем выше разрешающая способность по дальности $\Delta D = c/2\Delta f$, где c — скорость распространения электромагнитной энергии, Δf — ширина спектра сигнала. При применении в импульсной радиолокации импульсов длительностью в неск. десятых *мксек* Р. с. по дальности достигает неск. десятков *м*. Р. с. по скорости характеризует способность приемника различать 2 сигнала, сдвинутых по частоте, и имеет обратную зависимость от ширины спектра сигнала — чем шире спектр, тем ниже Р. с. по скорости. В обоих случаях учитывается, что полосы пропускания приемника достаточны для неискаженного воспроизведения сигнала. Т. к. требования к спектру сигналов для разрешения целей по дальности и по скорости противоречивы, то радиолокац. станция, обладающая высокой Р. с. по дальности, не может иметь высокую Р. с. по скорости и наоборот.

Р. с. по угловым координатам, характеризующая селекцию целей по угловому положению источников излучения, зависит от ширины диаграммы направленности радиолокац. станции в плоскости, в к-рой производится определение координаты. При использовании сантиметрового диапазона волн возможно получение диаграммы направленности с шириной в неск. угловых минут и соответственно высокой Р. с. по угловым координатам.

Лит.: Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959; Ландсберг Г. С., Оптика, 4 изд., М., 1957; Харкевич А. А., Спектры и анализ, 4 изд., М., 1962; Богомолов А. Ф., Основы радиолокации, М., 1954.

Д. В. Баженов, Р. В. Фельдман.

РАЗРЯДНАЯ СЕТКА МАШИНЫ [machine words length; réseau numérique du calculateur (de la machine); Entladungsgitter eines Rechnergeräts] — фиксированная для данной ЦВМ группа разрядов, отведенная для представления информации в памяти машины. Р. с. м. соответствует обычно одной ячейке памяти и служит для размещения одного машинного слова. Длина разрядной сетки для ЦВМ, выполняющих математич. вычисления, выбирается из расчета обеспечения необходимой точности результата вычислений. При выполнении миллионов операций с приближ. числами суммарная ошибка результата может достигать значит. величин. Напр., в случае решения дифференц. ур-ний методом Эйлера эта ошибка пропорциональна числу шагов. Точность результатов можно повысить, увеличивая длину Р. с. м., т. е. количество цифр, отведенное для представления чисел. Для ЦВМ, предназнач. для обработки экономич. информации, размер Р. с. м. определяется принятым способом кодирования информации, в осн. цифро-буквенных данных. Диапазон представления чисел, участвующих в операциях, определяется способом расположения запятой внутри разрядной сетки (см. *Запятая плавающая*, *Запятая фиксированная*).

Универс. ЦВМ для научных и инженерных расчетов имеют фиксиров. длину разрядной сетки 9—13 десятичных разрядов или 36—45 двоичных разрядов (для специализиров. машин 6—9 десятичных или 20—36 двоичных) в зависимости от разрядности чисел, участвующих в арифметич. операциях. Обычно формат команды соответствует принятой разрядности чисел. Если необходимо производить вычисления с повыш. точностью при фиксиров. длине Р. с. м. программным путем, то выполняются операции с числами удвоенной или утроенной разрядности. Существуют машины, к-рые могут автоматически изменять длину разрядной сетки. Это позволяет, особенно в ЦВМ коммерч. назначения, гибко оперировать с числами и группами цифро-буквенных знаков перем. длины. В универс. ЦВМ необходимость иметь перем. длину Р. с. м. и оперировать со словами (или полями) перем. длины привела к такой структуре памяти, при к-рой она может содержать ячейки различных длин. Один из способов организации такой памяти — создание фиксированного набора ячеек различных длин, другой — осуществление адресации самых мелких (вплоть до одного разряда, компонент памяти; в этом случае адрес ячейки содержит адрес одной из компонент и код длины ячейки. Время обработки слов (полей) перем. длины приблизительно пропорционально количеству разрядов. С усложнением логики работы машин значительно возрастает роль *структуры команды*. Стремление увеличить гибкость команд и использовать запоминающие системы большого объема заставляет теперь увеличивать Р. с. м. или длину машинного слова по соображениям логич. порядка, что принципиально не противоречит критерию точности при выборе длины Р. с. м.

Лит.: Современная математика для инженеров, пер. с англ., М., 1958; Кибернетический сборник. Сборник переводов, [№] 2, М., 1961; Planning a computer system. Project stretch, N. Y.— [a. o.], 1962.

Г. Б. Смирнов.

РАЗРЯДЫ В ГАЗАХ (электрические) (gas discharges; décharge gazeuse; Gasentladungen) — явление прохождения электрич. тока через газовую среду, обусловленное переносом заряженных частиц, под действием сил электрич. поля.

При умеренных темп-рах и давлениях и отсутствии внешних воздействий, таких, напр., как ионизирующие излучения, газы являются диэлектриками, поскольку в них отсутствуют свободные носители электрич. зарядов (электроны или ионы). Последние появляются под действием различных факторов. Это могут быть: источники свободных электронов или ионов, доставляющие в объем газа заряж. частицы; электромагнитное излучение; высокая темп-ра газа или электрич. поле достаточно высокой напряженности.

Если свободные носители заряда, инициировавшие разряд и не воссоздающиеся начавшимся процессом, образуются только за счет внешнего фактора, а электрич. поле обеспечивает лишь направленное движение заряж. частиц, то электрич. ток и соответственно разряд наз. несамостоятельным (см. *Несамостоятельный разряд*). При определ. условиях за счет энергии электрич. поля развивающиеся в газе процессы обеспечивают непрерывное воспроизводство носителей заряда и протекание тока через газ, независимое от действия внешних ионизаторов. В этом случае имеет место *самостоятельный разряд*. Он возникает при достижении напряженности электрич. поля нек-рой минимальной критич. величины, зависящей от рода газа, его состояния (давления и темп-ры) и краевых условий на окружающих телах.

Р. в г. сопровождается большим числом разнообразных элементарных процессов — взаимодействиями заряж. частиц (электронов, газовых ионов и нейтральных атомов и молекул газа) между собой, а также взаимодей-

ствиями таких частиц с электромагнитным излучением и с кристаллич. решеткой граничных твердых тел. В результате может происходить как изменение движения участвующих частиц, так и изменение их числа, внутр. состояния или структуры. От вида и интенсивности элементарных процессов зависят концентрация в газе свободных носителей заряда и скорости их движения, т. е., в конечном итоге, плотность объемного заряда и плотность тока. Эти процессы определяют, т. о., как ряд осн. св-в и хар-к разряда в газе, так и возможности его многочисл. технич. применений.

Движущиеся элементарные частицы взаимодействуют при столкновениях — упругих и неупругих 1-го и 2-го рода. При упругих столкновениях не происходит перехода кинетич. энергии частиц в их внутр. энергию или внутр. энергии в кинетическую. Неупругие соударения сопровождаются такими переходами. При этом, если кинетич. энергия одних движущихся частиц переходит в потенц. энергию других, происходят удары 1-го рода. Если имеют место обратные переходы или переходы потенц. энергии от возбужд. частиц к др. невозбужденным или возбужденным частицам, участвующим в соударениях, то такие удары наз. ударами 2-го рода. Движению заряж. частиц вдоль поля препятствуют соударения с нейтральными частицами газа, изменяющими направление движения заряж. частиц. При этом происходит обмен энергиями между заряж. и нейтральными частицами, благодаря чему энергия поля при соударениях может частично передаваться от заряж. частиц нейтральным.

Заряж. частицы, двигаясь под действием поля, ускоряются и накапливают кинетич. энергию. Это происходит на пути между двумя последовательными столкновениями, т. е. на длине свободного пробега. При столкновениях часть или вся накопленная энергия теряется. Действительная ср. скорость движения заряж. частиц в газе в направлении поля поэтому будет меньше скорости, приобретаемой частицами на длине свободного пробега. Отношение ср. скорости частицы в направлении поля к напряженности поля наз. подвижностью частиц. Для ионов при $E/p <$ <75 *в/см·мм рт. ст.* подвижность приблизительно постоянна, и скорость ионов линейно нарастает с увеличением напряженности поля. В более сильных полях рост скорости замедляется и подвижность ионов начинает падать приблизительно обратно пропорционально корню квадратному из напряженности поля. Для электронов подобная зависимость имеет место уже в самых слабых полях.

Подвижность заряж. частиц наряду с величиной заряда определяет плотность электрич. тока, протекающего через газ. Электроны, обладая в тысячи раз меньшей массой, чем ионы, на длине свободного пробега ускоряются полем до значительно более высоких скоростей, и их подвижность по абс. величине в тысячи раз превосходит подвижность ионов. По той же причине электроны теряют при упругих столкновениях с нейтральными частицами лишь небольшую долю своей энергии. Поэтому они в большей степени, чем ионы, способны накапливать энергию в электрич. поле, и их кинетич. энергия оказывается выше энергии ионов. Вследствие этого вероятность неупругих соударений электронов с нейтральными частицами газа существенно больше, чем вероятность неупругих соударений для ионов.

При соударениях 1-го рода возможно либо возбуждение нейтральных частиц, либо их ионизация. Описание этих элементарных процессов, равно как и процесса фотоионизации, дано в статье *ионизация* газа.

Ионизация газа может иметь место не только при соударениях заряж. и нейтральных частиц, но и при соударениях последних между собой, что происходит при высоких темп-рах, когда кинетич. энергия теплового движения нейтральных частиц достигает величин, необходимых для ионизации. Одновременно осуществляется ионизация и электронами, образовавшимися в результате двух первых процессов. Указанные процессы, обусловленные тепловым состоянием газа, наз. термической ионизацией.

В результате ионизац. процессов образуются электроны и положит. ионы.

Простейший случай образования отрицат. ионов — прямой захват электрона нейтральным атомом. При этом будет освобождаться энергия, равная сумме кинетич. энергии электрона и энергии сродства атома к электрону. Последняя величина у различных веществ различна. У кислорода и галогенов она положительна и превышает несколько *в*. Указанные элементы, а также нек-рые их соединения образуют устойчивые отрицат. ионы и наз. электроотрицат. газами. У благородных газов (неон, аргон и др.) энергия сродства к электрону отрицательна и отрицательные ионы образовываться не могут. Такие газы наз. электроположительными.

Энергия, освобождаемая при образовании отрицат. ионов, обычно передается третьему телу, участвующему в столкновении, либо может быть излучена. Однако вероятность последнего процесса весьма мала. При определ. условиях отрицат. ионы могут разрушаться, превращаясь в нейтральные частицы с освобождением электрона. Это происходит при попадании отрицат. ионов на металлич. поверхности, при столкновениях с возбужд. частицами, путем фотоионизации и ударной ионизации электронами и нейтральными частицами.

В нек-рых видах Р. в г. важную роль в образовании заряж. частиц играют не только элементарные процессы в объеме газа, но и элементарные процессы у граничных твердых поверхностей и прежде всего *термоэлектронная эмиссия* и *термоионная эмиссия* с катода и анода. Попадание на электроды из объема газа заряж. частиц также может при определ. условиях сопровождаться образованием новых заряж. частиц. При бомбардировке электронами достаточно высокой энергии поверхности электродов имеет место испускание вторичных электронов — *вторичная эмиссия*. Электроны могут выбиваться и при ударах об электроды положит. ионов, быстрых нейтральных частиц, а также испускаться граничными поверхностями в результате поглощения коротковолнового излучения Р. в г. (см. *Внешний фотоэффект*). Освобождение электронов с поверхности твердых тел может происходить и под действием очень сильных электрич. полей (холодная или *автоэлектронная эмиссия*). Все перечисл. процессы, сопровождающиеся образованием свободных электрич. зарядов, наз. поверхностной ионизацией.

При Р. в г. существ. роль играет и исчезновение зарядов из газоразрядного промежутка. Особое место в этом отношении имеет процесс, происходящий при соударениях отрицат. и положит. ионов и приводящий к образованию нейтральных частиц газа — т. н. объемная рекомбинация ионов.

Аналогичный процесс образования нейтральной частицы газа за счет положит. иона и свободного электрона наз. рекомбинацией электронов. Кроме объемной рекомбинации зарядов, может иметь место (в отдельных случаях решающее) их нейтрализация у стенок сосудов и др. граничных поверхностей (см. *Деионизация*).

При Р. в г. имеют место также процессы образования и исчезновения возбужд. нейтральных частиц, а также возбужденных ионов. Переход электрона в возбужд. частице на нормальный уровень энергии с излучением светового кванта происходит в большинстве случаев самопроизвольно, без внешнего воздействия, и наз. поэтому спонтанным. «Период жизни» большинства возбужд. состояний невелик 10^{-7}—10^{-8} сек. Однако имеются уровни энергии, с к-рых электрон не может самопроизвольно, без внешнего воздействия, перейти на более низкий уровень. Для этого электрону необходимо предварит. попасть на более высокий уровень (для чего нужен подвод дополнит. энергии) и лишь после этого самопроизвольно — на нормальный уровень с излучением энергии. Поэтому существование подобных состояний более устойчиво и может быть длительным (до 10^{-2} сек.). Такие состояния возбуждения наз. метастабильными, а соответствующие возбужд. атомы — метастабильными атомами.

Возбужд. частицы при столкновениях с др. быстрыми частицами могут быть ионизированы; энергия, необходимая для ионизации, меньше, чем для ионизации нейтральных частиц. Процесс ионизации возбужд. частиц — ступенчатый, поскольку для его осуществления необходимы, по крайней мере, два последоват. соударения, из к-рых одно переводит нейтральную частицу в возбужд. состояние, а второе или последующее уже сопровождается ионизацией. Для ступенчатой ионизации возбужд. частиц нормального состояния, «период жизни» к-рых очень мал, нужен очень интенсивный поток бомбардирующих электронов, когда один удар за другим следует через очень короткие промежутки времени. Для метастабильных атомов, существующих значительно дольше, выполнение указанного требования не обязательно. Поэтому в большинстве случаев осн. роль в ступенчатой ионизации играют метастабильные атомы.

Энергия, излучаемая возбужд. частицами при возвращении их в нормальное состояние, может при столкновении передаваться электрону. Это может привести к увеличению его кинетич. энергии до величины, достаточной для ионизации нейтральных частиц. Возможен также процесс ионизации и при соударении двух возбужд. частиц. В ходе всех перечисл. процессов в отдельных случаях газ может ионизироваться при первичных электронах, не обладающих для ионизации достаточной кинетич. энергией (за счет влияния возбужд. частиц).

Для нейтральных частиц данного газа энергия возбуждения всегда меньше энергии ионизации. Для ионов в ряде случаев она оказывается больше энергии ионизации нейтральных частиц того же газа. Поэтому присутствие возбужд. ионов делает возможным фотоионизацию в объеме газа за счет собств. излучения Р. в г.

Процесс излучения энергии возбужд. частицами — один из основных, определяющих свечение Р. в г. Интенсивность свечения ряда форм Р. в г. определяется в первую очередь концентрацией возбужд. частиц. В соответствии с дискретностью уровней энергии электронов в возбужд. атомах их излучение имеет определ. дискретные длины волн, и спектр характеристич. излучения одноатомных газов состоит из отдельных дискретных линий (линейчатый спектр). Спектр излучения возбужд. нейтральных атомов наз. еще дуговым спектром, т. к. он наблюдается обычно в дуговом разряде.

При наличии в газе возбужд. ионов его свечение также имеет линейчатый спектр, названный искровым спектром, поскольку он характерен для искрового разряда.

Излучение молекулярных газов характеризуется полосатым спектром, т. к. оно определяется не только изменением энергетич. уровня электронов в молекуле, но и изменением колебат. уровней молекулы и изменением уровней энергии вращат. движения молекул.

В отдельных случаях излучение Р. в г. может иметь на нек-рых участках и сплошной спектр, определяемый, напр., процессом электронно-ионной рекомбинации. В этом случае электроны отдают не только квант энергии, соответствующий работе ионизации, но и весь избыток своей кинетич. энергии. Поскольку последняя может иметь любую величину и различна у разных электронов, то длины волн электромагнитного излучения приобретают самые различные значения, резко ограниченные лишь с одной стороны. Это и является причиной возникновения сплошного спектра.

Р. в г. может, в зависимости от ряда условий, приобретать ту или иную форму, отличающуюся как внешним видом, так и электрич. хар-ками, среди к-рых важнейшая — это зависимость тока разряда от приложенного к разрядному промежутку напряжения — вольтамперная хар-ка разряда. Различие внешнего вида и хар-к отдельных форм Р. в г. обусловлено особенностями элементарных процессов, к-рые определяют механизм протекания той или иной формы разряда.

Возникновение и существование различных форм Р. в г. связаны также с рядом внешних условий: величиной и видом прилож. напряжения; геометрич. формой электродов разрядного промежутка и, соответственно, формой электростатич. поля промежутка — однородное, слабо неоднородное или неоднородное; родом газа, его физич. и химич. св-вами и параметрами его состояния — давлением и темп-рой.

Важное значение могут иметь св-ва материала электродов и условия, в к-рых находятся электроды (подогрев, охлаждение, облучение и т. п.), а также форма, размеры, материал др. граничных поверхностей (напр., стенок разрядных трубок).

Величина прилож. напряжения при прочих заданных условиях определяет вид Р. в г.— несамостоятельный или самостоятельный разряд. Вид напряжения — важнейший фактор, от к-рого зависит протекание процесса разряда во времени — стационарный разряд или нестационарный. При стационарном разряде параметры, характеризующие состояние любой точки разрядного промежутка (плотность объемного заряда, напряженность и потенциал электрич. поля, давление и темп-ра газа, интенсивность свечения и т. д.), в любой момент времени остаются (в среднем) постоянными. При нестационарном разряде все эти параметры изменяются во времени.

Стационарные разряды имеют место при пост. напряжении и при перем. напряжении ВЧ и заданной амплитуде. При стационарном перем. напряжении НЧ состояние разрядного промежутка изменяется во времени, но при этом отдельные состояния периодически повторяются. Такой процесс наз. квазистационарным. При импульсном напряжении возможны только нестационарные разряды. При всех видах напряжения, включая и постоянное, может развиться и нестационарный разряд (напр., искровой пробой газовых промежутков при пост. или перем. напряжении).

В зависимости от сочетания условий в разрядном промежутке могут иметь место следующие формы Р. в г.: *темный разряд*, *тлеющий разряд*, *коронный разряд*, *искровой разряд*, *дуговой разряд*. В отдельный вид выделяется обычно ВЧ разряд, к-рый может иметь форму короны или дуги, или своеобразную, присущую в основном только ВЧ, форму факельного разряда.

Р. в г. находит широкое применение в *ионных приборах*. В первую очередь здесь могут быть названы различные типы выпрямит. приборов (см. *Газотрон*, *Игнитрон*, *Ртутный вентиль*) для преобразования перем. тока в постоянный в пром. и транспортных установках, а при наличии управляющего электрода также для преобразования пост. тока в переменный и преобразования частоты. Для осуществления более тонкого и разностороннего управления процессом преобразования как для пром. целей, так и в вычислит. и измерит. устройствах, в схемах автоматики, системах связи применяются тиратроны (см. *Тиратрон дугового разряда*, *Тиратрон тлеющего разряда*, *Тиратрон логический*). В системах управления и контроля, а также в ЦВМ и т. п. находят многочисл. применения различные типы индикаторных ламп (см. *Лампа неоновая индикаторная*, *Лампа цифровой индикации*).

Большую роль в технике играют приборы, использующие Р. в г. для стабилизации, напр. в схемах питания фотоэлектронных умножителей, электронолучевых и рентгеновских трубок, электроннооптич. преобразователей и т. п. *Стабилитрон тлеющего разряда* используется для стабилизации относит. умеренных напряжений, а *стабилитрон коронного разряда* — для стабилизации более высоких напряжений (десятки *кв*).

На св-вах искрового разряда основаны устройства для зажигания рабочей смеси в двигателях внутреннего сгорания. Специфич. явления в приэлектродной области коротких искр служат основой *электроискровой обработки* материалов. Для обработки материалов используются и ударные волны, возникающие при искровом разряде в жидкостях, т. н. электрогидравлич. удар. Наконец, разрядники с газовым и воздушным наполнением, основанные на св-вах искрового и дугового разряда, стали средством защиты от перенапряжений и средством коммутации больших импульсных мощностей (см. *Ионный разрядник*).

Высокие темп-ры, возникающие при дуговом разряде, позволили использовать этот вид Р. в г. для плавки, сварки и резки металлов, для нагрева газов в научно-исследоват. установках. Электрич. дуга и высокочастотный коронный и факельный разряды находят применение как активаторы химич. реакций. Широкое применение для осуществления ряда технологич. операций начинает находить тлеющий разряд, напр. для получения полимерных покрытий и пленок непосредственно из газовой фазы, а также для обработки материалов с целью придания им нужных св-в. Широко известно использование явления катодного распыления в тлеющем разряде для создания тонких металлич. покрытий и тонких металлич. пленок.

Одним из наиболее старых применений Р. в г. являются осветит. приборы. Здесь гл. обр. используется дуговой разряд в различных газах. Для спец. целей применяются лампы сверхвысокого давления, являющиеся мощным источником концентрир. света в прожекторах, а также устанавливаемые в шлейфовых осциллографах и др. измерит. устройствах. В гражданском и пром. освещении значит. место заняли люминесцентные лампы. В последнее время Р. в г. применены в газоразрядных *лазерах*.

Осуществления многих процессов *электронно-ионной технологии* возможно с помощью коронного разряда, к-рый является средством зарядки обрабатываемых материалов (см. *Электросепарация*, *Электрофильтр*). Одно из осн. преимуществ этого способа зарядки относит. простота и тонкость управления величиной заряда частиц. Коронный разряд используется также для пром. получения озона.

ВЧ разряд служит для получения потоков ионов в ускорителях заряж. частиц, в *масс-спектрометрах*.

Колебания плазмы газового разряда в широком спектре частот вплоть до СВЧ нашли применение в *шумовых приборах*. Приборы, основанные на явлениях Р. в г., стали неотъемлемой частью различных установок ядерной физики. Это — счетчики радиоактивных и космич. частиц, ионизац. камеры, ускорители заряж. частиц и т. п.

Лит.: Энгель А., Штенбек М., Физика и техника электрического разряда в газах, пер. с нем., т. 2, М.— Л., 1936; Капцов Н. А., Коронный разряд и его применение в электрофильтрах, М.— Л., 1947; его же, Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.— Л., 1950; его же, Электроника, 2 изд., М., 1956; Лёб Л., Основные процессы электрических разрядов в газах, пер. с англ., М.— Л., 1950; Техника высоких напряжений, под ред. Л. И. Сиротинского, М.— Л., 1951; Грановский В. Л., Электрический ток в газе, т. 1, Л.— М., 1952; Мессе Г., Бархон Е., Электронные и ионные стартовые явления, пер. с англ., М., 1958; Энгель А., Ионизованные газы, пер. с англ., М., 1959; Мик Дж., Крэгс Дж., Электрический пробой в газах, пер. с англ., М., 1960; Стекольников И. С., Природа длинной искры, М., 1960; Финкельбург В., Меккер Г., Электрические дуги и термическая плазма, пер. с нем., М., 1961.

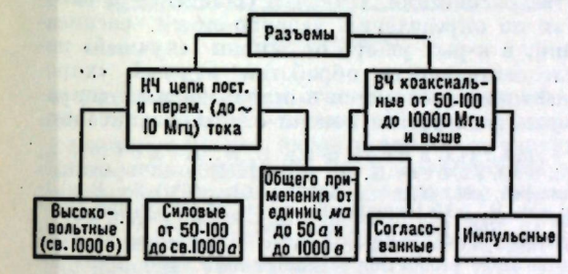
В. И. Лисицын.

РАЗЪЕМ (junction; jonction; Kupplung) — электромеханич. устройство, предназнач. для электрич. соединения и разъединения электрич. цепей. Соединение и разъединение электрич. цепей Р. производится, как правило, в обесточ. состоянии.

Р. состоит из двух частей: вилки, содержащей цилиндрич. или ножевые контакты, и розетки с контактными гнездами. Кроме того, применяются проходные Р. В СВЧ диапазоне часто используются переходные Р. (переходники) для сочленения ВЧ коаксиальных трактов различного сечения с одинаковым волновым сопротивлением и разъемы-трансформаторы для сочленения коаксиальных цепей СВЧ с разным волновым сопротивлением.

Тип разъема	Количество контактных пар	Токовая нагрузка на контактную пару (*а*)	Рабочее напряжение (*в*)	Переходное сопротивление (*ом*)	Род тока	Усилие сочленения — расчленения (*кг*)
Цилиндрические, общего применения	2—50	3—50	100—1000	0,0005—0,01	Пост. и перем. до 1 *Мгц*	1—30
Прямоугольные	4—70	1—10	100—1000	0,005—0,01	Пост. и перем. до 1 *Мгц*	1—15
Для печатного монтажа	4—50	0,5—5	300	0,01	Пост. и перем. до 1 *Мгц*	0,5—10
Высоковольтные	1	0,1—2	1000—100 000	0,01	Пост. и перем.	0,5—1
Коаксиальные СВЧ*	1	—	100—1000	0,01	СВЧ 100—10000 *Мгц*	0,5—1

* КСВН-1,05—1,5.



Классификация разъемов по осн. назначению и области применения.

Осн. хар-ки, определяющие назначение и область применения Р.: а) величины токов и напряжений (допустимые); б) величина контактного давления и усилие сочленения — расчленения контактной пары и Р. в целом; в) величина переходного контактного сопротивления и его стабильность; г) сопротивление изоляции и электрич. прочность изоляции между контактами Р. и контактами и корпусом; д) экранирующая способность. Для Р., применяемых в ВЧ цепях (до неск. *Мгц*), существ. значение имеет величина электрич. емкости между контактами, а также tgδ материала изолятора, в к-ром расположены контакты. Важнейшими хар-ками коаксиальных Р., применяемых в диапазоне СВЧ, помимо перечисленных, являются: величина коэфф. стоячей волны (КСВ) [или обратная ей величина — коэфф. бегущей волны (КБВ)], к-рый характеризует рассогласование ВЧ тракта, вносимое Р.; критич. частота, представляющая собой предельно допустимую частоту колебаний, выше к-рой возможно возникновение высших типов колебаний в коаксиальной линии. Общими хар-ками для всех типов Р. являются допустимые климатич. и механич. условия эксплуатации — диапазон рабочих темп-р, влажность, допустимое изменение барометрич. давления, герметичность, вибрац. и ударные нагрузки, а также др. спец. требования.

Для радиоэлектронной аппаратуры и электрооборудования выпускаются Р. различных типов (рис.). Согласованные коаксиальные Р. имеют волновое сопротивление, равное волновому сопротивлению коаксиальной линии, и сравнительно малое значение КСВ (не более 1,5—1,6) в заданном диапазоне частот. Для импульсных Р. величина волнового сопротивления строго не нормируется.

Низкочастотные Р. по виду монтажа разделяются на Р. для навесного монтажа (с помощью проводов) и для печатного монтажа. В табл. приведены обобщенные хар-ки осн. типов Р. Применение в электро- и радиоаппаратуре большого количества Р. существенно сказывается на ее эксплуатац. надежности. В связи с этим осн. задача в области конструирования и произ-ва Р.— повышение их надежности.

П. В. Власов.

РАСПИСАНИЙ ТЕОРИЯ (scheduling theory; théorie des horaires; Planungstheorie) — совокупность теоретич. положений и вычислит. методов, позволяющих упорядочить во времени использование фиксированной системы машин с известными хар-ками для обработки или транспортирования нек-рого множества изделий или продуктов. При этом должна быть удовлетворена определенная система технологич. условий и обеспечено достижение оптим. значения заранее заданного критерия качества.

Расписание определяется матрицей $\|t_{ij}\|$, указывающей момент поступления i-того изделия на j-тую машину. В ряде задач расписание удобнее характеризовать последовательностью машин, обслуживающих каждое изделие, и последовательностью изделий, поступающих на каждую машину. Технологич. ограничения выделяют допустимые последовательности обработки каждой детали на различных машинах. Критерий качества расписания определяется конкретной задачей. В практич. случаях обычно пользуются одним из следующих критериев: 1) суммарное время простоя всех машин; 2) макс. время простоя машины; 3) суммарные издержки на обработку серии изделий; 4) общее время обработки партии изделий; 5) число комплектов изделий, обработанных за заданное время, и др.

Трудности решения задач Р. т. обусловлены огромным числом вариантов упорядочивания,

чрезвычайно быстро растущим с увеличением количества машин и изделий. При n изделиях и m машинах возможное число вариантов последовательностей обработки изделий равно $(n!)^m$. При $n=4$ и $m=8$ число возможных расписаний — величина порядка 10 млрд. При количестве машин и изделий, представляющем интерес для практики, множество вариантов расписаний изображается астрономич. числами.

Задачи Р. т. формулируются не только в терминах календарного планирования произ-ва. Р. т. имеет гораздо более широкую область приложений. В качестве задачи Р. т. может рассматриваться, напр., задача распределения студентов для прохождения определ. дисциплин в учебных группах. Здесь группы можно рассматривать как «машины», а студентов — как «изделия». Технологич. условия в этом случае — ограничения, не допускающие изучения одной дисциплины без необходимой предварит. подготовки по другим, связанным с ней дисциплинам. В задаче требуется не только установить последовательность занятий студентов в группах, но и «нагрузить машины», т. е. группы так, чтобы их числ. состав не выходил из заданных пределов.

К методам Р. т. сводится также задача сбалансирования конвейера, в к-рой требуется так сгруппировать операции, чтобы время обработки деталей на разных участках не выходило из возможно более узкого интервала. Родственной задачам Р. т. является т. н. «задача коммивояжера». В этой задаче требуется установить порядок обхода n пунктов, чтобы вернуться в исходный пункт за кратчайшее время.

Для решения задач Р. т. применяются самые разнообразные методы — от эмпирич. правил и моделирования до комбинаторного анализа, принципов массового обслуживания (см. *Массового обслуживания теория*) и *целочисленного программирования*.

Интенсивные работы по Р. т. ведутся с 1957. Однако заметные успехи достигнуты лишь в решении частных задач, в к-рых число машин или число изделий весьма мало. Разработаны алгоритмы составления расписания для случая одной, двух и трех машин и произвольного числа изделий при различных критериях качества решения. Подробно исследована задача составления расписания обработки двух изделий на произвольном числе машин. Для общего случая до сих пор неясно, можно ли получить оптим. расписание, перебрав и сравнив между собой существенно меньше вариантов, чем их может быть составлено. Пока не изучены важные для приложений стохастич. проблемы Р. т., в к-рых время обработки изделия на машине и затраты на обработку носят вероятностный характер.

Детерминиров. задачи Р. т. достаточно общего вида сводятся к задачам целочисл. линейного программирования. Однако большое количество переменных и условий, а также вычислит. трудности, связанные с целочисл. программированием, не позволяют еще считать указанный прием практич. методом решения задач Р. т. с немалым числом машин и изделий. В [6] анализ достаточно общей задачи календарного планирования произ-ва сведен к последоват. решению серии спец. задач линейного программирования, в к-рых целочисленность оптим. плана обеспечивается самой постановкой задачи. Спец. структура ограничений (высокий процент нулей в матрице условий) позволяет рассчитывать на разработку упрощ. методов решения соответствующих задач линейного программирования.

Менее строгими и точными, но и менее трудоемкими являются методы моделирования задач Р. т. Моделирование часто применяется в сочетании с комбинаторным анализом и *Монте-Карло методом*. Предварит. исследование, использующее конкретные особенности задачи, позволяет во многих случаях существенно сократить число подлежащих сравнению вариантов расписаний, а последующее применение метода Монте-Карло дает возможность выбрать удовлетворит. вариант решения.

Для составления рацион. расписаний целесообразно также построение эмпирич. правил приоритета обслуживания. Исходя из конкретных условий задачи, изделиям присваиваются разумные показатели, зависящие от важности изделия, длительности обработки, времени ожидания, количества предстоящих операций и т. д. Предпочтение при обработке отдается изделию с бо́льшим тем или иным показателем.

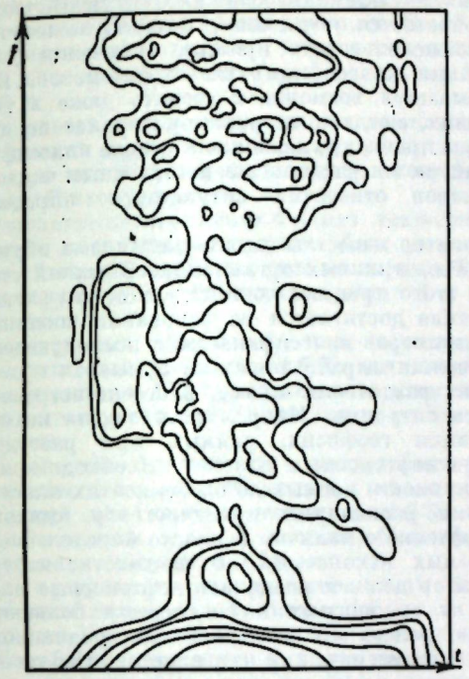
Непосредств. моделирование различных правил приоритета для конкретной задачи позволяет выбрать тот показатель (и, следовательно, то правило приоритета), к-рое соответствует большему значению критерия качества расписания. Имеются сообщения о работах по определению условно-оптим. расписаний, в к-рых ущерб от замены «лучшей» последовательности обработки изделий «хорошей» компенсируется в известной мере сокращением затрат на поиски оптим. расписания.

Лит.: 1) Churchman C. W., Ackoff R. L. and Arnoff E. L., Introduction to operations research, N. Y.—L., 1957, (Ch. 16); 2) Bellman R., Mathematical aspects of scheduling theory, «J. Soc. Industr. Appl. Math.», 1956, v. 4, № 3, p. 168—205; 3) Johnson S. M., Optimal two-and three stage production schedules with setup times included, «Naval Res. Logistics Quart.», 1954, v. 1, № 1, c. 61—68; 4) Bowman E. H., The schedule-sequencing problem, «Operat. Res.», 1959, v. 7, № 5, p. 621—24; 5) Sisson L., в сб.: Progress in operations research, v. 1, N. Y., 1961; 6) Лурье А. Л., О некоторых задачах календарного планирования, в кн.: Проблемы кибернетики, вып. 7, М., 1962.

Д. Б. Юдин.

РАСПОЗНАВАНИЕ ГОЛОСА (вокалископия) (voice recognition; reconnaissence de voix; Stimmeerkennung) — выделение признаков, однозначно определяющих голосовой тракт говорящего. Звуки речи создаются голосовыми связками, глоткой, резонансной полостью рта, а в отдельных случаях — и носовой полостью. Все вместе это составляет голосовой тракт сигнала. Двух полностью одинаковых голосовых трактов сигнала нет. Одни и те же звуки, произносимые различными людьми, отличаются друг от друга, и в большинстве случаев это легко заметно на слух. Существует гипотеза о том, что нет двух одинаковых голосов, подобно тому, как нет двух одинаковых отпечатков пальцев. Эта гипотеза положена в основу работ по Р. г.

Созданию устройства, позволяющего распознать (идентифицировать) голос, должен предшествовать предварит. анализ звуковой информации на выделение совокупности признаков, определяющих речевой тракт. Подобный анализ целесообразно осуществлять с использованием ЦВМ. Полный анализ звуковой информации пока никем не проведен, предварит. же исследования показали целесообразность использования амплитудно-частотно-временных хар-к звуков. Такие хар-ки представляются в виде вокалиграмм (рис.), на



Вокалиграмма.

к-рых по вертикали откладывается частота, а по горизонтали — время. Сплошные линии соединяют уровни одной и той же амплитуды (интенсивности) [1, 2, 3]. Идентификация вокалиграмм выполняется специально обученным персоналом. Дальнейшие работы проводятся в направлении создания электронного устройства узнавания.

Лит.: 1) «Bell Laboratories Record», 1962, v. 40, № 6, p. 214—15; 2) Система идентификации, основанная на использовании «отпечатков» голоса (вокалископии), «Электроника» (рус. пер.), 1962, т. 35, № 24, с. 39—40; 3) «Electronics», 1963, Febr. 8, № 6, p. 43.

Е. Т. Семенова.

РАСПОЗНАВАНИЕ ЗВУКОВ РЕЧИ [sounds and speech recognition; identification (reconnaissance) de son et de parole; Ton-und Spracheerkennung]. Эта проблема может представлять интерес как с физиологической точки зрения (хар-ка процессов, происходящих в человеч. организме), так и с технической — создание устройства, работающего «с голоса», использование подобного устройства в вычислит. машинах, в системах управления, в информац. машинах, создание фонетич. пишущей машинки.

В речи человека содержится обширная информация, включающая сведения о произносимом звуке, об артикуляц. аппарате говорящего, о грамматич. и синтаксич. построении фразы, об интонации, акустике помещения и пр. Теоретич. решение проблемы Р.з.р. сводится к разделению этой информации.

За объект распознавания может быть принято слово, слог или фонема. Распознавание словами удобно с точки зрения разделения речи на объекты распознавания, но требует большого ЗУ для хранения словаря и соответствующего времени для опроса этого устройства. Распознавание словами используется при работе с малым словарным запасом (10—40 слов).

Пример подобного устройства — прибор Shoebox (и различные его варианты), разработанный У. Дерши [1]. Прибор распознает 16 слов (10 цифр и 6 спец. команд), подаваемых на вход вычислит. машины. Распознавание происходит по чередованию звонких и шумовых звуков, а также по степени асимметрии положит. и отрицат. огибающей звукового сигнала. Прибор (рис. 1) состоит из микрофона M, усилителя $У$, схем выделения CB, цепочки регистров $P_Г$ и решающих схем. В CB распознаваемые слова разбиваются на группы по упомянутым выше признакам. В решающих схемах анализируются результаты выделения. Число выходов устройства равно числу распознаваемых слов.

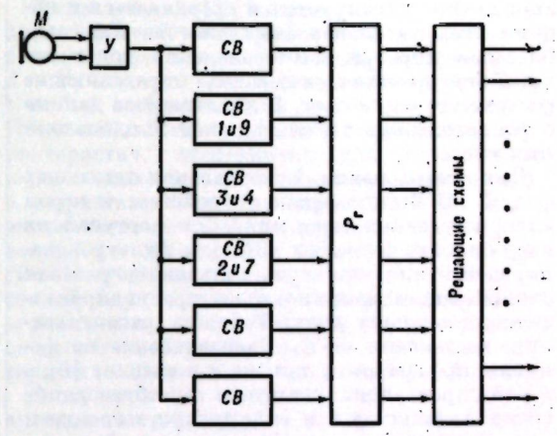


Рис. 1. Блок-схема фонетич. машинки У. Дерши.

Проводились также работы по устному вводу цифровой информации в вычислит. машины [2] (распознавание цифр «один», «два» и т. д.). Для устройств с большим словарным запасом используются слоговые и фонемные методы. На рис. 2 дана блок-схема фонетич. пишущей машинки Х. Ф. Олсона и

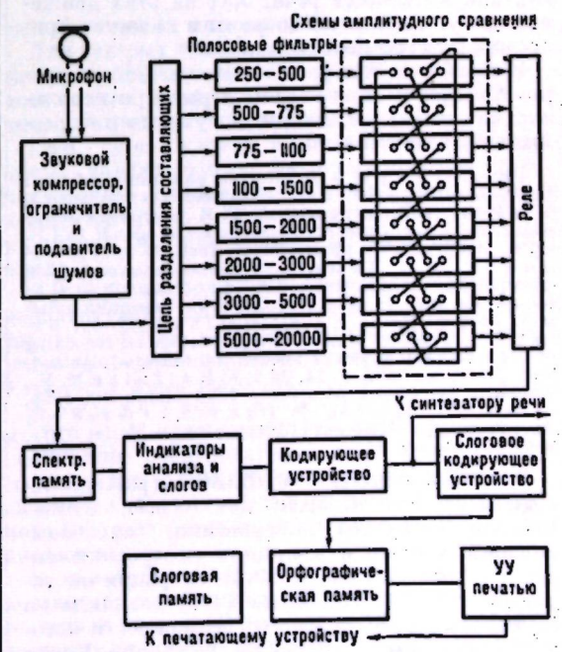


Рис. 2. Блок-схема пишущей машинки Х. Ф. Олсона и Х. Белара.

Х. Белара [5], в к-рой за единицу распознавания принят слог. Звуковой сигнал после предварит. усиления, детектирования и ограничения поступает на вход восьмиканальной системы полосовых фильтров. В схемах сравнения каждого из каналов происходит цифровое кодирование информации 40-разрядным двоичным числом, к-рое является отображением амплитудно-частотно-временной хар-ки звука. Оно фиксируется и сравнивается с кодами всех распознаваемых слогов. При наибольшем поразрядном совпадении кодов печатаются фонетич. символы, определяющие соответствующий слог. В лит. имеются данные о распознавании такой машиной 52 односложных слов.

Для исследования распознавания отдельных фонем [3] было создано устройство, в к-ром звуковой сигнал через микрофон поступал на вход системы фильтров. Выходы фильтров попарно соединялись через гальванометр. Знак отклонения стрелки гальванометра кодировался по двоичному коду. Точность распознавания составляла 80%. Распознавание по фонемам производится так же и в машине [6], в к-рой происходит частотное преобразование сигнала, запись его в виде дискретного кода и печать фонетич. знаков. В др. машине-фонографе [7] проводится периодич. расшифровка звуковой информации (каждые $^1/_{15}$ сек.), в результате чего имеет место многократная печать одних и тех же фонем. Число одинаковых фонем определяется продолжительностью звука. Обе машины предназначены для работы с голосом одного человека. При работе с голосом, на к-рый не проведена предварит. настройка машины, разборчивость падает до 50%.

Другой возможный путь решения задачи Р.з.р. — изучение сопутствующих признаков, т. е., напр., движения губ, языка, неба, гортани в процессе речи. Хар-ки этих движений могут быть использованы в качестве признаков для распознавания.

К проблеме Р.з.р. применимы методы распознавания по признакам, к-рые при использовании вычислит. машин могут дать интересные результаты.

Лит.: 1) Д е р ш и В., Логика решения проблемы распознавания речи, в сб.: Бионика, (пер. с англ.), ч. 1, Киев, 1962; 2) Ц е м е л ь Г. И., Автоматическое различение органического набора слов, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 5; 3) М и с н и к о в Л. Л., Объективное распознавание звуков речи, «Журнал тех. физ.», 1943, т. 13, вып. 3; 4) Д у к е л ь с к и й Н. И., Принципы сегментации речевого потока, М.— Л., 1962; 5) O l s o n H. F., B e l a r H., Printout system for the automatic recording of the spectral analysis of spoken syllables, «J. Acoust. Soc. America», 1962, v. 34, № 2; 6) K a l f a i a n M. V., Phonetic typewriter of speech, filed March 24, 1958, patent № 2, 921, 133; 7) D r e y f u s - G r a f J., Phonétographe — présent et futur, «Techn. Mitt. PTT», 1961, v. 39, № 5.

Е. Т. Семенова.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ (pattern recognition; identification des formes; Bilderkennung) — раздел кибернетики, разрабатывающий теорию и принципы построения систем, разделяющих сложные ситуации на заданные классы. Проблема Р. о. возникла из стремления распространить возможности автоматов на решение задач классификации. Число возможных ситуаций каждого класса весьма велико, их запоминание практически неосуществимо, и распознающая система должна приобрести способность классификации на основании информации о разделении на классы огранич. числа ситуаций.

Принцип. разрешимость задач Р. о. вытекает из наличия способности Р. о. у человека и др. живых организмов. В живой природе способность классификации сложных ситуаций часто приобретается обучением, поэтому целесообразно использовать принцип обучения для создания классифицирующих автоматов. Их оказывается возможным создать даже в тех случаях, когда конструктору заранее не известны признаки, лежащие в основе классификации, но он располагает достаточным числом примеров отнесения ситуации к определ. классу.

Пока не известны детали механизма обучения Р.о. в живых организмах. Внешняя сторона этого процесса состоит в том, что распознавание достигается на основании восприятия примеров классификации и последующего обобщения выработанных на примерах способов их разделения на все, ранее не встречавшиеся ситуации. Напр., стоит задача интерпретации геофизич. данных при разведке газо- и нефтеносных пластов. Необходимо по совокупности данных об особенностях пласта, к-рыми располагает интерпретатор, сделать заключение о наличии в пласте определенных полезных ископаемых. В частности, интерпретатор должен различать нефтеносные пласты от водоносных на основании большого числа данных об электрических, радиационных и геометрич. хар-ках пластов. Нефтеносным пластам (так же, как и водоносным) соответствует бесчисленное множество совокупностей исходных данных, а геофизики не располагают правилами, на основании к-рых можно было бы однозначно относить пласт к тому или другому классу. Опытный геофизик-интерпретатор обычно может, на основании этих данных, судить о принадлежности пласта к классу нефтеносных. Однако при интерпретации совершается много ошибок — от 5—7% до 80% в зависимости от сложности геологич. обстановки. Создание автоматич. системы, способной научиться решать с более высокой точностью, чем это доступно интерпретатору такого рода задачи, представляет значит. научный и практич. интерес. Задачи медицинской диагностики также, по существу, являются задачами классификации сложной совокупности данных. Врачу необходимо определить вид болезни пациента на основании данных анамнеза и таких объективных показателей, как темп-ра, давление крови, данные рентгеновских и др. исследований. Актуальность задачи создания распознающих систем для медицинской диагностики также несомненна.

Практич. интерес имеют также распознающие системы для технич. диагностики (определения нормальных и ненормальных режимов работы технич. устройств), для *распознавания звуков речи*, чтения рукописных текстов и др.

Для обучения принципиально важно существование заранее определенной системы классификации или заранее определенного образца классифицирующего автомата, деятельность к-рого должна имитировать распознающая система.

Постановка задачи

Автоматом назовем совокупность $A=\langle X,Y,F\rangle$, где X, Y — произвольные конечные множества, напр. множество входов и множество выходов; F — отображение X в Y. Пусть

$$X=\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}, \quad Y=\{y_1, y_2, \ldots, y_m\}.$$

Это соответствует обычному понятию *конечного автомата*, но с одним внутр. состоянием.

Экспериментом длины l с автоматом A наз. последовательность $x_{i_1}, x_{i_2}, \ldots, x_{i_l}$, где $x_{i_k}\in X$.

Результат такого эксперимента — последовательность $x_{i_1}y_{i_1}, x_{i_2}y_{i_2}, \ldots, x_{i_k}y_{i_k}, \ldots, x_{i_l}y_{i_l}$, где y_{ik} — выход, соответствующий при отображении F входу x_{ik}.

Результат эксперимента с A наз. также обучающей последовательностью. Два автомата A и A^* неотличимы нек-рым экспериментом, если результаты этого эксперимента с A и A^* совпадают.

Эксперимент длины $l\ll n$ наз. характеристическим для автомата $A\in\mathfrak{A}$, если любые два автомата A и A^*, неотличимые этим экспериментом, неотличимы никаким др. экспериментом.

Эксперимент длины $l\ll n$ наз. характеристическим для класса $\mathfrak{A}$, если он характеристический для каждого автомата $A\in\mathfrak{A}$.

В общем виде задача Р. о. может быть сформулирована следующим образом:

Дан результат эксперимента длины $l\ll n$ с нек-рым автоматом A, множества входов X и выходов Y этого автомата. Найти автомат A^*, разбивающий множество X на те же образы, что и автомат A.

В такой постановке, однако, задача не имеет решения. Действительно, в полном классе автоматов всегда найдется др. автомат, неотличимый от A на данном эксперименте, но каков бы ни был алгоритм построения A^*, он строит автомат только в соответствии с результатом эксперимента. Следовательно, A с необходимостью должен принадлежать классу автоматов, в к-ром для A может быть построен характеристич. эксперимент. Поэтому представляет интерес изучение различных классов автоматов, для к-рых существуют характеристич. эксперименты.

В большинстве случаев ничего об A не известно. Следовательно, эксперимент не может отражать к.-л. св-ва автомата A, а поэтому любой эксперимент длины $l\ll n$ должен быть характеристическим для A. Поэтому задача может иметь решение также для такого класса автоматов $\mathfrak{A}$ и такого $A\in\mathfrak{A}$, что любой эксперимент длины l — характеристический для A.

Следовательно, в формулировке задачи должен быть указан класс, к-рому принадлежит A. В большинстве случаев этот класс неизвестен, и возникает задача определения класса $\mathfrak{A}\ni A$. Для решения этой задачи недостаточно знание множеств входов и выходов, и необходимо предположить известной нек-рую дополнит. информацию об A. Будем предполагать, что класс $\mathfrak{A}$ определен.

Если для автоматов из $\mathfrak{A}$ не существует характеристич. экспериментов, можно говорить лишь о построении автомата A^*, близкого данному автомату A.

Пусть на X задано распределение вероятностей и в $\mathfrak{A}$ определена мера близости двух автоматов как вероятность различения этих автоматов случайным экспериментом длины 1. Если эта вероятность $\leqslant\varkappa$, то автоматы наз. $\varkappa$-близкими. Тогда задача сводится к отысканию автомата A^*, $\varkappa$-близкого автомату A. Решением задачи и в первом и во втором случае будут различные алгоритмы, дающие процедуру построения эксперимента и отбора автомата A в классе $\mathfrak{A}$ по этому эксперименту.

А л г о р и т м ы с п о л н о й п а м я т ь ю. Рассмотрим класс алгоритмов, отмеченный тем св-вом, что результатом работы каждого такого алгоритма будет автомат, неотличимый от данного автомата построенным экспериментом (алгоритмы с памятью).

Тогда, если $A\in\mathfrak{A}$, в к-ром для A существует характеристич. эксперимент, то полученный автомат будет определять то же отображение X в Y, что и A, если в качестве эксперимента с A был выбран именно характеристический. Но даже если св-ва класса $\mathfrak{A}$ и известны, характеристич. эксперимент для A (таблица к-рого неизвестна) может быть построен только в результате некого эксперимента с A. Этот эксперимент может быть осуществлен на основании св-в класса $\mathfrak{A}$ и вытекающих отсюда св-в множества характеристич. экспериментов. Длину этого эксперимента можно и не ограничивать, т. к. в нек-рых случаях может оказаться необходимым знание именно характеристич. эксперимента для выбора A в $\mathfrak{A}$.

В случае, когда автомат A таков, что любой эксперимент длины $l\ll n$ для него характеристический, алгоритм построения A по любому из этих экспериментов выберет нужный автомат.

Если для A в классе $\mathfrak{A}$ не может быть построен характеристич. эксперимент и если в качестве эксперимента взять случайную последовательность входов, то справедливо следующее утверждение: автомат, полученный в результате работы алгоритма с памятью, будет с вероятностью $\geqslant 1-\eta$ $\varkappa$-близким автомату A, если длина эксперимента

$$l=\frac{-\ln N+\ln\eta}{\ln(1-\varkappa)},$$

где N — число автоматов в классе $\mathfrak{A}$.

Для нек-рых классов эта оценка оказывается завышенной, т. к. для ее вывода использовалось только одно св-во класса $\mathfrak{A}$, а именно — число автоматов в этом классе.

Если св-ва класса $\mathfrak{A}$ позволяют оценить длину характеристич. эксперимента, то для построения случайного эксперимента, для к-рого алгоритм с памятью давал бы автомат $\varkappa$-близкий A, может быть использована эта длина.

Примеры алгоритмов с памятью: алгоритм, использующий для построения искомого автомата понятие *обобщенный портрет*, алгоритм проведения случайных плоскостей (см. *Узнающая машина*) и др.

А л г о р и т м ы с н е п о л н о й п а м я т ь ю. Многие методы Р.о. дают алгоритмы построения последовательностей автоматов в соответствии с результатом эксперимента с автоматом A, не требуя при этом от получаемого автомата неотличимости от A данным экспериментом.

В классе $\mathfrak{A}$ может существовать несколько автоматов, $\varkappa$-близких данному. Задача состоит в том, чтобы найти хотя бы один из экспериментов, по результатам к-рого алгоритм отбирает автомат, близкий данному. В общем случае множество таких экспериментов может быть пусто даже в случае, когда множество автоматов, $\varkappa$-близких данному, не пусто.

Примеры алгоритмов с неполной памятью: алгоритм существенных признаков; алгоритм,

реализуемый персептроном (см. *Узнающая машина*), статистич. методы, метод потенциалов.

Экзаменационная последовательность. При работе алгоритма с памятью $\varkappa$- близость получ. автомата исходному с достаточно большой вероятностью обеспечивается либо длиной обучающей последовательности, либо св-вами построенного эксперимента и данного автомата.

При работе алгоритма с неполной памятью получается последовательность автоматов $A_1, A_2, \ldots, A_s$, близость каждого из к-рых автомату A неизвестна. Эксперимент с одним из получ. автоматов и исходным наз. экзаменом.

Выберем из последовательности автоматов подпоследовательность $A_{n_1}, A_{n_2}, \ldots, A_{n_k}$ и проведем экзамен для каждого из этих автоматов и исходного. Потребуем, чтобы распределение вероятностей на X было неизменно при экзамене и при дальнейшем функционировании автомата. Элементы обучающей последовательности не обязаны подчиняться этому распределению. Тогда автомат A_{n_i} с вероятностью $\geqslant 1-\eta$ будет $\varkappa$-близким автомату A, если длина экзамена для A_{n_i} и A

$$l_i = \frac{\ln \eta - \ln \zeta(\alpha) - i \ln i}{\ln (1-\varkappa)}, \quad \left(\zeta(\alpha) = \sum_{a=1}^{\infty} \frac{1}{k^{\alpha}}\right),$$

и автомат A_{n_l} неотличим от A этим экзаменом.

Пространство рецепторов. Пространство признаков. В существующих распознающих машинах различают блоки: воспринимающее устройство, блок преобразования и блок принятия решений. Воспринимающее устройство определяет преобразование X в нек-рое множество, наз. пространством рецепторов. Если воспринимающее устройство представляет собой набор n фотоэлементов, то всякий объект, появляющийся на входе машины, воспринимается как вектор с координатами 1 или 0, и пространство рецепторов представляет собой n-мерный куб.

Блок преобразования ставит в соответствие всякому элементу из X некоторый элемент нового пространства X^*, наз. пространством признаков.

Пусть заданный автомат A разбивает X на образы $X_1, X_2, \ldots, X_m$. В пространстве признаков этим образам соответствуют множества $X_1^*, X_2^*, \ldots, X_m^*$. В зависимости от преобразования $X \to X^*$ образы в пространстве признаков могут обладать различными св-вами. Пусть эти св-ва таковы, что они позволяют задать для каждого образа конечное число хар-к, по к-рым можно однозначно определить принадлежность любого элемента из X^* одному из множеств $X_1^*, X_2^*, \ldots, X_m^*$.

Блок принятия решений вырабатывает по элементам обучающей последовательности хар-ки для каждого образа и реализует различные правила принятия решений, т. е. отнесения всякого элемента пространства рецепторов к тому или др. образу в соответствии с полученными хар-ками. Если блок принятия решений вырабатывает хар-ки для образа так, чтобы элементы из X, встречающиеся в обучающей последовательности, были отнесены к тем же образам, к к-рым они были отнесены автоматом A, то, очевидно, такая распознающая машина реализует алгоритм с памятью. Остальные распознающие машины реализуют алгоритмы с неполной памятью.

Между блоком принятия решений и блоком преобразования может существовать *обратная связь*. Если элементы из X, появившиеся в процессе обучения, не обладают нужными св-вами, то блок принятия решений изменяет преобразование, осуществляемое блоком преобразования.

Множество различных разбивок X на образы, к-рые при данном преобразовании $X \to X^*$ обладают заданными св-вами, и множество различных преобразований, к-рые могут реализовать воспринимающее устройство и блок преобразования, определяют тот класс автоматов $\mathfrak{A}$, из к-рого должен быть отобран автомат A, близкий данному. Алгоритм отбора A зависит от св-в класса $\mathfrak{A}$.

Примеры алгоритмов. Рассмотрим множество автоматов, производящих дихотомию. Пусть пространство рецепторов X есть n-мерный куб, и на X задан набор логич. ф-ций $S \leqslant n$ переменных.

В соответствии с обучающей последовательностью для каждого признака вырабатывается характеристич. число $p_i = k_i^1/k_i^2$, где k_i^1 и k_i^2 – число раз, к-рое i-ый признак принимал значение 1 или 0 соответственно для 1-го и 2-го образов. Если $p_i < k$ для 1 или 0 (k — нек-рое произвольное число), то i-ый признак считается существенным, в противном случае — несущественным. Итак, алгоритм определяет существенность каждого признака и заменяет первонач. преобразование новым, включающим уже только те логич. ф-ции, к-рые образуют существ. признаки.

В пространстве существ. признаков X^* для множества векторов каждого образа строится ср. вектор, и элемент пространства X^* относится к тому образу, расстояние до ср. вектора к-рого наименьшее.

В основу данного алгоритма легли следующие предположения: преобразование $X \to X^*$ таково, что пространство признаков образует совокупность существ. признаков;

отображение, определяемое A, таково, что существенность признаков может быть определена экспериментом длины $l \ll n$;

для каждого образа, полученного после отображения, можно построить ср. вектор, расстояние до к-рого для элементов данного образа меньше, чем расстояние до ср. векторов др. образов.

Отнесение вектора в пространстве признаков к тому или иному образу может осуществляться и по др. критериям, напр. по наименьшему расстоянию или по наименьшему ср. расстоянию до множеств векторов различных образов. Вместо логич. ф-ций трех переменных можно рассматривать множество любых ф-ций на X. Наконец, определение существенности нек-рого признака также можно производить др. путем.

Данный алгоритм является алгоритмом с неполной памятью и оценка близости в этом случае должна производиться по экзамену с полученным автоматом и имитируемым. Рассмотренный алгоритм в процессе обучения изменяет отображение, осуществляемое блоком преобразования. Ряд других алгоритмов приспособлен для случая, когда это отображение фиксировано и пространство признаков представляет собой метрич. пространство, в к-ром для каждого

образа существует гиперплоскость, отделяющая множество элементов этого образа от элементов всех др. образов. В этом случае класс автоматов $\mathfrak{A}$ образован автоматами, образы для которых после данного преобразования $X \to X^*$ образуют множества, разделимые плоскостью.

Для таких классов автоматов существуют как алгоритмы с полной памятью (см. *Обобщенный портрет*), так и алгоритмы с неполной памятью. К этим алгоритмам близок алгоритм проведения случайных плоскостей и построения затем нек-рой гиперповерхности, составленной из кусков этих плоскостей. Об алгоритме построения потенц. поверхностей см. *Узнающая машина*.

Вероятностная постановка задачи

Пусть исходный автомат A является вероятностным в том смысле, что всякому $x_i \in X$ соответствует набор вероятностей

$$P_{1i}(y_1/x_i), \quad P_{2i}(y_2/x_i), \ldots, P_{mi}(y_m/x_i),$$

т. е. A по-прежнему определяет преобразование $X \to Y$, но не однозначное. Тогда примем, что два автомата A и A^* эквивалентны, если всякому x соответствует один и тот же набор вероятностей в A и в A^*.

Назовем два автомата A и A^* 0-близкими, если $|P_{ki} - P_{ki}^*| \leqslant 0$ для

$$k = 1, 2, \ldots, m, \quad i = 1, 2, \ldots, n.$$

Тогда задача может быть сформулирована следующим образом: дан вероятностный автомат $A \in \mathfrak{A}$. Найти автомат $A^* \in \mathfrak{A}$, эквивалентный автомату A, 0-близкий или $\varkappa$-близкий (в прежнем смысле) автомату A.

Наконец, для вероятностного автомата можно ввести понятие образа, как совокупности элементов, для к-рых вероятность появления реакции, соответствующей данному образу, больше, чем вероятность др. реакций, и задача состоит тогда в нахождении автомата, имеющего ту же систему образов, что и данный.

Примеры алгоритмов. Для построения автомата, имитирующего нек-рый вероятностный автомат, нужно определить вероятности $P_i(y_i/x_k)$. Как известно из теории вероятностей,

$$P_i(y_i/x_k) = \frac{P(x_k/y_i)\, P(y_i)}{\sum\limits_i P(x_k/y_i)\, P(y_i)}.$$

Пусть пространство признаков есть s-мерное пространство признаков такое, что $P(x^j = a/x^j = b) = P(x^i = a/x^j = c)$, где a, b, c — произвольные элементы из множества M допустимых значений для каждого признака x^j.

По элементам обучающей последовательности определяются вероятности $P(x^i = a/y_i)$ для всякого $a \in M$. В случае, когда $P(y_1) = P(y_2) = \ldots = P(y_m)$, для дальнейшей классификации достаточно определить $P(x_k/y_i)$. Ввиду независимости признаков $P(x_k/y_i) = P(x_k^1/y_i)\, P(x_k^2/y_i) \ldots P(x_k^s/y_i)$, где $x_k^1, \ldots, x_k^s$ — значения координат вектора x_k.

В случае, когда автомат A таков, что существуют нормальные плотности $P(x/y_i)$ с вектором среднего M и ковариантной матрицей K, по обучающей последовательности определяются M и K [7]. Предполагается, что априорные вероятностные хар-ки $P(y_1), P(y_2), \ldots, P(y_m)$ совпадают. При построении автомата, имеющего ту же систему образов, что и данный, можно производить классификацию по макс. вероятности $P_i(y_i/x_k^*)$. Максимум $P_i(y_i/x_k^*)$ будет достигаться для тех y_i, для к-рых $P(x_k^*/y_i)$ максимальна. В нек-рых случаях удобно строить монотонную ф-цию условных плотностей $P(x/y_i)$ и дальнейшую классификацию производить по максимуму этой ф-ции.

Построение преобразования. Почти все указанные выше алгоритмы приспособлены для случая, когда преобразование $X \to X^*$ фиксировано, и образы в пространстве признаков X^* уже образуют множества, удовлетворяющие определ. требованиям. Однако в большинстве случаев это преобразование неизвестно, т. е. об автомате A может быть известно только то, что в множестве преобразований T существует преобразование, при к-ром образы для A в X^* имеют нужные св-ва. В этом случае по эксперименту с автоматом A должны быть найдены и преобразование из T и хар-ки образов в полученном при этом пространстве признаков, т. е. само преобразование должно зависеть от нек-рых св-в обучающей последовательности. Данная задача не выходит за рамки вышепоставленной, но иногда удобно ее выделить.

Значение проблемы. Теория и создание распознающих систем находятся в начальной стадии развития. Однако достигнутые результаты делают реальными в ближайшем будущем решение таких важных задач, как узнавание звуков речи, диагностика ряда болезней, определение режимов работы технич. систем, обнаружение в таких системах неисправностей, идентификация личностей (по внешнему виду, подписи, почерку) и др.

Научное значение проблемы состоит также в том, что теория распознавания и создаваемые алгоритмы обучения распознаванию могут помочь раскрытию характерных черт механизма распознавания живыми организмами и процессов обучения, проникновению в сферу психич. деятельности человека на основе объективных и точных математич. методов. Принятые в различных областях человеч. деятельности системы разбивок ситуаций на классы и подклассы, как правило, вырабатывались интуитивно и поэтому не могут претендовать на оптимальность по отношению к к.-л. критерию, вытекающему из целей этой классификации. Поэтому есть основания предполагать, что системы классификации смогут быть существенно улучшены на основании теории распознавания образов, а также на основании накопленного наукой и практикой экспериментального материала.

Лит.: 1) Бонгард М. М., Моделирование процесса узнавания на цифровой счетной машине, «Биофизика», 1961, т. 6, вып. 2; 2) Браиловский В. Л., Об одном методе распознавания объектов, описываемых несколькими параметрами и о возможности его применений, «АиТ», 1962, № 12; 3) Харкевич А. А., Опознание образов, «Р-ка», 1959, т. 14, № 5; 4) Розенблатф., Обобщение восприятий по группам преобразований, в кн.: Кибернетический сборник, № 4, М., 1962; 5) Роберте Л. Дж., Распознавание изображений при помощи приспосабливающихся систем, там же; 6) George S., Pattern recognition by an adaptive process of sample set construction, «IRE Trans. Inform. Theory», 1962, v. 8, № 5, p. 82—91; 7) Steinbuch K., Automatische Spracherkennung, «Nachrichtentechnische Zeitschrift», 1958, 11 Jg., H. 9, S. 446—54; 8) Айзерман М. А. [и др.], «АиТ», 1964, т. 25, № 6, с. 917.

Л. М. Дронфорт, А. И. Лернер.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ПО ПРИЗНАКАМ. Под признаком будем понимать нек-рое св-во $\varkappa$, такое, что из двух высказываний «объект обладает свойством (признаком) $\varkappa$» и «объект не обладает свойством $\varkappa$» всегда одно истинно, а другое ложно. Исходным множеством признаков, с к-рым может оперировать распознающее устройство (РУ), является множество состояний его рецепторов. Рассмотрим нек-рые принципы построения РУ с этой точки зрения.

1. Распознавание с конечным числом признаков. Простейший, но практически весьма важный частный случай распознавания,— задача классификации. В этом случае известно конечное число признаков, к-рые должны иметь все объекты, относимые к отмеч. классу. Для установления, относится данный объект к отмеч. классу или нет, следует просто перебрать и проверить наличие заранее известных признаков. Если система признаков заранее известна, то создание распознающей системы, безошибочно классифицирующей (распознающей), принципиально всегда осуществимо и сводится к решению чисто технич. задач.

Пример такой классификации — автоматич. сортировка перфокарт, заключающаяся в выделении из массива перфокарт карт, обладающих заданным признакам, напр. содержащих насечку в k-ой позиции.

Формально такой способ распознавания может быть описан следующим образом. Имеется нек-рое множество $\mathfrak{M}$ объектов, подлежащих распознаванию. Имеется также нек-рое множество K объектов, обладающих заданным признаком $\varkappa$, причем для каждого элемента m множества $\mathfrak{M}$, т. е. для $m \in \mathfrak{M}$ устройство умеет определять, обладает ли m признаком $\varkappa$, т. е. $m \in K$ или нет. Т. о., устройство может распознавать все объекты m' из $\mathfrak{M}$, принадлежащие к пересечению множеств $\mathfrak{M}$ и K

$$m' \in \mathfrak{M}', \text{ где } \mathfrak{M}' = \mathfrak{M} \cap K.$$

В рассмотренном формальном примере образом является множество $\mathfrak{M}'$ тех элементов из $\mathfrak{M}$, к-рые обладают св-вом $\varkappa$ (рис. 1).

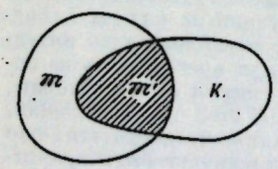


Рис. 1. Схема, поясняющая распознавание по одному признаку.

К описанному способу распознавания относится и случай, когда образом является совокупность объектов из $\mathfrak{M}$, одновременно обладающая несколькими признаками $\varkappa_1, \varkappa_2, \ldots, \varkappa_n$, наличие или отсутствие каждого из к-рых распознающая система умеет различать (рис. 2).

$$\mathfrak{M}' = \mathfrak{M} \cap K_1 \cap K_2 \cap \ldots \cap K_n$$

$$\mathfrak{M}' = \mathfrak{M} \cap \bigcap_{i=1}^{n} K_i.$$

Этот способ распознавания может быть реализован, напр., последовательной проверкой наличия в испытываемом объекте (изображении) признаков $\varkappa_1, \varkappa_2, \ldots$ и т. д.

2. Распознавание с избыточным числом признаков.

Несколько отлична задача распознавания в том случае, если число признаков (множеств K_i), используемых для распознавания, существенно превосходит требуемое число таких признаков. Так, в примере рис. 3 множество $\mathfrak{M}'$ (образ) представляет собой пересечение следующих множеств

$$\mathfrak{M} \cap K_1 \cap K_2 \cap K_3 \cap K_4 \cap K_5 = \mathfrak{M}'.$$

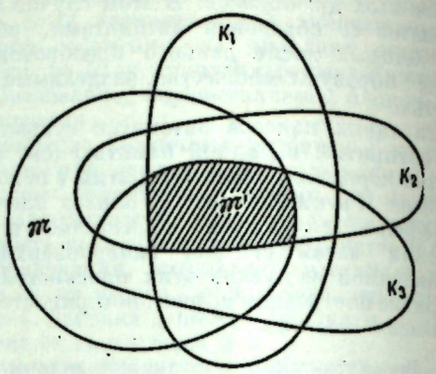


Рис. 2. Схема, поясняющая распознавание по совпадению нескольких признаков.

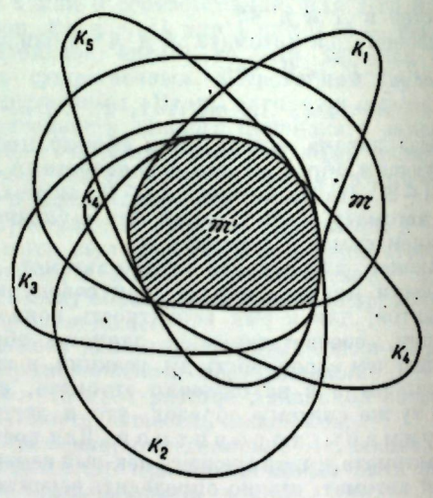


Рис. 3. К распознаванию образа, определяемого отличными наборами признаков.

С др. стороны, видно, что $\mathfrak{M}'$ образуется и пересечением меньшего числа множеств, напр.:

$$\mathfrak{M}' = \mathfrak{M} \cap K_1 \cap K_3 \cap K_5$$
$$\mathfrak{M}' = \mathfrak{M} \cap K_5 \cap K_2 \cap K_1$$
$$\mathfrak{M}' = \mathfrak{M} \cap K_3 \cap K_2 \cap K_1.$$

В этом случае различные РУ, способные воспринимать (выделять) различные наборы признаков $(\varkappa_1, \varkappa_3, \varkappa_4)$, или $(\varkappa_1, \varkappa_2, \varkappa_3)$, или $(\varkappa_1, \varkappa_2, \varkappa_5)$, способны одинаково хорошо распознавать образ $\mathfrak{M}'$ (принадлежность $m' \in \mathfrak{M}'$). Если нек-рый образ задан набором $K_\nu = \varkappa_{i_1}^{(\nu)} \varkappa_{i_2}^{(\nu)} \varkappa_{i_n}^{(\nu)}$, то заранее не ясно, является ли этот набор св-в единственным, и способно ли РУ, воспринимающее др. признаки, распознавать этот образ?

Задача создания РУ сводится при этом к выбору системы распознающих признаков и к технич. работе по созданию устройства, осуществляющего классификацию (сортировку) по этой системе признаков.

3. Распознавание в случае непересекающихся признаков. Может оказаться, что общая часть (пересечение) множеств K_i не совпадает с множеством всех отмеч. объектов. Так, на рис. 4 пересечение всех изображенных множеств K_i вообще пусто. Задача распознавания в этом случае сводится к отысканию совокупности таких наборов из множеств K_i, что каждый элемент отмеч. множества принадлежит по крайней мере одному из этих наборов и, наоборот, общая часть каждого набора принадлежит множеству $\mathfrak{M}'$ отмеч. элементов. Для выбранного примера такими наборами являются:

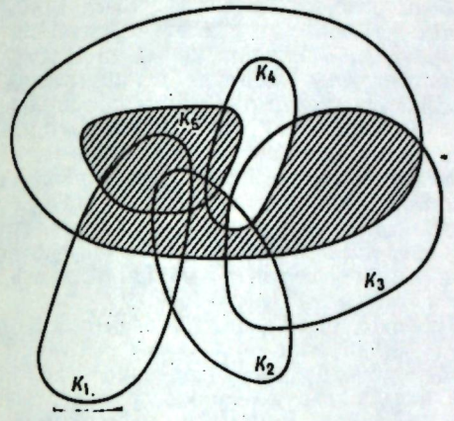


Рис. 4. Схема, поясняющая распознавание в случае непересекающихся признаков.

$$\varkappa_5;\ \varkappa_1;\ \varkappa_2\bar{\varkappa}_4;\ \varkappa_2\varkappa_4\bar{\varkappa}_3;\ \bar{\varkappa}_3\bar{\varkappa}_4. \qquad (*)$$

Очевидно, что отсутствие признака также может рассматриваться, как признак (см. наборы $\varkappa_2\varkappa_4\bar{\varkappa}_3$; $\varkappa_2\bar{\varkappa}_4$).

Для множества отмеч. элементов (рис. 4, заштриховано) совокупность наборов (*) позволяет распознать любой элемент $m \in \mathfrak{M}'$.

Трудно указать общие рецепты выделения системы признаков распознавания, к-рые существенно зависят от задачи, стоящей перед РУ. Поэтому практич. работы в области распознавания образов сводятся к созданию ряда конкретных, гл. обр. экспериментальных устройств для распознавания звуков речи и голоса, печатных знаков, рукописного текста и др.

К этой же группе РУ относятся диагностич. машины и программы, используемые для распознавания (диагноза) различных заболеваний.

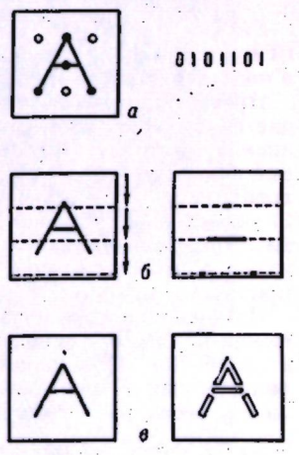
Дальнейшее развитие РУ идет по пути изучения и моделирования распознающих систем человека и животных с целью поиска простых универс. признаков, выработанных в процессе длительного эволюц. развития (см. *Бионика*).

Лит.: Шрейдер Ю. А., Модели обучения и управляющие системы. [Дополнение], в кн. Буш Р., Мостеллер Ф., Стохастические модели обучаемости, пер. с англ., М., 1962; Бонгард М. М., Моделирование процесса обучения узнаванию на универсальной вычислительной машине, в сб.: Биологические аспекты кибернетики, М., 1962; Айзерман М. А., Опыты по обучению машин распознаванию зрительных образов, там же; Варшавский В. И., Вороцова И. П., Цетлин М. Л., Обучение стохастических автоматов, там же; Браверман Э. М., Опыты по обучению машины распознаванию зрительных образов, «АиТ», 1962, т. 23, № 3; Метцеллар П., Механическое моделирование опознавания образов, в сб.: Бионика, пер. с англ., ч. 1, Киев, 1962; Сочивко В. П., Опознающие устройства, [Л.], 1963. См. также [лит. при ст. *Распознавание образов*. *М. Г. Раазе-Рапопорт.*

РАСПОЗНАВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ЗНАКОВ (printed characters recognition; identification des caractères d'imprimerie; Zeichenerkennung). Непосредств. ввод письм. информации в вычислит. машину, в процессе к-рого происходит автоматич. опознавание печатных букв и цифр по их очертаниям, имеет важное значение для таких задач, как создание информационно-логич. машин или создание машин, осуществляющих перевод текста с одного языка на другой.

Принципы Р.п.з. различаются тем, какие признаки изображения считаются существенными и каким образом они извлекаются из исходной информации. В простейшем случае в качестве описания изображения можно взять само изображение (т. е. сигнал описания совпадает с сигналом изображения). Если требования, предъявляемые к возможным начертаниям знаков, а также сдвигам и дефектам печати, не слишком жестки, то необходимое количество эталонных описаний настолько возрастает, что практич. реализация такого метода оказывается затруднительной. В связи с этим обычно используют более сложные методы составления описания, при к-рых сигнал описания, вообще говоря, не совпадает с сигналом изображения. Существующие методы можно разделить на следующие группы: 1) методы зондов, 2) интегр. методы, 3) методы составления описания по элементам формы знаков.

Методы зондов в качестве существ. признаков берут наличие или отсутствие зачерненности в данном фиксиров. месте поля изображения. Наложив различные варианты всех знаков данного множества (алфавита) друг на друга и одинаково ориентируя их, обнаруживают, что одни области поля всегда черные, другие — всегда белые, а часть областей поля для нек-рых знаков черная, а для других — белая (информативные области). Выбрав систему информативных областей, обеспечивающую надежное различение, и приписывая зачерненной области знак 1, а незачерненной области — знак 0, получают для различных знаков различные двоичные коды, к-рые и будут являться описаниями. На рис. *а* приведены поле изображения и система информативных областей (области показаны условно). Справа выписан двоичный код, соответствующий букве А. Методы зондов могут быть использованы лишь в случае, если сдвиги печати невелики.



Описание печатных знаков при различных методах распознавания.

Интегральные методы в качестве существ. признаков принимают интегр. хар-ки геометрич. формы знаков (напр., хар-ки проекций знака на нек-рые оси). На рис. *б* показано поле

изображения и оси, на к-рые проецируются части знака (оси показаны пунктиром, а направление проецирования — стрелками). Справа показаны проекции для буквы А. Интегр. методы, как правило, допускают весьма простую аппаратную реализацию.

Методы составления описания по элементам формы знаков в качестве существ. признаков используют признаки геометрич. формы элементов знака (количество прямых и кривых отрезков, взаимное расположение отрезков, наличие выпуклостей и впадин, краевые и концевые точки, углы и т. п.). На рис., *в* показаны элементы фигуры, используемые при этом методе. Знак разбивается на ряд групп (сегментов), и описывается каждый сегмент, а также их взаимосвязь (соединение сверху, слева, справа и т. д.). Метод позволяет распознавать знаки при очень большом разнообразии написания и независимо от их ориентации. Недостаток метода в необходимости проведения большого объема вычислит. и логич. операций при составлении описания.

Перечисл. методы или их разновидности использовались как в СССР, так и за рубежом.

В последнее время стали разрабатываться т. н. обучаемые системы Р.п.з. (см. *Обучаемая машина*). Эти системы имеют 2 режима работы: режим обучения и режим распознавания. В режиме обучения системе предъявляются различные знаки и сообщаются их названия. В режиме распознавания система опознает показанные ей знаки, а также знаки, близкие к ним по начертанию. Отличит. особенность обучаемых систем Р.п.з.— отсутствие заранее заданных эталонных описаний. Эти описания система формирует сама на основании материала, предъявляемого ей в процессе обучения.

Лит.: Харкевич А. А., Опознание образов, «Р-ка», 1959, т.14, № 5; его же, О принципах построения читающих машин, там же, 1960, т. 15, № 2; его же, О выборе признаков при машинном опознании, «ИАН СССР. ОТН. Техническая кибернетика», 1963, № 2; Аврух М. Л., Основные методы автоматического чтения и распознавания текста, в сб.: Читающие устройства, М., 1962; Браверман Э. М., Опыты по обучению машины распознаванию зрительных образов, «АиТ», 1962, т. 23, № 3.

С. С. Камынин.

РАСПОЗНАВАНИЕ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА (handwriting recognition; identification d'un texte manuscrit; Handschrifterkennung).

Процесс автоматич. чтения текстов распадается на 2 этапа: 1) автоматич. считывание знаков текста, т. е. преобразование изображений знаков в сигналы (гл. обр. электрические), воспринимаемые читающими устройствами, и 2) распознавание знаков текста, т. е. автоматич. определение каждой совокупности сигналов и отождествление ее с к.-л. из знаков принятого алфавита.

Наибольшие трудности возникают при решении проблемы распознавания знаков текста и особенно рукописного. Разнообразие вариантов написания рукописных знаков, различающихся размерами, стилем, наклоном и даже графикой (знаки *д* и g, p и *р*, *т* и *т*), чрезвычайно велико, а читающий автомат должен уметь однозначно идентифицировать, т. е. относить к одному классу, все модификации знака одного смысла. При этом невозможно заранее предусмотреть и заложить в автомат все возможные варианты написания знаков, и, следовательно, невозможно осуществить распознавание путем простого сопоставления читаемого знака с запомненными в машине эталонными знаками. Кроме того, слова в рукописных текстах обычно написаны слитно. Это не позволяет использовать междубукв. пробелы для определения границ знака и в значит. степени затрудняет побуквенное распознавание. Возникает проблема Р.р.т. с использованием в качестве единицы исходной информации не отдельных знаков алфавита, а либо их отдельных графич. элементов, либо целых слов, что требует наличия в читающем автомате большой памяти словарного типа. Помимо трудностей принцип. характера в создании метода Р.р.т. имеются значит. трудности, связанные с технич. реализацией, вопросами быстродействия, экономичности и надежности «читающего автомата».

Проблема Р.р.т. пока практически не решена. Осн. попытки ее решения связаны с созданием моделирующих программ распознавания на вычислит. машинах и с построением обучаемых систем [1, 2]. Написанные от руки различными почерками знаки одного смысла многократно предъявляются обучаемой системе, к-рая в результате обучения относит их к одному классу. Обучаемая система или ее модель, в общем случае, содержит: 1) фоточувствит. воспринимающую сетчатку, позволяющую разложить предъявляемое изображение на отдельные элементы, 2) ассоциативные элементы или логич. цепочки, связанные системой связей, и 3) выходные реагирующие элементы, относящие преобразованное входное изображение к определ. классу. Обучаемая система может улучшать свои хар-ки в процессе последоват. испытаний благодаря поощрению, к-рое использует значения внутр. весов для видоизменения системы после каждого испытания. Моделирующая программа АДАПТ-2 [2] распознает рукописные знаки лат. алфавита, представленные матрицей 64×64 элемента, с вероятностью 94% при обучении в 40 попыток на букву.

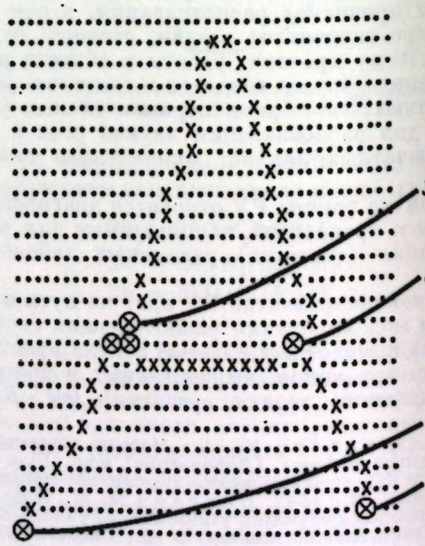
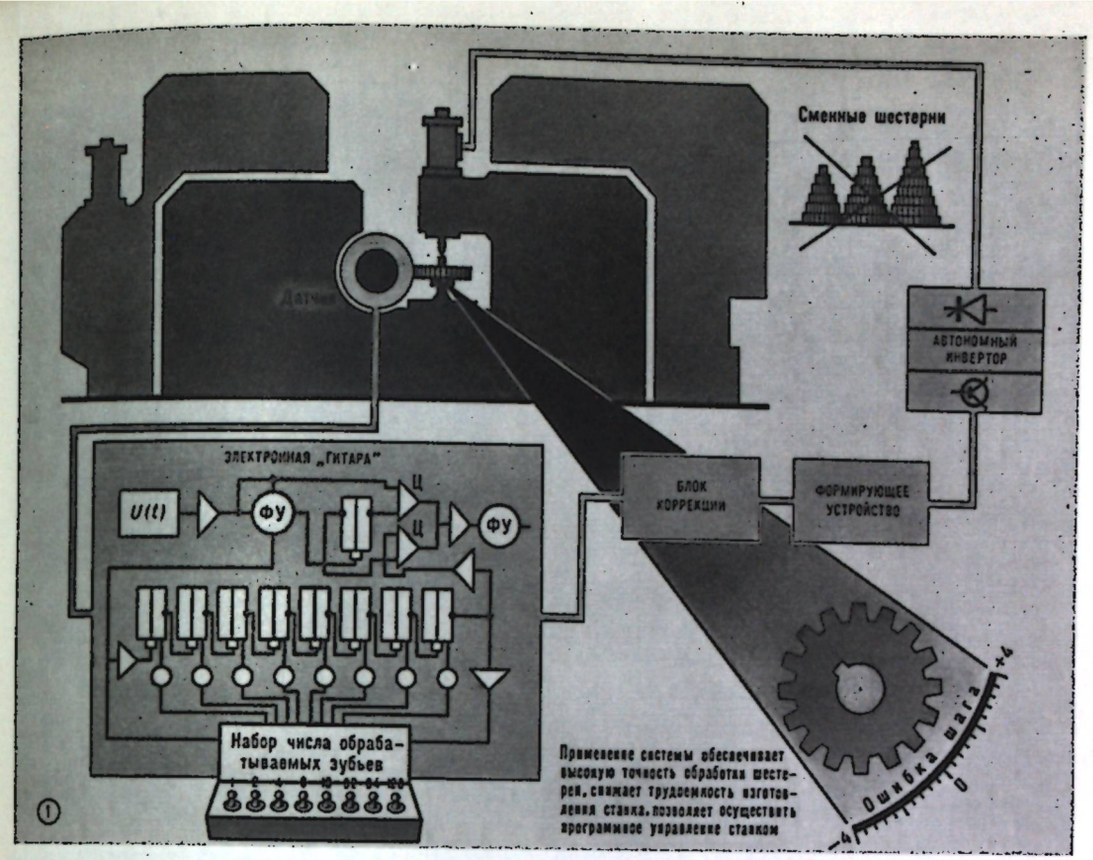
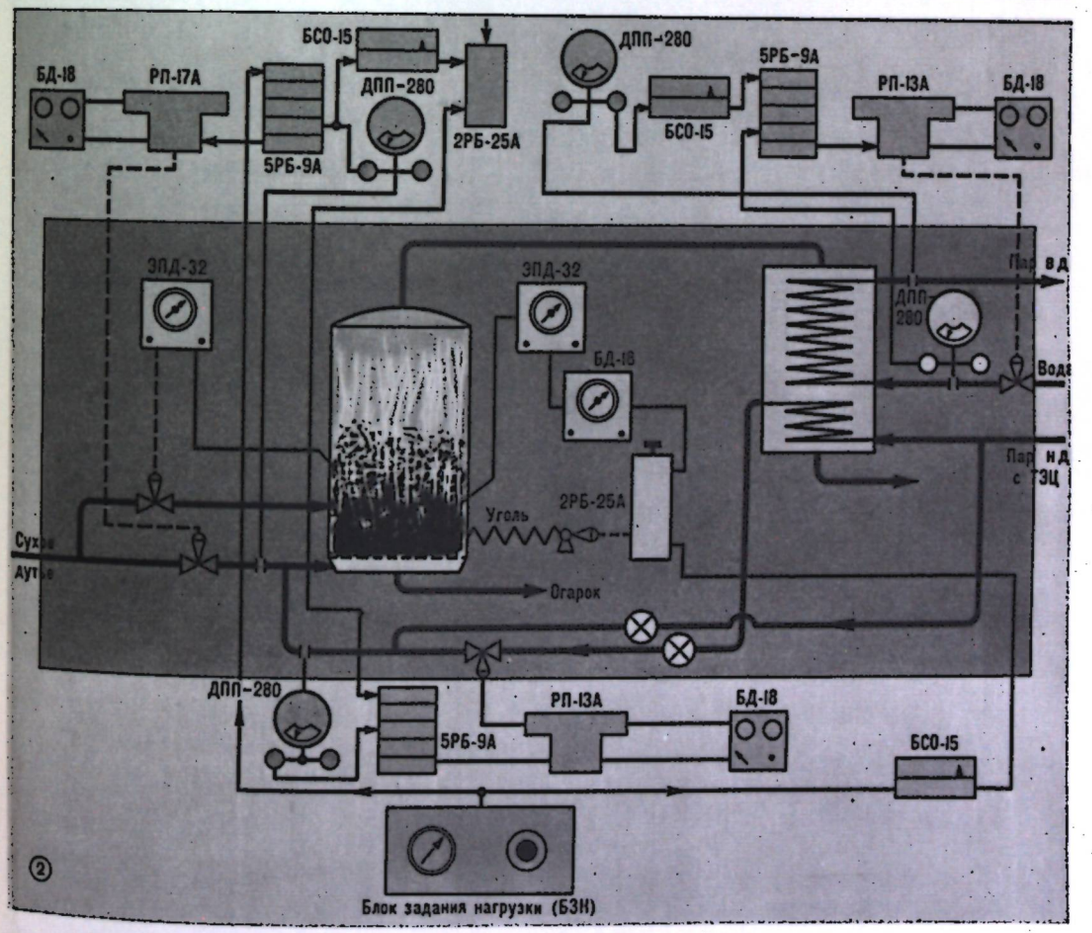


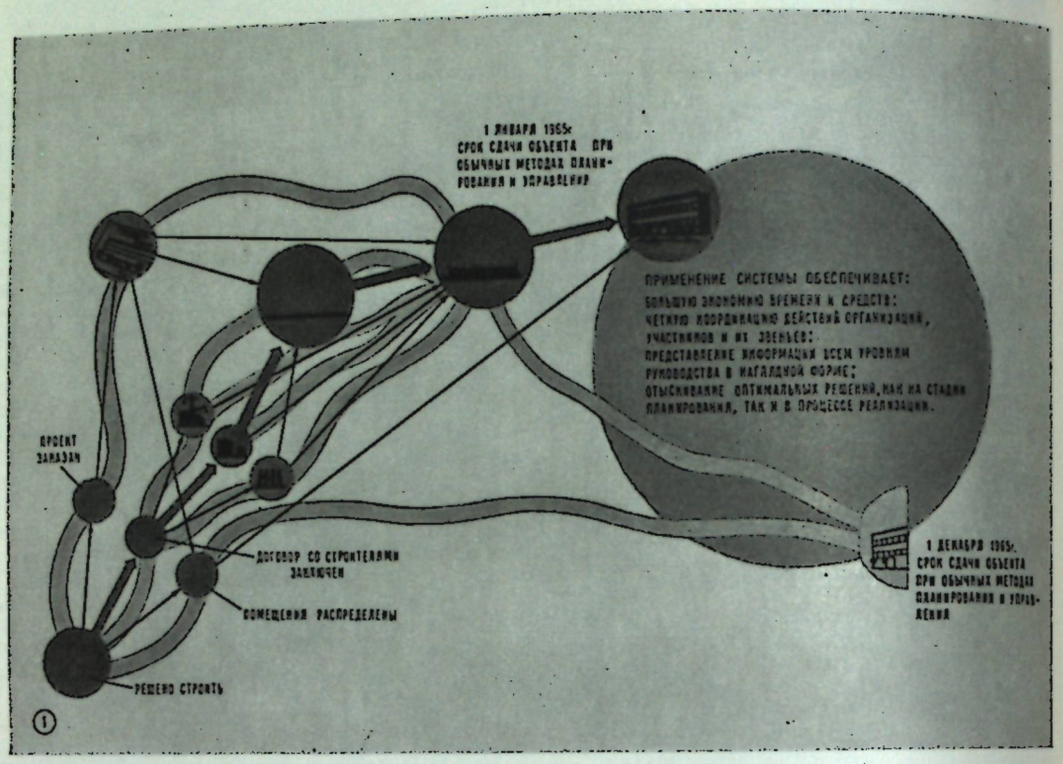
Рис. 1. Определение узловых точек в букве *А* (цифрами обозначены номера соответствующих точек в растре).

Ведутся также работы по созданию общих методов распознавания, позволяющих распознавать большое количество вариантов шрифтов вплоть до рукописных знаков [3—6].





1. Синхронно-следящая система с переменным коэффициентом передачи в зубообрабатывающих станках. 2. Система комплексного авторегулирования процесса газификации в кипящем слое. Регулятор нагрузки управляет системами регулирования дутья, топлива, температуры. Реализована на Чирчикском электрохимкомбинате. Системы разработаны в Институте автоматики и телемеханики (технической кибернетики).



1. Система сетевого планирования и управления комплексной операцией. 2. К ст. Распознавание образов. Обучение автоматов распознаванию образов.

Эти методы основаны на выделении таких характерных признаков изображения знака, к-рые не зависят от его размеров, стиля, поворота и многих дефектов печати или написания. Несмотря на большое разнообразие вариантов начертаний, знак одного смыслового значения имеет свою графич. хар-ку (графему), определяемую исторически сложившимся способом его написания. Задачей метода распознавания является выделение этой графич. основы в том или ином виде и абстрагирование от признаков, привносимых индивидуальностью письма.

В квазитопологич. методе распознавания [3] выделяются топологич. признаки построения знака (количество точек ветвлений и порядок этих точек, т. е. количество исходящих линий, рис. 1), и по этим признакам осуществляется основное разделение данного множества знаков на классы. Знаки внутри класса

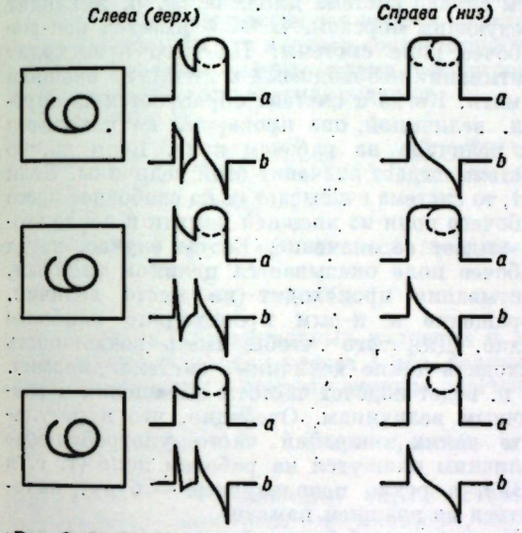


Рис. 2. Дифференц. хар-к и цифры *6* при обходе ее контура слева и справа (для нескольких начертаний): *a* — огибающая контура, *б* — дифференц. кривая.

разделяются при помощи дополнит. признаков (наклон и кривизна линий и т. д.). В методе слежения за контуром знака [5] выделяются дифференц. признаки построения знака, т. е. моменты изменения наклона линий (рис. 2). В ряде др. методов выделяются отдельные элементы геометрич. формы знака и их взаимосвязь (прямые и наклонные линии, овалы, впадины, концевые точки и т. д., рис. 3) и по их сочетанию составляется описание знака [7]. Несмотря на очевидные достоинства этих методов, ни один из них не используется для практич. распознавания алфавитной информации; т. к. они не дают необходимой надежности различения между знаками алфавита, в той или иной степени накладывают ограничения на способ написания, требуют длит. времени для анализа знаков и в технич. воплощении сложны и громоздки.

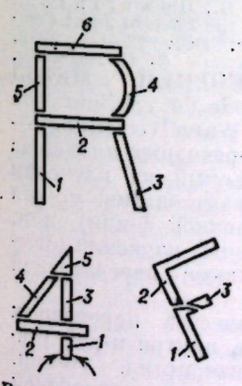


Рис. 3. Пример разложения знаков *R*, *4*, *F* на отдельные элементы.

Делаются также попытки Р.р.т., подготовленных с использованием принудит. стилизации знаков при их написании. Знаки пишутся вокруг 2 или 4 точек, являющихся началом осей распознавания [8], и распознаются по количеству и месту пересечения с осями. Разработан прибор — стилятор, к-рый читает цифры в процессе их написания спец. карандашом на плате с контактными шинами, расположенными по осям распознавания. На аналогичном принципе построено устройство для распознавания рукописных слов. Оно позволяет распознавать десять слов (наименования цифр от 0 до 9) в процессе написания их без отрыва руки от спец. пластины. Дополнит. признаком различения является порядок пересечения осей распознавания при слитном написании слов. Эти устройства имеют весьма огранич. применение, в осн. демонстрационно-рекламного характера.

Идут также [9] по пути создания искусств. рукописного текста из набора отдельных базовых штрихов, соединенных в соответствии с определ. правилами, используемыми как для построения буквы, так и для соединения букв в слове (рис. 4). Построенная из штрихов рукопись очень близко аппроксимирует человеч. письмо. Такой процесс, по-видимому, может быть в дальнейшем использован как осн. принцип в Р.р.т.



Рис. 4. Последовательность базовых штрихов, составляющих слово «globe».

Большинство существующих методов распознавания, включая обучаемые системы, относится пока к распознаванию отдельных знаков и не решает проблемы Р.р.т. в целом. Прогресс в решении этой проблемы зависит от развития работ по методам распознавания образов вообще и от совершенствования технич. средств электроники.

Решение проблемы Р.р.т. позволит повысить эффективность использования вычислит. машин, т. к. человек сможет общаться с машиной в процессе ее работы, вводя написанные от руки программы или данные. При помощи «читающих автоматов» можно будет автоматизировать запись справочных материалов в электронную память информационно-логич. машин, к-рая в перспективе оценивается миллиардами слов, автоматизировать ввод переводимых текстов в переводческие машины и этим резко повысить их производительность, автоматизировать процесс сортировки писем на почтах, процесс типографского набора, процесс обработки различного рода банковских документов. Кроме того, будет решена задача создания читающего устройства для слепых и многие др. спец. задачи.

Лит.: 1) Hay J. C., Martin F. C., Wightman C. W., The mark I perceptron-design and performance, «IRE Internat. Convent. Rec.», 1960, pt. 2, p. 78—87; 2) Roberts L. G., Pattern recognition with an adaptive network, там же, p. 66—70;

3) Гармаш В. А., Переверзев-Орлов В. С.; Цирлин В. М., О квазитопологическом способе распознания букв, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 3; 4) Taylor W. K., Electrical simulation of some nervous system functional activities, в кн.: Information theory, L., 1956; 5) Sprick W., Ganzhorn K., An analogous method for pattern recognition by following the boundary, в кн.: Information precessing. Proc. of the Internat. Conference on information processing, Paris, 15—20 June 1959, P.— Münch.— L., 1960; 6) Clowes M. B., Parks J. R., A new technique in automatic character recognition, «Comput. J.», 1961, v. 4, № 2, p. 121—28; 7) Grimsdale R. L., Billingham J. M., Character recognition by digital computer using a special flying-spot scanner, там же, p. 129—136; 8) Dimond T. L., Devices for reading handwritten characters, в кн.: Proc. of the EJCC. Wash., Dec. 9—13, 1957, N. Y., 1958, p. 232—37; 9) Murray E., Handwriting and pattern recognition, «IRE Trans. Inform. Theory», 1962, v. I, T—8, № 2, p. 160—67.

М. Л. Аврух.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАМЯТИ (storage distribution; répartition de la mémoire; Speicherbelegung) — установление соответствия между обрабатываемой информацией и ее расположением в ЗУ ЦВМ. Р. п. предполагает отведение при программировании определ. мест в ЗУ для программы, нач. данных и промежуточных результатов. Осн. требование к Р. п.: величины, помещенные в нек-рые ячейки ЗУ и необходимые для дальнейших вычислений, не должны «стираться» др. величинами (т. е. эти ячейки не должны использоваться для хранения др. величин). Также важна экономичность Р. п., позволяющая сократить необходимый объем памяти и время решения задачи.

Если объем задачи относительно невелик, т. е. программа, нач. данные и промежуточные результаты целиком помещаются в оперативном ЗУ (ОЗУ) машины, то задача Р. п. оказывается весьма простой. В данном случае все величины можно расположить в оперативной памяти подряд, помещая каждую следующую величину в следующую свободную ячейку.

Для более сложных задач, требующих большего объема памяти, необходимо применять спец. методы экономии. Выделяют т. н. совместимые величины, т. е. такие величины, к-рые могут «стирать» друг друга в памяти. Величина A считается совместимой с величиной B, если к моменту появления A значение B уже не нужно для дальнейших вычислений. Благодаря этому A может быть расположена в ячейке памяти, занятой ранее B, с к-рой она совместима. Очевидно, что общий объем необходимой памяти при этом уменьшается. При распределении памяти программист выделяет совместимые величины, исходя из конкретных условий задачи. В связи с развитием систем автоматич. программирования делаются попытки формализовать процесс выделения совместимых величин и разработать алгоритмы автоматич. Р.п., дающие результаты, близкие к оптимальным.

Наконец, для очень больших задач размещение обрабатываемой информации только в ОЗУ ЦВМ оказывается уже невозможным, и в связи с этим часть информации помещается во внешней памяти (напр., на магнитных барабанах или лентах). При этом к тому моменту, когда эти величины потребуются для вычисления, они должны быть перенесены в оперативную память. В данном случае при Р. п. желательно так расположить информацию, чтобы по возможности уменьшить число обращений к внешней памяти и тем самым минимизировать время решения задачи. С этой целью величины, к к-рым часто обращаются при вычислении, стремятся поместить в ОЗУ, а величины, запрашиваемые более редко,— во внешнюю память. Т. о., при Р. п. программист руководствуется данными о частоте обращения к разным величинам. Эти же данные должны быть использованы и при автоматич. программировании. Применяются следующие 2 метода: 1) системе автоматич. программирования заранее сообщают данные о частоте обращения к разным величинам (в простейшем случае в виде указаний «часто», «редко») и система распределяет память в соответствии с данными указаниями; 2) система сама определяет частоту обращения к разным величинам в процессе решения задачи и, в соответствии с этим, производит переорганизацию Р. п., приближая процесс к оптимальному. Такое Р. п. наз. динамическим. В простейшем случае система динамич. Р. п. выглядит следующим образом. В ОЗУ имеется нек-рое рабочее поле системы. На него происходит считывание необходимых величин из внешней памяти. Когда к системе обращаются за определ. величиной, она проверяет, не находится ли величина на рабочем поле. Если да, то система выдает значение этой величины. Если нет, то система считывает ее на свободное место рабочего поля из внешней памяти и после этого выдает ее значение. В том случае, когда рабочее поле оказывается целиком занятым, считывание происходит на место величин, обращение к к-рым происходило наиболее редко. Для того чтобы иметь возможность находить такие величины, система динамич. Р. п. ведет подсчет частоты обращения к различным величинам. Очевидно, что в результате таких операций часто употребляемые величины окажутся на рабочем поле (т. е. в ОЗУ), а редко используемые — будут находиться во внешней памяти.

Первый способ более экономен (меньше время решения задачи), а второй — более универсален и прост. Для ускорения работы системы динамич. Р. п. в нек-рых машинах она реализована аппаратно (напр., в машине «Атлас», Англия).

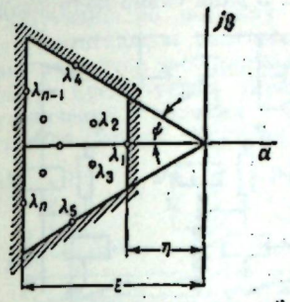
Лит.: 1) Лавров С. С., Об экономии памяти в замкнутых операторных схемах, «ЖВМ и МФ», 1961, т. 1, № 4; 2) Мартынюк В. В., Об экономном распределении памяти, там же, 1962, т. 2, № 3; 3) Kilburn T., Payne R. B., Howarth D. J., The Atlas supervisor, Proc. of the Eastern Joint Computer Conference. Washington. Dec. 12—14, v. 2, N. Y., 1961.

С. С. Камынин.

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОРНЕЙ МЕТОД (root-locus method; méthode de configuration des racines; Methode der Wurzelverteilung) — метод оценки качества переходных процессов в линейных САР, основанный на изучении распределения корней характеристич. ур-ния системы (полюсов передаточной ф-ции) или, в более общем случае, на изучении распределения нулей и полюсов передаточной ф-ции.

Косвенной оценкой качества переходных процессов служит область, внутри к-рой располагаются корни характеристич. ур-ния. Наиболее часто ее ограничивают равнобокой трапецией, на сторонах и основаниях к-рой расположено хотя бы по одному корню (рис.). Эту область вполне определяют: *устойчивости степень* η, колебательность μ, абс. значение вещественной части наиболее удаленного от мнимой оси корня ξ. Для

нек-рых частных случаев распределения корней характеристич. ур-ния и типов нача льных значений, зная η, μ и ξ, можно получит ь приближенные оценки качества переходных процессов. Распределение корней классифицируется: класс 0 — все корни вещественные; класс 1 — имеется только одна пара комплексно сопряженных корней; класс 2 — имеются две пары комплексно сопряженных корней и т. д. Для класса 0 и 1 при начальных условиях $x(0)=1$



$$x'(0)=x''(0)=\ldots x^{n-1}(0)=0$$

получены ур-ния мажоранты $v(t)$ и миноранты $u(t)$ [кривых, охватывающих график переходного процесса сверху и снизу соответственно], к-рые позволяют оценить время регулирования и величину перерегулирования.

Для класса 0:

$$v(t)=e^{-\eta t}\left(1+\eta t+\frac{\eta^2 t^2}{2}+\ldots+\frac{\eta^{n-1}t^{n-1}}{(n-1)!}\right);$$

$$u(t)=e^{-\eta t}.$$

Для класса 1 ур-ние $v(t)$ остается прежним, а

$$u(t)=-v(t).$$

При указанных начальных условиях и для распределения корней класса 1 абс. величина макс. отклонения в сторону отрицат. значений $x(t)$ не больше $e^{\frac{\pi}{\mu}}$. Если $x_0=x(0)\neq 1$, то $x_{\text{макс}}\leqslant x_0 e^{\frac{\pi}{\mu}}$. Разработаны также способы определения мажорант и минорант, более тесно охватывающие кривую переходного процесса, чем указанные выше. Для построения этих кривых, кроме η, требуется определение величины ξ (задача определения ξ может быть сведена к задаче отыскания η).

Для систем с распределением корней 2-го и более высоких классов выражения для оценок качества переходных процессов получаются чрезмерно сложными и не имеют практич. значения. Оценка качества переходных процессов только по корням характеристич. ур-ния часто неправомерна. Так, напр., одинаковые характеристич. ур-ния могут иметь статич. и астатич. системы, тогда как их переходные процессы при ступенчатом возмущении принципиально отличаются друг от друга. Нек-рое расширение границ применимости таких оценок заключается в вычислении начальных условий, при к-рых свободные колебания в системе будут соответствовать переходному процессу при ступенчатом возмущении и нулевых начальных условиях. Однако начальные условия получаются достаточно сложными и оценка качества процесса по корням характеристич. ур-ния усложняется.

На качество переходных процессов оказывает существ. влияние распределение нулей передаточной ф-ции $\frac{M(s)}{D(s)}$ [корней ур-ния $M(s)=0$]. Получены следующие рекомендации по выбору расположения нулей и полюсов $\frac{M(s)}{D(s)}$:

1) полюсы передаточной ф-ции системы следует удалять от области расположения полюсов спектра внешнего воздействия; 2) нули и полюсы передаточной ф-ции необходимо располагать так, чтобы значение передаточной ф-ции $\frac{M(s)}{D(s)}$ в полюсах спектра воздействия ϱ_k было минимальным в случае режима стабилизации или т. о., чтобы $\frac{M(\varrho_1)}{D(\varrho_1)}\approx\frac{M(\varrho_2)}{D(\varrho_2)}\approx\ldots\approx$const в случае режима слежения; 3) нули передаточной функции $\frac{M(s)}{D(s)}$ целесообразно размещать вблизи ее полюсов, расположенных ближе всего к мнимой оси. Эти общие рекомендации позволяют ориентироваться в выборе расположения нулей и полюсов передаточной ф-ции относительно заданной области расположения полюсов спектра воздействий.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Цыпкин Я. З. и Бромберг П. В., О степени устойчивости линейных систем, «ИАН СССР. ОТН», 1945, № 12; Фельдбаум А. А., О распределении корней характеристического уравнения систем регулирования, «АиТ», 1948, т. 9, № 4.

В. Ю. Рутковский.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ электрический (distributor; distributeur; Verteiler, Zuteilwähler, Vorwähler) — коммутац. устройство, осуществляющее последовательное во времени переключение электрич. цепей и используемое чаще всего для последоват. воздействий от одной цепи к нескольким или наоборот. Р. делятся на: синхронные (непрерывные) с непрерывным периодич. переключением цепей; старт-стопные, запускаемые стартовым сигналом и прекращающие переключение после стопового сигнала или после определ. цикла, и шаговые, переходящие из одной позиции в др. при подаче управляющих импульсов. Последние разделяются на Р. с прямым (переход при импульсе), обратным (переход во время паузы) и двойным (переход как при импульсе, так и при паузе) ходами. По виду исполнит. органов Р. делятся на щеточные (с контактами скольжения), кулачковые и релейные (с разрывными контактами) и бесконтактные. Конструктивно Р. выполняется в виде либо электромеханич. или электровакуумного прибора, либо устройства, состоящего из отдельных электромеханич., электронных или ионных элементов, связанных общей системой.

Щеточный Р. (электромеханич. искатель) состоит из контактного поля (статора)— контактных ламелей (штифтов, струн и т. п.), щеток, укрепленных на роторе и передвигающихся по ламелям, и привода (движущего механизма) — индивидуального или группового. Индивид. привод бывает: шаговый (см. *Искатель шаговый*) с прямым (рис. 1, *а*) или обратным (рис. 1, *б*) ходом (щетки передвигаются при срабатывании или отпускании электромагнита); заводной с анкерным спуском (рис. 1, *в*) с двойным ходом под действием заводной пружины или силы тяжести; моторный (рис. 1, *г*) с электродвигателем. У Р. с групповым (машинным) приводом (рис. 1, *д*) щетки приводятся в движение при сцеплении ротора Р. с непрерывно вращающимся валом, общим для группы Р. Щеточные Р. имеют от одной до 6—8 щеток, осуществляющих одно (круговое или прямолинейное) или два (подъемно-вращательное, вращательно-радиальное и т. п.) движения. Выпускаются с числом позиций от 10

до 500. Шаговые Р. имеют скорость до 40—60 шагов в сек., моторные — до 100—150, машинные — до 15—20.

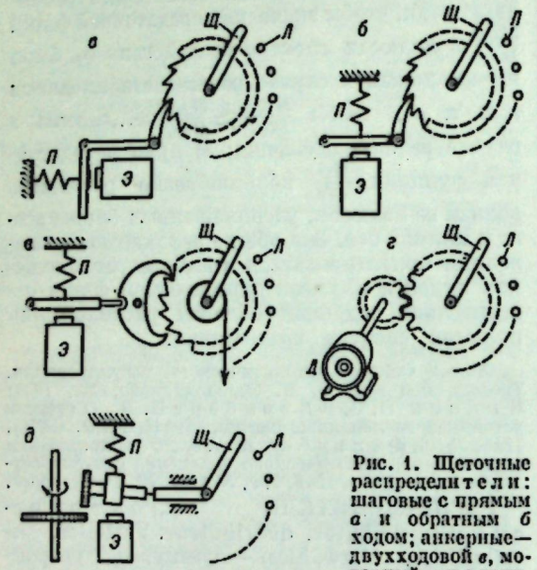


Рис. 1. Щеточные распределители: шаговые с прямым *а* и обратным *б* ходом; анкерные — двухходовой *в*, моторный *г* и с групповым приводом *д*; *Щ* — щетка; *Л* — ламель контактного поля; *Э* — электромагнит; *Д* — электродвигатель; *П* — пружина.

Кулачковые Р. отличаются от щеточных тем, что их контактное поле состоит из контактов релейного типа, замыкающихся под действием кулачков, расположенных на роторе Р.

Релейный Р. состоит из набора электромагнитных реле. Каждой позиции Р. соответствует либо рабочее состояние одного из реле (некодированный Р.), либо комбинация рабочих состояний реле (кодированный Р.). Число n реле для получения N позиций в первом случае будет $n \geqslant N$, а во втором определяется из неравенства $2^n \geqslant N$. Каждая выходная цепь некодированного Р. содержит контакт одного реле, а кодированного — всех реле. На рис. 2 даны схемы шаговых некодированных релейных Р., меняющих свои позиции под воздействием импульсов, принимаемых реле *И* с прямым (рис. 2,*а*) и двойным (рис. 2, *б*) ходом. На рис. 3 дана схема кодированного Р. Синхронная работа релейного Р. осуществляется либо за счет подачи непрерывной серии импульсов (напр., от источника перем. тока), либо за счет последовательного воздействия одного реле Р. на другое.

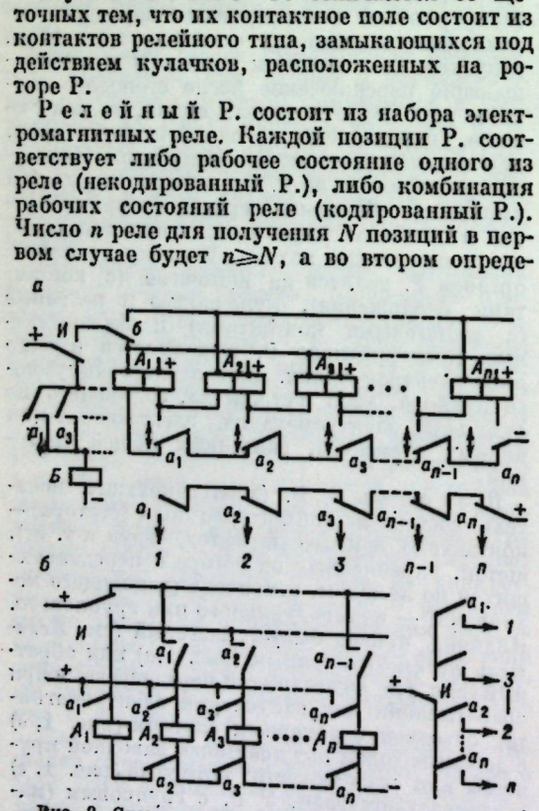


Рис. 2. Схемы релейных некодированных распределителей с прямым *а* и двойным *б* ходом; *И* — контакт импульсного реле; A_1—A_n — счетные реле распределителя.

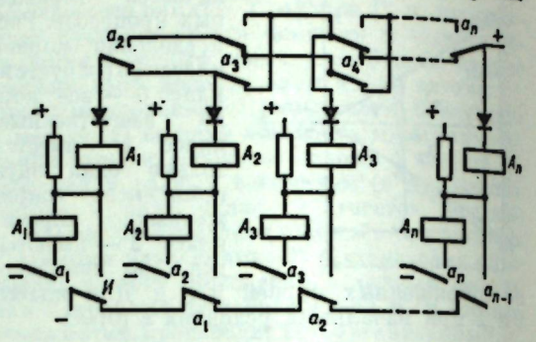


Рис. 3. Схема кодированного релейного распределителя.

Для бесконтактных Р. используются линии задержки, многоэлектродные переключающие электронные или ионные лампы и др. элементы. При последоват. соединении линий задержки (рис. 4) имеет место фактически старт-стопный Р., у к-рого при подаче на вход кратковрем. импульса на выходах импульсы будут появляться последовательно.

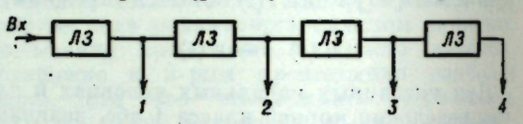


Рис. 4. Распределитель с линиями задержки.

Электроннолучевой Р. использует электроннолучевой коммутатор (см. *Распределитель электроннолучевой*). В этом случае в качестве коммутатора может быть многоэлектродная газоразрядная трубка (типа *декатрона*) (рис. 5), в к-рой разряд происходит только между анодом *А* и только одним из катодов *К*. Если подать на вспомогат. катоды *ВК* импульс отрицательного напряжения, то разряд перейдет с катода *К* на соседний *ВК*, а после окончания импульса — на следующий катод *К*. Подобные Р. обеспечивают работу со скоростью 10^3—10^6 шагов в сек.

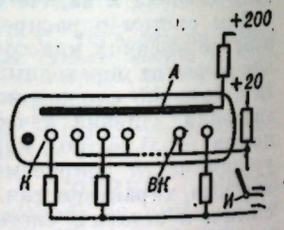


Рис. 5. Распределитель: с декатроном; *И* — контакт импульсного реле.

Р. на бесконтактных запоминающих элементах строятся аналогично релейным. На рис. 6, *а* показана схема Р. на магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса, в к-ром в состоянии *1* находится только один из сердечников. На входы *А* и *Б* поступают попеременно управляющие импульсы. При каждом таком импульсе происходит перемагничивание в состояние *1* следующего сердечника и выдача импульса на выходе соответствующему сердечнику, к-рый ранее находился в состоянии *1*. На рис. 6,*б* показана аналогичная схема Р. на тиратронах с холодным катодом $Л_1$—$Л_n$. В таком Р. может быть возбужден только один тиратрон. При поступлении положит. импульса на вход возбудится следующий по порядку тиратрон, т. к. на его зажигающем электроде входное напряжение сложится с напряжением на сопротивлении r предыдущего тиратрона, а вследствие увеличения падения напряжения на R гасится первый тиратрон. Т. о., при каждом

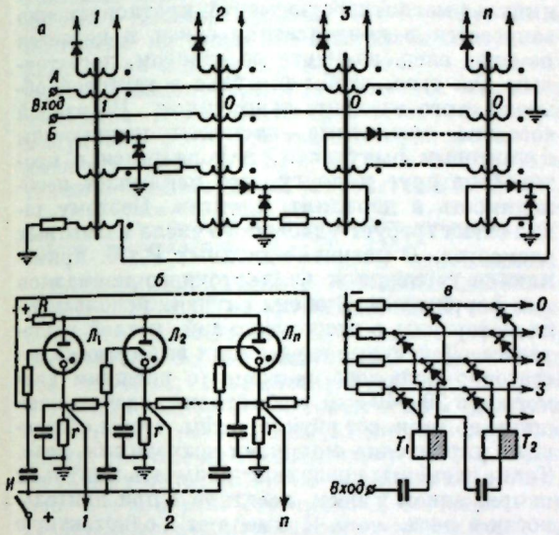


Рис. 6. Бесконтактные распределители: *а* — на ферритах с прямоугольной петлей гистерезиса; *б* — на тиратронах; *в* — на триггерах.

импульсе Р. переходит в следующую позицию. На рис. 6, *в* приводится схема Р. на триггерах со счетными входами, работающих по двоичному коду. На выходе стоит вентильный дешифратор. Скорость работы бесконтактных Р. доходит до 10^6 шагов в сек.

Р. находят широкое применение в устройствах автоматики, телемеханики и связи для: а) отыскания (избирания) контролируемого объекта; б) преобразования сигналов, распределенных во времени, в сигналы, распределенные в пространстве, и наоборот; в) счета числа импульсов и т. п.

Лит.: Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959; Мановцев А. П., Раввин Г. И., Основы телеуправления и телеконтроля, М.— Л., 1959; Горянинов О. А., Райнес Р. Л., Телеуправление, М.— Л., 1954; Мархай Е. В., Рогинский В. Н., Харкевич А. Д., Автоматическая телефония, М., 1960; Декабрун И. Е., Тедер Н. Р., Справочник по элементам автоматики и телемеханики, в. 3, М.— Л., 1960.

В. Н. Рогинский.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ (hydraulic distributor; distributeur hydraulique; hydraulischer Vorwähler) — устройство для включения, прекращения или изменения направления потока рабочей жидкости, подаваемой к различным устройствам гидравлич. системы. Наиболее часто применяется для распределения потока рабочей жидкости, подаваемой от насоса к гидродвигателю, для пуска, останова и реверсирования последнего. Различают крановые, золотниковые и клапанные Р. г. Управление рабочим элементом Р. г. может быть непосредственным (ручным или от кулачков) и дистанционным (гидравлич., пневматич. или электрическим). В крановых Р. г. изменение направления потока производится поворотом цилиндрич. или конич. пробки. При давлениях жидкости больше 200 *кг/см²* и необходимости высокой герметичности применяют клапанные Р. г. При больших проходных сечениях для уменьшения усилия, необходимого для подъема клапанов, их делают разгруженными.

Лит.: Башта Т. М., Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств, М., 1961; Руководящие материалы по гидрооборудованию станков. Гидравлическая аппаратура ручного, путевого и дистанционного управления, 3 изд., М., 1958; Руководящие материалы по гидрооборудованию станков, вып. 7, М., 1961; Эрист В., Гидропривод и его промышленное применение, пер. с англ., М., 1963.

А. И. Малырин.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ СЖАТОГО ВОЗДУХА (воздухораспределитель, пневмораспределитель) (compressed air distributor; distributeur d'air comprimé; Druckluftverteiler) — устройство для включения, прекращения или изменения направления потока воздуха, подаваемого к различным устройствам пневматич. системы (см. *Пневмопривод поршневой автоматизированный*, *Пневмопривод следящий поршневой*). По конструкции механизмов, открывающих и закрывающих впускные и выхлопные отверстия, различают Р. с. в. клапанные, золотниковые и крановые. При дистанционном управлении на Р. с. в. подается электрич. или пневматич. сигнал.

На рис. 1 показана принципиальная схема широко применяемого двухкаскадного мембранного Р.с.в. с электрич. управлением. В исходном положении под действием пружин *1* клапаны *2* электропневматич. вентиля (ЭПВ, слева) и Р.с.в. (справа) перекрывают соответствующие впускные отверстия. Мембранная камера через отверстие *3* в ЭПВ и цилиндр пневмопривода через отверстия *6* и *3* в Р.с.в. соединены с атмосферой. При включении катушки электромагнита *4* клапан *2* ЭПВ перемещается вниз, под действием сжатого воздуха мембрана *5* перемещает вниз главный клапан *2* Р.с.в., и полость цилиндра пневмопривода через отверстия *6* и *7* соединяется с воздушной магистралью.

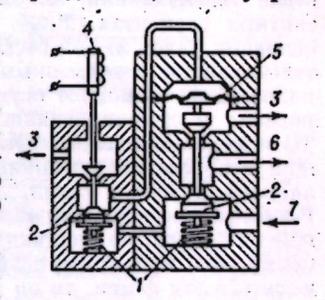


Рис. 1. Распределитель сжатого воздуха клапанного типа: *1* — пружины; *2* — клапаны; *3* — в атмосферу; *4* — электромагнит; *5* — мембрана; *6* — к цилиндру; *7* — от магистрали питающего воздуха.

В поршневых следящих пневмоприводах в качестве Р.с.в. чаще всего используют цилиндрич. золотники. Схема двубурточного цилиндрич. золотника с мембранным приводом пред-

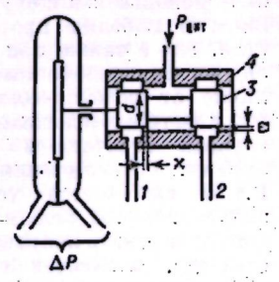


Рис. 2. Двубурточный цилиндрич. золотник: ΔP — управляющий сигнал, равный разности давлений, подаваемых к мембране; $P_{пит}$ — давление в магистрали питающего воздуха; *1*, *2* — линии, ведущие соответственно к левой и правой полостям рабочего цилиндра; *3* — шток; *4* — втулка; *d* — диаметр золотника; *x* — перекрытие; *ε* — зазор между штоком и втулкой (при $d = 10$—25 *мм* $\varepsilon < 0{,}010$ *мм*).

ставлена на рис. 2. При смещении штока золотника влево, воздух из питающей магистрали поступает по линии *1* к левой полости силового цилиндра, в то время как правая полость силового цилиндра (линия *2*) соединяется с атмосферой и наоборот. Главный недостаток цилиндрич. золотников — трудность обработки внутр. поверхностей втулки малого диаметра. Поэтому получили распространение плоские золотники, технология изготовления к-рых значительно проще. Для этого же создают Р. с. в. клапанного типа с конич., шариковыми и др. клапанами.

Лит.: Кожевников С. Н., Аппаратура и механизмы гидро-, пневмо- и электроавтоматики металлургических машин, М.— Киев, 1961; Бежанов Б. Н., Пневматические механизмы, М.— Л., 1957; Гидравлические и пневматические силовые системы управления, пер. с англ., М., 1962.

В. В. Волков, В. Н. Дмитриев, М. А. Костенко.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ (contactless distributor in remote control; distributeur de télémècanique sans contacts; kontaktloser fernwirktechnischer Vorwähler) — устройство, осуществляющее поочередное распределение импульсов по отдельным электрич. цепям в системе телемеханики; выполняется на бесконтактных элементах. Р.т.б. служит одним из основных узлов любой бесконтактной системы телемеханики с временны́м разделением сигналов. С его помощью осуществляются кодирование и декодирование в системах ТУ—ТС и кодоимпульсного ТИ. Р.т.б., участвующий в образовании импульсного кода, посылаемого в канал связи, наз. передающим; Р.т.б., распределяющий импульсы, поступающие из канала, по индивидуальным выходным цепям, наз. приемным; если в Р.т.б. совмещаются обе эти ф-ции, то он наз. приемно-передающим. Одна из основных хар-к Р.т.б.— энергия выходных импульсов. Наибольшая энергия требуется при работе приемного Р.т.б. непосредственно на выходные бесконтактные или контактные реле, меньшая — на элементы промежуточной памяти и при работе передающего Р.т.б. на передающий усилитель импульсов. Поэтому мощность приемно-передающих Р.т.б. определяется в основном приемными выходными цепями. Скорость переключения Р.т.б. зависит от пропускной способности канала связи и лежит в пределах от десятков *гц* до неск. *кгц*, причем верхний предел может быть использован в случае работы по физ. линиям в кабелях протяженностью не более неск. *км*, а также при передаче телемеханич. сигналов по телефонным каналам связи. В отличие от релейно-контактных распределителей и шаговых искателей, Р. т. б. в большинстве случаев работает в режиме непрерывного циклич. переключения. Для этого ведущий Р.т.б. снабжается устройством автоматич. запуска. Такой режим позволяет непрерывно контролировать исправность Р.т.б. и большинства др. элементов системы телемеханики.

Р.т.б. разделяются по типу используемых в них элементов. Наибольшее применение получили магнитно-диодные, феррит-транзисторные и транзисторные распределители.

Магнитно-диодные Р. т. б. строятся, как правило, по принципу кольцевых счетчиков импульсов с непосредств. отсчетом и собираются на магнитно-диодных ячейках. Каждая ячейка содержит две выходные цепи, одна из к-рых служит для воздействия на следующую ячейку, другая — для воздействия на внешние цепи распределителя. Для систем большой емкости (более ста выходных цепей) применяются матричные Р.т.б., состоящие из двух кольцевых распределителей и матричного дешифратора на диодных схемах совпадения. Применяются две основные схемы магнитно-диодных Р.т.б.: однотактная и двухтактная. В первой выходной импульс магнитного элемента кратковременно запасается в конденсаторе связи и подается на вход след. элемента со сдвигом, достаточным для того, чтобы импульс в тактовой обмотке этого элемента закончился. Во второй соседние магнитные элементы подключены к тактовым импульсам, находящимся в противофазе друг к другу, что исключает необходимость в дополнит. сдвигах. Поэтому такая схема требует удвоенного числа магнитных элементов. В магнитно-диодных Р.т.б. применяются сердечники из ленточного пермаллоя или ферритовые. В обоих случаях используются материалы с прямоугольной петлей гистерезиса. Ленточные сердечники выбираются достаточно большого размера (с внешним диаметром в 20—40 *мм*), с обмотками, насчитывающими до неск. сот витков, с тем, чтобы обеспечить управление мощными выходными реле. Такие элементы позволяют получать импульсы напряжением в неск. десятков *в* при длительности в неск. *мсек*. Применяют и однотактную и двухтактную схемы. Питание таких Р.т.б. возможно непосредственно от сети пром. частоты, с использованием полуволны перем. тока в качестве тактовых импульсов. Эти Р.т.б. представляют собой блоки в пром. устройствах телемеханики ТМЭ-1. Питание Р.т.б., выполненных на ферритовых сердечниках (марок ВТ-2, К-65, ИМ-4, с внешним диаметром 10 *мм* или 7 *мм*), осуществляется с помощью генераторов и формирователей импульсов. Феррит-диодные Р.т.б., как правило, строятся по двухтактной схеме. Они потребляют малую мощность, имеют небольшие размеры и невысокую стоимость. Применяются в пром. системах телемеханики типа БТФ, ВРТФ и др. Возможно построение Р.т.б. на сердечниках с плохой прямоугольностью петли гистерезиса (напр., из стали Э-310). Это позволяет получить устройство с достаточно мощными выходными импульсами без дефицитных и дорогих ленточных материалов. В таком Р.т.б. обязательно должна быть предусмотрена компенсация помех, возникающих за счет непрямоугольности петли гистерезиса.

Феррит-транзисторные Р. т. б. также, как и феррит-диодные, разрабатываются в основном по принципу кольцевых пересчетных схем с непосредств. отсчетом. Одной из наиболее простых является двухтактная схема на ячейках без обратной связи. С целью снижения требования к форме и мощности тактовых импульсов применяют также Р.т.б. на ячейках с положит. обратной связью. Феррит-транзисторные Р.т.б. выполняются как по двухтактной, так и по однотактной схеме и применяются в телемеханич. системах типа БТЦ.

В отличие от схем, использующих магнитные элементы, транзисторные Р.т.б. с очень небольшой емкостью изготовляют по простой кольцевой схеме; наиболее эффективны схемы, к-рые строятся на базе двоичного счетчика с матричным дешифратором. Для

устройств большой емкости используются Р.т.б., выполненные на неск. кольцевых пересчетных схемах с последоват. или паралл. счетом. При последоват. соединении каждый из последующих счетчиков совершает один шаг за полный цикл предыдущего. При паралл. соединении все кольцевые счетчики работают независимо от общего источника импульсов. В обеих таких схемах обычно используются триодные дешифраторы для образования независимых выходных цепей. Р.т.б. могут быть построены на принципе многофазных мультивибраторов или линий задержки, с применением транзисторов или импульсных мостовых элементов. При этом не требуются генераторы импульсов. Р.т.б. на транзисторах используются в устройствах ТУ—ТС типа БНТУ-58, а также в телеавтоматич. устройстве БТА-П-УС.

Лит.: Жожикашвили В. А., Митюшкин К. Г., Элементы и узлы бесконтактных устройств телемеханики, М.— Л., 1962.

Б. А. Жожикашвили.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫЙ (relay-contactor distributor in remote control; distributeur de télémécanique à commutation par contacts; Relaiskontaktverteiler in der Fernwirktechnik) — собирается из отдельных контактных реле, образуя многоэлементную схему; состоит из счетной схемы (СС) и схемы выходных цепей (ВЦ). СС является многотактной, в к-рой реле счетные (РС) отсчитывают в заданной последовательности поступающие на ее вход импульсы, а схема ВЦ фиксирует поочередно их порядковые номера.

Основная ф-ция СС заключается в срабатывании на каждом импульсе (элементе сигнала) только одного соответствующего РС. Для этого включение k-го РС осуществляется только при условии предварит. включения $(k-1)$-го РС и т. д. Это условие выполняется с большой достоверностью, не зависящей в широких пределах от случайных изменений временны́х параметров реле и импульсов, делением РС на четные и нечетные. Разделение осуществляется с помощью двух линий возбуждения — четной *I* и нечетной *II*, управляемых переключающимся контактом *y* (рис. 1). При этом k-е реле, возбудившись на k-ом импульсе, самоблокируется, деблокируя предыдущее, $(k-1)$-е, реле и подготавливая цепь возбуждения $(k+1)$-го реле, к-рое возбудится только на следующем, $(k+1)$-ом, импульсе. Деблокировка предыдущего реле необязательна, и счетные реле могут оставаться на самоблокировке до конца цикла отсчета. Каждая выходная цепь должна существовать только на протяжении фиксируемого ею элемента.

Все схемы Р. т. р.-к. разделяются на двухтактные (двухходовые) и однотактные (одноходовые). Первые отсчитывают импульсы и паузы, вторые — только импульсы (или только паузы); отсюда — Р. т. р.-к. прямого или обратного хода. По режиму состояния счетных реле Р. т. р.-к. обоих типов подразделяют на 2 группы: с самоблокировкой до конца цикла и с пошаговой деблокировкой. Структуры ВЦ создаются независимые и совмещенные с цепями СС, что экономит по одному контакту на реле.

Разделение импульсов производится в двухтактных схемах переключающимся контактом *y* (от генератора импульсов или линейного реле), а в однотактных — контактом спец. разделит. узла (РУ). Структурно одно- и двухтактные схемы полностью идентичны — любая из первых преобразуется во вторую добавлением РУ. Возможны модификации

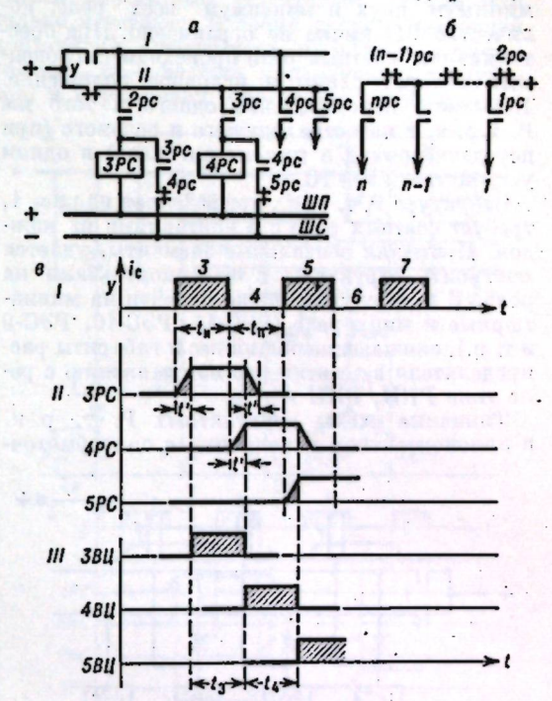


Рис. 1. Принцип действия телемеханич. релейно-контактного распределителя: *а* — счетная схема (*ШП* — шинка питания, *ШС* — шинка самоблокировки, *РС* — реле счета; *pc* — контакт реле счета, *I* и *II* четная и нечетная линии возбуждения); *б* — выходные цепи (n — число реле); *в* — временны́е диаграммы [*I*— переключение контактов ($t_и$ — длительность импульса, $t_п$ — длительность паузы между импульсами, n — порядковый номер импульса, t_c — импульс сигнала); *II* — переключение счетных реле (t', t'' — времена срабатывания и отпускания реле); *III* — импульсы *ВЦ* (t_3, t_4 — длительности образования *ВЦ*)].

схемы Р. т. р.-к. одного типа, к-рые отличаются: 1) количеством обмоток реле; 2) способом деблокировки реле: разрывом цепи удержания нормально закрытыми (*нз*) контактами (что снижает надежность); 3) шунтированием обмотки (приводит к замедлению реле), противотоком по 2-й обмотке; 4) способом самоблокировки реле: через собств. нормально открытый (*но*) контакт, по 2-й обмотке удержания или через сопротивление r без контакта (при больших колебаниях напряжения может происходить ложное срабатывание); 5) включением самостоят. шинок самоблокировки, одной или двух для четных и нечетных счетных реле, или использованием линий возбуждения [в последнем случае обязательно, чтобы время перелета контакта *y* было меньше времени отпускания РС $t_{отп}$ (при управлении от мультивибратора это условие отпадает); контакт *y* без разрыва цепи недопустим по принципу действия СС]; 6) количеством управляющих контактов [одного тройника, двух (*но* и *нз*) или одного *но*]; 7) способом контроля правильности работы по принципу структуры или с помощью внешней схемы.

Р. т. р.-к. дает возможность бесконтактного управления схемой от мультивибратора (триодного) или через тр-р после выпрямления синусоидальными импульсами, что обеспечивает

высокое быстродействие (до многих десятков и сотен шагов в сек.) при достаточной надежности в эксплуатации. Мощность потребления Р. т. р.-к. определяется мощностью минимум двух и максимум всех реле; количество ВЦ ничем не ограничено. При обесточивании счетных реле происходит мгновенный возврат схемы в исходное положение. Возможно использование одного и того же Р. т.р.-к. в качестве ведущего и ведомого (при передаче команд и приеме сигналов) в одном устройстве ТУ—ТС.

Структура Р. т. р.-к., приведенная на рис. 1, требует счетных реле с 5 контактами на каждом. Применяя вентильные элементы, удается построить структуры с 1—2 контактами на реле. В этом случае можно перейти на миниатюрные и микрореле (РЭС-15, РЭС-10, РЭС-9 и т. п.), снижающие общий вес и габариты распределителя в десятки раз по сравнению с реле типа РКН, РПН и т. п.

Типичные схемы двухтактных Р. т. р.-к. в малоконтактном исполнении с однообмоточными РС даны на рис. 2 и 3. Для этих схем при n импульсах в сигнале число шагов равно $2n-1$, а при РС в схеме ВЦ—2 $(n-1)$. Схемы с блокировкой до конца цикла могут быть (рис. 2, *а*, *б*, *в*) построены с одним контактом для СС и одним для схемы ВЦ. На 1-м импульсе (паузе) возбуждается 1 РС, на n-м — реле конца счета (РКС), и схема приводится в исходное состояние деблокировкой всех реле контактом *кс*. В схеме рис. 2, *а* самоблокировка происходит через сопротивление r без участия собственного *но* контакта. Величина r определяется из условия, чтобы при макс. напряжении $u_п$ реле РС не сработало, а при миним. $u_п$ включившееся реле не отпустило. В схеме рис. 2, *б* изображен трансформаторный вход (без контактов); разделение синусоид на четные и нечетные происходит без участия контактов *у*. Шинки самоблокировки и выходные цепи разделены на четные и нечетные. Схема рис. 2, *в* имеет особенность: в результате расшунтирования обмотки k-го реле *из* контактом $(k-1)$-го реле индивидуальные цепи возбуждения и самоблокировки реле получаются без к.-л. контактов в них. Линии возбуждения выполняют также ф-ции шинок самоблокировки реле, что требует условия: время отпускания реле значительно больше времени перелета контакта *у*. Для схемы рис. 2, *г* характерно применение только одного *но* контакта *у* и двухобмоточных четных РС. Самоблокировка происходит по двум линиям возбуждения: первая управляется *но* контактом *у*, вторая образуется при размыкании *у* (на паузах) как инверсная. Четные РС удерживаются на четных импульсах через свои вторые обмотки, включенные параллельно с обмотками реле *1*, *3*, *5*... Последние удерживаются на паузах благодаря инверсному их включению через обмотки *2*, *4*, *6*.... Схемы

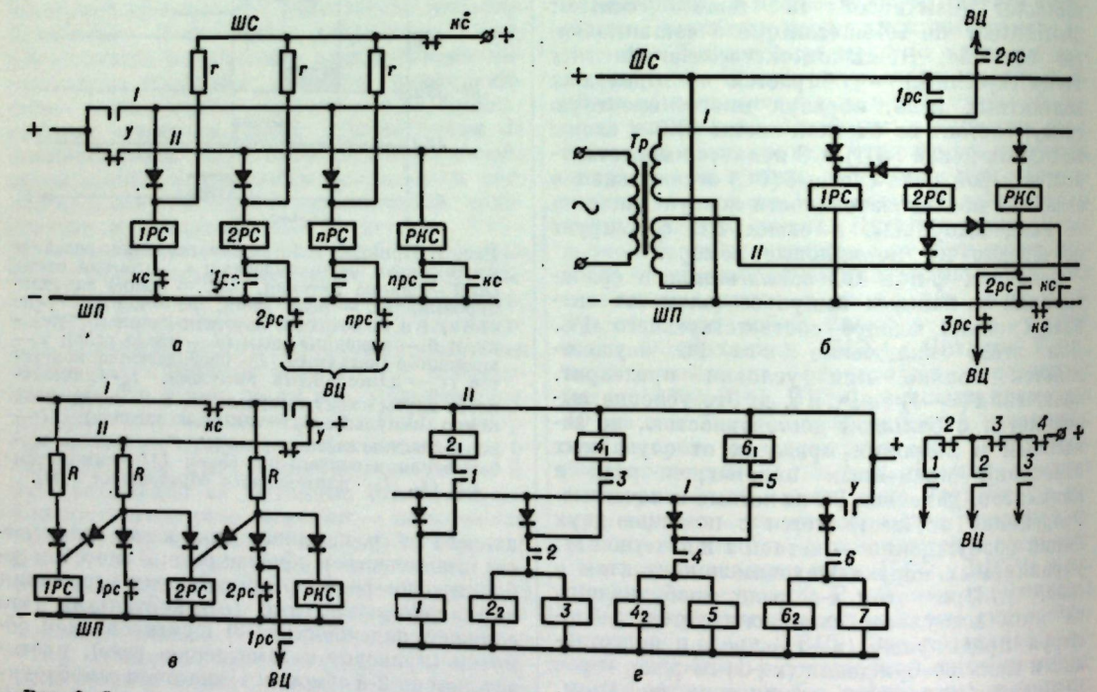


Рис. 2. Структуры двухтактных телемеханич. релейно-контактных распределителей с самоблокировкой счетных реле до конца цикла: *а* — самоблокировка реле через сопротивление r без контакта (*РКС* — реле конца счета, *кс* — контакт реле конца счета); *б* — трансформаторный вход; *в* — линии возбуждения — шинки самоблокировки (R — сопротивление); *г* — управляющий контакт (один *но*): *ВЦ* — независимые выходные цепи; на каждом реле 5 контактных пружин.

с пошаговой деблокировкой (рис. 3) требуют в принципе больше контактов. Реле начала счета РНС, включаясь от 1-го РС, запрещает повторное возбуждение всех реле младших номеров. На n-ом импульсе включается реле РКС, к-рое обесточивает реле РНС и всю схему. В схемах с выделенной шинкой самоблокировки (рис. 3, *а*) k-е реле деблокируется контактами $(k-1)$-го, от каждого реле для самой СС требуется 2 контакта.

Использование линий возбуждения в качестве шинок самоблокировки (рис. 3, *б*) в сочетании с пошаговой деблокировкой позволило получить предельно экономичную структуру, в к-рой всего один *но* контакт от счетного реле обеспечивает работу СС и образование ВЦ.

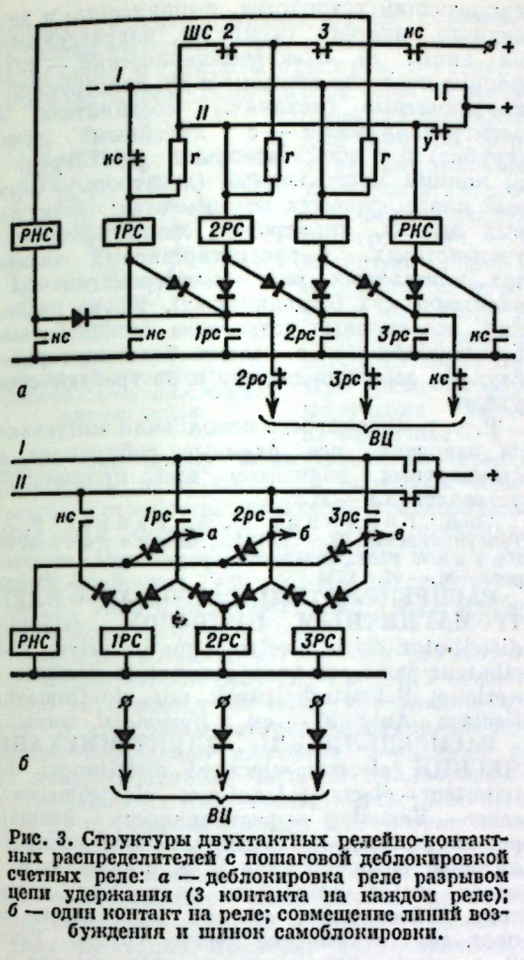


Рис. 3. Структуры двухтактных релейно-контактных распределителей с пошаговой деблокировкой счетных реле: *а* — деблокировка реле разрывом цепи удержания (3 контакта на каждом реле); *б* — один контакт на реле; совмещение линий возбуждения и шинок самоблокировки.

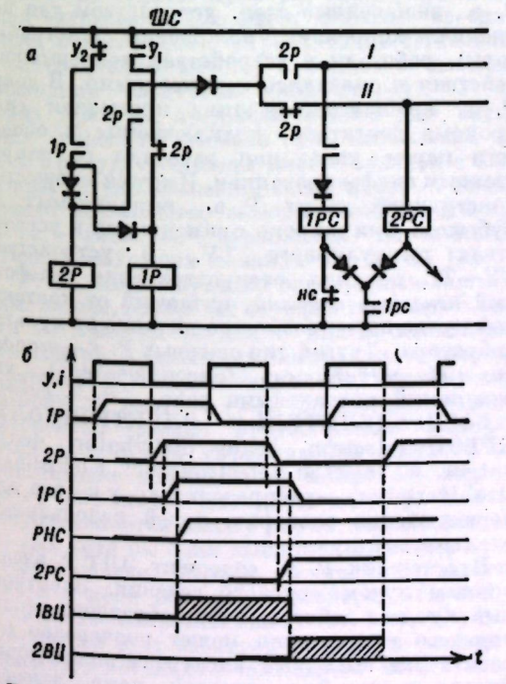


Рис. 4. Разделит. узел по независимой схеме: *а* — схема РУ—пульс-пара из реле *1Р* и *2Р*; *б* — график работы схемы.

Разделит. узел (РУ) имеет назначение делить импульсы (или паузы) на четные и нечетные (рис. 4 и 5). С этой целью схема РУ должна отсчитывать периоды пульсации тока $t_0 = t_и + t_п$. Независимый РУ выполняется по схеме пульс-пары; зависимый РУ управляется контактами РС (только четные или только нечетные). В обоих случаях выходной контакт РУ срабатывает, пульсируя с частотой $^1/_2 f_и$ ($f_и$ — частота управляющих импульсов) и переключая обе линии возбуждения

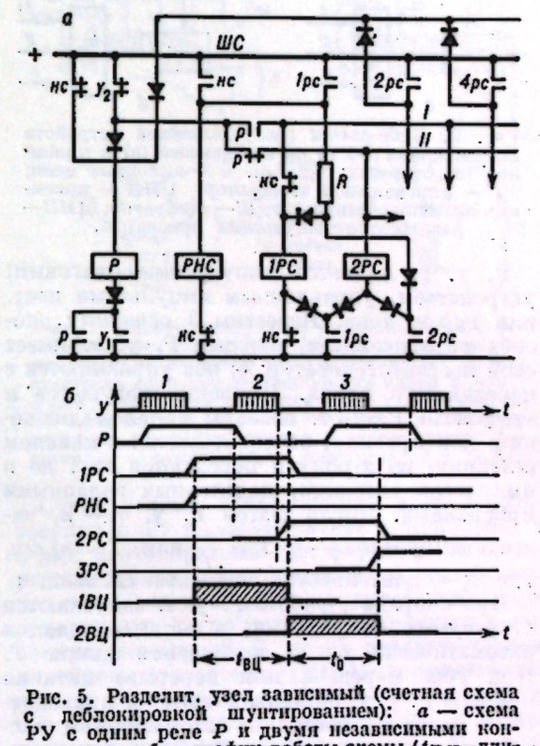


Рис. 5. Разделит. узел зависимый (счетная схема с деблокировкой шунтированием): *а* — схема РУ с одним реле *Р* и двумя независимыми контактами y_1; *б* — график работы схемы ($t_{ВЦ}$ — длительность образования выходных цепей).

к контакту y_2. Схемы зависимого РУ строятся из одного реле Р при двух самостоят. *но* и *нз* контактах *у*, из двух реле или одного двухобмоточного с одним контактом-тройником *у*.

Лит.: Билик Р. В., Устройство телесигнализации на поляризованных реле, в сб.: Промышленная телемеханика, М., 1960; Иванов В. И., Исследование схем релейных переключателей, в сб.: Телемеханизация в народном хозяйстве СССР, М., 1956; Гаврилов М. А., Современное состояние теории релейных схем, там же; Горянинов О. А., Райнес Р. Л., Телеуправление, М.— Л., 1954.

Р. Л. Райнес.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ (remote control devices distributor; distributeur de dispositifs de télémécanique; Verteiler in fernwirktechnischen An-

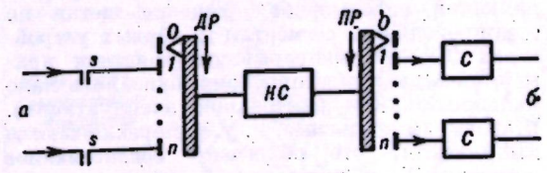


Рис. 1. Включение распределителей (*ДР* и *ПР*) в общий канал связи (*КС*) и местные выходные цепи на передающей (*а*) и приемной (*б*) сторонах: *s* — контакты датчиков сигналов; *С* — приемные реле (стрелки показывают направление перемещения щеток).

lagen) — важнейший функциональный узел в устройствах ТУ—ТС и ТИ с временным разделением, осуществляющий согласное переключение общего канала связи (рис. 1) между

заданными передатчиками и приемниками сообщений. Передающий и приемный Р. у. т. работают синхронно и синфазно, образуя последовательно во времени, за период T, n выходных цепей (рис. 2).

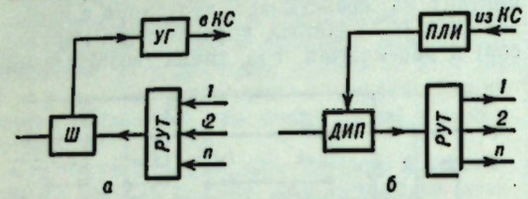


Рис. 2. Блок-схемы распределителей устройств телемеханики (*РУТ*) на передающей (*а*) и приемной (*б*) сторонах: *1,2, ..., n* — выходные цепи; *УГ* — управляющий генератор; *ПЛИ* — приемник линейных импульсов; *Ш*— шифратор; *ДИП*— дешифратор импульсных признаков.

Р. у. т. является импульсным (шаговым) устройством, управляемым импульсами пост. или перем. тока. Известны 2 основных способа управления: а) каждый Р. у. т. имеет свой местный генератор; б) оба управляются с передающего конца. Приводы «ведущего» и «ведомого» Р. у. т. связаны каналом движения; как правило, он совмещается с каналом селекции, по к-рому и передаются от 1 до n импульсов селекции, наделенных заданными признаками. Число шагов Р. у. т.— n, частота импульсов — f, $T = \frac{n}{f}$ или $T = nt_0 сек$, где t_0 — длительность элемента сигнала.

При спорадич. работе Р. у. т. запускаются стартовыми импульсами, а останавливаются автоматически после завершения цикла T. При сбое передачи или перерыве питания привода Р. у. т. останавливаются и приводятся в исходное состояние автоматически (часто — «самоходом»). В устройствах непрерывного действия, а также при автономном питании распределителей в начале каждого цикла посылается синфазирующий (стартовый) импульс. При этом оба Р. у. т. синхронизируются один или неск. раз за каждый цикл. Главнейшим условием точной работы Р. у. т. является обеспечение их синхронного и синфазного движения, что достигается принципиальными и конструктивными решениями и контролируется спец. схемами.

Классификация Р. у. т.: по форме движения они делятся на вращающиеся и шаговые; по конструкции—на аппаратные и схемно-элементные; по характеру коммутации тока в цепях — на контактные и бесконтактные. Вращающиеся Р. у. т. имеют привод — электрич. двигатель (пост. или перем. тока), осуществляющий равномерное вращение щетки по токопроводящим сегментам (в первых устройствах ТУ—ТС непрерывного действия применялись дистрибюторы, они оказались мало надежными для длительной эксплуатации). Шаговые (импульсные) Р. у. т. переключаются импульсами, что облегчает согласованное движение Р. у. т. на расстоянии в условиях колебаний напряжения питания, затухания канала связи, длительности импульса, силы трения. Правильность действия шаговых Р. у. т. обусловлена только количеством подаваемых импульсов. К шаговым относятся все исполнения, имеющие в качестве привода тяговый электромагнит, импульсный двигатель, якорь электромагнитного реле, а также все схемные Р. у. т. Аппаратный класс, охватывающий устройства, выполненные в виде единого аппарата (прибора), подразделяется на типы: а) электромеханический — телефонные искатели шаговые и др. конструкций и координатные (механич.) соединители; б) электроннолучевой — с линейным лучом (трубка) и с плоским лучом (трохотрон) и в) ионный многоанодный (декатроны). Схемный класс строится на элементах: электронных лампах, тиратронах, лампах неоновых, транзисторах, феррогистерезисных элементах, контактных реле — электромагнитных и электрических (безъякорных). Кроме последних, все схемные устройства бесконтактные, безынерционные, с весьма большим сроком службы, высоконадежные и не требуют спец. ухода.

Р. у. т. аппаратного исполнения выпускаются заводами, все схемные собираются из стандартных элементов при производстве устройств ТУ—ТС.

Лит.: Горянинов О. А., Райнес Р. Л., Телеуправление, М.—Л., 1954; Маковцева А. П., Раввин Г. И., Основы телеуправления и телеконтроля, М.— Л., 1959.

Р. Л. Райнес.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ШАГОВЫЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ (stepping distributor with electromagnetic drive; distributeur pas-à-pas avec commande électromagnétique; Schrittschaltwerk mit elektromagnetischem Antrieb) — см. *Искатель шаговый.*

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ (electromechanical distributor; distributeur électro-mécanique; elektromechanischer Verteiler) — разновидность вращающихся или шаговых (импульсных) распределителей. Вращающийся Р. э. в качестве приводов имеет двигатели пост. или перем. тока. Обеспечение строгой синфазности на пост. токе технически весьма трудно. Такие Р. э., снабженные спец. устройством для периодич. коррекции положения (дистрибюторы), работали в устройствах непрерывного действия и оказались непригодными. В совр. Р. э. вращающегося типа применяют синхронные двигатели, подключаемые к общей сети перем. тока; они работают со старт-стопным синфазированием. Имеется множество конструкций таких Р. э., выполняемых за рубежом. Они широко применяются в устройствах циркулярного ТУ. В устройствах ТУ—ТС получил распространение телефонный *искатель шаговый*, питаемый от контактной пульс-пары; возможно питание от мультивибратора. Другой тип шаговых Р. э.—*координатный соединитель* (переключатель), управляемый контактными реле.

Р. Л. Райнес.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ (electron beam distributor; distributeur à faisceau électronique; Elektronenstrahlverteiler) —распределитель, у к-рого для переключения электрич. цепей используется электронный луч.

Простейший Р. э. содержит ЭЛТ с электронным лучом круглого сечения. Электронный луч под действием пилообразного отклоняющего напряжения может поочередно попадать на выходные электроды-коллекторы. Сигнал может быть передан, напр., посредством модуляции тока электронного луча [1]. Ток в луче — порядка десятков *мка*, скорость переключения его — до нескольких *Мгц*.

Использование в Р. э. *коммутаторов электронных* (см. также *Коммутатор электронный*) с лентообразным лучом позволяет увеличить выходные токи, понизить питающие напряжения и габариты приборов. В аксиально-симметричном коммутаторе (рис. 1) лентообразный электронный луч *ЭЛ* формируется с помощью электростатического или комбинации электростатич. и магнитного полей и направляется по радиусу от катода *К* к одному из выходных электродов B_n. При вращении формирующих полей электронный луч можно, как щетку коммутатора, поочередно направлять на каждый из выходных электродов. Устройства, создающие вращающиеся поля для формирования луча, несколько сложны. Вращающиеся магнитные поля с частотой вращения более 20 *кгц* трудно осуществимы. Токи в выходных цепях у этих приборов порядка *ма* [2—5].

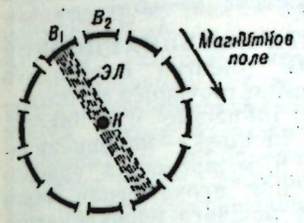


Рис. 1. Принцип действия аксиально-симметричного коммутатора с фокусировкой магнитным полем.

При использовании в Р. э. электроннолучевых коммутаторов типа ЛП-1 и ЛП-2 существенно упрощаются системы управления лучом. В этих коммутаторах электронный луч можно поочередно включать в каждый из 12 каналов прибора подачей пилообразного напряжения на отклоняющие пластины каждого из 12 каналов прибора или соответствующим питанием пластин многофазным синусоид. напряжением. Передача сигнала может осуществляться посредством управляющей сетки, имеющейся в каждом канале. В одном из типов прибора, предназначенном для разнесения (передачи сигнала из одной цепи в несколько), управляющие сетки каналов соединены вместе, а отдельно выведены выходные электроды (коллекторы). У др. типа прибора, предназначенного для смешения (передачи сигнала из нескольких цепей в одну), соединены вместе выходные электроды, а управляющие сетки каждого канала имеют независимые выводы. Особенность прибора — гибкость управления по каналам. Токи в выходных каналах ок. 0,5 *ма* [6].

Р. э., использующий электронные контактные лампы, позволяет передавать изменяющийся во времени сигнал с малым искажением благодаря применению выходных электродов (эмиттеров), обладающих большим коэфф. вторичной эмиссии (рис. 2). Переключающим элементом служит лентообразный электронный луч, к-рый управляющей системой (отклоняющие пластины *4*) может отклоняться в ту или иную выходную ячейку. Контакт осуществляется между двумя электродами, из к-рых хотя бы один выполнен из материала со значительным коэфф. вторичной эмиссии. Если в цепи выходного электрода (эмиттера) включить сопротивление, то, когда луч попадает на этот электрод (в данную выходную ячейку), потенциал последнего может следовать за изменяющимся потенциалом другого контактного электрода (входного коллектора) с достаточной степенью точности. В зависимости от конструкции выходной системы можно осуществлять как смешение сигнала из нескольких цепей в одну (рис. 2, б), так и разнесение из одной цепи в несколько независимых (рис. 2, *а*). Скорость переключения — несколько *Мгц*. Токи в выходных цепях около 2 *ма*, сопротивление «контакта» порядка 5—10 *ком* [7].

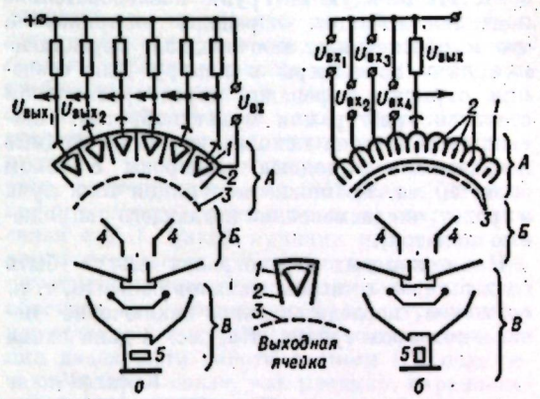


Рис. 2. Электроннолучевой распределитель с использованием контактной лампы: а) для разнесения сигнала из одной цепи в несколько, б) для смешения сигналов из нескольких цепей в одну. Узлы лампы: *А* — выходной; *Б* — управляющий, *В* — формирующий; *1*—выходные электроды (эмиттеры); *2* — входные электроды (коллекторы); *3*— сетка; *4* — отклоняющие пластины; *5* — катод.

Существенные преимущества дает использование в Р. э. *трохотронов* — приборов, в к-рых лентообразный луч формируется в пересекающихся электрическом и магнитном полях и, следуя вдоль эквипотенциальной поверхности, легко может направляться в желаемую камеру. В Р. э. на десятикамерном линейном трохотроне (ЛП-4) переключение луча из камеры в камеру и тем самым поочередное включение цепей производится подачей последовательности импульсов на пластины. С переключающих электродов (лопаток) можно снимать выходные импульсы (к сожалению, у ЛП-4 выходные цепи лопаток не могут выдерживать большой нагрузки) [8]. Применение десятикамерного кольцевого трохотрона упрощает схему Р. э., дает большие выходные токи (до 10—15 *ма*) и независимость выходных цепей от цепей управления и переключения. Схема Р. э. с 10 выходами на кольцевом трохотроне показана на рис. 3. Вокруг

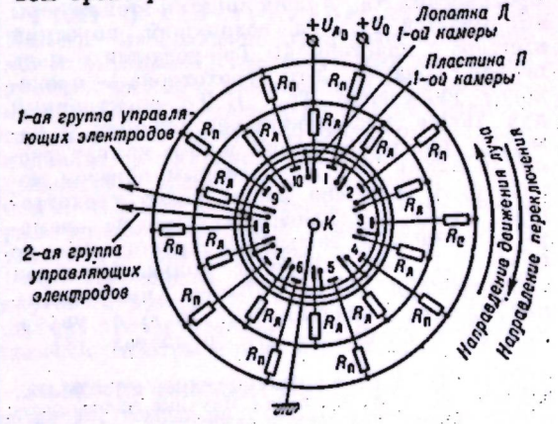


Рис. 3. Электроннолучевой распределитель на 10 выходов с кольцевым трохотроном.

катода *К* симметрично расположено 10 камер, образованных десятью переключающими электродами (лопатками *Л*) и десятью прием-

ными электродами (пластинами *П*). В каждой камере расположен управляющий электрод. Для надежности работы схемы управляющие электроды соединены в две группы через один. На каждую из групп последовательно подаются отрицат. перепады напряжения, что и обеспечивает поочередное переключение луча из камеры в камеру. Для создания отрицат. перепадов перед трохотроном ставится триггер или мультивибратор. Пластины трохотрона используются как мощные независимые выходные электроды с током более 10 *ма*. Возможна модуляция тока луча в трохотроне (изменением питающего напряжения лопаток).

На кольцевых трохотронах могут быть созданы Р. э. с числом каналов более 10, т. к. возможно последовательное включение нескольких трохотронов. На рис. 4 дана схема

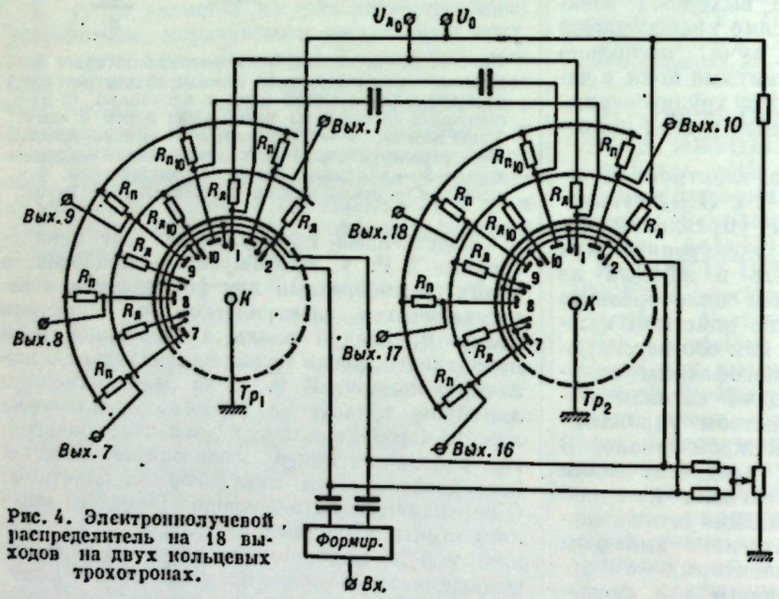


Рис. 4. Электронолучевой распределитель на 18 выходов на двух кольцевых трохотронах.

Р. э. на двух трохотронах с числом выходных каналов 18. Пройдя последовательно девять камер, электронный луч в 1-м трохотроне после переключения в 10-ю камеру гаснет (вследствие специально подобранного малого сопротивления $R_{Я_{10}}$ в цепи лопатки этой камеры выключается $Тр_1$), и возникший короткий импульс с пластины 10 $Тр_1$ подается в цепь первой лопатки 2-го трохотрона — происходит включение $Тр_2$. В $Тр_2$ электронный луч также последовательно обходит 9 камер, а после попадания в 10-ю камеру гаснет, включая $Тр_1$. Аналогичным образом может быть включено любое число трохотронов. Время переключения луча из камеры в камеру в кольцевом трохотроне — не более 0,1 *мксек*. Р. э. с кольцеобразными трохотронами могут работать при малых напряжениях питания (ок. 26 *в*) с управляющейся схемой на ПП приборах [8].

Лит.: 1) Зернов В. Д., Елисеон М. И., Харченко А. М., в кн.: Научные основы построения технических средств автоматики, [т. 3], М., 1957 (Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства, 15—20 окт. 1956); 2) Елисеон М. И., Бернашевский Г. А., в сб.: Тр. Ин-та автоматики и телемеханики АН СССР, 1952, № 2, с. 35—51; 3) Skellett A. M., «Bell. System Techn. J.», 1944, v. 23, № 2, p. 190; 4) его же, «Proc. I. R. E.», 1948, v. 36, № 11, p. 1354; 5) Skellett A. M., Charton P. W., «Tele-Tech», 1950, v. 9, № 11, p. 26—27, 58—59; 6) Миллер В. А., Быховская Е. В., в сб.: Тр. Ин-та автоматики и телемеханики АН СССР, 1952, № 2, с. 115—116; 7) Быховская Е. В., Харченко А. М., Елисеон М. И., Зернов Д. В., «РиЭ», 1960, т. 5, № 5, с. 849—57; 8) Ложникова А. П., Харченко А. М., Импульсные устройства на трохотронах, М., 1963.

А. М. Харченко.

РАССЕЯНИЕ СВЕТА КОМБИНАЦИОННОЕ ИНДУЦИРОВАННОЕ (induced combinative light diffusion; diffusion provoquée et incohérente de la lumière; induzierte und inkohärente Streuung des Lichtes) — комбинационное рассеяние (см. *Спектроскопия оптическая*), наблюдаемое при прохождении через рассеивающую среду мощного монохроматич. когерентного луча света, интенсивность к-рого превышает определенную (для данной среды) пороговую величину.

При комбинационном рассеянии света частоты ν_0 возникает свет с комбинационными частотами $\nu_0 \pm \nu_i$, где ν_i — собственная частота колебаний молекул рассеивающей среды и, т. о., каждому значению собственной частоты ν_i соответствует определенная пара комбинационных спутников. Согласно квантовой механике, комбинационное рассеяние света возникает вследствие того, что рассеивающая молекула поглощает падающий на нее квант света частоты ν_1 и переходит в возбужденное состояние, из к-рого она может затем перейти в состояние, отличающееся от исходного на величину колебат. энергии $\Delta E_i = h\nu_i$; при этом излучается свет либо с частотой $\nu_2 = \nu_1 - \nu_i$ (если молекула оказывается на более высоком колебат. уровне), либо с частотой $\nu_2 = \nu_1 + \nu_i$ (если она оказывается на более низком колебат. уровне). Как и всякое излучение (см. *Квантовая система*), испускание фотона с энергией $h\nu_2$ может происходить как спонтанно, так и индуцированно. Вероятность последнего процесса пропорциональна интенсивности света с частотой ν_1. При достаточно высоких интенсивностях излучение света на частоте ν_2 начинает преобладать над поглощением его, т. е. становится возможной генерация света с частотой ν_2.

При малых интенсивностях рассеиваемого света яркость комбинационных линий чрезвычайно мала, а соответствующее им излучение происходит некогерентно (преобладает спонтанное излучение фотонов $h\nu_2$). Однако при увеличении интенсивности рассеиваемого когерентного монохроматич. света выше нек-рой пороговой величины относит. яркость комбинационного излучения чрезвычайно возрастает (до миллионов раз), а само излучение становится когерентным. Т. о., среда (обычно — жидкость), способная к комбинационному рассеянию, может служить в качестве рабочего вещества (активной среды) лазера, накачка к-рого производится с помощью мощного монохроматич. когерентного луча света (напр., от рубинового лазера), а пороговый уровень накачки определяется свойствами среды и геометрией оптич. резонатора. Впервые Р. с. к. и. наблюдалось в нитробензоле, наполнявшем ячейку Керра, к-рая служила модулятором красного луча рубинового лазера. В дальнейшем этот эффект наблюдался во многих других органич. жидкостях: тринитротолуоле, метиловом спирте, бензоле, диметилацетате, трихлорэтилене).

Использование Р. с. к. и. для создания новых лазеров чрезвычайно перспективно. Благодаря большому разнообразию жидкостей, способных к комбинационному рассеянию, диапазон частот, доступных для таких лазеров, оказывается довольно широким, а главное, он охватывает не освоенные пока в этом смысле ультрафиолетовую и видимую области спектра, работа в к-рых в наземных условиях обладает рядом преимуществ. Практически подобные лазеры могут выглядеть как комбинация «основного» лазера (напр., рубинового), служащего фактически для накачки, и ячейки, заполняемой той или иной жидкостью, в к-рой создается Р. с. к. и. и к-рая собственно и является генератором излучения полезной частоты.

Лит.: «Труды Ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике» (США), рус. пер., 1963, № 1, с. 168.

М. М. Горшков.

РАССОГЛАСОВАНИЕ (mismatch, unbalance; désalignement; Regelabweichung, Abweichung) — разность между величиной задающего воздействия и выходной величиной следящей системы. Последняя работает так, чтобы сводить Р. к нулю. Требование к статич. и динамич. точности следящих систем совпадает с требованием уменьшения величины Р. в установившемся состоянии и в переходном процессе.

М. П. Сахаров.

РАССРЕДОТОЧЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ (в телемеханике) (distributed objects; systèmes commandés dispersés; verteilte Anlagen) — объекты ТУ и ТК, рассредоточенные поодиночке или небольшими группами по территории контролируемого комплекса: вдоль линии — на трубопроводах, ж. д., оросит. каналах и т. п.; по площади — на нефтепромыслах, газопромыслах, заводах и т. п.; в пространстве — в шахтах и т. д. На Р. о. установлены исполнит. пункты (ИП) системы телемеханики, к-рые соединены с диспетчерским пунктом (ДП) линиями связи. Специфика построения систем телемеханики для Р. о. обусловлена большим числом ИП, превышающим число возможных различных сообщений между ДП и каждым ИП, и неоднозначным выбором структуры линий связи между ДП и ИП. Число возможных различных сообщений определяется минимально необходимым объемом информации для ТУ и ТК технологич. процесса производств. комплекса, а выбор структуры и технич. реализации линий связи — требованиями обеспечения заданной надежности передачи информации при миним. стоимости оборудования и эксплуатации каналов связи. Нередко телемеханич. каналы связи организуются по существующим телефонным и силовым распределит. сетям.

Характерные черты систем телемеханики для Р. о.: 1). эксплуатация без пост. присутствия дежурного персонала на объектах; 2) аппаратура выполняется в виде однотипных, простых по конструкции и схемному решению блоков на надежных элементах. Она позволяет комплексно осуществлять ф-ции ТУ и ТК. Целесообразно нек-рое усложнение аппаратуры на ДП за счет упрощения аппаратуры на ИП; при этом повышаются эксплуатац. показатели системы в целом, т. к. повреждение аппаратуры на ДП может быть устранено квалифицированным дежурным персоналом в более короткие сроки; 3) исходя из требований повышения надежности и эксплуатац. показателей для объектов, рассредоточенных по площади, выбирают, как правило, кустовой принцип построения систем телемеханики — все ИП разделяются на группы (кусты), имеющие отдельную линию связи с ДП. Такой принцип построения системы отличается гибкостью в условиях эксплуатации и возможностью изменения числа объектов без существенной перестройки ранее установл. аппаратуры; 4) с целью повышения надежности работы системы ИП подключают к линии связи, как правило, параллельно, без ее разрыва. При этом обеспечивают весьма малую вероятность $кз$ каждого входа ИП. Это достигается, напр., путем включения ИП через предохранители, тр-ры или ограничители, у к-рых вероятность $кз$ входа или выхода может быть на неск. порядков меньше вероятности перегорания предохранителя или обрыва обмоток; 5) желательно, чтобы система не требовала на объектах местных источников питания или единой силовой сети, т. к. при аварии на объекте в этих случаях нарушается работа системы. В аварийных условиях последняя осуществляет контроль и управление с целью предотвращения нарастания аварии; 6) при большом числе ИП в системе возможно одноврем. изменение состояния объектов сразу в неск. пунктах. Если при этом необходимо фиксировать все изменения состояний объектов, что определяется требованиями технологич. процесса, то система позволяет принять на ДП все сигналы без искажений и потерь; 7) скорость переработки информации на ДП выбирается настолько высокой, чтобы задержки в управлении объектами с вероятностью, близкой к 1, не превышали заданной величины.

Лит.: Ильин В. А., Системы телемеханики для рассредоточенных объектов, М.— Л., 1960; Промышленная телемеханика. [Сб. ст.], М., 1960.

О. И. Бронштейн.

РАСТР (в электронике) (raster; grille; Raster) — изображение строк развертки, видимое на экране ЭЛТ при отсутствии модуляции электронного луча и отклонения луча по одному из законов *развертки*. На экране приемной телевизионной трубки, экранах радиолокац. индикаторов с двухмерными развертками типа дальность — азимут или дальность — угол места, а также индикаторов с трехмерными развертками Р. образует правильный прямоугольник с соотношением сторон 3 : 4 или 1 : 1. На экране радиолокац. индикатора кругового обзора Р. образует круг, в к-ром строки прочерчиваются лучом, перемещающимся от центра экрана к периферии.

Р. В. Фельдман.

РАСХОДА ИЗМЕРЕНИЕ (flowrate measurement; mesure de débit; Durchflußmengenmessung) — методы Р. и., созданные на основе достижений электроники, акустики, оптики, автоматики; могут быть разделены на 2 группы: измерения скорости или объемного расхода; измерения массового (весового) расхода. Расходомеры, работающие по 1-му методу

(турбинные, индукционные, ультразвуковые, тепловые, ионизационные и др.), измеряют объемный расход и не учитывают изменений плотности вещества. Расходомеры, работающие по 2-му методу (турборасходомеры, расходомеры Кориолиса, гироскопич. расходомеры и др.), измеряют непосредственно массовый (весовой) расход, при этом автоматически учитываются изменения плотности измеряемой среды. Расходомеры 1-й группы в случае использования спец. корректирующих схем, учитывающих изменения плотности вещества, могут также контролировать весовой расход в определенном диапазоне изменения параметров среды.

В зависимости от суммарной точности измерения, с учетом универсальности применения (для контроля сред с переменными темп-рой, вязкостью, плотностью и фазовым состоянием), методы Р. и. можно расположить в след. последовательности: системы автоматич. контроля массового расхода; системы автоматич. контроля объемного расхода и расхода по скоростному напору потока.

В массовых расходомерах измеряемому потоку сообщаются дополнит. движения с помощью вращающихся или колеблющихся элементов, и по величине возникающих при этом инерционных усилий судят о величине массового расхода. Хар-ки массовых расходомеров и их точностные диапазоны определяются принципами действия расходомеров (см. *Расходомер массовый*). Массовые расходомеры могут быть выполнены с электроприводом роторов и с приводом от потока. В 1-м случае роторы вращаются с пост. угловой скоростью, а во втором — угловая скорость зависит от расхода. В устройствах 2-го типа применяются измерит. схемы, принципиально отличные от схем устройств 1-го типа. Массовые методы Р. и. наиболее универсальны, позволяют измерять расходы любых жидкостей независимо от их физич. св-в (прозрачности, электропроводности и др.). Электрич. схемы сравнительно просты — в них нет компенсац. цепей для учета изменения плотности среды. Однако первичные элементы (роторы или колеблющиеся элементы) сложнее, чем первичные преобразователи при др. методах Р. и. Рационально применять массовые методы Р. и. при отсутствии у измеряемой среды специфич. качеств (напр., электропроводности), необходимых для др. методов, а также при изменении фазового состава или плотности потока.

Если среда однофазная, ее плотность относительно стабильна и среда обладает специфич. св-вами (напр., прозрачностью, электропроводностью и др.), рационально применять объемные методы Р. и. (турбинные, ультразвуковые, индукционные, тепловые, ионизационные и др.). В турбинных расходомерах в измеряемом потоке устанавливается [illegible] но при увеличении геометрич. размеров крыль-

чаток верхний предел частотного диапазона снижается; основной недостаток — заедания и поломки вращающихся деталей.

Непосредственно объемный расход определяется с помощью собственно объемных расходомеров, к к-рым относятся расходомеры с овальными шестернями, с роторами, имеющими выдвигающиеся лопасти, с качающейся шайбой, со свободно движущимися поршнями и др. В этих расходомерах измеряется непосредственно объемный расход, причем основная погрешность измерения возникает за счет утечек в зазорах. Для измерения скоростей движения роторов и др. подвижных элементов таких расходомеров применяют различные электромагнитные, фотоэлектрич. и электрич. устройства, что значительно повышает точность и расширяет диапазоны применения этих приборов.

При индукционных методах Р. и. во время прохождения потока проводящей жидкости через магнитное поле на расположенных в потоке контактах наводится эдс, пропорциональная его скорости. Индукционные расходомеры выполняются с перем. и пост. электромагнитным полем. Хар-ки Р. и. линейны (см. *Расходомер индукционный*). Их недостатки: возникновение паразитных эдс при перем. электромагнитном поле и поляризация электродов при пост. поле. Индукц. расходомеры с перем. полем широко применяются в пром-сти при измерении потоков жидкостей. Они конструктивно просты и надежны в работе. Измерение больших расходов прямым способом нецелесообразно, т. к. затраты энергии на создание мощных магнитных полей велики. При УЗ методах Р. и. скорость потока определяется по изменению параметров УЗ колебаний, направленных по течению потока и против него. В *расходомерах ультразвуковых* скорость потока определяется по разности времен, по сдвигу фаз или по разности частот УЗ импульсов, направляемых по потоку и против него. Отдельную группу составляют УЗ расходомеры, в к-рых расход измеряется по сносу УЗ колебаний, направляемых перпендикулярно потоку. УЗ расходомер, определяющий расход по сдвигу фаз УЗ колебаний, направляемых попеременно по потоку и против него, при электронном коммутаторе для переключения пьезоэлементов имеет верхний предел частотного диапазона 10 кгц. УЗ методами можно измерять расходы любых жидкостей независимо от их физико-химич. св-в (электропроводности, прозрачности, агрессивности и др.), но схемы таких приборов довольно сложны. Точность УЗ расходомеров составляет 2—4%.

В тепловых системах Р. и. о скорости потока судят по интенсивности уноса потоком тепла от нагретого тела. *Расходомеры тепловые* разделяются на термоанемометры и калориметрич. расходомеры, [illegible] нагреват. элементов. Динамич. св-ва [illegible]

анемометров могут быть повышены за счет обратной связи, воздействующей на термоэлемент. В этом случае чувствит. элемент имеет пост. темп-ру, что значительно повышает верхний предел его частотного диапазона.

В ионизац. методах Р. и. скорость потока определяется по переносу ионного тока, возбуждаемого излучением радиоактивного изотопа или электрич. полем высокой напряженности. Точность таких расходомеров низкая вследствие большого влияния на ионизацию темп-ры, давления, влажности и др. параметров потока (см. *Расходомер ионизационный*).

Системы Р. и. по перемещению меток, введенных в поток, измеряют расход дискретно, по времени прохождения метки между двумя точками потока. В таких расходомерах используются схемы Р. и. по частоте следования меток, по фазовому сдвигу (при синусоидальных метках) и непосредственно по времени прохождения меток (см. *Расходомер с метками потока*). Хар-ки таких расходомеров зависят от способов создания или введения в поток меток, от расстояния между метчиком потока и регистратором меток, а также от диапазонов измеряемых скоростей; динамич. св-ва улучшаются при больших скоростях потока.

В системах, измеряющих расход по скоростному напору, в потоке располагается тело, по силе воздействия на к-рое судят о скорости потока. Такие расходомеры разделяются на расходомеры постоянного перепада (ротаметры) и расходомеры перем. перепада. Ротаметры, представляющие собой вертикально установленную коническую трубку, в к-рой под действием потока перемещается поплавок, получили широкое распространение. В таких устройствах используются оптич., электромагнитные, радиоактивные и др. способы измерения перемещений поплавка (см. *Расходомер скоростного напора*). В расходомерах перем. перепада расход определяется либо по перемещению тела, обтекаемого потоком, либо по величине возникающего на нем усилия. Такие расходомеры имеют разнообразные схемы, что определяет различие в их хар-ках и диапазонах измеряемых расходов. Чувствит. элементы обычно включены в схемы, работающие на несущей частоте; чувствит. элементы — большей частью колебат. звенья; частота их собств. колебаний ограничивает верхний предел частотного диапазона. Показания таких расходомеров пропорциональны квадрату скорости потока. Величина гидравлических потерь в значительной степени зависит от конструктивного выполнения расходомера.

Особой группой расходомеров можно считать [illegible] расходомеры, в к-рых расход определяется [illegible] диафрагмы с отверстием, [illegible] вертушки и т. п. [illegible] с помощью различных электрич. датчиков — индуктивных, емкостных, пьезоэлектрич., фотоэлектрич. и др.

Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных процессов, М., 1959; Кремлевский П. П., Расходомеры, М.—Л., 1963. *Г. П. Катыс.*

РАСХОДОМЕР ВЕРТУШЕЧНЫЙ (revolving flowmeter; turbine flowmeter; débitmètre à toupie (rotamètre); rotierender Durchflußmengenmesser) — измеряет объемный расход вещества по числу оборотов крыльчатки (вертушки), приводимой во вращение измеряемым потоком вещества. Число оборотов крыльчатки измеряется тахометрич. устройствами (механич., электромагнитными, оптич., электрич., радиоактивными и др.). Р. в. с механич. тахометром, в к-рых крыльчатка связана с механич. счетчиком оборотов, применяются для измерения стационарных потоков. В Р. в. с электромагнитным тахометром на крыльчатке укрепляется пост. магнит, при вращении к-рого в неподвижной катушке наводится пульсирующая эдс, или крыльчатка своими лопастями периодически замыкает магнитопроводы неподвижных катушек, формируя в них пульсирующую эдс. Импульсный сигнал подается на частотомер, отградуированный в единицах расхода.

Для контроля прозрачных жидкостей могут быть использованы Р. в. с оптич. измерителем оборотов крыльчатки, в к-рых световой луч, попадающий на фотоэлемент от источника излучения, либо периодически прерывается лопастями вращающейся непрозрачной крыльчатки, либо периодически отражается от ее зеркальных поверхностей. Частота модуляции сигнала фотоэлемента, пропорциональная расходу вещества, может измеряться, напр., схемой со встроенным кварцевым генератором стабильной частоты. В трехфазном фотоэлектрич. измерителе оборотов крыльчатки применение 3 фотоэлектрич. ячеек (состоящих из лампы и фотоэлемента), смещенных на 120°, обеспечивает при четырехлопастной крыльчатке смещение фаз напряжений этих ячеек на 120°; после усиления частота сигнала измеряется синхронным магнитоиндукционным тахометром с погрешностью при стационарном расходе 0,5%. Крыльчатка оптич. Р. в. может быть выполнена из легкой пластмассы, что значительно уменьшает ее вес, а следовательно, и инерционность измерения.

Для контроля непрозрачных и высокотемпературных потоков может быть применен Р. в., в лопасти крыльчатки к-рого вставлены твердые радиоактивные изотопы с γ-излучением. В экране, закрывающем крыльчатку, имеется отверстие, против к-рого расположен индикатор радиоактивных излучений с устройством, регистрирующим частоту импульсов излучения, попадающих на индикатор. Достоинство таких Р. в. — возможность установки индикатора радиоактивных излучений на нек-ром расстоянии от крыльчатки расходомера.

В Р. в. с электрич. измерителем оборотов ротора измеряется изменение емкости между крыльчаткой и металлич. неподвижным штифтом. Импульсные изменения емкости при прохождении лопастей крыльчатки около штифта преобразуются в измерит. схеме в импульсы электрич. напряжения, частота к-рых измеряется. Недостаток таких Р. в. — сложность измерит. схемы. Для измерения расходов проводящих жидкостей (кислоты, щелочи и т. д.) может быть применен Р. в., в к-ром электрич. сигнал модулируется изменением проводимости между вращающейся крыльчаткой и неподвижными проводниками.

Для уменьшения трения в подшипниках Р. в., имеющих металлич. оси крыльчаток, подшипники делают из камня, напр. агата. В нек-рых Р. в. ротор поддерживается в частично плавающем состоянии, что снижает

трение в подшипниках. В этих Р. в. ротору придается такая форма, что поток при обтекании создает на нем усилие, направленное против течения вещества и соответственно разгружающее опорные подшипники. Для измерения малых расходов разработаны Р. в., в к-рых по спец. каналам корпуса подаются дополнит. потоки жидкости, поддерживающие ротор в полностью плавающем состоянии.

Характеристики Р. в. достаточно линейны в широком диапазоне, однако в области малых расходов они имеют нелинейный участок вследствие возрастания на малых расходах влияния моментов вязкого и механич. трения по сравнению с моментом, вращающим крыльчатку. Разработан ряд электрич. схем определения интегрального расхода с помощью Р. в., основанных на использовании электрич. и электромеханич. сумматоров. В Р. в., предназначенных для измерения нестационарных потоков, необходима статич. и динамич. балансировка крыльчаток.

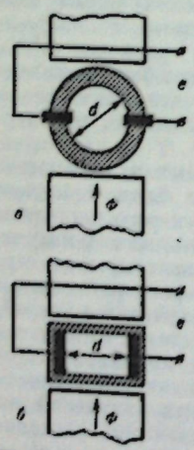
Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных потоков, М., 1959; Бошняк Л. Л., Бызов Л. Н., Измерение малых расходов жидкостей, М.—Л., 1961; Утямишев Р. И., Техника измерения скоростей вращения, М.—Л., 1961.

Г. П. Катыс.

РАСХОДОМЕР ИНДУКЦИОННЫЙ (электромагнитный) (induction flowmeter; débitmètre inductif; Induktionsdurchflußmesser) — измеряет расход жидкости по величине эдс, наводимой в потоке жидкости, текущей в магнитном поле, к-рое направлено перпендикулярно оси трубопровода. Эта эдс при круглом сечении трубопровода (рис., *а*) равна:

$$E = Bv_{ср}d,$$

где B — индукция магнитного поля в *тесла*, $v_{ср}$ — средняя по сечению потока скорость жидкости в *м/сек*, d — внутренний диаметр трубы в *м*, или ее ширина (рис., *б*). Чаще применяют Р. и. с круглым сечением трубопровода. Поток жидкости в нем должен быть аксиально-симметричным. Участок трубы датчика имеет длину порядка (10—20) d, что обычно достаточно для успокоения потока жидкости, даже если перед датчиком установлен источник возмущения потока (вентиль, дроссель, заслонка и др.). В случаях значит. нарушения аксиальной симметрии потока применяют расходомеры с прямоугольным сечением канала и высотой электродов, равной высоте канала. Р. и. широко используются в пром-сти; они позволяют измерять с высокой точностью расходы жидкостей, к-рые известными ранее методами не могли быть измерены (различные пульпы — цементные, угольные, асбестовые, кремнеземные и др.; пасты, сиропы, металлы и сплавы, а также агрессивные и радиоактивные жидкости и т. п.). Расход электролитов измеряют при перем. возбуждающем магнитном поле (во избежание поляризации электродов), а расход расплавленных металлов — при пост. магнитном поле. Величина эдс при переменном поле равна:



Принципиальная схема индукционного расходомера с потоком жидкости кругового *а* и прямоугольного *б* сечений.

$$e = v_{ср}d\ B_m \sin \omega t,$$

где B_m — амплитудное значение индукции магнитного поля; ω — угловая частота напряжения питающей сети. Одновременно с рабочей эдс возникает трансформаторная эдс помехи, не зависящая от скорости жидкости и сдвинутая по фазе относительно e на 90°:

$$e_{тр} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt}(SB_m \sin \omega t) = \omega SB_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

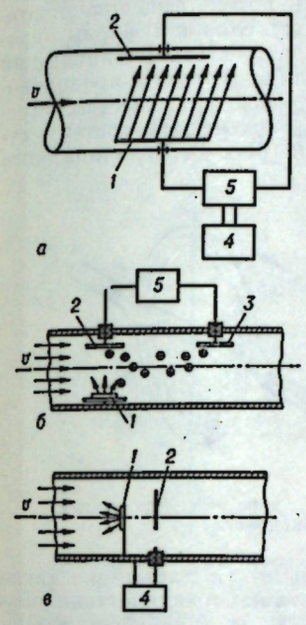
где Φ — магнитный поток, проходящий через контур, S — площадь контура, образованного жидкостью и проводниками, отходящими от электродов. В пром. приборах приняты меры для подавления трансформаторной эдс соответствующим расположением этих проводников (т. е. уменьшением величины S) и компенсацией ее в измерит. схеме прибора. Схемы измерения Р. и. выполняются высокоомными, что позволяет практически исключить зависимость показаний прибора от изменения электропроводности жидкости; их можно разделить на 2 группы: компенсационные и прямого измерения. Компенсационные Р. и. обладают метрологич. преимуществами (высокая точность измерения — 0,5—1%, воспроизводимость показаний, эксплуатационная надежность и др.). Преимущество расходомеров по прямой схеме — возможность использования стандартных вторичных приборов.

Датчики Р. и. на различные диаметры имеют одинаковую чувствительность к расходу $\left(\text{в } \frac{мв}{м/сек}\right)$, что позволяет использовать одну и ту же вторичную измерит. систему с любым датчиком. В расходомерах, измеряющих расход жидких металлов и легкоплавких сплавов, магнитное поле, как правило, постоянное (пост. магнит или электромагнит пост. тока). В этом случае сигнал, поступающий с датчика, измеряют обычно автоматич. потенциометром, проградуированным в единицах расхода. Важный фактор надежной работы прибора — отсутствие в контролируемой среде ферромагнитных частиц.

Б. И. Никитин.

РАСХОДОМЕР ИОНИЗАЦИОННЫЙ (ionization flowmeter; débitmètre d'ionisation; Ionisationsdurchflußmesser) — основан на принципе ионизации потока для определения его скорости. Ионизация может быть импульсной (см. *Расходомер с метками потока*) и непрерывной (Р. и. с непрерывной ионизацией потока радиоактивным излучением и ионизационные анемометры с тлеющим разрядом). В Р. и. с непрерывной ионизацией потока (рис., *а*) на электрод *1* нанесен слой радиоактивного вещества, испускающего α- или β-частицы, к-рые ионизируют газовый поток, протекающий между электродами. Под действием разности потенциалов (100—300 *в*), приложенной к электродам, в межэлектродном пространстве образуется ионный ток, величина к-рого зависит от скорости потока. Точность этого метода невелика (4—6%), т. к. на величину ионного тока влияют подвижность ионов и коэфф. рекомбинации, определяемые состоянием газовой среды, а также величина питающего напряжения и распад радиоактивного изотопа. Влияние двух последних факторов при

больших и ср. скоростях газов устраняется в дифференц. схеме Р. и. (рис., *б*) с двумя собирающими электродами *2* и *3*. При неподвижном газе измерит. сигналы в цепях обоих коллекторов можно сбалансировать электронным измерит. мостом *5*. С увеличением скорости газа число ионов, попадающих на коллектор *3*, возрастает, а попадающих на коллектор *2* — уменьшается. Влияние темп-ры, давления и влажности газа на дальность полета α-частиц можно уменьшить, сделав толщину слоя газа между электродами близкой к миним. дальности полета α-частиц в данных условиях.



Ионизационный расходомер с непрерывной ионизацией потока: *а* — простейшая схема; *б* — дифференциальная схема; *в* — схема с измерением объемной рекомбинации ионов; *v* — скорость потока; *1* — радиоактивный электрод; *2*, *3* — собирающие электроды; *4* — измерит. прибор; *5* — мост.

Для измерения малых и средних скоростей движения газовых потоков применим Р. и. (рис., *в*), в к-ром при неподвижном потоке ионы не попадают на коллектор; величина тока в цепи коллектора зависит от рекомбинации ионов на пути от ионизатора к коллектору.

Ионизационные анемометры с тлеющим разрядом выполняются обычно в виде щупа с платиновыми электродами. Под действием достаточно большой разности потенциалов в зазоре 0,1—0,2 *мм* между двумя платиновыми электродами возникает тлеющий разряд. Газовый поток влияет на условия продвижения ионизированных частиц между электродами: ионный ток изменяется обратно пропорционально скорости потока. Если величина тока поддерживается постоянной, то с изменением скорости потока изменяется разность потенциалов между электродами. Чувствительность анемометра с тлеющим разрядом определяется гл. обр. выдуванием ионов из разрядного промежутка, а также влиянием давления и темп-ры среды, влиянием охлаждения на термоионные св-ва электродов и механич. деформацией электродов, вызванной напором потока или его охлаждающим действием на разогретые вследствие разряда электроды.

Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных потоков, М., 1959.

Г. П. Катыс.

РАСХОДОМЕР МАССОВЫЙ (mass flowmeter; débitmètre massique; Mengenmesser) — основан на придании измеряемому потоку дополнительного движения. В зависимости от его характера и способа создания (вращающимся или колеблющимся звеном) на чувствительном элементе Р. м. возникают пропорциональные массовому расходу вещества: 1) усилие Кориолиса, 2) инерционный вращающий момент (в турборасходомерах), 3) гироскопич. эффект. Р. м. измеряют истинную величину массового расхода вне зависимости от св-в и состояния вещества (давления, темп-ры, плотности, вязкости и др.). В простейшем Р. м., в к-ром расход измеряется по величине усилия Кориолиса (рис. 1), жидкость протекает через двойную Т-образную трубку, вращаемую с пост. угловой скоростью. Под действием ускорения Кориолиса при проходе жидкости через трубку *1* возникает момент, пропорциональный массовому расходу жидкости, измеряемый электрич. датчиком. Недостаток этого Р. м.— наличие уплотненных вращающихся соединений — отсутствует в Р. м. с электроприводом ротора через герметизиров. стенку патрубка (рис. 2). Мощность, затраченная на придание жидкости ускорений Кориолиса, пропорциональна величине массового расхода вещества. Вследствие малой величины механич. трения измерять массовый расход можно непосредственно по величине электрич. мощности, потребляемой двигателем расходомера. Однако показания такого Р. м. зависят от величины вязкости измеряемого потока. Чтобы избавиться от влияния вязкости, пользуются компенсац. схемами, напр. с двумя одинаковыми соосными роторами с радиальными каналами и отдельными синхронными электроприводами. В

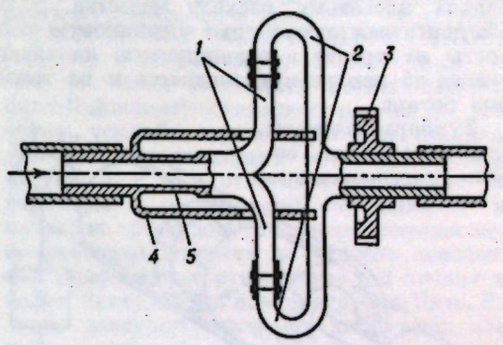


Рис. 1. Массовый расходомер с вращающейся Т-образной трубкой: *1* — измерит. упругая трубка; *2* — жестко закрепленная трубка; *3* — шестерня привода ротора; *4* — вращающийся корпус; *5* — тензометрич. элемент.

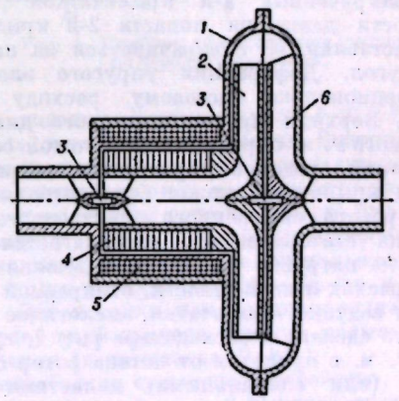


Рис. 2. Схема массового расходомера без вращающихся уплотнений: *1* — корпус; *2* — вращающийся элемент трубопровода; *3* — подшипники; *4* — ротор синхронного электродвигателя; *5* — статор электродвигателя; *6* — неподвижный элемент трубопровода.

1-м роторе жидкость, перемещаясь в радиальных каналах от оси вращения к периферии, отбирает от ротора энергию, требующуюся на создание в потоке ускорений Кориолиса, а во 2-м — жидкость движется от периферии к оси вращения и возвращает ротору эту энергию. Разность мощностей, потребляемых 1-м и 2-м двигателями, пропорциональна массовому расходу вещества, т. к. оба двигателя потребляют одинаковую мощность на трение в подшипниках, на вязкое трение об измеряемую жидкость и на тепловые потери.

Турборасходомеры (рис. 3) содержат 2 соосно расположенные

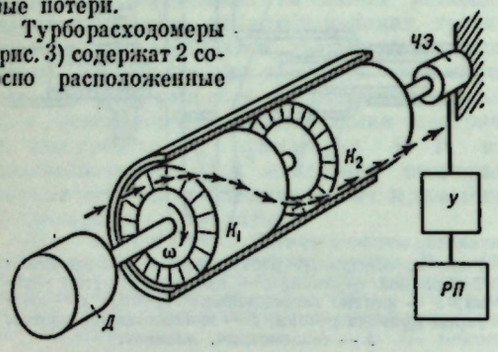


Рис. 3. Принципиальная схема турборасходомера: *Д* — электродвигатель; K_1 — вращающаяся крыльчатка; K_2 — невращающаяся крыльчатка; *ЧЭ* — упругое звено с чувствит. элементом; *У* — усилитель; *РП* — регистрирующий прибор.

крыльчатки, оси каналов которых параллельны общей оси вращения. 1-я по течению жидкости крыльчатка вращается электродвигателем с пост. угловой скоростью; 2-я крыльчатка укреплена на упругом элементе. Закрученный 1-й крыльчаткой поток жидкости давит на лопасти 2-й крыльчатки, заставляя ее поворачиваться на некоторый угол. Деформация упругого элемента пропорциональна массовому расходу жидкости. Верхний предел частотного диапазона такого Р. м. определяется частотой собств. колебаний ведомой крыльчатки. Вращающаяся крыльчатка может быть выполнена в виде ротора синхронного электродвигателя, обмотка статора к-рого располагается снаружи на патрубке расходомера. Можно измерять расход и по мощности, отбираемой потоком от ведущей крыльчатки, аналогично тому, как это сделано в расходомере рис. 2.

В Р. м. с приводом от потока ротор с прямыми (или спиральными) лопастями вращается от потока спиральной крыльчаткой через упругий элемент. Массовый расход в этих Р. м. определяется путем совместного измерения скорости вращения ротора и деформации приводного упругого элемента. Для измерения потоков, вязкость к-рых изменяется в широких пределах, разработаны двухроторные компенсационные Р. м., в к-рых имеются 2 прямолопастных ротора, вращаемых от приводной спиральной крыльчатки через 2 одинаковых упругих элемента. Оба ротора вращаются синхронно, причем на 1-й по потоку ротор действует момент, возникающий от закручивания потока, и момент вязкого трения, а на 2-й — только момент вязкого трения. По величине углового сдвига обоих роторов и скорости их вращения определяется величина массового расхода.

Созданы также Р. м., в к-рых расход определяется по соотношению угловых скоростей 2 свободно вращающихся роторов, имеющих каналы спец. формы.

В гироскопическом Р. м. с вращающимся ротором поток вещества протекает по трубопроводу сложной формы, вращающемуся с пост. скоростью. Возникающий при этом гироскопич. эффект, пропорциональный массовому расходу вещества, стремится повернуть вращающуюся систему относительно оси *B*—*B* (рис. 4). Величина этого

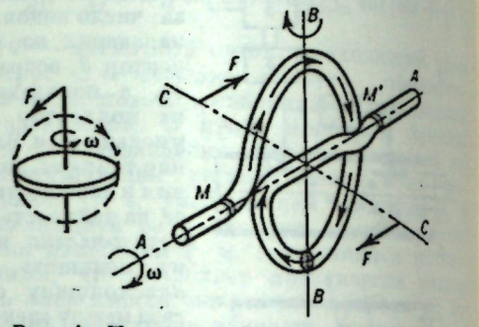


Рис. 4. Принцип действия гироскопич. расходомера.

момента измеряется к.-л. датчиком. Такие Р. м. имеют точность измерения в стационарном режиме 0,25—2% и линейность хар-ки ±0,25%. Их недостаток — наличие уплотнений вращающихся соединений, вращающихся контактов в цепи измерит. сигнала и сравнительно большие габариты измерит. устройства. В вибрац. гироскопич. Р. м. гироскопич. эффект создается на колеблющемся элементе трубопровода.

Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных потоков, М., 1959; его же, Автоматический контроль нестационарных параметров и параметрических полей, М., 1962.

Г. П. Катыс.

РАСХОДОМЕР С МЕТКАМИ ПОТОКА (flow meter with flow marking; débitmètre avec marques de flux; Durchflußmesser mit Strommerkzeichen) — измеряет скорости и расходы по времени переноса между двумя точками потока специально сформированных меток (ионных, радиоактивных, оптич., вихревых, тепловых). При измерении расхода Р. с м. п. необходимо учитывать профиль распределения скоростей в сечении канала. Погрешности Р. с м. п. составляют ок. 1,5—3%. В Р. с м. п. используются: 1) замкнутые схемы, в к-рых частота формирования меток пропорциональна скорости потока; 2) схемы, в к-рых частота формирования меток постоянна, и измеряется промежуток времени между моментом создания метки и моментом ее улавливания измерителем после перемещения или сдвиг фаз между метками синусоидальной

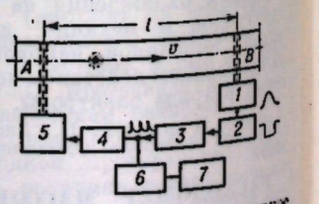


Рис. 1. Схема расходомера с частотой создания меток, пропорциональной скорости потока: *1* — регистратор меток; *2* — триггерное устройство; *3* — преобразователь; *4* — усилитель; *5* — генератор меток; *6* — частотомер; *7* — регистрирующий прибор.

формы. В схеме (рис. 1) в измеряемом потоке расположен элемент *A*, формирующий метки потока. Импульс, полученный при прохождении метки мимо регистрирующего элемента, усиливается и подается на триггерное устройство *2*, формирующее электрич. сигналы прямоугольной формы. Эти сигналы после преобразования в остроконечные импульсы и усиления подаются на элемент, формирующий метки. Измерит. сигнал в виде импульсов напряжения, частота к-рых пропорциональна скорости потока, подается на частотомер *6*, а затем на регистрирующий прибор *7*. Динамич. св-ва таких расходомеров сравнительно низки и определяются в основном качествами элемента, формирующего метку в потоке.

В схеме (рис. 2) импульс с элемента *2*, формирующего метку, запускает запертое кипп-

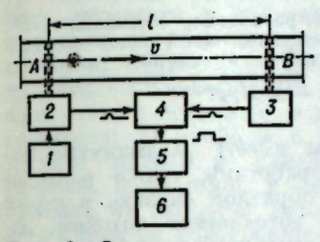


Рис. 2. Схема расходомера с пост. частотой создания меток: *1* — генератор; *2* — элемент, формирующий метки; *3* — элемент, регистрирующий прохождение меток; *4* — устройство отсчета времени (кипп-реле); *5* — пересчетное звено; *6* — измерит. прибор.

реле *4*; а импульс с регистратора меток возвращает кипп-реле в исходное положение. Длительность импульсов на выходе кипп-реле равна времени переноса метки на расстояние *l*. Пересчетным звеном *5* сигнал преобразуется в пост. ток и подается на измерит. прибор *6*.

Ионные метки создают с помощью электрич. искры, периодич. коронного разряда или облучения потока модулированным радиоактивным излучением; время перемещения ионной метки должно быть меньше времени деионизации. Последнее сокращается с повышением проводимости среды и ее темп-ры. Значительно больше время жизни меток при ионнополяризационном методе их формирования: ионная метка разделяется электрич. поляризатором на положит. и отрицат. части, к-рые затем не могут соединиться из-за наличия в трубопроводе продольной перегородки из изоляц. материала. В сильно ионизированных и в раскаленных газах формирование ионных меток невозможно. В этом случае пользуются радиоактивными метками: дозатор периодически подает в поток радиоактивный изотоп; точность измерения расхода зависит от правильности подбора дозы радиоактивного вещества и правильной его подачи по времени. Инерционность метода определяется временем срабатывания дозирующего устройства. Недостаток метода — пост. расход радиоактивного изотопа, загрязняющего поток.

В прозрачных потоках применяются оптически непрозрачные метки из темного порошка, периодически вводимого в поток дозаторами. В высокотемпературных потоках метки создают из вещества, к-рое, нагреваясь от потока, дает излучение определенного спектрального состава. В ненагретых потоках жидкостей, имеющих стабильную темп-ру, формируют тепловые метки: электромагнитный вибратор периодически выталкивает из подогревателя в поток определ. дозы нагретого вещества. Для измерения расходов проводящих жидкостей разработаны системы, в к-рых при помощи катушки в потоке жидкости периодически создаются вращат. им-

пульсы (вихри); при прохождении вихря около датчика последний создает импульсный электрич. сигнал. Разработаны также системы, создающие метки потока на основе использования явления ядерно-магнитного резонанса.

Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных потоков, М., 1959; Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959.

Г. П. Катыс.

РАСХОДОМЕР СКОРОСТНОГО НАПОРА [velocity head flowmeter; débitmètre de pression de vitesse (cinétique); Schnelldruckhöhedurchflußmesser] — измеряет расход по величинам усилий, перемещений или перепадов давлений, возникающих на теле, внесенном в поток. К Р. с. н. относятся манометрич. расходомеры и расходомеры обтекания. В манометрич. расходомерах расход определяется по разности давления до и после неподвижной диафрагмы с отверстием, в 2 точках насадки Вентури, при помощи трубки Пито. Разность давлений измеряют дифференц. электрич. датчиками: емкостными, индуктивными и др. Среди новых первичных преобразователей таких Р. с. н. следует отметить расходомерную насадку Долла (рис. 1,*а*) и сдвоен-

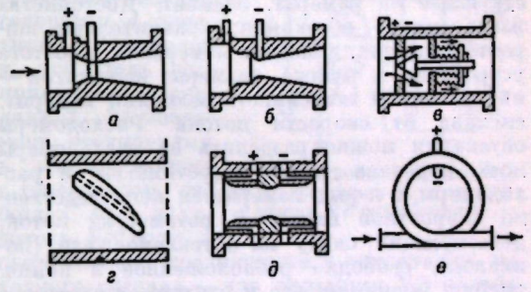


Рис. 1. Приборы для измерения расхода по перепаду давлений.

ную насадку Вентури (рис. 1, *б*). Насадка Долла отличается от насадки Вентури наличием торцовой кольцевой площадки на входе и кольцевой щели в месте соединения входного и выходного конусов (вместо цилиндрич. канала у насадки Вентури). Сдвоенная насадка Вентури состоит из нормального сопла, за к-рым следует короткое сопло и диффузор. Обе насадки при длине порядка 2 диаметров трубопровода имеют малые потери давления (в диапазоне 2—8%).

Разработано сужающее устройство, в к-ром с изменением уд. веса γ текущей среды автоматически изменяется площадь *F* проходного отверстия, так что соблюдается равенство $\alpha F\sqrt{\gamma} = \text{const}$, где α — коэфф. расхода диафрагмы. Это достигается укреплением профилирующего стержня на подвижной крышке двух сильфонов (рис. 1, *в*). Между сильфонами расположен тот же газ, расход к-рого измеряется. Изменения давления и темп-ры потока воспринимаются указанным объемом газа и вызывают перемещение профилированного стержня и изменение площади проходного сечения диафрагмы. Разработаны также конструкции диафрагм (сегментных и присовых), площадь отверстия к-рых изменяется в зависимости от давления и темп-ры потока. Первичными преобразователями Р. с. н. служат также напорное крыло (рис. 1, *г*) и трубчатая вставка с рядом отверстий, из к-рых часть

направлена по потоку, а часть — против (рис. 1, *д*). Используется также кольцевой элемент трубопровода, в к-ром под влиянием центробежных сил создается разность давлений в противоположных точках сечения трубы (рис. 1, *е*).

В диафрагменных Р. с. н. дифманометры сочетаются с приборами, измеряющими уд. вес или давление и темп-ру потока, и счетно-решающими схемами, определяющими весовой расход. К этой группе можно отнести и электрокинетич. диафрагменный расходомер, в к-ром использован электрокинетич. эффект в жидкостях, возникающий при вынужденном протекании полярной жидкости (вода, метиловый спирт) через капиллярную или пористую среду (напр., через пористое стекло). К обеим поверхностям пористой перегородки, установленной в трубопроводе, прижаты металлич. электроды в виде сеток, выводы к-рых подаются на высокоомный измерит. прибор. Расходомер прост, но пригоден только для измерения расхода полярных жидкостей со строго пост. концентрацией. В расходомерах обтекания чувствит. элементом является тело, воспринимающее динамич. давление обтекающего его потока и воздействующее на измерит. элемент. Достоинства расходомеров обтекания: сравнительно широкий динамич. диапазон измерений, простота устройства и малые размеры; недостаток — квадратичная зависимость величины измерит. сигнала от скорости потока. Расходомеры обтекания можно разделить на расходомеры пост. перепада давления (ротаметры) и расходомеры, в к-рых измеряется непосредственно скоростной напор. В ротаметрах поток, действующий снизу на обтекаемое тело (поплавок), свободно расположенное в конич. трубке, поднимает его и открывает отверстие для своего прохода. Образующийся при этом перепад давления почти постоянен и не зависит от величины расхода. Положение поплавка преобразуется в выходной сигнал индуктивным, фотоэлектрич. или др. способами.

Широко применяются расходомеры, в к-рых скоростной напор, создаваемый потоком на чувствит. элементе, определяется по величине перемещения тела, расположенного на пружине, или по величине усилия. Перемещение

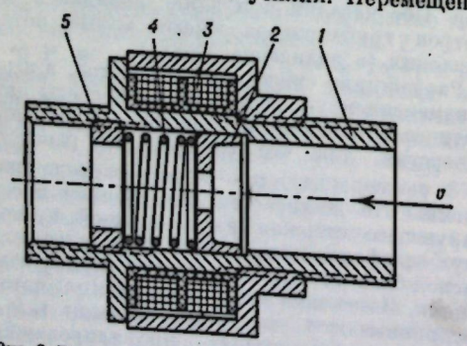


Рис. 2. Расходомер с подвижной диафрагмой и индуктивным измерителем: *1* — корпус расходомера; *2* — подвижная магнитная диафрагма; *3* — индуктивная катушка; *4* — немагнитная пружина; *5* — втулка, регулирующая сжатие пружины.

обтекаемого тела может измеряться индуктивным (рис. 2), оптич. и радиоактивным способами; усилие может измеряться тензометрич. (рис. 3), емкостными, индуктивными и др. датчиками. Обтекаемое тело (диафрагма с отверстием, цилиндрич. штифт и др.) устанавливается в потоке на упругом элементе.

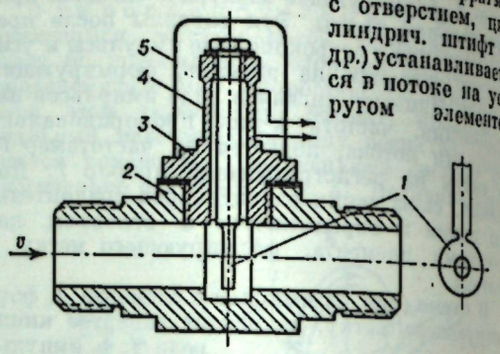


Рис. 3. Тензометрич. расходомер обтекания: *1* — тело, воспринимающее скоростной напор потока жидкости; *2* — патрубок; *3* — корпус расходомера; *4* — упругий элемент с тензодатчиком; *5* — кожух.

Такие расходомеры имеют разомкнутые измерит. схемы. Разработаны также расходомеры обтекания с обратной связью, в к-рых перемещение тела, обтекаемого потоком, измеряется индуктивным способом. В Р. с. н. без внесения в поток обтекаемых тел измеряется, напр., величина скоростного напора на стенку патрубка при изменении направления движения потока под прямым углом или по спирали.

Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных потоков, М., 1959; Кремлевский П. П., Расходомеры, 2 изд., М.— Л., 1963. *Г. П. Катыс.*

РАСХОДОМЕР ТЕПЛОВОЙ [thermal flow meter; débitmètre calorifique (thermique); Wärmedurchflußmesser] — основан на принципе измерения скорости потока по интенсивности переноса потоком тепловой энергии. Скорость потока измеряется либо по охлаждению нагретого тела, помещенного в поток (термоанемометры), либо по переносу тепловой энергии между двумя точками, расположенными вдоль потока (калориметрич. расходомеры).

Термоанемометры могут быть выполнены как с совмещенными, так и с разделенными подогревателями и измерителями. В устройствах первого типа термоэлемент (тонкая металлич. или ПП проволочка или пленка) включается в одно из плеч измерит. моста (выполняются как с перем., так и с пост. темп-рой термоэлемента). Скорость потока измеряют по изменению сопротивления термоэлемента (при поддержании неизменной величины тока) или по изменению тока (при поддержании пост. сопротивления термоэлемента). В устройствах второго типа приемник состоит из нагреваемой проволочки, темп-ра к-рой измеряется термопарой или термистором; скорость потока определяется по изменению темп-ры проволочки при поддержании пост. тока или по величине тока при поддержании пост. темп-ры. Чувствит. элемент термоанемометра выполняется из проволоки (платиновой, реже — вольфрамовой или никелевой) диаметром 0,005—0,3 *мм* и длиной 3—10 *мм* или из тонкой металлич. пленки, нанесенной на стеклянное или керамич. основание. С повышением темп-ры термоэлемента возрастает чувствительность прибора и уменьшается влияние колебаний темп-ры измеряемого потока на его показания.

Постоянная времени термоэлемента анемометра порядка тысячных сек.; она зависит от его массы, ср. темп-ры и сопротивления. Для проволочек диаметром 0,0025—0,005 *мм* и длиной ок. 4 *мм* постоянная времени от 0,001 до 0,002 сек. при скоростях потока порядка 20 *м/сек*. Существенное повышение динамич. св-в термоанемометров дают схемы с обратной связью, в к-рых ток нагрева термоэлемента регулируется т. о., чтобы поддерживать его постоянную темп-ру. Пленочные чувствит. элементы прочнее проволочных; их рационально применять для измерения потоков жидкостей. В качестве чувствит. элемента может быть применен также и термистор.

Калориметрические Р. т. могут быть разделены на: 1) приборы с подводом пост. мощности к нагревателю и измерением величины нагрева потока, зависящей от его скорости; скорость потока определяется по показаниям 2 измерителей темп-ры, из к-рых один стоит в потоке до, а другой — после нагревателя; 2) приборы с пост. темп-рой подогрева потока и измерением количества энергии, подводимой к подогревателю и зависящей от скорости потока; 3) приборы, в к-рых темп-ра подогревателя изменяется синусоидально во времени, скорость потока определяется по величине фазового смещения сигналов, получаемых на измерителе, и сигналов, подаваемых на подогреватель. На подогреватель подается синусоидальное напряжение. В потоке формируется периодически изменяющееся движущееся температурное поле, вызывающее соответствующее изменение сопротивления чувствит. элемента измерителя, к-рое преобразуется в электрич. сигнал, сдвинутый по фазе на величину $\Delta\varphi$ относительно синусоидального напряжения, поданного на нагреватель. Получаемый сдвиг фаз пропорционален скорости потока.

Калориметрич. Р. т., в к-рых подогреватель и измерители темп-р расположены по всему сечению трубопровода, измеряют скорость потока, близкую к скорости, осредненной по данному сечению. Их недостаток —изменение параметров при осаждении на чувствит. элементах твердых частиц, содержащихся в газовых потоках. При калориметрич. методе измерения расхода жидкости и газа подогреват. и измерит. элементы могут быть размещены на наружной поверхности патрубка расходомера; тепловая энергия передается через стенку патрубка.

Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных потоков, М., 1959; Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959. *Г. П. Катыс.*

РАСХОДОМЕР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ (ultrasonic flowmeter; débitmètre ultra-sonore; Ultraschalldurchflußmesser) — измеряет расход жидкости по разности скоростей распространения УЗ колебаний по потоку и против него. В различных системах Р. у. измерение расхода осуществляется: 1) путем непосредственного измерения разности времен распространения УЗ импульсов по потоку и против него; 2) измерением сдвига фаз между УЗ колебаниями, распространяющимися по потоку и против него в режиме непрерывного излучения; 3) путем измерения разности частот повторения пакетов или коротких импульсов УЗ колебаний, распространяющихся по потоку и против него, причем каждый последующий пакет или импульс возбуждается предыдущим, пришедшим на приемный пьезоэлемент; 4) по величине сноса потоком жидкости УЗ колебаний, направленных перпендикулярно к нему.

В Р. у. 1-го типа в потоке установлены 2 пары пьезоэлементов. Излучающие пьезоэлементы непрерывно посылают УЗ импульсные сигналы по потоку и против него. По разности промежутков времени, через к-рые эти сигналы поступают на приемные пьезоэлементы, определяется величина расхода. Недостаток такого Р. у. — зависимость показаний от скорости звука в измеряемой среде.

В Р. у. 2-го типа наибольшее распространение получила схема с двумя пьезоэлектрич. преобразователями, попеременно меняющимися функциями излучателя и приемника (рис. 1). Измеряемая жидкость перемещается по патрубку, на к-ром расположены пьезоэлектрич. пластины, передающие УЗ колебания жидкости. Коммутатор *1* попеременно соединяет с пьезоэлементами генератор *4* электрич. УЗ сигналов и усилитель воспринимаемого сигнала *2*. Пьезоэлемент, соединенный в данный момент с генератором, работает как излучатель УЗ волн, а

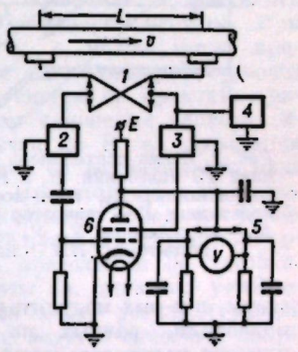


Рис. 1. Принципиальная схема расходомера по сдвигу фаз между УЗ колебаниями.

пьезоэлемент, соединенный с усилителем выходного сигнала, — как приемник УЗ колебаний, прошедших через жидкость. Электрический сигнал, подаваемый с генератора на пьезоэлемент, одновременно подается на усилитель-преобразователь *3*. Полученный там прямоугольный сигнал подается на сетку лампы *6* фазометра. Усилитель воспринимаемого сигнала *2* устроен аналогично усилителю *3*, и с него на др. сетку лампы фазометра тоже поступает электрич. сигнал прямоугольной формы, но сдвинутый по фазе относительно сигнала, поступающего с генератора. В фазометре определяется фазовый сдвиг между посланными излучателем в поток УЗ колебаниями и пришедшими на приемник УЗ колебаниями. Разность между двумя указанными фазовыми сдвигами при движении УЗ колебаний по направлению потока и против него пропорциональна скорости движения жидкости. С фазометра измерит. сигнал направляется на синхронный выпрямитель *5* и затем на указательный прибор. В таком Р. у. величина смещения фазы соответствующих сигналов зависит не только от измеряемой скорости потока, но и от скорости звука в данной среде. Эта зависимость создает нек-рую нестабильность показаний, т. к. скорость звука является ф-цией физич. параметров среды, в частности темп-ры, плотности наличия воздушных пузырьков и др. Влияние скорости звука на показания Р. у. можно исключить путем вычитания величин, обратно пропорциональных фазовым смещениям. В Р. у. для измерения быстропеременных расходов коммутатор выполняется элек-

тропным, т. к. требуется большое число переключений в единицу времени. Динамич. св-ва таких Р. у. достаточно высоки.

3-й тип Р. у. имеет обычно 4 пьезоэлектрич. преобразователя (рис. 2) и 2 замкнутые си-

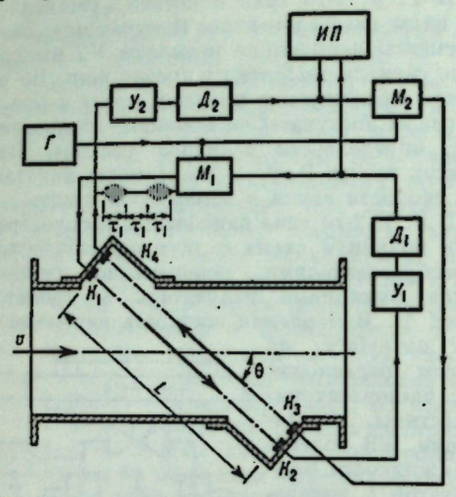


Рис. 2. Схема расходомера с импульсной модуляцией УЗ колебаний: $К_1$ и $К_3$ — излучающие пьезокристаллы; $К_2$, $К_4$ — воспринимающие пьезокристаллы; $Г$ — генератор несущей частоты; $М_1$, $М_2$ — модуляторы; $У_1$, $У_2$ — усилители; $Д_1$, $Д_2$ — детекторы; $ИП$ — измерит. прибор.

стемы, в к-рых модуляторы создают пачки УЗ колебаний, равных по продолжительности времени распространения УЗ от излучающего до приемного преобразователей по потоку τ_1 и против потока τ_2. Модуляторы работают в триггерном режиме; они могут находиться либо в отпертом состоянии, подводя электрич. сигналы УЗ частоты к излучающим пьезоэлементам, либо в запертом состоянии, когда полностью прекращается подача сигналов. Для управления работой модуляторов служат электрич. сигналы приемных преобразователей. По истечении определенного времени, требующегося на преодоление расстояния L и отсчитываемого с момента выхода колебаний с излучателя, сигнал попадает на приемный пьезоэлемент, усиливается, детектируется и подается на модулятор, к-рый прекращает подачу электрич. синусоидального сигнала на излучающий пьезоэлемент на весь промежуток времени, пока приемный пьезоэлемент воспринимает УЗ излучения. В тот момент, когда приемный пьезоэлемент перестает воспринимать УЗ колебания от жидкости, происходит переключение модулятора, и на излучающий элемент начинают поступать синусоидальные электрич. сигналы от генератора. Это продолжается до тех пор, пока УЗ колебания не поступят на приемный пьезоэлемент, после чего цикл повторяется. Разность частот следования пакетов УЗ колебаний по потоку и против него пропорциональна скорости жидкости. Недостаток Р. у. этого типа — необходимость строгого поддержания равенства частот следования импульсных пакетов в обеих системах при неподвижном состоянии жидкости в трубопроводе.

В Р. у. 4-го типа УЗ излучения создаются одним пьезоэлементом, а воспринимаются двумя пьезоприемниками, расположенными на противоположной стороне патрубка. При этом в зависимости от скорости потока изменяется интенсивность УЗ излучений, воспринимаемых 1-м и 2-м приемниками. В нек-рых Р. у. этого типа УЗ излучения неск. раз отражаются от стенок патрубка, прежде чем попасть на пьезоприемники. Это повышает чувствительность Р. у. В Р. у. может быть применено устройство, соответственно корректирующее измерит. сигнал в зависимости от изменений плотности жидкости. Основным элементом корректирующего устройства является пьезопластина, расположенная в измеряемой жидкости и возбуждаемая спец. источником на резонансной частоте. При этом величина электрич. сигнала, необходимого для создания колебаний пьезопластины, пропорциональна плотности жидкости.

Корпус датчика расходомера изготовляют из материала, плохо проводящего УЗ (нек-рых пластмасс, напр. винилита, винипласта), чтобы УЗ колебания не проходили по стенке корпуса на приемный кристалл, минуя жидкость. В качестве источников и приемников УЗ колебаний применяются пьезоэлементы (кварц, титанат бария и др.), а также магнитострикционные элементы. К достоинствам Р. у. относятся: возможность их использования для измерения расходов практически любых жидкостей, бесконтактность приемных устройств, отсутствие или очень малые потери давления. Недостатки Р. у.: сложность их электрич. схем и влияние на их показания вязкости и темп-ры измеряемой среды. Погрешности разработанных Р. у. лежат в пределах от 2 до 4% от предела шкалы. Различные схемы Р. у. позволяют измерять как малые, так и большие нестационарные расходы жидкости, причем верхний предел частотного диапазона расходомеров, работающих по принципу измерения фазового сдвига, значительно выше, чем у расходомеров с импульсным модулированием.

Лит.: Катыс Г. П., Элементы систем автоматического контроля нестационарных потоков, М., 1959; Биргер Г. И., Элементы общей теории ультразвуковых расходомеров, «ИТ», 1961, № 4. *Г. П. Катыс.*

РАСЧЕТНЫЙ СТОЛ (расчетная модель электрической системы) (network analyser; table de calcul; Rechentisch) — установка, содержащая набор элементов и позволяющая собрать (моделировать) схемы замещения элементов электрич. систем и систем в целом. Р. с. делятся на универсальные, позволяющие собирать на коммутац. панелях любую подлежащую расчету схему электрич. системы, и индивидуализированные, предназнач. для исследования к.-л. конкретной электрич. системы и имеющие жестко фиксированную схему этой системы.

Р. с.— средство простейшей *автоматизации исследования* режимов энергосистем; применяются также для расчета гидравлич., тепловых сетей и систем в др. областях техники, для решения задач, имеющих математич. описания, аналогичные соответствующим электротехническим (электрич. системы и сети) задачам. Они выполняются на активных сопротивлениях с питанием пост. или перем. током. И те и другие часто условно наз. Р. с. пост. тока. Р. с. перем. тока собираются на полных сопротивлениях. Иногда Р. с. наз. также статич. моделями перем. тока или сетевыми анализаторами. Чем больше элементов имеет Р. с. (чем больше в нем генераторных и трансформаторных единиц,

сопротивлений и т. д.), тем больше его возможности в смысле расчета сложных многоконтурных и многоэлементных схем. Совр. Р. с. перем. тока выполняются автоматизированными (в той или иной степени). В простейшем случае — это представление нагрузки управляемым нелинейным сопротивлением, воспроизводящим заданную зависимость потребляемой активной и реактивной мощности от напряжения. Такие нагрузки обычно обеспечивают или неизменную мощность или линейную зависимость мощности от напряжения, причем наклон хар-ки $P = \varphi(u)$, $Q = f(u)$ может изменяться. В Р. с. перем. тока может осуществляться автоматизация генераторных станций, к-рая в простейшем случае сводится к обеспечению заданной величины активной мощности, выдаваемой данной станцией. При более полной автоматизации применяются автоматич. генераторные станции, являющиеся моделью-аналогом реальной генераторной станции и моделирующие ее в соответствии с ур-ниями переходного процесса. Двигатели нагрузки в этом случае также представляются аналогами, дающими подобие статич. и динамич. хар-к.

Автоматизированные Р. с. перем. тока, в к-рых осуществлено аналоговое моделирование генераторных станций и нагрузок, в литературе иногда наз. динамич. расчетными моделями [1] или просто динамич. моделями (ДМ) электрич. систем. Такие ДМ отличаются от физич. моделей (к-рые также иногда наз. динамическими) тем, что в них генераторы и нагрузки моделируются по принципу математич. (аналогового, а не физического) моделирования. Для исследования переходных процессов на ДМ снимаются осциллограммы или автоматич. записываются (с помощью цифровых вольтметров) отдельные параметры режима. На неавтоматизиров. Р. с. расчет установившихся режимов ведут на основе «набранных на столе» схем замещения (неизменных для данного режима), проводя непосредственно замены токов, напряжений и мощностей в ветвях схемы. Здесь Р. с. работает как модель-аналог. Расчет переходных процессов ведется методами последоват. интервалов (численное интегрирование), причем схема замещения может изменяться в каждом интервале. На неавтоматизированных Р. с. часть вычислит. операций осуществляется вручную, хотя имеется возможность создания дополнит. решающих приставок, проводящих вспомогат. вычислит. операции.

Р. с. перем. тока работают как на частоте энергосистемы (50—60 *гц*), так и на повыш. частотах (200—400 *гц*). Для уменьшения размеров Р. с. делались попытки использовать еще большие частоты (вплоть до 10—20 тыс. *гц*). Однако такие Р. с. оказались сложны по конструкции.

Р. с. применяются для расчетов нормальных и переходных режимов электрич. систем, для решения задач, связанных с перенапряжениями, для решения систем ур-ний и т. д. При расчетах нормальных режимов определяют распределения нагрузок между станциями системы, напряжения в ее узловых точках, проверяют статич. устойчивость. Расчеты распределения нагрузок обычно проводятся только частично (нахождение т. н. коэфф. распределения) или в первом грубом приближении, т. к. для отыскания оптимума режима точность Р. с. недостаточна. Расчеты статич. устойчивости с помощью Р. с. обычно ограничиваются определением предельной мощности при увеличении реактивного сопротивления передачи или снижении напряжения в приемной системе. В качестве критериев устойчивости при расчетах на Р. с. перем. тока обычно берут практич. критерии, вытекающие из условия положительности свободного члена характеристич. ур-ния. Реже используются др. возможности Р. с. (напр., определение знаков вещественных частей корней характеристич. ур-ний, для отыскания предельных режимов по условиям самораскачивания исследуемой системы и т. д.). В этом случае Р. с. может использоваться как математич. модель, позволяющая определять периодич. решения системы однородных линейных дифференц. ур-ний. Решение этой задачи оказывается наиболее простым, если источник питания Р. с. позволяет осуществлять нек-рые небольшие изменения частоты. При такой возможности Р. с. можно также применять и для расчетов статич. устойчивости сложных электрич. систем по практич. критериям, но с учетом изменения частоты системы. В этом случае на Р. с. проводится последоват. проверка на устойчивость ряда исходных режимов. При этом один из проверяемых режимов является заведомо устойчивым и последовательное его ухудшение позволяет установить предельный по устойчивости режим. Расчеты кз, динамич. устойчивости, асинхронного хода, результирующей устойчивости и т. д. ведутся способом последоват. интервалов, позволяющим получать качеств. хар-ку для всего процесса, но уверенные (количественно) результаты обычно для первого цикла качаний.

Р. с. может эффективно применяться совместно с ЦВМ, позволяя в ряде случаев облегчать расчеты сложных систем на вычислит. машинах. Так, на Р. с. можно проводить предварит. расчеты обобщ. параметров (или коэффициентов) линейных схем замещения сложных систем. Применение обобщ. параметров — коэфф. распределения — резко сокращает итерац. процесс, происходящий в вычислит. машине. Это имеет существ. значение, т. к. плохая сходимость итерац. процесса может сделать применение вычислит. машины мало эффективным при расчетах режимов электрич. систем. Расчеты распределения токов и потоков мощности обычно производятся на Р. с. перем. тока. Однако во многих практически существенных случаях для этой цели может быть использован более простой Р. с. пост. тока.

Основанием для применения Р. с. пост. тока при расчетах сетей является однородность $\left(\frac{r}{x} = \text{const}\right)$ схемы замещения рассматриваемой системы. При расчетах схем замещения, содержащих элементы взаимной индуктивности, возможно применение принципа дуальности схем.

В СССР выпускаются Р. с. перем. тока двух типов: 1) на частоте 200 *гц* (разработан Теплоэлектропроектом, изготовляется з-дом Латвэнерго) и 2) на частоте 400 *гц* (разработан Энергетич. ин-том им. Г. М. Кржижановского, выпускается опытным заводом АН СССР). Р. с. пост. тока выпускаются з-дом Латвэнерго.

За рубежом Р. с. изготовляются рядом фирм и широко применяются в практике исследований режимов электрич. систем.

Лит.: 1) Азарьев Д. И., Математическое моделирование электрических систем, М.— Л., 1962; 2) Тетельбаум И. М., Электрическое моделирование, М., 1959; 3) Веников В. А., Электромеханические переходные процессы в электрических системах, М.— Л., 1958; 4) Левинштейн М. Л., Щербачев О. В., Определение режимов электрических систем, предельных по самораскачиванию, на расчетном столе переменного тока, «Э-во», 1962, № 10; 5) их же, Применение статической модели электрических систем для расчетов статической устойчивости с учетом изменения частоты, «Тр. Ленингр. политехнич. ин-та», 1958, № 195; 6) Совалов С. А., Расчет сложных сетей переменного тока с использованием модели постоянного тока, «Э-во», 1945, № 1—2.

В. А. Веников.

РАСШИФРОВЫВАЮЩАЯ МАШИНА (decoding machine; machine à dechiffrer; Dechiffrieranlage) — расшифровывает информацию, пробитую на перфокарте, и записывает ее в виде букв и цифр на той же перфокарте.

Наличие расшифрованной и отпечатанной на карте информации во многих случаях бывает необходимо для поиска перфокарт в картотеках или визуального чтения данных. Р. м. входит в состав комплекта счетно-перфорац. и электронных машин.

Существует Р. м. для однократной записи содержания пробитой информации на верхнем чистом поле перфокарты (на 11 или 12 позициях карты) (рис.) и для периодич. печати данных в виде столбцов между позициями перфокарты. Каждое новое поступление данных пробивается на карте и затем после пропуска через Р. м. отпечатывается в виде отдельной строчки столбца.

В наиболее быстродействующих Р. м. перфокарты подаются широкой стороной с параллельным восприятием пробивок всех колонок карты. Скорость расшифровки и записи — ок. 80—120 перфокарт в мин. В этом случае Р. м. представляет собой достаточно сложное устройство, включающее механизмы подачи, восприятия пробивок и многоразрядное *печатающее устройство*.

В более простых конструкциях Р. м. перфокарты подаются узкой стороной с последовательной растифровкой пробивок и записью по колонкам. Скорость работы — 30—50 перфокарт в мин.; печатающее устройство — одноразрядное.

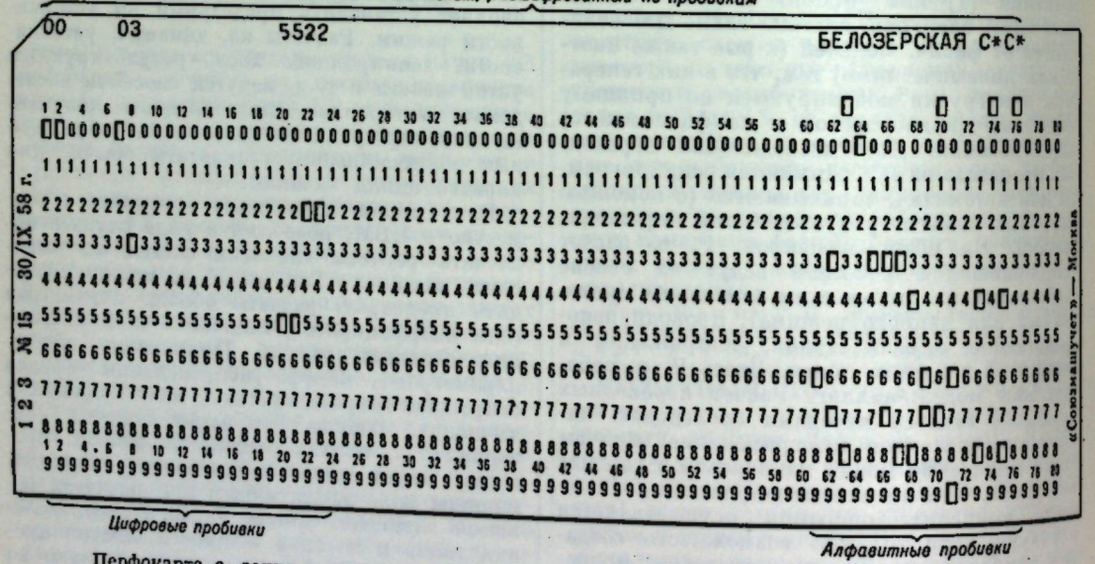
В комбиниров. Р. м. совмещаются операция пробивки перфокарт с одновременной визуальной записью информации на той же перфокарте. Напр., ручной алфавитно-цифровой перфоратор ИБМ (США) является комбинацией *перфоратора* и пишущей машины. Имеется комбинация репродуктора с Р. м. (машина «Репортез» франц. фирмы «Булль»). Однако из-за сложности конструкции, малой надежности и высокой стоимости такие машины широкого распространения не получили.

В. Н. Рязанкин.

РАУСА КРИТЕРИЙ (Routh's criterion; critère de stabilité de Routh; Raus'sches Kriterium) — критерий, позволяющий определить устойчивость динамич. системы, описываемой линейным дифференц. ур-нием n-го порядка с пост. коэффициентами. Р. к. дан в форме алгоритма. Общую ф-лу для любой степени ур-ния получить нельзя, т. к. для определения $k+1$ операции необходимо проделать k предыдущих операций. Пусть характеристич. ур-ние системы имеет вид:

$$a_0\lambda^n+a_1\lambda^{n-1}+\ldots+a_{n-1}\lambda+a_n=0,\quad a_0>0.$$

Отпечатанный текст, расшифрованный по пробивкам



Перфокарта с записью содержания пробивок, отпечатанных на расшифровочной машине.

Для определения устойчивости надо составить таблицу:

$$\left(\begin{array}{cccccccc}
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
c_1 & c_3 & c_5 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
c_0 & c_2 & c_4 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
b_1 & b_3 & b_5 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
b_0 & b_2 & b_4 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
a_1 & a_3 & a_5 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
a_0 & a_2 & a_4 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
\end{array}\right)$$

Последние две строки состоят из известных коэфф. характеристич. ур-ния. Для определения b_0, b_1,..., c_0, c_1,... составим матрицы

$$\left\|\begin{array}{ccc} a_1 & a_3 & a_5\ldots \\ a_0 & a_2 & a_4\ldots \end{array}\right\|$$

$$\left\|\begin{array}{ccc} b_0 & b_2 & b_4\ldots \\ a_1 & a_3 & a_5\ldots \end{array}\right\|$$

$$\left\|\begin{array}{ccc} b_1 & b_3 & b_5\ldots \\ b_0 & b_2 & b_4\ldots \end{array}\right\|$$

$$\left\|\begin{array}{ccc} c_0 & c_2 & c_4\ldots \\ b_1 & b_3 & b_5\ldots \end{array}\right\|$$

и т. д. Миноры каждой предыдущей матрицы, включающие первый столбец, определяют искомые коэфф.

$$b_0=\left|\begin{array}{cc} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{array}\right|,\quad b_2=\left|\begin{array}{cc} a_1 & a_5 \\ a_0 & a_4 \end{array}\right|,\quad b_4=\left|\begin{array}{cc} a_1 & a_7 \\ a_0 & a_6 \end{array}\right|,\ \ldots$$

$$b_1=\left|\begin{array}{cc} b_0 & b_2 \\ a_1 & a_3 \end{array}\right|,\quad b_3=\left|\begin{array}{cc} b_0 & b_4 \\ a_1 & a_5 \end{array}\right|,\ \ldots$$

$$c_0=\left|\begin{array}{cc} b_1 & b_3 \\ b_0 & b_2 \end{array}\right|,\quad c_2=\left|\begin{array}{cc} b_1 & b_5 \\ b_0 & b_4 \end{array}\right|,\ \ldots$$

и т. д.

Система устойчива, если элементы первых столбцов всех матриц положительны:

$$a_0>0,\ a_1>0,\ b_0>0,\ b_1>0,\ c_0>0,\ \ldots$$

Лит.: Воронов А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954.

В. Ю. Рутковский.

РЕАКТИВНАЯ ЛАМПА (valve reaktor, reactance tube; tube électronique réactif; Impedanzröhre) — электронная лампа, работающая в качестве переменной реактивности в результате использования в спец. схеме. Р. л. применяется для управления частотой колебаний автогенераторов в системах АПЧ радиоприемников и для ЧМ. Физически Р. л. представляет собой емкостную или индуктивную нагрузку, подключаемую к колебат. контуру генератора. Величина и характер этой нагрузки определяются режимом используемой в схеме лампы и зависят от управляющего напряжения на одной из ее сеток.

На управляющую сетку лампы через фазирующую цепь в виде потенциометра, состоящего из комплексных сопротивлений Z_1 и Z_2, поступает переменное напряжение с колебат. контура автогенератора (рис. 1). Параметры фазирующей цепи подбираются так, чтобы напряжение на управляющую сетку поступало со сдвигом по фазе, равным 90° относительно напряжения, подаваемого с колебат. контура автогенератора на ее анодную цепь. Перем. напряжение, поступающее на управляемую сетку лампы с фазирующей цепи Z_1Z_2, вызывает появление в ее анодной цепи перем. составляющей анодного тока, сдвинутой по фазе относительно напряжения автогенератора, приложенного между анодом и катодом лампы, на ± 90°. В случае отрицат. фазового сдвига Р. л. эквивалентна индуктивности, а при положительном — емкости, подключенной к колебат. контуру автогенератора между точками A и B схемы. Для обеспечения реактивного действия в наиболее чистом виде, как правило, в Р. л. применяется пентод. Р. л. оказывает также шунтирующее действие на контур автогенератора, т. к. обладает также и активным сопротивлением, подключаемым к контуру между точками A и B.

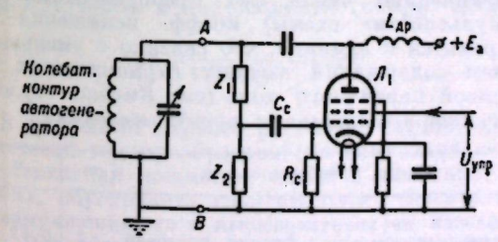


Рис. 1.

Практически в качестве элементов фазирующей цепи используются конденсаторы, индуктивности и активные сопротивления. В зависимости от их комбинаций существуют четыре варианта схем Р. л. (табл.).

Эквивалентные параметры R_{AB} и X_{AB} схемы зависят от крутизны хар-ки лампы в рабочей точке, к-рая определяется режимом работы самой лампы. Меняя режим лампы при помощи управляющего напряжения на одной из сеток можно управлять величиной эквивалентной емкости или индуктивности, создаваемой Р. л. между точками A и B. Для уменьшения шунтирующего действия Р. л. на контур автогенератора фазирующая RC-цепь должна содержать большое сопротивление R и малую емкость C, а LR-цепь — большую индуктивность L и большое сопротивление R.

Активные и реактивные сопротивления схем реактивных ламп.

Z_1	R	C	R	L
Z_2	C	R	L	R
R_{AB}	$(R\omega C)^2/S$	$1/S\,(R\omega C)^2$	$R^2/S\omega^2L^2$	ω^2L^2/SR^2
X_{AB}	$L_{AB}=RC/S$	$C_{AB}=SRC$	$C_{AB}=SL/R$	$L_{AB}=L/SR$

Примечание: S — крутизна хар-ки лампы в рабочей точке, ω — угловая частота автогенератора.

На практике наиболее распространена схема Р. л. с RC-фазирующей цепью, т. к. емкость обладает очень большим активным сопротивлением потерь. Чтобы получить изменение крутизны хар-ки в зависимости от управляющего напряжения, Р. л. должна работать на нелинейном участке сеточной хар-ки. Начальная крутизна в рабочей точке определяет среднее значение эквивалентной реактивности Р. л. X_{AB}, от к-рой зависит начальное изменение частоты автогенератора. Подключение Р. л. к колебат. контуру автогенератора снижает стабильность его частоты из-за колебаний напряжения питания.

От этого недостатка свободна двухтактная схема Р. л. (рис. 2). В этой схеме используются две Р. л.: $Л_1$ является эквивалентной индуктивностью, $Л_2$ — емкостью. При отсутствии управляющего сигнала действие обеих ламп на контур автогенератора взаимно уравновешивается и ср. значение эквивалентной реактивности схемы равно нулю. Этим повышается стабильность частоты автогенератора, т. к. колебания напряжения питания действуют на обе лампы одинаково: при уменьшении крутизны хар-к обеих ламп эквивалентная индуктивность $Л_1$ увеличится, а эквивалентная

емкость $Л_2$— уменьшится и частота колебаний практически останется без изменений. Двухтактная схема Р. л. более сложна в настройке и регулировке, однако дает возможность управлять

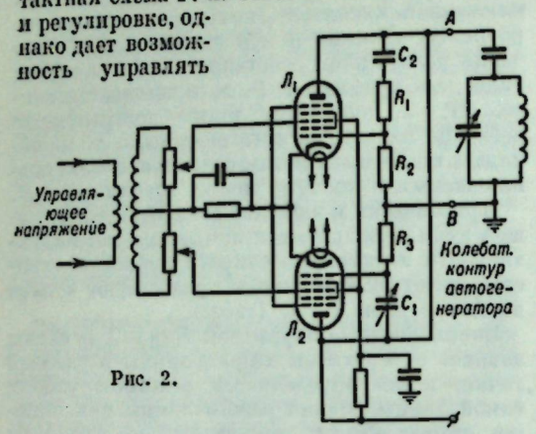


Рис. 2.

частотой автогенератора в значительно больших пределах, чем однотактная.

На частотах 0,4—60 *Мгц* в качестве управляемой реактивности применяются ПП диоды, у к-рых емкость p—n-перехода зависит от приложенного напряжения $C \cong \frac{a}{\sqrt{U}}$, где U — обратное напряжение.

Лит.: Новаковский С. В., Частотная модуляция, М., 1946; Куликовский А. А., Частотная модуляция в радиовещании и радиосвязи, М.— Л., 1947.

Ю. Б. Любченко.

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ В ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ (reactive power in static converters; puissance réactive dans les convertisseurs à valves; Blindleistung in Stromrichter). При работе вентильных преобразователей (ВП) происходит потребление реактивной мощности от питающей сети (*выпрямители*) или от приемной сети перем. тока (*инверторы, ведомые сетью*), причем, поскольку в состав таких преобразователей входят электрич. вентили, являющиеся нелинейными элементами с односторонней проводимостью и регулируемым моментом отпирания, понятие Р. м. в в. п. шире, чем в обычных линейных цепях перем. тока.

Для выяснения специфики Р. м. в в. п. ниже рассматриваются два предельных случая; принимается, что имеется достаточно мощная сеть, обеспечивающая отсутствие искажений в кривой питающего напряжения. В случае однофазного двухполупериодного выпрямителя (с выводом ср. точки тр-ра или с мостовой схемой преобразования) при нулевом угле управления и при допущениях, что угол перекрытия и намагничивающий ток тр-ра равны нулю и выпрямл. ток идеально сглажен, кривая потребляемого от сети тока i_1 будет симметрична относительно точки максимума синусоиды напряжения сети u_1 (рис. 1, *а*). Разложим кривую тока i_1 на первую гармонику $i_{1(1)}$ и суммарную кривую высших гармоник $\sum_{n=2}^{\infty} i_{1(n)} = i_1 - i_{1(1)}$ и построим кривые мгновенных значений активной мощности $p_a = u_1 i_{1(1)}$ и мощности искажения $p_{искаж} = u_1 \sum_{n=2}^{\infty} i_{1(n)}$ (рис. 1, *б*). Действующее значение осн. гармоники тока $I_{1(1)}$ определяет потребляемую от сети активную мощность $P_1 = I_{1(1)} U_1$, а действующее значение тока всех высших гармоник $I_г = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{1(n)}^2}$ — мощность искажения $T_{искаж} = I_г U_1$. Наличие в кривой мгновенных значений мощности искажения положит. и отрицат. участков, равновеликих в течение по-

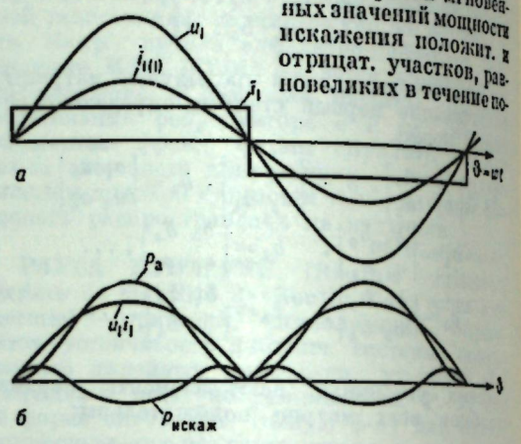


Рис. 1.

лупериода, свидетельствует о периодич. обмене мощностью между сетью перем. тока и дросселем в цепи нагрузки выпрямителя. Это же означает, что мощность искажения, складывающаяся из произведений тока и напряжения различных частот, является реактивной мощностью.

Коэфф. мощности χ, определяемый, как обычно, отношением активной мощности к полной, в рассматриваемом случае будет равен коэфф. искажения тока ν:

$$\chi = \frac{P}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 - T_{искаж}^2}} = \frac{I_{1(1)}}{\sqrt{I_{1(1)}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_{1(n)}^2}} = \nu.$$

Аналогичная картина будет и в многофазных выпрямителях при указанных выше допущениях. В табл. приведены значения коэфф. искажения для осн. наиболее употребительных на практике схем, причем видно, что с увеличением числа фаз преобразования m («пульсности» схемы) коэфф. искажения ν стремится к единице, что связано с уменьшением содержания высших гармонических в кривой первичного тока (см. *Высшие гармонические в вентильных преобразователях*).

Схема преобразования	m	ν
1-фазная двухполупериодная с нулевым выводом или 1-фазная мостовая	2	0,92
3-фазная с нулевым выводом	3	0,84
Две 3-фазные звезды с уравнит. реактором или 3-фазная мостовая . . .	6	0,955
12-фазная	12	0,985

Др. предельным случаем является *управляемый выпрямитель* (или инвертор) с бесконечно большим числом фаз m, работающий с ненулевым углом управления α. Для получения m-фазной системы эдс (рис. 2, *а*) при любом m и при наличии 3-фазной сети можно использовать метод «зигзага», т. е. последовательное соединение трех вторичных обмоток, расположенных на каждом из стержней 3-фазного тр-ра и имеющих числа витков, пропорциональные проекциям вектора с требуемым углом поворота ψ на направления векторов эдс фаз 3-фазной системы (рис. 2, *б*). Протекающие по этим

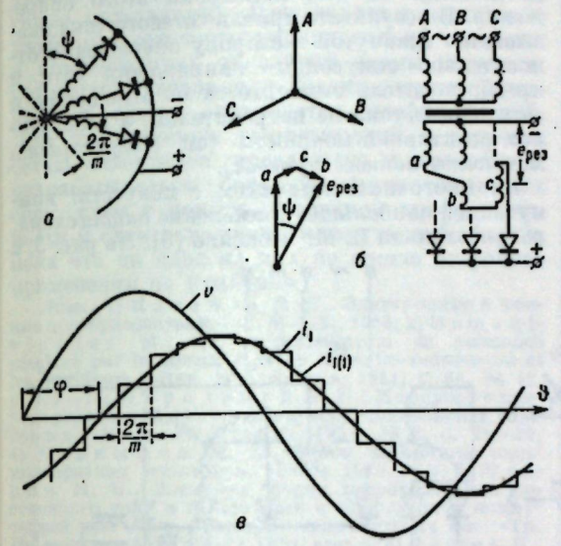


Рис. 2.

обмоткам токи, трансформируясь на первичную сторону тр-ра, дают в первичных обмотках составляющие, пропорциональные частичным коэфф. трансформации, полученным указанным способом («закон первичного тока») [4]. При этом результирующая кривая первичного тока приобретает ступенчатую форму (рис. 2, *в*), к-рая при $m \to \infty$ превращается в синусоиду. При наличии фазового (сеточного) управления эта кривая первичного тока (или ее 1-я гармоника при конечном m) оказывается сдвинутой на угол φ в сторону отставания относительно синусоиды напряжения сети, причем при отсутствии перекрытия анодных токов угол сдвига φ равен углу управления α.

Потребляемая при этом из сети перем. тока реактивная мощность $Q = S \sin \varphi$ обусловлена только наличием указанного сдвига, и коэфф. мощности равен косинусу угла сдвига между током и напряжением (коэфф. сдвига)

$$\chi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos \varphi. \qquad (2)$$

В отличие от первого рассмотр. случая, здесь сетевой ток преобразователя синусоидален, и реактивная мощность, как и в линейных цепях, обусловлена сдвигом тока относительно напряжения.

Потребление преобразователем реактивной мощности в этом случае вызвано периодич. перекачкой мощности между фазами также, как вообще в цепях 3-фазного тока. Однако потребление реактивной мощности в этом случае вызвано не наличием индуктивностей, а задержкой зажигания вентилей.

В реальных преобразователях кривая сетевого тока одновременно искажена и сдвинута относительно кривой напряжения сети, причем сдвиг обусловлен фазовым управлением и (или) перекрытием анодных токов из-за наличия анодных индуктивностей. В качестве примера на рис. 3 показана кривая первичного тока выпрямителя, выполненного по схеме «2 звезды с уравнит. реактором» или по 3-фазной мос-

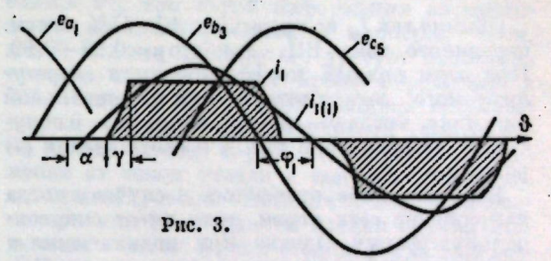


Рис. 3.

товой схеме (при допущениях: выпрямл. ток идеально сглажен, намагничивающий ток тр-ра отсутствует). Потребляемая в этом случае от сети мощность имеет все три составляющие: активную и реактивную мощности первой гармоники P_1 и Q_1 и мощность искажения $T_{искаж}$

$$S = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + T_{искаж}^2} = \sqrt{S_1^2 + T_{искаж}^2}. \qquad (3)$$

Коэфф. мощности при этом можно представить в виде произведения коэфф. сдвига и коэфф. искажения

$$\chi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \cdot \frac{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + T_{искаж}^2}} = \cos \varphi_1 \cdot \nu. \qquad (4)$$

Предполагая, что на интервале перекрытия γ анодный и, следовательно, первичный токи изменяются прямолинейно, считают коэфф. сдвига первой гармоники тока равным

$$\cos \varphi_1 \approx \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right), \qquad (5)$$

а в случае изменения тока на интервале γ по параболе («квадратичная» коммутация):

$$\cos \varphi_1 \approx \cos \left(\alpha + \frac{2}{3}\gamma\right). \qquad (6)$$

Для ведомых сетью инверторов в (5) и (6) вместо α надо подставлять угол опережения отпирания

$$\beta = \pi - \alpha.$$

При перекрытии анодных токов спектральный состав высших гармонических сетевого тока не изменяется, но их относит. значения изменяются [1, стр. 179—183], так что и значения коэфф. ν получаются отличными от приведенных в табл. На рис. 4 показаны зависимости коэфф. сдвига, искажения и коэфф. мощности от угла перекрытия γ (для случая $\alpha = 0$ и при $m = 6$).

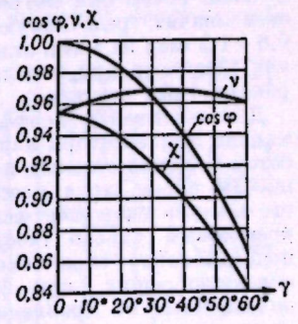


Рис. 4.

Третий фактор, ухудшающий коэфф. мощности ВП,— намагничивающий ток I_μ преобразоват. тр-ра. Определив коэфф. μ как отношение рабочей составляющей первичного тока к полному первичному току, вычисленному с учетом тока

$I\mu$, получим выражение для результирующего коэфф. мощности:

$$\chi = \cos\varphi_1 \cdot \nu \cdot \mu. \qquad (7)$$

Обычно ток I_μ не превышает 10—15% номин. первичного тока ВП, так что $\mu = 0{,}98—0{,}99$. При этом полный коэфф. мощности перегулируемого выпрямителя при номинальной нагрузке, когда $\gamma = 15—20°$, и при $m = 6$ получается на основании рис. 4 и соотношения (7) равным ок. 0,93.

Все сказанное относилось к случаю, когда напряжение сети перем. тока имеет синусоидальную форму. Однако при подключении к сети конечной мощности значит. числа ВП, являющихся по отношению к сети генераторами высших гармоник тока, форма кривой напряжения сети искажается. В этом случае коэфф. сдвига будет определяться не только основной, но и высшими гармониками, присутствующими в кривых напряжения и тока сети одновременно; величина коэфф. искажения ν при этом также изменится.

Из соотношений (5) и (6) видно, что фазовое (сеточное) управление сильно уменьшает коэфф. мощности. Последнее является существ. недостатком этого, в целом весьма удобного, способа регулирования выпрямл. напряжения, из-за чего на практике в ряде случаев приходится ограничивать диапазон регулирования углом $0 < \alpha \leqslant 30—40°$. Инверторы, ведомые сетью, принципиально не могут работать при $\beta < \beta_{мин}$ (причем минимально возможный угол $\beta_{мин}$ определяется в основном временем восстановления управляемости вентилей), в связи с чем они потребляют от приемной сети значит. реактивную мощность (порядка 0,8—1,2 *квар* на 1 *квт* отдаваемой в сеть активной мощности при использовании в инверторах ртутных вентилей).

Для повышения коэфф. мощности ВП применяют конденсаторы или синхронные компенсаторы, подключаемые непосредственно к зажимам перем. тока преобразователя, однако это заметно удорожает всю установку. Другой возможный способ повышения коэфф. χ — использование спец. схем преобразователей, обеспечивающих при фазовом управлении повышенные по сравнению с обычными схемами значения коэфф. мощности (схемы с нулевыми вентилями [1, стр. 346—348] схемы с несимметричным управлением [9] и др.). Более кардинальное решение — использование схем с искусств. коммутацией, в к-рых за счет введения конденсаторов, реакторов и иногда добавочных вентилей момент вступления в работу очередного вентиля можно сдвигать в сторону опережения относительно точки пересечения синусоид соседних фаз, причем регулирование выпрямл. напряжения и тока (или отдаваемой в приемную сеть мощности — в случае инвертора) может в определ. пределах достигаться за счет изменения этого опережения. В результате кривая сетевого тока оказывается сдвинутой в сторону опережения относительно синусоиды напряжения сети и преобразователь оказывается по отношению к сети перем. тока не потребителем, а генератором реактивной мощности (см. *Коэффициент мощности ионного привода*).

Из многочисленных схем с искусств. коммутацией наибольшее применение нашла схема, разработанная И. М. Чиженко [8]. На рис. 5, *в* показан 3-фазный вариант этой схемы, а на рис. 5, *в* — один из вариантов для случая, когда выпрямитель выполнен по схеме «2 звезды с уравнит. реактором». Узел искусств. коммутации, обеспечивающий сдвиг в сторону опережения момента вступления вентилей в работу, состоит из коммутирующих конденсаторов C и 3-фазного реактора — делителя тока $L_{рдт}$. По обмоткам последнего непрерывно протекают токи, равные $I_d/3$. При работе одного к.-л. вентиля, напр. *1*, токи двух обмоток этого реактора поступают в анодную цепь этого вентиля через два соответствующих конденсатора, напряжение на к-рых u_c при этом изменяется прямолинейно (рис. 5, *б*). В результате момент, когда анодное напряжение очередного вентиля, напр. *2* (складывающееся из междуфазового напряжения e_{ab} и напряжения на конденсаторе u_{c1}), становится положительным, сдвигается в сторону опережения, и этот вентиль получает возможность вступить в работу ранее точки пересечения фазовых напряжений e_a и e_b. Данный способ искусств. коммутаций весьма эффективен в неуправляемых выпрямителях, где угол опережения зажигания вентилей, определяемый током нагрузки, не ограничивается системой управления, что обеспечивает при увеличении тока нагрузки и увеличение генерируемой схемой реактивной мощности. Эффективность схемы, определяемая как отношение генерируемой ею реактивной мощности к реактивной мощности, к-рую можно было бы получить при непосредств. подключении коммутирующих конденсаторов к сети, равна на практике для схемы (рис. 5, *а*) примерно 3—5. Подобный компенсирующий выпрямит. агрегат соединяют на практике параллельно с обычными выпрямителями, в результате чего происходит автоматич. компенсация общего коэфф. мощности установки примерно до 1. Использование подобных компенсирующих агрегатов дает значит. экономич. эффект в энергоемких установках (выпрямит. подстанции электрохимич. и электрометаллургич. произ-в, тяговые подстанции). При наличии достаточно глубокого сеточного управления на вентилях и конденсаторах описанной схемы искусств. коммутации возникают значит. перенапряжения, и схема оказывается неэффективной. Для управляемых выпрямителей и ведомых сетью инверторов предложено и продолжает разрабатываться большое число различных спец. схем с повыш. значением коэфф. мощности и схем с искусств. коммутацией, однако пока что ни одна из них не нашла широкого применения на практике.

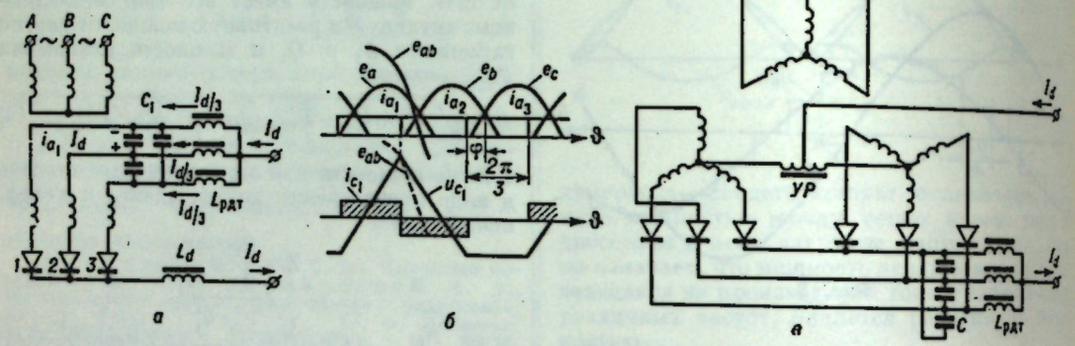


Рис. 5.

Лит.: 1) Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 3, М.—Л., 1956; 2) Demontvignier M., La consommation de puissance réactive par le circuit continu dans les redresseurs et les onduleurs, «Rev. gén. électr.», 1951, t. 60, № 12, p. 509—16; 3) Троицкий А. Н., К вопросу о природе реактивной мощности в преобразовательных установках, «Докл. АН УзССР», 1953, № 2, с. 21—26; 4) Чернышев М. А., Закон первичных токов многофазных мутаторов, «Э-во», 1940, № 6; 5) Щедрин Н. Н., Элементы теории преобразования постоянного тока в переменный с естественной коммутацией при очень большом числе анодных фаз, «Тр. Ин-та энерг. АН УзССР», 1951, вып. 6; 6) Поссе А. В., Общие зависимости между входом и выходом многофазных преобразователей, «Изв. Н.-и. ин-та постоянного тока», 1962, сб. 9; 7) Uhlmann E., Über die Eigenschaften der Grundschwingungen bei Stromrichtern, «Elektrotechn. Z. A.», 1963, H. 4; 8) [Чиженко И. М.], Выпрямители с опережающим углом сдвига. Информ. письмо № 3/37. Госуд. инспекция по промыш. энергетике и энергетическому надзору, М.— Л., 1957; 9) Möltgen G., Die Blindleistung beim dreiphasigen Stromrichter mit unsymmetrischer Steuerung, «Arch. Elektrotechnik», 1956, Bd 42, H. 5, S. 272—85.

В. А. Лабунцов.

РЕАКЦИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ (response; réponse; Reaktion auf eine Wirkung) — процесс на выходе САР, возникающий при наличии воздействия на входе. При исследовании динамики САР обычно рассматривается реакция на *типовое воздействие*. Реакция на единичное ступенчатое воздействие наз. переходной ф-цией. В устойчивой системе воздействие вызывает нек-рый переходный процесс, после затухания к-рого система приходит в установившееся состояние. Указанные две стадии Р. на в. определяют поведение системы: первая — *точность динамическую*, т. е. поведение системы в переходном процессе, вторая — *точность статическую*, т. е. поведение системы в установившемся состоянии. Поведение системы в переходном процессе, вызванном типовым воздействием и стремящемся с течением времени к установившемуся значению, принято характеризовать при помощи *качества показателей*.

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

Б. А. Власюк.

РЕАКЦИЯ НА ЕДИНИЧНЫЙ ИМПУЛЬС (unit pulse response; réponse à l'échelon-unité, réponse indicielle; Reaktion auf einen Einzelimpuls) — см. *Импульсная переходная функция*.

РЕГЕНЕРАЦИЯ информации в ЦВМ (regeneration; régénération; Regenerierung) — перезапись данных для сохранения информации в ЗУ. Часто используются такие способы построения ЗУ (особенно оперативных), к-рые связаны с возможностью искажения или потери запоминаемых данных в процессе работы (при хранении или считывании информации). В этих случаях предусматривается Р., при к-рой информация автоматически восстанавливается с помощью спец. цепей и схем. Процесс Р. требует дополнит. времени и увеличивает время обращения к ЗУ. Напр., в ЗУ на ЭЛТ (машина «Стрела») данные хранятся на поверхности диэлектрика в виде заряда, к-рый разрушается со временем от токов утечки и «засева» электронами при облучении соседних ячеек. При осуществлении Р. из данной ячейки экрана считывается сигнал на той стадии, когда еще возможно надежное распознавание ранее записанного кода, и производится его повторная запись, т. е. восстановление соответствующего заряда. Р. производится циклически в течение всего времени, пока нет обращения к ОЗУ. Для ЗУ на магнитных сердечниках при считывании информации с ее разрушением Р. ведется поразрядно методом перезаписи.

В. П. Исаев.

РЕГИСТР (register; registre; Register, Speicherzelle) — устройство автоматики, осуществляющее прием, хранение и выдачу чисел с изменением (если это требуется) кода или системы счисления. В общем случае многоразрядный Р. состоит (рис. 1) из приемника *Пр*,

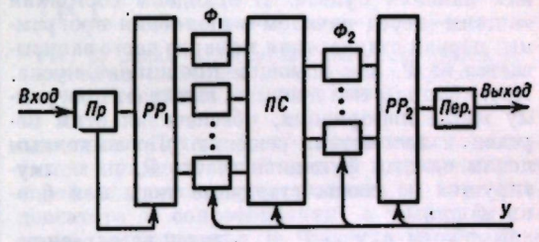


Рис. 1. Блок-схема регистра.

определяющего разряды принимаемого числа и значения каждого разряда; распределителя разрядов PP_1; фиксаторов Φ_1 для каждого разряда; пересчетной схемы *ПС*; фиксаторов пересчитанного числа Φ_2; исходящего распределителя разрядов PP_2 и передатчика *Пер.* Выдача чисел происходит при поступлении управляющих сигналов *У*. В качестве фиксаторов используются схемы с реле, триггерами, ферритами и т. п. запоминающими элементами, ферритовые матрицы, искатели, координатные соединители, магнитные барабаны и др. устройства памяти. Сигналы внутри Р. могут передаваться как параллельно, так и последовательно. В устройствах автоматич. телефонии Р.

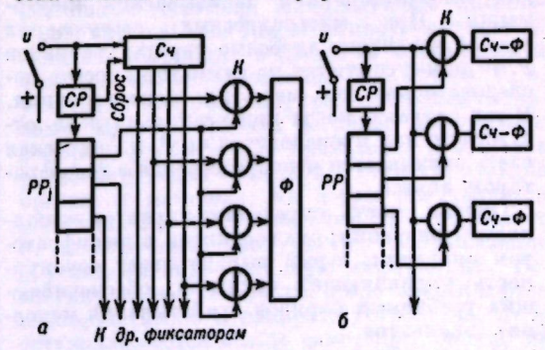


Рис. 2. Блок-схемы приемной и фиксирующей частей регистра АТС: *и* — контакт импульсного реле; *СР* — серийное реле; *К* — клапаны.

широко применяются для регистрации номера вызываемого абонента и передачи соответствующих управляющих сигналов искателям. Прием номера производится релейным счетчиком *Сч* (рис. 2, *а*) и серийным реле *СР*, различающим серии импульсов (десятичные разряды). Для фиксации каждого разряда (знака номера) используется 4 или 5 запоминающих элементов. В нек-рых случаях ф-ции счета и фиксации совмещаются (рис. 2, *б*). В вычислит. машинах Р. является частью АУ.

Лит.: Мархай Е. В., Рогинский В. Н., Харкевич А. Д., Автоматическая телефония, М., 1960. *В. Н. Рогинский.*

РЕГИСТР КОМАНД (instructions register; registre d'instructions; Befehlsregister) — узел устройства управления вычислит. машины, предназначенный для хранения и преобразования команды в процессе ее выполнения. Р. к. связан по входным цепям с ЗУ машины, из к-рого происходит последовательная выдача кодов команд при реализации программы решения задачи. Информация в Р. к. может также поступать с пульта управления: в статич. режиме — непосредств. поразрядной записью с помощью тумблеров или кнопок, в динамическом — оперативным съемом команды, зафиксированной на наборных панелях пульта. В исходном состоянии машины (перед началом выполнения программы) первая стандартная команда часто записывается на Р. к. с помощью кнопки нач. пуска. Нач. команда, как правило, вызывает программу ввода информации, обеспечивая этим переход к автоматич. решению. По выходным цепям каждая функцион. часть Р. к. коммутируется на соответствующие узлы или блоки машины.

В общем случае Р. к. делится на адресную, операционную и служебную или индексную части. Длина каждой части, ее структура, взаимосвязь различных частей между собой и с др. узлами машины определяются в каждом конкретном случае строением команд и логич. особенностями их выполнения. В машинах с перем. структурой команд длина и расположение каждой функцион. части может изменяться. Адресная часть хранит адреса операндов, результатов решения, а иногда и адреса следующих команд. Связана по выходным цепям с сумматором адресов, формирующим исполнит. адрес, по к-рому происходит непосредств. обращение к месту размещения выбираемой или записываемой информации. При многоадресных *структурах команд* различные адресные группы разрядов Р. к. коммутируются на сумматор адресов последовательно по мере их использования. В тех случаях, когда индексация адресов отсутствует или производится на Р. к., адресная часть связывается непосредственно с дешифратором адреса.

Операц. часть определяет характер выполняемой операции; она соединена с дешифратором операции, к-рый вырабатывает совокупность управляющих сигналов, обеспечивающих требуемый порядок срабатывания исполнит. элементов.

В служебной части размещаются различные признаки и индексы, определяющие режим реализации команды (модифицируемость адресов, условие выполнения команды, остановку машины после выполнения команды и т. д.). Отдельные звенья служебной части подключаются к различным узлам УУ машины в соответствии с их функцион. назначением. Наиболее часто используются признаки регистров модификации, управляющие подключением этих регистров к сумматору адреса. В машинах, предусматривающих модификацию адресов непосредственно на Р. к., адресная часть выполняется в виде сумматоров или счетчиков.

Большинство машин обладает возможностью заданного останова по тому или иному коду команды. Такой останов реализуется коммутацией соответствующих участков Р. к. на схему сравнения, связанную по смежным входам с узлом фиксации кода останова (чаще всего с наборной панелью пульта управления).

При широко развитой системе совмещения операций (вплоть до параллельного выполнения программ) часто используют несколько Р. к. Если в этом случае машина содержит несколько параллельно работающих УУ, то в каждом из них содержится свой Р. к. (напр., машина «Гамма-60»). Если же реализуется временно́е разделение операций (программ) с одним центральным УУ, то это устройство снабжается рядом Р. к., принимающих и выдающих информацию параллельно с выполнением др. команд. Иногда ф-ции Р. к. несут нек-рые вспомогат. регистры, напр. наборный регистр пульта управления, служащий для выполнения выделенной команды без передачи ее в основной Р. к. *И. А. Данильченко.*

РЕГИСТР ПРИРАЩЕНИЯ АДРЕСА (регистр модификации, индексный регистр) (index register; registre d'accroissement d'adresse; Adressenin'krement-Register) — узел устройства управления вычислит. машины, предназначенный для хранения кода, прибавляемого к адресной части команды перед ее использованием. В простейшем случае, когда модификация адресов происходит на регистре команд единичным пересчетом (ЦВМ «Стрела»), Р. п. а. является обычный триггер, управляющий вентилем сигнала модификации. В многоадресных командах каждой адресной части команды соответствует свой триггер. В этом случае Р. п. а. одновременно служит и регистром признака модификации адреса и используется обычно в групповых операциях. При произвольной модификации адресов разрядность Р. п. а. равна, как правило, разрядности адресной части. Адрес, снимаемый с регистра команд, суммируется с содержанием Р. п. а. на сумматоре адреса. Необходимость такого суммирования (модификации адреса) при одном Р. п. а. определяется одноразрядным признаком, связанным с каждым адресом команды. Код модификации на Р. п. а. записывается специальной командой. В ряде машин имеется неск. Р. п. а. (в «НОРК», например, три), на каждом из которых может быть записан свой модифицирующий код. В модификации адреса, приходящего на цепи дешифрации, принимает участие тот Р. п. а., код к-рого указан в спец. многоразрядном признаке. В машинах с широко развитой системой модификации команд и обладающих при этом сверхбыстродействующим ЗУ малого объема в качестве Р. п. а. используются ячейки этого ЗУ. Тогда объем модифицирующих кодов, к-рые могут одновременно принимать участие в преобразовании адресных частей команды, можно существенно расширить. Кроме того, в каждой ячейке ЗУ, помимо модифицирующего кода, можно хранить еще целый ряд вспомогат. признаков и кодов, используемых при модификации команд (шаг модификации, количество модифицируемых циклов и т. д.). Нек-рые вычислит. машины допускают сложную модификацию, при к-рой вводятся Р. п. а. 2-го порядка. Такие Р. п. а. служат для модификации уже не адресов, а кодов приращения адреса (машина «Стретч»). При совмещении операций одновременно с выполнением одной из команд предварительно обрабатываются неск. последующих команд (выборка из ЗУ, индексация и т. д.). Модификация адресов этих команд может осуществляться в спец. АУ, содержащем развитую систему взаимосвязанных Р.п.а. и узлов управления этими регистрами.

В машинах, обеспечивающих режим плавающих адресов, в качестве Р. п. а. может служить счетчик команд. Кодом модификации здесь является адрес выполняемой команды. Модифицируемость адреса определяется служебным признаком команды. Исполнит. адрес при этом формируется суммированием модифицируемого адреса, расположенного в команде, и адреса самой команды (машина ДИСЕАК). Р. п. а. вместе с остальными узлами системы модификации адресов существенно повышают производительность машины и уменьшают объем программы решения задачи, поскольку обеспечивают автоматич. изменение адресов схемным путем и, как правило, параллельно с выполнением ряда др. операций или отдельных действий узлов и устройств машины. *И. А. Данильченко.*

РЕГИСТР СДВИГА (сдвигающий регистр) (shift register; registre de décalage; Verschiebungsregister) — устройство, служащее для запоминания одного двоичного многоразрядного числа и сдвига этого числа на неск. разрядов под действием импульсов управления. В общем случае Р. с. состоит из *триггеров* (или др. двухпозиц. запоминающих элементов), соединенных линиями задержки *ЛЗ* (рис. 1). Число триггеров равно числу

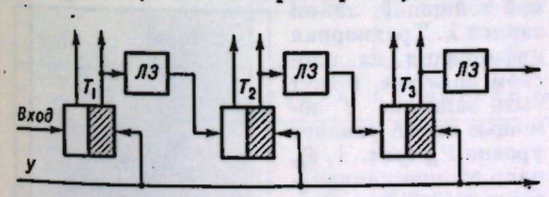


Рис. 1. Блок-схема регистра сдвига.

разрядов максимального двоичного числа, к-рое может быть записано в Р. с. Входные импульсы поступают на первый триггер, и если входной сигнал имеет значение 1, то и триггер переходит в позицию 1. Для сдвига на вход *У* подается сдвигающий управляющий импульс, к-рый поступает на все триггеры. Те триггеры, к-рые были в позиции 1, переводятся в позицию 0 при одноврем. выдаче в *ЛЗ* импульса; этот импульс по окончании сдвигающего импульса переведет следующий триггер в позицию 1. Т. о., все записанные в Р. с. единицы при сдвигающем импульсе сдвигаются вправо на один шаг. Время задержки в *ЛЗ* должно быть не менее продолжительности сдвигающего импульса. Записанное в Р. с. число может быть снято параллельно с выходов каждого триггера или последовательно с выхода последнего триггера при подаче соответствующего числа сдвигающих импульсов. Аналогично число в Р. с. может быть введено как последовательно, так и параллельно. На рис. 2, *а* показана простейшая

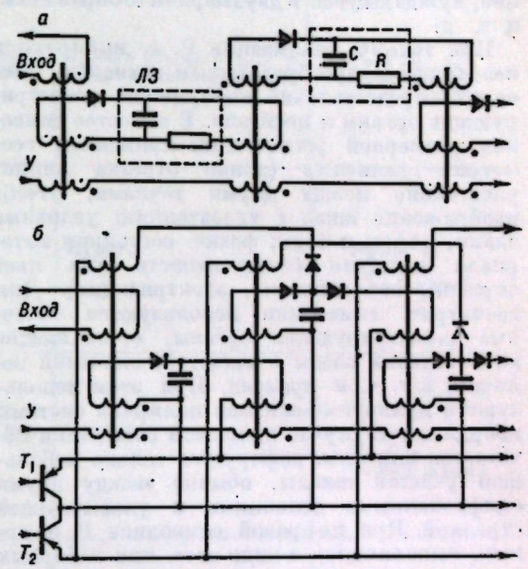


Рис. 2. Схемы однотактных регистров сдвига на магнитных элементах: *а* — с одним направлением сдвига; *б* — реверсивный.

однотактная схема Р. с. на магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса, в к-рой задержка осуществляется за счет конденсатора и сопротивления, а на рис. 2, *б* — схема реверсивного Р. с., у к-рого запись сдвигается вправо при подаче отпирающего напряжения (статического или импульсного, вслед за сдвигающим импульсом) на T_1, а влево — при подаче на T_2.

Р. с. используются в устройствах автоматики и телемеханики для приема и запоминания двоичных чисел, для перехода от параллельного кода к последовательному и наоборот и в нек-рых других подобных случаях; в вычислит. машинах Р. с. — часть АУ.

Лит.: Бут Э., Бут К., Автоматические цифровые машины, пер. с англ., М., 1959; Мартынов Е. М., Бесконтактные переключающие устройства, 2 изд., М.— Л., 1961. *В. Н. Рогинский.*

РЕГИСТРАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ (automatic recording; enregistrement automatique; automatische Registrierung) — автоматич. запись информации в целях ее сохранения и дальнейшего использования. В процессе Р. а. участвуют: информация, представленная сигналами; преобразователи сигналов информации в форму, удобную для приведения в действие регистрирующих органов. Регистрирующие органы и материал, на к-ром производится регистрация, наз. носителем. В результате Р. а. получаются документы, отображающие в условном виде исходную информацию. Регистрирующие устройства либо встраиваются непосредственно в измерит. устройства, либо устанавливаются в виде самостоят. блоков на выходе сложных и разветвленных систем сбора и обработки информации (устройств автоматич. контроля, телеизмерения или вычислит. машин). В теории Р. а. рассматриваются объемы информации, число измерений носителей и символика представления данных.

Событие нульмерно и занимает одну геометрич. точку на носителе; величина одномерна и занимает одно геометрич. измерение, либо одно измерение интенсивности, либо один кадр цифровой регистрации или изображения; ф-ция одной переменной — двухмерное образование, нуждающееся в двухмерном отображении, и т. д.

При технич. реализации Р. а. выбираются необходимые преобразователи сигналов, символика представления информации, регистрирующие органы и носители. В качестве символов размерной регистрации применяют геометрич. величины (длина отрезка линии, расстояние между двумя точками, угол); изображения шкал с указателями; условные знаки, цифры и коды; физич. состояния материала носителя (интенсивность или цвет окраски, намагничение, электризация). Для геометрич. символики используются точечные регистрирующие органы, оставляющие на носителях следы в масштабе значений величин, в т. ч. и времени. При этом используются прямоугольная или полярная системы координат. В случае шкаловой символики печатается или фотографируется только небольшой участок шкалы, обычно между двумя оцифрованными делениями и указывающей стрелкой. При цифровой символике Р. а. органы выполняются в виде пост. или наборных шрифтов, оставляющих соответствующие цифровые или буквенные отпечатки на носителе. Обычно для видимой регистрации применяется десятичная система счисления, а для запоминания — двоичная система. Физич. символика реализуется методами, воздействующими на внешний вид носителя (окрашивание и изменение интенсивности окраски) и состояние носителя (намагниченность, величина электрич. потенциала и т. п.). Обычно для этой цели применяются методы, требующие проявления изображений: фотография, электрофотография и магнитография.

Все современные методы регистрации можно разделить на 4 группы: 1) нанесение слоя вещества на носитель; 2) снятие слоя вещества с простого или слоистого носителя; 3) изменение физико-химич. состояния вещества носителя; 4) деформация носителя в местах записи. Процессы регистрации могут быть необратимыми и обратимыми, последние позволяют многократно применять носитель. Примерами обратимой регистрации являются магнитная запись и аппликационная регистрация, при к-рой на движущуюся ленту накладываются отчетливо видимые частицы, напр. шарики; в конце цикла регистрации эти частицы сбрасываются. Обратимой также является запись остриём на твердой поверхности, покрытой слоем пасты, к-рый в конце цикла регистрации восстанавливается.

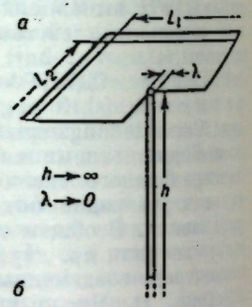
Существует также обратимый метод регистрации, основанный на деформации носителя в местах записи. При термопластической записи регистрирующий орган нагревает спец. пластиковый носитель, создавая локальные углубления, к-рые хорошо видны в рассеянном или боковом свете. При электростатич. регистрации электрич. или электронный регистрирующий орган распределяет заряды по поверхности пластикового носителя. Под действием электростатич. сил на носителе образуются локальные деформации, хорошо просматриваемые в диффузном свете. Запись может быть стерта, соответственно, равномерным нагреванием или снятием заряда с носителя.

Ксерографич. методы Р. а. сочетают принципы 3-й и 1-й группы. Под воздействием регистрирующего органа изменяется физич. состояние носителя (он электризуется, деэлектризуется, намагничивается, размагничивается), после чего на носитель наносится порошкообразное вещество, к-рое проявляет первоначальное скрытое изображение, закрепляемое проклейкой или горячей прокаткой. Др. методы Р. а. приведены в таблице [1,2].



Рис. 1. Использование «глубины» h и геометрич. координат L_1 и L_2 носителя при графич. регистрации.

Р. а. можно рассматривать как заполнение информацией нек-рых емкостей, причем на плоских носителях используется «глубина» в виде шкалы интенсивности или потенциального алфавита. «Глубина» h равна основанию принятой для регистрации системы счисления. При двоичной системе $h=2$, что соответствует двум возможным состояниям каждой точки носителя или двум возможным знакам в каждом кадре. При графич. регистрации (рис. 1, *а*) также $h=2$, но геометрич. координаты L_1, L_2 точек записи позволяют регистрировать значение измеряемой величины в заданном диапазоне в ф-ции независимой переменной с точностью, определяемой толщиной линии записи λ. Трехмерная информация на плоском носителе может быть записана с помощью линий равного уровня P_m (рис. 1, *б*), напр. эквипотенциальными линиями. Развивая «глубину» до $h\to\infty$, можно получить документацию плоского физич. поля по бесконечной системе счисления, в виде теневого изображения $P_m=F(N_xN_y)$ (рис. 2). Промежуточный случай представляет цифровая, табличная форма регистрации плоского физич. поля (рис. 3) по десятичной системе счисления $h=10$. Здесь каждая ячейка размером $\lambda\times\lambda$ имеет потенциальную возможность воспроизвести любую из 10 цифр от 0 до 9. Длина l каждого числа отвечает количеству разрядов (и ячеек).



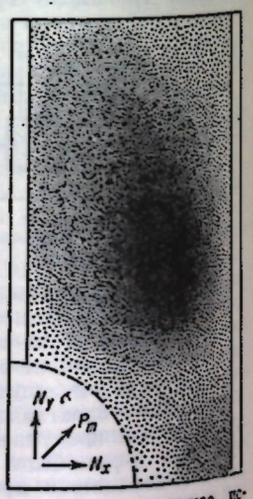
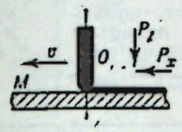
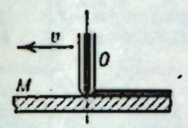
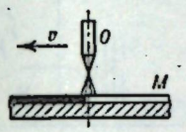
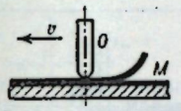
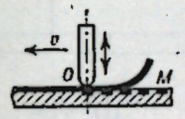
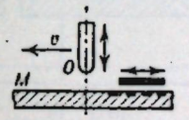


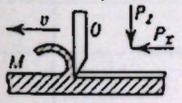
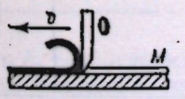
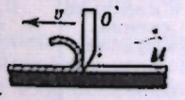
Рис. 2. Непрерывное использование координат плоского носителя при теневой регистрации.

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ

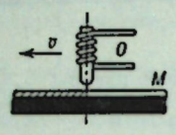
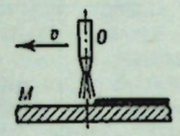
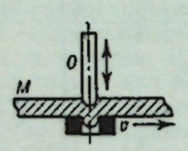
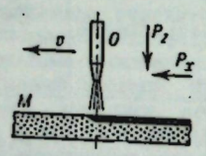
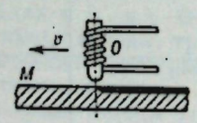
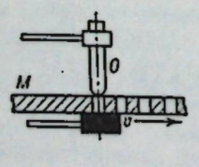
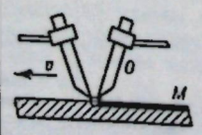
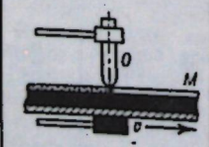
1-я группа. Регистрация нанесением слоя вещества

Наименование метода	Схема процесса регистрации	Инструмент регистрации	Носитель	Технические данные
Карандашный		Графитовый, свинцовый или серебряный карандаш	Бумага обычная или с баритовым покрытием	$P_z=100$ г; $P_x=40$ г, $v=1$ м/сек
Чернильный		Перо с чернилами	Бумага	$P_z=10$ г; $P_x=4$ г, $v=1$ м/сек
Струйный		Струя распыленных чернил	Бумага	$P_z=0$, $P_v=0$, $v=1$ м/сек
Копировальный		Металлич. стержень Посредник — красящая (копировальная) бумага или лента	Бумага	$P_z=100$ г, $P_x=40$ г, $v=1$ м/сек
Печатный 1		Металлич. стержень Посредник — красящая или лента	Бумага (копировальная)	$P_z=100$—1000 г, $P_x\approx 0$, $f=10$ гц
Печатный 2		Металлич. стержень Посредник — подушка с краской	Бумага	$P_z=100$—1000 г, $P_x\approx 0$, $f=1$ гц

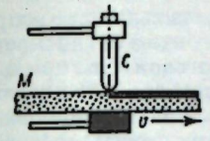
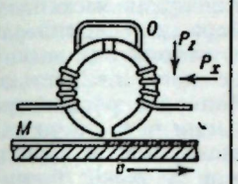
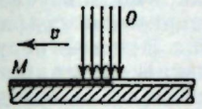
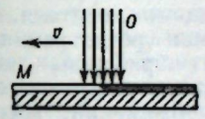
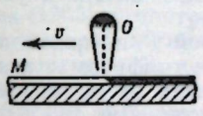
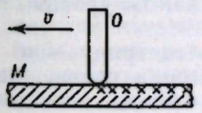
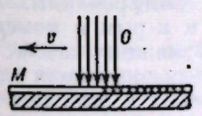
2-я группа. Регистрация снятием слоя вещества

Наименование метода	Схема процесса регистрации	Инструмент регистрации	Носитель	Технические данные
Резцовый 1		Металлич. или алмазный резец	Стекло, целлулоид, смолистые вещества, воск	$P_z=10$ г, $P_x=4$ г, $v=1$ м/сек
Резцовый 2		Металлич. резец	Стекло, металл или бумага, покрытые слоем сажи	$P_z=1$ г, $P_x=0{,}4$ г, $v=1$ м/сек
Резцовый 3		Металлич. резец	Темная бумага, покрытая слоем парафина с мелом, или светлая бумага, покрытая слоем парафина с темной краской	$P_z=10$ г, $P_x=4$ г, $v=1$ м/сек

Продолжение

Наименование метода	Схема процесса регистрации	Инструмент регистрации	Носитель	Технич. данные
Плавильный		Нагретый металлический стержень	Темная бумага, покрытая слоем парафина или воском с мелом	$P_z \approx 0$, $P_x \approx 0$, $v = 0{,}1$ м/сек
Струйно-резцовый		Острая струя твердых частиц или нагретого воздуха	Бумага, покрытая слоем парафина с краской	$P_z \approx 0$, $P_x \approx 0$, $v = 0{,}1$ м/сек
Перфораторный		Перфоратор или игла	Бумага	$P_z = 100$—1000 г, $P_x \approx 0$, $f = 10$ гц
3-я группа. Регистрация изменением качества вещества				
Струйно-химический		Струя сероводорода или др. реагента	Бумага, пропитанная химич. составом	$P_z \approx 0$, $P_x \approx 0$, $v = 0{,}1$ м/сек
Термический		Нагретый металлич. стержень	Бумага	$P_z \approx 0$, $P_x \approx 0$, $v = 0{,}1$ м/сек
Электроискровой		Вольфрамовые или платиновые электроды	Тонкая (конденсаторная или кабельная) бумага	$P_z = 20$ г, $P_x = 10$ г, $v = 1$ м/сек, $f = 1000$ гц, $u = 5000$ в
Термоискровой		Вольфрамовые или платиновые электроды	Бумага	$P_z = 20$ г, $P_x = 10$ г, $v = 1$ м/сек, $f = 1\,000$ гц, $u = 250$ в
Электротермический		Платиновый электрод	Предельно науглероженная бумага с пленками сульфата свинца (сверху) и алюминия (снизу)	$P_z = 20$ г, $P_x = 10$ г, $v = 1$ м/сек, $f = 10\,000$ гц, $u = 250$—500 в

Продолжение

Наименование метода	Схема процесса регистрации	Инструмент регистрации	Носитель	Технич. данные
Электрохимический		Платиновый или железный электрод	Бумага, пропитанная электролитом и увлажненная	$P_z = 20$ г, $P_x = 10$ г, $v = 1$ м/сек
Электромагнитный (запись невидима)		Электромагнит	Пленка с ферромагнитным покрытием, стальная проволока или лента	$P_z = 20$ г, $P_x = 10$ г, $v = 1$ м/сек, $f = 10\,000$ гц
Электронный (запись исчезает)		Электронный луч в вакууме	Люминесцирующий слой	$P_z = 0$, $P_x = 0$, $v \approx \infty$
Фотографический (необходимо проявление)		Световой или электронный луч	Светочувствительная бумага, пленка, пластинка	$P_z = 0$, $P_x = 0$, $v \approx \infty$
Радиографический (необходимо проявление)		α, β, γ-частицы радиоактивного вещества	Светочувствительная бумага, пленка, пластинка	$P_z \approx 0$, $P_x \approx 0$, $v = 0{,}1$ м/сек
Трибоэлектрический (запись невидима)		Электризующий стержень	Твердый диэлектрик	$P_z = 100$ г, $P_x = 40$ г, $v = 1$ м/сек
Диэлектрический (запись невидима)		Электронный луч в вакууме	Диэлектрик с электризующейся мозаикой	$P_z = 0$, $P_x = 0$, $v \approx \infty$

Измерения L_1 и L_2 также дискретны. Количество информации, содержащееся в документах, подсчитывается в двоичных единицах (битах) по ф-ле:

$$I = L_1 f_1 L_2 f_2 \log_2 h,$$

где L_1 и L_2 — размеры носителя (в *см*), f_1 и f_2 — плотности размещения знаков, причем $f = 1/\lambda$; h — «глубина» или основание кода.

Технич. средства Р. а. различаются по виду информации и методам преобразования. Многие из них получились добавлением записывающих элементов к широко распространенным контрольно-измерит. приборам. Кроме приборов измерит. типа, применяются регистраторы событий во времени, а также многочисл. разновидности выходных регистрирующих устройств с цифровой документацией для аналоговых и цифровых вычислит. машин. В связи с развитием последних разработаны разнообразные устройства памяти (см. *Запоминающее устройство*), к-рые могут быть с успехом применены при решении нек-рых задач Р. а.

Обратным процессом по отношению к Р. а. является воспроизведение информации по записанным данным. Это достигается при помощи считывающих устройств. Кривые считываются фотоэлектрич. устройствами по методам слежения за кривой или независимого

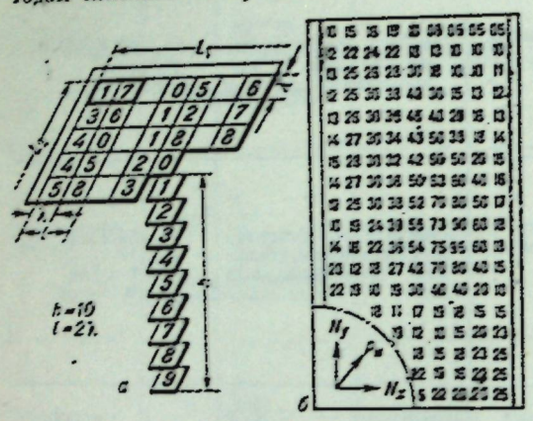


Рис. 3. Дискретное использование координат плоского носителя при десятичной цифровой регистрации.

развертывания ординат, с засечками мест встречи. Считывание цифровых данных может производиться спец. *читающими устройствами.*

Лит.: 1) Темников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960, 2) Жилевич И. И., Немировский Е. Л., Электрофотография, М., 1961.

Ф. Е. Темников.

РЕГИСТРАЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ПРИ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИИ (telemetry indications recording; enregistrement des indications de télémesure; Registrierung von Meßwerten bei Fernmessungen) — автоматич. запись результатов ТИ посредством физ. или матем. символов на носителе, обеспечивающем длит. хранение информации. Тип носителя и способ записи зависят от предназначения регистрируемой информации: для непосредств. чтения человеком, последующей обработки или ввода в вычислит. машину.

Р. п. при т. может быть непрерывной или дискретной во времени. Последняя разделяется на периодическую и эпизодическую. При периодич. регистрации возможно восстановление всего непрерывного ряда значений процесса в промежутках между периодич. дискретными отсчетами, если процесс не содержит составляющих частот выше граничной частоты F. По теореме Котельникова, процесс может быть полностью определен последовательностью его значений, отсчитанных через промежутки времени $T \leqslant \frac{1}{2F}$ (см. *Котельникова теорема*). Т. о., периодич. Р. п. при т. при правильном выборе периодичности отсчетов не вносит потерь информации. Эпизодич. Р. п. при т., осуществляемая по вызову оператора или по команде устройства автоматич. сигнализации, не восстанавливая весь ход контролируемого процесса, дает ценную информацию для анализа причин аварий, отклонений от заданного технологич. режима и т. п.

Р. п. при т. неск. величин на одном носителе всегда сопровождается фиксацией данных (временны́х координат), позволяющих определить, к какому из параметров они относятся. Эта фиксация может выполняться в явной (печатанием номера параметра, применением разных цветов или знаков, метками по одной из координат носителя или напечатанными цифрами) или в неявной (с заранее заданным местом на носителе, известной связью между временем и величиной перемещения носителя) формах.

Различают регистрации непрерывную по уровню (аналоговую) и дискретную (цифровую). При аналоговой Р.п. при т. используется масштабная форма графич. представления данных. Конструктивное исполнение таких регистрирующих устройств основано на механич., оптич., электростатич. или др. воспроизведении отклонения механизма электрич. измерит. прибора (гальванометра, шлейфового осциллографа, автоматич. потенциометра) на движущемся с пост. скоростью носителе — диаграмме. Наиболее распространена аналоговая регистрация чернилами на диаграммной бумаге — дисковой или в виде ленты. Аналоговая Р. п. при т. может быть непрерывной и дискретной во времени. Периодич. аналоговая регистрация наз. точечной. При аналоговой Р. п. при т., используемой для чтения человеком, на диаграмме графически записывается временна́я ф-ция — непрерывная кривая или ряд точек. В случае, когда аналоговая регистрация предназначается для машинной обработки, запись на носителе может быть и невидимой. При таких записях может изменяться намагниченность, хим. состав, плотность или толщина носителя. Применяется также аналоговая регистрация, требующая промежуточной обработки, напр.: запись шлейфовым осциллографом на ленте; фотографич. запись изображений, воспроизводимых на экране электроннолучевого осциллографа; здесь для воспроизведения требуется проявление фотопленки, а иногда и увеличение изображения.

При цифровой Р. п. при т. данные представляются в виде цифровых значений, взятых либо в процентах от номинального значения шкалы (относительные шкалы), либо в соответствующих единицах измерения данной физ. величины (абсолютные шкалы). Эта регистрация дискретна как по уровню, так и по времени.

Цифровые регистрирующие устройства с записью для чтения человеком конструктивно выполняются в виде электрифицированной пишущей машинки с электромагнитным управлением клавишами или в виде телетайпа. Применяются также ротац.-печатающие устройства с набором оцифрованных вращающихся барабанчиков, к к-рым в моменты печатания прижимается бумажная лента. Цифровая регистрация, предназначаемая для последующего ввода данных в вычислит. машину, выполняется, как правило, в виде записи двоичным, двоично-десятичным и др. кодами на перфокарте, перфоленте, магнитной ленте, магнитном барабане и др. носителях информации с ячейками долговременной памяти.

Лит.: Темников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960.

Я. А. Купершмидт.

РЕГУЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (automatic control; règlage automatique; selbsttätige Regelung) — разновидность автоматич. управления (см. *Управления автоматического теория*). Поддержание постоянства нек-рой заданной величины, характеризующей тех. процесс, или же изменение ее по заданному

закону, осуществляемое при помощи измерения состояния регулируемого объекта или возмущений путем воздействия на регулирующий орган объекта (см. *Регулирование программное*). Для осуществления Р. а. к подлежащей регулированию установке подключается комплекс устройств, совокупность к-рых наз. регулятором. На основе измерений одной или неск. величин, характеризующих процесс, регулятор оказывает воздействие на процесс посредством изменения одного или неск. регулирующих воздействий, поддерживая заданное значение *регулируемой величины* (см. *Регулятор автоматический*).

Основные принципы Р. а.: принцип регулирования по отклонению (принцип Ползунова—Уатта), при к-ром воздействие регулятора на объект оказывается ф-цией отклонения регулируемой величины от заданного значения; принцип регулирования по возмущению или нагрузке (принцип Понселе) и принцип комбиниров. регулирования, при к-ром воздействие регулятора на объект является ф-цией отклонения и нагрузки. Матем. выражение функцион. зависимости желаемого воздействия регулятора на регулирующий орган от входных величин, на к-рые он реагирует, наз. законом или алгоритмом регулирования (см. *Регулирования закон*).

Р. а. в технике применяется давно и даты его изобретения, так же как и имена первых изобретателей, не установлены. Арабы применяли в начале н. э. поплавковый регулятор уровня водяных часов, действующий по отклонению. На мукомольных мельницах давно применялись центробежные маятники для регулирования скорости вращения. Первыми пром. регуляторами были поплавковый регулятор питания котла паровой машины И. И. Ползунова (1765) и центробежный регулятор скорости паровой машины Дж. Уатта (1784). Комбинированное Р. а. наиболее широко стало применяться во 2-й пол. 19 в. для электрич. машин, где нагрузка (ток) измерялась сравнительно просто. Оно получило назв. *компаундирования*. Братья В. и В. Сименс (1845) предложили регулятор с дополнит. воздействием по скорости изменения регулируемой величины (*регулирование по производной*). Позднее начали вводить воздействия и по высшим производным с целью повышения качества процесса регулирования.

Первые регуляторы осуществляли прямое регулирование, при к-ром измерит. орган непосредственно воздействовал на регулирующий орган.

Прямое регулирование можно было осуществлять лишь на машинах малой мощности, где для перестановки регулирующих органов не требовалось больших затрат энергии.

Ж. Фарко (1873) впервые осуществил непрямое регулирование, введя в цепь регулирования усилитель—гидравлич. сервомотор с жесткой обратной связью. Это дало возможность не только повысить мощность воздействия регулятора, но и получить более гибкие алгоритмы регулирования, используя промежуточные жесткие и гибкие (дифференц.) связи.

Различают два основных режима системы регулирования: *установившееся движение* и *переходный процесс*. Если воздействие регулятора на регулирующий орган является однозначной ф-цией величины отклонения, то значение регулируемой величины, поддерживаемое регулятором, будет зависеть от нагрузки и будет иметь место установившаяся ошибка (т. н. *статическая ошибка*), зависящая от нагрузки. Величина статич. ошибки определяет статич. точность регулирования. Принципиально возможно получить регулирование, при к-ром статич. ошибка отсутствует (см. *Астатическая система*).

Одной из важных задач, успешно решенных с помощью промежуточных связей, была задача повышения статич. точности и получения астатич. хар-к регулирования (см. *Регулятор астатический*). Первоначально многочисл. изобретатели пытались получить астатич. центробежные регуляторы путем увеличения коэфф. передачи измерит. органа. И. Л. Чебышев (1871) показал, что эта задача может быть решена только приближенно. И. А. Вышнеградский (1876) доказал неосуществимость таким способом устойчивого астатич. регулирования паровой машины (астатич. объекта). Последоват. включение астатич. объекта с астатич. регулятором приводило к структурно неустойчивой схеме (см. *Устойчивость структурная*).

В 1884 был предложен регулятор непрямого действия с дополнит. релейной обратной связью, действовавшей до тех пор, пока отклонение было отлично от нуля. Затем релейная связь была заменена непрерывной дифференц. связью, получившей назв. изодромной. Гибкие обратные связи (к к-рым относится и изодромная) получили широкое распространение (см. *Регулирование изодромное*). В середине прошлого столетия *управления автоматического теория* излагалась как одна из глав прикладной механики в разделе паровых машин. Во второй половине 19 в. Р. а. начинает быстро распространяться на др. отрасли техники: паровые котлы, компрессорные установки, электрич. машины и др. Появились также сложные системы регулирования многих величин, взаимно связанных через объект регулирования (см. *Регулирование автоматическое связанное и несвязанное*). Поиски методов регулирования систем связанного регулирования привели к возникновению теории связанного регулирования. В частности, получила распространение теория (методика) автономного регулирования, предложенная (1934) И. Н. Вознесенским (см. *Регулирования автономная система*). Если в связанной системе регулирования произойдет отклонение одной из регулируемых величин и регулятор данной величины начнет действовать, то в результате его действия изменятся и все др. связанные величины. Чтобы этого не произошло, между регуляторами различных величин устанавливаются дополнительные связи, параметры к-рых подбираются в соответствии с *автономности условиями*, вытекающими из общей теории *инвариантности* (см. *Регулирования инвариантная система*).

Применение электрич. элементов в регуляторах благодаря их гибкости расширило возможности усовершенствования алгоритмов регулирования путем введения воздействий по высшим производным, интегралам и более сложным ф-циям. Оно способствовало также развитию *регулирования импульсного* и релейного регулирования. Если релейным элемен-

том является регулирующий орган, то Р. а. наз. двух- или многопозиционным, в зависимости от числа возможных устойчивых положений регулирующего органа (см. *Регулирование двухпозиционное*). Из-за конструктивных трудностей и ненадежности релейных регуляторов их развитие шло крайне медленно до появления электрич. вибрац. регуляторов. Развитие импульсной техники, радиолокации и техники счетно-решающих устройств привело к широкому внедрению систем дискретного (прерывистого) регулирования — релейных (с квантованием воздействий по уровню), импульсных (с квантованием воздействий по времени) и цифровых (с квантованием по уровню и времени).

Значения уставок регуляторов, т. е. тех значений регулируемых величин, к-рые надлежало поддерживать, и значения параметров регулятора, как правило, определяются для нек-рых идеализированных, усредненных условий протекания процесса. В действительности внешние условия изменяются, и для получения наилучшего в том или ином смысле результата Р. а. должно приспосабливаться к изменяющейся внешней среде. В связи с этим появились *самонастраивающиеся системы* Р. а. Первыми представителями этого вида систем были регуляторы экстремальные, поддерживающие max или min значение нек-рой величины: регулятор [illegible] (1926), [illegible] (1940), [illegible] регуляторы (1944), регуляторы, изменяющие свою настройку (параметры) в зависимости от внешних условий. Однако самонастраивающиеся регуляторы подобного типа целесообразно строить лишь для простейших случаев, [illegible]

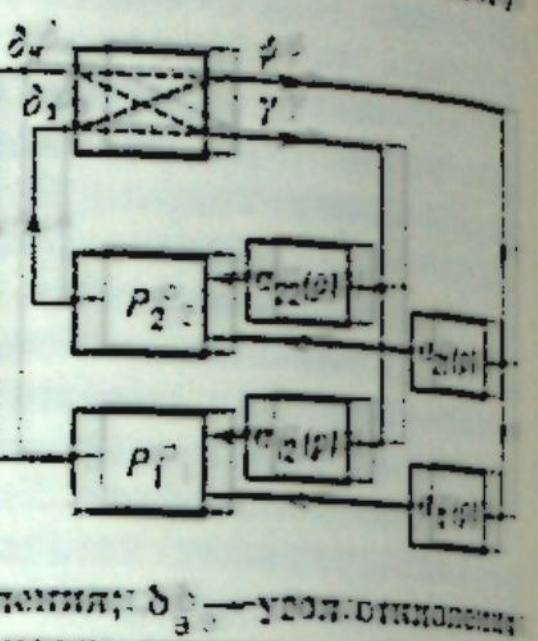
[illegible]

Лит.: [illegible]

А. А. Воронов.

РЕГУЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ СВЯЗАННОЕ И НЕСВЯЗАННОЕ (independent and interacting control; réglage automatique couplé et non-couplé; autonome und nichtautonome (gebundene) selbsttätige Regelung) — автоматич. регулирование объектов с неск. регулируемыми величинами.

При связанном регулировании регуляторы различных величин имеют взаимные связи, осуществляющие взаимодействие между ними, помимо объекта регулирования. Примером системы связанного регулирования является система управления курсом и креном самолета в случае, если в автопилоте имеются перекрестные связи (рис.). Целью связанного регулирования является получение от системы определ. св-в. Эти св-ва могут состоять в создании независимости процессов ре-



Блок-схема системы управления курсом и креном самолета: ψ — угол курса; γ — угол крена; $\delta_н$ — угол отклонения руля направления; $\delta_э$ — угол отклонения элеронов; P_2 — канал курса автопилота; P_1 — канал крена автопилота; $a_{12}(p)$, $a_{21}(p)$ — операторы связей; $a_{12}(p)$, $a_{21}(p)$ — операторы перекрестных связей; $p = \frac{d}{dt}$.

гулирования отдельных регулируемых величин (см. *Регулирования автономного система*) или в получении определенной зависимости процессов регулирования, необходимой для выполнения технических ф-ций объекта. Напр., в случае управления курсом и креном самолета часто ставится задача о разворотах самолета без скольжения. В этом случае параметры перекрестных связей [операторы $a_{12}(p)$ и $a_{21}(p)$] выбирают так, чтобы в процессе управления (в статике и в динамике) угол скольжения самолета тождественно равнялся нулю.

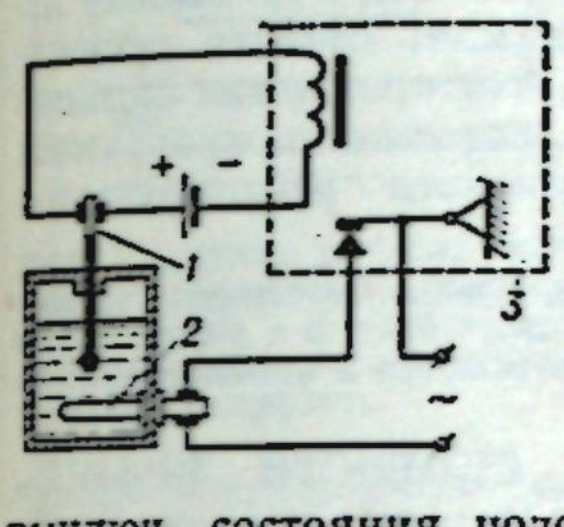
При несвязанном регулировании регулируемые величины связаны между собой и могут взаимодействовать только через объект регулирования. Системы несвязанного регулирования делятся на зависимые и независимые. Независимые системы характеризуются тем, что изменение какой-либо регулируемой величины не зависит от изменения других. Процессы регулирования различных координат можно рассматривать изолированно один от другого. Примером такой системы является система регулирования скорости турбины и напряжения [illegible] генератора. [illegible] процесс регулирования [illegible] протекает во много раз быстрее процесса регулирования скорости, [illegible] считать независимыми. В зависимых системах несвязанного регулирования изменение одной регулируемой величины зависит от изменения остальных. Ввиду этого процессы регулирования отдельных координат связаны между собой. Примером зависимой системы может служить система стабилизации крена и курса самолета при отсутствии в автопилоте перекрестных связей [illegible] в канале курса нет воздействий, пропорциональных углу крена или его производной, и наоборот.

Расчет систем Р. а. с. и н. ведется обычными методами ТАР. Наибольшее применение находят методы, разработанные для многоконтурных систем. При выборе параметров перекрестных связей в связанных системах удобно пользоваться матричным исчислением.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., [illegible]; Мееров М. В., Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности, М., [illegible]; Вознесенский И. Н., О регулировании машин с большим числом регулируемых параметров, «АиТ», 1938, № 4—5. *В. Ю. Рутковский.*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДВУХПОЗИЦИОННОЕ [two-state control, on-off control; réglage à deux positions (paliers), réglage par «tout ou rien»; Zweipunktregelung)] — регулирование, при к-ром регулирующее воздействие μ может принимать только два значения.

При Р. д. регулируемая величина колеблется вокруг заданного значения, а регулирующий орган непрерывно «перебрасывается» из одного крайнего положения в другое. Схема Р. д. темп-ры (рис.) состоит из контактного ртутного термометра *1*, нагревателя *2*, реле *3*. Путем изменения положения контактов термометра устанавливается заданное значение темп-ры. Время включенного и выключ. состояния подогревателя зависит от заданного значения темп-ры и от нагрузки.



Величину μ_0 (отклонение регулирующей величины от среднего значения) в нек-рых системах Р. д. можно изменять (напр., в рассмотренном выше примере можно менять величину тока в нагревателе). Однако после установки регулятора на объект перенастройка μ_0 во многих случаях затруднительна. Поэтому системы Р. д. считаются системами без параметров настройки.

Возможность использования двухпозиц. регуляторов в САР зависит от динамич. хар-к объекта регулирования и требований к качеству процесса регулирования. САР с двухпозиц. регулятором все время находится в колебат. режиме, т. к. регулирующий орган принимает только крайние положения, соответствующие значениям μ_1 и μ_2. Качество Р. д. можно оценить по среднему значению и амплитуде отклонения регулируемой величины в установившемся режиме.

Для улучшения качества Р. д. в двухпозиц. регулятор вводят корректирующие элементы, уменьшающие амплитуду автоколебаний,— отрицат. гистерезис, замедленную обратную связь, охватывающие двухпозиц. элемент. Системы Р. д. применяются в электрич. печах для термич. обработки изделий, в машиностроит. пром-сти, для регулирования темп-ры и влажности в стекольном произ-ве и в произ-ве строит. материалов, для регулирования концентрации в различных смесителях в хим. пром-сти и т. д.

Лит.: Ордынцев В. М., Шендлер Ю. И., Автоматическое регулирование и автоматические регуляторы технологических процессов, М., 1960; Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Круг Е. К., Минина О. М., Электрические регуляторы промышленной автоматики, М.— Л., 1962; Справочные материалы по расчету типовых систем автоматического регулирования технологических процессов, [вып. 3], М., 1959; Кампе-Немм А. А., Динамика двухпозиционного регулирования, М.— Л., 1955.

С. Н. Дилигенский.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ИЗОДРОМНОЕ (proportional-plus floating control; réglage à actions proportionnelle et intégrale; Isodromregelung) — регулирование, при к-ром регулирующее воздействие пропорционально сумме отклонения регулируемой величины и интегралу от отклонения регулируемой величины.

Общий вид закона Р. и.: $\mu = k\left(\varphi + \frac{1}{T_и}\int \varphi\, dt\right)$,

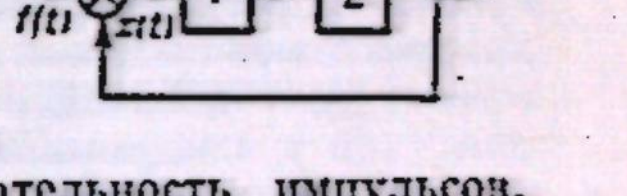
где μ — регулирующая величина, φ — отклонение регулируемой величины, $T_и$ — постоянная времени интегрирования (время изодрома), k — коэфф. пропорциональности. Р. и. осуществляется также введением в статич. регулятор астатич. элемента (см. *Регулятор изодромный*). Применение Р. и. позволяет осуществить процесс регулирования, близкий к достигаемым при помощи статич. регуляторов, и в то же время получить статич. ошибку, равную 0. Такого типа регуляторы широко распространены в металлургич. пром-сти (для регулирования тепловых процессов в методических и камерных печах, в воздухонагревателях доменных печей и др.), а также в др. отраслях пром-сти для объектов, в к-рых имеет место *запаздывание*. Нужное качество процесса регулирования в системе Р. и. обеспечивается выбором параметров настройки k и $T_и$.

Лит.: Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Герасимов С. Г., Теоретические основы автоматического регулирования тепловых процессов, М.— Л., 1949; см. также лит. при ст. *Регулирование двухпозиционное.*

С. Н. Дилигенский.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЕ (sampled data control; réglage par impulsions; Impulsregelung) — регулирование, в к-ром управляющее воздействие представляет собой последовательность импульсов, параметры к-рых (амплитуда, длительность) зависят от значений ошибки в дискретные моменты времени (см. *Регулятор импульсный*).

В простейшей разомкнутой системе Р. и. (рис.) можно выделить импульсный элемент *1* (в общем случае их может быть несколько) и непрерывную часть *2* системы. Импульсный элемент преобразует непрерывную входную величину в последовательность импульсов, параметры к-рых зависят от значений входной величины в моменты времени $t = nT$, где T — период чередования импульсов. Поскольку параметры импульсов, воздействующих на непрерывную часть системы, определяются только дискретными значениями $x(nT)$, то при анализе систем Р. и. непрерывные ф-ции, соответствующие сигналу внешнего воздействия $f(t)$, сигналу обратной связи $z(t)$ и входному сигналу импульсного элемента $x(t)$, рассматривают как решетчатые ф-ции, а передаточные ф-ции непрерывной части $K(q)$ и всей замкнутой системы Р. и. определяются с помощью дискретного преобразования Лапласа. Последнее по отношению к системам Р. и. играет ту же роль, что и обычное преобразование — к системам непрерывного регулирования.



Целесообразность использования систем Р. и. зависит от динамич. хар-к объекта регулирования. Напр., если непрерывная часть системы Р. и. содержит элементы с распределенными параметрами, с запаздыванием и т. п., то введение импульсного элемента может привести к повышению запаса устойчивости замкнутой системы. Важной особенностью систем Р. и. является также возможность получения конечного времени переходного процесса.

Системы Р. и. применяются в пром. автоматике при регулировании темп-ры и давления в теплосиловых установках электростанций, частоты и активной мощности в различных

установках энергосистем, концентрации отдельных компонент в хим. произ-ве, в измерит. и радиолокац. технике и т. д.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Теория следящих систем, пер. с англ., 2 изд., М., 1953; Ольденбург Р. и Сарторикус Г., Динамика автоматического регулирования, пер. с нем., М.— Л., 1948. *С. Н. Дилигенский.*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПО ПРОИЗВОДНОЙ (derivative control; réglage à action dérivée, réglage par dérivation; Regelung nach einer Ableitung) — регулирование, при к-ром регулирующее воздействие μ зависит также от производной ошибки по времени $\frac{d\varphi}{dt}$.

Введение в систему $\frac{d\varphi}{dt}$ позволяет улучшить динамич. свойства САР. Регулирование только по производной от ошибки в большинстве случаев непригодно, т. к. система теряет способность устранять статич. ошибку, величина к-рой становится неопределенной. В этом случае САР может иметь равновесное состояние при любом неизменном значении регулирующего воздействия. Поэтому воздействие по производной используют как одну из компонент закона регулирования. Напр.,

$$\mu = k\left(T_д\frac{d\varphi}{dt} + \varphi + \frac{1}{T_и}\int\varphi\,dt\right),$$

где $T_д, T_и, k$ — коэфф., характеризующие настройки регулятора. Эффект, к-рый достигается при введении воздействия по производной, зависит от динамич. хар-к объекта регулирования и от принятого показателя качества процесса регулирования (процесс с миним. временем регулирования, процесс с миним. квадратичной ошибкой и т. д.). Напр., значит. эффект дает добавление воздействия по производной к изодромному закону регулирования при регулировании объектов без самовыравнивания и с запаздыванием (к таким объектам регулирования относятся котельные установки, скрубберы и т. д.).

В нек-рых САР, кроме воздействия по первой производной по времени, вводят также воздействие по второй производной по времени от ошибки. Наиболее часто подобные системы используются в быстродействующих следящих системах, автопилотах и т. д.

Лит.: Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Круг Е. К., Минина О. М., Электрические регуляторы промышленной автоматики, М.— Л., 1962; Справочные материалы по расчету типовых систем автоматического регулирования технологических процессов, [вып. 3], М., 1959. *С. Н. Дилигенский.*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЕ (programme control; réglage à programme; Programmsteuerung) — регулирование одной или неск. величин $x_1, x_2, \ldots, x_n$, определяющих состояние объекта по заранее заданным законам $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \ldots, x_n^{(0)}$ в виде ф-ций времени или к.-л. параметра системы. Примером системы Р. п., в к-рой происходит изменение регулируемой величины по желаемому закону во времени, может служить закалочная печь. Темп-ра в печи, являющаяся ф-цией времени, в течение всего процесса изменяется по заранее установленной программе.

Вторым примером системы Р. п., в к-рой заданные значения регулируемой величины зависят не от времени, а от др. параметра, напр. пути, может служить копировальный автомат. Задача регулирования в этом случае заключается в том, чтобы движение суппорта, на к-ром установлен инструмент (фреза), воспроизводило контур, заданный шаблоном или заложенный в память вычислит. устройства. В отличие от обычных систем регулирования, в системах Р. п. должна содержаться программа изменения регулируемой величины. В отличие от следящих систем, в системах Р. п. задача улучшения динамич. свойств существенно облегчается тем, что программа заранее известна, в частности коррекция программы с учетом динамич. свойств регулируемого объекта.

Лит.: Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959. *В. И. Попов.*

РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ (rotational speed control; réglage de la vitesse de rotation; Drehzahlregelung) — поддержание пост. скорости вращения объекта регулирования или изменение ее в соответствии с изменением управляющего воздействия. Объекты Р. с. в.: электродвигатели, паровые и гидравлич. турбины и др. машины-двигатели. К наиболее типичным режимам Р. с. в. машин-двигателей относятся: поддержание постоянства скорости вращения при изменении нагрузки, изменение скорости вращения по заранее заданному закону или в зависимости от изменения др. параметров машин-двигателей. На рис. 1 приведена

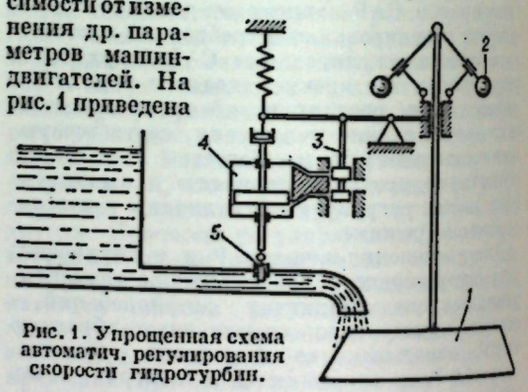


Рис. 1. Упрощенная схема автоматич. регулирования скорости гидротурбин.

упрощенная схема системы регулирования скорости гидротурбины. Чувствит. элемент регулятора — центробежный маятник *2* — связан с валом турбины *1*. Грузы маятника под влиянием изменения скорости вращения вала турбины изменяют свое положение. Это вызывает перемещение золотника *3*, управляющего сервомотором *4*, к-рый, в свою очередь, перемещает орган *5*, изменяющий количество воды, поступающей в турбину в единицу времени. Режим Р. с. в. по заранее заданному закону можно рассмотреть на примере регулирования скорости двигателя пост. тока (рис. 2). Р. с. в. в таком двигателе осуществляется изменением напряжения, приложенного к якорю при пост. токе возбуждения, или изменением тока возбуждения при неизменном напряжении якоря, или обоими способами одновременно. Пусть ток возбуждения двигателя является неизменным. Двигатель получает питание от генератора пост. тока, напряжение возбуждения к-рого $\Delta U = U_з - U_{тг}$. При изменении напряжения $U_з$ по заданному закону скорость вращения двигателя

пост. тока также будет изменяться по этому закону независимо от изменения нагрузки.

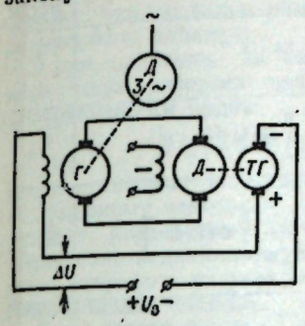


Рис. 2. Схема регулирования скорости вращения двигателя пост. тока: *Г* — генератор; *Д* — двигатель, *ТГ* — тахогенератор.

Если $U_з$ имеет пост. значение, то система будет осуществлять стабилизацию скорости при наличии внешних возмущений ($U_{тг}$ — напряжение генератора).

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Фельдбаум А. А., Электрические системы автоматического регулирования, 2 изд., М., 1957; Мееров М. В., Введение в динамику автоматического регулирования электрических машин, М., 1956. *Д. П. Петелин.*

РЕГУЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕОРИЯ (theory of automatic control; théorie du réglage automatique; Theorie der selbsttätigen Regelung) — теория, разрабатывающая методы анализа и синтеза САР. Предметом Р. а. т. являются динамика и статика САР — динамич. систем со многими степенями свободы, характеризующихся постоянными и переменными, сосредоточенными и распределенными параметрами, описываемыми линейными и нелинейными дифференциальными ур-ниями. Задачи общей Р.а.т. заключаются в разработке методов: а) синтеза САР — выбор схем, параметров и хар-к их элементов, удовлетворяющих требованиям к поведению в статике и динамике; б) анализа САР с целью улучшения их динамич. св-в; в) эксперимента исследования и испытания, а также коррекции динамич. св-в САР. См. *Управления автоматического теория.*

РЕГУЛИРОВАНИЯ АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА [independent control system; système de réglage sans interactions (non-couplé), système de réglage autonome; autonomes Regelsystem] — многосвязная система, в к-рой изменение в процессе регулирования к.-л. одной регулируемой величины не приводит к изменению др. регулируемых величин. Построение таких систем основано на применении принципа автономного регулирования, к-рый предусматривает распадение в статич. и динамич. режимах сложной системы с неск. взаимосвязанными регулируемыми величинами на ряд систем с одной регулируемой величиной, не связанных между собой через процесс регулирования. Принцип автономного регулирования может реализоваться абсолютно (полностью) или с точностью до нек-рой малой величины ε. Практич. интерес представляет последний случай при условии, что степень малости связи может быть заранее определена.

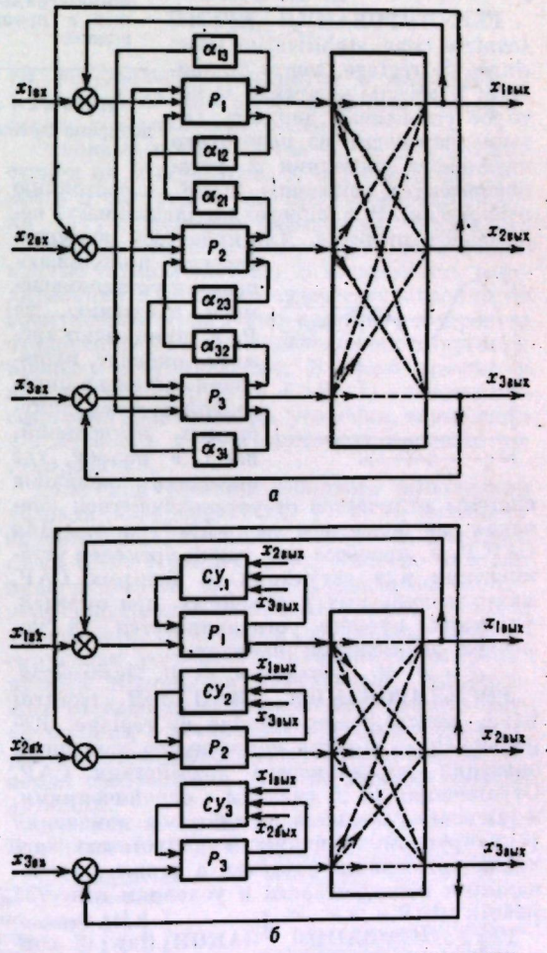
Автономность процессов по неск. взаимосвязанным величинам обычно рассматривается как нек-рое динамич. св-во системы. Пусть, напр., свободные колебания САР двух взаимосвязанных величин описываются ур-ниями:

$$A_{11}(p)\,X_1 + A_{12}(p)\,X_2 = 0;$$
$$A_{21}(p)\,X_1 + A_{22}(p)\,X_2 = 0,$$

где $A_{11}(p)$ и $A_{22}(p)$ — собственные операторы первичных замкнутых контуров, $A_{12}(p)$ и $A_{21}(p)$ — операторы взаимных воздействий этих контуров. Условием распадения системы на простейшие будет:

$$A_{12}(p) = 0; \quad A_{21}(p) = 0.$$

Для выполнения этих условий требуется ввести в закон регулирования столько воздействий, сколько необходимо, чтобы приравнять нулю коэфф. всех членов $A_{12}(p)$ и $A_{21}(p)$. Математически это условие означает, что элементы полной матрицы регулятора, не лежащие на главной диагонали, суть или нули, или величины, определяемые через посредство диагональных элементов. Практически автономность регулирования в сложных системах может достигаться путем наложения внешних связей между регуляторами (рис., *а*) или увеличением коэфф. усиления регуляторов первичных замкнутых контуров до больших значений при одновременном введении на входы стабилизирующих устройств каждого контура воздействий от несобственных регулируемых величин (рис., *б*). В последнем случае достигается автономность процессов с точностью до нек-рой малой величины ε.



Схемы систем автономного регулирования трех взаимосвязанных величин, где: $P_{1,2,3}$ — регуляторы, $\alpha_{i,j}$ — операторы, $СУ_{1,2,3}$ — стабилизирующие устройства.

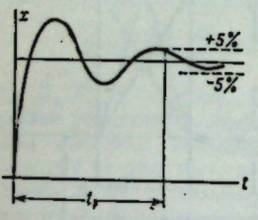
Принцип автономного регулирования используется при разработке САР теплофикационных турбин, котельных установок, турбовинтовых и турбореактивных двигателей самолетов и др. Автономное регулирование может применяться для улучшения техно-

логических процессов со многими взаимосвязанными переменными. Однако такое регулирование не всегда создает оптимальные условия для технологич. процессов.

Лит.: Корнилов Ю. Г., Певень В. Д., Основы теории автоматического регулирования. В приложении к теплосиловым установкам, М.—Л., 1947; Мееров М. В., Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности, М., 1959; Цянь-Сюэ-сэнь, Техническая кибернетика, пер. с англ., М., 1956; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959.

Д. П. Петелин.

РЕГУЛИРОВАНИЯ ВРЕМЯ (control time, stabilization time; durée de réglage, temps de règlage; Regelzeit) — время, за которое устойчивая динамич. система переходит из некоторого начального состояния к установившемуся движению (напр., к состоянию равновесия). Р. в. определяет длительность переходного процесса. Для процессов, асимптотически приближающихся к установившемуся движению, за Р. в. принимают время $t_р$ окончат. вхождения системы в определенную зону допустимых отклонений, напр. в полосу, где выходная величина системы отличается от установившегося значения не более чем на ±5% (рис.). Для САР Р. в. процесса наз. также временем установления или затухания. В нек-рых САР, напр. импульсных и релейных, при определ. условиях процесс устанавливается за конечный промежуток времени.



Б. Н. Андрейчиков, С. Н. Дилигенский.

РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИАПАЗОН (control band, control range; étendue de réglage; Regelbereich) — область допустимого изменения значения управляющего воздействия САР. Ограничения Р. д. связаны с ограничениями, к-рые накладываются на диапазон изменений регулируемой величины и допустимых значений др. величин системы, а также с требованиями к погрешности и условиям качества работы САР.

А. И. Тейман.

РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАКОН (law of control; loi de réglage; Gesetz der Regelung) — соотношение, в соответствии с к-рым сигнал отклонения преобразуется в регулирующее воздействие. Р. з. можно представить в виде:

$$v(t)=N(p)\,\varepsilon(t)=\sum_{i=-n}^{m} n_i p^i \varepsilon(t),$$

где

$$p^{-n}\varepsilon(t)=\underbrace{\int_0^t dt \ldots \int_0^t}_{n}\varepsilon(t)\,dt;$$

$$p^m\varepsilon(t)=\frac{d^m\varepsilon(t)}{dt^m};$$

$\varepsilon(t)$ — отклонение; $p=\frac{d}{dt}$ — символ дифференцирования. Обычно в Р. з. содержится один или два, реже три члена. Основные виды Р. з. приводятся в табл.

Закон регулирования	Уравнение	Параметры
Пропорциональный (статический)	$v(t)=k\varepsilon(t)$	k
Интегральный (астатический)	$v(t)=\frac{1}{T_и}\int \varepsilon(t)\,dt$	$T_и$
Пропорционально-интегральный (изодромный)	$v(t)=k\left[\varepsilon(t)+\frac{1}{T_и}\int \varepsilon(t)\,dt\right]$	$k, T_и$
Пропорционально-интегральный с производной	$v(t)=k\left[\varepsilon(t)+\frac{1}{T_и}\int \varepsilon(t)\,dt+T_п\frac{d\varepsilon(t)}{dt}\right]$	$k, T_и, T_п$

Примечание: k — коэфф. усиления регулятора; $T_и$ — время изодрома (интегрирования); $T_п$ — постоянная производной.

В Р. з. могут входить также сигналы промежуточных координат и внешнего воздействия.

Лит.: Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

С. Н. Дилигенский.

РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА (invariant control system; système de réglage invariant; invariantes Regelsystem) — САР, построенная на основе принципа компенсации возмущений или инвариантности (независимости) регулируемой величины от возмущений. Влияние любого возмущения на регулируемую величину в Р. и. с. компенсируется введением дополнительного воздействия от внешних возмущений, поступающих на объект регулирования, т. е. в САР инвариантность достигается с применением комбинир. метода управления (по отклонению и нагрузке, см. рис.).

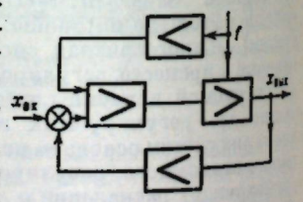


Схема инвариантной системы регулирования с комбинированным методом управления.

Принцип инвариантности может реализоваться абсолютно (полностью или с точностью до некоторой малой величины ε). Последнее означает независимость с точностью до ε регулируемой величины от возмущения.

Для линейной САР, ур-ние динамики к-рой имеет вид $A(p)x=-B(p)f$ [где $A(p)$, $B(p)$ — операторные многочлены, характеризующие динамич. св-ва системы, x — регулируемая величина, f — внешнее возмущение], можно указать 4 формы условий инвариантности:

1) $\frac{B(p)}{A(p)}=0;\quad f\neq 0;$

при выполнении этого условия устраняется как свободная, так и установившаяся составляющая ошибки линейной системы от данного возмущения;

2) $\frac{B(p)}{A(p)}\neq 0;\quad f\neq 0;\quad \frac{B(p)}{A(p)}f=0;$

эта форма характеризует способы для устранения только установившейся составляющей ошибки, однако закон изменения возмущения должен быть задан;

3) при действии на систему по меньшей мере двух внешних воздействий условием инвариантности будет:

$$-B(p)f+B'(p)f'=0,$$

где f — внешнее возмущение, изменяющееся по заданному закону; f' — дополнит. регулирующее воздействие, подаваемое на вход усилителя; в данном случае имеется возможность устранить установившуюся и свободную составляющие ошибки.

Лит.: Теория инвариантности и ее применение в автоматических устройствах. Труды совещания, состоявшегося в г. Киеве, 16—20 окт. 1958, М., 1959; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959.

Д. П. Петелин.

РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНТЕРВАЛ (период повторения импульсов) (control interval; intervalle de réglage; Regelungsintervall, Regelungsabstand) — промежуток времени между передними фронтами импульсов, в к-рые импульсный элемент преобразует непрерывно изменяющуюся выходную величину. Обычно это величина постоянная. Однако в сложных системах импульсного регулирования Р. и. может изменяться во времени по заранее заданному закону или в зависимости от величины сигнала управления. Р. и. существенно влияет как на устойчивость, так и на качество систем прерывистого регулирования и выбирается с учетом требований к качеству переходного процесса. Для нормальной работы системы необходимо, чтобы Р. и. был меньше периода колебаний возмущений (изменения нагрузки) и периода собств. колебаний линейной части системы.

В. Ю. Рутковский.

РЕГУЛИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА (mixed control system; système combiné de réglage; kombiniertes Regelungssystem) — САР, в которой регулирования закон включает, помимо отклонения, также внешнее воздействие (задающее и нагрузку). Комбиниров. системы (следящая и программного управления) включают в большинстве случаев разомкнутый контур регулирования по задающему воздействию. В Р. к. с. объединяются 2 осн. принципа построения САР: регулирования по отклонению (замкнутые САР) и регулирования по возмущению (разомкнутые САР). На рис. 1 дана схема Р. к. с., а пример ее — схема регулирования напряжения синхронного генератора — на рис. 2. Регулирование здесь осуществляется с помощью дополнит. обмотки возбуждения. Напряжение на входе усилителя $U_Σ=-U_φ+U_ψ+U_I$. Т. о., кроме задающего воздействия (напряжение задатчика $U_ψ$) и воздействия по регулируемой величине (напряжение, пропорциональное регулируемой величине $U_φ$), подается воздействие по основному возмущению (напряжение, пропорциональное току нагрузки I объекта регулирования U_I). Математически полное устранение ошибки регулирования сводится к выполнению т. н. условий инвариантности (см. *Регулирования инвариантная система*).

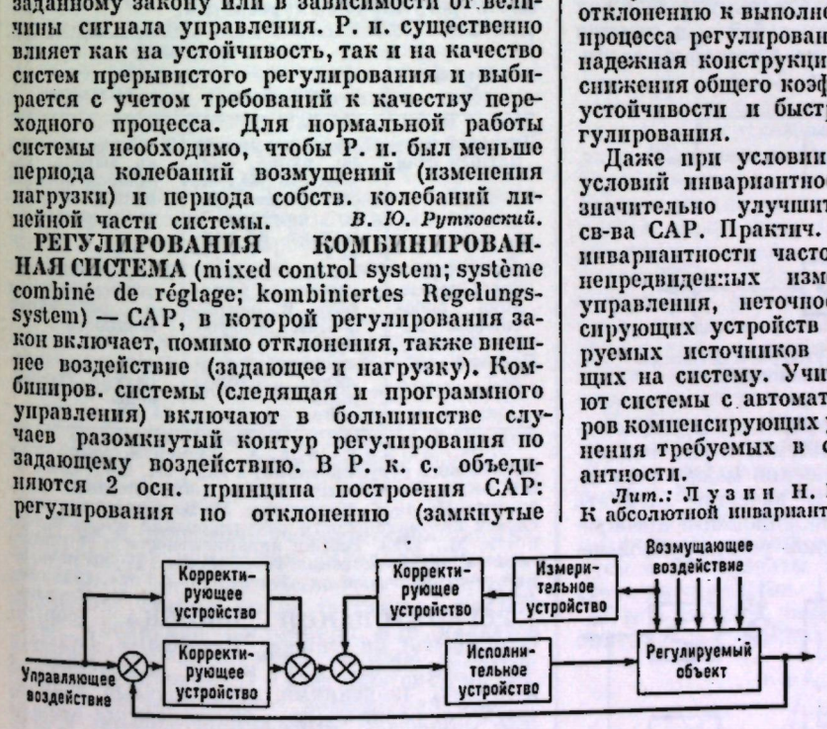


Рис. 1.

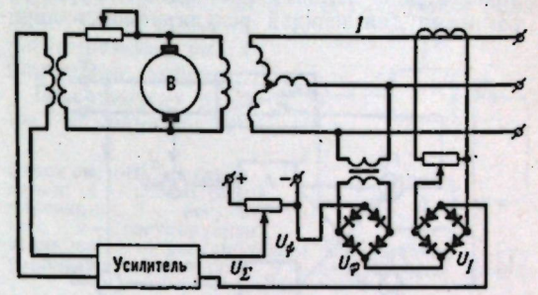


Рис. 2.

Основные преимущества Р. к. с. с воздействием по возмущению: 1) более высокая точность и быстродействие при устранении ошибки регулирования, вызываемой основными возмущениями, по к-рым осуществлены разомкнутые связи в системе; 2) возможность регулирования в основном за счет управления по возмущению и сведения роли регуляторов по отклонению к выполнению окончат. коррекции процесса регулирования; 3) более простая и надежная конструкция САР; 4) возможность снижения общего коэфф. усиления, повышения устойчивости и быстродействия процесса регулирования.

Даже при условии неполного выполнения условий инвариантности, Р. к. с. позволяет значительно улучшить статич. и динамич. св-ва САР. Практич. осуществление условий инвариантности часто затруднительно ввиду непредвиденных изменений хар-к объекта управления, неточности настройки компенсирующих устройств и влияния неконтролируемых источников возмущения, действующих на систему. Учитывая это, разрабатывают системы с автоматич. коррекцией параметров компенсирующих устройств с целью выполнения требуемых в системе условий инвариантности.

Лит.: Лузин Н. Н. и Кузнецов П. И., К абсолютной инвариантности и инвариантности до ε в теории дифференциальных уравнений, «ДАН СССР», 1946, т. 51, № 4—5, 1951, т. 80, № 3; Кулебакин В. С., О применимости принципа абсолютной инвариантности в физических реальных системах, там же, 1948, т. 60, № 2; Петров Б. Н., О реализуемости условий инвариантности, в кн.: Теория инвариантности и ее применение в автоматических устройствах, М., 1959; Ивахненко А. Г., Электроавтоматика, Киев, 1957.

С. Д. Земляков.

РЕГУЛИРОВАНИЯ МНОГОСВЯЗНАЯ СИСТЕМА (multiloop control system; système de réglage à plusieurs circuits; mehrkreisiges Regelungssystem) — САР с неск. регулируемыми величинами, связанными между собой через объект регулирования, регулятор или нагрузку (рис. 1 на стр. 204). Примеры объектов Р. м. с., их входные величины и выходные величины приведены в табл. *Регулируемые величины* в этих объектах связаны между собой,

и изменение к.-л. одной из них влечет за собой изменение других. Взаимосвязанность регулируемых величин определяется физ. св-вами объекта. При наличии отдельных контуров управления для каждой регулируемой величи-

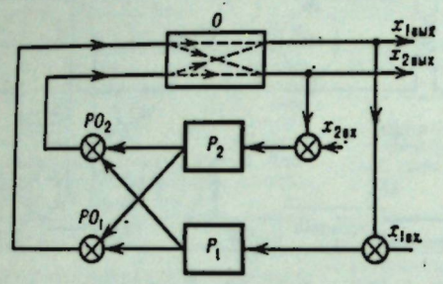


Рис. 1. Блок-схема системы регулирования двух величин: O — объект регулирования; P_1, P_2 — регуляторы; PO_1, PO_2 — регулирующие органы; $x_{вх}$ — входная величина; $x_{вых}$ — выходная величина.

ны связь между контурами может быть полностью исключена применением перекрестных связей в регуляторах (см. *Регулирования автономная система*).

Примером Р. м. с., в к-рых связь между регулируемыми величинами осуществляется только через регуляторы, являются многомерные следящие системы. Последние представляют собой неск. простых (одномерных) следящих систем, связанных между собой при помощи измерит. устройств. Схема двухмерной следящей системы дана на рис. 2.

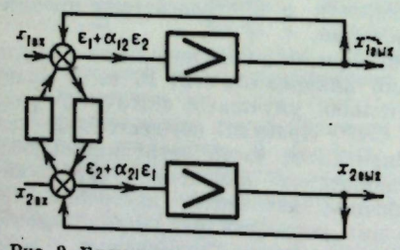


Рис. 2. Блок-схема двухмерной следящей системы; ε — сигнал ошибки.

Разновидностью многомерных следящих систем являются такие системы, к-рые поддерживают определ. соотношения между регулируемыми величинами. В качестве элемента связи используется функциональный преобразователь (рис. 3). По одной регулируемой ве-

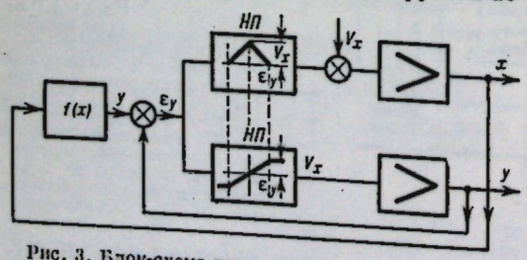


Рис. 3. Блок-схема двухмерной следящей системы с функциональным преобразователем: $f(x)$ — функциональный преобразователь, отображающий заданную зависимость между x и y; $НП$ — нелинейный преобразователь; V_x — скорость отработки по величине x.

личине систему делают разомкнутой, а по другой — замкнутой. Замкнутая система следит за заданным соотношением регулируемых величин. При построении таких систем задается макс. допустимая ошибка ε_y и макс. значения скорости отработки по величинам x и y.

При регулировании неск. величин, значения к-рых должны определяться значением одного

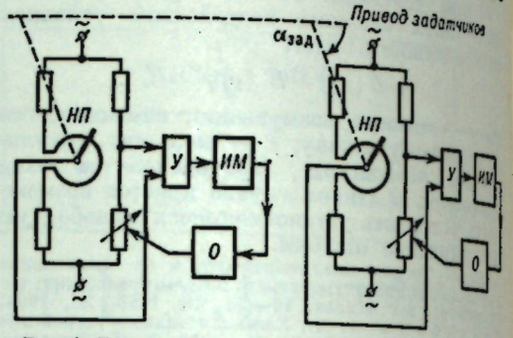


Рис. 4. Блок-схема системы регулирования с взаимосвязанными задатчиками: $У$ — усилитель; $ИМ$ — исполнит. механизм; $О$ — объект управления; $НП$ — нелинейный преобразователь.

входного сигнала, применяются системы с взаимосвязанными задатчиками (рис. 4). При повороте вала привода задатчиков одновременно изменяются задания для всех САР, включенных в общую систему. Применение нелинейных функциональных преобразователей позволяет реализовать любую зависимость регулируемых величин.

Объект	Величины	
	входные	выходные
Листовой прокатный стан	Толщина проката на входе, скорость прокатки, расстояние между валками и момент на валках	Толщина проката на выходе, натяжение проката между обжимными клетями
Гидрогенераторы перем. тока, работающие параллельно	Открытие направляющего аппарата и напряжения возбуждения	Напряжение, частота, активная и реактивная мощности
Паровой котел	Подача воды, топлива, расход пара	Давление, температура, уровень воды

Лит.: Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Цянь Сюэ-сэнь, Техническая кибернетика, пер. с англ., М., 1956; Мееров М. В., Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности, М., 1959; Теория инвариантности и ее применение в автоматических устройствах. Труды совещания, состоявшегося в г. Киеве, 16—20 окт. 1958, М., 1959. *Д. П. Петелин.*

РЕГУЛИРОВАНИЯ ОШИБКА (control error; erreur de reglage; Regelfehler, Regelabweichung) — разность между требуемым и действит. значениями регулируемой величины. Р. о. равна сумме *установившейся ошибки* и *динамической ошибки*. В удовлетворительно работающей системе Р. о. является ограниченной величиной. Если во входном сигнале отсутствуют помехи, Р. о. совпадает с *ошибкой сигналом*. Сигнал, пропорциональный Р. о., преобразуется в соответствии с заданным законом регулирования и усиливается по мощности до уровня, необходимого для управления исполнит. механизмом, к-рый непосредственно воздействует на объект регулирования. *С. Н. Дилигенский, Р. С. Рутман.*

РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЛОЩАДЬ (control area; surface de réglage; Regelfläche) — см. *Отклонения площадь.*

РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ПРЕДЕЛЫ (proportional control limits; limites du réglage proportionnel; Grenzen der Proportionalregelung) — диапазон изменения регулируемой величины, в пределах к-рого отклонение регулирующей величины остается пропорциональным отклонению регулируемой величины. Р. п. п. имеют место из-за ограниченности максимально возможного отклонения регулирующей величины. За Р. п. п. регулирующая величина сохраняет постоянное макс. значение при любом отклонении регулируемой величины. Макс. значение регулирующей величины определяется нелинейностями типа ограничений, к-рые имеют место в статич. хар-ках исполнит. механизма или регулирующего органа (ограниченность угла поворота выходного вала и т. п.). Однако бывает и так, что имеется ограничение со стороны объекта регулирования на макс. значение регулирующей величины, напр. ограничение макс. величины подачи топлива. В этом случае процесс регулирования не выходит за Р. п. п.

Лит.: Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954. *С. Н. Дилигенский.*

РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМА (control system; système de réglage; Regelungssystem) — система, предназначенная для поддержания заданного закона изменения определ. физ. величины, наз. *регулируемой величиной*. Заданное значение регулируемой величины может быть постоянным, либо являться ф-цией времени или к.-н. иной перем. величины. В процессе регулирования производится сравнение регулируемой величины с заданным значением, и при наличии отклонения регулируемой величины от заданного значения в объект регулирования поступает регулирующее воздействие, восстанавливающее регулируемую величину. Регулирующее воздействие может быть введено человеком вручную. Если измерение регулируемой величины и введение регулирующего воздействия осуществляются приборами, без вмешательства человека, то Р. с. наз. *регулирования автономного системой*. Помимо *управляющего воздействия*, на Р. с. оказывают влияние *возмущающие воздействия*, к-рые вызывают отклонение регулируемой величины от заданного значения и появление *регулирования ошибки*. По характеру изменения управляющего воздействия Р. с. подразделяются на системы автоматич. стабилизации (задающее воздействие — величина постоянная или является заданной ф-цией времени системы программного регулирования) и следящие системы (изменение регулирующего воздействия определяется заранее неизвестным задающим воздействием).

В общем случае отдельные звенья Р. с. можно разделить на две группы: объект регулирования, в к-ром обычно преобразуются и используются значит. количества энергии, и регулятор, в к-ром содержатся конструктивные элементы, осуществляющие регулирование объекта и потребляющие незначит. количество энергии (рис.).

Р. с. наз. одноконтурной, если изменение регулируемой величины вызывает соответствующие сигналы последовательно во всех ее звеньях. В более сложных случаях для получения требуемого характера протекания процесса регулирования в систему вводят дополнит. связи, вследствие чего на вход регулятора, кроме регулируемой величины, подается еще вспомогат. регулируемая величина. Такая Р. с. наз. регулирования многоконтурной системой.

По характеру работы Р. с. подразделяют-

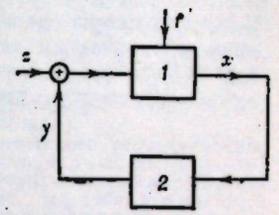


Схема системы регулирования: *1* — объект регулирования; *2* — регулятор; x — регулируемая величина; y — регулирующее воздействие; z — управляющее воздействие; f — возмущающее воздействие.

ся на системы непрерывного действия, в к-рых между величинами на входе и на выходе всех элементов регулятора существует непрерывная зависимость; импульсные системы, в к-рых величина на выходе к.-л. из элементов представляет собой последовательность импульсов; релейные системы, в к-рых величина на выходе к.-л. из элементов постоянна, а ее знак зависит от знака величины на входе.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954. *Б. А. Власюк.*

РЕГУЛИРОВАНИЯ СТАТИКА (control statics; statique du réglage; Regelungsstatik) — режим работы САР в установившемся состоянии при постоянстве всех внешних воздействий. Выявление статич. св-в САР основывается на исследовании *статических характеристик* элементов систем и самих систем (см. также *Статическая система*). Основными задачами изучения системы в статич. режиме является определение отклонений регулируемой величины от заданного значения, возникающих в результате действия возмущений; областей возможных установившихся отклонений в связи с наличием в системе гистерезиса или сухого трения; диапазона значений возмущающих воздействий, к-рые могут быть скомпенсированы регулятором.

Чтобы определить статич. отклонение, нужно в системе ур-ний, учитывающей внешние возмущения, все производные положить равными нулю, что соответствует установившемуся состоянию при пост. возмущениях, и из полученных ур-ний найти зависимость исследуемой координаты от приложенных к системе внешних сил.

Пусть имеется линейная следящая система, описываемая ур-ниями:

$$\varepsilon = \theta_{вх} - \theta_{вых};$$
$$U = k_1\varepsilon;$$
$$Li_д' + Ri_д = k_2U;$$
$$J\ddot{\theta}_{вых} + f\dot{\theta}_{вых} + m_н = k_3i_д,$$

где ε — ошибка системы; $\theta_{вх}$, $\theta_{вых}$ — угол поворота входной и выходной осей системы; U — напряжение; k_1, k_2, k_3 — коэфф. усиления; L и R — индуктивное и омич. сопротивления обмотки возбуждения двигателя; $i_д$ — ток обмотки возбуждения; J — момент инерции всех движущихся частей, приведенный к выходной оси следящей системы; f — коэфф. вязкого трения, приведенный к выходной оси; $m_н$ — момент нагрузки.

Чтобы перейти к установившемуся режиму, положим

$$\dot{\bar{\theta}}_{вых} = \dot{\theta}_{вых} = \dot{i}'_в = 0.$$

Получаем новую систему ур-ний (переменные здесь обозначаются теми же буквами, но с чертой сверху):

$$\bar{\varepsilon} = -\bar{\theta}_{вых} + \theta_{вх};$$
$$\bar{U} = k_1\bar{\varepsilon};$$
$$Ri_в = k\bar{U};$$
$$0 = k_3\bar{i}_в - m_н.$$

Зависимость ошибки следящей системы от внешнего возмущения $m_н$:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{R}{k_1k_2k_3}m_н.$$

Отсюда видно, что в системе по отношению к нагрузочному моменту $m_н$ осуществляется статич. регулирование.

Лит.: Кузовков Н. Т., Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах, 2 изд., М., 1960; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954. *Е. Ф. Самбурова, М. П. Сахаров.*

РЕГУЛИРУЕМАЯ ВЕЛИЧИНА (controlled value, output variable; grandeur réglée; Regelgröße) — величина, значение к-рой в САР должно поддерживаться постоянным или изменяться в соответствии с заданной программой. В системах автоматич. регулирования Р. в. является входной величиной регулятора. В регуляторе текущее значение Р. в. сравнивается с заданным значением Р. в.

Лит.: Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958. *С. Н. Дилигенский.*

РЕГУЛИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ДИАПАЗОН ИЗМЕНЕНИЙ (controlled value range; étendue de variation de la grandeur réglée; Änderungsbereich der Regelgröße) — область допустимого изменения регулируемой величины. Границы Р. в. д. и. (a, b) связаны с ограничениями, накладываемыми на регулируемую величину, напр., если A и B — пределы, к-рые не может или не должна переходить регулируемая величина X: $A \leqslant X \leqslant B$, то для Р. в. д. и. ($a$, b) должно выполняться соотношение: $A \leqslant a \leqslant b \leqslant B$. В случае регулирования неск. величин X_1, X_2, ..., X_n, к-рые можно рассматривать как вектор X, Р. в. д. и. (a_i, b_i) определяется для каждой из координат X_i ($i=1,2, \ldots, n$) и в совокупности образуется нек-рая область n-мерного векторного пространства. *А. И. Тейман.*

РЕГУЛИРУЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (регулирующая величина) (input variable; grandeur de réglage; Stellgröße) — *воздействие* регулятора на объект, с целью приближения регулируемой величины к ее заданному значению.

Лит. см. при ст. *Регулируемая величина.* *С. Н. Дилигенский.*

РЕГУЛЯТОР АВТОМАТИЧЕСКИЙ [automatic controller; régulateur automatique; selbsttätige Regeleinrichtung (Regler)] — совокупность устройств, присоединяемых к регулируемому объекту для автоматического регулирования его выходной (регулируемой) величины. Р. а. присоединяется к выходу регулируемого объекта и регулирующему органу на его входе, образуя главную обратную связь в системе регулирования (рис. 1). Р. а. измеряет отклонения регулируемой величины от ее заданного значения и, в зависимости от результатов измерения воздействует на регулирующий орган объекта т. о., чтобы уменьшить отклонение. По функциональному назначению различают следующие элементы Р. а.: чувствительный, задающий, сравнения, усилительный, управляющий и исполнительный. Чувствительный или измерит. элемент подключается к выходу объекта и измеряет регулируемую величину z (рис. 2). Р.а. может иметь и дополнит. чувствит. элементы,

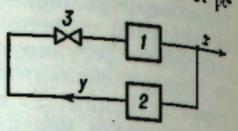


Рис. 1. Блок-схема системы автоматич. регулирования: 1 — объект; 2 — автоматич. регулятор; 3 — регулирующий орган.

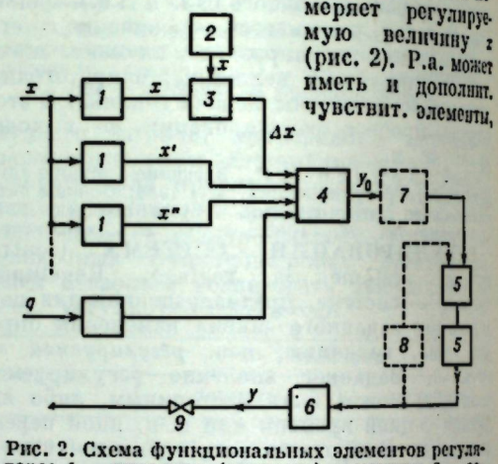


Рис. 2. Схема функциональных элементов регулятора: 1 — чувствит. (измерит.) элементы; 2 — задающий (программирующий) элемент; 3 — элемент сравнения; 4 — вычислит. устройство; 5 — усилит. элементы; 6 — исполнит. элемент; 7 — последовательное и 8 — параллельное корректирующие устройства; 9 — регулирующий орган; x — регулируемая величина; x_0 — ее заданное значение; Δx — отклонение регулируемой величины; q — нагрузка; y_0 — требуемое воздействие на регулирующий орган; y — действительное воздействие на регулирующий орган.

измеряющие др. величины, от к-рых зависит регулирующее воздействие, напр.: производные x по времени, нагрузку q объекта и др. При помощи задающего элемента (*задающего устройства*) устанавливается требуемое значение x_0, которое должен поддерживать Р. а. В программных регуляторах этот элемент наз. программным. В ряде программных регуляторов со сложным законом изменения x_0 программа задается вычислит. программным устройством. Элемент сравнения определяет отклонение Δx регулируемой величины от ее заданного значения $\Delta x = x_0 - x$. Управляющий вычислительный элемент формирует регулирующее воздействие y_0 по закону, который в общем случае имеет вид:

$$y_0 = f(\Delta x, x', x'', \ldots, x^{(m)}, \int \Delta x dt, \ldots, q, \ldots). \quad (1)$$

Усилительный элемент служит для усиления выходной величины управляющего элемента до значения, достаточного для приведения в действие исполнительного элемента, управляющего состоянием регулирующего органа. Исполнит. элемент, механически перемещающий регулирующий орган, наз. сервомотором. Для улучшения динамич. качеств регулирования в состав Р. а. могут входить корректирующие элементы, способы включения к-рых весьма разнообразны. В реальных регуляторах возможно совмещение ф-ций неск. элементов в одном конструктивном блоке.

Входящие в закон регулирования (1) независимые переменные определяют принцип регулирования. Применяются 3 основных принципа регулирования: по отклонению $y_0 = f(\Delta x, x', \ldots, \int \Delta x dt)$, по нагрузке $y_0 = f(q)$ и комбинированный, выражаемый законом (1). Нек-рые простейшие алгоритмы Р. а. по отклонению приведены в табл.

Алгоритмы автоматических регуляторов по отклонению

Алгоритм	Название регулятора
$y_0 = a_0\Delta x$	Пропорциональный
$y_0 = a_0\Delta x + a_1x'$	Пропорциональный с воздействием по 1-й производной
$y_0 = a_0\Delta x + a_1x' + a_2x''$	Пропорциональный с воздействием по 1-й и 2-й производным
$y_0 = b_0\int_0^t \Delta x dt$	Интегральный
$y_0 = a_0\Delta x + b_0\int_0^t \Delta x dt$	Пропорциональный с воздействием по интегралу

Р. а. только по нагрузке, как правило, не обеспечивают точного регулирования, т. к. различные возмущения, не учтенные в законе Р. а., и неточность описания объекта приводят к появлению ошибок, корректировать к-рые Р. а. не может. Комбинированные Р. а. объединяют преимущества Р. а. по отклонению (точность) и по нагрузке (быстродействие и устойчивость). В комбинированных Р. а. появляется возможность сводить к минимуму погрешность регулирования (см. *Инвариантность*).

Вследствие инерционности элементов Р. а. его выходная величина y не будет точно следовать закону (1), т. е. она не будет совпадать с y_0 и определится дифференц. ур-нием Р. а.:

$$y = F(\Delta x, x', x'', \ldots, \int \Delta x dt, \ldots, q, y', y'', \ldots, y^{(n)}). \quad (2)$$

Если ф-ция F непрерывна, Р. а. наз. регулятором непрерывного действия. Если F — линейная ф-ция всех своих переменных, Р. а. наз. линейным. Если цепь Р. а. принудительно размыкается и y периодически обращается в нуль, Р. а. наз. *регулятором прерывистого действия*. Если в Р. а. y может принимать только конечное число фиксированных значений, то такой Р. а. наз. *регулятором релейным*. Ур-ние Р. а. в установившемся режиме, когда все производные $x^{(i)}$ и $y^{(i)}$ равны нулю, наз. ур-нием статики, или статич. хар-кой Р. а.: $y_{ст} = f(\Delta x, q)$; Р. а., имеющий статич. хар-ку, наз. *регулятором статическим*. Если ур-ние (2) не содержит явно y, Р. а. не имеет статич. хар-ки и наз. *регулятором астатическим*.

Р. а., использующий для воздействия на регулирующий орган энергию измерит. элемента, т. е. не имеющий в своем составе усилителей, наз. регулятором прямого действия.

Р. а., воздействующий на усилители, управляющие поступлением энергии к регулирующему органу от посторонних источников питания, наз. регулятором непрямого действия. В зависимости от рода энергии, используемой для перемещения регулирующего органа, различают Р. а. механические (в т. ч. гидравлич. и пневматич.) и электрические. Особой разновидностью Р. а. является регулятор экстремальный (см. *Оптимизатор*).

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 1—2, М., 1954—59; Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Попов Е. П., Автоматическое регулирование, 3 изд., М., 1959; Фатеев А. В., Основы линейной теории автоматического регулирования, М.— Л., 1954; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959. *А. А. Воронов.*

РЕГУЛЯТОР АСТАТИЧЕСКИЙ (astatic controller, integral action controller, floating action controller; régulateur astatique; astatische Regeleinrichtung) — регулятор, при использовании к-рого установившееся значение регулируемой величины (при постоянной нагрузке) не зависит от нагрузки (астатич. регулирование) и величина статизма (неравномерности) равна нулю. При отсутствии нечувствительности в регуляторе, хар-ка системы астатич. регулирования $x = x_0$ была бы горизонтальной (рис. 1); наличие зоны нечувствительности приводит к тому, что регулируемая величина x может находиться в пределах нек-рой зоны (на рис. 1 заштрихована). Ошибка регулирования существует, но она не является ф-цией нагрузки и не наз. статич. ошибкой. Р. а. не имеет статич. характеристики. Когда входная величина x Р. а. (регулируемая величина) точно равна заданному значению, его выходная величина y может иметь произвольное значение, т. е. Р. а. находится в состоянии безразличного равновесия. При всяком же отклонении x от заданного значения равновесие регулятора нарушается и начинается непрерывное изменение y. Ур-ние простейшего Р. а. имеет вид $T\frac{dy}{dt} = x - x_0$, где x_0 — заданное значение регулируемой величины. Ур-ние может быть записано также в форме $y = \frac{1}{T}\int (x - x_0)dt$, откуда видно, что простейший Р. а. является интегрирующим звеном. В более общем случае Р. а. содержит в своей структурной схеме одно или неск. интегрирующих звеньев. Число последовательно включенных интегрирующих звеньев ν наз. порядком астатизма Р. а. Дифференц. ур-ния Р. а. отличаются тем, что коэфф. при y и при всех ее производных порядка $\nu - 1$ и ниже равны нулю. Дифференц. ур-ние линейного Р. а. с астатизмом порядка ν имеет вид:

$$p^\nu D(p)\, y = x - x_0,$$

где $p = \frac{d}{dt}$, $D(p)$ — полином.

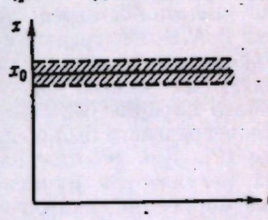


Рис. 1. Хар-ка системы астатич. регулирования: x — регулируемая величина; x_0 — заданное значение регулируемой величины; Q — нагрузка.

Для осуществления Р. а. либо включают в схему регулятора спец. интегрирующее звено, либо подбирают хар-ки чувствит. элемента так, чтобы статизм регулятора обратился в нуль $\delta = 0$, превращая тем самым чувствит. элемент в интегрирующее звено. В Р. а. уровня (рис. 2) астатич. звеном является электродвигатель. Для превращения чувствит. элемента регулятора в астатич. звено подбирают хар-ки действующей и противодействующей сил так, чтобы они уравновешивали друг друга во всех точках. Так, напр., в центробежном регуляторе необходимо добиться совпадения хар-к центробежной силы и противодействующей пружины (подробно рассмотрено П. Л. Чебышевым); в электромагнитном регуляторе должны совпадать тяговая хар-ка электромагнита и хар-ка пружины и т. п. Астатич. регулирование, как правило, менее устойчиво, чем статическое. Р. а. непригодны для регулирования объектов без самовыравнивания. Впервые это обстоятельство было сформулировано И.А.Вышнеградским в виде тезиса «без неравномерности нет регулятора» [1]. Для одноконтурных систем регулирования объектов любого порядка без самовыравнивания тезис Вышнеградского был обобщен М. А. Айзерманом [2]. Для повышения устойчивости астатич. регуляторов применяют дополнит. средства коррекции, напр. гибкие обратные связи, превращающие Р. а. в *регулятор изодромный*.

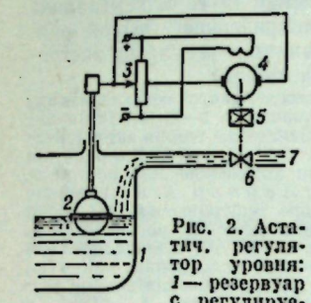


Рис. 2. Астатич. регулятор уровня: *1* — резервуар с регулируемым уровнем жидкости; *2* — поплавок; *3* — реостат; *4* — двигатель пост. тока; *5* — редуктор; *6* — регулирующий орган (вентиль); *7* — питающая труба.

В пром. системах регулирования обычно применяются Р. а. с астатизмом 1-го порядка. Р. а. с астатизмом высшего порядка применяются в следящих системах для устранения установившихся ошибок по скорости, ускорению и т. д.

Лит.: 1) Максвелл Д. К., Вышнеградский И. А., Стодола А., Теория автоматического регулирования, М., 1949; 2) Айзерман М. А., О некоторых структурных условиях устойчивости систем автоматического регулирования, «АиТ», 1948, т. 9, № 2.

А. А. Воронов.

РЕГУЛЯТОР ВИБРАЦИОННЫЙ (oscillating regulator; régulateur vibrant; Schwingregeleinrichtung) — релейный регулятор, исполнит. элемент к-рого находится в режиме непрерывных колебаний (вибраций), период которых значительно меньше постоянной времени объекта регулирования. Поэтому колебания регулируемой величины получаются относительно небольшими. Системы с Р.в. различаются способами задания колебат. режима исполнит. элементу. В простейшем случае — это автоколебат. режим самой системы регулирования. Параметры отдельных элементов устанавливаются такими, чтобы амплитуда автоколебаний находилась в допустимых границах.

Р. в. очень просты по конструкции, компактны и широко применяются в установках, в к-рых допускаются небольшие колебания вокруг ср. значения регулируемой величины.

Наиболее распространенный Р. в.— регулятор напряжения, содержащий электромагнитное реле с большим коэфф. возврата (рис. 1,*а*). Катушка реле *P* включена на напряжение генератора *Г*. Если напряжение генератора ниже заданного, то нормально замкнутые

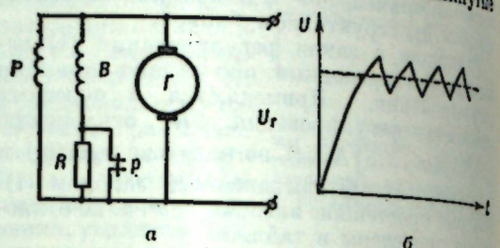


Рис. 1. Простейший вибрационный регулятор напряжения: *а* — схема; *б*—процесс регулирования.

контакты *p* реле шунтируют сопротивление *R* в цепи обмотки возбуждения *B*, в результате чего напряжение начинает возрастать. Когда оно достигает определ. значения, реле срабатывает, его контакты размыкаются и напряжение начинает уменьшаться. Это приводит к отпусканию реле, контакты к-рого вновь замыкаются, и весь процесс повторяется. Напряжение генератора с нек-рой частотой пульсирует вблизи заданного среднего значения (рис. 1, *б*). Частота пульсаций определяется гл. обр. коэфф. возврата реле. Уставку регулятора можно менять изменением натяга пружины реле, зазора магнитной системы или сопротивления в цепи катушки. Такие регуляторы используются для генераторов небольшой мощности, напр. автомобильных и авиационных.

Небольшое изменение описанной схемы позволяет значительно повысить точность поддержания напряжения. Если на обмотку реле *P* подать разность напряжений генератора и падения напряжения на сопротивлении *R* (рис. 2), то создается автоколебат. контур, для поддержания колебаний в к-ром требуется только наличие напряжения генератора, а не обязательно его изменение. Однако величина напряжения генератора существенно влияет на параметры автоколебаний. Точность регулирования в этой схеме не зависит от величины коэфф. возврата реле, к-рый может быть небольшим; легко может быть получена более высокая частота вибраций, что обеспечивает уменьшение амплитуды пульсаций напряжения генератора.

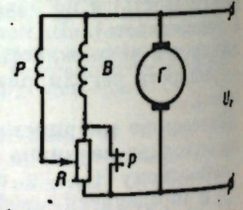
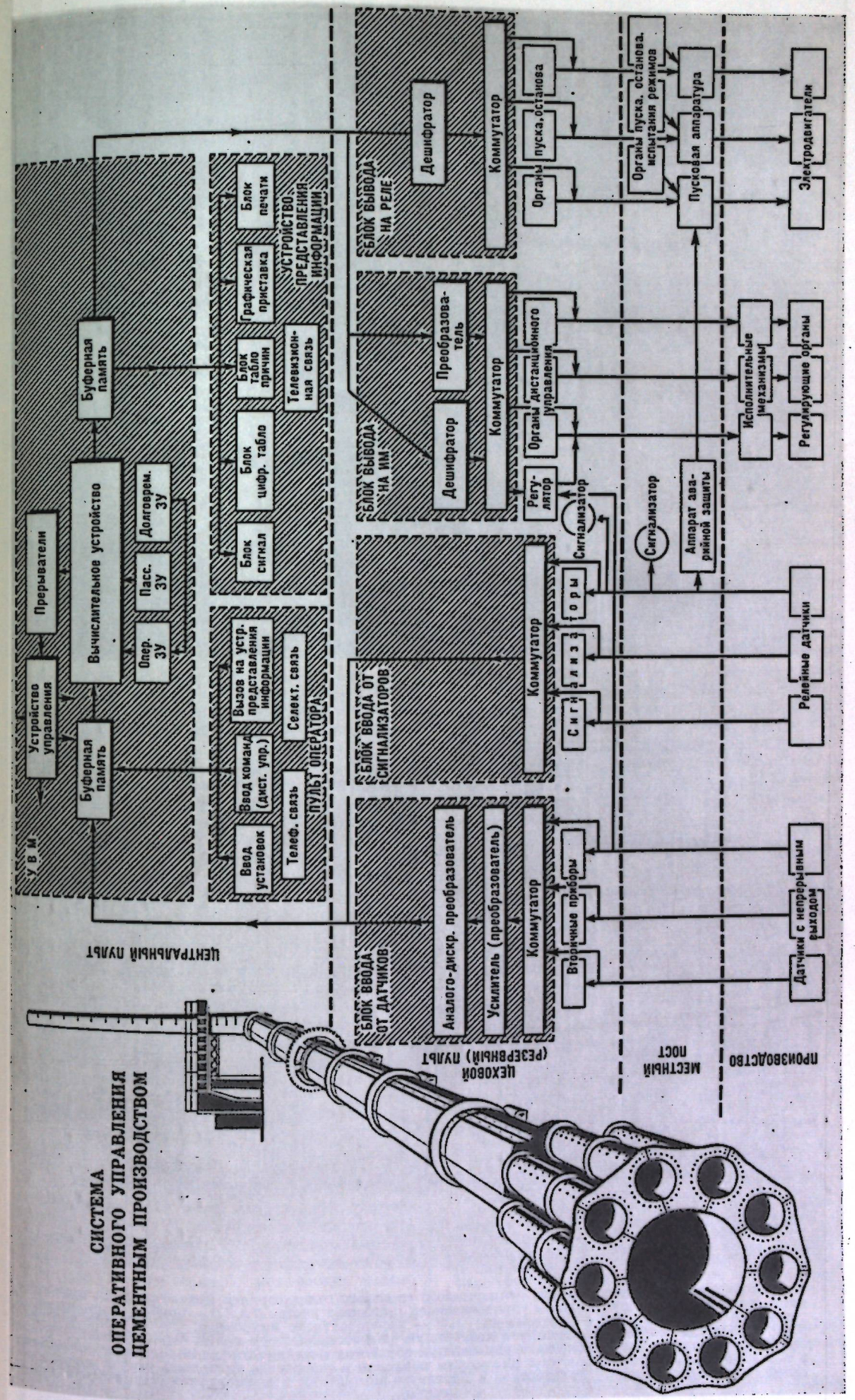
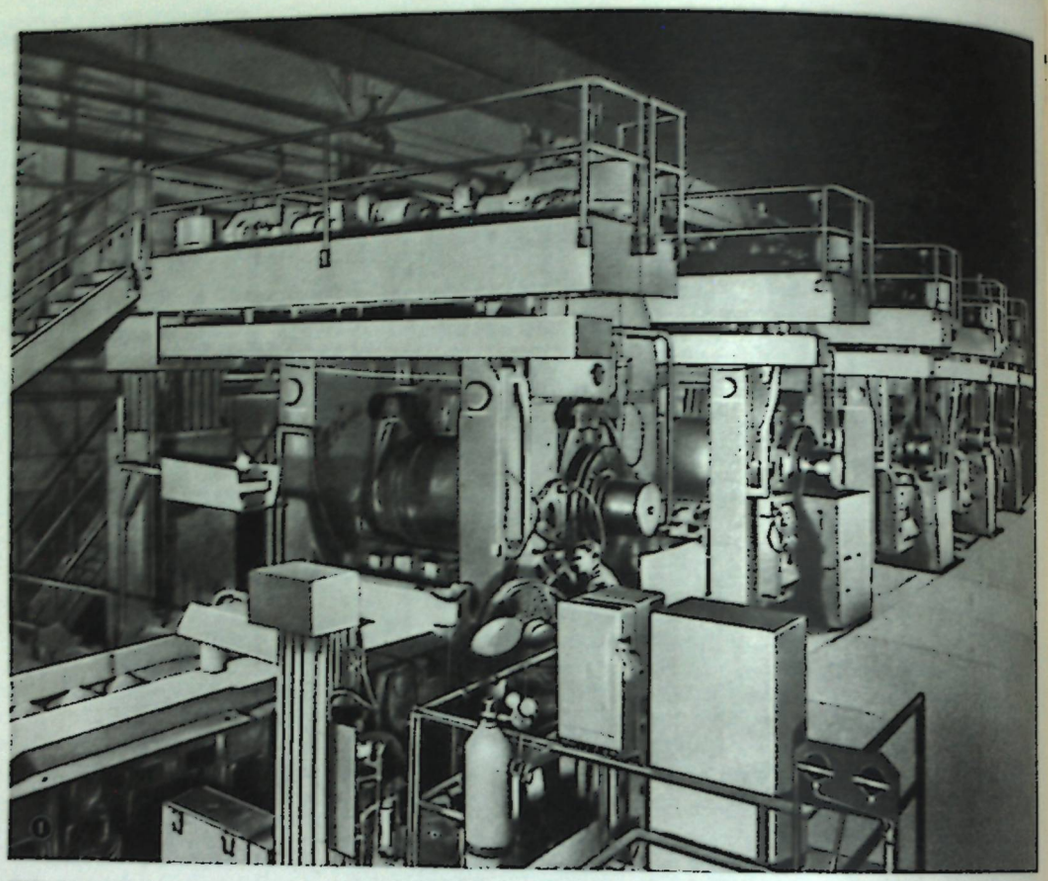


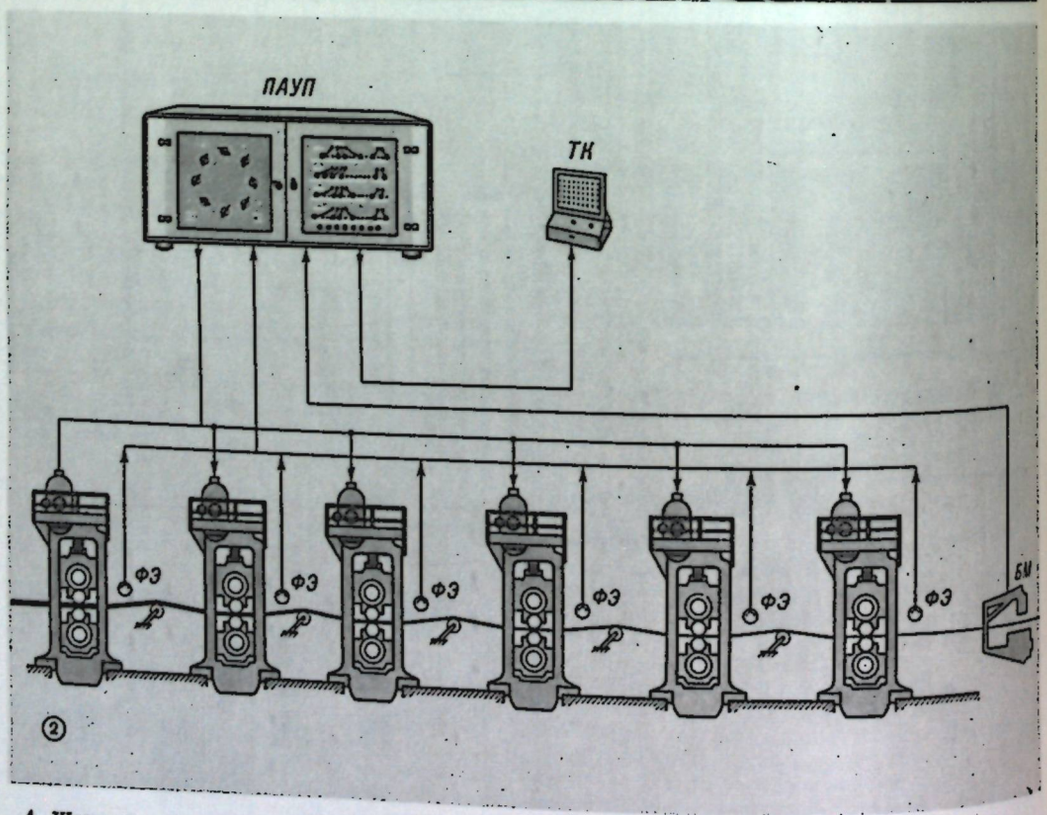
Рис. 2. Схема вибрационного регулятора напряжения с дополнит. обратной связью.

Колебат. режим исполнит. элемента Р. в. может создаваться также посторонним устройством, не зависящим от регулируемого объекта. При этом во многих случаях зависимость ср. значения выходной величины от изменения регулируемой переменной оказывается монотонной и в определ. пределах близкой к линейной. По отношению к ср. значению регулируемой величины Р. в. ведет себя как регулятор с непрерывными (или линейными) хар-ками: при наличии дополнит. периодич. воздействия в области существенных частот нелинейность релейной хар-ки исполнит. органа не сказывается, т. к. периодич. воз-



Система разработана Институтом автоматики и телемеханики (технической кибернетики) совместно с Институтом гипростромавтоматизации.





1. Шестиклетьевая чистовая группа непрерывного листового стана горячей прокатки. 2. Система автоматической стабилизации толщины горячекатаного стального листа: *ПАУП* — прибор автоматической установки программы; *ФЭ* — фотоэлемент; *БМ* — бесконтактный микрометр; *ТК* — табло контроля работы системы. Система ликвидирует продольную разнотолщинность полос, что улучшает качество проката, уменьшает брак, облегчает дальнейшую обработку металла (холодную прокатку, штамповку и т. д.); позволяет вести прокатку с минусовым допуском и тем самым уменьшить расход металла на единицу поверхности листа. Разработана в Институте автоматики и телемеханики (технической кибернетики).

действие линеаризует релейную систему (см. *Линеаризация вибрационная*). Вибрационная линеаризация влияет и на др. элементы системы, устраняя действие сухого трения, люфта, гистерезиса.

В позиционной следящей системе (рис. 3) вибрационная линеаризация релейного элемента производится от внешнего источника колебаний. На обмотку трехпозиционного реле *РП*, кроме сигнала ошибки, подается перем. напряжение, вследствие чего подвижный контакт реле непрерывно вибрирует. При отсутствии сигнала рассогласования исполнит. реверсивный двигатель *Д* попеременно, на равные отрезки времени включается для вращения в ту и др. стороны. Частота источника перем. тока выбирается такой, что колебания якоря двигателя находятся в допустимых пределах. Напряжение ошибки изменяет соотношение между временем включения реверсивных обмоток, появляется нек-рое ср. значение движущего момента, и рассогласование отрабатывается. В области существенных частот система оказывается практически пропорциональной; вибрационная линеаризация позволяет преодолеть зону нечувствительности поляризованного реле и сухое трение двигателя.

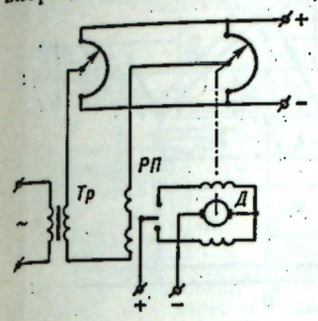


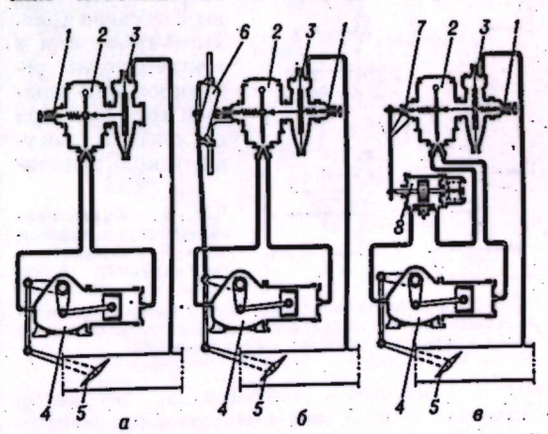
Рис. 3. Схема вибрационной следящей системы.

Вид хар-ки релейного элемента при наличии линеаризующих дополнит. колебаний существенно зависит от формы этих колебаний. Наилучшей она получается для колебаний в форме треугольников. Р. в. обладают всеми достоинствами *регуляторов релейных* и, кроме того, позволяют значительно повысить точность процессов регулирования.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955; Проектирование следящих систем малой мощности, под ред. В. А. Бесекерского, Л., 1958; Бернштейн С. И., К теории вибрационных регуляторов электрических машин, «АиТ», 1951, № 5. *Е. Н. Фомина.*

РЕГУЛЯТОР ВСЕРЕЖИМНЫЙ (all-regime controller; régulateur à régimes multiples; Allregimeregler) — нерекомендуемое наименование регулятора с широким диапазоном изменения настройки. См. *Регулятор с переменной настройкой.*

РЕГУЛЯТОР ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ (hydraulic controller; régulateur hydraulique; hydraulische Regeleinrichtung) — регулятор, в к-ром взаимодействие между элементами и воздействие на регулирующий орган осуществляются за счет энергии давления жидкости, подводимой от постороннего источника. Рабочими жидкостями в Р. г. служат минеральные масла (турбинное, трансформаторное и др.), спец. смеси (напр., негорючие масла, имеющие темп-ру вспышки более высокую, чем минеральные масла) или вода. Вследствие сложности формирования на гидравлич. аппаратуре сигнала по скорости изменения регулируемой величины и ограниченности числа входов на механич. элемент сравнения, Р. г. обычно реализуют только интегральный (И), пропорциональный (П) и пропорционально-интегральный (ПИ) законы регулирования. В качестве чувствит. элементов в Р. г. применяются мембранные, сильфонные и др. устройства, преобразующие измеряемую величину в пропорциональное усилие (реже — перемещение), в качестве задающих элементов — пружинные задатчики. В регуляторах соотношения (программных Р. г., у к-рых программа задана в функции др. параметра) роль задающего элемента играет 2-й чувствит. элемент; роль элемента сравнения — обычно входное звено *гидравлического усилителя* (однокаскадного струйного или дроссельного либо двухкаскадного струйно-золотникового или дроссельно-золотникового). В качестве исполнит. элемента Р. г. имеет *гидравлический исполнительный механизм* (см. также *Гидравлический привод*, *Гидроцилиндр силовой*, *Гидромотор*), чаще всего поршневой, построенный на базе гидроцилиндров двухстороннего действия. Мембранные исполнит. механизмы одностороннего действия (подпружиненные) применяются только для управления маломощными регулирующими клапанами в относительно простых Р. г., построенных на базе дроссельных усилителей (напр., типа «сопло — заслонка»), работающих обычно на воде. Р. г. часто укомплектовывается вспомогат. устройствами — многоходовыми кранами для шунтирования исполнит. механизма при местном ручном управлении и для дистанц. ручного управления, дросселем для ограничения скорости перемещения исполнит. механизма, устройствами для гидравлич. фиксации его положения при нарушении снабжения регулятора рабочей жидкостью и др. Для формирования П-закона регулирования на элемент сравнения Р. г. подается сигнал жесткой обратной связи по положению исполнит. механизма, для формирования ПИ-закона регулирования — сигнал гибкой обратной связи с помощью гидравлич. *изодрома* (см. рис.).



Схемы гидравлич. регуляторов давления, выполненных на базе струйного усилителя: *а* — И-регулятор; *б* — П-регулятор; *в* — ПИ-регулятор; *1* — пружинный задатчик; *2* — гидравлич. струйный усилитель; *3* — мембранное измерит. устройство; *4* — гидравлич. исполнит. механизм (кривошипный); *5* — регулирующий орган; *6* — механизм подачи сигнала жесткой обратной связи (с плоским лекалом); *7* — механизм передачи сигнала обратной связи от изодрома; *8* — гидравлич. изодром.

Основные достоинства Р. г.: высокая надежность, продолжит. срок службы, простота

конструкции и обслуживания, большие мощности исполнит. механизмов при незначит. их весе и габаритах, плавное изменение скорости исполнит. механизмов в широких пределах, хорошие динамич. качества, обусловленные практич. несжимаемостью рабочих жидкостей, отсутствием быстровращающихся масс и люфтов, присущих любым устройствам с механич. редукторами. Осн. недостатки Р. г.: ограниченный радиус действия, затруднительность построения и громоздкость сложных схем авторегулирования, необходимость систематич. наблюдения за всеми соединениями линий и аппаратуры и устранения пропусков рабочей жидкости (масла), к-рые могут возникнуть в местах соединений вследствие вибраций, необходимость спец. устройств для питания рабочей жидкостью.

Лит.: Крассов И. М., Гидравлические элементы систем автоматического регулирования, М., 1963; Дуэль М. А., Рабинович Г. А., Шлиозберг Ю. А., Гидравлические автоматические регуляторы тепловых процессов, М.— Л., 1961; Гидравлические и пневматические силовые системы управления, пер. с англ., М., 1962. *В. М. Горохов.*

РЕГУЛЯТОР ДВУХПОЗИЦИОННЫЙ [on—off (two-position action) controller; régulateur à deux paliers; Zweipunktregeleinrichtung] — регулятор релейного действия, регулирующий орган к-рого может иметь одно из двух возможных положений. Р. д. применяются очень широко для регулирования: темп-ры электрич. печей сопротивления и иных установок с электрообогревом, темп-ры объектов при паровом или водяном обогреве, в холодильных установках, а также др. величин (давления, влажности, уровня, величины pH и пр.). Регулирующий орган Р. д. имеет только 2 положения — полного открытия и полного или частичного закрытия, а приток энергии или вещества в объект — только 2 значения: макс. и минимальное. Хар-ки Р. д. имеют 2 ступени (рис. 1). Хар-ки *а* и *в* соответствуют регулированию полным притоком: при отклонении регулируемой величины от заданного значения $y_н$ регулятор включает приток или полностью его выключает. Хар-ки *б* и *г* соответствуют регулированию неполным притоком $Q_{рег} = Q_1 - Q_2$. Чаще применяют регуляторы с хар-кой *а*. При хар-ках *а* и *б* (без нечувствительности) регулятор срабатывает при малейшем отклонении регулируемой величины от заданного значения $y_н$. При хар-ках *в* и *г* (с диапазоном нечувствительности $2y_0$) переключение происходит при отклонении регулируемой величины на нек-рое значение y_0 в ту или иную сторону от $y_н$.

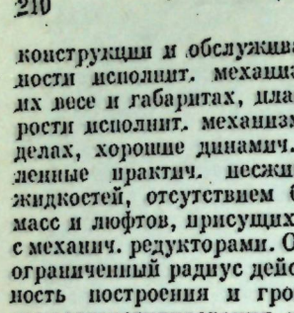


Рис. 1. Характеристики двухпозиционного регулятора: *y* — регулируемая величина; $y_н$ — ее номинальное (заданное) значение; *Q* — приток (количество вещества или энергии, подаваемое в единицу времени в объект регулирования).

Процесс двухпозиционного регулирования является автоколебательным, т. е. регулируемая величина претерпевает периодич. колебания. Для одноемкостного объекта при чистом запаздывании в чувствит. элементе, если пренебречь явлением самовыравнивания в пределах малых рассматриваемых колебаний, процесс имеет вид, представленный на рис. 2, *а*. Здесь: $\Delta\vartheta$ — отклонение регулируемой величины (темп-ры) от заданного значения; $\Delta\vartheta_{чэ}$ — отклонение величины $\vartheta_{чэ}$, фиксируемой чувствит. элементом, от заданного значения; Δt — время запаздывания; $Q_{пр}$ и $Q_{от}$ — приток и отток; *ab* и *cd* — линии верхней и нижней границ диапазона нечувствительности; $2\Delta\vartheta_0$ — диапазон нечувствительности; $\Delta\vartheta_{m(+)}$, $\Delta\vartheta_{m(+)}$ и $\Delta\vartheta_{m(-)}$ — суммарная амплитуда колебаний регулируемой величины и ее составляющие (положит. и отрицат.); *t* — время; *T*, $T_{вкл}$ и $T_{вык}$ — период колебаний и его составляющие (время включения и время выключения). Амплитуда колебаний и период определяются ф-лами:

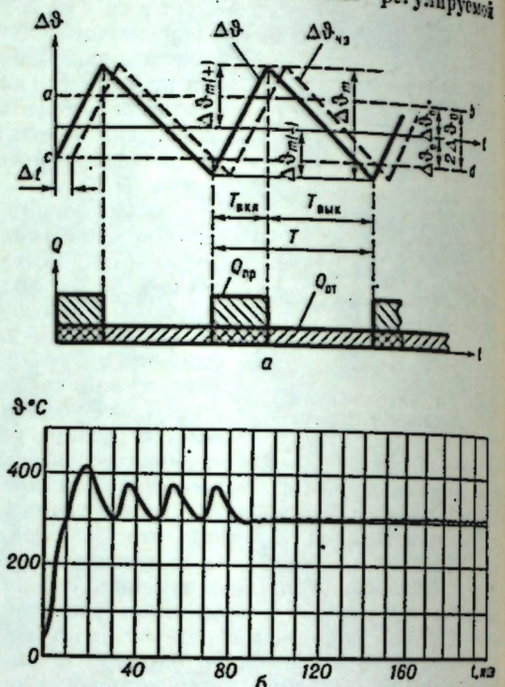


Рис. 2. Графики двухпозиционного регулирования: *а* — теоретич. график; *б* — экспериментальная диаграмма (справа — с корректирующим устройством, слева — без него).

$$\Delta\vartheta_m = 2\Delta\vartheta_0 + \Delta t\,\frac{Q_{пр}}{C}, \qquad (1)$$

$$T = \frac{(2\Delta\vartheta_0 C + \Delta t Q_{пр})\,Q_{пр}}{(Q_{пр} - Q_{от})\,Q_{от}}, \qquad (2)$$

где *C* — коэфф. емкости (суммарная теплоемкость объекта). Из ф-лы (1) следует, что для увеличения точности Р. д. желательно уменьшать $\Delta\vartheta_0$, Δt и $Q_{пр}$ и увеличивать *C*. Качество Р. д. можно улучшить и применением спец. корректирующих (рис. 2, *б*) устройств [2, 3].

Р. д. состоят обычно из чувствит. элемента, двухпозиционного электрич. прибора, замыкающего и размыкающего электрич. контакт, и регулирующего органа, включающего и выключающего подачу энергии или вещества в регулируемый объект. Регулирующим органом при регулировании темп-ры установок с электрообогревом является контактор, а в мелких установках — электрич. реле; иногда энергия, подаваемая в объект, включается непосредственно контактом регулирующего

прибора. При обогреве паром или водой, а также при регулировании др. параметров (не темп-ры) регулирующим органом обычно служит соленоидный клапан.

По принципу действия чувствит. элемента различают Р. д., в к-рых используется: 1) расширение тел при нагревании (рис. 3) (контактные ртутные термометры, биметаллич. реле, дилатометры и др.); 2) манометрич. принцип, т. е. увеличение давления паров

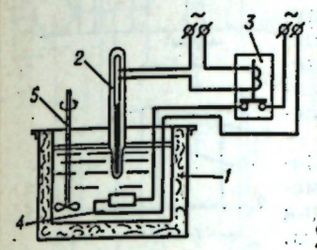


Рис. 3. Регулирование темп-ры термостата ртутным контактным термометром: *1* — корпус термостата; *2* — ртутный контактный термометр; *3* — реле; *4* — электрич. нагреватель; *5* — мешалка.

низкокипящей жидкости при увеличении темп-ры (применяется в особенности в холодильных установках); посредством своего контакта манометрич. температурное реле либо управляет пуском электродвигателя компрессора холодильной установки (рис. 4), либо (при рассольном охлаждении) воздействует на соленоидные клапаны, установленные на линии подачи рассола; 3) термоэлектрич. принцип (термопары с потенциометрами); 4) термометры сопротивления с автоматич. мостами и т. д. Бо́льшая часть термоэлектрич. приборов выпускается трехпозиционными (с тремя контактами), но в Р. д. используется только один, миним. контакт; макс. контакт может служить для сигнализации. Многоточечные автоматические потенциометры и уравновешенные мосты со специальным переключателем и релейным блоком дают возможность двухпозиционного регулирования в неск. (например, в 6 или в 12) аппаратах одним прибором. Перспективны машины для *контроля централизованного* (напр., «Зенит», «Амур-80», «Марс-300» и др.), к-рые благодаря наличию в них обегающих устройств позволяют осуществлять автоматически двухпозиционное регулирование в 40, 80, 300 и т. д. точках.

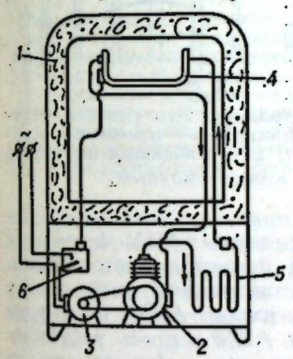


Рис. 4. Схема регулирования темп-ры холодильного шкафа: *1* — шкаф; *2* — компрессор; *3* — электродвигатель; *4* — испаритель; *5* — конденсатор; *6* — температурное реле.

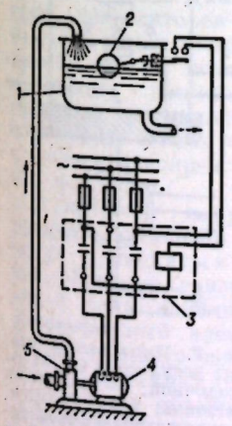


Рис. 5. Принципиальная схема автоматич. регулирования уровня: *1* — напорный бак; *2* — поплавковый регулятор уровня; *3* — пускатель (контактор); *4* — электродвигатель; *5* — центробежный насос.

Р. д. уровня (поплавковые реле и др. приборы) выпускаются в многочисленных модификациях [5, стр. 635], напр. рис. 5. Автоматические pH-меры [4], снабженные позиционным регулирующим устройством, позволяют осуществлять двухпозиционное регулирование величины pH путем воздействия на соленоидный клапан, установленный на линии подачи кислоты или щелочи. Инженерные методы расчета систем двухпозиционного регулирования изложены в [1] и [7].

Лит.: 1) Камне-Немм А. А., Динамика двухпозиционного регулирования, М.—Л., 1955; 2) его же, Сравнительный анализ некоторых усовершенствованных методов двухпозиционного регулирования, «АиТ», 1956, № 8; 3) его же, Автоматическое регулирование тепловых процессов регулятором с термоэлектрическим корректирующим устройством, в кн: Тр. Ленингр. хим.-фарм. ин-та, вып. 14, Л., 1962; 4) Миронов К. А., Шипетин Л. И., Теплотехнические измерительные приборы, 2 изд., М., 1958; 5) их же, Автоматические регуляторы, М., 1961; 6) Якобсон В. Б., Автоматизация холодильных установок, М., 1958; 7) Oppelt W., Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge, 3 Aufl., Weinheim, 1960. *А. А. Камне-Немм.*

РЕГУЛЯТОР ДИСКРЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ (discrete action controller; régulateur à action discontinue; unstetige Regeleinrichtung) — см. *Регулятор прерывистого действия.*

РЕГУЛЯТОР ИЗОДРОМНЫЙ (proportional-plusintegral controller, PI-controller; régulateur à actions proportionnelle et intégrale; isodrome Regeleinrichtung) — распространенное назв. астатич. *регулятора с гибкой обратной связью.* Р. и. первоначально наз. центробежные регуляторы для поддержания заданной пост. скорости (изодромный — букв. равномерно бегущий) при любых пост. нагрузках. В Р. и. скорости (рис. 1, *а*) гибкая обратная связь (*изодром*) охватывает астатич. звено — сервомотор. Она состоит из масляного демпфера *6* и пружины *5*. Обратная связь воздействует на золотниковый рычаг лишь при движении поршня сервомотора и прекращает воздействие в установившемся режиме. Передаточная ф-ция изодрома имеет вид: $\frac{\beta T_{is}}{T_{is}+1}$, где T_i — постоянная времени изодрома, β — коэфф. гибкой обратной связи. При толчках и быстрых изменениях регулируемой величины демпфер не успевает сработать и как бы играет роль жесткой обратной связи и Р. и.

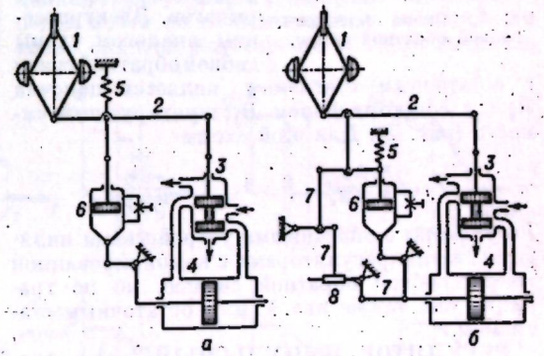


Рис. 1, *а*. Кинематич. схемы центробежных изодромных регуляторов скорости: *а* — без остаточного статизма; *б* — с остаточным статизмом; *1* — центробежный маятник (чувствит. элемент регулятора); *2* — золотниковый рычаг; *3* — золотник; *4* — сервомотор; *5* — пружина и *6* — демпфер изодромной обратной связи; *7* — рычаги жесткой обратной связи; *8* — ползушка для изменения коэфф. остаточного статизма.

ведет себя как статический, обеспечивающий достаточное затухание колебаний. Когда процесс регулирования приблизится к установившемуся состоянию и скорость процесса уменьшится, поршень демпфера переместится и постепенно ликвидирует статич. отклонение. Введение изодромной обратной связи обычно повышает устойчивость регулирования. Напр., при безынерционном центробежном регуляторе изодром обеспечивает устойчивое регулирование машины без самовыравнивания при любых параметрах элементов, тогда как астатич. регулирование этого объекта неустойчиво. Наличие инерционности в регуляторе ограничивает область устойчивости, но она остается более широкой, чем при отсутствии изодрома.

Применение Р. и. для регулирования скорости параллельно работающих турбо- и гидрогенераторов привело к необходимости для обеспечения правильного распределения нагрузок между агрегатами превращать Р. и. в *регулятор статический*. Устройство для изменения коэфф. статизма регулятора с изодромной обратной связью (рис. 1, *б*) состоит из ряда рычагов с переменной длиной плеча, образующих жесткую обратную связь, подключенную параллельно гибкой обратной связи. Передаточная ф-ция обратной связи в этом случае $\frac{\beta T_i s+1}{T_i s+1}$. Величина i наз. коэфф. остаточной неравномерности (остаточного статизма). Изменение i осуществляется перемещением ползушки, изменяющей длину плеча одного из рычагов. Электрическим аналогом схемы гибкой обратной связи с остаточным статизмом является цепочка R_2 C с сопротивлением R_1, шунтирующим емкость (рис. 2). Для этой схемы

Рис. 2. Схема электрич. гибкой обратной связи.

$$T_i=\frac{R_1R_2C}{R_1+R_2},\quad \beta=1,\quad i=\frac{R_2}{R_1+R_2}.$$

Регуляторы с описанными устройствами являются статич. регуляторами с комбинированной жестко-гибкой обратной связью, но по тратизмом.

А. А. Воронов.

РЕГУЛЯТОР ИМПУЛЬСНЫЙ (pulse controller; régulateur à impulsions; Impulsregeleinrichtung) — автоматич. регулятор дискретного действия, цепь регулирования к-рого подвергается периодич. размыканию. Это позволяет во многих случаях упростить структуру системы регулирования (особенно при регулировании неск. величин) и улучшить качество процесса регулирования. Коэфф. усиления по мощности измерит. элемента Р. и. обычно высок, что дает возможность уменьшить число усилит. каскадов в регуляторе. Р. и. с успехом применяют при регулировании медленно протекающих процессов в инерционных объектах, а также в импульсных системах управления (радиолокационные, телемеханич. и т. п.). Р. и.— разновидность *регулятора прерывистого действия*.

Импульсный элемент (ИЭ) Р. и. осуществляет квантование по времени, т. е. преобразование непрерывно изменяющейся регулируемой величины в последовательность импульсов, определенным образом распределенных во времени (чаще всего — равноотстоящих одна от другого). Преобразование текущего значения отклонения регулируемой величины от заданного значения в тот или иной параметр импульса — высоту (или амплитуду) h, период повторения T (или частоту повторения $\omega_0=2\pi/T$), длительность γT, скважность γ (рис. 1, *а*) — наз. модуляцией импульсов. В зависимости от вида модуляции ИЭ делятся на 3 типа. ИЭ 1-г о т и п а осуществляет амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ), т. е. изменение высот импульса в функции отклонения. Если высоты импульсов изменяются за время γT, имеем АИМ 1-го рода (рис. 1, *б*), если они остаются постоянными, пропорциональными значениям отклонения в начале импульса, имеем АИМ 2-го рода (рис. 1, *в*). Системы с АИМ в пром. регулировании применяются редко,— как правило, в маломощных импульсных приборных следящих системах. В пром. Р. и. обычно применяются ИЭ 2-г о т и п а с широтно-импульсной модуляцией, т. е. с изменением длительности импульса γT в ф-ции отклонения (рис. 1, *г*). Такие ИЭ позволяют более полно использовать мощность исполнит. двигателей, включая их на макс. пост. скорость. Пример ИЭ 2-го типа — измерит. устройство регулятора напряжения СН-91 (рис. 2). Моментный двигатель *1* поворачивает на угол, пропорцион. отклонению регулируемой величины, контактную систему *2*. Контакты *4* при этом начинают периодически замыкаться с зубцами звездочки, вращающейся с пост. скоростью, посылая в выходную цепь импульсы напряжения,

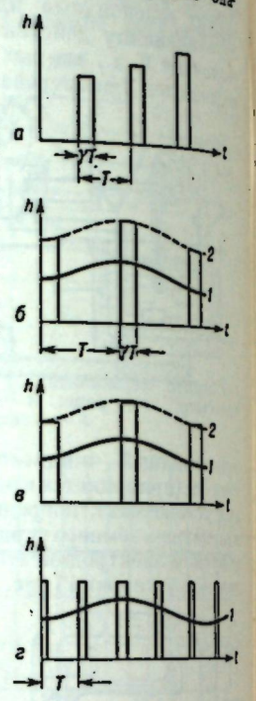


Рис. 1. Параметры импульсов и способы их модуляции: *а* — параметры импульсов; *б*—амплитудно-импульсная модуляция 1-го рода; *в* — амплитудно-импульсная модуляция 2-го рода; *г* — широтно-импульсная модуляция; 1 — изменение регулируемой величины $x(t)$; 2 — огибающая импульсов $h=k_и x$; $k_и$ — коэфф. импульса.

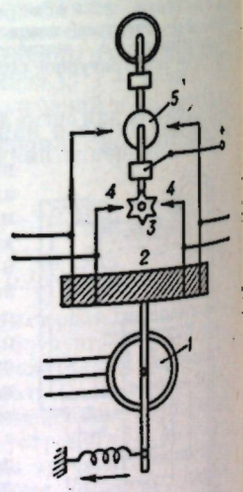


Рис. 2. Импульсный элемент регулятора СН-91 со звездочкой; *1* — моментный двигатель; *2* — колодка; *3* — вращающаяся звездочка; *4* — контакты; *5* — контактный диск.

длительность к-рых пропорциональна углу отклонения контактной системы *2* от вертикали. При больших углах отклонения вторая пара контактов замыкается с диском *5*, образуя непрерывный контакт. ИЭ 3-г о т и п а с время-импульсной модуляцией, т. е. с изменением фазы (фазовая импульсная модуляция) или частоты (частотная импульсная модуляция) в пром. регуляторах применяется редко. Примером может служить система регулирования активной мощности трехфазного генератора, в к-рой создаются импульсы пост. длительности и перем. частоты повторения. Для электрич. регуляторов этот принцип имеет то преимущество, что он позволяет исключить влияние на процесс регулирования параметров линий связи, а также кратковрем. толчков мощности.

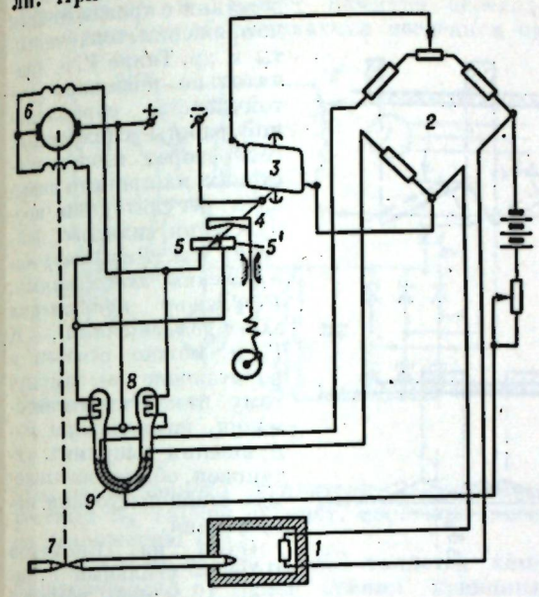


Рис. 3. Схема импульсного регулирования темп-ры печи с термич. замедленной обратной связью; *1* — термометр сопротивления; *2* —измерит. мост; *3* — рамка гальванометра; *4* — падающая дужка; *5* — контакты импульсного элемента; *6* — исполнит. двигатель; *7* — клапан, регулирующий подачу топлива в печь; *8* — подогревное сопротивление замедленной обратной связи; *9* — трубка с сопротивлением, погруженным в ртуть.

В качестве корректирующих элементов Р. и. могут применяться гибкие обратные связи, передающие воздействие с вала исполнительного двигателя на измерительный элемент Р. и. Более удобными по простоте исполнения и равноценными по динамич. св-вам оказываются т. н. замедленные обратные связи. Пример схемы импульсного регулирования темп-ры печи с термич. замедленной обратной связью показан на рис. 3. При включении одного из контактов *5* ИЭ одновременно включаются исполнительный двигатель *6* и одно из подогревных сопротивлений *8* трубки со ртутью *9*, наполненной газом. Нагрев газа в одном из плеч вызывает замедленное изменение уровня ртути и изменение величины погруженного в ртуть сопротивления, к-рое включено в одно из плеч измерит. моста *2*. По окончании процесса регулирования восстанавливаются равенства темп-р в коленах трубки *8*, восстанавливается и равновесие моста.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958.

А. А. Воронов.

РЕГУЛЯТОР МНОГОИМПУЛЬСНЫЙ (multi-pulse controller; régulateur à impulsions multiples; Mehrfachimpulsregeleinrichtung)—то же, что *регулятор с несколькими воздействиями* на входе. Название «Р. м.» распространено в котельной и станционной автоматике, но не рекомендуется, т. к. воздействия в этих регуляторах не носят характера импульсов.

РЕГУЛЯТОР МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ (multi-position controller; régulateur à paliers multiples; Mehrpunktregeleinrichtung) — регулятор релейного действия, регулирующий орган к-рого может иметь неск. положений. Р. м. обладает ступенчатой хар-кой. По числу ступеней различают (рис. 1): *регуляторы двухпозиционные а*, трехпозиционные *б*, пятипозиционные *в*, *n*-позиционные *г*, где n — любое число. При $n\to\infty$ получаем статич. (пропорциональный) регулятор *д*. Хар-ки ряда *I* (рис. 1) соответствуют регулятору с полным выключением притока (на нижней ступени $Q_{пр}=0$), а хар-ки ряда *II* — регулятору с неполным выключением притока (на нижней ступени $Q_{пр}>0$). Чаще применяются, как наиболее простые, двухпозиционные регуляторы, реже — трехпозиционные; регуляторы с бо́льшим числом ступеней почти не применяются, т. к. конструктивно они слишком сложны и менее выгодны, чем др. типы регуляторов. Однако процесс регулирования Р. м. протекает благоприятнее, чем двухпозиционным, так что при разработке удачных конструкций они могут найти достаточно широкое применение.

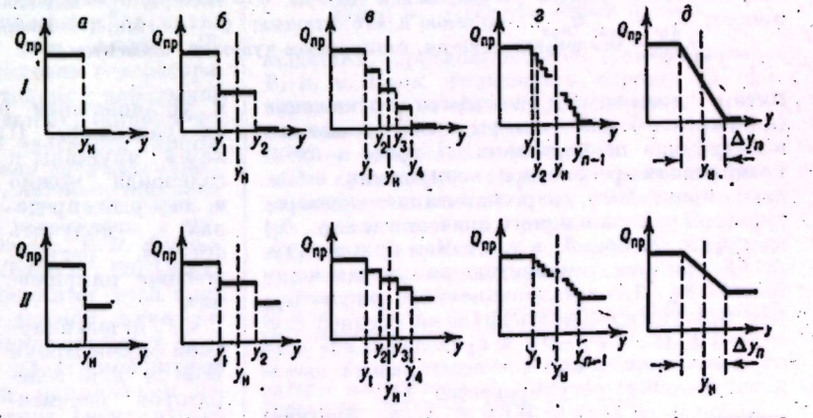


Рис. 4. Хар-ки многопозиционного регулятора: $Q_{пр}$ — приток (количество вещества или энергии, подаваемое в единицу времени в объект регулирования); y — регулируемая величина; $y_н$ — ее номинальное (заданное) значение.

Напр., процесс многопозиционного регулирования темп-ры при чистом запаздывании характеризуется теоретич. графиками (рис. 2), где *а* — двухпозиционное, *б* — трехпозиционное, *в* — пятипозиционное регулирование. Графики показывают, что приток

во всех случаях меняется по ступенчатому графику, а регулируемая темп-ра — по пилообразному. В двухпозиционном регуляторе возмущения вызывают искажение формы колебаний темп-ры и нек-рое смещение графика по вертикали. В трех- и пятипозиционном регуляторе возмущения вызывают, кроме того, «перескакивание» температурного графика с одного значения (напр., ϑ_1) на другое (напр., ϑ_2 и т. д.). Чем больше ступеней притока, тем меньше амплитуда колебаний $\Delta\vartheta_m$. Для трехпозиционного регулятора рекомендуется выбирать диапазон средней ступени $\Delta\vartheta_c$ (т. е. $\vartheta_2-\vartheta_1$) в пределах 0,25—0,75 от амплитуды $\Delta\vartheta_m$, соответствующей двухпозиционному регулированию [1].

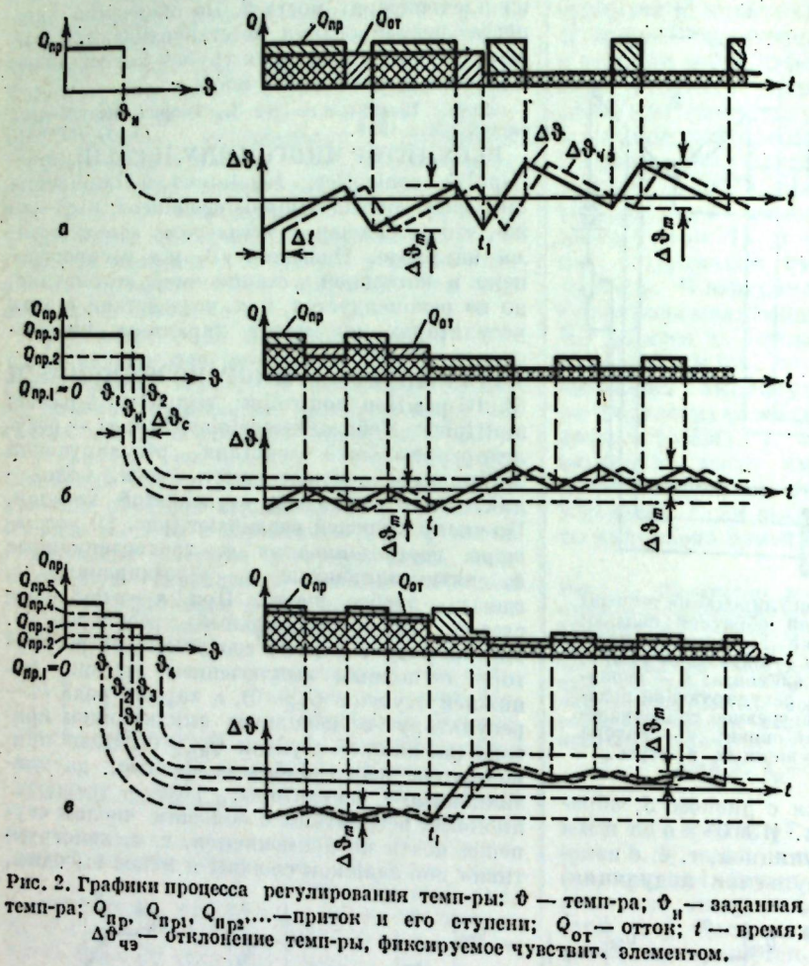


Рис. 2. Графики процесса регулирования темп-ры: ϑ — темп-ра; $\vartheta_н$ — заданная темп-ра; $Q_{пр}$, $Q_{пр1}$, $Q_{пр2}$,...—приток и его ступени; $Q_{от}$ — отток; t — время; $\Delta\vartheta_{чэ}$ — отклонение темп-ры, фиксируемое чувствит. элементом.

Лит.: 1) Кампе-Немм А. А., Динамика трехпозиционного регулирования температуры, «Теплоэнергетика», 1955, № 6; 2) его же, Схемы трехпозиционного регулирования температуры в установках с электрическим обогревом, «ВЭ», 1956, № 5; 3) Миронов К. А., Шипетин Л. И., Теплотехнические измерительные приборы, 2 изд., М., 1958; 4) их же, Автоматические регуляторы, М., 1961.

А. А. Кампе-Немм.

РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ [voltage regulator; régulateur de tension (électrique); Spannungsregeleinrichtung, Netzregler] — применяется в основном для регулирования напряжения электрич. машин (генераторов пост. и перем. тока), обычно для поддержания напряжения на заданном уровне с требуемой точностью. Нек-рые Р. н. на электрич. станциях, работающих через дальние линии передач, наряду с поддержанием заданного уровня напряжения в статич. режимах, воздействуют на систему возбуждения синхронных генераторов по определ. закону в соответствии с производными напряжения, тока, частоты и др. Такие Р. н. значительно повышают устойчивость параллельной работы синхронных генераторов в энергосистемах; их принято называть регуляторами возбуждения сильного действия (см. *Регулятор напряжения электронный*, *Регулятор напряжения электромагнитный*). К Р. н. можно отнести и работающие по замкнутому циклу схемы автоматич. поддержания напряжения выпрямит. установок, обычно называемые стабилизаторами напряжения.

Один из примеров Р. н. — угольный Р. н. (рис. 1). В цепь обмотки возбуждения *ОВ* генератора *Г* включен столбик *У*, набранный из угольных пластин. При работе Р. н. происходит сравнение усилий соленоида *L* и пружины *П*, разность этих усилий создает давление на угольный столбик *У*, сопротивление к-рого уменьшается с увеличением давления. Требуемый уровень напряжения настраивается затяжкой пружины и установочным реостатом *R* в цепи обмотки соленоида. При определ. согласовании хар-к пружины и соленоида можно в нек-рых пределах получить астатич. регулирование напряжения.

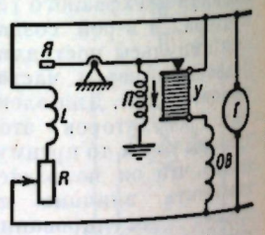


Рис. 1.

В Р. н. швейцарской фирмы Броун Бовери для генераторов переменного тока различной мощности исполнит. органом служит реостат, управляемый поворотной индукц. системой. В Р. н. с электронным и электромашинным усилителями (рис. 2) электронная часть схемы питается от выпрямителя. Напряжение на стабилитроне C_m служит задающим сигналом, с к-рым сравнивается определенная часть выпрямленного напряжения синхронного генератора *Г*. Движком реостата R_1 устанавливается желаемое значение регулируемого напряжения. Цепь возбуждения генератора питается от электромашинного усилителя *ЭМУ*, обмотка управления к-рого включена в анодную цепь электронной лампы *Л*. На управляющую сетку лампы поступает разность между заданным и регулируемым напряжениями. Коэфф. усиления Р. н. этого типа довольно большой, и напряжение генератора поддерживается с высокой точностью. Устойчивость и хорошее качество переходных процессов обеспечиваются введением на

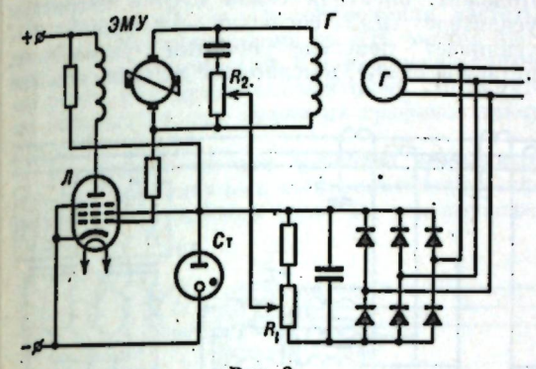


Рис. 2.

вход электронного усилителя с помощью реостата R_2 гибкой отрицат. обратной связи по напряжению *ЭМУ*.

Р. н. СН-91 завода ХЭМЗ является комбинированным с точки зрения принципа действия. При малых отклонениях регулируемой величины он работает как импульсный, при больших — как релейный. Измерит. устройство — заторможенный электродвигатель, вращающий момент к-рого уравновешивается пружиной. Ротор этого двигателя механически связан с импульсным контактным элементом. При повороте ротора изменяются ширина и полярность посылаемых импульсов. Исполнит. элемент — серводвигатель, передвигающий ползунок реостата в цепи обмотки возбуждения генератора. При больших отклонениях напряжения срабатывает реле форсировки, к-рое, в зависимости от знака отклонения, закорачивает или вводит сопротивление в цепи возбуждения генератора. Для генераторов сравнительно небольшой мощности, напр. автомобильных, широко используются релейные и, в частности, вибрационные Р. н. (см. *Регулятор вибрационный*).

Лит.: Соловьев И. И., Автоматизация энергетических систем, 2 изд., М.— Л., 1956; Гольдреер И. Г., Стабилизаторы напряжения, 2 изд., М.—Л., 1957.

В. В. Семенов, Е. Н. Фомина.

РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ПОДМАГНИЧИВАЕМЫЙ (voltage regulator with magnetization; régulateur de tension avec déplacement magnetique; Spannungsregler mit Magnetisierung) — статич. электромагнитный аппарат, в к-ром величина напряжения переменного тока на его выходе регулируется автоматич. или ручным изменением степени подмагничивания его сердечников. Р. н. п. разделяются на дроссели насыщения (см. *Магнитный усилитель*) и подмагничиваемые тр-ры или автотр-ры. Последние осуществляют также и трансформацию напряжения [1, 2]. Р. н. п. применяются как регуляторы напряжения, а также как исполнит. органы различных автоматич. стабилизаторов напряжения или тока. Известны однофазные и трехфазные конструкции автоматич. Р. н. п. мощностью от 0,1 до 750 *ква*. Магнитопровод Р. н. п. (см. рис.) состоит из гл. сердечника *Г*, несущего вторичную обмотку w_2, и двух добавочных (магнитных шунтов) *Ш* с обмотками подмагничивания $w_у$ и $w_{ос}$. Все три сердечника охвачены первичной обмоткой w_1. Выходное напряжение регулируется изменением соотношения между потоками в гл. сердечнике и шунтах путем увеличения и уменьшения тока подмагничивания. В нек-рых Р. н. п. применяется дополнит. подмагничивание гл. сердечника. Вес подмагничиваемого тр-ра с регулированием выходного напряжения от нуля до номин. значения примерно в 2 раза больше, чем обычного тр-ра соответствующей мощности. Кпд Р. н. п. мощностью от 1 до 100 *ква* 0,85—0,95. Коэфф. мощности Р. н. п. при макс. подмагничивании и номин. активной нагрузке немного меньше, чем у обычных тр-ров. Форма кривой выходного напряжения большинства Р. н. п., характер переходных процессов в них и коэфф. усиления такие же, как в дросселях насыщения [5].

На рис. приведена одна из типичных схем стабилизатора напряжения сети, в к-рой

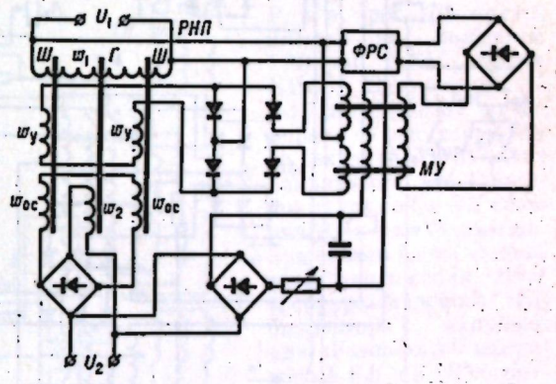


Схема стабилизатора напряжения: *Г* — главный сердечник подмагничиваемого регулятора; *Ш* — его шунтирующие сердечники; w_1, w_2 — первичная и вторичная обмотки; $w_у$ — управляющая обмотка; $w_{ос}$ — обмотка обратной связи.

исполнит. органом является трансформатор—Р. н. п. Блок управления состоит из магнитного усилителя *МУ*, измерит. органа системы и феррорезонансного стабилизатора *ФРС* — источника эталонного напряжения. *МУ* сравнивает выходное напряжение с эталонным и изменяет ток в обмотке $w_у$ так, что уменьшается их разность. В результате выходное напряжение U_2 стабилизатора поддерживается практически неизменным.

Лит.: 1) Бамдас А. М., Сомов В. А., Шмидт А. О., Трансформаторы и стабилизаторы, регулируемые подмагничиванием шунтов, М.— Л., 1959; 2) Бамдас А. М., Шапиро С. В. и Гетманенко О. Д., в кн.: Подмагничиваемые регуляторы напряжения и тока, Горький, 1962 (Тр. Горьковск. политехн. ин-та, т. 18, вып. 1); 3) Петров Г. Н., Окунь С. С., Крайз Б. Л., Плавное бесконтактное регулирование напряжения трансформатора под нагрузкой, «ВС», 1958, № 3; 4) Комар В. Г., Мохов П. П., Сажин Л. И., Однофазный стабилизатор напряжения переменного тока высокой точности, в кн.: Тр. Всес. н.-и. кинофотоинститута, М., 1957, вып. 8 (18); 5) Бамдас А. М. [и др.], Новые электромагнитные исполнительные органы для систем автоматического регулирования, «АиТ», 1960, т. 21, № 6.

А. М. Бамдас, С. В. Шапиро.

РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ [electromagnetic voltage regulator; régulateur électromagnétique de tension (électrique); elektromagnetische Spannungsregeleinrichtung, Netzregler] — выполняется на электромагнитных элементах (электромагниты, магнитные усилители, дроссели и т. п.). По этому признаку к Р. н. э. можно

отнести угольный, реостатный и др. *регуляторы напряжения*. Однако под Р. н. э. понимают обычно системы *компаундирования* с электромагнитными корректорами напряжения и т. н. автоматич. регуляторы возбуждения «сильного» действия на магнитных усилителях. Системы компаундирования с электромагнитными корректорами напряжения (рис. 1) применяются для регулирования напряжения синхронных генераторов *СГ* мощностью до 100 *Мвт*. Номин. напряжение на выводах *СГ* при хх устанавливается реостатом в цепи обмотки самовозбуждения возбудителя *В*. Система компаундирования (СК), состоящая из тр-ров тока *ТТ*, промежуточного тр-ра тока *ПТТ* и выпрямителя *ВК*, создает дополнит. ток возбуждения возбудителя, пропорцион. току статора *СГ*. Выбором коэфф. трансформации *ПТТ* и изменением величины установочного сопротивления $R_У$ система компаундирования настраивается т. о., чтобы в номин. режиме работы *СГ* напряжение на его выводах имело номин. величину. Однако СК не может поддерживать пост. значение напряжения *СГ* при изменении тока статора и cos φ. Поэтому она дополняется двухсистемным электромагнитным корректором напряжения (КН).

Двухсистемный КН состоит из двух КН, имеющих общий выявит. орган из линейного *ЛЭ* и нелинейного *НЛЭ* элементов. Усилит. элемент каждого из КН состоит из 3 магнитных усилителей, соединенных по трехфазной схеме и включенных через выпрямители на дополнит. обмотки возбуждения возбудителя. Ток $i_с$ согласно включенного КН намагничивает, а ток $i_п$ противовключенного КН размагничивает возбудитель *В*. Положит. обратная связь (ОС) в магнитном усилителе *МУС* согласно включенного КН усиливает действие обмотки управления, питаемой от *ЛЭ*, и ослабляет действие обмотки управления, питаемой от *НЛЭ*; в магнитном усилителе *МУП* противовключенного КН — наоборот.

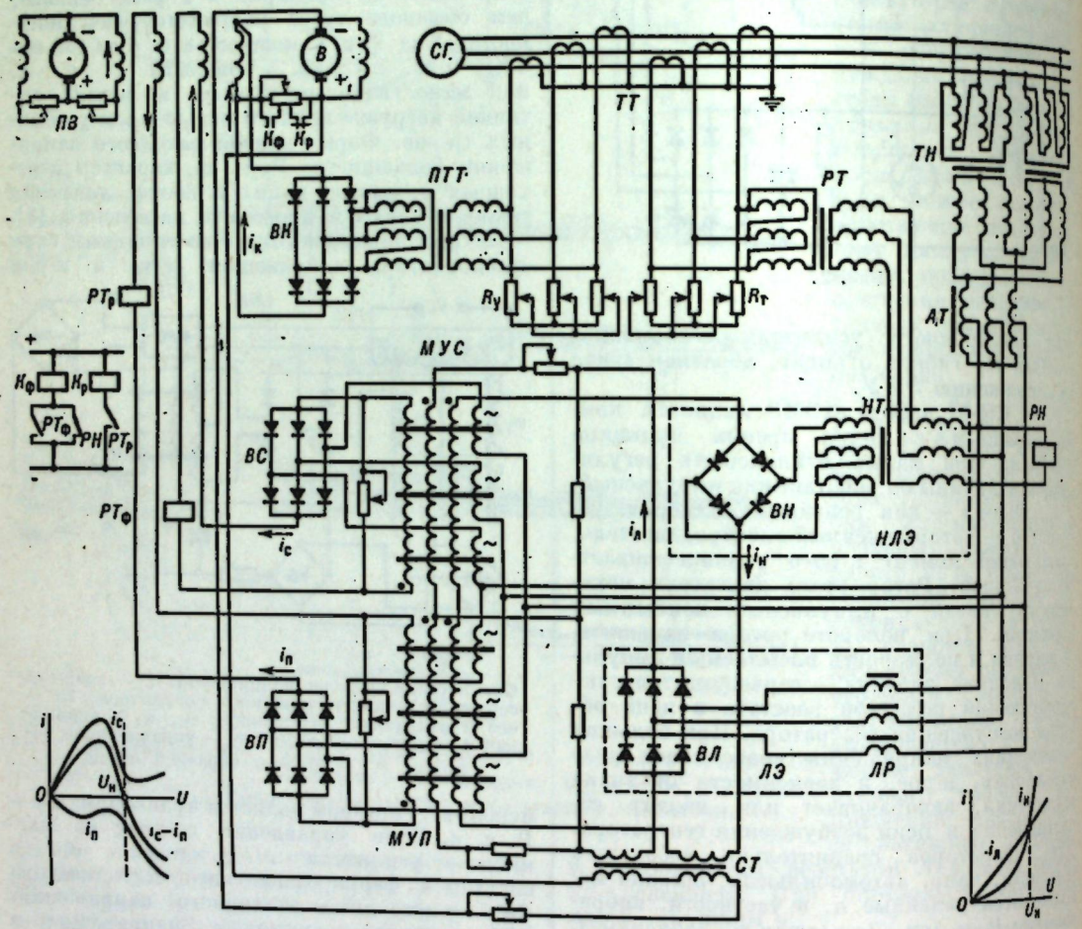


Рис. 1. Система компаундирования с двухсистемным электромагнитным корректором напряжения.

ЛЭ выявит. органа состоит из трехфазного ненасыщенного реактора *ЛР* и выпрямителя *ВЛ*; *НЛЭ* — из сильно насыщенного тр-ра *НТ* и выпрямителя *ВН*. Соединение вторичной обмотки *НТ* в открытый треугольник дает возможность использовать ярко выраженную третью гармоническую ее напряжения и увеличить крутизну хар-ки *НЛЭ* $i_н = f(U)$. Статизм хар-ки регулирования напряжения изменяют сопротивлением $R_Т$, включенным параллельно первичной обмотке разделит. тр-ра *РТ*, посредством к-рого в первичную обмотку *НТ* вводится составляющая, пропорцион. току *СГ*. Устойчивость регулирования повышается гибкой отрицат. ОС с якоря возбудителя, вводимой посредством стабилизирующего тр-ра *СТ*. Для форсирования возбуждения и развозбуждения *СГ* в аварийных режимах служат контакторы $К_ф$ и $К_р$, реле тока $РТ_ф$ и $РТ_р$ и реле напряжения *РН*. Магнитные усилители питают

с выводов *СГ* через тр-ры напряжения *ТН* и автотр-р *АТ*. Постоянная времени обмотки управления составляет ≈0,25 сек. Напряжение *СГ* в статич. режимах поддерживается с точностью ±1%. Частотная зависимость КН составляет 1% изменения напряжения *СГ* на 1% отклонения частоты от 50 *гц*. Отключив один из КН, можно превратить двухсистемный КН в односистемный согласно- или противовключенный. Недостатки каждого из них видны из графиков токов $i_с$ и $i_п$ на рис. 1.

Совершеннее система фазового компаундирования, управляемого электромагнитным корректором напряжения (рис. 2), реагирующая не только на величину, но и на фазу тока *СГ*. Тр-р фазового компаундирования с подмагничиванием *ТФКП* имеет 2 первичные обмотки, одна из к-рых питается от тр-ров тока *ТТ*, другая — от тр-ра напряжения *ТН* через повышающий автотр-р *АТ* и дроссель *Д*, служащий балластным сопротивлением. Обмотки *ТФКП* включены так, что их мдс F_U и F_I находятся в фазе ($F_U + F_I$) при индуктивной, в противофазе ($F_U - F_I$) при емкостной и в квадратуре $\left(\sqrt{F_U^2 + F_I^2}\right)$ при активной нагрузках *СГ*. Конденсатор *С* служит для более точной настройки сдвига фаз токов. Соответствующей настройкой системы фазового компаундирования ($F_U = U$, $F_I = Ix_д$) достигается довольно точное поддержание постоянства напряжения *СГ*, независимо от величины cos φ, что значительно облегчает работу КН.

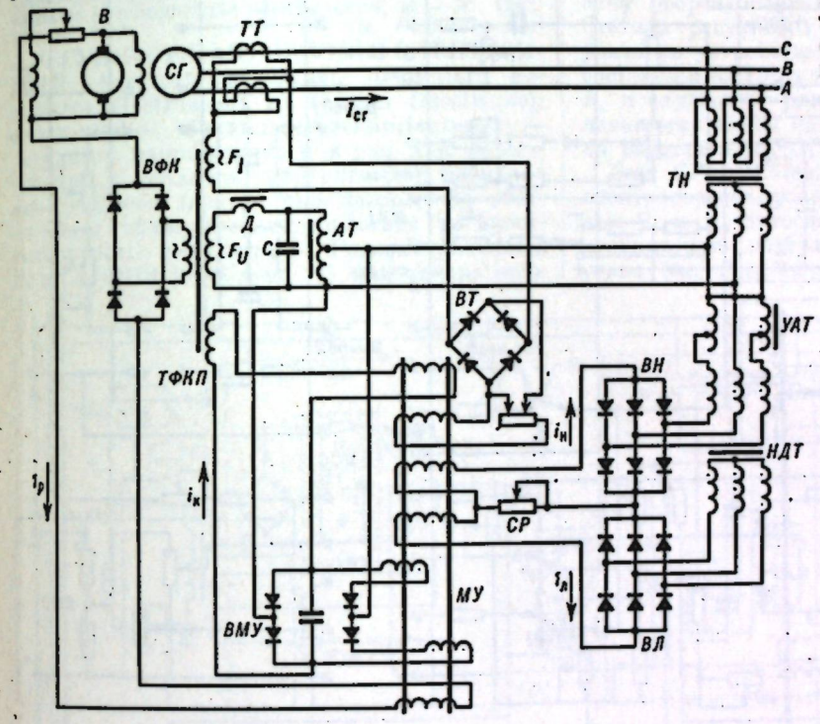


Рис. 2. Система фазового компаундирования, управляемого электромагнитным корректором напряжения.

Выявит. орган КН состоит из линейного и нелинейного элементов, магнитного усилителя *МУ* и выпрямителя *ВМУ*. Выпрямители *ВЛ* и *ВН* линейного и нелинейного элементов питаются от обмоток общего насыщенного дросселя-трансформатора *НДТ*. *МУ* собран по схеме противовключения: с возрастанием напряжения *СГ* сверх заданного значения ток $i_к$ выхода корректора, являющийся током подмагничивания *ТФКП*, резко возрастает, при снижении напряжения — резко уменьшается. Увеличение подмагничивания *ТФКП* приводит к уменьшению тока $i_р$ регулятора и, следовательно, напряжения *СГ*; уменьшение подмагничивания — к увеличению $i_р$. *МУ* имеет внешние обратные связи по токам $i_к$ (для изменения крутизны хар-ки корректора), $i_р$ (для повышения точности коррекции напряжения) и $I_{СГ}$ через выпрямитель *ВТ* (для изменения статизма регулятора). Уставка поддерживаемого напряжения задается установочным автотр-ром *УАТ*. Регулировочное сопротивление *СР* служит для смещения хар-ки магнитного усилителя.

К автоматич. регуляторам возбуждения «сильного» действия относится Р. н. э. (рис. 3), применяемый на Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС. Напряжение *U* регулируемого *СГ* от измерит. тр-ров поступает на входной тр-р блока напряжения *БН*. Выходное напряжение *БН* сравнивается с выходным напряжением блока эталонного напряжения *БЭН* (феррорезонансного стабилизатора напряжения). Разность ΔU напряжений *БН* и *БЭН* подается на обмотку управления суммирующего магнитного усилителя *МУ1*.

Блоки тока *БТ* и частоты *БЧ* повышают устойчивость паралл. работы *СГ* в энергосистеме (обеспечение возможности работы в зоне искусств. устойчивости, форсирование возбуждения в аварийных и эффективное демпфирование качаний в послеаварийных режимах). В связи с трудностью измерения угла θ между векторами эдс *СГ* и напряжения приемной системы, вместо регулирования возбуждения по θ′ и θ″ применяется регулирование по первой *I′* и второй *I″* производным тока линии передачи (суммарного тока параллельно работающих *СГ*) или по изменению Δf и первой производной f' частоты напряжения *СГ* [4], т. к. эти параметры с достаточной для регулирования точностью отражают изменение угла θ в переходных процессах.

БТ состоит из промежуточного тр-ра тока и выпрямителя, нагруженного на сопротивление. На вход *БТ* с измерит. тр-ров тока подается ток линии или суммарный (средний) ток параллельно работающих *СГ*. При паралл. работе неск. *СГ* сигнал, пропорцион. току линии, подается в Р. н. э. всех *СГ* с одного общего *БТ*. Этот сигнал вводится в закон регулирования линейно ($I_д$) и нелинейно ($I_{нел}$). Р. н. э. настраивается т. о., что при отключенном канале $I_д$ напряжение на шинах станции поддерживается со статизмом ≈4%. Коэфф. регулирования по $I_д$ выбирается так,

чтобы с изменением нагрузки *СГ* от нуля до номин. значения напряжение на шинах станции практически не изменялось. С помощью сигнала $I_{нел}$ обеспечивается нек-рый (обычно до 10%) подъем напряжения на шинах станции в режимах работы, близких к предельным по статич. устойчивости. В канале $I_{нел}$ напряжение, пропорцион. току, сравнивается с напряжением *БЭН*. Вентиль запирает канал $I_{нел}$, если ток линии меньше заданного значения.

БЧ состоит из измерит. и усилит. элементов. Измерит. элементом служат 2 резонансных контура L_1C_1 и L_2C_2, настроенных на различные частоты (напр., на 45 и 55 *гц*) и питаемых через промежуточный тр-р от измерит. тр-ров напряжения. Выходные выпрямленные токи контуров являются токами управления *МУ* с внутр. обратной связью и выходом на пост. токе. Магнитный усилитель имеет обмотку смещения *С* и обмотку отрицательной *ОС*, к-рая уменьшает результирующий коэфф. усиления *МУ* в 7—8 раз. Коэфф. регулирования *БЧ* —40—50 *в/гц*, рабочий (линейный) участок хар-ки 47—52 *гц*. Выходное напряжение *БЧ* практически не зависит от изменений входного напряжения в пределах ± 15%.

Необходимые для повышения устойчивости паралл. работы *СГ* производные режимных параметров получаются с помощью пассивных дифференцирующих цепей *RC*, включаемых на соответствующие обмотки управления суммирующего *МУ1*. Перем. сопротивления обеспечивают равномерное изменение коэфф. регулирования. Переключателем *П* на обмотки управления *МУ1* подаются либо I' и I'', либо Δf и f'. В цепи канала Δf включен конденсатор 30 *мкф*, запирающий пост. составляющую выходного напряжения *БЧ*, к-рая появляется в случае работы *СГ* при частоте, отличной от 50 *гц*. С выхода блока обратной связи *БОС* на вход *МУ1* подаются гибкая *ГОС* и жесткая *ЖОС* обратные связи по напряжению $u_р$ на контактных кольцах ротора *СГ*. Усилит. элементом служит двухкаскадный суммирующий *МУ* (*МУ1* и *МУ2*) с местной отрицат. обратной связью *МОС* с выхода 2-го каскада на вход 1-го, уменьшающей результирующий коэфф. усиления в 3 раза. Питание — от статич. преобразователя частоты 500 *гц*.

Форсирование возбуждения *СГ* в аварийных режимах работы энергосистемы обеспечивается регулированием по производным режимных параметров. Однако в момент отключения кз производные I' и I'' приобретают отрицат. знак и Р. н. э. может осуществлять кратковрем. развозбуждение *СГ*. Это предотвращается поляризованным реле форсирования возбуждения $P_ф$, напряжение срабатывания к-рого может устанавливаться в пределах 0,8—0,95 номин. напряжения. При срабатывании $P_ф$ на обмотки управления *МУ1* подается сигнал такой величины, что возбуждение форсируется независимо от др. сигналов. Обмотка $P_ф$ шунтирована емкостью,

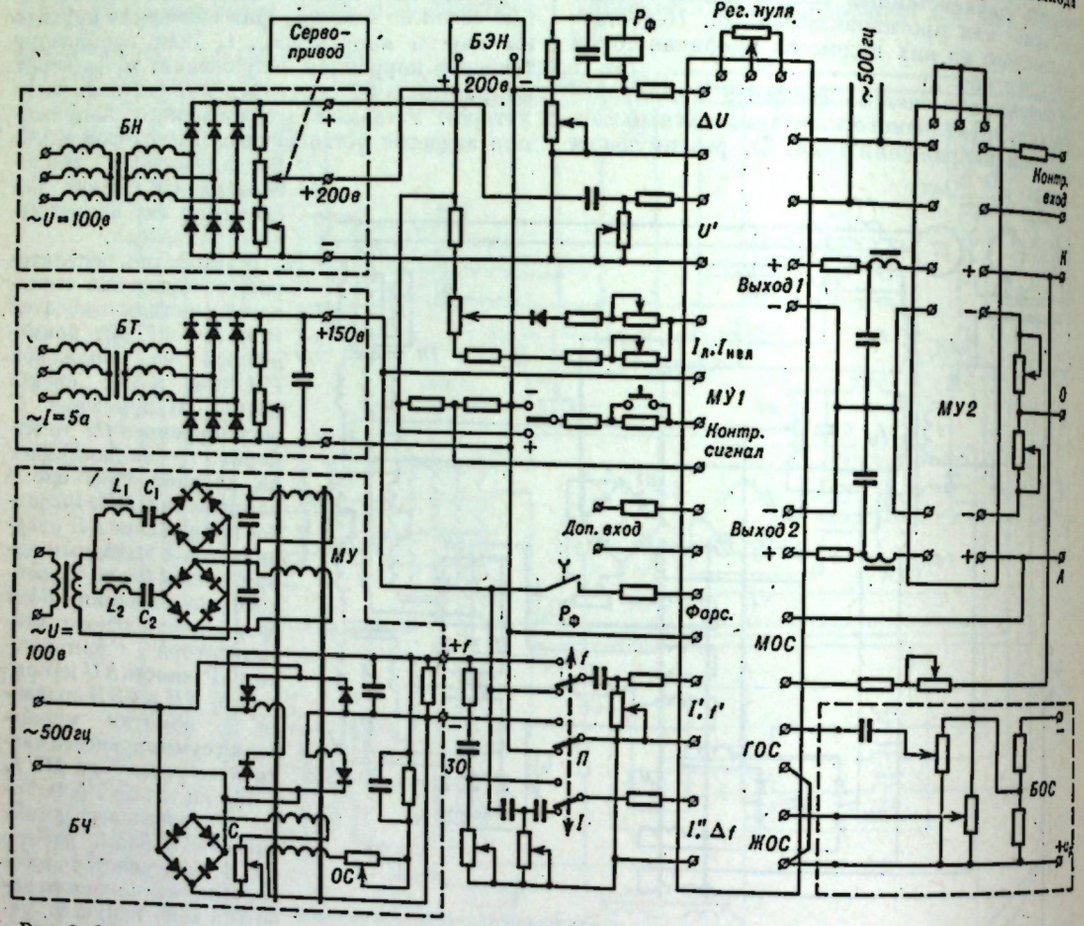


Рис. 3. Электромагнитный регулятор напряжения гидрогенераторов Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС.

поэтому отпускание его происходит через 0,06—0,08 сек. после отключения кз. Испытания такого Р. н. э. показали, что по хар-кам и пределам статич. и динамич. устойчивости электропередач он не уступает подобному регулятору на электронных лампах.

Лит.: 1) Иносов В. Л., Цукерник Л. В., Компаундирование и электромагнитный корректор напряжения синхронных генераторов, М.— Л., 1954; 2) Костюк О. М., Рыбинский В. Е., Цукерник Л. В., Новые автоматические электромагнитные регуляторы возбуждения синхронных машин, «ЭС», 1959, № 11; 3) Соловьев И. И., Автоматизация энергетических систем, 2 изд., М.— Л., 1956; 4) Костенко М. П. [и др.], Регулирование возбуждения и устойчивость при параллельной работе генераторов электростанций на две энергосистемы, «Э-во», 1959, № 12; 5) Веников В. А. [и др.], Сильное регулирование возбуждения, М.— Л., 1963.

В. Е. Каштелян.

РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫЙ [electronic voltage regulator; régulateur électronique de tension (électrique); elektronische Spannungsregeleinrichtung] — регулятор напряжения, в к-ром для формирования и усиления управляющих сигналов используются электронные лампы, что обеспечивает высокие быстродействие и чувствительность регулятора. Распространенный Р. н. э. РНЭ-300-6 (рис. 1) для генераторов переменного тока рассчитан на макс. напряжение и ток силового элемента 300 *в*, 6 *а*. Измерит. элемент *ИЭ* содержит мостовую схему *М*, в 3 плечах к-рой включены одинаковые проволочные сопротивления, а в 4-м — диод $Л_1$, работающий в режиме сильного насыщения, когда анодный ток практически не зависит от анодного напряжения. Это дает возможность питать мост *М* от выпрямл. напряжения синхронного генератора *СГ*, сглаженного фильтром *Ф*. Мост балансируется переменным сопротивлением R_6. Отклонение напряжения *СГ* от заданного значения приводит к изменению темп-ры катода и, следовательно, внутр. сопротивления $Л_1$, нарушению баланса моста и появлению на выходе *ИЭ* сигнала того или др. знака. Выходной сигнал *ИЭ* поступает на сетку лампы $Л_2$ усилит. элемента *УЭ*, к-рый одновременно является фазовым мостом *ФМ*. Изменение напряжения на сетке лампы $Л_2$ приводит к изменению ее внутр. сопротивления и к сдвигу фазы напряжения, приложенного к обмотке сеточного тр-ра $Т_3$ в цепи управления тиратронов $Л_3$ и $Л_4$ силового элемента *СЭ*. Сдвиг фазы сеточного напряжения тиратронов вызывает изменение ср. значения их анодного тока, являющегося частью тока возбуждения возбудителя *В*. В связи с использованием в *СЭ* тиратронов, такой Р. н. э. часто наз. электронно-ионным. Устройство гибкой обратной связи *ГОС*, состоящее из сопротивлений R_5, R_6 и емкости C_3, повышает устойчивость и качество регулирования. Реле миним. напряжения *РНМ* и контактор $К_ф$ предохраняют *СГ* от потери возбуждения при неисправности регулятора и обеспечивают форсирование возбуждения при кз. Статизм регулятора ≈1%. Он может быть увеличен устройством токовой стабилизации, состоящим из тр-ра тока *ТТ*, сопротивления $R_с$ и служащим для устойчивого распределения реактивной нагрузки между параллельно работающими *СГ*.

Для *СГ*, работающих на дальние линии электропередач, разработаны более совершенные Р. н. э., относящиеся к т. н. автоматич. регуляторам возбуждения «сильного» действия (см. *Регулятор напряжения*). В схеме Р. н. э. гидрогенераторов Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (рис. 2) заданный уровень напряжения на шинах ГЭС поддерживается регулированием возбуждения *СГ* по отклонению ΔU напряжения на его выводах и компаундированием по току *I* линии электропередачи (или по суммарному току параллельно работающих *СГ*), вводимому в закон регулирования линейно ($I_д$) и нелинейно ($I_{нел}$); кроме того, используется токовая компенсация. Для повышения устойчивости параллельной работы *СГ* применено регулирование по производным I' и I'' тока линии, к-рое обеспечивает форсирование возбуждения *СГ* в аварийных режимах, демпфирование качаний и возможность работы в зоне искусств. устойчивости. При телепередаче фазы возможно (посредством входа θ и переключателя *П*) регулирование возбуждения по углу θ между векторами эдс *СГ* и напряжения приемной системы и его производными θ' и θ''. Введение в закон регулирования первой производной

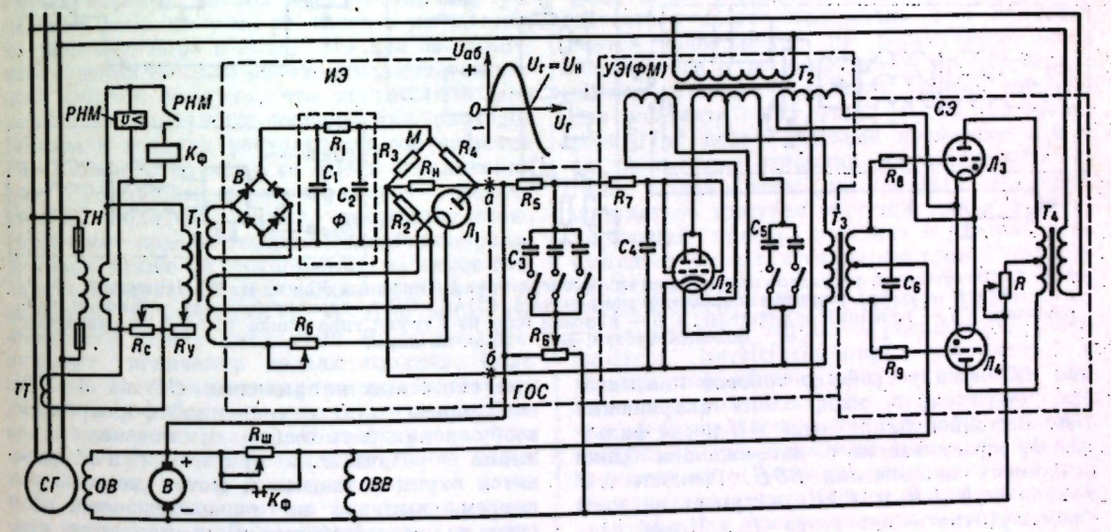


Рис. 1. Электронный регулятор напряжения РНЭ-300-6.

U' напряжения $СГ$ увеличивает перекрытие областей устойчивого регулирования для различных схем электропередачи и, т. о., дает возможность выбора более универсальной настройки Р. н. э. Для линеаризации хар-к Р. н. э. и изменения его общего коэфф. усиления служит жесткая отрицат. обратная связь $ЖОС$ по напряжению $u_р$ на контактных кольцах ротора $СГ$. Возможно также введение гибкой обратной связи $ГОС$ по этому напряжению. $ЖОС$ и $ГОС$ подаются с раздел. устройства $РУ$, исключающего гальванич. связь между цепями возбуждения параллельно работающих $СГ$.

Напряжение U с измерит. тр-ров напряжения $СГ$ через устройство токовой компенсации подается на вход блока напряжения $БН$. Выходное напряжение $БН$ после фильтра $Ф_1$ сравнивается с напряжением блока эталонного напряжения $БЭН$. Разность ΔU напряжений $БН$ и $БЭН$ поступает на вход промежуточного инвертора $И_1$. Коэфф. регулирования по ΔU сравнительно невелик ($k_{\Delta U} = 25 - 50 \frac{\text{ед. возб.}}{\text{ед. напр.}}$), что способствует демпфированию качаний с помощью регулирования по I' и I''. Устройство токовой компенсации настраивается т. о., что при отключенном канале $I_л$ напряжение на шинах станции поддерживается со статизмом $\approx 4\%$, необходимым для устойчивого распределения реактивной мощности между параллельно работающими $СГ$.

Ток линии (или суммарный ток параллельно работающих $СГ$) с измерит. тр-ров тока подается на вход блока тока $БТ$. Выпрямленное напряжение по каналам $I_л$ и $I_{нел}$ поступает на инвертор $И_1$, обеспечивающий суммирование, усиление и получение необходимого знака суммы сигналов ΔU, $I_л$ и $I_{нел}$. Коэфф. регулирования по каналу $I_л$ выбирается т. о., что хар-ка регулирования напряжения на шинах станции становится практически астатической. Сигнал $I_{нел}$ вводится лишь в режимах работы $СГ$, близких к предельным по статич. устойчивости (при токе I, соответствующем $\theta = 85-90°$), и обеспечивает повышение напряжения на шинах станции выше номинального прибл. на 10%. При параллельной работе $СГ$ сигнал I во все Р. н. э. подается с общего $БТ$. Производные U', I' и I'', получаемые с помощью пассивных дифференцирующих RC-цепей, суммируются и усиливаются усилителем перем. тока $УПТ$. Электронное реле форсирования возбуждения $РФ$ с большим коэфф. возврата и выдержкой $\approx 0{,}08$ сек. на отпускание, срабатывающее при снижении напряжения $СГ$ на 5—25%, необходимо для сохранения форсирования возбуждения в моменты отключения кз на линии передачи, т. к. при этом I' и I'' становятся отрицательными и могут давать кратковрем. импульс на развозбуждение. Все сигналы суммируются и усиливаются сумматором $С$. Инвертор $И_2$ обеспечивает двухтактный выход измерит. блока Р. н. э. В положении баланса выходные зажимы от $С$ и $И_2$ по отношению к нулевой шине имеют потенциал, равный нулю. Сумматор $С$ и инверторы $И_1$ и $И_2$ — одинаковые однокаскадные усилители пост. тока с отрицат. обратной связью (на двойном триоде 6Н9С, вторая половина к-рого служит катодным повторителем). Все электронные лампы в схеме Р. н. э. дублированы. Дополнит. входы служат для проверки работы Р. н. э. и введения дополнит. параметров регулирования. При форсировании возбуждения напряжение $u_р$ на контактных кольцах ротора $СГ$ достигает макс. значения через $\approx 0{,}05$ сек.

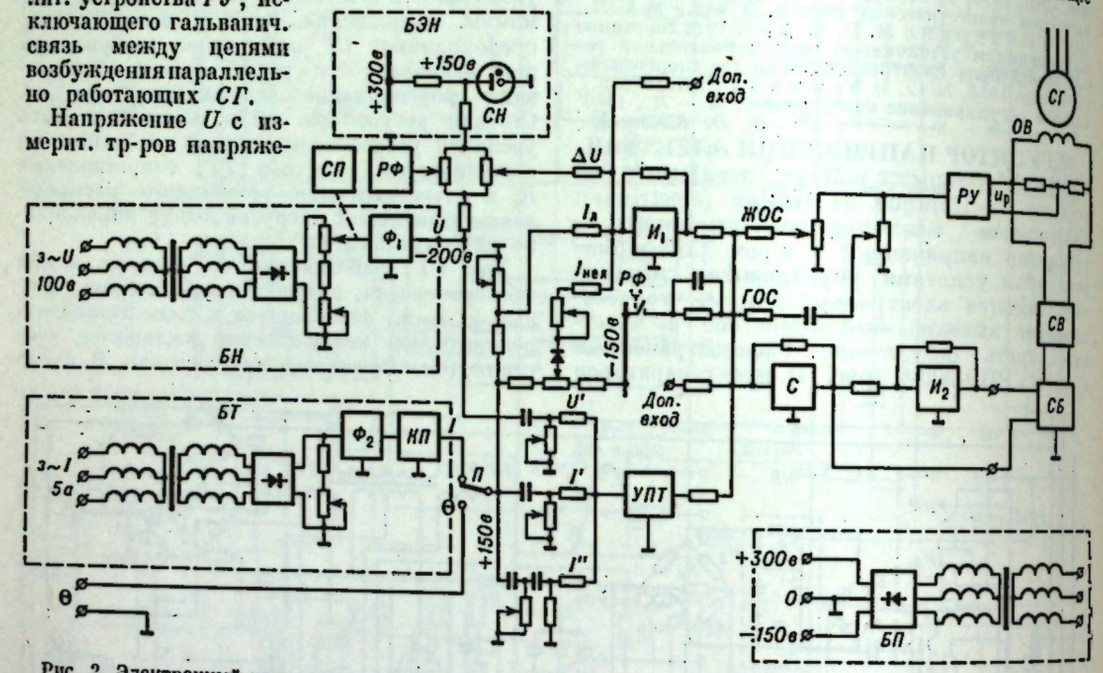


Рис. 2. Электронный регулятор напряжения гидрогенераторов Волжской ГЭС им. В. И. Ленина: $Ф_1$, $Ф_2$ — фильтры; $СН$ — газоразрядный стабилизатор напряжения СГ-4С; $СП$ — сервопривод для установки напряжения; $КП$ — катодный повторитель; $СБ$ — силовой блок из 2 групп тиратронов ТР1-5/2, управляемых фазовым мостом; $БП$ — блок питания.

Лит.: Соловьев И. И., Автоматизация энергетических систем, 2 изд., М.—Л., 1956; Герценберг Г. Р., Штрафун Я. Н., Автоматический регулятор возбуждения гидрогенераторов Куйбышевской гидроэлектростанции, «ВЭ», 1955, № 5; Герценберг Г. Р., Автоматический регулятор напряжения для гидрогенераторов с ионной системой возбуждения Волжской ГЭС им. В. И. Ленина, там же, 1961, № 6; Ильин В. А. [и др.], Электронный регулятор возбуждения для синхронных генераторов, работающих на дальние линии электропередачи, «ИАН. ОТН», 1956, № 12; Веников В. А. [и др.], Сильное регулирование возбуждения, М.—Л., 1963.

В. Е. Каштелян.

РЕГУЛЯТОР НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ [indirect-action controller; régulateur à action indirecte; indirekte Regeleinrichtung, Regler mit Hilfskraft (mit Hilfsenergie)] — регулятор, у к-рого чувствит. элемент воздействует на регулирующий орган через один или неск. усилителей мощности и для перемещения регулирующего органа используется энергия постороннего источника питания, управляемая регулятором.

РЕГУЛЯТОР ОГРАНИЧИВАЮЩИЙ (limiting controller; régulateur-limiteur; Grenzwertregeleinrichtung) — элемент системы комплексной автоматизации пром. и энергетич. установок, контролирующий подвод материи или энергии к объекту автоматизации по предельным значениям одной или неск. величин, характеризующих норм. протекание технологич. процесса. Р. о. применяется при необходимости ограничения нагрузки или производительности объекта автоматизации из-за недопустимого отклонения перегулируемых, а иногда и регулируемых величин. Напр., при сжигании топлива в печах или топках паровых котлов подачей топлива управляют либо по темп-ре газов в печи, либо по давлению пара в котле. Но для экономичного горения топлива необходим соответствующий избыток воздуха, что достигается поддержанием заданного соотношения расходов топлива и воздуха регулятором соотношения $РС$. Если расход воздуха имеет ограничения или устройство, регулирующее подачу воздуха, обладает значит. инерционностью, увеличение подачи топлива должно контролироваться также по соотношению расходов топлива и воздуха. С этой целью система регулирования дополняется Р. о. При норм. соотношении между расходами Р. о. не ограничивает увеличения подачи топлива. Если заданное соотношение нарушилось в сторону уменьшения избытка воздуха, регулятор посредством реле разрывает цепь управления на увеличение подачи топлива. Когда избыток воздуха станет ниже допустимой величины, Р. о. воздействует на уменьшение подачи топлива, как и обычный регулятор, в соответствии с принятыми для него параметрами настройки, обеспечивающими необходимые качественные хар-ки процесса регулирования.

В качестве Р. о. могут быть использованы регуляторы, применяемые для автоматич. регулирования основных процессов, с соответствующими изменениями в их схеме. Наиболее удобны для этого регуляторы с обратной связью, не охватывающей сервомотор, напр. электронные регуляторы ВТИ. На рис. представлена электрич. схема выходных цепей регулирующего прибора ЭР-Ш-59 с изменениями, необходимыми для его использования в качестве Р. о. Контакты регулятора P_1 и P_2 управляют промежуточными реле $1РП$ и $2РП$, к-рые, в свою очередь, контролируют включение магнитных пускателей $ПММ$ и $ПМБ$ сервопривода, перемещение выходного вала к-рого необходимо ограничивать. Пока величины, по к-рым производится ограничение, ниже установленного значения, контакт регулятора P_2 замкнут, обмотка реле $2РП$ находится под током и контакт реле $2РП_1$ в цепи магнитного пускателя $ПМБ$ замкнут, что позволяет соответствующему регулятору перемещать сервомотор в сторону увеличения подвода материи или энергии. Контакт P_1 отсоединен от цепей устройства упругой обратной связи, поэтому

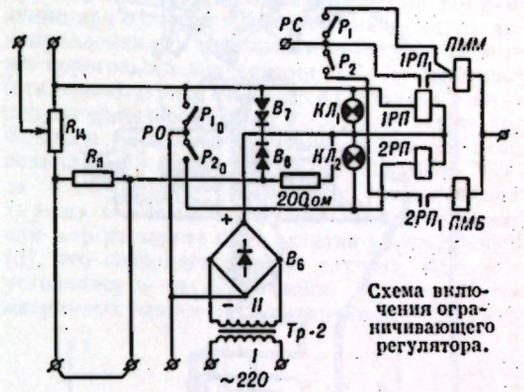


Схема включения ограничивающего регулятора.

регулирующий прибор работает как электронный ограничитель-сигнализатор. При отклонении величин до установленного значения контакт регулятора P_2 размыкается и реле $2РП$ разрывает свой контакт в цепи пускателя $ПМБ$, вследствие чего накладывается ограничение на перемещение вала сервомотора и регулирующего органа. Дальнейшее отклонение величин вызовет включение контакта регулятора P_1, к-рый через реле $1РП$ подаст питание пускателю $ПММ$ на уменьшение открытия регулирующего органа. Одновременно от контакта P_1 будет посылаться импульс обратной связи в регулирующий прибор; величина и длительность импульса определятся параметрами настройки регулятора.

Н. И. Арсеньев.

РЕГУЛЯТОР ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic controller; régulateur pneumatique; pneumatische Regeleinrichtung) — регулятор, в к-ром взаимодействие между отдельными элементами и воздействие на регулирующий орган осуществляется при помощи сжатого воздуха. По выполняемым ф-циям Р. п. разделяются на регуляторы, служащие для поддержания заданного значения регулируемой величины или изменения ее по заданной программе, и на регуляторы экстремальные. В зависимости от способа построения обратных связей среди Р. п. первого вида различают регуляторы, работающие с компенсацией перемещений, и регуляторы, построенные по принципу силовой компенсации. По характеру реализуемого закона регулирования Р. п. этой группы разделяют на пропорциональные, изодромные, работающие с предварением, и др. Примером изодромного Р. п. с обратной связью по принципу компенсации перемещений служит регулятор 04 (рис. 1); по схеме силовой компенсации построен, напр., изодромный регулятор АУС (рис. 2), см. также *Агрегатная унифицированная система*. Р. п. типа 04 изготовлялись как регуляторы к.-л. одного из параметров теплотехнич. процессов (темп-ры, давления, уровня, расхода). Регулирующие блоки АУС более универсальны, т. к. они могут соединяться с пневматич. датчиками любых измеряемых величин. Описанные выше Р. п. являются регуляторами непрерывного действия. Р. п. непрерывного и дискретного действия, реа-

лизующие указанные выше законы регулирования, а также экстремальные и др. Р. п., содержащие элементы как непрерывного, так

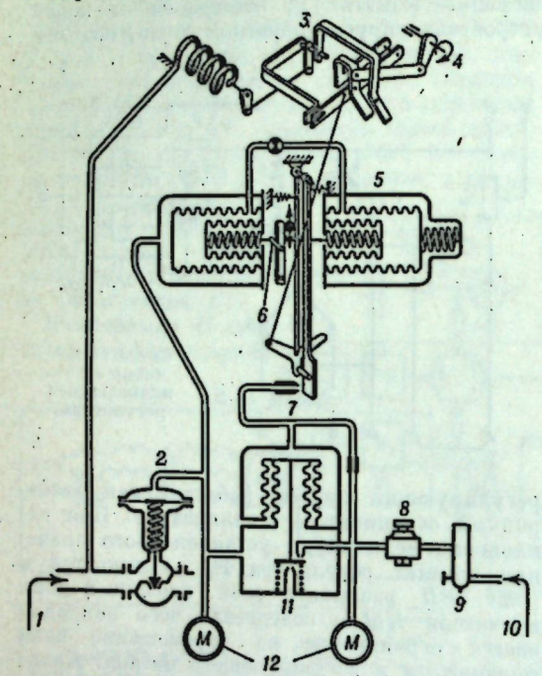


Рис. 1. Схема изодромного пневматич. регулятора с обратной связью по принципу компенсации перемещений: *1* — регулируемое давление; *2* — исполнит. орган; *3* — сумматор; *4* — задатчик; *5* — изодром; *6* — шток обратной связи; *7* — первичное реле; *8* — редуктор; *9* — фильтр; *10* — питание; *11* — вторичное реле; *12* — манометры.

и дискретного действия, создаются сейчас на основе поэлементного принципа построения пневматич. приборов, характеризующегося тем, что отдельные элементы выполняются

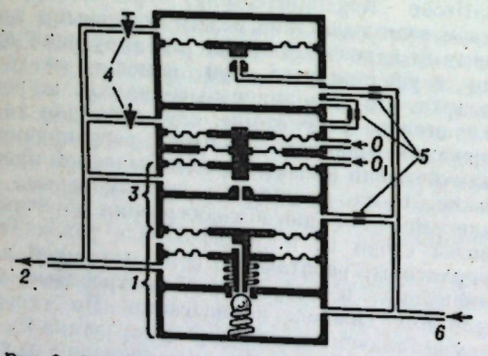


Рис. 2. Схема изодромного пневматич. регулятора с обратной связью по принципу силовой компенсации: *1*—2-й каскад усиления; *2* — выходное давление; *3*—1-й каскад усиления; *4* — регулируемые дроссели; *5* — постоянные дроссели; *6*— питание.

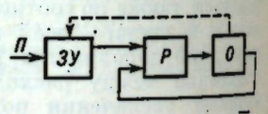
в виде блоков, монтируемых на коммутационной панели, аналогично тому, как монтируются радиолампы в электронных приборах. Возможности для существенного упрощения конструкций Р. п., резкого уменьшения стоимости их изготовления, повышения их эксплуатац. надежности открываются в связи с развитием нового направления в пневмогидроавтоматике — *струйной техники*.

Лит.: Пантаев Н. Ф., Дианов В. Г., Автоматическое регулирование в нефтяной промышленности, М., 1959; Березовец Г. Т., Малая А. Л., Наджафов Э. М., Приборы пневматической агрегатной унифицированной системы и их использование для автоматизации производственных процессов, 2 изд., М., 1962; Беренде Т. К., Таль А. Л., «АиТ», 1959, т. 20, № 11; Березовец Г. Т., Татарко И. В., там же, 1963, т. 24, № 3.

Г. И. Паперный.

РЕГУЛЯТОР ПРЕРЫВИСТОГО ДЕЙСТВИЯ (регулятор дискретного действия) (sampled-data controller, intermittect controller; régulateur à action intermittente; unstetige Regeleinrichtung) — автоматич. регулятор, воздействие к-рого на регулирующий орган имеет вид последовательности импульсов. Непрерывно изменяющееся значение регулируемой величины (сигнала) преобразуется Р. п. д. в последовательность импульсов. Такое преобразование непрерывной величины в дискретную наз. *квантованием*. В зависимости от способа квантования Р. п. д. делятся на *регуляторы релейные* с квантованием по уровню сигнала и *регуляторы импульсные* с квантованием по времени. Если в процессе регулирования участвует ЦВМ, выполняющая одновременное квантование сигнала по уровню и времени, то система наз. цифровой системой автоматич. регулирования, а сама цифровая машина и устройства, связывающие ее с объектом, иногда наз. цифровым регулятором.

РЕГУЛЯТОР ПРОГРАММНЫЙ (programme controller; régulateur à programme; Programmregeleinrichtung) — автоматич. регулятор, обеспечивающий прохождение регулируемым объектом заданной последовательности состояний. Работа Р. п. определяется заранее записанной (зафиксированной на том или ином программоносителе) информацией о требуемых последовательных состояниях (*программой*). Основными элементами Р. п. являются: задающее устройство *ЗУ* (рис.), к-рое содержит программу *П*, обеспечивает ее последоват. считывание и формирует соответствующие управляющие сигналы, и регулятор *Р*, который вырабатывает управляющие воздействия, сравнивая предписываемое программой состояние объекта *О* с фактическим. Программа может быть непрерывной и дискретной, предназначаться для управления одной или несколькими переменными, определяющими состояние объекта регулирования. При программном регулировании в ф-ции времени скорость считывания данных с программоносителя не зависит от состояния объекта. В нек-рых случаях поступление программы с задающего устройства ставится в зависимость от состояния объекта. При этом соответствующие сигналы поступают от объекта на задающее устройство, как показано прерывистой линией на рис.



Структурная схема программного регулирования.

Р. п. конструктивно выполняются на электрич., механич., пневматич., гидравлич. и смешанных элементах. Для задания программы служат профилированные кулачки, электрич. функциональные потенциометры, перфокарты, перфоленты и т. д. (см. *Программное управление*). Р. п. широко применяются для автоматич. регулирования тепловых, химич., металлургич. и др. технологич. процессов. Простота смены программ Р. п. позволяет

легко переходить от одного технологич. процесса к другому. В наиболее сложных системах управление процессами может производиться вычислительной машиной, к-рая наряду с др. функциями вырабатывает программу и играет роль задающего устройства. См. также *Программного регулирования система*.

Лит.: Добкин В. М., Дулсев Е. М., Фельдман Е. П., Автоматическое регулирование тепловых процессов на электростанциях, М.— Л., 1959; Балмасов Е. Я., Автоматическое регулирование процессов целлюлозно-бумажного производства, М.— Л., 1955; Розенцвит Ц. И., Эйгенброт В. М., Задающие устройства программных и следящих регуляторов технологических процессов, М.— Л., 1963.

А. Р. Гарбузов, В. В. Семенов.

РЕГУЛЯТОР ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ (proportional controller; régulateur à action proportionnelle; proportionalwirkende Regeleinrichtung) — автоматич. статич. регулятор с линейной статич. хар-кой (см. *Регулятор статический*). Установившееся значение изменения выходной величины Р. п. (т. е. воздействие на регулирующий орган) пропорционально изменению входной величины регулятора. Регуляторы непрерывного действия с нелинейными хар-ками часто рассматриваются как Р. п. при малых отклонениях входной и выходной величин от установившегося значения. При этом статич. хар-ка регулятора заменяется отрезком касательной к ней в рассматриваемой точке. Иногда регуляторы релейного действия также рассматриваются как пропорцион. регуляторы. Такая трактовка возможна при вибрац. линеаризации (см. *Регулятор вибрационный*) или *скользящем режиме* в регуляторе. В случае вибрац. линеаризации среднее значение воздействия релейного регулятора пропорционально среднему значению отклонения регулируемой величины.

РЕГУЛЯТОР ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ (direct-action controller; régulateur à action directe; Regeleinrichtung ohne Hilfsenergie) — регулятор, у к-рого чувствит. элемент непосредственно перемещает регулирующий орган, не используя промежуточных источников энергии. Применяется в основном для регулирования маломощных объектов.

РЕГУЛЯТОР РЕЛЕЙНЫЙ [relay (on-off) controller; régulateur à commutation, régulateur par «tout ou rien»; Relaisregeleinrichtung] — регулятор прерывистого действия, квантующий регулируемую величину по уровню, т. е. изменяющий управляющее воздействие на систему скачком всякий раз, когда управляющий сигнал (регулируемая величина) проходит через нек-рые фиксированные значения, наз. пороговыми (рис. 1). Квантование по уровню в Р. р. осуществляется релейным элементом (РЭ), к-рый может иметь неск. устойчивых состояний. Двухпозиционные РЭ имеют два устойчивых состояния («включено — выключено» в нейтральном реле, «включено вперед — включено назад» в поляризованном реле). Идеальный РЭ производит переключение в обоих направлениях при одном и том же пороговом значении управляющего сигнала. Реальные РЭ имеют зону нечувствительности, т. е. срабатывают в одном направлении при большем пороговом значении, а в др. направлении — при меньшем; между этими двумя пороговыми значениями РЭ не работает (отключен). В ряде РЭ имеется гистерезис: переход из одного состояния в др. происходит при большем пороговом значении, когда входная величина РЭ возрастает, и при меньшем, когда она убывает (отстающая гистерезисная хар-ка). С помощью искусств. схем гистерезисная хар-ка может быть сделана упреждающей [2], что позволяет в ряде случаев повысить устойчивость регулирования. Примеры симметричных хар-к поляризованных РЭ даны

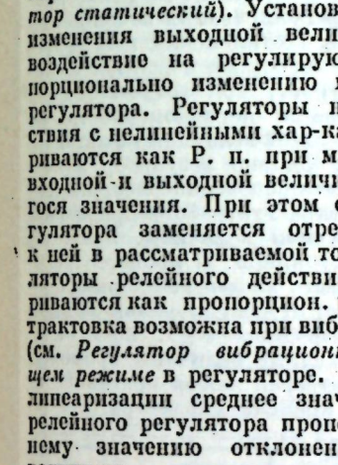


Рис. 1. График действия релейного элемента: x — вход (управляющий сигнал); y — выход (управляющее воздействие) релейного элемента; x_1, x_2 — пороговые значения управляющего сигнала.

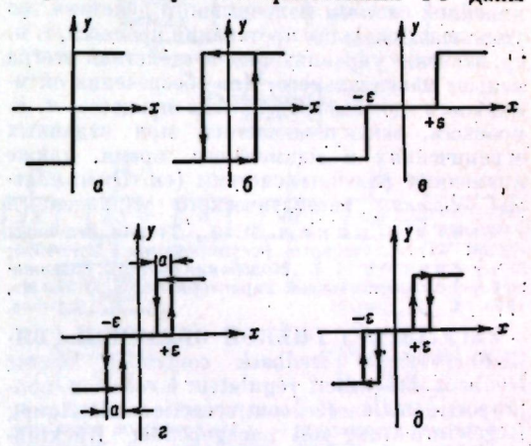


Рис. 2. Симметричные хар-ки релейных поляризованных элементов: *а* — без зоны нечувствительности и гистерезиса; *б* — без зоны нечувствительности с гистерезисом; *в* — с зоной нечувствительности $\pm\varepsilon$, без гистерезиса; *г* — отстающая хар-ка с зоной нечувствительности $\pm\varepsilon$ и гистерезисом a; *д* — упреждающая хар-ка с зоной нечувствительности $\pm\varepsilon$ и гистерезисом.

на рис. 2. Одним из возможных применений Р. р. является система релейного регулирования темп-ры печи, нагреваемой газом (рис. 3). Измерит. элемент Р. р. (термометр сопротивления *3*) включен в одно из плеч измерит. моста *2*; РЭ (поляризованное реле *4*) включен в диагональ моста. Заданное значение регулируемой величины устанавливается реостатом *5*. При переходе регулируемой величины через пороговые значения реле *4* переключает контактами *6* исполнит. двигатель *7* регулирующего клапана *8*, изменяя доступ газа в печь *1*. Реостат *9*, рычаг *12*, демпфер *10*, регулируемый байпасом *13*, и пружина *11* образуют гибкую обратную связь регулятора. Р. р., у к-рых РЭ является сервомотор регулирующего органа, наз. многопозиционными регуляторами (см. *Регулятор многопозиционный*, *Регулятор двухпозиционный*).

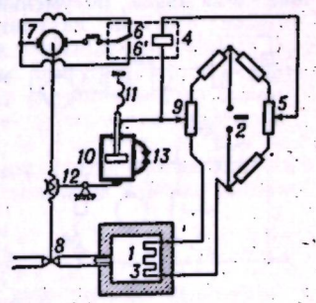


Рис. 3. Система автоматич. релейного регулирования с гибкой обратной связью темп-ры печи, нагреваемой газом.

РЭ позволяют сравнительно простыми средствами коммутировать большие мощности, чем и объясняется их широкое распространение; но их хар-ки существенно нелинейны и пропорциональность между выходной и входной величинами РЭ отсутствует. Однако, подавая одновременно с управляющим сигналом на РЭ дополнит. воздействие, можно добиться пропорциональности между ср. значением выходной величины за период и входной величиной. Линеаризация Р. р. посредством наложения периодич. воздействия (вынужд. колебаний или автоколебаний) наз. вибрационной линеаризацией, а Р. р. — *регулятором вибрационным*. Др. способ — линеаризация посредством пульсирующего или *скользящего режима*. Вибрационная или скользящая линеаризация релейных систем приближает динамич. св-ва системы к св-вам линейной системы непрерывного действия, но уменьшает скорость протекания процесса, т. к. ср. значение управляющего воздействия всегда меньше максимального. Для обеспечения оптимального по быстродействию процесса, т. е. процесса, заканчивающегося при заданных ограничениях в наименьшее время, также применяют релейные системы (см. *Оптимальные системы* автоматического управления).

Лит.: 1) Цыпкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955; 2) Челпанов И. Б., Колебания системы, содержащей реле с опережающей характеристикой, «ПМ и М», 1958, т. 22, вып. 1.

А. А. Воронов.

РЕГУЛЯТОР С ГИБКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ [variable feedback controller, elastic feedback controller; regulateur à réaction non-proportionnelle (á contreréaction élastique); Regeleinrichtung mit nachgebender Rückführung] — регулятор, часть элементов к-рого охвачена внутренней обратной связью, содержащей дифференцирующее звено. Простая гибкая обратная связь (ГОС) имеет передаточную ф-цию TS; инерционная ГОС — передаточную ф-цию $\kappa TS/TS+1$. ГОС чаще всего охватывает колебат. или интегрирующие звенья. Охват колебат. звена ГОС увеличивает демпфирование колебаний. Охват интегрирующего звена ГОС сохраняет интегрирующие св-ва звена, но уменьшает его инерционность и коэфф. усиления. Т. о., введение ГОС обычно расширяет область устойчивости регулирования и способствует улучшению его качества. Сохранение интегрирующих св-в при ГОС позволяет повысить устойчивость астатич. регулирования, для чего охватывают ГОС интегрирующее звено астатич. регулятора. Астатич. Р. с г. о. с. наз. также изодромным регулятором. В схеме электрич. регулятора напряжения генератора пост. тока с ГОС (см. рис.) последней является дифференцирующий трансформатор 7. Пример астатич. Р. с г. о. с. см. *Регулятор изодромный*.

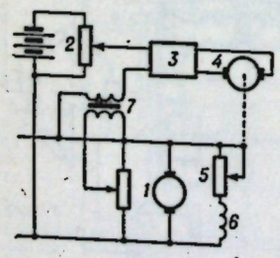


Схема регулятора напряжения генератора пост. тока с гибкой обратной связью: *1* — генератор пост. тока; *2* — задающий элемент, устанавливающий заданное значение регулируемого напряжения; *3* — усилитель; *4* — исполнит. двигатель; *5* — регулирующий орган — реостат в цепи обмотки возбуждения; *6* — обмотка возбуждения генератора; *7* — трансформатор гибкой обратной связи.

Лит.: Попов Е. П., Автоматическое регулирование, 3 изд., М., 1959.

А. А. Воронов.

РЕГУЛЯТОР С НЕСКОЛЬКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ (multi input controller; régulateur à grandeurs d'entrée multiples; Regeleinrichtung mit mehreren Einwirkungen) — регулятор, реагирующий на неск. величин (отклонение регулируемой величины, ее производные или интегралы, нагрузка и др.). Р. с н. в. широко применяются в пром-сти и на электростанциях, в частности в котельной автоматике.

Регуляторы с дополнит. к основному воздействием по производной от регулируемой величины улучшают динамич. качества систем регулирования (уменьшают колебания, увеличивают быстродействие, повышают устойчивость системы). Введение производной в закон регулирования не влияет на величину остаточного отклонения регулируемого параметра, но оказывает косвенное влияние, вследствие к-рого, при воздействии по производной, значение неравномерности по изменению регулируемой величины может быть принято меньшим. Однако регулятор с воздействием только по производной непригоден, т. к. он может прекратить работу при любом значении регулируемой величины, лишь бы она оставалась постоянной. В процессе регулирования могут быть введены не только производные (1-я и 2-я) от регулируемой величины, но также производные от др. координат, определяющих выходные величины промежуточных звеньев, интеграл любой кратности от регулируемого во времени параметра.

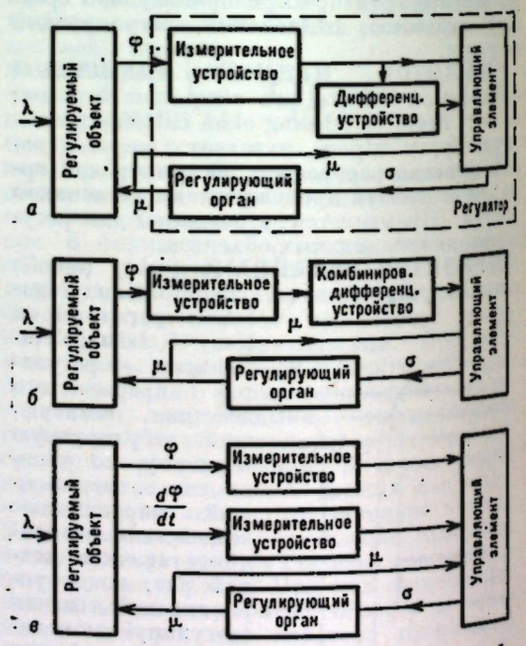


Рис. 1. Схемы регулирования с дополнит. воздействием по производной: *а* — от отд. дифференцирующего устройства; *б* — от комбинированного дифференцирующего устройства; *в* — от отд. измерит. устройства (относит. изменения: λ — нагрузки; φ — регулируемой величины; σ — выходной координаты; μ — положения регулирующего органа).

Для получения воздействия по производной предусматривается в том или ином виде спец. дифференцирующее устройство. 1) Производная может быть введена в закон регулирования от спец. дифференцирующего устройства отдельно от основного сигнала (рис. 1, *а*). По такой схеме работают многие регуляторы на электростанциях, напр. регулятор тепловой нагрузки, регулятор тепло-воздух, регулятор давления пара для блочных установок и др. 2) В схему вводится комбинированное дифференцирующее устройство, к-рое дает на выходе суммарную величину отклонения параметра и производную этого отклонения (рис. 1, *б*). 3) В схему вводятся 2 самостоят. измерит. элемента, один из к-рых реагирует на отклонение регулируемой величины, а 2-й — на производную этой или любой др. величины (рис. 1, *в*). По такой схеме работает, напр., регулятор темп-ры перегретого пара в котельной автоматике, к-рый получает воздействия по величине отклонения темп-ры перегретого пара и по скорости изменения этой темп-ры непосредственно за точкой впрыска. Интеграл вводится в закон регулирования через интегрирующее устройство, включенное, напр., взамен дифференцирующего устройства по схеме рис. 1, *а* или по к.-л. другой.

Регуляторы с дополнит. воздействием по нагрузке действуют на регулирующий орган не только по отклонению регулируемой величины, но и по возмущению (рис. 2, *а*). Регулирование по возмущению не влияет на устойчивость системы, но позволяет существенно уменьшить проявление неравномерности основного регулируемого параметра и обеспечить поддержание заданного значения параметра при различных нагрузках. Само по себе воздействие по нагрузке (по возмущению) для объектов без самовыравнивания или с малым самовыравниванием не обеспечивает поддержания определенного значения регулируемой величины, поэтому это воздействие, напр. в котельной автоматике, используется как дополнит. средство упреждения в сочетании с основным воздействием по отклонению регулируемой величины. Упреждающее воздействие

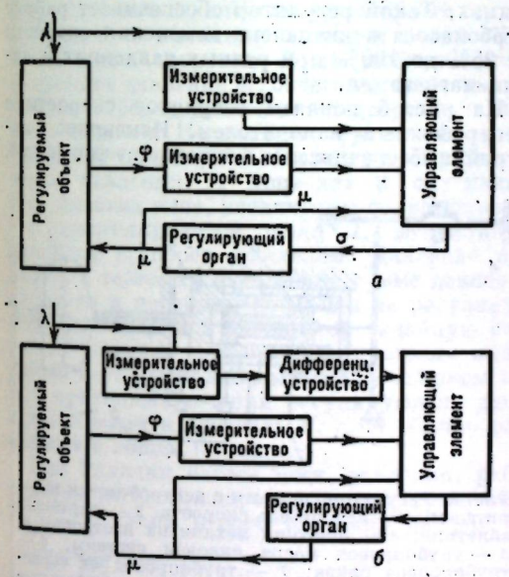


Рис. 2. Схема регулирования с упреждающим воздействием: *а* — по возмущению; *б* — по производной от возмущения; относит. изменения: λ — нагрузки, φ — регулируемой величины, σ — выходной координаты; μ — положения регулирующего органа.

возможно и по производной от возмущения (рис. 2, *б*).

Примером комплексного использования различных воздействий могут служить регуляторы паровых котлов, напр. регулятор тепловой нагрузки с электронной аппаратурой регулирования (рис. 3, *а*). В этой схеме, кроме

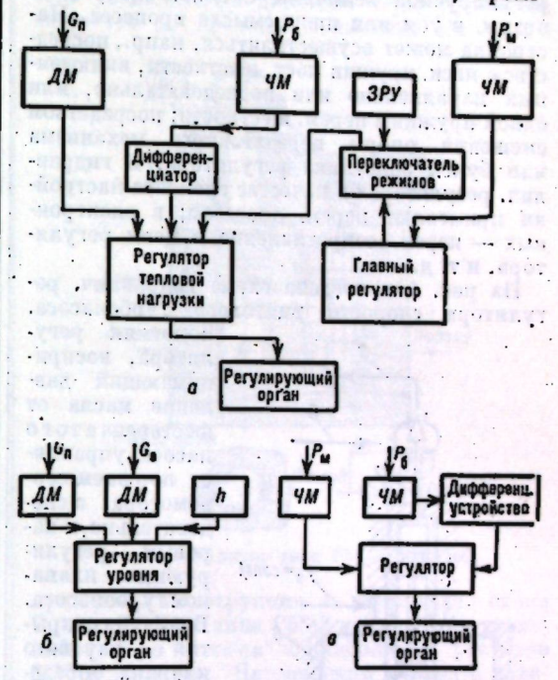


Рис. 3. Схемы регуляторов с комплексным использованием воздействий: *а* — регулятора тепловой нагрузки; *б* — регулятора уровня; *в* — регулятора давления; $G_п$ — расход пара из котла; $G_в$ — расход питат. воды; $P_м$ — давление пара в магистрали; $P_б$ — давление пара в барабане; h — уровень воды в барабане; *ДМ* — дифманометр; *ЧМ* — чувствит. манометр; *ЗРУ* — задатчик ручного управления.

основного воздействия по давлению пара в магистрали, имеются воздействия по производной (скорость изменения давления в барабане) и возмущению (расход пара), т. о. используются преимущества каждого воздействия и достигается желательный процесс регулирования. На рис. 3, *б* представлена схема регулятора уровня с воздействием по 3 величинам, а на рис. 3, *в* — схема регулятора давления с воздействием по 2 величинам. При настройке Р. с н. в. приходится согласовывать статич. хар-ки отд. элементов в цепях различных воздействий.

Лит.: Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Добкин В. М., Дулеев Е. М., Фельдман Е. П., Автоматическое регулирование тепловых процессов на электростанциях, М.—Л., 1959; Кантор С. А., Регулирование судовых теплосиловых установок, Л., 1956; Кириллов И. И., Автоматическое регулирование паровых и газовых турбин, М., 1961; Корнилов Ю. Г., Пивень В. Д., Основы теории автоматического регулирования, М.—Л., 1947; Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954; Шифрин М. Ш., Регулирование судовых котельных установок, Л., 1957.

Л. С. Шумская.

РЕГУЛЯТОР С ПЕРЕМЕННОЙ НАСТРОЙКОЙ (adjustable controller; régulateur à réglage d'accord variable; Regeleinrichtung mit veränderlicher Abstimmung) — регулятор, у к-рого заданное значение регулируемой величины можно изменять перестановкой настроеч-

пого органа. Такие регуляторы применяются гл. обр. для регулирования движения и скорости, напр. в котельной автоматике, при регулировании скорости турбин и т. п., где в различных режимах работы установки (пусковой режим, работа на нагрузку и др.) необходимо поддерживать различные значения регулируемой величины с целью получения оптим. в том или ином смысле процесса. Настройка может осуществляться, напр., посредством неск. пружин пост. жесткости, включенных параллельно или последовательно, или одной пружины перем. жесткости; посредством смещения опоры передаточного механизма или буксы золотника регулятора. В гидравлич. регуляторах в качестве элемента настройки применяют перем. дроссели; в электронных — перем. сопротивление в цепи регулятора, и т. д.

На рис. 1 приведена схема гидравлич. регулятора скорости винтового турбонасоса. Золотник регулятора, воспринимающий давление масла от шестеренчатого насоса, управляет поршнем сервомотора, а следовательно, и паровым регулирующим клапаном турбонасоса. Величина открытия парового клапана определяется давлением масла. При увеличении давления клапан идет на закрытие, а при уменьшении — на открытие. При пост. давлении в линии нагнетания скорость вращения турбонасоса изменяется вследствие изменения площади проходного сечения перем. дросселя; одновременно (напр., для номин. давления) при смещении (рис. 2) точки E кривой EF по линии AC в направлении точки A скорость, а следовательно, и производительность турбонасоса уменьшаются; при смещении точки E к точке C скорость увеличивается. AC — линия установившихся режимов работы регулятора скорости при номин. давлении в напорном трубопроводе насоса. Пределы изменения этих режимов ограничиваются точками A и C, соответствующими крайним положениям перем. дросселя. Линии AB, EF, CD характеризуют процесс регулирования при изменении давления в напорном трубопроводе от $P_н$ до нуля (при практически пост. скорости вращения). Хар-ки AC и BD показывают изменение режимов работы при пост. давлении в напорном трубопроводе. Т. о., область, заключенная между линиями

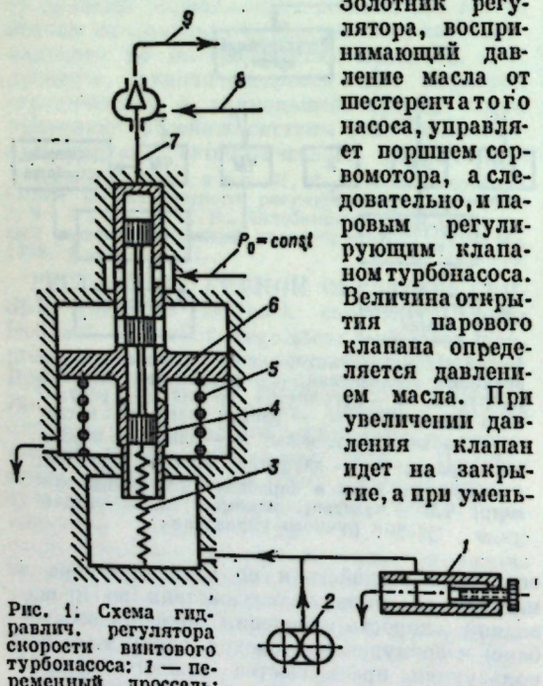


Рис. 1. Схема гидравлич. регулятора скорости винтового турбонасоса: *1* — переменный дроссель; *2* — датчик скорости вращения шестеренчатого насоса; *3* — пружина регулятора; *4* — золотник; *5* — пружина сервомотора; *6* — поршень сервомотора; *7* — паровой регулирующий клапан; *8* — подвод острого пара; *9* — подвод пара к соплам.

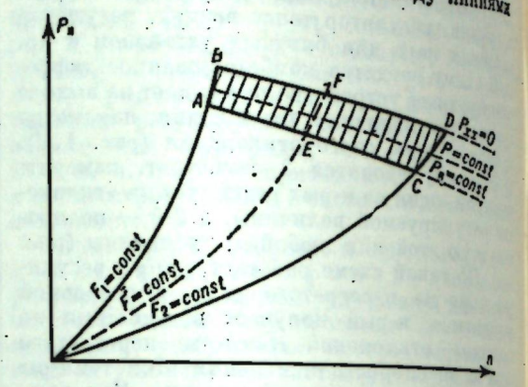


Рис. 2. Статическая хар-ка регулятора с переменной настройкой: $P_н$ — давление масла под золотником 4 (рис. 1); n — число оборотов в минуту; F_1, F, F_2 — минимальная, текущая и макс. площади открытой части окна перем. дросселя; $P_н$, P, P_{xx} — давление нагнетания насоса номин., текущее и холостого хода.

AC и BD и ограниченная кривыми AB и CD, является областью работы регулятора скорости во всех возможных регулируемых режимах. Такой регулятор обеспечивает работу турбонасоса в диапазоне изменения скорости от 25% до 100% при разных давлениях в линии нагнетания.

На рис. 3 показан регулятор скорости с центробежным измерителем. Изменение настройки обеспечивается смещением золотника 3.

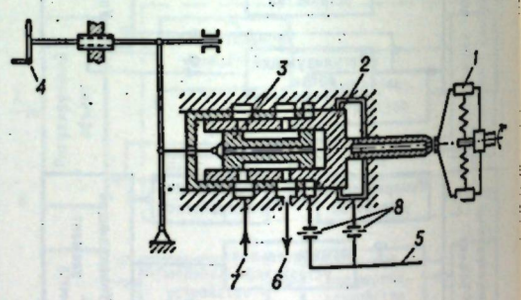


Рис. 3. Регулятор скорости с центробежным измерителем: *1* — измеритель скорости; *2* — следящий золотник; *3* — золотник механизма настройки *4*; *5* — трубопровод масла силовой системы; *6* — трубопровод слива; *7* — трубопровод от сервомотора регулирующего органа; *8* — дроссельные шайбы.

С помощью такого регулятора осуществляются операции пуска, разгона, синхронизации и изменения нагрузки работающей турбины.

Лит.: Кантор С. А., Регулирование судовых теплосиловых установок, Л., 1956; Кац А. М., Автоматическое регулирование скорости двигателей внутреннего сгорания, М.—Л., 1956; Кириллов И. И., Автоматическое регулирование паровых и газовых турбин, М., 1961; Настенко Н. Н., Всережимное регулирование быстроходных дизелей, М.— Свердл., 1944; Шифрин М. Ш., Регулирование судовых котельных установок, Л., 1957; Щеглаев А. В., Регулирование паровых турбин, М.—Л., 1938. *Г. Л. Мед.*

РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ (hydraulic speed controller; régulateur hydraulique de vitesse; hydraulische Regeleinrichtung zur Regelung der Geschwindigkeit) — устройство для регулирования скорости выходного звена гидродвигателя (вала, штока),

обеспечивающее постоянство заданной скорости независимо от действующей на гидродвигатель нагрузки. Т. к. скорость выходного звена гидродвигателя определяется в основном расходом через гидродвигатель, то Р. с. г. состоит из регулируемого дросселя для установки заданной скорости гидродвигателя и редукционного клапана, поддерживающего постоянство перепада давления на дросселе независимо от нагрузки гидродвигателя. В одной из возможных схем Р. с. г. рабочая жидкость от насоса пост. производительности (рис. 1)

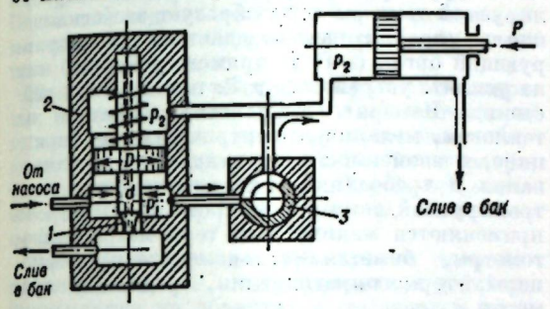


Рис. 1. Схема регулятора скорости, устанавливаемого перед гидродвигателем.

поступает в клапан *2* и далее через дроссель *3* к гидродвигателю. Излишек рабочей жидкости, подаваемой насосом через дросселирующую щель *1* клапана, сливается в бак. При возрастании нагрузки P на гидродвигателе возрастает давление p_2, отчего могли бы уменьшиться перепад давления на дросселе и скорость поршня. Но полость поршня соединена с верхней полостью клапана, поэтому увеличение давления p_2 приводит к опусканию тела клапана вниз, увеличению сопротивления его дросселирующей щели *1*, возрастанию давления p_1 перед дросселем. Давление при работе с таким Р. с. г. равно сумме давления нагрузки и перепада давления на регулируемом дросселе, настроенном на заданную скорость. Перепад давления на дросселе выбирается 3—5 *кг/см²* для избежания слишком малых проходных сечений регулирующего дросселя. Клапан и дроссель Р. с. г. обычно размещают в общем корпусе.

При наличии насоса пост. давления, работающего на неск. гидродвигателей, применяют Р. с. г., схема к-рого показана на рис. 2.

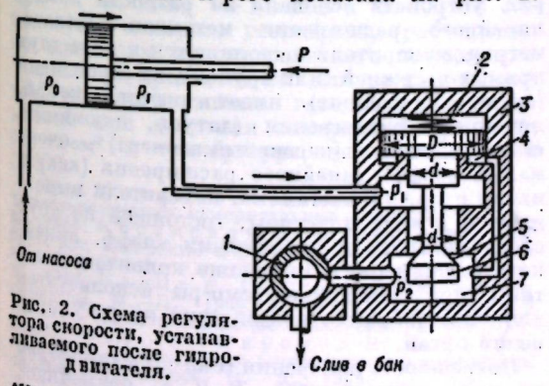


Рис. 2. Схема регулятора скорости, устанавливаемого после гидродвигателя.

Жидкость из полости цилиндра с давлением p_1 идет в бак через клапан *3* и регулирующий дроссель *1*. Клапан в сечении *5* дросселирует жидкость, поступающую из цилиндра, обеспечивая пост. давление p_2, а следовательно, и стабильность расхода через дроссель вне зависимости от значения p_1. Напр., если расход через клапан из-за изменения скорости поршня уменьшится, то давление p_1 перед дросселем упадет, упадет давление и в полостях *7* и *4* клапана, и пружина *2* опустит тело клапана *6* вниз, что уменьшит его сопротивление. Расход жидкости через клапан и дроссель увеличится, и давление перед дросселем возрастет до прежней величины. На рис. 3

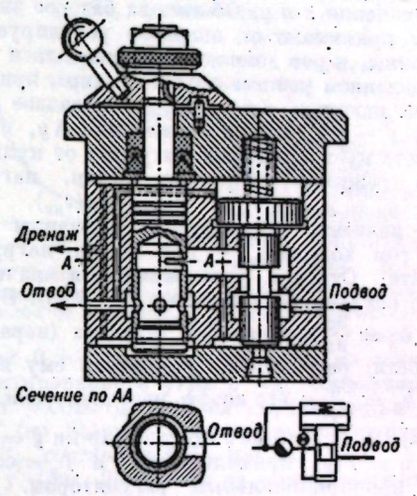


Рис. 3. Регулятор типа Г55-2, ЭНИМС.

приведены конструкция и гидравлич. схема Р. с. г. ЭНИМС типа Г55-2 для рабочих давлений от 5 до 50 *кг/см²* и наибольших расходов 8,35 и 70 *л/мин*. Наименьший расход в зависимости от типоразмера колеблется от 0,07 до 0,15 *л/мин*. Для регуляторов ЭНИМС Г55-1 по схеме рис. 1 наибольшие расходы 35, 70 и 140 *л/мин*, а наименьшие 0,25 и 1 *л/мин*.

Лит.: Кожевников С. Н., Аппаратура и механизмы гидро- пневмо- и электроавтоматики металлургических машин, М.—Киев, 1961; Руководящие материалы по гидрооборудованию станков, 3 изд., М., 1958; Хаймович Е. М., Гидроприводы и гидроавтоматика станков, 2 изд., М.— Киев, 1959.

А. П. Мазырин.

РЕГУЛЯТОР СТАТИЧЕСКИЙ (static, proportional controller; régulateur avec statisme, régulateur statique, régulateur proportionnel; statische Regeleinrichtung) — регулятор, при использовании к-рого установившееся значение регулируемой величины зависит от нагрузки (статич. регулирование). Крутизна наклона хар-ки системы статич. регулирования (рис. 1) характеризуется статизмом регулирования $\delta_c = \frac{x_{xx} - x_{ин}}{x_0}$, где x_{xx} — значение регулируемой величины при отсутствии нагрузки (холостом ходе); $x_{ин}$ — значение регулируемой величины при номин. нагрузке; x_0 — заданное значение. Статизм считают положительным, если значение регулируемой величины уменьшается с увеличением нагрузки. Системы с отрицательным статизмом встречаются сравнительно редко. Р. с. обладает статич.

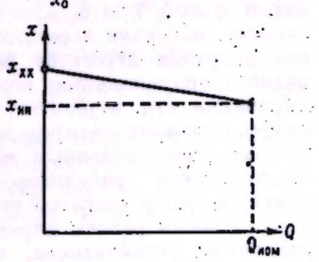


Рис. 1. Хар-ка системы статич. регулирования: x — регулируемая величина; Q — нагрузка; $Q_{ном}$ — номинальная нагрузка.

где $T_р = \frac{I}{A}\frac{\partial F'_э}{\partial y_1}$ — постоянная времени регулятора,

$$A = \frac{\partial F_{пр}}{\partial y_1} - \frac{\partial F_{ус}}{\partial y_1} - \frac{\partial F_{эл}}{\partial y_1} = \frac{\partial F'_{пр}}{\partial y_1} - \frac{\partial F_{эл}}{\partial y_1}.$$

A определяется разностью наклонов хар-к приведенной силы пружины ($F'_{пр} = F_{пр} - F'_{ус}$) и силы тяги электромагнита $F_{эл}$ (рис. 3). Коэфф. усиления регулятора $k_р \gg 1$ и равен

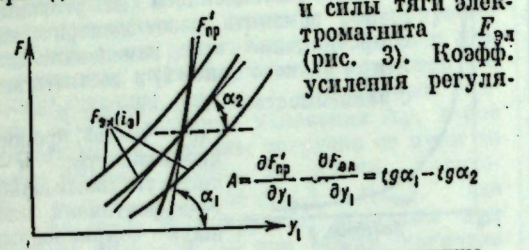


Рис. 3. Кривые зависимости силы пружины и силы тяги электромагнитов от y_1.

$$k_р = \frac{\partial F_{эл}}{\partial \overline{U}_г} \cdot \frac{U_{г_0}}{A} \cdot \frac{\partial R_{ус}}{\partial y_1}. \qquad (5)$$

Если $\overline{U}_г$ меняется скачком, то $\overline{R}_{ус}$ будет изменяться по экспоненте. Характер экспоненты будет определяться величинами $T_р$ и $k_р$, к-рые, в свою очередь, зависят от A. С уменьшением A возрастают $T_р$ и $k_р$. При $A \to 0$ величины $T_р \to \infty$ и $k_р \to \infty$, причем так, что отношение $T_р/k_р$ остается постоянным и равным

$$T_A = \frac{T_р}{k_р} = \frac{\frac{\partial F'_д}{\partial y_1}}{\frac{\partial F_{эл}}{\partial \overline{U}_г} \cdot \frac{U_{г_0}}{R_{ус_0}} \cdot \frac{\partial R_{ус}}{\partial y_1}}. \qquad (6)$$

Ур-ние (4) при этом принимает вид

$$T_A \frac{d\overline{R}_{ус}}{dt} = \overline{U}_г. \qquad (7)$$

Если $\overline{U}_г$ меняется скачкообразно, то $\overline{R}_{ус}$ изменяется линейно во времени. Прямая $\overline{R}_{ус}(t)$ касательна к экспонентам, определяемым уравнением (4).

Астатич. режим настройки Р. у. имеет место при совпадении хар-к приведенной силы пружины и силы тяги электромагнита ($A = 0$), что определяется ур-нием (7). Интегрируя его, получим

$$\overline{R}_{ус} = \frac{1}{T_A}\int_0^t \overline{U}_г\, dt. \qquad (8)$$

Ур-ниям (4) или (7) соответствует структурная схема, рис. 4, *а*. Структурная схема системы

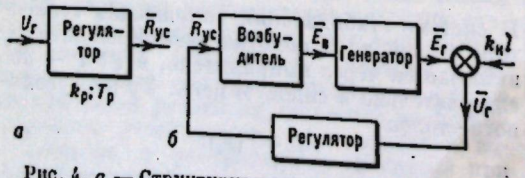


Рис. 4, *а* — Структурная схема угольного регулятора; *б* — структурная схема системы регулирования генератора пост. тока с возбудителем.

регулирования, в к-рой регулируемый объект состоит из генератора пост. тока с возбудителем, приведена на рис. 4, *б*.

Необходимое согласование всех сил в электромеханич. части Р. у. ($A = 0$) достигается соответствующим подбором пружины и ее натяжения, определенными расстояниями между точками приложения сил к рычагу, наконец, соответствующим расчетом электромагнита и в особенности формы его якоря. Однако астатич. настройка в широком диапазоне изменения возмущающих сил невозможна. Поэтому для повышения точности Р. у. (расширения области астатич. настройки) в ряде случаев применяют обмотку автоматич. коррекции.

Требуемый уровень напряжения $U_г$ наиболее просто устанавливается изменением сопротивления цепи обмотки электромагнита ($r_н$ в схеме рис. 2). Повышение устойчивости достигается либо введением искусств. вязкого трения подвижных частей $F_д$, либо применением жесткой и отрицат. гибкой обратной связи.

Точность работы Р. у. определяется его статизмом, темп-рой (в первую очередь обмотки электромагнита), гистерезисом (механич. и магнитным). Для повышения точности применяют различные виды температурной компенсации. Точность стабилизации напряжения РУН ± 2—10%.

При использовании Р. у. в качестве стабилизаторов в рабочей цепи они включаются по схеме рис. 5. Для стабилизации напряжения U_2 требуется, чтобы подводимое напряжение U_1 было не ниже $U_2 + U_{ус_{мин}}$. Мощность Р. у. в таких схемах повышается шунтированием угольного столба линейными или нелинейными сопротивлениями. Пределы регулирования Р. у. в этом случае, естественно, сужаются. При использовании Р. у. для управления дросселем насыщения угольный столб подключается последовательно с обмоткой управления к напряжению пост. тока, а обмотка $w_э$ — на выходное напряжение. Точность стабилизации напряжения определяется гл. обр. Р. у. и составляет ±1,5—3% при диапазоне изменения напряжения сети до ±15% и одновременном изменении тока нагрузки от 20% до 100% номинальной.

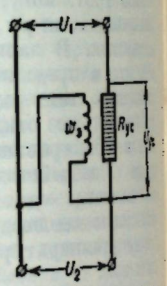


Рис. 5. Схема включения угольного регулятора в рабочую цепь по принципу автоматич. реостата.

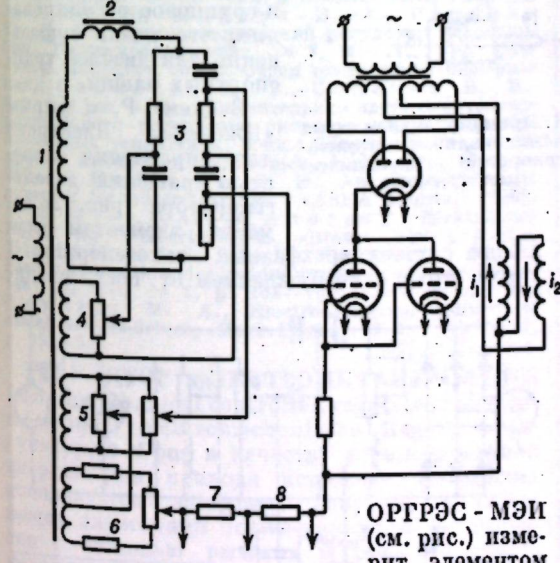
Л. В. Бокшицкий.

РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ (frequency controller; régulateur de fréquence; Frequenzregler) — отклонение частоты в энергосистемах возникает от избытка или недостатка активной мощности и устраняется соответствующим изменением мощности первичных двигателей (гидравлич. или паровых турбин). Для регулирования в существующих энергосистемах служат регуляторы скорости и частоты, причем участвуют в регулировании только выделенные для этого станции или агрегаты системы. Регуляторы скорости выполняют т. н. первичное регулирование. Они обычно настроены так, что имеют статич. хар-ки (статизм порядка 4—6%), чтобы обеспечить определенное распределение нагрузки между агрегатами, а Р. ч. являются астатич. и осуществляют астатич. коррекцию (т. н. вторичное регулирование), устраняя ошибку,

к-рая получается в результате статич. регулирования скорости регуляторами первичных двигателей. Сигнал от Р. ч. подается на устройство, изменяющее уставку регулятора скорости, т. н. механизм изменения числа оборотов. Такое разделение ф-ций Р. ч. и регулятора скорости в нек-рой степени условно; получают распространение электрогидравлические регуляторы скорости, в к-рых ф-ции регулятора скорости и Р. ч. объединены.

Чувствит. элементы Р. ч. бывают пропорционального действия и интегральные. Первые (наиболее распространенные) измеряют мгновенное значение частоты в системе, сравнивают его с заданным и вырабатывают сигнал, пропорцион. ошибке. Для выполнения их используются электрич. и механич. резонансные схемы. Интегральные чувствит. элементы выдают сигнал, пропорцион. интегралу отклонения частоты. Практически они измеряют отклонение «синхронного времени» (т. е. условного времени, измеряемого числом периодов перем. тока) от эталонного (астрономич.) времени. Усилит. элементы Р. ч. бывают электронными, ионными, магнитными, электромашинными, релейными.

Различают Р. ч. прерывистого и непрерывного действия. К Р. ч. прерывистого действия относится простой по конструкции и широко распространенный регулятор П. П. Острого, имеющий релейный усилитель и импульсный элемент, к-рый вырабатывает импульсы пост. высоты; их продолжительность пропорциональна отклонению частоты. Более совершенны Р. ч. непрерывного действия: камертонный регулятор ЭНИНа, электронный ОРГРЭС-МЭИ, магнитнофильтровый ЦНИЭЛ. Они не имеют движущихся и трущихся частей, но сложнее по конструкции. В электронном Р. ч.



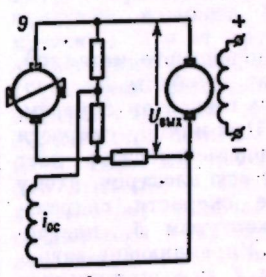
ОРГРЭС - МЭИ (см. рис.) измерит. элементом является активно-емкостный четырехполюсник *3*, к-рый имеет сравнительно низкий кпд; поэтому коэфф. усиления усилит. органа приходится делать большим. Для стабилизации входного напряжения и для сдвига фазы на 90° между трансформатором *1* и входом измерит. моста включен дроссель *2*. Для настройки моста и изменения уставки служат устройства *4*, *5*, *6*. Воздействия, обеспечивающие соответствующее распределение нагрузки между агрегатами, участвующими в регулировании частоты, вводятся суммирующими элементами *7*, *8*. Усилитель двухкаскадный состоит из четырех ламп 6Н7. Силовым блоком является электромашинный усилитель *9*. При норм. частоте напряжение на выходе измерит. схемы равно нулю. При этом токи в обмотках управления электромашинного усилителя в разные полупериоды будут одинаковы по величине, а напряжение на выходе регулятора равно нулю. При изменении частоты в ту или др. сторону ток в обмотках управления будет разным и на выходе регулятора появится напряжение соответствующего знака. Чувствительность регулятора (измерит., усилит. и силового органов) — 100 *в* на 0,1 *гц*.

Лит.: Соловьев И. И., Автоматизация энергетических систем, 2 изд., М.—Л., 1956; Москалев А. Г., Автоматическое регулирование частоты в энергосистемах, М.—Л., 1952; Острый П. П., Автоматическое регулирование частоты и активной мощности импульсными регуляторами, М.—Л., 1954.

Е. Н. Фомина.

РЕГУЛЯТОР ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ (extremal controller, optimizing peak-holding controller; régulateur extrêmal, régulateur à extrêmum; Extremalwertregler) — то же, что *оптимизатор* автоматич. одноканальный.

РЕГУЛЯТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (electrical regulator; regulateur électrique; elektrische Regeleinrichtung) — автоматич. регулятор, в к-ром для управления исполнит. органом используется электрич. энергия. Р. э. широко применяются для регулирования как электрич., так и неэлектрич. величин (темп-ра, давление, уровень, скорость, курс самолета или корабля и т. д.). Существует неск. способов классификации Р. э., из них основной — по физич. классу регулируемой (входной) величины (термоэлектрич., фотоэлектрич., гидроэлектрич., пневмоэлектрич., механоэлектрич. и др.). Если входная величина электрическая, Р. э. просто наз. электрическим. В подавляющем большинстве Р. э. для регулирования неэлектрич. величин чувствит. элементами (ЧЭ) являются преобразователи данного вида сигнала в электрич., поэтому остальные способы классификации равно относятся к Р. э. электрич. и неэлектрич. величин. Р. э. различают: а) по роду регулируемой (входной) электрич. величины — регуляторы напряжения, тока, частоты, активной мощности, реактивной мощности; б) по роду ЧЭ — электромагнитные (ЧЭ — электромагнит или магнитный усилитель), индукционные (ЧЭ использует поле вихревых токов), магнитоэлектрич. (ЧЭ — пост. магнит),



электронные (ЧЭ — электронная лампа или ПП прибор); в) по роду исполнит. элемента — электромеханич. (электродвигатель, перемещающий регулирующий орган), электронные (управляемый электронный или ионный прибор), реостатные (изменяемое сопротивление). На Р. э. распространяются также общие принципы классификации *регуляторов автоматических*. Наибольшее распространение получили Р. э. напряжения и частоты.

РЕГУЛЯТОР ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ [electrohydraulic controller (regulator, governor); régulateur électrohydraulique; elek-

trohydraulischer Regler] — регулятор, входные цепи к-рого выполнены на электрич. элементах, а исполнит. силовая часть — гидравлическая. Электрич. устройства наиболее удобны для дистанц. управления, суммирования большого числа входных сигналов и формирования сложного алгоритма или закона управления. С др. стороны, для многих объектов гидравлич. привод регулирующих органов — практически единственный приемлемый. Гидравлич. напорные установки позволяют очень просто аккумулировать энергию, а гидравлич. сервомоторы при сравнительно небольших размерах могут развивать большую мощность и создавать значит. перестановочные усилия. Обязат. звено Р. э.— гидравлич. золотник с электрич. управлением или иной преобразователь электрич. сигналов в гидравлические. Р. э. для регулирования скорости мощных гидравлич. и паровых турбин позволяют легко осуществить централизованное дистанц. управление активной мощностью электростанций, обеспечить автоматич. уравнивание нагрузок между отд. агрегатами станции, а также вводить управляющие воздействия от системных регуляторов.

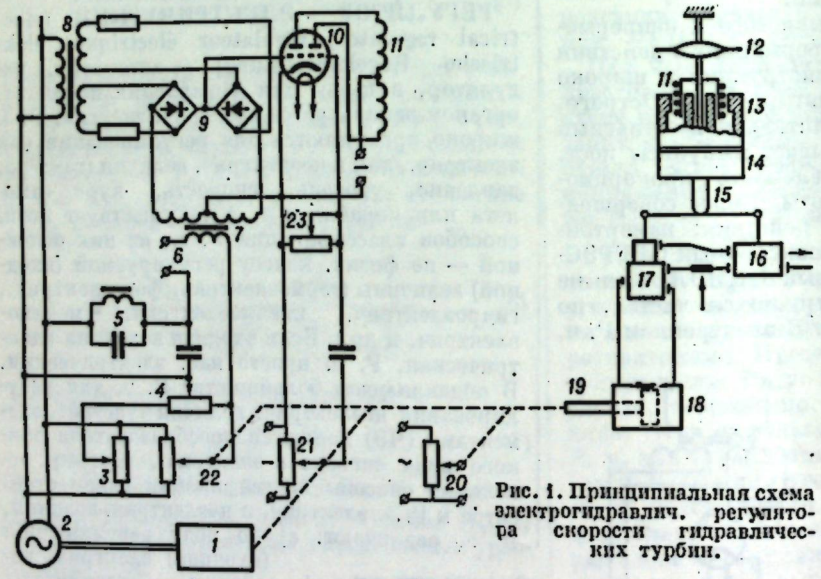


Рис. 1. Принципиальная схема электрогидравлич. регулятора скорости гидравлических турбин.

В Р. э. (рис. 1) Ленинградского металлич. завода от вала гидравлич. турбины *1* приводится в действие пендель-генератор *2* перем. тока с пост. магнитами. При номин. скорости вращения турбины пендель-генератор дает 110 *в* при 50 *гц* и питает всю электрич. схему регулятора. Отклонение скорости гидроагрегата измеряется *LC*-контуром *5*, настроенным на частоту 50 *гц*. Управляющие сигналы суммируются тр-ром *7* и выпрямляются фазочувствит. выпрямителем, состоящим из тр-ра опорного напряжения *8* и выпрямит. мостиков *9*. Выпрямл. и усиленный лампой *10* сигнал воздействует на подвижную катушку *11* электрогидравлич. исполнителя, расположенную в зазоре пост. магнита *13* и уравновешенную пружиной *12*. С катушкой связан золотничок гидроусилителя *14*, на выходе *15* к-рого развивается перестановочное усилие до 200 *кг*, приводящее в действие через золотники *16* и *17* главный сервомотор *18*, изменяющий открытие турбины. Со штоком *19* сервомотора механич. передачей соединены ползунки потенциометров жесткой обратной связи *22*, гибкой (изодромной) обратной связи *21* и автоматич. уравнивания нагрузок схемы группового регулирования *20*. Скорость вращения агрегата задают установочным потенциометром *3* и потенциометром *4* изменения статизма. Через вход *6* подается сигнал уравнивания нагрузок при групповом регулировании. Перем. сопротивление *23* позволяет в широких пределах менять постоянную времени цепи гибкой обратной связи. Статизм (см. *Регулятор статический*) агрегата (или всей станции) устанавливается от 0 до 15%. Схема группового регулирования автоматически уравнивает нагрузки между агрегатами с точностью до 2%. Электрич. вход Р. э. позволяет подавать управляющие воздействия от любых системных регуляторов.

Известно также применение Р. э. для управления дизель-электрич. приводом. Электрич. часть Р. э. позволяет достаточно просто согласовывать управление режимом дизеля и управление возбуждением электрич. генератора. С помощью Р. э. легко осуществить: автоматич. выбор наиболее экономичных режимов первичного двигателя, функцион. ограничение макс. подачи топлива в зависимости от скорости вращения дизеля, воздействие на возбуждение генератора для согласования электрич. мощности со свободной мощностью дизеля, динамич. воздействие на дизель по нагрузке для улучшения переходной хар-ки регулирования скорости. Кроме того, при наличии Р. э. проще выполняются дистанц. управление и групповое регулирование, что очень существенно для дизелей транспортных машин.

В схеме Р. э. фирмы «Дженерал Электрик» для управления скоростью вращения дизель-генератора (рис. 2) измерит. элементом регулятора служит трехфазный тахогенератор *1* перем. тока с возбуждением от пост. магнитов. Исполнит. органом является гидравлич. сервомотор *2*, к-рый изменяет подачу топлива. Золотник *3* сервомотора перемещается электромагнитом с двумя катушками *4* и *5*, тяговое усилие к-рых уравновешивается пружиной *6*. Заданная скорость вращения дизеля устанавливается реостатом *7*. Катушка *5* предназначена для стабилизации системы управления. С помощью соответствующих конденсаторов введены гибкие обратные связи по ускорению дизеля, по напряжению возбуждения генератора *8* и по перемещению штока сервомотора *2*. Последняя связь выполнена посредством делителя напряжения *9*, к-рый механически связан с сервомотором. Др. перемещаемый сервомотором реостат *10* меняет ток в цепи обмотки управления *11* электромашинного усилителя *12*, являющегося возбудителем генератора *8*. На рис. 2 для упрощения не показан механизм функцион. ограничения подачи топлива. Этот узел содержит еще один сервомотор с электрически управляемым золотником и профилированным кулачком. Связь между обоими сервомоторами сделана так, что, достигнув ограничителя, сервомотор *2* продолжает двигаться дальше, не увеличивая подачи топлива. При этом перемещается движок реостата *10*, и возбуждение генератора уменьшается до тех пор, пока не восстановится заданная скорость вращения дизеля. Р. э. обеспечивает диапазон регулирования скорости дизель-генератора 1 : 5. Зона нечувствительности порядка 0,05%. При сбросах нагрузки перерегулирование ок. 5%, время затухания переходного процесса ок. 7 сек.

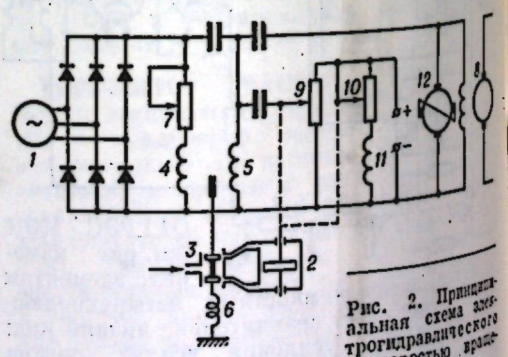
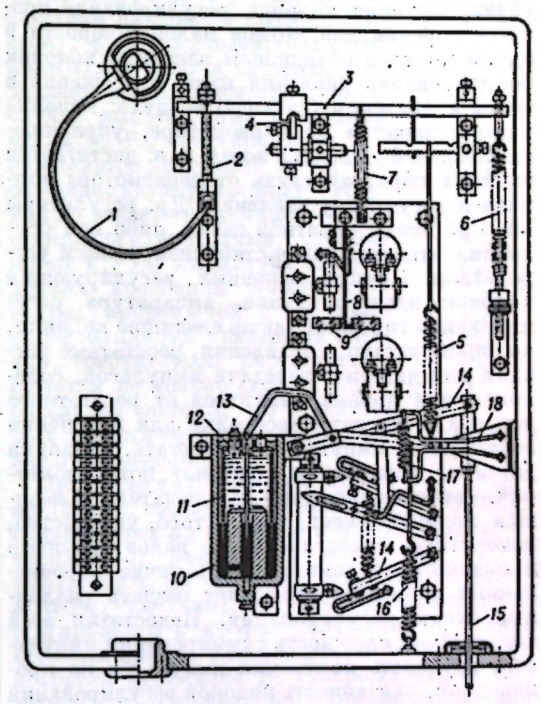


Рис. 2. Принципиальная схема электрогидравлического регулятора для управления скоростью вращения дизель-генератора.

Лит.: Автоматическое регулирование частоты и активной мощности в энергосистемах. Сб. переводных ст., под ред. Л. Д. Стерниисона и Н. В. Паутина, вып. 3, М.—Л., 1961; Камкамидзе К. Н., Электрогидравлический первичный регулятор агрегатов ведущих станций для регулирования частоты энергосистем, «Изв. Высших учебных заведений. Энергетика», 1959, № 9, с. 16—23; Паутин Н. В., Иванов В. В., Групповой электрогидравлический регулятор, в сб.: Технические средства автоматизации и телемеханизации, вып. 2, М., 1960, с. 35—59 (Передовой научно-техн. и произв. опыт. Тема 26, № А—60—4/2); Марбух В. А., Гаркави Ю. Е., Электрогидравлический регулятор гидротурбин. Гидротурбостроение № 8, М.—Л., 1961; (Ленингр. металлич. завод. Отдел технической информации); Сахманов А. В., Семенов В. В., Степура Э. Ф., Выявительная часть электрогидравлического регулятора скорости гидротурбин на магнитных усилителях, в кн.: Сборник работ по вопросам электромеханики, вып. 4, М.—Л., 1960, с. 243—48; Hedström S. E., An electrohydraulic governor for water-turbines, «ASEA Journal», 1952, v. 25, № 4—5, p. 44—56; Andres E., Elektrischer Regler für Wasserturbinen, «Brown Boveri Mitt.», 1958, Bd 45, № 6, S. 262—72; Percival N. P., Electrohydraulic water turbine governor, «Electr. Rev.», 1961, v. 168, № 3, p. 105—109; Lewis C. B., Edwards M. A., Electrohydraulic control of diesel-electric drives, «Mech. Engng», 1946, v. 68, № 11, p. 953—55.

В. В. Семенов.

РЕГУЛЯТОР ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ (electromechanical controller; regulateur électromécanique; elektromechanische Regler) — регулятор, в к-ром в качестве вспомогательной энергии для привода исполнит. механизма используется электрич. энергия, а связи между элементами осуществляются механически с помощью рычагов и тяг. Исполнит. механизмами могут быть электромагниты, индукц. элементы, электродвигатели и др. Иногда понятие «Р. э.» сужают, относя к нему лишь те регуляторы, у к-рых исполнит. механизмом является электродвигатель, напр. регуляторы тепловых процессов (давления, уровня, горения и др.) на электростанциях. В таких Р. э. чувствит. элемент, преобразоват. элементы, обратные связи и контакты, управляющие включением пускового контактора, объединены в одном корпусе, наз. колонкой регулирования. Колонка располагается на редукторе электрич. сервомотора. Сервомотор имеет дополнит. дистанц. управление с помощью ключа или кнопок.



Колонка регулирования давления: *1* — манометрич. трубчатая пружинка; *2* — тяга; *3* — основной рычаг; *4* — призматич. опора; *5* — пружина обратной связи; *6* — пружина настройки; *7* — стяжка; *8* — электрозолотник; *9* — неподвижные контакты; *10* — корпус изодрома, заполненный снизу ртутью, сверху — маслом; *11* — колокол; *12* — дроссель; *13* — рычаг изодрома; *14* — выключающий рычаг; *15* — выключающая тяга сервомотора; *16* — пружина изодрома; *17* и *18* — пружина и рычаги для преодоления сил трения в изодроме.

На рис. в качестве примера изображена колонка регулирования давления. Ее механич. измерит. система устроена по силовому принципу — сравнение усилий, передаваемых от чувствит. элемента (манометрич. трубчатой пружины *1*) и от пружин обратной связи *5* и настройки *6* (задающего устройства). При нарушении равновесия угловое смещение основного рычага через стяжку *7* вызывает перемещение электрозолотника *8*, к-рый замыкает один из неподвижных контактов *9*. Это приводит к срабатыванию реверсивного контактора, включающего электродвигатель сервомотора в нужном направлении. Обратная связь — изодромная. Ртуть в корпусе изодрома служит гидравлич. затвором, исключающим возможность перетекания масла помимо дросселя *12*. Колокол *11* подвешен к рычагу изодрома *13*, на др. конец к-рого действуют пружины *5* и *16*. Точка опоры рычага *13* закреплена на выключающем рычаге *14*, связанном с выключающей тягой сервомотора *15*. В первый момент после включения сервомотора колокол остается практически неподвижным, а рычаг изодрома изменяет натяг пружин *6* и *16*. Под действием разности усилий пружин на колоколе создается перепад давлений, и масло начинает перетекать через дроссель до тех пор, пока рычаг изодрома, а

вместе с ним и пружины не вернутся в исходное положение.

Существуют конструктивные разновидности подобных регуляторов, разработанные применительно к различным объектам. Напр., в электромеханич. колонке регулирования процесса горения для котлов малой мощности в одном корпусе объединены элементы колонок регулирования давления пара, разрежения в топке и давления (расхода) воздуха; колонка устанавливается на сервомоторе, управляющем подачей топлива в котел, т. о. достигается жесткая обратная связь от сервомотора топлива к регулятору давления. Др. регуляторы либо не имеют обратной связи, либо она осуществляется пневматич.стабилизирующим устройством. Помимо основных регулирующих колонок, электромеханич. аппаратура регулирования содержит также следящие колонки, колонки дистанц. управления, реостатные датчики для дистанц. передачи импульсов, соленоиды для приема импульсов от реостатного датчика и реостаты настройки для изменения воздействия импульсного реостата. Колонки дистанц. управления содержат потенциометрич. датчик и концевые выключатели. Следящая колонка имеет, кроме того, устройство, измеряющее рассогласование валов ведущего и ведомого сервомоторов. Наличие перечисленных элементов позволяет создать различные схемы регулирования. Недостатки этой аппаратуры: сложность суммирования импульсов, трудность получения импульсов по производной, связанность колонок регулирования с сервомоторами и сложность перестройки параметров настройки регуляторов. Поэтому Р. э. данного типа применяются лишь при автоматизации сравнительно простых объектов (мельниц, деаэраторов, редукционно-охладит. установок и т. п.).

Лит.: Добкин В. М., Дулесов Е. М., Фельдман Е. П., Автоматическое регулирование тепловых процессов на электростанциях, М.—Л., 1959.

В. И. Сенькин.

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ (reservation, redundancy; mettre en réserve; Reservierung). 1) Р.— см. *Надежность*. 2) Р. структурное — введение в структуру устройства для повышения надежности его работы дополнит.числа элементов и связей по сравнению с минимально необходимым для выполнения заданных ф-ций в данных условиях работы. Известны различные методы структурного Р. 1. Метод повторения. Строят новую структуру, представляющую собой, в зависимости от преобладания вида повреждений устройства, параллельное или последоват. соединение неск. однотипных устройств. Иногда метод повторения применяют не к устройству в целом, а к отдельным его блокам. 2. Метод гамакообразных структур. В случае, если оба вида повреждений (обрыв, КЗ) практически равновероятны, можно увеличить надежность устройства путем замены его новой гамакообразной структурой (рис. 1, *а*, *б*). Так же как и метод повторения, метод гамаков можно применять и к отдельным блокам устройства. 3. Метод голосования заключается в том, что все устройство (или его блоки) заменяют одинаковыми устройствами (блоками), на входы к-рых подают одинаковые входные воздействия. Выходы этих устройств (блоков) соединены со входами спец. элемента «смесителя», выход к-рого повторяет значения большинства его входов (рис. 2, *а*). Метод голосования может быть применен также и к смесителю (рис. 2, *б*). 4. Метод минимальной избыточности. Структуру релейного устройства можно представить в виде соединения двух блоков: логич. блока и блока задержки (рис. 3). В зависимости от степени надежности задержек и логич. элементов осуществляют либо Р. структуры логич. блока, либо структуры блока задержек, либо обеих структур одновременно. Метод минимальной избыточности может быть применен и для Р. любого из этих двух блоков. При Р. блока задержек набор состояний внутренних элементов рассматривается как нек-рое слово в теоретико-информац. смысле. Иными словами, множеству состояний внутренних элементов ставится в соответствие множество слов нек-рого «неизбыточного» кода. Поэтому отказ внутреннего элемента интерпретируется как искажение буквы слова этого кода. Следуя идее построения корректирующего кода, можно перейти от «неизбыточного» кода к «минимально избыточному» словам последнего поставить в соответствие набор состояний большего числа внутренних элементов, и т. о. получить новую таблицу состояний. По ней известными в теории релейных устройств методами определяется структура устройства. Естественно, работа последнего не чувствительна к отказам отд. элементов, заранее предусмотренных при выборе корректирующего кода. При Р. логич. блока набор значений выходных ф-ций рассматривается как нек-рое информационное слово «неизбыточного» кода. Поскольку повреждение к.-л. цепи приводит к изменениям значения одной или неск. выходных ф-ций, т. е. к искажению одной или неск. букв в информац. слове, то логич. блок, реализующий заданные ф-ции, можно заменить другим, набор значений выходных ф-ций к-рого будут представлять собой слова нек-рого «минимально избыточного» корректирующего кода. Для того чтобы из увеличенного набора выходных значений получить правильные (с нек-рой вероятностью) значения основного набора, необходимо использовать спец. устройства-

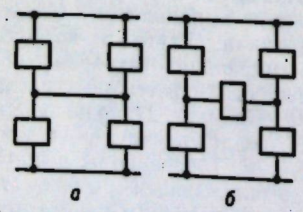


Рис. 1.

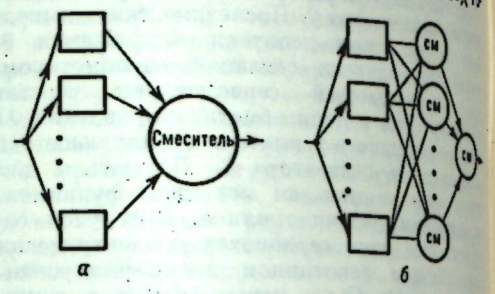


Рис. 2.

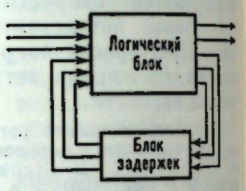


Рис. 3.

корректор. При этом предполагается, что корректор будет выполнен из элементов, более надежных, чем элементы логич. блока. Выход из строя к.-л. элемента устройства (одного или неск.) уменьшает величину надежности функционирования, даже если ввиду наличия структурного Р. в течение нек-рого времени и не влияет на выполнение устройством заранее заданных условий. Поэтому при использовании любого из упомянутых методов необходимо предусмотреть в устройстве сигнализацию повреждения элементов или блоков.

Лит.: 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; Мур Э. Ф., Шеннон К. Э., Надежные схемы из ненадежных реле, в кн.: Кибернетический сборник, [№] 1, М., 1960; Гаврилов М. А., Структурная избыточность и надежность работы релейных устройств, в кн.: Труды 1-го Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т.] 3, М., 1961; Закревский А. Д., Метод синтеза функционально устойчивых автоматов, «ДАН СССР», 1959, т. 129, № 4; Armstrong D. B., A general method of applying error correction to synchronous digital system, «Bell. System Techn. J.», 1961, v. 40, № 2; Гаврилов М. А., Сигнализация и прогнозирование отказов в дискретных управляющих устройствах со структурной избыточностью. Доклад на II Международном конгрессе Международной федерации по автоматическому управлению, № 151, М., 1963.

В. М. Остиану.

РЕЗИСТИВНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ (resistance-coupled amplifier; amplificateur à résistances; RC-Verstärker) — см. *Усилитель на сопротивлениях*.

РЕЗНАТРОН (resnatron, high-power tetrode; resnatron; Resnatron) — лампа для генерирования и усиления мощных колебаний на СВЧ. Р. представляет собой мощный *лучевой тетрод*, в к-ром электроды конструктивно объединены с объемными резонаторами, образующими входную и выходную колебат. системы усилителя СВЧ. Р. выполняются разборными с непрерывной откачкой и водяным охлаждением (см. *Лампа разборная электронная*). В диапазоне дециметровых волн мощность Р. измеряется сотнями *квт*.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960.

РЕЗОНАНС (resonance; résonance; Resonanz) — явление резкого возрастания амплитуд установившихся вынужденных колебаний в колебательной системе, наступающее при приближении частоты p гармонического внешнего воздействия к частоте ω_i одного из нормальных колебаний, свойственных данной колебат. системе. В нелинейных системах явления, сходные с Р., могут наступать также и при др. соотношениях между частотой внешнего воздействия и собственными частотами системы, напр. при автопараметрич. возбуждении колебаний. Чтобы выяснить основные черты явления Р. и его количественные хар-ки, необходимо проследить за изменением вблизи Р. амплитуды и фазы вынужденных колебаний (при неизменной амплитуде внешнего воздействия) в зависимости от соотношения между частотой внешнего воздействия и частотами нормальных колебаний той системы, в к-рой возбуждаются вынужденные колебания.

Наиболее простой характер задача о Р. приобретает в том случае, если 1) система, осуществляющая внешнее воздействие, не изменяет свойств колебат. системы, в к-рой рассматривается явление Р., и 2) амплитуда, частота и фаза внешнего воздействия не зависят от состояния колебат. системы. Эти условия должны быть выполнены для того, чтобы задачу о Р. можно было рассматривать как задачу о вынужденных колебаниях в данной колебат. системе (в противном случае это была бы задача не о внешнем воздействии на данную колебат. систему, а о взаимодействии этой колебат. системы и системы, создающей внешнее воздействие). В случае вынужденных колебаний вдали от Р., где амплитуда вынужденных колебаний мала, соблюдение двух указанных условий не связано с какими-либо жесткими ограничениями. Вблизи же от Р., где амплитуда вынужденных колебаний может быть велика, вопрос о том, в какой мере выполняются указанные условия, требует спец. рассмотрения с учетом не только свойств колебательной системы, но и некоторых свойств системы, создающей внешнее воздействие.

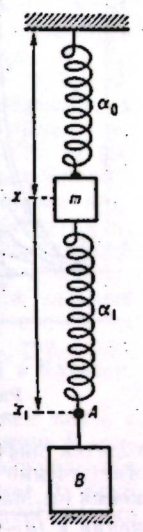


Рис. 1.

Механическая колебат. система (рис.1), состоящая из массы m, подвешенной на пружине с независящим от растяжения коэфф. упругости α_0 (необходимое условие линейности колебат. системы), связана при помощи второй пружины с коэфф. упругости α_1 (также независящим от растяжения) с точкой A некоторого механизма B, совершающей в вертикальном направлении гармоническое движение с амплитудой X_1 и угловой частотой p. Тогда сила, с к-рой пружина действует на массу m, равна $F_1=\alpha_1(x-x_1)$, где $x_1=X_1\cos pt$ — смещение точки A, а x — смещение массы m. Уравнение движения массы при этом имеет вид:

$$m\ddot{x}+b\dot{x}+\alpha_0 x=\alpha_1(x_1-x), \qquad (1)$$

где b — коэфф. силы трения, испытываемой массой при движении (предположение, что сила трения пропорциональна скорости, также необходимо для того, чтобы система была линейна). Из (1) получаем

$$m\ddot{x}+b\dot{x}+(\alpha_0+\alpha_1)x=\alpha_1 x_1. \qquad (2)$$

Отсюда видно, что механизм, создающий внешнее воздействие, изменяет свойства колебат. системы — величину коэфф. упругой силы (к-рый оказывается равным $\alpha_0+\alpha_1$, а не α_0, как в случае отсутствия механизма, создающего внешнее воздействие), т. е. нарушается условие 1, указанное выше. Однако, выбрав $\alpha_1 \ll \alpha_0$, мы обеспечим выполнение этого условия. Вместе с тем при достаточно малом α_1 мы всегда можем обеспечить также и выполнение условия 2, если при этом сила F_1, действующая на точку A, будет столь мала, что не будет изменять характера движения этой точки. Выполнив эти условия, мы можем написать уравнение (2) в таком виде:

$$m\ddot{x}+b\dot{x}+\alpha_0 x=F_{10}\cos pt, \qquad (3)$$

где F_{10} постоянна. Установившееся решение уравнения (3) таково:

$$x=X_0\cos(pt+\varphi)=$$
$$=\frac{F_{10}}{\sqrt{(\alpha_0-mp^2)^2+b^2p^2}}\cos(pt+\varphi), \qquad (4)$$

причем

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{bp}{\alpha_0-mp^2}.$$

Зависимость амплитуды вынужденных колебаний X_0 и угла сдвига фазы φ от соотношения между угловыми частотами $\omega_0=\sqrt{\alpha_0/m}$ (собственных колебаний) и p (внешнего воздействия) при разных значениях b удобно изображать графически в виде кривых Р., соответственно амплитудных (рис. 2) и фазовых (рис. 3). Под амплитудой вынужденных колебаний в случае механических колебаний обычно понимают амплитуду смещений (именно для этой амплитуды построены кривые Р. на рис. 2). Амплитуды скоростей V_0 и ускорений A находятся дифференцированием по времени, соответственно однократным и двукратным, выражения (4). Максимум X_0 наступает, когда выражение $\sqrt{(\alpha-mp^2)^2+b^2p^2}$ проходит через минимум; при малых b это происходит приблизительно при $p^2=\alpha_0/m=\omega_0^2$. Максимумы для V_0 и A_0 несколько смещены друг от друга и от максимума для X_0 в сторону более высоких частот p (смещены тем меньше, чем меньше b). Вместе с тем, чем меньше b, тем больших значений достигают эти максимумы, тем резче выражено явление Р.

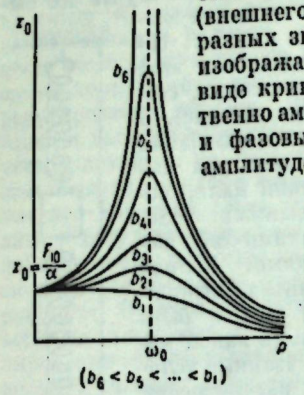


Рис. 2.

Истолкование явления Р. с энергетич. точки зрения вытекает из сопоставления амплитудных и фазовых кривых Р. Как видно из рис. 3, по мере приближения p к ω_0 сдвиг фаз φ между внешней силой и смещением массы m приближается к $\pi/2$, а значит сдвиг фаз между внешней силой и скоростью массы m приближается к нулю. При этом мощность Р., отдаваемая внешней силой колебат. системе, возрастает, с одной стороны, вследствие уменьшения сдвига фаз между силой и скоростью точки приложения силы (т. е. массы m), а с другой — вследствие увеличения амплитуды скорости массы m. При установившихся вынужденных колебаниях вся отдаваемая мощность N идет на пополнение потерь в колебат. системе. Поэтому, чем больше мощность N, поступающая в систему, тем больше амплитуда установившихся вынужденных колебаний в системе; т. о. Р. наступает в результате того, что создаются условия, при к-рых заданная внешняя сила отдает максимальную мощность в колебат. систему.

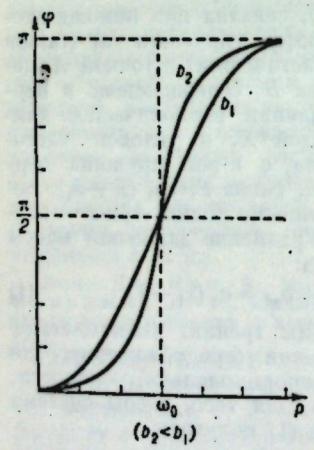


Рис. 3.

Рассмотрение явления Р. в электрич. колебат. системах с одной степенью свободы с учетом свойств источников, задающих внешнее воздействие на колебательную систему, приводит к двум предельным случаям, в к-рых явление Р. протекает по-разному. На рис. 4 и 5 изображены две конкретные схемы введения внешнего воздействия (включения источника эдс) в колебат. контур. В обоих случаях внутреннее

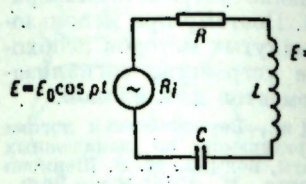


Рис. 4.

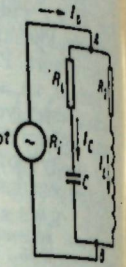


Рис. 5.

сопротивление R_i источника эдс существенно и притом по-разному влияет на свойства колебательного контура, а именно на его затухание. С ростом R_i при последоват. включении источника эдс (рис. 4) затухание контура растет, а при параллельном включении источника — уменьшается. Поэтому, чтобы было выполнено приведенное выше условие 1), т. е., чтобы свойства источника не влияли на свойства колебат. контура, нужно рассматривать два предельных случая, полагая в схеме рис. 4 $R_i=0$, а в схеме рис. 5 $R_i=\infty$. Тогда в первом случае условие 2 также оказывается выполненным, т. к. напряжение на зажимах источника равно эдс независимо от параметров контура.

Первый случай описывается уравнением

$$L\ddot{q}+R\dot{q}+\frac{q}{C}=E_0\cos pt \qquad (3)$$

(q — заряд на обкладках конденсатора C) совершенно аналогичным уравнению (3) и, следовательно, его установившееся решение получается из решения (4) путем замены коэфф. уравнения (3) соответствующими коэфф. уравнения (5). Амплитудные и фазовые кривые Р. для переменной q имеют такой же вид, как изображенные на рис. 2 и 3 кривые Р. для переменной x. Явление Р. в обоих случаях протекает одинаково.

Во втором случае, полагая $R_i=\infty$, мы также обеспечиваем выполнение условия 2, потому что отдаваемый источником ток не зависит от свойств контура (полным сопротивлением к-рого по сравнению с $R_i=\infty$ всегда можно пренебречь). В общей цепи течет ток с постоянной амплитудой I_0, зависящей только от свойств источника эдс (в таких случаях источник эдс принято наз. «источником тока»).

Тогда по первому закону Кирхгоффа

$$I_C\cos pt=I_C\cos(pt+\varphi_C)+I_L\cos(pt+\varphi_L), \qquad (6)$$

где I_C и φ_C, I_L и φ_L — соответственно амплитуды и начальные фазы токов, текущих в емкостной и индуктивной ветвях колебат. контура. Когда частота внешнего воздействия p близка к собственной частоте контура $\omega_0=1/\sqrt{LC}$, то сопротивления емкостной $X_C=1/pC$ и индуктивной $X_L=pL$ ветвей контура близки по величине и, следовательно, $I_C\approx I_L$. С др. стороны, токи в индуктивной и емкостной ветвях сдвинуты по фазе относительно напряжения между точками A и B (разветвления токов) в противоположные стороны на углы, тем более близкие к $\pm\pi/2$, чем меньше R_1 и R_2, и при малых R_1 и R_2 (малом затухании контура)

$\varphi_L-\varphi_C\approx\pi$. В таком случае из (6) следует, что $I_0\approx I_C-I_L$. Но если, с одной стороны, $I_C\approx I_L$, а с другой $I_C-I_L\approx I_0$, то $I_C\approx I_L\gg I_0$. Т. о., во втором случае при заданной амплитуде тока I_0 наступает резкое увеличение амплитуд токов I_C и I_L при приближении p к ω_0; вблизи $p=\omega_0$ I_C и I_L достигают максимума; значения максимумов I_C и I_L тем больше, чем меньше сопротивления R_1 и R_2. Вместе с I_C и I_L достигает максимума и напряжение между точками A и B.

Первый случай наз. последовательным Р., а второй — параллельным Р. Основное различие между ними (помимо того, что в первом случае задана амплитуда питающей контур эдс, а во втором — амплитуда питающего контур тока) состоит в том, что при последовательном Р. приблизительно равны по величине и противоположны по фазе напряжение на конденсаторе и эдс на катушке, вследствие чего амплитуды напряжения и эдс порознь оказываются гораздо больше амплитуды эдс, создаваемой источником; при параллельном же Р. приблизительно равны по величине и противоположны по фазе токи в индуктивной и емкостной ветвях, вследствие чего амплитуды этих токов оказываются гораздо больше амплитуды тока, отдаваемого источником. Поэтому последовательный и параллельный Р. называют соответственно Р. напряжений и Р. токов.

Р. в связанных колебат. системах сохраняет основные черты явления Р. в системах с одной степенью свободы, но протекать может существенно по-иному по двум причинам: 1) связанным системам свойственно не менее чем два нормальных колебания, вообще говоря, с различными нормальными частотами; 2) в связанных колебат. системах возможно одновременное внешнее воздействие на неск. парц. систем, образующих связанную колебат. систему. Мы дальше для упрощения ограничимся рассмотрением связанной колебат. системы без потерь, обладающей двумя степенями свободы. В общем случае на каждую из двух координат может действовать гармонич. внешняя сила, причем амплитуды внешней силы, действующей на две разные координаты, могут быть различны.

Уравнения Лагранжа в этом случае могут быть записаны в таком виде:

$$\begin{aligned} b_{11}\ddot{q}_1+b_{12}\ddot{q}_2+a_{11}q_1+a_{12}q_2&=Q_1\cos pt \\ b_{12}\ddot{q}_2+b_{22}\ddot{q}_2+a_{12}q_1+a_{22}q_2&=Q_2\cos pt, \end{aligned} \qquad (7)$$

где Q_1 и Q_2 — амплитуды внешней силы, действующей соответственно на координаты q_1 и q_2. Подставляя в (7) решения $q_1=X_1\cos pt$ и $q_2=X_2\cos pt$, получаем систему алгебраич. уравнений для X_1 и X_2:

$$\begin{aligned} (a_{11}-b_{11}p^2)X_1+(a_{12}-b_{12}p^2)X_2&=Q_1 \\ (a_{12}-b_{12}p^2)X_1+(a_{22}-b_{22}p^2)X_2&=Q_2. \end{aligned} \qquad (8)$$

Не приводя решений этих громоздких ур-ний, сформулируем нек-рые вытекающие из этих решений результаты. Прежде всего, из этих уравнений следует, что когда p приближается к одной из нормальных частот системы (ω_1 или ω_2), то амплитуды вынужденных колебаний (X_1 и X_2) беспредельно возрастают (если учесть затухание связанной колебат. системы, то амплитуды возрастали бы не беспредельно, а до нек-рого максимума, тем большего, чем меньше затухание). Следовательно, Р. в связанной колебат. системе наступает при приближении частоты гармонич. внешней силы к каждой из нормальных частот системы. Однако Р. не наступает в одном спец. случае, когда между амплитудами внешней силы (Q_1 и Q_2) и вынужденных колебаний (X_1 и X_2) выполняется соотношение $Q_1X_1+Q_2X_2=0$. Иначе говоря, для каждого из нормальных колебаний можно так подобрать распределение амплитуд внешней силы, действующей на обе координаты, что, несмотря на совпадение частоты внешней силы с частотой данного нормального колебания, Р. не наступит. Т. о., в отличие от системы с одной степенью свободы, в связанных системах Р. может не наступить, несмотря на то, что частота внешней силы совпадает с одной из нормальных частот системы, т. к. создаются условия, при к-рых внешняя сила не отдает мощности в колебат. систему.

При совпадении частоты внешней силы с одной из парциальных частот системы Р. никогда не наступает, но может наблюдаться явление, в нек-ром смысле обратное Р. Если гармонич. внешняя сила действует только на одну из двух, напр. первую парциальную систему, но частота этой силы совпадает со второй парциальной частотой, то, несмотря на действие внешней силы на первую парциальную систему, вынужденные колебания в ней не возникают (при условии, что в системе нет потерь; при наличии небольших потерь вынужденные колебания возникнут, но амплитуда их будет мала).

Этот эффект «гашения колебаний» применяется в механич. успокоителях и электрич. фильтрах.

В распределенных колебательных системах Р. также наступает, вообще говоря, при приближении частоты гармонич. внешнего воздействия к одной из частот норм. колебаний системы, число к-рых бесконечно велико. В простейшем случае однородной распределенной колебат. системы все нормальные частоты кратны наименьшей из нормальных частот ω_1 («основному тону»), т. е. k-я нормальная частота $\omega_k=k\omega_1$, где $k=1, 2, 3\ldots$

Однако, вследствие того, что при повышении частоты колебаний потери энергии в колебат. системе, как правило, растут, явление Р. с ростом k бывает выражено все слабее и слабее. Пока k не очень велико, явление Р. в распределенной колебат. системе сопровождается образованием системы стоячих волн, частота к-рых ω_k совпадает с частотой гармонич. внешнего воздействия p; при повышении частоты p последовательно наблюдается Р. на все более и более высоких частотах и последовательно возникают (и исчезают) системы стоячих волн все меньшей и меньшей длины (пока k не слишком велико и потери в системе не приводят к «замытию» стоячих волн). Однако при непрерывном повышении частоты гармонич. внешней силы p Р. не всегда наступает на всех подряд нормальных частотах системы. Для наступления Р. необходимо, чтобы мощность, отдаваемая внешней силой в колебат. систему, принимала максимальное значение. В системе с одной степенью свободы это условие автоматически выполняется при совпадении частоты гармонич. внешнего воздействия с частотой собственных колебаний системы. Но уже в системе

с двумя степенями свободы, как указывалось, внешнее воздействие может быть распределено по двум координатам таким образом, что, несмотря на совпадение частот, Р. не наступает. В распределенной колебат. системе встречаются случаи, когда, несмотря на совпадение частоты внешнего воздействия с какой-либо из нормальных частот системы, Р. в системе не наступает. Это происходит в тех случаях, когда источник внешней силы включен в колебат. систему т. о., что он не отдает мощности в систему. При Р. на данной нормальной частоте в распределенной колебат. системе должны возникнуть стоячие волны с вполне определенным расположением узлов и пучностей. Положим, напр., что в электрич. распределенную систему (двухпроводную линию) источник эдс включен в том месте, где для того нормального колебания, на к-ром мог бы возникнуть Р., должен образоваться узел стоячей волны тока, т. е. где амплитуда тока равна нулю. В таком случае Р. не возникнет, вследствие того, что не создающий тока источник эдс не будет отдавать в колебат. систему мощности. Из сопоставления подобных конкретных примеров с условиями образования стоячих волн можно сделать общее заключение о том, что условия, при к-рых может наблюдаться явление Р. в какой-либо распределенной колебат. системе, тождественны с условиями, при к-рых в такой же системе возможно образование системы стоячих волн.

В случае негармонич. внешней силы явление Р. в линейных колебат. системах (рассмотрением к-рых мы ограничились) представляет собой суперпозицию тех резонансных явлений, к-рые возникают в системе под действием каждой гармонич. составляющей спектра негармонич. внешней силы. Если при данных условиях только одна гармонич. составляющая внешнего воздействия может вызвать явление Р., то оно будет протекать так же, как если бы вместо всего внешнего воздействия действовала бы только одна эта гармонич. составляющая. В случае же, если при данных условиях неск. гармонич. составляющих могут вызвать в системе одновременно неск. резонансных явлений, напр. негармоническая внешняя сила действует на распределенную колебат. систему, причем гармоники внешней силы совпадают с нормальными частотами системы (что возможно, если распределенная система однородна), то в системе может наблюдаться одновременно Р. на неск. частотах, и для определения характера явления Р. в системе нужно учесть все резонансные эффекты, возникающие одновременно, в частности в распределенной колебат. системе могут одновременно образоваться неск. систем стоячих волн, длины к-рых находятся в простых кратных отношениях.

Лит.: Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.—Л., 1950; Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959; Тимошенко С. П., Теория колебаний в инженерном деле, пер. с англ., 3 изд., Л.—М., 1934; Мандельштам Л. И., Полное собрание трудов, т. 4 — Лекции по колебаниям, М., 1955, ч. 1, лекции 15, 16, 26, 27, 30, 31.

С. Э. Хайкин.

РЕЗОНАНС ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ (parametric resonance; résonance paramètrique; parametrische Resonanz) — возбуждение колебаний в динамич. системе путем периодич. изменения значения к.-л. из ее параметров. Возбуждение колебат. систем возможно не только при непосредств. воздействии внешней вынуждающей силы, но и при периодич. изменении реактивных параметров системы (параметрич. возбуждение). Напр., колебания маятника можно поддерживать периодич. изменением его длины, колебания электрич. контура — периодич. изменением емкости или индуктивности. При раздвигании пластин конденсатора в электрич. контуре в момент максимума напряжения и сдвигании их при напряжении, равном нулю, совершается работа, к-рая увеличивает энергию колебаний. Если частота собств. колебаний системы с одной степенью свободы f_0 и частота изменения реактивного параметра f приближенно удовлетворяют равенству $2f_0/f = N$, где $N = 1, 2, 3 \ldots$, то амплитуда колебаний возрастает во времени. При наличии трения (потерь) в колебат. системе для возникновения Р. п. необходима достаточная глубина модуляции ε реактивного параметра. Чем больше ε, тем шире пределы изменения частоты f, внутри к-рых возникает Р. п. Наиболее широка область Р. п. при $f \approx f_0/2$. При уменьшении потерь (увеличении добротности) в колебат. системе требуется меньшая глубина модуляции ε для возникновения Р. п. Колебания со стационарной (установившейся) амплитудой возникают при Р. п., когда реактивные параметры или потери в системе нелинейно зависят от амплитуды колебаний. В линейных системах при Р. п. амплитуда колебаний может возрастать неограниченно (вплоть до разрушения системы). Параметрич. резонанс может возникать и в системах с неск. степенями свободы. Напр., в двух электрич. контурах, связанных периодически изменяющейся емкостью, Р. п. может возникнуть в том случае, если частота изменения емкости приближенно равна сумме или разности собственных частот контуров (см. *Параметрический усилитель*). На явлении Р. п. основана работа *параметронов*. В качестве периодически изменяющегося параметра в них используется емкость между двумя слоями германия с электронной и дырочной проводимостью (см. *Диод параметрический*).

Лит.: Мандельштам Л. И. и Папалекси Н. Д., О параметрическом возбуждении электрических колебаний, в кн.: Мандельштам Л. И., Полн. собр. трудов, т. 2, Л., 1947; Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.—Л., 1950.

В. В. Брагинский.

РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА (resonance frequency; fréquence résonante; Resonanzfrequenz) — частота периодич. внешнего воздействия, при к-рой происходит возрастание амплитуды вынужденных колебаний и возникает *резонанс*. В случае линейной колебат. системы значения Р. ч. равны значениям ее собств. частот.

Б. А. Бахтин.

РЕЗОНАТОР КВАРЦЕВЫЙ (quartz resonator; résonateur à quartz; Quarzresonator) — электромеханич. резонансная система, состоящая из вырезанной особым образом пластинки кристалла кварца, укрепленной между электродами механич. держателя. Р. к. применяются для стабилизации частоты *генераторов задающих* радиопередатчиков, гетеродинов, эталонов частоты и времени, а также в *фильтрах кварцевых*, обладающих очень высокой избирательностью и стабильностью параметров. По химич. составу кварц представляет собой двуокись кремния SiO_2. Весовое содержание элементов в двуокиси кремния составляет Si 46,7%, O_2 53,3%. Молекулярный вес соединения равен 60,06. С физич. точки зрения кристалл кварца является однородным анизотропным телом. Анизотропия кварца проявляется в том, что бо́льшая часть его физич. св-в зависит от направления. Кварц — один из наиболее твердых минералов: по десятибалльной шкале твердости он стоит на седьмом месте. При темп-ре ниже 573° С и нормальном атм. давлении кварц кристаллизуется в тригонально-трапецоэдрич. классе. В СССР для этой модификации принято наименование «низкотемпературный β-кварц». При темп-ре выше 573° в результате полиморфного превращения β-кварц переходит в высокотемпературный α-кварц. Точка плавления кварца 1713° С. Реакция является необратимой: расплав при охлаждении затвердевает без заметной кристаллизации и превращается в аморфный плавленый кварц. Форма кристалла кварца приведена на рис. 1 в ст. *Пьезоэлектрические материалы*. У кварца различают семь кристаллографич. осей — осей симметрии; оптич. ось — ZZ, три электрич.— XX и три механич.— YY. Оптической наз. ось, вдоль к-рой происходит поляризация света. Эта ось соединяет вершины противоположных пирамид. Электрич. оси соединяют вершины шестиугольника основания призмы, механич.— середины противоположных сторон шестиугольника основания.

Кристаллы кварца обладают весьма ценными электромеханич. св-вами: прямым и обратным *пьезоэлектрическим эффектом*. Прямой пьезоэффект заключается в том, что при сжатии или растяжении кристалла кварца вдоль его электрич. или механич. осей, на гранях, перпендикулярных этим осям, возникают электрич. заряды. Величина зарядов пропорциональна деформации, а их знак меняется на обратный, когда сжатие заменяется растяжением. При деформации в направлении оптич. оси пьезоэффект не возникает. Обратный пьезоэффект проявляется в виде сжатия или растяжения кварцевого кристалла в направлении механич. и электрич. осей при помещении его в электрич. поле, вектор напряженности к-рого параллелен электрич. оси кристалла. Величина деформации пропорциональна напряженности электрич. поля, а знак ее меняется с изменением полярности поля. Частота колебаний кварцевой пластинки равна частоте изменения электрич. поля; при колебаниях на поверхностях пластинки возникают перем. электрич. заряды, вызывающие в цепи появление тока.

Как и всякое упругое тело, пьезоэлектрич. пластинка обладает инерцией, а следовательно, и собств. частотой колебаний, к-рая определяется размерами и упругими св-вами кристалла. При совпадении частоты собств. колебаний пластинки и частоты внешнего возбуждающего генератора амплитуда колебаний достигает максимума и ток через Р. к. резко возрастает. Имеет место т. н. электромеханич. *резонанс*.

Пластинка кварца может иметь различную форму: прямоугольную, круглую плоско-параллельную, двояковыпуклой линзы, плоско-выпуклой линзы и др. Для получения электродов пластинки современных Р. к. металлизируются слоем алюминия, серебра или золота, толщиной порядка 0,0005 *мм*. Чтобы не вносить дополнит. затухания, держатели припаиваются к электродам в узловых точках колебаний. Конструктивно Р. к. выполняются вакуумированными, герметизированными (рис. 1) и негерметизированными. Вакуумированные монтируются в стеклянных баллонах радиоламп — обычных, пальчиковых, «дробинка»; герметизированные — в металлич. баллонах; негерметизированные — в пластмассовых корпусах.

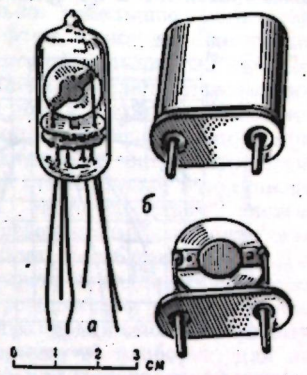


Рис. 1. Конструкции кварцевых резонаторов: *а* — вакуумированный резонатор; *б* — герметизированный резонатор (сверху — в корпусе; внизу — без корпуса).

Пластинки, вырезанные из кристалла кварца при различной ориентировке их относительно осей X, Y, Z обладают различными электрич. хар-ками. В зависимости от способа крепления кварцевой пластинки, ее среза, расположения, формы и количества электродов в ней могут быть возбуждены различные виды колебаний. В диапазоне частот от 0,5 до 15 *Мгц* используются кварцевые пластины с колебаниями по толщине. От 50 *кгц* до 500 *кгц* используются кварцевые пластины с колебаниями сдвига по контуру (контурными наз. колебания, при к-рых перемещения сдвига происходят в плоскости грани пластинки одинаково по всей ее толщине; при этом изменяется форма контура). В этом же диапазоне частот применяются стержни, колеблющиеся по длине. Для частот от 2 до 50 *кгц* используются колебания изгиба пластин и брусков по ширине.

Р. к. характеризуется величиной температурного коэфф. частоты (ТКЧ), к-рый численно равен относит. изменению резонансной частоты кварца при изменении темп-ры на 1°С, т. е. $T_f = \frac{1}{f} \cdot \frac{df}{dT}$; т. к. ТКЧ, как правило, изменяется по сложному закону, то на практике широко пользуются понятием среднего ТКЧ в заданном интервале темп-р:

$$T_{f\,\text{ср}} = \frac{f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}}{T_2^\circ - T_1^\circ},$$

где $f_{\text{макс}}$ и $f_{\text{мин}}$ — макс. и миним. значения частоты в заданном интервале темп-р (T_2° — T_1°). Для получения необходимых электрич. хар-к и малого значения ТКЧ пластинки кварца вырезаются из кристаллов строго определенным образом по отношению к его осям.

В одной из самых распространенных систем ориентации срезов срез выполняется так, что одна из сторон кварцевой пластинки параллельна электрич. оси, а другая — наклонена под определенным для каждого среза углом по отношению к оптич. оси. При колебаниях на частотах ниже 500 *кгц* используются срезы: DT, CT, GT, FT, ET, MT, X_{+5°, $X_{-18,5^\circ}$ и др.; на частотах выше 500 *кгц* срезы AT, BT и др. (см. рис. 1, *в* в ст. *Пьезоэлектрические материалы*). Применяя срезы AT и BT, получают колебания на частоте до 15 *Мгц*, а при использовании гармоник механич. колебаний могут быть получены частоты до 200 *Мгц*.

Наименьшее значение ТКЧ в интервале темп-р $-40° - +80°C$ имеет у кварцевых пластин срезов AT и GT (рис. 2). ТКЧ, близкими

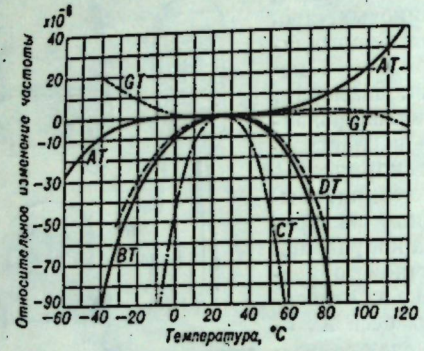


Рис. 2. Кривые ТКЧ кварцевых пластин различных срезов в интервале температур.

к нулю в различных более узких диапазонах темп-р, обладают также срезы BT, CT, DT, ET, FT. При необходимости обеспечения высокой стабильности частоты (10^{-6} и выше) в широком интервале темп-р часто применяется термостатирование Р. к.

Большое влияние на точность поддержания номинала частоты оказывает старение кварца. Под термином «старение» понимают процессы необратимого ухода частоты Р. к. с течением времени, вызванные как св-вами самого кварца, так и технологией изготовления Р. к. Старение Р. к. происходит независимо от того, находится ли Р. к. в эксплуатации или хранится на складе. В первом случае процесс старения несколько ускоряется. На старение Р. к. влияют: качество механич. обработки пластин и металлизации, несовершенство крепления, негерметичность, перегрузки и т. п. Основной мерой борьбы со старением Р. к. является улучшение технологии произ-ва, включающее в себя точную механич. обработку пластин с тщат. очисткой поверхности, полировкой, травлением и отжигом для снятия остаточных напряжений и очистки поверхности. Применяется также искусственное старение кварца, позволяющее ускорить процесс начального изменения параметров Р. к., с тем чтобы в процессе эксплуатации нестабильность во времени была минимальной. Технологич. меры позволяют снизить величину старения (уход номинальной частоты) для высокочастотных Р. к. с $(15—20)\cdot10^{-6}$ до $(1,5—3)\cdot10^{-6}$ за первый год работы.

Одной из хар-к Р. к., особенно важной при использовании Р. к. в кварцевых фильтрах, является наличие у него дополнительных (паразитных) резонансов. Эти резонансы обусловлены тем, что колеблющаяся пластинка представляет собой систему с распределенными параметрами, и тем, что в ней может происходить одновременно неск. видов колебаний. Выбором среза и соотношением размеров пластинки при продольных колебаниях, выбором формы пластинки, применением неполных электродов и скошенных торцов при колебаниях сдвига по толщине, применением круглых пластин, обладающих хорошей моночастотностью, тщательной обработкой поверхности пластины и др. технологич. приемами долеко относительно основной частоты и ослабляются.

При включении в электрич. цепь Р. к. на частотах, близких к его резонансной частоте, ведет себя подобно электрич. колебат. контуру (рис. 3). В эквивалентной схеме емкость C_0 учитывает упругие св-ва пластины, индуктивность $L_к$ — ее инерционные св-ва, а сопротивление $r_к$ — потери на внутр. трение и излучение в пространство. Емкость C_0 является статич. емкостью электродов, держателя и монтажа Р. к. Величины эквивалентных параметров Р. к. зависят от размеров пластины, среза, типа колебаний и меняются в широких пределах. Так, индуктивность $L_к$ изменяется от сотых долей генри при колебаниях на ВЧ до сотен генри и выше при колебаниях на НЧ; $C_к$ изменяется от неск. сотых до неск. десятков $n\phi$; $r_к$ — от единиц до сотен ом. Добротность эквивалентного контура Р. к. достигает сотен тысяч и единиц миллионов. Эквивалентный контур Р. к. имеет две частоты резонанса. Одна соответствует последовательному резонансу ветви $L_кC_к$,

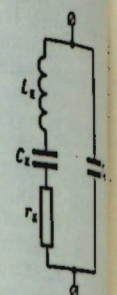


Рис. 3. Эквивалентная схема кварцевого резонатора.

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_к C_к}};$$

вторая — параллельному резонансу всего контура,

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_к \frac{C_к C_0}{C_к + C_0}}}.$$

Т. к. $C_0 \gg C_к$, то относит. расстройка между частотами ω_1 и ω_2 невелика (0,1—0,4%). Величину C_0 входит внешняя нестабильная емкость схемы, поэтому более стабильной является частота ω_1, совпадающая с частотой механич. резонанса Р. к. и являющаяся рабочей частотой Р. к. Высокие качества Р. к. как электромеханич. системы с высокой добротностью и постоянство его электрич. параметров объясняют исключительно широкое применение Р. к. для стабилизации частоты в схемах автогенераторов различного назначения.

Лит.: Евтянов С. И., Радиопередающие устройства, М., 1950; Тюльпанов А. А., Технология производства кварцевых пластин, М.—Л., 1955; Босый Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960; Бычков С. И., Бурени Н. И., Сафаров Р. Т., Стабилизация частоты генераторов СВЧ, М., 1962; Мэзон У., Пьезоэлектрические кристаллы и их применения в ультразвуковой, пер. с англ., М., 1952.

РЕЗОНАТОР КОАКСИАЛЬНЫЙ (coaxial resonator; résonateur coaxial; Koaxialresonator) — один из типов объемных резонаторов, широко применяемый в технике СВЧ на сантиметровых длинноволновой части сантиметрового диапазона и в дециметровом диапазоне волн. В простейшем случае Р. к. может быть образован отрезком *коаксиальной линии*, закороченным накоротко с обоих концов. Основным типом колебаний Р. к. является колебание типа TEM (поперечное электромагнитное). Его резонансная частота при условии $\lambda > \pi(r - r_1)$ где R — радиус внешнего цилиндра, r — радиус внутр. цилиндра, не зависит от диаметра и определяется выражением $f_{рез} = \frac{cp}{2l}$; здесь c — скорость света, p —

полуволн, укладывающихся по длине Р. к., а l — длина Р. к. Колебания типа E и H также могут возбуждаться в Р. к. Эти колебания являются паразитными и с ними необходимо считаться при перестройке Р. к. в широком диапазоне частот. Эти типы колебаний Р. к. классифицируются так же, как и типы колебаний цилиндрич. объемного резонатора, а собств. резонансные частоты могут быть найдены из выражения: $\lambda_{рез} = 2/\sqrt{\left(\frac{X_{mn}}{\pi r}\right)^2 + \left(\frac{p}{l}\right)^2}$, где X_{mn} — корни ур-ний:
$J_m(x)N_m(\eta x) = N_m(x)J_m(\eta x)$ — для волн типа E,
$J'_m(x)N'_m(\eta x) = N'_m(x)J'_m(\eta x)$ — для волн типа H.

В ур-ниях $J_m(x)$ и $N_m(x)$ — бесселевы ф-ции 1-го и 2-го рода соответственно, а $\eta = r/R$. Наибольшую длину волны из этих типов колебаний имеет колебание E_{010}. Если длина Р. к. $l < 2r$, а $R/r = 3$, то $\lambda_{рез}^{E_{010}} = 2\pi r/X_{01} = 4{,}05\ r$, что превышает длину волны основного колебания типа TEM $\lambda_{рез}^{TEM} = 2l$. Колебания типа H с нулевым индексом p невозможны, поэтому наибольшая длина волны колебаний типа H (TE) всегда меньше, чем длина волны колебаний типа TEM. Возникновение паразитных колебаний типа E и H затрудняет применение Р. к. в коротковолновой части сантиметрового диапазона волн, где они, безусловно, не могут соперничать с др. типами объемных резонаторов. В дециметровом диапазоне волн размеры Р. к. довольно значительны (хотя и много меньше эквивалентного резонатора «волноводного» типа). Для уменьшения размеров Р. к. и улучшения нек-рых др. св-в, связанных с перестройкой в диапазоне частот, в Р. к. обычно вводят емкостную нагрузку, т. е. емкостной зазор в центральном стержне. Можно считать, что плоский конденсатор, образованный таким способом, подключен параллельно контуру, что, естественно, снижает резонансную частоту Р. к. Перестройка такого емкостного Р. к. осуществляется изменением емкостного зазора. При этом добротность Р. к. меняется незначительно, т. к. она определяется, как и для любого объемного резонатора, отношением объема к поверхности. Р. к. такого типа широко используются в технике дециметровых волн.

Лит.: Плодухин Б. В., Коаксиальные диапазонные резонаторы, М., 1956; см. также лит. к ст. *Резонатор объемный.*

А. П. Шпаков.

РЕЗОНАТОР ОБЪЕМНЫЙ (полый резонатор, эндовибратор) (cavity resonator; résonateur volumètrique; Hohlraumresonator, Topfresonator) — колебат. система, в к-рой электромагнитные колебания сосредоточены в полости, со всех сторон ограниченной проводящей поверхностью. Р. о. обладает многими св-вами, аналогичными св-вам колебат. контуров с сосредоточенными постоянными. Но для Р. о. теряется смысл обычных понятий индуктивности и емкости, принятых для электрич. колебат. контуров. Электромагнитные колебания в Р. о. происходят за счет непрерывного обмена энергией между электрич. и магнитным полями, полностью заключенными в объеме Р. о. Электромагнитные колебания принципиально могут существовать в любом замкнутом объеме, образованном проводящими стенками, если его размеры достаточно велики по сравнению с длиной волны колебания. Однако, гл. обр. из конструктивных соображений и из-за удобства теоретич. расчета, в технике СВЧ широкое применение нашло сравнительно небольшое количество Р. о. различных форм. Один из простейших Р. о.— отрезок *волновода*, замкнутый накоротко с обоих концов металлич. пластинами. Электромагнитное поле в такой области может принимать различные пространственные конфигурации, совпадающие с соответствующими структурами полей стоячих волн в волноводе. На определенных частотах такая система резонирует. Эти резонансные состояния наз. нормальными типами колебаний Р. о. Для Р. о. заданной формы и заданных размеров соответствующие резонансные частоты и пространственные конфигурации поля могут быть полностью определены, и, наоборот, для заданного типа колебаний и резонансной частоты размеры Р. о. определяются однозначно. Один и тот же Р. о. при одном и том же объеме может обладать многими резонансными частотами, ограниченными лишь со стороны низких частот. Как правило, геометрич. размеры Р. о. выбирают такими, чтобы на одной частоте одновременно существовало не более одного типа колебаний. Длина волны в свободном пространстве, соответствующая наименьшей из резонансных частот Р. о., имеет для Р. о. простых форм величину порядка его линейных размеров. Именно поэтому наиболее удобным с практич. точки зрения является применение Р. о. в диапазоне сантиметровых волн.

Самыми распространенными формами Р. о. являются прямоугольная, цилиндрич., коаксиальная и тороидальная. Прямоугольный Р. о. представляет собой правильный параллелепипед (рис. 1,*а*) в простейшем случае —

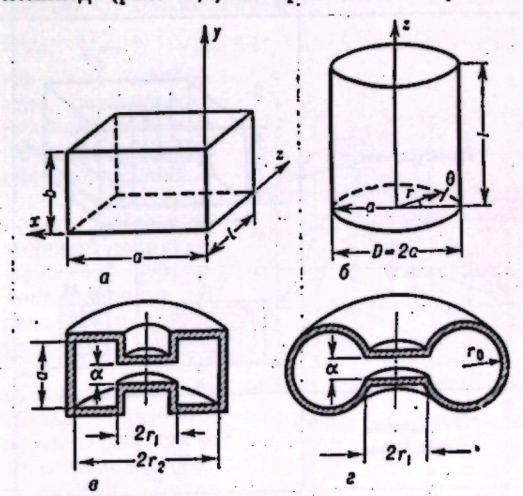


Рис. 1. Форма объемных резонаторов: *а* — прямоугольный; *б* — цилиндрический; *в*, *г* — тороидальные.

отрезок прямоугольного волновода длины l, замкнутый накоротко при $z = 0$ и $z = l$. Нормальные типы колебаний в прямоугольном Р. о. (как и в прямоугольном волноводе) разбиваются на 2 группы в зависимости от наличия составляющих электрич. или магнитного поля в направлении оси z и наз., соответственно, колебаниями типа E (TM) и колебаниями типа H (TE). Дальнейшая классификация типов колебаний устанавливается в соответствии с числом стоячих полуволн, укладывающихся вдоль каждого из размеров

резонатора по осям x, y, z; поэтому типы колебаний в прямоугольном Р. о. имеют обозначения E_{mnp} (TM_{mnp}) или H_{mnp} (TE_{mnp}). В лит-ре иногда встречается классификация колебаний прямоугольного Р. о. только по индексам m, n, p, без указаний на «электрический» или «магнитный» характер типа колебаний, т. е. выбор осей декартовой системы координат произволен так же, как и расположение прямоугольной полости относительно фиксированных осей x, y, z. Резонансные частоты колебаний прямоугольного Р. о. определяются из выражения:

$$\lambda_{рез}=\frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2+\left(\frac{p}{l}\right)^2}},$$

где a, b, l — размеры резонатора по осям x, y, z. Если среди чисел m, n, p нет нулей, то им соответствуют 2 собств. колебания с одной и той же частотой, но с различной структурой поля; получается т. н. вырождение, а данная собственная частота наз. вырожденной, или кратной. Если размеры полости к тому же еще и соизмеримы, т. е. отношения чисел a, b, l оказываются целыми или хотя бы рациональными, то возможно вырождение более высокой кратности. Если один из индексов равен нулю, а размеры, соответствующие двум другим индексам, несоизмеримы, то вырождение снимается. В прямоугольном Р. о. колебаний, для к-рых 2 индекса равны нулю, не существует. Основными колебаниями (обладающими наименьшей собств. частотой) являются колебания типа E_{110} при $(a > l, b > l)$ (рис. 2).

индекс m определяет число полных периодов составляющей E_r по углу θ, индекс n — число полупериодов E_η по радиусу r, а индекс p — число полупериодов E_r по оси z. Для колебаний типа $E\,(TM)_{mnp}$ значения индексов m, n, p определяются, соответственно, для аналогичных компонент вектора H. Поэтому типы полей колебаний в цилиндрич. Р. о. (рис. 3) выражаются тригонометрич. и бесселевыми ф-циями. Поэтому выражения для резонансных частот содержат корни бесселевых ф-ций:

$$\lambda_{рез}=\frac{2}{\sqrt{\left(\frac{\nu_{mn}}{\pi a}\right)^2+\left(\frac{p}{l}\right)^2}}\text{ — для колебаний типа }E,$$

$$\lambda_{рез}=\frac{2}{\sqrt{\left(\frac{\nu'_{mn}}{\pi a}\right)^2+\left(\frac{p}{l}\right)^2}}\text{ — для колебаний типа }H,$$

где ν_{mn} — n-й корень бесселевой ф-ции 1-го рода m-го порядка; ν'_{mn} — n-й корень производной этой ф-ции. Основным типом колебаний (с наименьшей резонансной частотой) в цилиндрич. Р. о. в случае, когда длина резонатора l велика $(l/a > 2)$, является колебание типа H_{111}, а для «коротких» резонаторов $(l/a < 2)$ — колебание типа E_{010}. Резонансные частоты цилиндрич. Р. о. удобно рассчитывать по графику, наз. хар-кой резонатора (рис. 4). Если резонатор перестраивается путем изменения его длины l, то с помощью этого семейства хар-к можно установить, какие типы колебаний могут возникнуть в диапазоне перестройки резонатора, что позволяет пра-

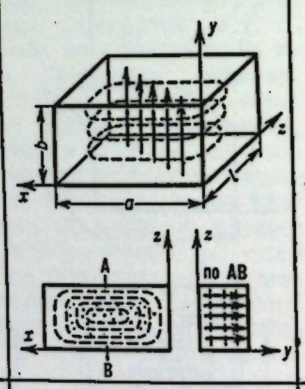
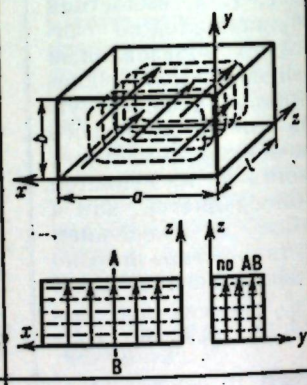
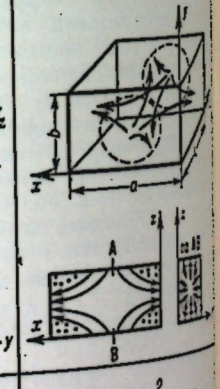
Тип колебания	H_{101}	E_{110}	E_{111}
Структура поля —— линии E - - - - линии H			
Резонансная длина волны	$\lambda_{рез}=\frac{2}{\sqrt{\frac{1}{a^2}+\frac{1}{l^2}}}$	$\lambda_{рез}=\frac{2}{\sqrt{\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}}}$	$\lambda_{рез}=\frac{2}{\sqrt{\frac{1}{a^2}+\frac{1}{b^2}+\frac{1}{l^2}}}$

Рис. 2. Структуры полей нек-рых из основных типов колебаний в прямоугольном объемном резонаторе.

Прямоугольные Р. о. на практике применяются достаточно редко, за исключением резонаторов со спец. видом диэлектрич. заполнения, напр. кварцевых.

Значительно большее распространение получил цилиндрич. Р. о. (рис. 1, *б*), как наиболее удобный и простой с конструктивной точки зрения. Так же, как и для волновода кругового поперечного сечения, норм. типы колебаний в цилиндрич. Р. о. классифицируются в зависимости от наличия составляющей E или H в направлении z, т. е. по оси цилиндра. Для колебаний типа $H\,(TE)_{mnp}$

нять меры для предотвращения или подавления колебаний нежелат. типов.

Резонансная частота тороидального Р. о. может быть определена из приближенных выражений:

$$\lambda_{рез}\approx\pi r_1\sqrt{\frac{2a}{d}\ln\frac{r_2}{r_1}}\text{ для (рис. 1, }\epsilon),$$

$$\lambda_{рез}\approx\pi r_1\sqrt{\frac{2\pi r_0^2}{dr_{ср}}}\text{ для (рис 1, }\epsilon),$$

где $r_{ср}=\frac{1}{2}[r_1+r_0+\sqrt{r_1(r_1+2r_0)}]$.

Резонансная частота Р. о. может перестраиваться в достаточно широких пределах путем изменения его объема при перемещении одной

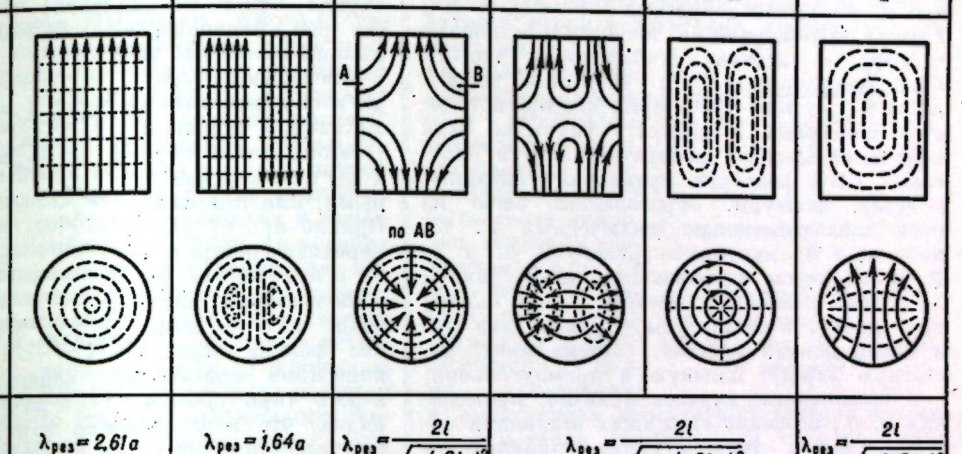
Тип колебания	E_{010}	E_{020}	E_{011}	E_{111}	H_{011}	H_{111}
Структура поля —— линии E - - - - линии H						
Резонансная длина волны	$\lambda_{рез}=2{,}61a$	$\lambda_{рез}=1{,}64a$	$\lambda_{рез}=\frac{2l}{\sqrt{1+\left(\frac{2l}{2{,}61a}\right)^2}}$	$\lambda_{рез}=\frac{2l}{\sqrt{1+\left(\frac{2l}{1{,}64a}\right)^2}}$		$\lambda_{рез}=\frac{2l}{\sqrt{1+\left(\frac{2l}{3{,}41a}\right)^2}}$

Рис. 3. Структуры полей нек-рых основных типов колебаний в цилиндрич. объемном резонаторе.

из стенок, выполненной в виде поршня, или путем введения реактивных штырей, плунжеров или диафрагм. Наиболее широкодиапазонная перестройка возможна для прямоугольных, цилиндрич. и коаксиальных Р. о.

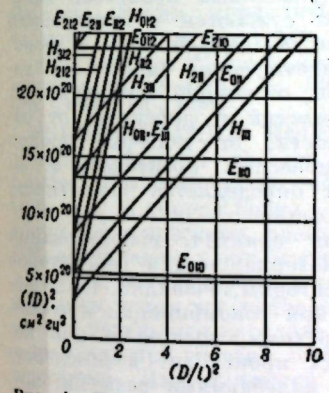


Рис. 4. Хар-ка типов колебаний для правильного цилиндрич. резонатора.

В любом реальном устройстве Р. о. должен быть связан с источником энергии. Связь эта осуществляется через отверстие в стенке резонатора. Элементом связи может служить само отверстие, зонд или петля. Элемент связи связан с линией, передающей энергию. Так же происходит и извлечение энергии из резонатора. Наличие элемента связи мало влияет на резонансную частоту Р. о., к-рую во многих случаях можно рассчитывать без учета связи, но сильно сказывается на добротности резонатора. Р. о. обладают очень высокой добротностью — от сотен до сотен тысяч. Высокая величина добротности Р. о. определяется тем, что в замкнутой колебат. системе потери на излучение практически не имеют места, а тепловые потери могут быть сведены к минимуму путем серебрения и тщат. обработки поверхности Р. о. Как и для обычного колебат. контура, добротность Р. о. равна отношению макс. мощности колебаний в Р. о. к ср. мощности потерь за период колебания. Принято различать добротность Q_0 ненагруженного Р. о. и добротность $Q_н$ нагруженного Р. о., зависящую от ВЧ нагрузки. Потери в ненагруженном Р. о. с воздушным заполнением практически определяются только потерями в стенках, связанными с протеканием поверхностных токов; поэтому Q_0 тем больше, чем больше отношение объема резонатора к его поверхности. Порядок величины добротности можно определить из отношения линейного размера Р. о. к глубине проникновения поля в металл δ (глубине поверхностного слоя). Q_0 зависит и от характера распределения магнитного поля по объему Р. о., т. е. от типа колебания (рис. 5). Добротность нагруженного резонатора $Q_н$ связана с собств. добротностью Q_0 соотношением:

$$1/Q_н=1/Q_0+1/Q_{вн},\text{ или }Q_н=Q_0Q_{вн}/(Q_0+Q_{вн}),$$

где $Q_{вн}$ — внешняя добротность резонатора — отношение макс. мощности колебаний в Р. о. к ср. мощности потерь во внешней нагрузке. Внешняя добротность зависит от связи Р. о. с нагрузкой: $Q_{вн}=Q_0/\beta$, где β — параметр, характеризующий связь. Добротность Р. о., как и добротность любого колебат. контура, является мерой его способности сохранять запасенную энергию в режиме свободных колебаний. Свободные колебания т. п. эхо-резонаторов (эхо-боксов) широко используются для контроля работы радиолокационных станций.

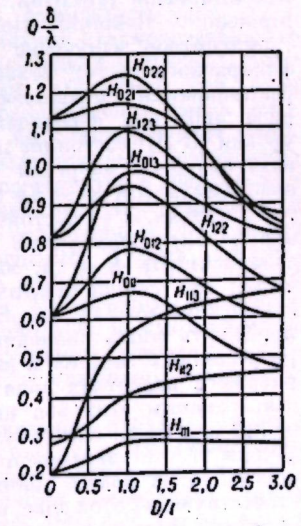


Рис. 5. Зависимость $Q\frac{\delta}{\lambda}$ от D/l для нек-рых колебаний типа H в правильном цилиндрич. резонаторе.

Добротность характеризует также и вынужденные колебания Р. о., в частности ширину резонансной кривой или полосу пропускания Р. о. Вынужденные колебания Р. о. должны всегда рассматриваться с учетом связи с

источником возбуждения и нагрузкой, за исключением случаев, когда эта связь мала.

Основное применение Р. о. нашли в качестве всевозможных колебат. контуров диапазона СВЧ (напр., в электронных генераторах — клистронных, магнетронных, лампо-вых и др.); высокодобротные Р. о. (с $Q_н > 10^4$) служат волномерами ср. точности и эталонами частоты (в системах стабилизации частоты СВЧ генераторов); Р. о. умеренной добротности ($Q_н = 100—1000$) применяются в качестве полосовых и избират. фильтров. Для получения высокой избирательности в полосовых СВЧ фильтрах применяют связанные колебат. контуры, образованные либо из неск. последовательно включенных Р. о., либо из т. н. многорезонансного Р. о., т. е. Р. о., в к-ром одновременно возбуждаются 2—3 типа колебаний, частоты к-рых близки друг другу, а амплитуды — равны, так что в целом данная колебат. система имеет частотную хар-ку, близкую к прямоугольной.

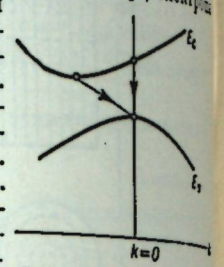
В большинстве случаев практич. применения Р. о., особенно служащих эталонами частоты, важна температурная стабильность резонансной частоты; поэтому корпус Р. о. часто делают из материала с малым температурным коэфф. расширения (инвар, суперинвар) и предусматривают меры для температурной компенсации расширения объема Р. о. Иногда для еще большего увеличения стабильности частоты Р. о. делают вакуумными, что устраняет и атм. влияния на уходы резонансной частоты.

Лит.: Вайнштейн Л. А., Электромагнитные волны, М., 1957, гл. 16, 17; Гуревич А. Г., Полые резонаторы и волноводы. Введение в теорию, М., 1952, гл. 1—4; Ширман Я. Д., Радиоволноводы и объемные резонаторы, М., 1959, гл. 7—8.

А. П. Шпаков.

РЕКОМБИНАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (recombination radiation; radiation de recombinaison; Rekombinationsradiation) — электромагнитное излучение (видимого или инфракрасного света), возникающее в ПП при рекомбинации неравновесных носителей заряда либо при переходах их на локальные уровни. В ПП состояние носителей заряда характеризуется энергией E и приведенным квазиимпульсом $p = \hbar k$ (k — волновой вектор носителя, $\hbar$ — постоянная Планка, деленная на 2π). Величина E является ф-цией p, а зависимость E от p, изображаемая графически, наз. зонной моделью данного ПП. Согласно этой модели, энергия носителей может принимать лишь значения в пределах т. н. разрешенных зон, из к-рых обычно рассматриваются валентная зона и зона проводимости; границы этих зон имеют вид кривых с одним или неск. экстремумами; эти зоны разделены т. н. запрещенной зоной (энергия носителей не может принимать значений, соответствующих этой зоне, если только в ПП нет примесей или дефектов, создающих внутри этой зоны локальные энергетич. уровни, на к-рых носители могут находиться).

Изменение состояния электрона или дырки (при рекомбинации или при переходе на локальный уровень) сопровождается выделением энергии и изменением квазиимпульса, причем обе величины подчиняются закону сохранения. Если при переходе носителя заряда на более низкий уровень энергия выделяется в виде фотона, то такой переход наз. излучательным. Т. к. при этом величина k у фотона значительно меньше, чем у носителя заряда ПП, то в случае, когда излучается только фотон (частоты $\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_i - E_f}{h}$, где E_i и E_f — энергии носителя в начальном и конечном состояниях), квазиимпульс носителя заряда будет сохраняться, т. е. на схеме (см. рис.) подобный переход, напр., электрона из зоны проводимости в валентную зону, будет изображаться вертикальной стрелкой. Поэтому такие переходы наз. вертикальными, или прямыми. Однако при излучат. переходе одновременно с излучением фотона возможно излучение или поглощение фонона (кванта колебаний кристаллич. решетки), величина к-рого (при обычных темп-рах) того же порядка, что и у носителя заряда, и поэтому импульс носителя будет изменяться (согласно закону сохранения). Такие переходы изображаются наклонной стрелкой и потому наз. невертикальными, или непрямыми.



Зонная структура полупроводника в k-пространстве.

Т. о., рекомбинац. излучение может возникать при прямых и непрямых переходах между зонами, а также при переходах на локальные уровни. Спектр Р. и. имеет вид отдельных полос, положение к-рых определяется выделяемой при указанных процессах энергией; эти полосы сужаются с понижением темп-ры (меньшее взаимодействие с фононами). Интенсивность полос зависит от характера переходов, от зонной структуры, от концентрации примесей и дефектов, от состояния поверхности, от темп-ры, уровня инжекции неравновесных носителей, т. к. этими факторами определяется вероятность излучат. рекомбинации.

С точки зрения практич. использования ПП в качестве материалов для генераторов света наиболее пригодны, очевидно, такие вещества, в к-рых при рекомбинации преобладают прямые переходы, поскольку при непрямых переходах происходит взаимодействие с тепловыми колебаниями решетки, сни-жающее кпд генератора. Проще всего это достигается в ПП, у к-рых экстремумы энергетич. зон находятся при одинаковых (или очень близких) значениях k, т. к. в этом случае наиболее вероятны именно прямые переходы, в благоприятных условиях уже при небольших уровнях инжекции в них должно наблюдаться Р. и. К таким ПП относятся, напр., GaAs, InP, GaP, InSb. В ПП типа германия, у к-рых экстремумы зон смещены, уровень инжекции (для генерации в результате прямых переходов) должен быть значительно выше, т. к. для прямых переходов необходимо, чтобы при одинаковом значении k существовали носители противоположных знаков.

При инжекции носителей через p—n-переход в ПП можно создать условия, при к-рых будет преобладать индуцированное Р. и. (см. *Квантовая система*) и тогда область возле такого p—n-перехода будет источником когерентного света. На этом основано действие *полупроводниковых лазеров*. Для получения когерентного Р. и. необходимо, чтобы

концентрация электронов или дырок (или тех и других одновременно) была достаточно высокой с тем, чтобы в области p—n-перехода расстояние $\Delta\varphi$ между квазиуровнями Ферми для дырок и электронов превышало величину энергии кванта света, к-рый может генерироваться в данном ПП (напр., $\Delta\varphi > \Delta E$, где ΔE — ширина запрещенной зоны); кроме того, потери на поглощение не должны превышать по величине усиления, к-рое испытывает индуцированное Р. и. в активной области. Поэтому приходится работать с вырожденными ПП при очень высоких уровнях инжекции и при низких темп-рах (для снижения поглощения на свободных носителях и безызлучательной рекомбинации). Если же условия генерации когерентного излучения не выполнены, то получается источник некогерентного неполяризованного света, излучаемого в большом телесном угле. Напр., таким источником служит диод из GaAs с площадью p—n-перехода $0{,}25 \times 0{,}25$ *мм*^{2}; диод помещен внутри коварового кожуха, снабженного линзой, фокусирующей излучение диода; этот источник работает при темп-рах от —195° С до +125° С и излучает свет с длиной волны ~0,9 *мк*; во избежание нагрева из-за больших токов диод работает в импульсном режиме; поскольку время жизни носителей $\tau \sim 10^{-16}$ *сек*, излучение диода можно модулировать частотой вплоть до 900 *Мгц*, подавая модулирующее напряжение непосредственно на p—n-переход; помещая диод в магнитное поле (до 90 *кгс*), можно управлять частотой излучаемого света в пределах ±10%.

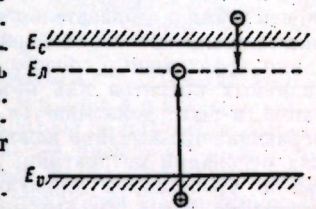
Лит.: Мосс Т., Оптические свойства полупроводников, пер. с англ., М., 1961; Лазеры. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963.

М. М. Горшков.

РЕКОМБИНАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА (recombination of charged particles; recombinaison des porteurs de charge; Rekombination der Ladungsträger) — процесс исчезновения неравновесных электронов и дырок в ПП, возникающих при освещении, инжекции и т.д. Р. н. з. (электрона и дырки) может происходить путем их непосредств. соединения, т. е. в результате перехода носителя из зоны в зону или при участии локальных центров — «ловушек». Ими являются посторонние примеси и дефекты структуры, создающие глубокие энергетич. уровни в *запрещенной зоне*. Практически даже в наиболее чистых ПП (*германий*, *кремний*) скорость Р. н. з. зависит от характера и содержания примесей и дефектов структуры. Вероятность Р. н. з. в ПП с широкой запрещ. зоной (~1 *эв* и выше) в результате их перехода из зоны в зону ничтожно мала и начинает играть существ. роль только при $\Delta E \approx 0{,}2$ *эв* (напр., в InSb, где $\Delta E = 0{,}18$ *эв*).

Рекомбинация при участии ловушки может происходить в объеме и на поверхности ПП; в последнем случае роль ловушек играют атомы посторонних примесей и адсорбированных газов, а также дефекты структуры. Энергетич. схема Р. н. з. при участии ловушки приведена на рис. Сначала захватывается избыточный электрон (или дырка), а затем дырка (или электрон).

Центры рекомбинации (ловушки) в решетке ПП могут находиться в двух состояниях: нейтральном и заряженном. Нек-рые примеси могут находиться в неск. заряженных состояниях — положительных или отрицательных (напр., медь в германии создает однократно, двухкратно и трехкратно отрицательно заряженные «ловушки»). Эффективность Р. н. з. определяется прежде всего вероятностью захвата дырки и электрона «ловушкой». Последняя, в свою очередь, зависит от сечений захвата дырки и электрона. Однако вероятность захвата дырки и электрона неоднозначно определяет вероятность рекомбинации, т. к. захваченный электрон (дырка) может быть снова выброшен тепловым движением в одну из энергетич. зон. Поэтому при рассмотрении Р. н. з. сталкиваются с двумя проблемами:



Энергетич. схема рекомбинации при участии ловушки: E_c — зона проводимости; E_v — валентная зона; $E_л$ — уровень ловушки.

а) вычислением эффективного сечения захвата на основании рассмотрения определ. механизма взаимодействия носителя заряда с «ловушкой» и б) описанием статистики рекомбинации, т. е. вычислением скорости рекомбинации при определ. концентрации «ловушек» на основе их энергетич. положения и сечения захвата. «Ловушка», действующая как рекомбинац. центр, характеризуется двумя сечениями захвата: сечением захвата электрона и сечением захвата дырки. Величины сечений захвата, определенные экспериментально, в ПП лежат в пределах 10^{-13}—10^{-22} *см*^{2}. Напр., для меди в германии сечение захвата дырки дважды отрицательно заряженным атомом меди равно 10^{-17} *см*^{2}, а электрона — 10^{-20} *см*^{2}. Величина сечения захвата носителей заряда зависит от темп-ры. Чаще всего имеет место зависимость типа T^{-n}, определяемая механизмом взаимодействия носителя заряда с ловушкой ($n = 0—5$). С энергетич. точки зрения различают два вида Р. н. з.: излучат. рекомбинация (когда освобождаемая энергия выделяется в виде светового кванта) и безызлучательная (когда энергия переходит непосредственно в энергию тепловых колебаний решетки). Передача энергии рекомбинации непосредственно решетке может происходить различными путями. Напр., энергия может быть передана свободному носителю, к-рый при дальнейших столкновениях передаст ее решетке (т. н. ударный механизм), либо коллективным движением свободных носителей (т. н. плазменный механизм) и т. д.

Процессы рекомбинации играют большую роль во многих явлениях в ПП (инжекция, выпрямление, усиление, фотопроводимость). Скорость рекомбинации определяет такой важнейший параметр ПП, как *время жизни носителей заряда* (неосновных).

Лит.: Полупроводники в науке и технике. Сб. ст., т. 2, М.—Л., 1958; Shockley W., Read W., «Phys. Rev.», 1952, v. 87, № 5, p. 823; Kalasnikov S. G., Recombination on impurity centres in germanium and silicon. Proceedings of the Intern. Conf. on semiconductor physics, Prague. 1960, Prague, 1961.

Ю. М. Полесских.

РЕКУРСИВНЫЕ ФУНКЦИИ (recursive function; fonction de récoursion; rekursive Funktionen) — одно из наиболее распространенных уточнений, характеризующих класс т. н. вычислимых функций, т. е.

таких (арифметических) ф-ций, для нахождения значений к-рых по заданным значениям их аргументов имеется эффективная вычисляющая процедура — *алгоритм*. Понятие вычислимой ф-ции (ВФ) приобрело большое значение в связи с т. н. конструктивным подходом к формулировке и решению математич. задач, требующим, чтобы математич. определения и доказательства существования математич. объектов содержали явные указания эффективного способа построения определяемых объектов или объектов, существование к-рых доказывается. Такой подход, играющий чрезвычайно важную роль в проблемах оснований математики, существенно связан с требованием практич. выполнимости математич. задач. Особое значение это требование приобрело в связи с развитием вычислит. техники, поскольку для *программирования* любой задачи, состоящей в вычислении значений к.-л. ф-ции, необходимо, чтобы эта ф-ция была вычислимой.

Для нахождения алгоритмов вычисления конкретных математич. ф-ций нет надобности в общем и точном определении понятия ВФ, достаточно уметь находить эти конкретные алгоритмы. Но задача о возможности нахождения вычисляющего алгоритма для произвольной данной ф-ции (задание к-рой, вообще говоря, может и не содержать такого алгоритма) требует четкого описания всего класса ВФ. Такое общее определение «вычислимости» естественно дать по отношению к ф-циям, определенным на возможно более простой в к.-л. отношении области, и в то же время настолько общей, чтобы перенесение полученных для нее понятий и методов на ф-ции, определенные на более сложных областях, не представляло бы принципиальных затруднений. Подходящей в обоих отношениях областью является натуральный ряд чисел 0, 1, 2,... Поскольку целые числа определяются как (упорядоченные) пары, а рацион. числа — как тройки натуральных чисел, перенесение понятий и методов, выработанных для ф-ций, определенных на натур. ряде или его подмножествах (называемых всюду ниже арифметическими), на ф-ции, определенные на произвольных множествах целых или рацион. чисел, не вызывает затруднений. Что касается наиболее распространенного в математич. анализе случая ф-ций действительных (или комплексных) переменных, то различные методы численного решения (напр., при помощи разложения ф-ций в степенные ряды) делают возможным приближенное (с любой степенью точности) вычисление любой аналитич. ф-ции с помощью вычисления значений ф-ций, определенных на дискретных последовательностях значений аргументов, и открывает тем самым пути для решения соответствующих вычислит. задач на ЦВМ.

Натуральный ряд обладает самой простой (по сравнению с др. числовыми классами) структурой. В то же время генетич. принцип построения натурального ряда, состоящий в переходе от любого натурального числа n к непосредственно следующему за ним числу n', обеспечивает не только наличие общего метода доказательства арифметич. теорем, характеризуемого принципом полной (математической) индукции, но и возможность т. н. индуктивных, или рекурсивных, определений арифметич. ф-ций (и *предикатов*) — определений, дающих правила перехода от уже определ. значений ф-ций к значению ф-ции для (непосредственно) следующего значения аргумента. Простейшим и хорошо известным примером такого рекурсивного (от лат. recurso — возвращаюсь) определения служит определение операции сложения:

$$a+0=a,$$
$$a+n'=(a+n)'.$$

Заметим, что это определение дает алгоритм выполнения операции сложения, не связанный, в отличие от общеупотребит. алгоритма сложения «столбиком», с особенностями десятичной или др. позиционной системы счисления и тем самым более гибкий и удобный для различных видоизменений при программировании операции сложения на любых машинах.

Именно такого рода (и сводящиеся к ним) рекурсивные определения, свойственные, в известном смысле, самой природе натурального ряда, естественно положить в основу точного определения «вычислимой» ф-ции (откуда и сам термин «Р. ф.»). Точное описание всех удобных методов определения сведено в т. н. схеме примитивной рекурсии (см. ниже, схема 2). При определении новых ф-ций естественно использовать уже имеющиеся (определенные) ранее ф-ции путем явного определения через последние, т. е. при помощи операции подстановки значений одних известных ф-ций в другие, ранее определенные ф-ции (см. схему 1). В качестве исходных ф-ций выбирают простейшие арифметич. ф-ции: ф-цию, тождественно равную постоянной 0, и ф-цию следования (т. е. именно те первонач. ф-ции, с помощью к-рых строится натуральный ряд).

Ф-ции, определяемые посредством двух указанных способов, исходя из нуля и операции следования (или, что то же самое, прибавления единицы), наз. примитивно-рекурсивными функциями (ПРФ).

Класс ПРФ охватывает наиболее часто встречающиеся арифметич. ф-ции (кроме указанной ф-ции x_1+x_2, также $x_1 \cdot x_2$, $x_1 \dot{-} x_2 = \begin{cases} x_1-x_2 & \text{при } x_1 \geqslant x_2 \\ 0 & \text{при } x_1 < x_2 \end{cases}$, $[x_1/x_2]$, где $[x]$ — целая часть x, ф-ция $x_1^{x_2}$ и многие др.). В дальнейшем, однако, были получены примеры арифметич. ф-ций, к-рые можно вычислить для любых значений аргументов, не являющихся в то же время ПРФ. Между тем во всех исследованиях, посвященных определению понятия ВФ, все время имелся в виду тезис, согласно к-рому такое определение должно охватывать все «мыслимые» виды «вычислимости» — т. е., чтобы полученное определение отвечало осн. гипотезе теории ВФ.

Для получения класса Р. ф., охватывающего всевозможные «рекурсивные» определения, в т. ч. и не укладывающиеся в схему примитивной рекурсии, было предложено определение т. н. общерекурсивных ф-ций (ОРФ), охватывающих столько широкий класс арифметич. ф-ций, что это определение, во-первых, не противоречит вышеупомянутой осн. гипотезе, и, во-вторых, что для получения любой ОРФ к

схемам, определяющим ПРФ, достаточно присоединить всего лишь одну новую операцию (описание к-рой никак не вытекает из предыдущего), а именно всюду определенную (т. е. для всех наборов натуральных чисел в качестве аргументов) операцию взятия наименьшего числа, удовлетворяющего заданному условию (к-рое, в свою очередь, может быть описано при помощи к.-л. ОРФ или даже ПРФ) (см. схему 3).

Однако требование, чтобы ф-ция была определена для каждого набора натуральных чисел, часто оказывается слишком обременительным ограничением. Ф-ции, определенные не для всех натуральных значений аргументов, а лишь на нек-рых подмножествах натурального ряда и в остальном удовлетворяющие определению ОРФ, наз. частично-рекурсивными ф-циями (ЧРФ). Понятие ЧРФ существенно шире понятия ОРФ: имеются ЧРФ, не только не являющиеся ОРФ, но и такие, что не существует никакого способа так доопределить их на той части натурального ряда, на к-рой они не определены, чтобы в результате получилась ОРФ.

Изложенные выше предварит. рассуждения можно подытожить, напр., в виде след. определения: частично-рекурсивной наз. ф-ция, к-рая может быть определена, исходя из «базисных» ф-ций 0 (постоянная) и x' (ф-ция следования) при помощи конечного числа применений следующих схем образования новых ф-ций φ из ранее построенных ф-ций f, g, h.

1) Подстановка ф-ций $f_1(x_1,\ldots,x_m)$, $f_n(x,\ldots,x_m)$ на место аргументов ф-ции $f_0(x_1,\ldots,x_k)$:

$$\varphi(x_1,\ldots,x_m)=$$
$$=f[f_1(x_1,\ldots,x_m),\ldots,f_k(x_1,\ldots,x_m)].$$

2) Схема примитивной рекурсии — определение k-местной ф-ции φ с помощью ранее построенных $(k-1)$-местной ф-ции g (при $k=1$, g — константа) и $(k+1)$-местной ф-ции h:

$$\varphi(x_1,\ldots,x_{k-1},0)=g(x_1,\ldots,x_{k-1}),$$
$$\varphi(x_1,\ldots,x_{k-1},n')=$$
$$=h(x_1,\ldots,x_{k-1},n,\varphi(x_1,\ldots,x_{k-1},n)).$$

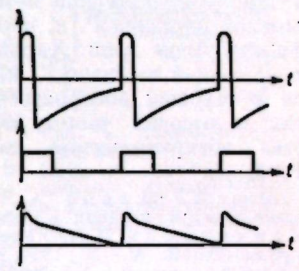
3) Операция взятия наименьшего числа — построение по ф-ции $f(x_1,\ldots,x_k,x_{k+1})$ $(k\geqslant 1)$ ф-ции $\varphi(x_1,\ldots,x_k)$, значение к-рой для аргументов $x_1,\ldots,x_k$ равно такому y, что $f(x_1,\ldots,x_k,y)=0$, а для всех $z<y$ значения $f(x_1,\ldots,x_k,z)$ определены и не равны нулю; если же такого y не существует, то φ для данных $x_1,\ldots,x_k$ не определена.

Всюду определенная ЧРФ наз. ОРФ. Если ОРФ можно определить с помощью лишь одних схем 1 и 2, то она наз. ПРФ. Эти определения Р. ф. позволяют формулировать и доказывать различные св-ва Р. ф. методом математич. индукции (по шагам рекурсивного определения).

Убедительность осн. гипотезы теории ВФ (а тем самым и осн. гипотезы теории алгоритмов) существенно подкрепляется тем обстоятельством, что различные и независимые определения понятий алгоритма и ВФ (см. *Алгоритм*, *Тьюринга машина*) оказались эквивалентными между собой. Среди этих эквивалентных понятий понятие Р. ф. замечательно тем, что оно, по существу, содержит в своем задании явный способ вычисления (представляющийся в определ. смысле наиболее естественным не только для машины, но и для вычислителя-человека), не затемняемый деталями технич. характера. Этот явный алгоритм вычисления в ряде случаев может быть непосредственно использован для составления блок-схем вычислит. программ.

Лит.: Петер Р., Рекурсивные функции, пер. с нем., М., 1954; Клини С. К., Введение в метаматематику, пер. с англ., М., 1957, ч. 3. *Ю. А. Гастев.*

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ, разрывные колебания (relaxation oscillations; oscillations de relaxation; Relaxationsschwingungen) — электрич. колебания, характеризующиеся наличием резких изменений напряжения (тока) или его производной. Р. к. (рис.) широко применяются в импульсной (напр., радиолокационной) и измерительной технике, а также в схемах радиоэлектронных автоматич. устройств, поскольку наличие резких изменений напряжения (тока) позволяет четко фиксировать временные интервалы, а также использовать Р. к. для управления спусковыми (ключевыми) схемами разных видов. Пилообразные Р. к. применяются также для обеспечения линейного перемещения луча в ЭЛТ.



Нек-рые из наиболее распространенных форм кривых релаксац. колебаний.

Параметры Р. к. определяются св-вами схемы, в к-рой они генерируются. Условием возникновения Р. к. является наличие в схеме хотя бы одного энергоемкого элемента (емкости либо индуктивности) в сочетании с ключевой схемой, состояние к-рой зависит от величины заряда энергоемкого элемента (см. *Генератор релаксационных колебаний*). Основными параметрами Р. к. являются их период (для случая периодич. колебаний) и длительность участков с резким и плавным изменениями напряжения (тока) либо его производной. Наличие резких изменений в кривой, представляющей Р. к., связано с явлением скачка в генераторах Р. к. Условием возникновения скачка в релаксационном генераторе является наличие цепи положит. обратной связи с усилением, превышающим единицу в достаточно широком диапазоне частот. Длительность скачка не может быть бесконечно малой и ограничивается паразитными емкостями схемы ($C_{вх}$ и $C_{вых}$ лампы, монтажные емкости) в мультивибраторе, кипрере, фантастроне и др., а также индуктивностью рассеяния импульсного трансформатора в блокинг-генераторе. Длительность скачка тем меньше, чем больше крутизна лампы, применяемой в релаксац. генераторе. При симметричной схеме мультивибратора длительность скачка $\Delta=\frac{C}{S}f(E)$, где C — паразитная емкость, шунтирующая нагрузку усилителя в релаксац. генераторе, S — крутизна лампы, используемой в усилителе, $f(E)$ — ф-ция, зависящая от режима лампы. В совр. релаксац. схемах легко достигается длительность участка резкого изменения напряжения (тока) менее 0,1 *мксек*.

Период колебаний может изменяться в пределах от долей *мксек* до десятков *сек*. Р. к. могут быть как периодические (напр., автоколебания мультивибратора, блокинг-генератора), так и непериодич. (напр., колебания ждущих релаксац. генераторов). В нек-рых случаях один или неск. параметров, характеризующих Р. к., могут изменяться по случайному закону.

Кроме характерных временны́х св-в Р. к., связанных с наличием в них резких перепадов, следует отметить присущие им спектральные особенности, а именно, содержание в спектре Р. к. большого количества гармоних. составляющих (см. *Генератор гармоник*). Большую ширину спектра Р. к. нужно учитывать при необходимости неискаженной передачи Р. к. через усилители и др. фильтрующие цепи. Характерно, что для неискаженной передачи Р. к. следует заботиться о хорошем воспроизведении как низких, так и высоких частот, что определяет качество воспроизведения соответств. участков Р. к.

Лит.: Харкевич А. А., Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике, М., 1956; Капчинский И. М., Методы теории колебаний в радиотехнике, М.—Л., 1954; Меерович Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953. *С. В. Орлов.*

РЕЛЕ (relay; relais; Relais) — элемент автоматич. устройств, к-рый при воздействии на него внешних физич. явлений скачкообразно принимает конечное число значений выходной величины. См. *Релейный элемент*.

РЕЛЕ АКУСТИЧЕСКОЕ (acoustic relay; relais acoustique; akustisches Relais) — реле, реагирующее на изменение акустич. величин (частоты, давления), акустич. колебаний или акустич. хар-к материалов (коэфф. поглощения, коэфф. отражения и т. п.). Существуют Р. а., основанные на механич., электрич., тепловом и оптич. принципах действия. Р. а., как правило, состоят из датчиков акустич. величин, имеющих релейный выход или воздействующих на релейные элементы. В Р. а. механич. действия (рис. 1) прогиб мембраны *1*

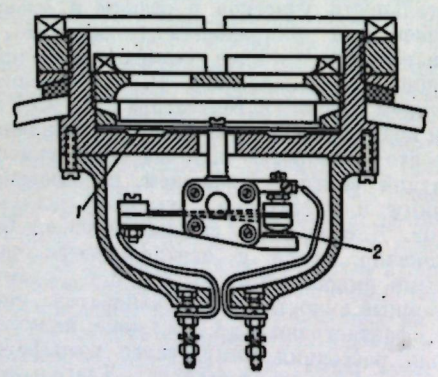


Рис. 1. Акустическое реле на электрич. принципе действия.

пропорционален действующему на нее давлению. При достижении заданной величины давления замыкается контакт *2*. Для выделения необходимой частоты колебаний перед мембраной располагается резонатор, настроенный на заданную частоту.

Р. а. электрического действия (рис. 2) состоит из воспринимающего органа в виде микрофона *М*, фильтра *Ф*, пропускающего только необходимую полосу частот, усилителя и выходного электрического реле *Р*.

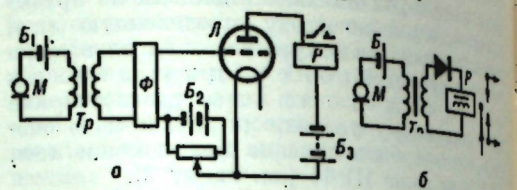


Рис. 2. Схемы акустич. реле с микрофоном: *а* — с электромагнитным реле на выходе; *б* — с магнитоэлектрическим реле на выходе.

Р. а. на тепловом и оптич. принципах действия не нашли практич. применения.

Лит.: Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Сотсков Б. С., Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, М.—Л., 1950. *Б. С. Сотсков.*

РЕЛЕ ВРЕМЕНИ, реле выдержки времени, замедляющее реле (time relay; relais de temporisation; Zeitrelais), — реле, предназначенное для создания необходимой задержки в передаче воздействия между частями устройства автоматики или от одного устройства к другому.

В Р. в. можно выделить три характерные части: воспринимающую — обеспечивающую приведение реле в действие при поступлении управляющего сигнала, замедляющую — обеспечивающую заданную выдержку времени, и исполнительную — осуществляющую воздействие на управляемое устройство или схему. Конструктивно эти части не всегда разделимы.

Р. в. можно подразделить также по способу запуска на Р. в. с электрич., гидравлич., пневматич. и ручным управлением; по виду выходного сигнала — на электрические, пневматические и гидравлические, по способу замедления — на Р. в. с электрич., магнитным, механич., электромеханич., термич., гидравлич. и пневматич. замедлением и т. д. Наиболее характерно для Р. в. подразделение по третьему признаку.

При электрич. методах создания выдержки времени используются различные схемы, замедляющие нарастание или спадание токов или напряжений в цепях при помощи сопротивлений, конденсаторов, дросселей и др. элементов. В качестве релейного органа, определяющего момент срабатывания Р. в., служит электромеханич. реле (как в отдельности, так и с электронным усилителем), тиратроны с горячим или с холодным катодом, бесконтактные ПП реле и др. [2, 3, 4, 6] (рис. 1). В др. схемах (дискретного действия) используется сочетание генератора импульсов (запускаемого или подключаемого к Р. в. его воспринимающей частью) и реле счета импульсов. Выдержка времени при заданной частоте следования импульсов определяется уставкой реле счета импульсов. При магнитном методе создается замедление нарастания и (или) спадания магнитного потока в магнитопроводе при помощи короткозамкнутых колец или втулок, надеваемых на сердечники магнитопровода [5], и др. При использовании механич. метода необходимая выдержка времени достигается с помощью часового механизма с механич. регулятором хода, центробежным или, чаще, балансным, со свободным спуском. Механизм приводится в действие электромеханическим либо пружинным двигателем с электромеханическим или, значительно реже, ручным заводом. Часовой механизм после установленной выдержки времени воздействует на контакты или др. исполнит. часть релейного действия.

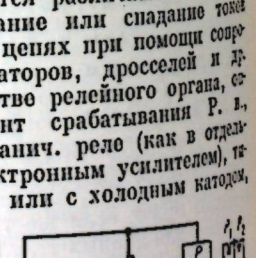


Рис. 1. Схема конденсаторного реле времени на тиратроне с холодным катодом: *К* — пусковые контакты; R_1 — разрядное, R_2 — зарядное, R_3 — ограничивающее сопротивления; *1* — катод; *2* — осн. анод; *3* — управляющий анод тиратрона; *Р* — обмотка; P_1, P_2 — контакты исполнит. реле.

Электромеханич. выдержка времени осуществляется синхронным электродвигателем. Такие Р. в. часто наз. моторными (рис. 2).

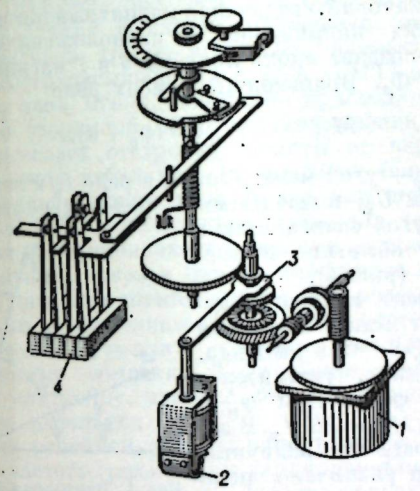


Рис. 2. Моторное реле времени (кинематич. схема): *1* — двигатель; *2* — пусковой электромагнит; *3* — сцепная муфта; *4* — контактная система.

В Р. в. с термич. замедлением для получения выдержки времени используются тепловые процессы в телах, нагреваемых электрич. током. Такие реле строятся с применением термисторов, ламп накаливания или электронных ламп, у к-рых в этом случае используется тепловая инерция нагревателей катодов. Релейным органом здесь служат те же элементы, что и в Р. в. с электрич. замедлением. У Р. в. с электро-термо-механическим преобразованием используется деформация рабочего тела (обычно твердого, реже жидкого) при нагревании его электрическим током. В таких Р. в. рабочее тело либо само служит частью контактного элемента, защелки и т. п., либо используется для их перемещения (пример — биметаллич. реле, рис. 3).

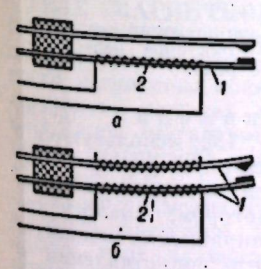


Рис. 3. Простейшие биметаллич. реле времени: *а* — без температурной компенсации, *б* — с температурной компенсацией; *1* — биметаллич. пластинка; *2* — нагреватель.

При гидравлич. методе замедления осн. частями элемента выдержки времени являются цилиндр с поршнем и двумя клапанами (входным и выходным), дроссель и рабочая пружина [8] (рис. 4). При взводе пружины вручную (или к.-л. устройством) поршень засасывает жидкость в полость цилиндра через входной клапан; в таком положении поршень удерживается защелкой или др. способом. При воздействии на воспринимающую часть защелка освобождается и пружина постепенно выдавливает содержимое цилиндра через выходной клапан и дроссель, к-рый служит для получения нужных выдержек времени. Величина выдержки времени определяется временем рабочего хода поршня. На подобном же принципе основаны пневматич. Р. в.

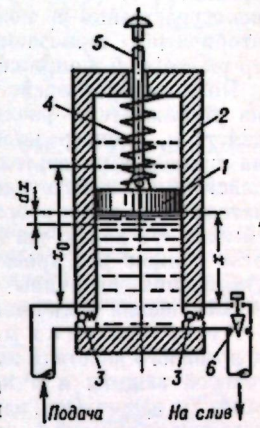


Рис. 4. Гидравлическое реле времени: *1* — поршень; *2* — цилиндр; *3* — клапаны, входной (слева) и выходной (справа); *4* — пружина; *5* — шток поршня; *6* — дроссель.

Известны также Р. в. малых выдержек времени, в к-рых замедление достигается при помощи акустич. линии задержки, выполненной из материала, обладающего магнитострикц. эффектом.

Имеется большое количество систем и типов Р. в. В связи с большим разнообразием условий применения Р. в. и предъявляемых требований выбор той или иной системы определяется, в первую очередь, необходимыми выдержками времени (*мксек*, *мсек*, *сек*, *мин*, *час*), точностью их воспроизведения, а также (для нек-рых случаев управления цепями перем. тока) постоянством фазы включения и выключения управляемой цепи. Выбор типа Р. в. производится с учетом используемой системы автоматики (электрическая, пневматическая или гидравлическая, непрерывного или дискретного действия и др.), условий эксплуатации (рабочие пределы темп-р, частота включений, наличие вибраций, повышенная влажность и т. п.), надежности и стоимости Р. в.

Лит.: 1) Терминология реле. Комитет технической терминологии, М., 1958; 2) Дружинин Г. В., Реле времени, М.—Л., 1959; 3) Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959, гл. 4, § 8, 9 и 11, табл. 4—7 в приложении; 4) Сгожс, Основы расчета и проектирования элементов автоматических и телемеханических устройств, М.—Л., 1953, с. 253, 301, 342, 359; 5) Гордон А. В., Сливинская А. Г., Электромагниты постоянного тока, М.—Л., 1960, гл. 10 и 11; 6) Шорыгин А. П., Релаксационные реле времени, «АиТ», 1947, т. 8, №3; 7) Справочник по элементам автоматики и телемеханики, [вып. 3], М.—Л., 1960; 8) Крассов Н. М., Гидравлические элементы систем автоматического регулирования, М., 1963. *А. П. Шорыгин.*

РЕЛЕ ЗАЩИТНОЕ (protective relay; relais de protection; Schutzrelais) — предназначено для релейной защиты от кз и ненормальных режимов линий электропередач и электрооборудования электростанций, подстанций, пром. и др. электроустановок.

В зависимости от физич. величины, на к-рую реагирует воспринимающий орган, различают Р. з.: тока, напряжения, мощности, сопротивления и частоты. Р. з. различаются также в зависимости от явлений, используемых для их действия. Наиболее распространены *реле электромагнитные* и индукционные, реже — реле ферродинамические, магнитоэлектри-

ческие и электротепловые. Разработаны и внедряются ПП реле.

По способу включения воспринимающего органа Р. з. бывают первичные, включаемые непосредственно в контролируемую цепь, и вторичные, включаемые через измерит. тр-ры тока и напряжения.

По способу воздействия исполнит. органа на выключатель различают Р. з. прямого действия, непосредственно воздействующие на привод выключателя, и реле косвенного действия, воздействующие на привод выключателя с помощью оперативного тока. В зависимости от характера нарушений, на к-рые реле должно реагировать, различаются Р. з. увеличения величины (максимальные реле) и уменьшения величины (минимальные реле).

Реле максимального тока мгновенного действия используются для макс. токовой защиты и в качестве пусковых органов др. защит. Осн. элемент реле — электромагнитная система (рис. 1), состоящая из электромагнита *1* с обмотками *2* и якоря *3*, расположенного между его полюсами. На одной оси с якорем имеются подвижные контакты *4* и противодействующая пружина *5*. При возрастании тока в реле сверх установленного предела (уставки) якорь, поворачиваясь под действием магнитного поля, замыкает подвижным контактом *4* неподвижные контакты *6*. Уставка реле изменяется указателем *8* по шкале *7* (изменением натяжения пружины). Реле с зависимой хар-кой времени срабатывания используется для макс. токовой защиты электродвигателей, тр-ров и линий 6—10 *кв*. Осн. элемент реле — индукц. система с диском, состоящая из электромагнита с обмоткой, на полюсах к-рого расположены короткозамкнутые витки (экраны) для расщепления магнитного потока, и алюминиевого диска. Диск помещен в зазоре между полюсами электромагнита и при токе 20—30% от тока уставки начинает вращаться. Когда ток в реле достигнет величины уставки, контакты реле замыкаются. Чем больше ток в реле, тем быстрее вращается диск и тем быстрее замыкаются контакты. Так обеспечивается зависимость времени срабатывания от тока (рис. 2). Подобные реле выпускаются серий: ИТ-80, РТ-80, РТ-90.

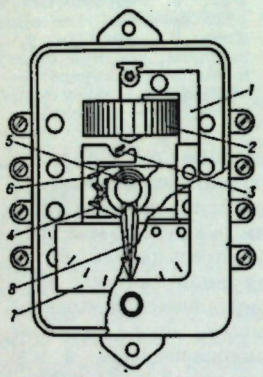


Рис. 1. Реле макс. тока мгновенного действия типа ЭТ-520.

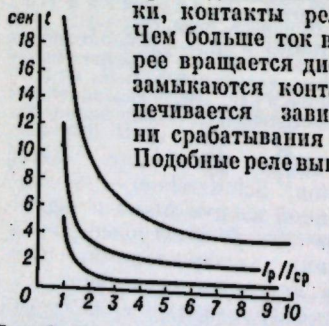


Рис. 2. Хар-ки времени срабатывания реле типа ИТ-80.

Реле напряжения (серия ЭН-520) используются для защиты оборудования от повышения и от понижения напряжения. Соответственно различаются реле максимального напряжения и реле минимального напряжения. Осн. элемент реле — электромагнитная система, подобная электромагнитной системе реле макс. тока (отличие только в обмотках).

Реле направления мощности (серии РБМ-170, РБМ-270) используются в различных схемах защиты в качестве органа, выявляющего направление мощности кз. Осн. элемент реле (рис. 3) — индукц. система с цилиндрич. ротором, состоящая из четырехполюсного магнитопровода *1*, стального цилиндра *8* и алюминиевого цилиндрич. ротора *9*. На полюсах *3* и *4* помещена обмотка тока *2*, создающая магнитный поток $\Phi_р$. Обмотка напряжения *5*, расположенная на ярме, создает вдоль полюсов *6* и *7* магнитный поток Φ_2. Вращающий момент реле

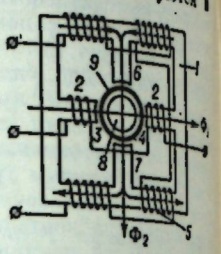


Рис. 3. Принцип устройства реле направления мощности типа РБМ-170.

$$M_{вр} = kU_р I_р \cos(\varphi_р + \alpha),$$

где: $\varphi_р$ — угол между током в реле $I_р$ и напряжением $U_р$, подводимым к реле; α — допустим. угол сдвига фазы в цепи обмотки напряжения (рис. 4).

Момент вращения достигает макс. значения при $\varphi_р = -\alpha$, к-рый наз. углом макс. чувствительности $\varphi_{р.мч}$. При $\varphi_р = -\alpha$, $M_{вр} = kU_р I_р$. В зависимости от величины угла α различают реле синусные $\alpha = 90$, косинусные $\alpha = 0$ и смешанные $90 > \alpha > 0$. Соответственно реле имеют различные зоны работы (рис. 5). Реле характеризуются также чувствительностью, к-рая нормируется при $\varphi_{р.мч}$ и составляет 0,2—4 *ва*.

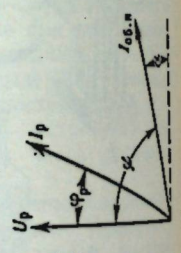


Рис. 4. Векторная диаграмма реле направления мощности: $I_{об.н}$ — ток в обмотке напряжения реле.

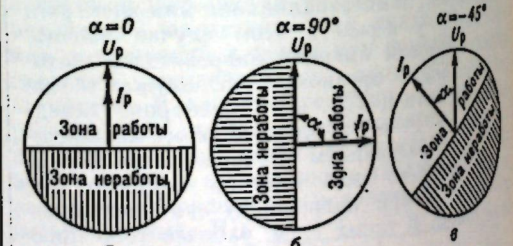


Рис. 5. Зоны работы реле направления мощности: *а* — косинусное реле; *б* — синусное реле; *в* — смешанное реле.

Реле сопротивления (серии КРС—111, 112, 121, 131, 132) используются в качестве пусковых и измерит. органов в схемах дистанц. защит. Осн. элемент — индукц. система с цилиндрич. ротором, аналогичная такой же системе реле направления мощности. Различают реле полного сопротивления и направленное реле сопротивления. Вращающие моменты для реле полного сопротивления: $k'I^2_{ср} - k''U_{ср} = 0$, для направленного реле сопротивления: $k'U^2_{ср} + k''U_{ср}I_{ср}\cos(\varphi_р + \alpha) = 0$.

Реле срабатывают при снижении сопротивления ниже уставки срабатывания. Хар-ки реле в комплексной плоскости (jx, r) изображаются окружностями (рис. 6), внутри к-рых расположена область работы реле. Угол наклона диаметра окружности направленного реле сопротивления к оси r наз. углом макс. чувствительности и выполняется равным углу полного сопротивления защищаемой линии.

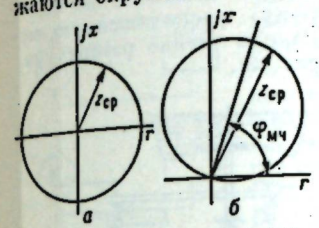


Рис. 6. Хар-ки: *а* — реле полного сопротивления и *б* — реле сопротивления направленного действия.

Реле дифференциальные (серии РНТ-562, 563, 564 и ДЗТ-1, 3, 3/2, 4) используются в схемах дифференц. защиты генераторов, тр-ров, шин. Осн. элементы реле: быстронасыщающийся тр-р (БНТ) и реле макс. тока мгнов. действия, присоединенное к его вторичной обмотке. Применение БНТ обеспечивает отстройку защиты от переходных токов небаланса, вызываемых бросками намагничивающего тока тр-ров или сквозными кз. БНТ используется также для уравнивания намагничивающих сил при неравенстве вторичных токов в плечах дифференц. защиты и для выполнения дифференц. реле с магнитным торможением. На БНТ этих реле, кроме рабочей и уравнит. обмоток, расположены тормозные обмотки. Торможение обеспечивает отстройку защиты от установившихся токов небаланса.

Для релейной защиты используются также реле частоты, реле тока и напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности, газовые реле, реле времени, промежуточные и сигнальные реле. *М. А. Беркович.*

РЕЛЕ КОДОВОЕ (code relay; relais de manipulation; Coderelais) — участвует в образовании, передаче или приеме кода. Р. к. может быть обычным реле (напр., электромагнитным), включенным в схему, служащую для выработки, передачи или приема кода. Может являться спец. модификацией реле (напр., электромагнитного), отличающейся повышенной надежностью, быстродействием или др. св-вами, существенными для применяемого кода. Р. к. может иметь также спец. конструкцию, напр. снабжаться особым исполнит. органом — кодовым контактным диском или сектором, необходимым для образования или приема заданного кода (т. н. реле-селектор). *Б. С. Сотсков.*

РЕЛЕ МАГНИТНОЕ (magnetic relay; relais magnétique; Magnetrelais) — реагирует на изменение магнитных величин (напряженности магнитного поля, магнитной индукции, магнитного потока) или магнитных хар-к материалов (магнитной проницаемости, остаточной магнитной индукции, коэрцитивной силы и т. п.).

Широко применяются Р. м., построенные на электрич. принципе. В контролируемом магнитном поле вращается якорь, ось к-рого перпендикулярна направлению магнитного поля. Получаемый постоянный (если якорь имеет коллектор) или переменный (если якорь имеет кольца) ток проходит через электрич. реле, срабатывающее при достижении магнитным полем заданного значения (рис. 1).

В др. типах Р. м. используется изменение магнитной проницаемости ферромагнитных материалов в перем. магнитном поле при подмагничивании их пост. магнитным потоком различной величины (рис. 2). Воспринимающие элементы таких Р. м. (т. н. зонды) на выходе дают эдс перем. тока осн. или двойной частоты (в зависимости от схемы), пропорциональную величине напряженности контролируемого магнитного поля. После усиления получ. напряжение подводится к электрическому реле.

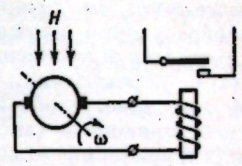


Рис. 1. Реле напряженности магнитного поля с генератором.

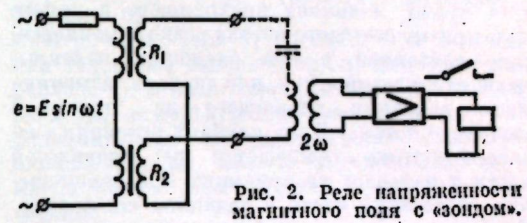


Рис. 2. Реле напряженности магнитного поля с «зондом».

В последнее время получают распространение Р. м., использующие изменение сопротивления (эффект Гаусса) или появление эдс Холла в ПП пластинке в зависимости от значения магнитной индукции, проходящей через плоскость пластинки.

Лит.: Розенблат М. А., Магнитные усилители и модуляторы, М.—Л., 1963; Сотсков Б. С., Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, М.—Л., 1950; его же, Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959. *Б. С. Сотсков.*

РЕЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЕ (mechanical relay; relais mécanique; mechanisches Relais) — реагирует на изменение механич. величин (перемещения, скорости, ускорения, расхода, давления, силы, момента, мощности) или механич. параметров веществ (упругости, вязкости, плотности и т. п.). В большинстве случаев Р. м. представляют собой датчики различных механич. величин, имеющие релейный выход или воздействующие на *релейные элементы*.

Принципы устройства Р. м. могут быть различны: механические, акустические, тепловые, оптические, магнитные, электрические, с применением радиоактивных изотопов и т. п. Выходные сигналы могут быть: электрические (пост. или перем. тока), пневматические, гидравлические.

Р. м. перемещения, построенные на механич. принципе, представляют собой контакты, расположенные либо в заданной точке пути [проходные контакты, проходной выключатель (переключатель), проходное реле], либо в конце пути [концевые контакты, концевой выключатель (переключатель), концевое реле], к-рые приводятся в действие с помощью механич. толкателя или рычажной передачи.

Р. м. перемещения, построенные на акустич. принципе, содержат излучатель (механический, магнитострикционный, электрострикционный), посылающий непрерывные или импульсные сигналы определ. частоты, и приемник, воспринимающий эти сигналы. Если фаза непрерывного акустич. сигнала, образуемого

стоячей волной, или момент приема импульсного акустич. сигнала совпадают с заданными значениями, то принятый акустич. сигнал преобразуется в приемнике в электрический, усиливается и пропускается.

Р. м. перемещения, построенные на тепловом принципе, используют изменение теплоотдачи приемника (либо увеличение притока тепла к приемнику от внешнего источника) при достижении подвижной частью реле (заслонкой, столбом жидкости и т. п.) заданного положения.

Р. м. перемещения, построенные на оптич. принципе, используют резкое изменение светового потока при перемещении подвижной части (напр., при оптич. контакте, когда при нарушении механич. контакта двух прозрачных призм величина проходящего в приемную призму светового потока резко изменяется) или связанной с ней заслонки, перекрывающей световой поток, или зеркала, изменяющего величину падающего на приемник светового потока. В др. случаях источник светового потока помещается на подвижной части и попадает на приемник при перемещении подвижной части в заданное положение.

Р. м. перемещения, построенные на электрич. принципе, реагируют на резкое изменение сопротивления в электрич. цепи при достижении подвижной частью (заслонкой, столбом жидкости и т. п.) определ. точки пути. Это достигается либо непосредств. замыканием цепи подвижной частью реле, либо перерывом потока ионных (напр., в жидкости) или электронных (напр., в магнетроне — электронной лампе с подвижными электродами) носителей тока, либо изменением емкости или индуктивности (и вследствие этого сопротивления в цепи перем. тока) (рис. 1), либо изменением частоты колебаний или срывом колебаний генератора.

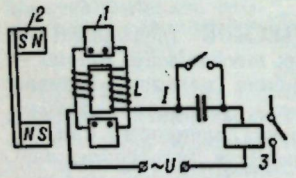


Рис. 1. Реле перемещения: *1* — восприним. орган реле — магнитометр с двухстержневым пермаллоевым сердечником; *2* — пост. магнит; *3* — реле.

Р. м. перемещения, использующие магнитный принцип, в простейшем случае имеют контакты с ферромагнитной пластинкой-якорем, к-рая притягивается расположенным на подвижной части магнитом, когда подвижная часть переместится в заданное положение, где установлен контакт. В др. типах магнитный поток от магнита, расположенного на подвижной части, воздействует на поток электронов в приемнике, вызывая его отклонение и резкое изменение сопротивления в управляемой цепи. Начинают использоваться реле, у к-рых изменение магнитного потока при перемещении подвижной части вызывает изменение сопротивления ПП пластинки (из германия, сурмянистого индия или мышьяковистого индия) или появление эдс Холла.

Р. м. перемещения с применением радиоактивных изотопов используют либо перекрытие потока α-, β- или γ-излучения подвижной частью (заслонкой, столбом жидкости), либо облучение приемника, помещенного в заданной точке пути, потоком α-, β- или γ-излучений, источник к-рых помещается на подвижной части.

Р. м. уровня являются модификацией реле перемещения. В них в качестве подвижной части обычно используется поплавок (рис. 2). Действие др. реле уровня основано на изменении давления жидкости (плотность которой известна) на мембрану, расположенную на дне или стенке резервуара (рис. 3).

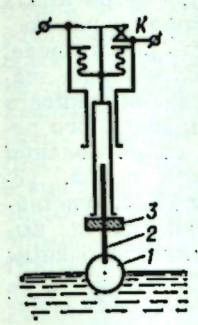


Рис. 2. Реле уровня поплавковое: *1* — поплавок; *2* — шток; *3* — регулировочная гайка.

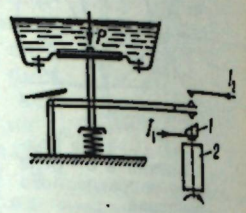


Рис. 3. Реле уровня мембранное: *1* — подвижной контакт; *2* — задатчик положения контактов (сельсин).

Р. м. скорости (т. е. реагирующие на изменение величины скорости), построенные на механич. принципе, при контроле угловой скорости вращающихся частей используют силы вязкого трения между вращающимся диском и др. параллельно располож. диском, угол поворота к-рого зависит от скорости вращения первого диска и жесткости пружины, закручиваемой при повороте второго диска. При достижении заданной скорости угол поворота второго диска будет достаточен для замыкания контактов. В др. типах Р. м. угловой скорости вращающийся вал связан с центробежным насосом, давление на выходе к-рого зависит от скорости вращения вала. Распространены Р. м. скорости, у к-рых расходящиеся под влиянием центробежных сил грузы перемещают муфту, связанную с контактами (рис. 4).

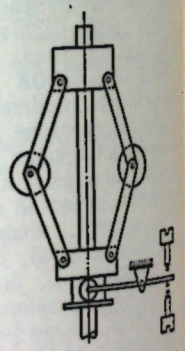


Рис. 4. Центробежное реле скорости.

Широко применяются Р. м. скорости, у к-рых контакт замыкает цепь тока при каждом обороте. Выходной сигнал в виде изменяющейся пропорционально значению скорости частоты импульсов преобразуется в месте приема в ср. значение тока, при определ. величине к-рого срабатывает приемное (электрическое) реле.

Р. м. скорости, использующие акустич. принцип действия, имеют генератор акустич. колебаний, посылающий непрерывный или импульсные акустич. сигналы. Изменение частоты в приемнике при непрерывном сигнале вследствие эффекта Доплера или в промежутке времени между двумя принятыми импульсными сигналами пропорционально скорости движения контролируемого объекта.

Р. м. скорости, основанные на тепловом принципе действия, используют изменение темп-ры (а следовательно, и сопротивления) нагретого током проводника или ПП в зависимости от величины скорости омывающего потока жидкости или газа.

Р. м. скорости оптич. принципа действия имеет диск с прорезями, перерывающими световой поток, или с поверхностями, отражающими световой поток. Частота импульсов светового потока, падающих на приемник, пропорциональна скорости.

Р. м. скорости, основанные на электрич. принципе действия, используют эдс, индуктированную в проводнике, движущемся в магнитном поле. Конструктивно такие реле имеют вид маленького генератора (тахогенератора) пост. или перем. тока, в цепи нагрузки к-рого помещено электрич. реле (рис. 5). В др. распространенном типе реле скорости вращающийся пост. магнит создает в диске или цилиндре вихревые токи, к-рые, взаимодействуя с потоком пост. магнита, вызывают момент, стремящийся повернуть диск или цилиндр в сторону движения магнита. Т. к. диск или цилиндр удерживается пружиной, то угол поворота диска или цилиндра пропорционален скорости вращения магнита (рис. 6).

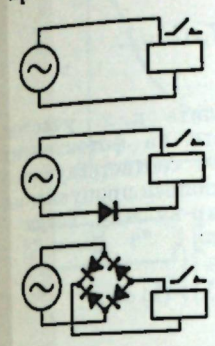


Рис. 5. Схема включения реле скорости с тахогенератором.

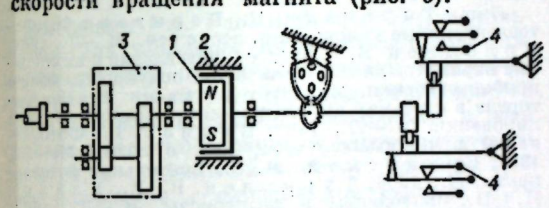


Рис. 6. Реле скорости с вращающимся пост. магнитом: *1* — пост. магнит; *2* — латунный стакан; *3* — редуктор; *4* — микропереключатели.

Р. м. скорости с использованием радиоактивных изотопов имеют либо диск, прерывающий с определ. скоростью поток α-, β- или γ-излучений, падающий на приемник, либо источник излучения, помещенный на вращающейся части, к-рый при каждом обороте облучает приемник.

Р. м. ускорения обычно основаны на перемещении неподвижного или вращающегося тела, подвешенного на пружине или взвешенного в жидкости, при воздействии на него ускорений.

Р. м. расхода газа или жидкости, основанные на механич. принципе, используют вертушку с винтообразно расположенными лопастями, скорость вращения к-рой пропорциональна количеству газа или жидкости, протекающих по трубе. Скорость вращения измеряется с помощью контактного, индуктивного или радиоактивного датчика и электрич. реле, реагирующего на ср. значение тока. В реле расхода может использоваться также изменение перепада давления, возникающего по обе стороны сужения (диафрагмы, вставки Вентури и т. п.) в трубе и пропорционального расходу. При достижении заданного значения перепада давления срабатывает реле давления.

Р. м. расхода акустич. принципа действия включает генератор акустич. колебаний и два приемника, расположенные вдоль трубы по обе стороны генератора (на одинаковых расстояниях). В случае непрерывного сигнала измеряется разность фаз колебаний, воспринимаемых приемниками, а в случае импульсных сигналов — разность времени прихода импульсов.

Р. м. расхода теплового принципа действия строятся аналогично Р. м. скорости.

Р. м. расхода электрич. принципа действия для жидкостей (преимущественно проводящих) используют эдс, индуктируемую в жидкости при протекании ее в магнитном поле, направленном перпендикулярно оси трубопровода (рис. 7). Эдс, снимаемая с электродов, расположенных перпендикулярно оси магнитного потока, пропорциональна ср. скорости течения жидкости $v_{ср}$ и, при постоянном сечении трубопровода s, пропорциональна расходу $Q = sv_{ср}$. Стоящее на выходе электрическое реле срабатывает при достижении заданного значения эдс и, следовательно, расхода Q. В последнее время появились Р. м. расхода, использующие электрические или радиоактивные методы создания ионизированных порций газа и определяющие время переноса этих порций на заданное расстояние.

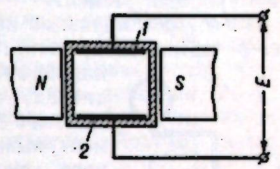


Рис. 7. Электромагнитное реле расхода: *1* — изоляц. трубка; *2* — электроды.

Р. м. давления жидкости или газа, основанные на механич. принципе действия, используют как уравновешивание давления столбом жидкости (жидкостные контактные манометры, «кольцевые весы») или грузом (колокольные контактные манометры, рис. 8), так и силы реакции упругих элементов (плоских, гофрированных или мягких мембран, сильфонов, трубчатых пружин — одно- и многовитковых).

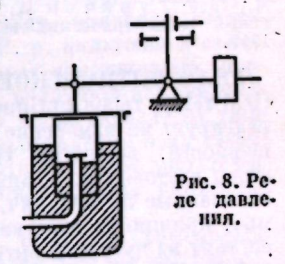


Рис. 8. Реле давления.

Р. м. давления акустич. принципа действия используют изменения скорости звука или величины поглощения звука в зависимости от давления в газе.

Р. м. давления теплового принципа действия используют зависимость от давления теплопроводности газа и связанной с ней темп-ры и, следовательно, сопротивления нити или термистора, включенных в цепь электрич. реле. В др. варианте используется термопара, темп-ра горячего спая к-рой зависит от теплопроводности газа, определяемого его давлением.

Р. м. давления могут быть основаны на изменении степени ионизации газа в промежутке между двумя электродами. Ионизация газа вызывается: а) электронами, вылетающими из катода, накаливаемого током (в Р. м. давления электрич. принципа), б) источником излучения радиоактивных частиц.

В Р. м. усилия, основанных на механич. принципе, усилия преобразуются в перемещение с помощью упругих элементов (пружин); далее выходной сигнал формируется так же, как и у Р. м. перемещения. Р. м. усилия, основанные на электрич. принципах, используют либо изменение сопротивления проводниковых и ПП материалов (тензометров), либо изменение магнитной проницаемости ферромагнитных материалов под давлением сжимающего или растягивающего

усилий, либо появление зарядов на гранях кристаллов, обладающих пьезоэлектрическими свойствами.

Р. м. момента используют взаимное смещение двух систем тензометрич. или магнитных элементов, расположенных рядом на валу; это смещение происходит вследствие скручивания вала, через к-рый передается измеряемый момент.

Р. м., реагирующие на изменение механич. св-в материалов, напр. вязкости газа или жидкости, выполняются на двух дисках, один из к-рых вращается с пост. скоростью, а момент, вызывающий поворот второго, расположенного параллельно первому, зависит от вязкости газа или жидкости, находящейся между ними. Реле, реагирующие на плотность жидкости (рис. 9), могут быть выполнены аналогично реле уровня, если обеспечить постоянство высоты столба жидкости (напр., путем устройства сливного отверстия на нужном уровне).

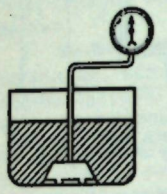


Рис. 9. Реле плотности жидкости.

Лит.: Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования элементов автоматических и телемеханических устройств, М.—Л., 1953; его же, Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959; Турчин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.—Л., 1959.

Б. С. Сотсков.

РЕЛЕ ОПТИЧЕСКОЕ (фотореле) (optical relay; relais optique; optisches Relais) — реагирует на изменение оптич. величин (освещенности, величины светового потока, частоты световых колебаний). Существуют Р. о., основанные на механич., электрич. и фотохимич. принципах действия. Р. о., как правило, состоят из датчиков оптич. величин, имеющих релейный выход или воздействующих на *релейные элементы*. Р. о., основанные на механическом (точнее, термомеханическом) принципе, имеют зачерненный внешний цилиндр (или проволоку) из материала с высоким коэфф. линейного расширения и внутр. цилиндр или стержень (или проволоку) из материала с малым коэфф. линейного расширения (инвара). Поглощаемый внешним цилиндром световой поток вызывает его нагрев и большее удлинение по сравнению с внутр. цилиндром. Разница между удлинениями увеличивается с помощью рычага, к-рый одновременно играет роль подвижного контакта.

В Р. о., основанных на электрич. принципе действия, воспринимающий орган выполняется в виде: фотоэлемента вакуумного или газонаполненного, фотосопротивления, фотоэлемента с запирающим слоем, фотодиода, фототриода или фотоумножителя и исполнительного (выходного) органа в виде электрич. реле. Иногда в качестве промежуточного органа применяют ламповый или ПП усилитель для усиления фотоэдс или фототока, если они недостаточны для действия выходного электрич. реле. Для облегчения усиления применяют модуляцию потока в месте расположения источника или приемника излучений.

Если спектр. хар-ка падающего на фотоэлемент светового потока $\Phi(\lambda)$, а спектр. хар-ка фотоэлемента $I_\phi(\lambda)$ при $\Phi(\lambda)=\text{const}$, то интегр. значение фототока, получаемого в цепи фотоэлемента, будет равно:

$$I_{\phi\Sigma} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda)\, I_\phi(\lambda)\, d\lambda.$$

Если необходимо выделить к.-л. участок спектра $(\lambda_a - \lambda_b)$ падающего на фотоэлемент светового потока, то ставят соответствующие светофильтры, имеющие в полосе пропускания заданную спектральную хар-ку $r(\lambda)$. Тогда

$$I_{\phi\Sigma} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda)\, I_\phi(\lambda)\, r(\lambda)\, d\lambda.$$

Существуют Р. о., основанные на фотохимич. принципе. В них под влиянием падающего светового потока образуется HCl из смеси H и Cl. Происходящее при этом изменение объема используется для замыкания ртутных контактов.

Лит.: Гартманн В., Бернгард Ф., Фотоэлектронные умножители, пер. с нем., М.—Л., 1961; Коломиец Б. Т., Фотосопротивления и их основные параметры, в сб.: Применение полупроводников в приборостроении, М., 1958; Литвак В. Н., Фотореле в системах автоматического контроля и регулирования, М.—Л., 1961; Саммер В., Фотоэлементы в промышленности, пер. с англ., М.—Л., 1961; Сомминский М. С., Вентильные фотоэлементы, Л., 1956; Туркулец В. И., Удалов Н. П., Фотодиоды и фототриоды, М.—Л., 1962; Сотсков Б. С., Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, М.—Л., 1950.

Б. С. Сотсков.

РЕЛЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ С ЭЛЕМЕНТОМ СОПЛО-ЗАСЛОНКА (pneumatic relay with nozzle-flapper; relais pneumatique avec buse-palette; pneumatisches Relais mit Düse-Prallplatte) — пневматич. усилитель с дросселем типа *сопло-заслонка* в качестве выходного элемента. На входе в Р. п. с э.с.-з. обычно имеется нерегулируемый *дроссель пневматический* (рис. 1). В пневматич. приборах мембранного типа заслонка связана с мембранным блоком, к к-рому подводятся входные давления (см. *Регулятор пневматический. Агрегатная унифицированная система*). При нарушении баланса входных давлений мембранный блок изменяет свое положение и заслонка приближается к соплу. Незначит. изменение расстояния между соплом и заслонкой (порядка сотых долей *мм*) вызывает увеличение давления перед соплом от нуля до полного давления питания (кривая 2 на рис. 1). Для увеличения крутизны хар-ки Р. п. с э. с.-з. применяют спец. регулирующие устройства, поддерживающие постоянство перепада давлений до и после входного и выходного дросселей камеры (кривая 1 на рис. 1) и эжекторы. На рис. 2, *а* показана хар-ка Р. п. с э. с.-з. обычного типа (рис. 2, *б*), на рис. 2, *б* — характеристика Р. п. с э. с.-з., снабженного эжектором (рис. 2, *г*).

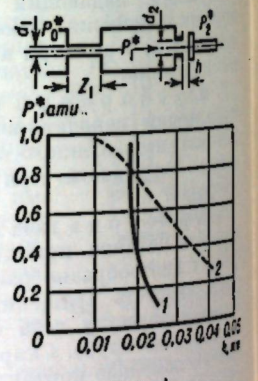


Рис. 1.

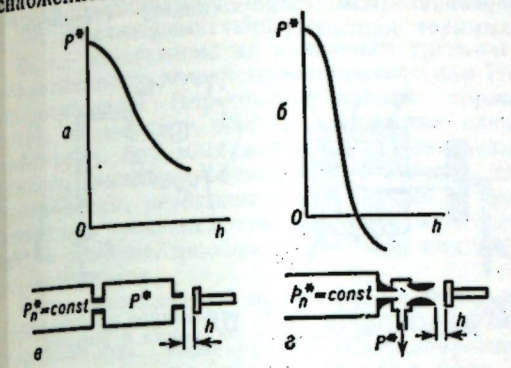


Рис. 2.

Лит.: Дмитриев В. Н., Улучшение статической характеристики пневматического реле применением дросселей постоянного перепада, «АиТ», 1957, т. 18, № 8; Залманзон Л. А., Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления, М., 1961.

Б. С. Шкрабов.

РЕЛЕ РАЗМЕРОВ (dimensions relay; relais de mesures; Dimensionsrelais) — реле перемещения (см. *Реле механическое*), используемое для контроля малых отклонений размеров деталей от установленных пределов, имеющее в своей конструкции неподвижный контакт, пространственное положение к-рого связано с заданной границей контролируемого размера, и подвижный контакт, изменяющий свое положение с изменениями размера проверяемой детали; замыкание (или размыкание) этих контактов создает электрич. цепь для получения сигнала о выходе размеров контролируемой детали из заданных пределов. В конструкции Р. р. может иметься различное число контактных пар: если имеется только 1 пара, датчик наз. однопредельным, или одноконтактным, при 2 парах контактов — двухпредельным, или двухконтактным, и при неск. парах — многопредельным, или многоконтактным. Р. р. наз. безрычажными или рычажными в зависимости от отсутствия или наличия в них рычажной системы, увеличивающей величину перемещения подвижного контакта сравнительно со смещением элемента, непосредственно воспринимающего изменение размера контролируемой детали. Передаточное число рычажных систем в Р. р. обычно не превышает 1 : 10.

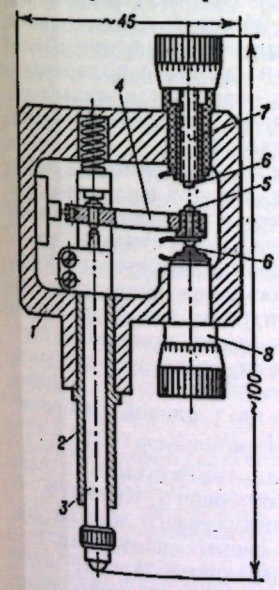


Рис. 1.

Наибольшее распространение получили двухпредельные рычажные Р. р. (рис. 1). В стальном корпусе *1* в гильзе *2* скользит измерит. стержень *3*. В корпусе *1* на плоской пружине закреплен рычаг *4*, несущий на конце подвижный контакт *5*. Два неподвижных контакта *6* установлены на концах наборочных винтов *7* и *8*, ввернутых на изоляционных втулках в корпус *1*. При смещении стержня *3* приходят в движение рычаг *4* и контакт *5*, могущий перемещаться до замыкания с каким-либо из неподвижных контактов, что соответствует предельным значениям контролируемого размера.

Предельная погрешность Р. р. не превышает ± 1 *мк*. В цепь контактов Р. р. включаются сигнальное или исполнит. устройства, имеющие небольшое потребление тока (напр., неоновая лампа или поляризованное реле). Однако точность и надежность действия Р. р. при этом будут сравнительно невысокими из-за электрич. эрозии контактов. Поэтому чаще всего внешние устройства подключаются к Р. р. не непосредственно, а через электронное реле, как на рис. 2, где приведена схема электронного реле на две команды, работающего от двухпредельного Р. р. В схеме применены усилит. лампы типа 6П3С, анодный ток к-рых достаточен для срабатывания электромагнитных приборов станочной автоматики. Питается реле от перем. тока без выпрямит. устройств за счет протекания тока через лампы во время положит. полуволи напряжения на их анодах. Р. р. включено в сеточные цепи ламп, питаемые напряжением, противофазным анодному; величины напряжения и тока через контакты Р. р. зависят от типа ламп и от величин сопротивлений в их сеточных цепях и могут быть выбраны достаточно малыми, не вызывающими эрозии контактов Р. р.

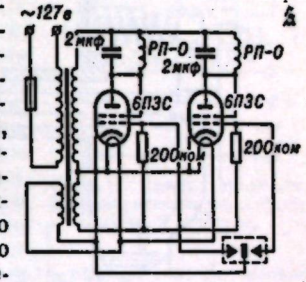


Рис. 2.

Многоконтактные Р. р. могут применяться для размерной сортировки деталей на группы, количество к-рых соответствует числу контактных пар. Существуют также спец. конструкции амплитудных одноконтактных Р. р., к-рые могут контролировать амплитуды отклонений какого-либо размера, напр. величины овала цилиндрич. детали при ее проворачивании под измерит. стержнем Р. р. При этом для повышения быстродействия и для запоминания команд электронное реле выполняется либо на триггерных (спусковых) схемах, либо на тиратронах. Наряду с рассмотренными контактными Р. р. имеются реле исполнения, работающие без механич. контакта с контролируемой поверхностью. Такие реле могут быть основаны на различных принципах действия. Наиболее употребительны: пневматические (см. *Датчик размеров пневматический*), индуктивные ВЧ (см. *Измерения возбуждением вихревых токов*), емкостные (см. *Датчик емкостный*), фотоэлектрические.

Лит.: Трапезников В. А. [и др.], Автоматический контроль линейных размеров изделий, М., 1947, с. 70—118; Берклайд И. М. [и др.], Датчики и измерительные головки, М., 1960, с. 10—70.

В. С. Чаман.

РЕЛЕ ТЕПЛОВОЕ (thermal relay; relais thermique; Wärmerelais) — реагирует на изменение тепловых величин (темп-ры, теплового потока и т. п.).

Существуют Р. т., основанные на механич., электрич., оптич. и акустич. принципах дей-

ствия. Р. т., основанные на механич. принципе, используют либо линейное или объемное расширение, либо переход вещества из твердого в жидкое или из жидкого в газообразное состояние, либо изменения плотности или вязкости газов.

Р. т., использующие линейное расширение, состоят из двух стержней (или трубки и внутр. стержня), изготовленных из материалов с различным температурным коэфф. линейного расширения. Разность удлинений стержней (или трубки и стержня) увеличивается с помощью рычага *4*, к-рый приводит в действие подвижной контакт *2* (рис. 1).

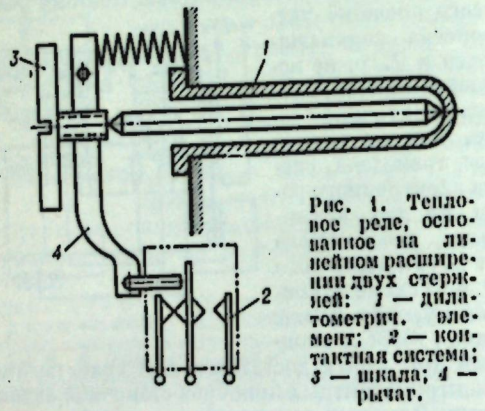


Рис. 1. Тепловое реле, основанное на линейном расширении двух стержней: *1* — дилатометрич. элемент; *2* — контактная система; *3* — шкала; *4* — рычаг.

Широко распространены биметаллич. Р. т. (рис. 2), у к-рых пластина, состоящая из двух слоев металла, обладающих различными коэфф. линейного расширения, и закрепленная одним концом, изгибается свободным концом в сторону металла с меньшим коэфф. линейного расширения. Свободный конец пластинки связан с подвижным контактом, к-рый при заданной темп-ре замыкает электрич. цепь. Используются различные биметаллы: латунь—инвар, сталь—инвар и т. д. Биметаллич. пластина чаще всего выполняется в виде плоской пластинки, а иногда в виде плоской или винтовой спирали.

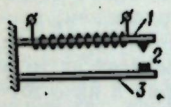


Рис. 2. Схема биметаллич. реле: *1* — нагревающая обмотка; *2* и *3* — рабочая и компенсационная биметаллич. пластинки.

Р. т., использующие объемное расширение, имеют резервуар (ампулу), наполненный жидкостью (напр., ртутью) или газом (рис. 3). Ртуть, расширяясь, поднимается по трубке, соединенной с ампулой (рис. 3, *а*), доходит при заданной темп-ре до неподвижного контакта $к_2$, впаянного в трубку, и замыкает управляемую цепь. При нагревании газа (рис. 3, *б*) нагреват. элементом *1* в резервуаре *2* ртуть вытесняется и размыкает контакты.

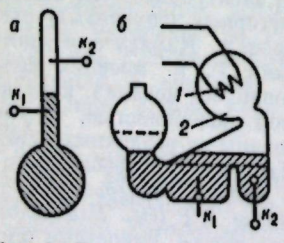


Рис. 3. Тепловое реле, основанное на объемном расширении: *а* — жидкости, *б* — газа.

В Р. т., использующих переход веществ (обычно металлов) из твердого состояния в жидкое (рис. 4), конец стержня с лопаткой *1*, находящийся под действием пружины, вставлен в нек-рый объем легкоплавкого вещества *2*. При повышении темп-ры в камере 3 до темп-ры плавления вещества пружина *4* выдергивает (или поворачивает) стержень и замыкает контакт.

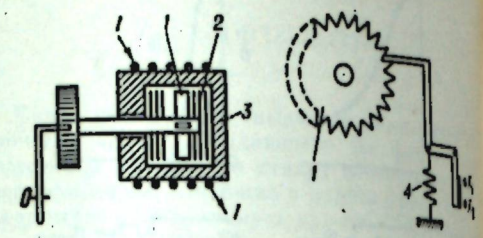


Рис. 4. Тепловое реле, основанное на переходе вещества из твердого состояния в жидкое.

В Р. т., у которых используется переход веществ из жидкого состояния в газообразное (рис. 5), имеется ампула *1*, наполненная легко испаряющейся жидкостью (напр., хлористый этил — для темп-р от 40° до 160° С, хлористый метил — от 0° до 150° С) и соединенная капиллярной трубкой *2* (длиной до 10 *м*) с манометрич. элементом *3* (коробкой с мембраной или сильфоном). Капиллярная трубка заполнена передаточной малосжимаемой жидкостью — смесью глицерина, этилового спирта и воды или гликоля и винного спирта. При повышении темп-ры ампулы жидкость, заключенная в ней, испаряясь, вызывает повышение давления паров, к-рое через жидкость, заполняющую капиллярную трубку, передается сильфону. Последний перемещается и воздействует при этом на ртутный контакт *4*.

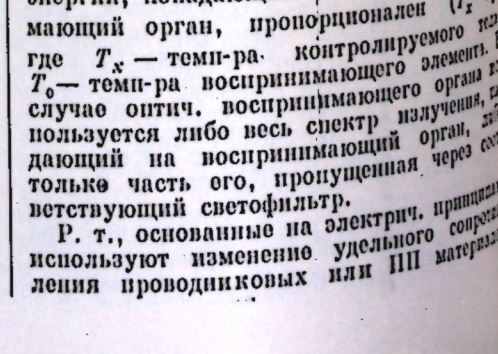


Рис. 5. Тепловое реле, основанное на переходе вещества из жидкого состояния в газообразное.

Р. т., использующие зависимость плотности газа от темп-ры, состоят из маленького насоса, засасывающего в единицу времени пост. количество воздуха через сужение, и движущееся в место, где контролируется темп-ра. Изменение перепада давления после сужения пропорционально контролируемой темп-ре.

Р. т., использующие оптич. принципы, применяются для измерения темп-ры движущихся тел или очень высоких темп-р. Используется энергии, попадающий на тепловой воспринимающий орган, пропорционален $(T_x^4 - T_0^4)$, где T_x — темп-ра контролируемого тела, T_0 — темп-ра воспринимающего элемента. В случае оптич. воспринимающего органа используется либо весь спектр излучения, падающий на воспринимающий орган, либо только часть его, пропущенная через соответствующий светофильтр.

Р. т., основанные на электрич. принципе, используют изменение удельного сопротивления проводниковых или ПП материалов, изменение диэлектрич. постоянной или магнитной проницаемости или термоэдс в зависимости от изменения темп-ры.

Р. т., работающие на изменении удельного сопротивления, имеют проводниковое или ПП сопротивление (термосопротивление, термистор), включенное обычно в качестве плеча дифференц. или мостовой схемы. Повышение темп-ры вызывает изменение величины сопротивления, разбаланс токов в схеме и срабатывание чувствит. электрич. реле, включенного в измерит. диагональ мостовой или дифференц. схемы.

Иногда используют нелинейность вольтамперных хар-к ПП термосопротивлений (термисторов), вызывающую скачкообразное изменение тока (релейный эффект) в цепи, в к-рую включено ПП сопротивление.

Р. т., основанные на изменении диэлектрич. постоянной, имеют конденсатор с диэлектриком, резко меняющим свою диэлектрич. постоянную при изменении темп-ры в заданных пределах. Конденсатор включается в цепь перем. тока последовательно с нагрузкой или в контур генератора электрич. колебаний. При достижении заданной температуры происходит резкое изменение тока в цепи нагрузки либо срыв колебаний генератора.

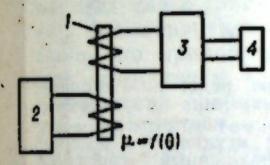


Рис. 6. Тепловое реле, основанное на изменении магнитной проницаемости: *1* — стержень; *2* — генератор; *3* — усилитель; *4* — реле.

Р. т., работающие на изменении магнитной проницаемости (рис. 6), имеют сердечник *1* из ферромагнитного сплава, точка Кюри к-рого соответствует (или близка) заданному значению темп-ры срабатывания. Обмотка сердечника включена в цепь переменного тока последовательно с нагрузкой или в контур генератора электрич. колебаний 2. При достижении заданной темп-ры ток в цепи нагрузки резко изменяется либо происходит срыв колебаний генератора. Р. т., использующие изменение величины термоэдс в зависимости от темп-ры горячего спая термопары, состоят из термопары и высокочувствит. электрич. реле, срабатывающего при достижении темп-рой (и, следовательно, термоэдс) заданного значения.

Для усиления эдс, подводимой к электрич. реле, используют усилители пост. или перем. (с предварит. модуляцией и последующей демодуляцией) тока, термопары из ПП материалов или помещают горячий спай в магнитное поле.

Р. т., использующие акустические принципы, не нашли применения в промышленности.

Лит.: Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Волошин И. Ф., Полупроводниковые термосопротивления, Минск, 1959; Волошин И. Ф., Касперович А. С., Шашков А. Г., Полупроводниковые термосопротивления, Минск, 1959; Нечаев Г. К., Термосопротивления в температурном контроле, Киев, 1959; Нечаев Г. К., Удалов Н. П., Реле и датчики с полупроводниковыми термосопротивлениями, М.—Л., 1961; Туричин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, М.—Л., 1959; Удалов Н. П., Полупроводниковые термоуправляемые сопротивления, М., 1959; Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959; Щепкин С. И., Контрольно-измерительные и регулирующие приборы в химических производствах, М., 1945.

Б. С. Сотсков.

РЕЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ БЕСКОНТАКТНОЕ (с изменяющейся индуктивностью) (noncontact electrical relay; relais électrique à résonance; kontaktloses elektrisches Relais) — *магнитный усилитель* в релейном режиме, т. е. магнитный усилитель с глубокой положит. *обратной связью* (рис. 1).

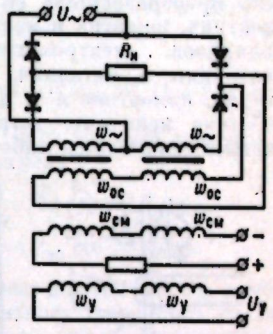


Рис. 1. Схема электрич. бесконтактного реле с обратной связью.

Ширина петли Р. э. б. (рис. 2) тем больше, чем больше обратная связь. Изменяя величину тока смещения, можно менять в широких пределах величину тока срабатывания, изменяя коэфф. обратной связи,— получать различное значение коэфф. возврата реле. Р. э. б. может быть как однотактным, так и двухтактным.

Осн. достоинства Р. э. б.— высокая степень надежности (вследствие отсутствия контактов и подвижных частей), независимость параметров срабатывания и отпускания от ударов, вибраций и положения в пространстве, пожаро- и взрывобезопасность и большая чувствительность. Кроме того, Р. э. б. обладают меньшей инерционностью, меньшими временами срабатывания и отпускания по сравнению с электромагнитным реле. Мощность срабатывания может быть доведена до 10^{-5}—10^{-6} *ат*. Недостатки Р. э. б.: наличие только одного выхода и наличие тока в цепи нагрузки в положении «выключено», более низкий по сравнению с контактными реле кид, а также большие габариты при пром. частоте питания.

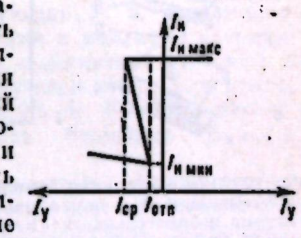


Рис. 2. Зависимость тока нагрузки от тока управления для электрич. бесконтактного реле.

М. А. Болтенков.

РЕЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ РЕЗОНАНСНОЕ (electrical resonance relay; relais électrique à résonance; elektrisches Resonanzrelais) — основано на явлении резонанса в электрич. или механич. колебательных системах. Р. э. р. реагирует на воздействие перем. напряжения (тока) определ. узкой полосы частот. Применяется гл. обр. в частотных устройствах защиты и телемеханики.

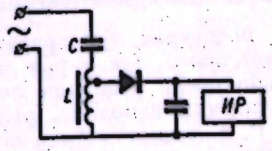


Рис. 1. Схема электрич. резонансного реле.

Пример Р. э. р., основанного на явлении резонанса в электрич. системе, — последоват. резонансный *LC*-контур, индуктивность *L* которого выполнена в виде автотрансформатора, питающего исполнит. элемент (рис. 1). При совпадении частоты тока с собств. частотой контура на выходной обмотке автотранс-

форматора напряжение максимально и достаточно для срабатывания исполнит. реле *ИР*, в качестве к-рого может быть использовано электромагнитное реле (обычно включаемое через выпрямитель).

Р. э. р., основанное на явлении резонанса в механич. системе, содержит электромеханич. преобразователь (т. е. преобразователь электрич. энергии в механическую,— обычно поляризов. электромагнит), возбуждающий колебания в металлич. пластине (язычке), струне, камертоне и т. д. Для приведения в действие исполнит. устройства резонансная система связывается либо с электрич. контак-

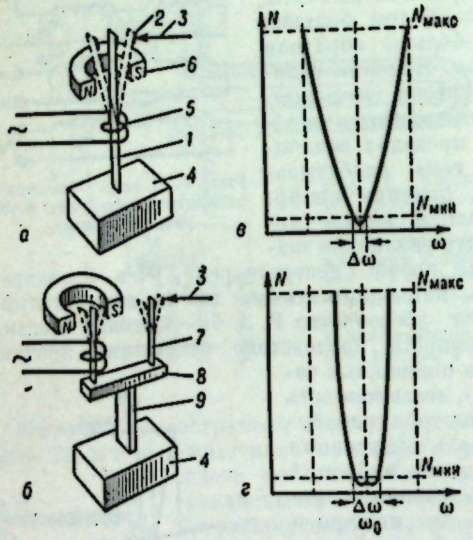


Рис. 2. Электромеханич. резонансное реле: *а* — одноязычковое, *б* — двухязычковое и их характеристики избирательности (*в* и *г*); *1*—пластина (язычок) из ферромагнитного материала; *2* — подвижной контакт; *3* — неподвижный контакт; *4* — опора; *5* — обмотка возбуждения; *6* — пост. магнит; *7* — вторая пластина (язычок) из немагнитного материала; *8* — общая опора первого и второго язычков; *9* — третья вибрирующая пластина. $N_{мин}$ — минимальная мощность возбуждения, при к-рой реле надежно срабатывает, $N_{макс}$ — максимально допустимая мощность возбуждения реле.

том (рис. 2), либо с выходным электромеханич. преобразователем (преобразующим механич. энергию в электрическую, рис. 3).

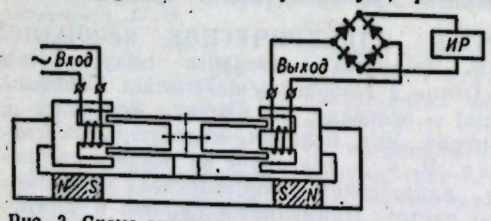


Рис. 3. Схема электромеханич. резонансного реле с выходным электромеханич. преобразователем.

В последнем при срабатывании реле возникает перем. эдс, к-рая либо непосредственно, либо после усиления используется для возбуждения исполнит. реле.

Р. э. р. могут быть получены также путем включения исполнит. реле на выходе частотных полосовых фильтров различных типов (электрических, магнитострикционных, кварцевых и др.).

А. Я. Меленчук.

РЕЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ (electromagnetic relay; relais électromagnétique; elektromagnetisches Relais) — реагирует на величину электрич. тока посредством притяжения ферромагнитного якоря или сердечника при прохождении тока через его обмотку. Воспринимающий орган Р. э.— обмотка и магнитная система с подвижной частью (якорем или сердечником). Исполнит. орган — контакты. Орган сравнения образуется подвижной частью и дополнит. грузами и пружинами (возвратными и контактными). Р. э. может быть нейтральным и поляризованным. Действие нейтрального (обычного) Р. э. не зависит от направления тока в его обмотках. Действие поляризованного Р. э. зависит от направления (полярности) тока в обмотках.

По характеру движения подвижной системы Р. э. разделяются на втяжные и поворотные (рис. 1, *а* и *б*). Во втяжных Р. э. имеется

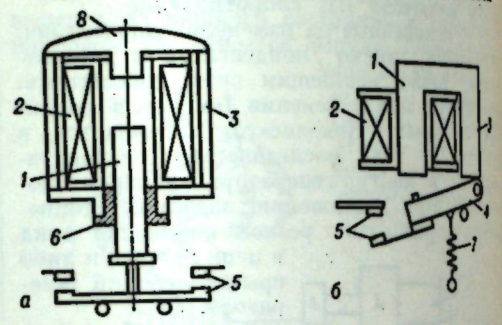


Рис. 1. Электромагнитное реле: *а* — втяжное; *б* — поворотное; *1* — сердечник; *2* — обмотка; *3* — ярмо; *4* — якорь; *5* — контакты; *6* — направляющая немагнитная втулка; *7* — возвратная пружина; *8* — неподвижный сердечник («стоп»).

подвижной сердечник *1*, к-рый движется в направляющей втулке из немагнитного металла *6*. Конфигурация «стопы» неподвижного сердечника *8* и обращенного к нему конца подвижного сердечника определяют вид тяговой хар-ки реле. Если втяжное реле не имеет магнитопровода, то его часто наз. соленоидным. В поворотных Р. э. имеется подвижной якорь *4*. Если угол его поворота небольшой (5—10°), то поворотное реле наз. часто клапанным. Как втяжные, так и поворотные реле могут быть уравновешенными или неуравновешенными по отношению к воздействующим на них ускорениям.

Оси. хар-ки Р. э.— тяговая и механическая (нагрузочная). Тяговая хар-ка определяется изменением усилия притяжения $P_э$ при изменении рабочего воздушного зазора δ между неподвижной и подвижной (якорем или сердечником) частями магнитной системы при определенной намагничивающей силе обмотки F. Она определяется для реле пост. тока, как

$$P_э = \frac{dw_{мв}}{d\delta} = -\frac{F_в^2}{8\pi \cdot 981} \cdot \frac{dG_в}{d\delta} = -6{,}2 \cdot 10^{-5} (Iw_в)^2 \frac{dG_в}{d\delta},$$

где $F_в$ — часть намагничивающей силы, создаваемой обмоткой реле, идущая на проведение магнитного потока через рабочий воздушный зазор. Значение $F_в = F \cdot k$, где $k = R_{мв}/(R_{мв} + R_{мс})$; $R_{мв} = 1/G_в$ и $R_{мс}$ — магнитные сопротивления рабочего воздушного зазора и магнитопровода, $dG_в/d\delta$ — производная изменения магнитной проводимости рабочего воздушного зазора по ходу якоря или сердечника. Для поворотных реле удобнее тяговую хар-ку выражать через тяговый момент $M_э = P_э \cdot r$ и угол поворота $\alpha = \delta/r$, тогда

$$M_э = -\frac{dw_{мв}}{da} = -\frac{F_в^2}{8\pi \cdot 981} \cdot \frac{dG_в}{da} = -6{,}2 \cdot 10^{-5} (Iw_в)^2 \frac{dG_в}{da}.$$

На рис. 2 приведено семейство тяговых хар-к, соответствующих различным ампервиткам обмотки для Р. э. с плоским поворотным якорем. Механич. хар-ка определяется изменением механич. усилий, противодействующих движению якоря или подвижного сердечника. Она создается неуравновешенными силами веса якоря и возвратной и контактными пружинами.

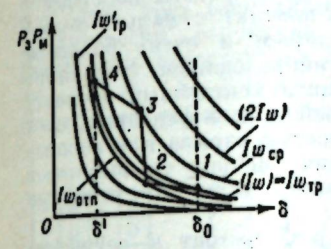


Рис. 2. Семейство тяговых хар-к для реле с плоским поворотным якорем.

Наложением механич. хар-ки на семейство тяговых хар-к (рис. 2) определяют значения: $Iw_{тр}$ — ампервитков трогания при срабатывании (по кривой тяговой хар-ки, проходящей через точку *1* механич. хар-ки), $Iw_{ср}$ — ампервитков срабатывания (по кривой, проходящей через точку *2*), $Iw'_{тр}$ — ампервитков трогания при отпускании (точка *3*) и $Iw_{отп}$ — ампервитков отпускания (точка *4*).

Соответствующие значения тока, напряжения и мощности для моментов трогания, срабатывания, трогания при отпускании и отпускания определятся из зависимостей:

$$I_x = (Iw)/w; \quad U = I_x R_{обм}; \quad P = I_x^2 R_{обм},$$

где $R_{обм} = \frac{\varrho l_{ср} w}{\frac{\pi d^2}{4}}$ — сопротивление обмотки,

ϱ — удельное сопротивление провода, $q = \pi d^2/4$ — сечение проводника, $l_{ср}$ — длина ср. витка, w — число витков.

Между ампервитками, создаваемыми обмоткой, и теряемой в ней мощностью существует зависимость:

$$(Iw)^2 = P \frac{Ql_0}{\varrho l_{ср}},$$

где $Q = L \cdot H$ — площадь поперечного сечения окна намотки, l_0 — коэфф. заполнения окна намотки, зависящий от вида изоляции и диаметра провода.

Время срабатывания $t_{ср}$ Р. э. складывается из времени трогания $t_{тр}$, в течение к-рого ток нарастает до значения тока трогания $i_{тр}$ и времени движения $t_{дв}$, необходимого для перемещения подвижных частей до момента замыкания (размыкания) контактов. Т. к. $i_{тр} \approx i_{ср}$, то $t_{ср}$ определяется по ур-нию изменения тока $i = \frac{E}{R}(1 - e^{-t/\tau})$, где $\tau = 1/R$ — постоянная времени цепи обмотки, то

$$t_{ср} = t_{тр} + t_{дв} \approx \tau \ln \frac{E}{E - Ri_{тр}} + t_{дв}.$$

Время отпускания $t_{отп}$ Р. э. определяется как сумма времени трогания при отпускании $t'_{тр}$ и времени движения при отпускании $t'_{дв}$

$$t_{отп} = t'_{тр} + t'_{дв} \approx \tau' \ln \frac{E}{Ri_{отп}} + t'_{дв}.$$

Обычно зависимости $t_{ср} = f_1(E/R)$ и $t_{отп} = f_2(E/R)$ для Р. э. определяются экспериментально.

Р. э. перем. тока обычно имеют магнитную систему, состоящую из магнитопровода I-, П- или Ш-образной формы, собранного из листовой электротехнич. стали, обладающей малыми потерями на гистерезис и вихревые токи. Т. к. при перем. токе $I = I_m \sin \omega t$ и

$$(Iw)^2 = (Im)_m^2 \sin^2 \omega t = (Iw_m/2)_m^2 (1 - \cos 2\omega t),$$

то тяговые усилия (или тяговый момент) будут меняться по закону

$$P_э = \frac{C_0}{2}(Iw)_m^2 - \frac{C_0}{2}(Iw)_m^2 \cos 2\omega t = P_{э0} - P_{э0} \cos 2\omega t,$$

что приводит к непостоянству работы контактов и к механич. износу подвижной системы реле. Для устранения этого разбивают магнитный поток в рабочем воздушном зазоре на два потока, сдвинутые по фазе на угол ψ. Это достигается охватом $^1/_2$ или $^2/_3$ полюсного наконечника короткозамкнутым витком. При этом тяговые усилия равны

$$P_э = P_{э0} - P_{э01} \cos 2\omega t - P_{э02} \cos 2(\omega t - \psi).$$

Быстродействующие Р. э. выполняются с небольшими весами и моментом инерции подвижных частей, с магнитной системой, изготовленной из листовой стали или стали, содержащей около 4% Si. Коэфф. запаса у них следует выбирать большими $K_з = I/i_{ср} = 2-4(10)$.

В Р. э. замедленного действия подвижные части выполняются с большим моментом инерции с надетым на сердечник короткозамкнутым витком или втулкой из меди или алюминия. Коэфф. запаса их $K_з$ следует брать небольшими. Часто для замедления срабатывания и отпускания Р. э. применяют *замедления схемы*.

Лит.: Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования элементов автоматических и телемеханических устройств, М.—Л., 1953; его же, Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959; Ступель Ф. А., Электромеханические реле, Харьков, 1956; Витенберг М. И., Расчет электромагнитных реле для аппаратуры автоматики и связи, М.—Л., 1956; Пик Р., Уэйгар Г., Расчет коммутационных реле, пер. с англ., М.—Л., 1961; Справочник по элементам автоматики и телемеханики. Электромагнитные реле, под ред. Б. С. Сотскова, М.—Л., 1958.

Б. С. Сотсков.

РЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА в регулировании (relay control system; système de commutation, Relaissystem) — САР, у к-рой выходная величина одного из элементов регулятора может принимать только конечное число (как правило, 2 или 3) значений.

РЕЛЕЙНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (relay characteristic; caractéristique de commutation; Relaischarakteristik) — кусочно-линейная хар-ка, при к-рой выходная величина в зависимости от значений входной величины может принимать либо два, либо три пост. значения. На рис. 1—4 приведены основные виды Р. х. В первых двух случаях выходная величина может принимать только два значения $-y_m$ и $+y_m$, в 2 др. случаях: $-y_m$, 0, $+y_m$. Р. х. 1-го и 2-го типов являются однозначными. Каждому значению входной величины соответствует только одно значение выходной величины. Р. х. 2-го и

3-го типов паряду с областью, где значение входной величины однозначно определяет значение выходной величины, имеет

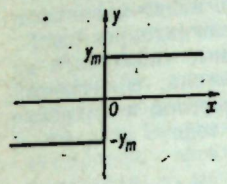


Рис. 1.

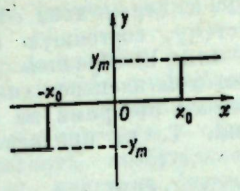


Рис. 2.

еще и зону неоднозначности (см. *Неоднозначность релейной характеристики*). Если, напр., выходная величина x, имея первоначально значение x_0, начинает возрастать (рис. 3), то при увеличении x до значения

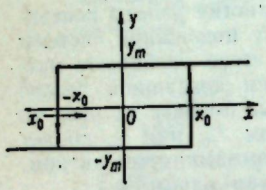


Рис. 3.

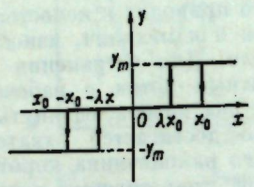


Рис. 4.

x_0 выходная величина будет равна $-y_m$. Затем при $x = x_0$ она становится равной y_m и остается такой до тех пор, пока x не примет значение $-x_0$. После этого выходная величина опять принимает значение $-y_m$ и останется такой до тех пор, пока x не примет значения x_0 и т. д. Аналогично обстоит дело и в 4-м случае. Р. х. обладают релейные элементы, некоторые триггерные и др. схемы. *Е. С. Кочетков.*

РЕЛЕЙНАЯ ЦЕПЬ (relay circuit; chaîne de commutation; Relaiskreis) — путь передачи воздействий в релейном устройстве. Различают: входные Р. ц., передающие воздействия от к.-л. входа устройства к первому реагирующему органу функцион. релейного элемента; выходные Р. ц., содержащие исполнит. органы релейных элементов и оканчивающиеся выходом устройства; др. Р. ц. наз. внутренними. Напр., для триггера на транзисторах, используемого в качестве делителя частоты, входная Р. ц. содержит элементы (проводники, сопротивления, емкости, диоды), соединяющие источник импульсов с базой транзистора, соответствующего данному (четному или нечетному) периоду делимой частоты. Выходная Р. ц. в этом устройстве обычно включает в себя сопротивление в цепи эмиттера, переход эмиттер-коллектор транзистора и проводники, связывающие его коллектор с входом устройства, на к-рое подаются импульсы разделенной частоты. Примером внутренней Р. ц. может служить цепь обратной связи между коллектором одного и базой др. транзисторов. *П. П. Пархоменко.*

РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА РЕАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ (relay device structure realization; réalisation de structure du dispositif à relais; Realisierung des Aufbaus eines Relaissystems) — выбор типа релейного элемента и осуществление соединений между отдельными элементами релейного устройства в соответствии со структурой, полученной в процессе синтеза релейного устройства. Первый этап Р.у.р.с. состоит в выборе типа релейного элемента (бесконтактный или контактный, двух- или многопозиционный и т. д.); при этом руководствуются: скоростью переключения элемента, надежностью и долговечностью его работы, числом воспринимающих и исполнит. органов, габаритами, вибро- или термоустойчивостью и др. Напр., для получения высокой скорости работы устройства выбирают бесконтактные релейные элементы. Когда скорость работы не существенна, а необходим контакт с малым сопротивлением в проводящем и очень большим сопротивлением в непроводящем состоянии, то выбирают релейный контактный элемент. Если устройство работает в условиях, связанных с возможностью взрыва или воспламенения от электрич. искры, то выбирают пневматич., гидравлич. и т. п. релейные элементы.

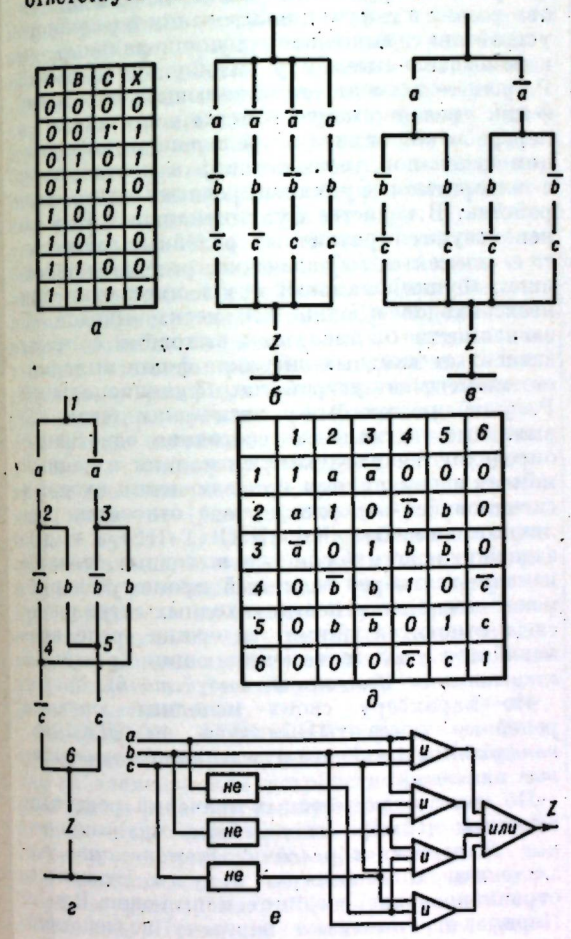
Второй этап Р.у.р.с. состоит в осуществлении соединений между отд. элементами релейного устройства в соответствии с его структурой. Реализация структуры многотактного релейного устройства сводится к реализации структуры однотактного эквивалента многотактного релейного устройства (см. *Эквивалент однотактный*). В случае релейных контактных элементов реализация структуры состоит в осуществлении соединения между контактами релейных элементов устройства. При этом каждой переменной структурной формулы, не имеющей знака отрицания (инверсии), соответствует замыкающий контакт, а переменной с отрицанием (т. е. инверсируемой переменной) — размыкающий контакт. В случае бесконтактных релейных элементов Р.у.р.с. состоит в осуществлении соединений отдельных элементов, реализующих те или иные операции булевой алгебры, указанные в этой структуре. При этом релейные элементы рассчитывают на надежность срабатывания и отпускания от воздействующих на них сигналов. Производится электрич. расчет (для пневматич. и гидравлич. схем — расчет давлений, расходов и др.). В заключение релейное устройство обычно подвергают анализу и эксперимент. проверке при частичном или полном его макетировании и опытной эксплуатации макета в условиях, близких к реальным.

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; Рогинский В. Н., Элементы структурного синтеза релейных схем управления, М., 1959; Ричардс Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, пер. с англ., М., 1957; Синтез электронных вычислительных и управляющих схем, пер. с англ., под ред. В. И. Шестакова, М., 1954.

В. Г. Лазарев.

РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА СТРУКТУРА (relay system structure; structure du dispositif de commutation; Struktur der Relaiseinrichtung) — состав образующих устройство релейных элементов и связей, по к-рым происходит взаимодействие между элементами, а также между входами и выходами устройства. Р.у.с. описывает логич. (функциональные) св-ва релейного устройства (РУ) и, как правило, не содержит указаний на конкретные значения физич. величин, характеризующих его работу. Р.у. с. может быть задана аналитически, графически, в табличной или матричной форме. Для аналитич. задания Р.у. с. пользуются обычно *структурными формулами релейной цепи* устройств,

для табличной и матричной форм — соответственно *таблицами состояний* и *структурными матрицами*. Чаще всего пользуются графич. представлением Р. у. с. в форме схемы релейного устройства. Различают параллельно-последовательные и *мостовые структуры*, а также *плоские структуры* и *пространственные структуры*. Напр., устройство имеет 3 воспринимающих элемента A, B, C и один исполнит. элемент Z, к-рый срабатывает каждый раз при срабатывании любого одного или всех трех воспринимающих элементов; аналитически структура этого устройства может быть представлена структурной ф-лой: $F(z) = a\bar{b}\,\bar{c} + \bar{a}bc + \bar{a}\bar{b}\,c + abc$. Этой ф-ле соответствует таблица состояний (рис., *а*), где



	1	2	3	4	5	6
1	1	a	$\bar{a}$	0	0	0
2	a	1	0	$\bar{b}$	b	0
3	$\bar{a}$	0	1	b	$\bar{b}$	0
4	0	$\bar{b}$	b	1	0	$\bar{c}$
5	0	b	$\bar{b}$	0	1	c
6	0	0	0	$\bar{c}$	c	1

включенное состояние элементов обозначено *1*, а отключенное — *0*. Для контактного релейного устройства ф-ле и таблице состояний соответствует параллельно-последоват. структура (рис., *б*), от к-рой с помощью *равносильных преобразований структуры релейного устройства* можно перейти к др. параллельно-последовательной структуре (рис., *в*) или к мостиковой структуре (рис., *г*). На рис., *д* дана матричная запись мостиковой структуры при нумерации узлов, указанной на рис., *г*. Структура рассматриваемого релейного устройства, реализуемого на элементах «и», «или» и «не» в соответствии с приведенной ф-лой и табл. состояний, имеет вид, показанный на рис., *е*. *П. П. Пархоменко.*

РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА УСЛОВИЯ РАБОТЫ (work conditions (work specifications) of switching device; conditions de travail d'un dispositif de commutation; Arbeitsbedingungen einer Relaiseinrichtung) — словесное, аналитич. или табличное описание алгоритма функционирования релейного устройства (РУ), т. е. совокупность предписаний, к-рые для воздействий, подаваемых на входы устройства, указывают соответствующие им воздействия, выдаваемые устройством на выходе. Р.у.у.р. могут содержать, кроме того, описание входных комбинаций или входных последовательностей, к-рые не встречаются при реальной работе устройства (т. е. неиспользуемых состояний либо неиспользуемых входных последовательностей). Напр., в Р. у. у. р. может быть оговорено, что в любой момент хотя бы на одном входе устройства имеется воздействие, равное 1, и, следовательно, входная комбинация 00... 0 будет неиспользуемой; если в Р. у. у. р. для устройства с двумя входами указано, что два входа не могут изменяться одновременно, то входные последовательности 00, 11; 01, 10 и т. д. никогда не появятся. В случае однотактных релейных устройств в Р. у. у. р. для входных комбинаций (букв входного алфавита), появляющихся в момент t, указаны соответствующие выходные комбинации (буквы выходного алфавита) в тот же момент t либо в момент $t + \tau$, где τ — время передачи воздействия от воспринимающих элементов устройства к исполнительным элементам. В случае многотактных релейных устройств в Р. у. у. р. для каждой последовательности входной, к-рая может быть подана на вход устройства, указывают соответствующую последовательность выходную.

Словесная формулировка Р. у. у. р. удобна при задании Р. у. у. р. для устройств с небольшим числом элементов и для Р. у. у. р. общего вида, не содержащих перечисления конкретных входных комбинаций (последовательностей) и соответствующих им выходных комбинаций. Пример последних: Р. у. у. р. для симметричных и итеративных структур, а также для типовых устройств, реализующих различные стандартные преобразования (дешифраторов, счетчиков, сумматоров и т. д.). Однако при использовании алгоритмич. методов синтеза релейных устройств словесные формулировки часто недостаточно точны; тогда пользуются формализованными способами записи Р. у. у. р.— аналитич. либо табличным.

Для однотактных РУ проблема формализации Р. у. у. р. решается в принципе просто. Если устройство имеет n m-позиционных воспринимающих элементов (входов) и k m-позиционных исполнит. элементов (выходов), то всего возможны m^n (для двухпозиционных — 2^n) входные комбинации. Тогда Р. у. у. р. можно записать в виде таблицы состояний с m^n строками, в левой половине к-рой выписаны все возможные входные комбинации, а в правой — соответствующие состояния исполнит. элементов или выходных цепей, представленные k-разрядными m-ичными числами. В случае двухпозиционных элементов таблица состояний задает k булевых ф-ций (см. *Алгебра логики*) от n переменных; в этом случае Р. у. у. р. могут быть описаны также k логич. ф-лами — по одной для каждого выхода. Для многотактных РУ проблема записи Р. у. у. р. гораздо сложнее, т. к. все входные последовательности (и соответствую-

щие им выходные) простым списком задать нельзя, поскольку число их, вообще говоря, может быть бесконечным. В этом случае для задания Р. у. у. р. пользуются либо таблицами переходов, либо (если число используемых входных последовательностей очень невелико) таблицами включений, либо ф-лами различных логико-математич. языков — языка регулярных событий (см. *Событие*), языка исчисления одноместных предикатов, языка временны́х логич. ф-ций и т. д. Составление таких таблиц или ф-л, как правило, сложнее, чем выписывание таблицы состояний.

Точное формулирование Р. у. у. р. является начальным этапом синтеза релейных устройств. Для заданных Р. у. у. р. необходимо выяснение их полноты, непротиворечивости и реализуемости. Р. у. у. р. наз. полными, если для каждой возможной входной последовательности можно определить соответствующую ей выходную последовательность. Если Р. у. у. р. заданы таблицей переходов, то неполнота проявляется в наличии пустых клеток; при задании Р. у. у. р. таблицей состояний неполнота выражается в том, что не для всех возможных входных комбинаций заданы соответствующие выходные, и в таблице либо меньше, чем m^n строк, либо в правой половине имеются прочерки в нек-рых столбцах. Неполнота означает наличие в формулировке Р. у. у. р. неиспользуемых или безразличных состояний. При синтезе релейных устройств происходит доопределение таких состояний, причем из возможных вариантов доопределения выбирается тот, к-рый позволяет получить оптимальную в каком-либо смысле структуру. Доопределение приводит по существу к новым Р. у. у. р., к-рые уже являются полными, но совпадают с исходными Р. у. у. р. для всех режимов работы, к-рые встретятся в реальной работе устройства.

Под реализуемостью Р. у. у. р. понимается возможность их осуществления релейным устройством данного типа или состоящим из данных элементов. Нереализуемость Р. у. у. р. может иметь различные причины: 1) ограниченные возможности устройств данного типа. Напр., устройства, построенные только из элементов «и» и «или», не могут реализовать логич. функцию «не». Р. у. у. р., в к-рых требуется, чтобы в ответ на входную последовательность 00, 01, 11 выдавался выходной сигнал 0, а в ответ на входную последовательность 00, 10, 11 — выходной сигнал 1, не могут быть реализованы никаким одноактным релейным устройством, т. к. такое устройство не реализует зависимости от предыдущих входных комбинаций, и входной комбинации 11 в нем должен соответствовать только какой-либо один выход. 2) Невозможность реализации Р. у. у. р. никаким релейным устройством с фиксированным числом состояний (реализация таких Р. у. у. р. требует бесконечной памяти). Это т. н. события, непредставимые в *конечном автомате* (см. *Представление событий*). 3) Противоречивость Р. у. у. р., т. е. требование для одной и той же входной последовательности различных выходных последовательностей. Пусть, напр., заданные Р. у. у. р. требуют, чтобы в устройстве с одним входом и одним выходом после каждой 2-й входной единицы на выходе появлялся 0, а после каждой 3-й входной единицы — 1. Тогда для каждой шестой входной единицы возникает противоречие — выход должен давать и 0, и 1, одновременно, что, конечно, невозможно.

Лит.: Глушков В. М., Синтез цифровых автоматов, М., 1962; Кобринский Н. Е., Трахтенброт Б. А., Введение в теорию конечных автоматов, М., 1962; Колдуэлл С. Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962.

О. П. Кузнецов.

РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА ЭЛЕМЕНТЫ (relay device components; éléments (organes) du dispositif à relais; Elemente einer Relaiseinrichtung) — составные части релейного устройства, каждая из к-рых является для данного устройства неделимой (т. е. элементарной) и, как правило, представляет собой нек-рое конструктивное целое. В зависимости от роли в функционировании релейного устройства выделяют функциональные и вспомогательные Р. у. э. Функциональный Р. у. э.— элемент, выполняющий отдельные ф-ции релейного устройства, связанные с переработкой или распределением информации (сигналов, воздействий) в соответствии с алгоритмом функционирования этого устройства. В качестве функциональных Р. у. э. используются различные релейные элементы, т. е. элементы, обладающие релейным действием. Функциональный Р.у.э. имеет один или неск. входов и один или неск. выходов. В зависимости от того, как выходные сигналы зависят от входных и какие ф-ции выполняет элемент в устройстве, функциональный Р. у. э. может быть: логическим (если его выходные сигналы и состояние однозначно определяются входными сигналами в данный момент и изменяются при изменении входных сигналов без задержки; сюда относятся различные элементы «И», «ИЛИ», «НЕ» и т. д.); задерживающим (если его выходные сигналы изменяются через заданный промежуток времени после изменения входных сигналов — сюда относятся линии, задержки, реле времени и т. д.) и запоминающим (*релейным элементом с фиксацией воздействий*).

По характеру своих исполнит. органов релейные элементы делятся на *релейные контактные элементы* и *релейные бесконтактные элементы*.

По числу устойчивых значений релейные элементы делятся на *релейные двухпозиционные элементы* и *релейные многопозиционные элементы*. К вспомогат. Р. у. э. относятся ограничивающие, соединит. и питающие Р.у.э. Первые ограничивают передачу воздействий между функцион. элементами релейного устройства по к.-л. параметрам. Для ограничения по амплитуде используются обычно нелинейные сопротивления или ПП диоды (включаемые чаще всего по мостиковой схеме), тиратроны или др. релейные элементы, реагирующие только на определенные значения амплитуд. К ограничивающим Р. у. э. можно отнести такие элементы, прекращающие передачу воздействий в случае превышения к.-л. параметром заданного значения (плавкие предохранители, макс. и миним. выключатели). Для ограничения по направлению тока используются ПП диоды или поляризованные реле, по частотному спектру — электрич. фильтры, резонансные контуры или реле, по времени — контуры задержки (напр., контуры *LR*) и механич. устройства выдержки времени. К соединит. Р. у. э. относятся соединит. провода, клеммы, места спаек, соединит. трубки (в пневматич. и гидравлич. устройствах), тяги (в механич. устройствах), магнитопроводы и т. п. детали. Питающим Р. у. э. может быть батарея, генератор пост. и перем. тока, выпрямитель, источник давления воздуха или жидкости и т. п.

В. Г. Лазарев, В. И. Рогинский.

РЕЛЕЙНОГО ЭЛЕМЕНТА СРАБАТЫВАНИЕ (opening or closing of relays; déclenchement de l'élément de commutation; Zuschaltung eines Relais) — переходный процесс, в результате к-рого релейный элемент меняет свое состояние. Длительность этого процесса наз. временем срабатывания. Р. э. с. начинается с момента изменения состояния входа релейного элемента и заканчивается моментом, когда релейный элемент сменит состояние выхода. Напр., срабатывание электромагнитного реле начинается с момента, когда меняется состояние цепи обмотки, и заканчивается, когда происходит соответствующее этому состоянию переключение контактов. Срабатывание триггера начинается с момента поступления сигнала на вход и заканчивается, когда триггер перейдет в др. устойчивое состояние. Р. э. с. часто понимается в более узком смысле как переход элемента в рабочее состояние или как сам факт наступления рабочего состояния. Время срабатывания колеблется в широких пределах и зависит от типа релейного элемента. Как правило, у релейных бесконтактных элементов (триггер, транзистор) время срабатывания равно единицам *мксек* и даже менее; у обычных электромагнитных реле оно достигает десятков и сотен *мсек*, у спец. релейных элементов (реле времени) — неск. часов и даже суток. Т. к. время срабатывания релейного элемента конечно, хотя, может быть, и мало, то релейный элемент вносит задержку при передаче воздействия. Эта задержка позволяет использовать релейный элемент в качестве запоминающего элемента в релейном устройстве (см. *Промежуточный элемент релейного устройства*).

В. Г. Лазарев.

РЕЛЕЙНОЕ ДЕЙСТВИЕ (relay action; action par «tout—ou—rien»; Relaiswirkung) — хар-ка элемента или устройства, сигналы на выходах к-рого могут принимать лишь конечное число (как правило, 2—3) значений. Элемент или устройство, обладающее Р. д., наз. релейным или переключательным (см. *Релейное устройство*, *Релейного устройства элементы*). Примером типичного релейного элемента является электромагнитное реле, исполнит. органы к-рого (контакты) могут находиться только в двух устойчивых состояниях — замкнутом и разомкнутом. Многие элементы с непрерывной хар-кой (электронные лампы, транзисторы и др.) могут быть поставлены в релейный режим работы, в к-ром в качестве выходных сигналов используется лишь конечное число точек их хар-ки. Математич. аппаратом описания и исследования элементов и устройств, обладающих Р. д., служат области математики, имеющие дело с дискретными величинами: математич. логика, теория графов, комбинаторный анализ и др.

О. П. Кузнецов.

РЕЛЕЙНОЕ УСТРОЙСТВО (relay system, relay device; dispositif de commutation; Relaiseinrichtung) — устройство, состоящее из элементов релейного действия. Р. у. применяются в различных областях техники, гл. обр. для управления, и предназначены для переработки в соответствии с заданным алгоритмом функционирования (с заданной программой) информации, поступающей и выдаваемой в виде дискретных воздействий или их последовательностей. При этом воздействия квантуются по тем параметрам, к-рые отличают их друг от друга (амплитуда, частота, время, положение в пространстве) и имеют по этим признакам конечное число значений. Элементами Р. у. являются как всевозможные двух- и многопозиц. релейные элементы с релейными хар-ками (реле, искатели, тиратроны, декатроны, ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса и т. п.), так и др. приборы, не обладающие релейной хар-кой (электронные и ПП диоды и триоды, конденсаторы и т. п.), но поставленные в режим релейной работы, т. е. такой режим, при к-ром используются только нек-рые их состояния. Кроме элементов, работающих в релейном режиме и являющихся, как правило, функциональными элементами, в Р. у. используются различные вспомогат. элементы — соединительные, питающие и т. д.

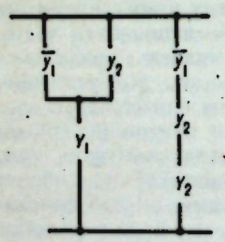
В Р. у. могут быть выделены 1) управляющая часть с управляющими входами (по к-рым поступают управляющие сигналы), приемными (реагирующими) и промежуточными элементами и функциональными блоками; 2) управляемая часть, в к-рой формируются выходные сигналы или создаются пути для передачи информации между коммутируемыми входами и выходами; 3) вспомогат. часть, элементы к-рой обеспечивают правильное действие Р. у.— питание Р. у., усиление, формирование параметров сигналов и др. Связи между состояниями входов (входными сигналами) и выходов (выходными сигналами, путями передачи информации) Р. у. в общем случае описываются ф-циями, определенными на конечных множествах и принимающими конечное число значений. При этом связи между состояниями входов и выходов, определяемые алгоритмом функционирования Р. у., могут быть строго детерминированы или иметь вероятностный характер, определяемый как условиями работы Р. у., так и различными возмущениями (помехами).

Совокупность состояний всех функциональных элементов определяет внутр. состояние этого Р. у. Состояния выходов Р. у. определяются как внутр. состоянием Р. у., так и состоянием входов, а в нек-рых случаях (при импульсных выходных сигналах) переходами — изменениями внутр. состояний и входных сигналов. Если внутр. состояние Р. у., а следовательно, и состояние выходов однозначно зависят от состояния входов в данный момент (или с нек-рым отставанием, определяемым задержками в реагировании на изменение входных сигналов), то такое Р. у. наз. одноактным; если же внутр. состояние Р. у. в данный момент определяется не только состоянием входа в данный момент, но и состоянием устройства в предыдущий момент—то многотактным (последовательностной машиной). В многотактном Р. у. обязательно должны быть запоминающие (фиксирующие) элементы или элементы с задержкой. Работа одноактных Р. у. описывается таблицами состояний, дающими зависимость состояний выходов от состояний входов, а работа многотактных

Р. у. — таблицами включений, таблицами и матрицами переходов либо также таблицей состояний, наз. в этом случае одно-тактным эквивалентом. Поведение многотактных Р. у. изучается абстрактной теорией Р. у. (*конечных автоматов*). Структура Р. у. описывается принципиальными, функциональными схемами, структурными ф-лами или матрицами. См. также *Релейных устройств теория*, *Синтез релейных устройств*.

Лит.: Рогинский В. Н., Построение релейных схем управления, М.—Л., 1964. *В. И. Рогинский.*

РЕЛЕЙНОЕ УСТРОЙСТВО АВТОНОМНОЕ (autonomous relay system; dispositif de commutation autonome; unabhängige Relaiseinrichtung) не имеет воспринимающих элементов и, следовательно, входов, за исключением пусковых ключей или кнопок, присоединяющих устройство к источникам питания. Каждому состоянию Р. у. а. взаимно-однозначно соответствует нек-рая совокупность состояний элементов (напр., контактов) $y_1,\ldots, y_n$, управляемых n реле Р. у. а., т. е. нек-рое значение n-мерного вектора $y = (y_1,\ldots, y_n)$ — вектора состояний Р. у. а. Число различных значений вектора y равно числу всех комбинаций позиций всех n реле Р. у. а. $N = r^n$, если каждое из n содержащихся в Р. у. а. реле является r-позиционным, $r \geqslant 2$. Последовательность состояний релейного устройства наз. его эволюцией. Эволюция Р. у. а. определяется его структурой и нач. состоянием. Эволюция синхронного Р. у. а. из заданного нач. состояния $y\,(0) = y_{i_0}$, $i_0 = 1,\ldots, N$ может быть вычислена посредством векторного ур-ния:



$$y(j+1) = f[y(j)], \quad (1)$$

где f — однозначная векторная ф-ция, определяемая структурой Р. у. а., j — номер такта работы данного Р. у. а. Ф-ция f задается таблицей. Напр., для Р. у. а. (рис.) f задается приведенной таблицей.

$y_1\ y_2$	$Y_1 Y_2$
00	10
01	11
10	00
11	10

Из конечности N и однозначности ф-ции f следует, что всякая эволюция синхронного Р. у. а. завершается, не более чем через $N-m$ вступит. тактов, нек-рым периодич. процессом (циклом) с периодом, содержащим m состояний ($1 \leqslant m \leqslant N$). Если $m = 1$, то содержащееся в цикле состояние наз. устойчивым состоянием Р. у. а. Существуют Р. у. а., для которых $m = N$ и ур-ние (1) имеет вид:

$$y(j+N) = y(j), \quad j = 0, 1, 2, \ldots \quad (2)$$

Эволюции Р. у. а., для к-рых $1 \leqslant m \leqslant N$, могут завершаться как устойчивыми состояниями, так и циклами с $m \geqslant 2$, причем нек-рые из этих эволюций не содержат вступительных (непериодич.) состояний. Из однозначности ф-ции f следует также, что любые 2 эволюции, возможные в синхронном Р. у. а., либо «сливаются» в нек-рую общую последовательность, завершающуюся нек-рым циклом, либо не имеют ни одного общего члена и завершаются различными циклами с различными или одинаковыми числами m_1 и m_2 периодически повторяющихся состояний. К какому из этих циклов придет данное Р. у. а.— зависит только от его нач. состояния y_{i_0}, к-рое определяется конструкцией и предшествующей историей этого Р. у. а. В нашем примере нач. состояние 00 соответствует периодич. эволюция (0, 10, 00, 10,..., а нач. состоянию 01 — эволюция, к-рая завершается периодич. процессом через 2 такта: 01, 11, 10, 00, 10, 00... Эволюции асинхронных Р. у. а. [1, 2] в случаях, когда в каждом такте меняет свое состояние только один элемент либо когда возникающие *релейных элементов состязания* оказываются некритическими, обязательно завершаются циклами (или устойчивыми состояниями). В случае критич. состязаний возможны непериодич. эволюции, т. к. при отсутствии синхронизации неизбежны случайные флуктуации задержек. Множество всех эволюций Р. у. а. взаимно-однозначно соответствует системе ур-ний, описывающей поведение этого Р. у. а. и, следовательно, векторному ур-нию (1) в случае синхронного Р. у. а.

Определение множества всех эволюций данного Р. у. а. является основной задачей его анализа [3]. При синтезе Р. у. а. решается обратная задача. Сперва по заданной совокупности всех возможных эволюций искомого Р. у. а. отыскивают систему ур-ний, описывающих его, и, стало быть, ф-цию f в векторном ур-нии (1) в случае, когда Р. у. а. является синхронным. Для этого этапа синтеза предложен алгебраич. метод [4], легко механизируемый посредством спец. перфокарт [5, 6]. Когда система ур-ний найдена, определяется структура (схема) Р. у. а., причем это выполняется методами, обычно применяемыми для структурного синтеза однотактных релейных устройств.

Р. у. а. используются в качестве компонентов неавтономных релейных устройств, а самостоятельно они применяются в качестве генераторов периодич. последовательностей сигналов. Одним из наиболее простых и известных Р. у. а. является т. н. пульс-пара.

Лит.: 1) Elspas B., The theory of autonomous linear sequential networks, «IRE Trans. Circuit Theory», 1959, v. CT—6, № 1, p. 45—60; 2) Кузнецов О. П., Об асинхронных логических сетях, «Проблемы передачи информации», 1961, вып. 9, с. 103—15; 3) Шестаков В. И., Алгебраический метод анализа автономных систем двухпозиционных реле, «АиТ», 1954, т. 15, № 2; 4) его же, Алгебраический метод синтеза автономных систем двухпозиционных реле, «АиТ», 1954, т. 15, № 4, с. 310—32; 5) его же, Перфокарточный метод синтеза многотактных релейных систем, там же, 1958, т. 19, № 6, с. 592—605; 6) его же, Перфокарточный метод синтеза многотактных систем многопозиционных реле, там же, 1959, т. 20, № 11, с. 1496—1506. *В. И. Шестаков.*

РЕЛЕЙНОЕ УСТРОЙСТВО АСИНХРОННОЕ (asynchronous relay system; dispositif de commutation asynchrone; asynchrone Relaiseinrichtung) — релейное устройство, в к-ром моменты изменения его состояний определяются моментами изменения состояний промежуточных элементов устройства или его входов. У Р. у. а. нет синхронизирующих входов. Изменение состояний входов Р. у. а. имеет место обычно в установившихся (устойчивых) состояниях устройства. Все изменения состояний Р. у. а. между устойчивыми состояниями происходят в результате изменения состояний промежуточных элементов устройства. По сравнению с *релейными устройствами синхронными* Р. у. а. позволяют получить более высокое быстродействие, так как время перехода от данного состояния к следующему состоянию Р. у. а. определяется лишь собственным временем действия элементов, изменяющих свое состояние. К Р. у. а. предъявляются жесткие требования по исключению *релейных элементов состязаний*, т. к. неодинаковые времена действия двух или большего числа одновременно изменяющих свое состояние элементов могут создать кратковрем. условия для ложного действия др. элементов устройства. Примером Р. у. а. может служить электрич. замок, открывающийся только при правильной последовательности нажатия и отпускания его кнопок — входов устройства.

Н. П. Пархоменко.

РЕЛЕЙНОЕ УСТРОЙСТВО МНОГОТАКТНОЕ (multi-tact relay system; dispositif de commutation à sequences multiples; Vieltaktrelaiseinrichtung) — релейное устройство, состояние к-рого в настоящий момент t определяется состоянием входных элементов в момент t и внутр. состоянием устройства в момент $t-1$. Внутр. состоянием Р. у. м. наз. комбинация состояний его промежуточных элементов. Ввиду вышеуказанной зависимости состояние выходных элементов в момент t, вообще говоря, не определяется однозначно состоянием входных элементов в этот момент, а зависит от всей входной последовательности или от ее отрезка. Напр., в троичном счетчике единица на выходе появляется в ответ лишь на каждую третью 1 на входе. Поэтому, если на вход счетчика подана 1, то, чтобы узнать, каков будет выход, нужно выяснить, какой по счету является данная входная 1, т. е. просмотреть всю входную последовательность.

При теоретич. исследованиях Р. у. м. часто отвлекаются от конкретной структуры Р. у. м. и взаимодействий между его элементами, принимая во внимание только указанную выше зависимость между входными, выходными и внутр. состояниями устройства, к-рые в этом случае рассматриваются просто как абстрактные буквы входного и выходного алфавитов и алфавита состояний. Эта абстрактная модель Р. у. м. наз. *конечным автоматом*. Р. у. м. описывается *таблицей переходов* (в к-рой внутренние состояния Р. у. м. фигурируют в виде абстрактных состояний) либо *таблицей состояний* (в к-рой внутр. состояния Р. у. м. фигурируют уже как комбинации состояний конкретных промежуточных элементов), либо, наконец, *таблицей включений*. О способах построения Р. у. м. по заданным условиям работы см. *Релейного устройства условия работы* и *Синтез релейных устройств*.

Ю. Л. Томфельд.

РЕЛЕЙНОЕ УСТРОЙСТВО ОДНОТАКТНОЕ (one-tact relay system; dispositif de commutation à séquence unique; Eintaktrelaiseinrichtung) — релейное устройство, состояние выходов к-рого в любой момент однозначно определяется состоянием входов в тот же момент. Р. у. о. не содержит *промежуточных элементов релейного устройства*. В условиях работы Р. у. о. не предусматриваются к.-л. конкретные входные последовательности. Условия работы Р. у. о. могут быть представлены в виде *таблицы состояний*, имеющей две части. В левой перечислены комбинации состояний *воспринимающих элементов релейного устройства* (входов), а в правой — соответствующие состояния *исполнительных элементов релейного устройства* (выходов). Примерами Р. у. о. могут служить дешифратор с тремя воспринимающими элементами на все сочетания (рис. 1), таблицей состояний

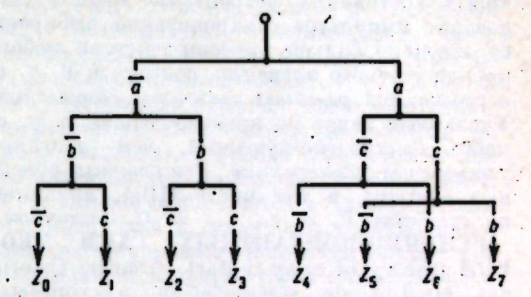


Рис. 1.

Таблица 1

a	b	c	z_0	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

для к-рого служит табл. 1, и шифратор для перевода из рефлексного кода в код, в к-ром

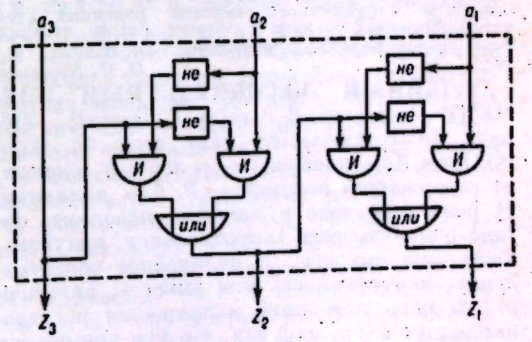


Рис. 2.

Таблица 2

a_3	a_2	a_1	z_3	z_2	z_1
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	0	0	1	1	1

двоичные числа расположены в порядке возрастания (рис. 2, таблица 2). *Ю. Л. Томфельд.*

РЕЛЕЙНОЕ УСТРОЙСТВО СИНХРОННОЕ (synchronous relay system; dispositif de commutation synchrone; synchrone Relaiseinrichtung) — релейное устройство, в к-ром моменты изменения его состояний определяются воздействиями, поступающими через специально выделенный для этого синхронизирующий вход и представляющими собой, как правило,

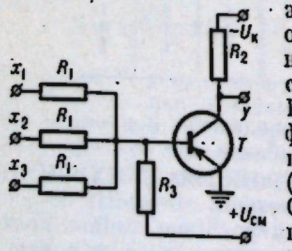
импульсы с пост. частотой следования. Изменения состояний входов (всех, кроме синхронизирующего) происходят обычно в устойчивых состояниях устройства. Период следования импульсов синхронизации выбирается заведомо больше времени действия любого промежуточного элемента; поэтому в Р. у. с. исключаются *релейных элементов состязания*. Указанный запас по времени делает Р. у. с. менее быстродействующими, чем *релейные устройства асинхронные*. Все сложные релейные системы, в том числе ЦВМ, являются по существу Р. у. с. *И. П. Пархоменко.*

РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ ТЕОРИЯ (theory of relay-contact circuits; théorie des circuits de commutation à contacts, théorie des circuits à relais; Theorie der Relaiskontaktschaltungen) — математич. теория, изучающая структурные св-ва, а также вопросы анализа, синтеза и преобразования релейно-контактных схем. Р.-к. с. т. возникла в 1936—38 после работ В. И. Шестакова, К. Шеннона, А. Накасимы и М. Ханзавы. Дальнейшее развитие Р.-к. с. т. получила в работах М. А. Гаврилова, к-рый является автором первой в мире монографии по Р.-к.с. т. Впоследствии выяснилось, что основные результаты Р.-к. с. т. применимы к более широкому классу устройств, чем класс релейно-контактных схем. Это привело к созданию общей теории релейных устройств, в рамках к-рой развивается совр. Р.-к.с. т. Более подробно см. *Релейных устройств теория*, *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; Колдуэлл С. Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962. *О. П. Кузнецов.*

РЕЛЕЙНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (non-contact relay element; élément de commutation sans contacts; kontaktloses Relaiselement) — релейный элемент, не содержащий контактов. Р. б. э. являются: 1) реле, имеющие в качестве исполнит. органа изменяющееся сопротивление, индуктивность или емкость; 2) нелинейное сопротивление, индуктивность или емкость, включенные в цепь источника напряжения последовательно с нагрузкой так, что при повышении или понижении напряжения происходят скачкообразные изменения тока в цепи; 3) магнитный, ПП или электронный усилитель с положительной обратной связью; 4) электронный или магнитный *триггер*. *Б. С. Сотсков.*

РЕЛЕЙНЫЙ ДВУХПОЗИЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ [two-position relay element; élément de commutation à deux états (à deux positions); Zweipunktrelaiselement] — релейный элемент, исполнит. органы к-рого могут находиться в двух состояниях. Хар-ка Р. д. э. выражается ф-цией, к-рая принимает 2 значения (обычно равные 0 и 1). Считают, что переход исполнительного органа от значения 0 к значению 1 соответствует включению Р. д. э., а от значения 1 к значению 0 — отключению. Р. д. э. подразделяются на контактные и бесконтактные. Примером контактного двухпозиционного элемента является электромагнитное реле, реализующее ф-ции $y_1 = x_1$ и $y_2 = \bar{x}$. Примером бесконтактного Р. д. э. может служить транзисторный элемент, построенный из *транзистора* и сопротивлений (рис.). Этот элемент реализует функцию $y = \overline{x_1 + x_2 + x_3}$. *В. М. Остиану.*



РЕЛЕЙНЫЙ ДВУХПОЛЮСНИК контактный (two-terminal relay network; dipôle de commutation; Relaiszweipol) — релейно-контактное устройство, имеющее один вход-узел (присоединенный к источнику питания) и один выходной узел, выдающий выходное воздействия устройства. Р. д.— устройство с одним выходом; поэтому выполняемые им преобразования входных воздействий описываются одной логич. ф-цией. Если Р. д. имеет параллельно-последоват. структуру, то он однозначно описывается структурной ф-лой, и преобразования Р. д. сводятся к преобразованиям его структурной ф-лы. При синтезе и преобразовании мостиковых Р. д. используются методы синтеза *мостовых структур*.

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; Колдуэлл С. Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962. *О. П. Кузнецов.*

РЕЛЕЙНЫЙ КОНТАКТНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (relay-contact member; élément de commutation à contacts, élément de relais; Relaiskontaktelement) — элемент релейного устройства, в к-ром исполнит. органами являются электрич. контакты. В зависимости от вида сигналов, на к-рые реагируют воспринимающие органы (входы), релейные контактные элементы делятся на электрич. (пост. и перем. тока), оптич., акустич., тепловые, механич. и др. Каждый из этих типов может быть разделен на отд. группы в зависимости от принципа построения воспринимающих органов, от коммутируемой мощности, от назначения и др. Так, напр., в зависимости от принципа построения воспринимающих органов и органов, передающих воздействия от них на контакты, электрич. Р. к. э. разделяются на: электромагнитные нейтральные, электромагнитные поляризованные, магнитоэлектрич., электродинамич., индукционные, резонансные, выпрямительные, биметаллич., магнитострикционные, электростатич. и пьезоэлектрич. В зависимости от коммутируемой мощности различают Р. к. э. для цепей малой (до 25 *вт*), средней (до 100 *вт*) и повышенной (до 1 *квт*) мощности. По времени действия Р. к. э. делятся на быстродействующие (время срабатывания и время отпускания не более 50 *мсек*), нормальные (не более 150 *мсек*), замедленные (не более 1 сек.) и реле времени (больше 1 сек.). *Контакты* Р. к. э. по характеру контактных поверхностей разделяются на: точечные, линейные и плоскостные. У Р. к. э. для цепей малой мощности наибольшее распространение получил точечный тип контакта, для цепей повышенной мощности — плоскостный. *В. Г. Лазарев.*

РЕЛЕЙНЫЙ МНОГОПОЗИЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ [multi-position relay element; élément de commutation à états multiples (à positions multiples); Mehrpunktrelaiselement] — *релейный элемент*, воспринимающие любые исполнит. органы к-рого (или те и др.) могут находиться более чем в 2 состояниях. Хар-ка Р. м. э. выражается ф-цией, область определения или область значений (или и та и др.) к-рой содержат более 2 элементов, т. е. ф-цией многозначной логики. В случае n-позиционного Р. м. э. значения этой ф-ции принимают равными числам натурального ряда от 0 до $n-1$. Обычно считают, что включению Р. м. э. соответствует переход релейной хар-ки от значения 0 к любому из значений 1, 2,..., $n-1$, отключению — переход релейной хар-ки от любого из значений 1, 2,..., $n-1$ к значению 0. Р. м. э. подразделяются на контактные и бесконтактные элементы. Примером контактного Р. м. э. может служить шаговый искатель. Роль входа играет обмотка электромагнита, роль выходов — ламели. Если шаговый искатель n-ламельный, то его вход может находиться в любом из n состояний; k-тое состояние входа ($0 \leqslant k \leqslant n-1$) означает, что число подававшихся на вход воздействий, после того как на выходе был ноль, т. е. после того как щетки искателя находились в нулевом положении, равно k. Примером бесконтактного Р. м. э. может служить трехзначный пороговый элемент. Такой элемент технически можно построить на *параметроне*. Трехзначный пороговый элемент реализует трехзначную логич. ф-цию

$$y = f\left(\sum_{j=0}^{n-1} \xi_j x_j - \eta\right),$$

где n — число входов, x_j — переменная, поставленная в соответствие j-тому входу и принимающая значения из множества $\{-1, 0+1\}$, ξ_j и η — целые числа (положит., отрицат. или 0), наз. соответственно весами входов и порогом, а ф-ция $f(A)$ определяется соотношением

$$f(A) = \begin{cases} -1 \text{ при } A < 0 \\ 0 \text{ при } A = 0 \\ +1 \text{ при } A > 0. \end{cases}$$

В. М. Остиану.

РЕЛЕЙНЫЙ МНОГОПОЛЮСНИК контактный (multi-terminal relay network; multipôle de commutation; Mehrpolrelaiseinrichtung) — релейно-контактное устройство, имеющее неск. выходных узлов (исполнит. элементов). Зависимость состояния каждого исполнит. элемента от состояний др. элементов Р. м. выражается логич. ф-цией (в случае, если все элементы Р. м.— двухпозиционные). Р. м. с K выходами описывается системой K логич. ф-ций, к-рые обычно сводятся в одну таблицу — таблицу состояний. Р. м., для к-рого проводимость между двумя любыми выходами равна нулю, наз. разделительным. При синтезе и минимизации Р. м., кроме методов, общих для Р. м. и релейных двухполюсников и заключающихся в минимизации каждой логич. ф-ции в отдельности, применяются спец. методы синтеза Р. м. Они основаны на том, что нек-рые части структуры Р. м. могут одновременно участвовать в цепях неск. исполнит. элементов. Часто встречаются Р. м. стандартных типов: *«дерево» контактное*, *симметричная структура* типа решетки, *многополюсник универсальный*. Для их синтеза применяются специфич. методы, дающие наиболее экономные решения.

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; Рогинский В. Н., Элементы структурного синтеза релейных схем управления, М., 1959; Колдуэлл С., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962; Vandling G. C., The simplification of multiple-output switching networks, composed of unilateral devices, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1960, № 4. *О. П. Кузнецов.*

РЕЛЕЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (реле) (relay element, relay member; élément de commutation; Relaiselement) — минимальная совокупность деталей и связей между ними, имеющая *релейную характеристику*, т. е. скачкообразно изменяющая при поступлении фиксиров. воздействий на вход (входы) воздействие на выходе (выходах), переходя при этом от одного фиксиров. значения воздействия к другому.

Р. э. широко применяются в технике автоматич. управления и связи, ибо с их помощью возможно: а) управлять большими мощностями на выходах, используя весьма малые по величине воздействия на входах, б) выполнять логич. операции и в) путем сочетания однотипных Р. э. легко образовывать сложные многофункцион. релейные устройства, содержащие в ряде случаев десятки и сотни тыс. Р. э. Ряд областей техники (вычислит. и управляющие машины дискретного действия, дискретные телемеханич. устройства, управляющие системы автоматич. телефонии, системы передачи дискретной информации и т. п.) целиком или в значит. степени базируется на использовании Р. э. Эти элементы играют существ. роль в развитии таких совр. методов автоматич. управления, как оптимизирующие, обучающиеся и самообучающиеся, самоорганизующиеся и т. п. системы, в к-рых существ. роль играет выполнение определ. логич. ф-ций.

В связи с появлением автоматич. сигнализации на ж. д. и изобретением АТС с конца 19 в. на базе Р. э. впервые начали создавать сложные управляющие и контрольные релейные устройства. Затем Р. э. стали применять и в технике сильных токов для управления электрич. машинами, для защиты сильноточных электрич. цепей, коммутации энергии в сильноточных установках и т. п. В наст. время Р. э. широко используются в сложных системах автоматич. управления и связи.

С конструктивной точки зрения в Р. э. следует различать: **воспринимающие органы**, к-рые воспринимают воздействия, подаваемые на Р. э. извне; **исполнительные**, предназначенные для передачи воздействий от Р. э. во вне, и **промежуточные**, перерабатывающие и передающие воздействия от воспринимающих органов к исполнительным. Эти органы могут быть или явно выраженными или объединенными друг с другом. В первом случае часто имеют место промежуточные преобразования энергии внутри Р. э. (напр., в электромагнитном реле ток, поступающий в обмотку, преобразуется в магнитный поток, а последний — в механич. усилие, вызывающее перемещение якоря, к-рый, воздействуя на контакты реле, в свою очередь, преобразует это усилие в изменение проводимости электрич. контактов).

Р. э. долго выполнялись почти исключительно контактными, т. е. имели в качестве исполнит. органов электрич. *контакты*, коммутирующие электрич. цепи (изменяющие их сопротивление практически от нуля до бесконечности). Ныне распространение получают бесконтактные Р. э. (электрические, пневматические и др.), в к-рых выходное воздействие формируется путем изменения различных параметров выходных цепей: сопротивления, емкости, индуктивности, или

изменения величины напряжения, давления и т. п., прилагаемого к этим цепям. В таких Р.э. релейная хар-ка или органически присуща им (бесконтактные Р.э. с органич. релейной хар-кой), как, напр., в Р. э. с прямоугольной петлей гистерезиса (гистерезисные Р. э.), в лампах тлеющего разряда, в тиратронах или криотронах, или же получается благодаря соответствующему соединению деталей или электрич. элементов, к-рые сами по себе не имеют релейной хар-ки (бесконтактные Р. э. с искусств. релейной хар-кой), как это, напр., имеет место в триггерных Р.э.

Бесконтактные Р.э. по сравнению с контактными в большинстве случаев значительно меньше по размерам, более быстродействующие и надежные и потребляют меньше мощности. Однако их релейные хар-ки в ряде случаев значительно отличаются от идеальных, в частности не дают предельные изменения параметров выходных цепей. Это затрудняет их использование в ряде случаев, напр. при коммутации малых токов (порядка *ма* и их долей) и напряжений. В этих условиях контактные Р. э. обладают несомненными преимуществами перед бесконтактными.

Р. э. характеризуются различными параметрами, относящимися к входным и выходным воздействиям: параметром **срабатывания** — абс. минимальным значением воздействия (на входе) при таком его возрастании, что Р. э. изменяет свое состояние и одновременно воздействие на выходе в соответствии с релейной хар-кой; параметром **отпускания** — миним. абс. значением воздействия на входе при таком его уменьшении, что Р. э. возвращается в первонач. состояние. В связи с неидеальностью релейной хар-ки эти величины обычно не совпадают друг с другом. В ряде случаев Р. э. может обладать св-вом фиксации (Р. э. с фиксацией или самоудержанием), т. е. оставаться в занятом им состоянии и после снятия воздействия на входе. В этом случае Р. э. возвращается в первонач. состояние обычно после подачи воздействия на др. его вход (или воздействия др. знака на тот же вход). Макс. абс. значение такого воздействия при его возрастании, вызывающее возвращение Р. э. в первонач. состояние, наз. параметром **возврата**. Отношение параметра отпускания к параметру срабатывания наз. **коэффициентом отпускания**. Хар-кой Р. э. служит также его быстродействие, определяемое **временем срабатывания** и **временем отпускания** или возврата. Различают также **время перехода** — промежуток времени от момента трогания Р. э., т. е. качественного изменения его промежуточных органов, создающего предпосылки для срабатывания или отпускания (возврата) Р. э., до момента срабатывания или отпускания (возврата). В ряде случаев важными хар-ками Р. э. являются: потребление энергии, вес, занимаемый объем, абсолютные или удельные (отнесенные к максимально допустимой величине выходного воздействия); соотношение величин на входе и выходе и т. п. (более подробную классификацию параметров, характеризующих Р. э., см. [1]).

Имеется большое количество различных типов Р. э.: от силовых Р. э., коммутирующих токи в десятки и сотни *а* при напряжениях в сотни и тысячи *в*, с быстродействием в доли сек., до различных типов контактных и бесконтактных Р. э. для управляющих и контрольных автоматич. устройств, реагирующих на токи порядка долей *ма* при напряжениях в доли *в* и быстродействии в доли

Развитие электронных вычислит. и управляющих машин и сложных систем автоматич. контроля и управления, содержащих десятки и сотни тыс. Р. э., потребовало резкого уменьшения размеров, веса и потребления мощности Р. э. при резком увеличении их быстродействия. Это привело к разработке новых типов Р. э., в к-рых отдельные их части и соединения стали выполнять методами электронного монтажа или напыливания на тонкие изоляц. пластинках. Требования компактности размещения большого количества Р. э. в малых объемах и массовость произ-ва привели к тому, что Р. э. стали делать в виде отдельных типовых наборов, выполняющих элементарные ф-ции (см. *Логический элемент*) или отдельные типовые ф-ции (см. *Модуль*).

Р. э. можно классифицировать по различным признаков: а) по виду физич. явлений, используемых в них; б) по характеру величин, на к-рые они реагируют; в) по выполняемым ф-циям в релейной системе; г) по назначению и т. п.

Физич. явление, используемое в Р. э., определяет его принцип действия, конструкцию и осн. хар-ки. С этой точки зрения Р. э. следует разделять на **электрические**, действие к-рых основано на явлениях, вызванных протеканием электрич. тока, наличием электрического поля или явлениями, связанными с электропроводимостью твердого тела, и **механические**, в к-рых используется гл. обр.

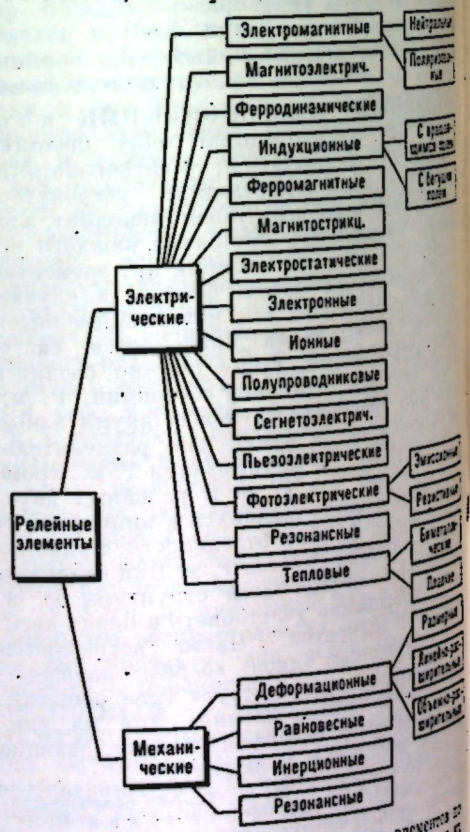


Табл. 1. Классификация релейных элементов по виду физических явлений, используемых для их действия.

изменение размеров твердого тела под влиянием тех или иных факторов. Более подробная классификация Р. э. по виду физич. явлений, используемых для их действия, дана в табл. 1.

По виду физич. величин, на к-рые реагируют Р. э., они делятся на: реле электрические, *реле механические*, *реле тепловые*, *реле оптические*, *реле магнитные* и *реле акустические* (см. табл. 2). Часто Р. э., к-рые должны

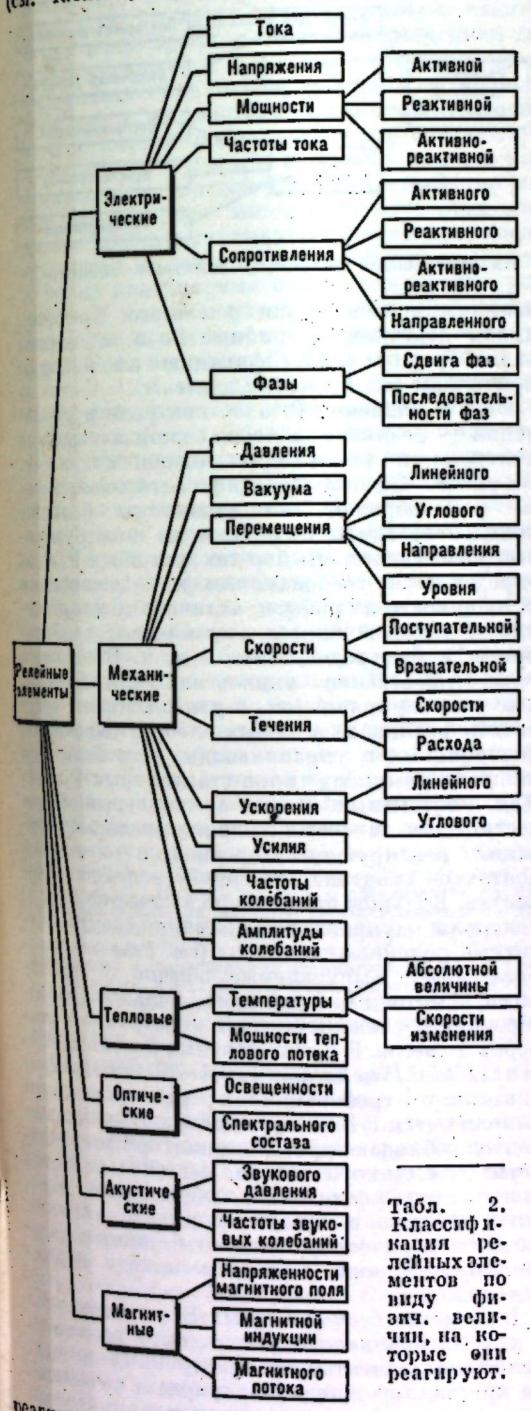


Табл. 2. Классификация релейных элементов по виду физич. величин, на которые они реагируют.

реагировать на неэлектрич. величины, выполняются с помощью *датчиков* (соответствующих величин), соединенных с электрическими Р. э. Р. э. также различаются по характеру изменения физич. величин. Бывают Р. э. **знака величины**, реагирующие на определ. значение и знак к.-л. величины; Р. э. **увеличения и уменьшения** величины; **предельные** Р. э., реагирующие на изменение данной величины при выходе ее из заданных пределов значения; Р. э. **соотношения**, реагирующие на к.-л. соотношения (сумму, разность, отношение, производную, интеграл и т. п.) двух или нескольких величин, воздействующих на входы Р. э. Особо следует упомянуть об **импульсных** Р. э., получивших большое применение в связи с развитием импульсной техники. Они реагируют на различные параметры импульсов (продолжительность, крутизну переднего или заднего фронтов, форму, последовательность импульсов и т. п.).

Ф-ции, выполняемые Р. э., и их назначение в различных областях применения весьма разнообразны. Поэтому их часто классифицируют в каждой из областей по-различному. С точки зрения более общих ф-ций следует выделить большую группу *реле защитных*, предназнач. для выключения из работы или изменения режима работы производств. и др. агрегатов в случаях, когда этот режим становится опасным для их целости. Различают также, как общие группы, **управляющие** и **контрольные** Р. э., к-рые выполняют ф-ции управления и контроля в автоматич. системах.

В релейных устройствах по месту расположения и выполняемым ф-циям подразделяют воспринимающие, исполнительные и промежуточные Р. э. (см. *Релейного устройства элементы*). В случае, если воспринимающие элементы принимают воздействия, поступающие из каналов связи, то их часто наз. линейными. Спец. группу составляют *реле времени*, к-рые в релейных устройствах выполняют ф-ции задержек в приеме воздействий извне и передаче их во вне или внутри релейного устройства.

Лит.: 1) Терминология реле, М., 1958; 2) **Сотсков Б. С.**, Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств, М., 1959; 3) **Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н.**, Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; 4) **Васильева Н. П., Гашковец И. С.**, Логические элементы в промышленной автоматике, М.—Л., 1962.

М. А. Гаврилов.

РЕЛЕЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ С ФИКСАЦИЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ (fixed action relay member; élément de commutation avec fixation des action; Relaiselement mit Wirkungsfestlegung) — элемент релейного устройства, способный сохранять свое состояние (или выходные сигналы) после того, как входной сигнал, приведший элемент в данное состояние, перестал действовать; изменение же состояния происходит при определенных для каждого состояния входных сигналах или их переходах. К Р. э. с ф. в. относятся триггеры, поляризованные реле, реле с магнитной блокировкой, пневматич. и гидравлич. цилиндры с воздухо- и гидрораспределителями и кнопками, отмечающими соответствующее положение поршня, и др. Р. э. с ф. в. можно разделить на 2 осн. группы: а) с двумя группами воспринимающих органов (входов) и б) с одной группой воспринимающих органов (входов). При наличии 2 групп воспринимающие органы 1-й группы реагируют на включающие воздействия (т. е. воздействия, переводящие исполнит. органы релейного элемента в рабочее

состояние), воспринимающие органы 2-й группы — на выключающие воздействия (т. е. воздействия, переводящие исполнит. органы релейного элемента в нерабочее состояние). К таким Р. э. с ф. в. относится, напр., *триггер* с раздельными входами. При поступлении импульсного сигнала на один из двух входов триггер переключается из одного устойчивого состояния в др. и находится в нем до поступления сигнала на 2-й вход; тогда он перейдет в исходное устойчивое состояние и будет находиться в нем до тех пор, пока импульсный сигнал не поступит на первый вход и т. д. Если первое устойчивое состояние принять за исходное, а второе — за рабочее, то 1-й вход будет включающим, а 2-й — выключающим. К такому типу Р. э. с ф. в. относятся также поляризованные реле и реле с магнитной блокировкой. Эти реле имеют основные и встречные обмотки. При поступлении воздействия на основную обмотку реле срабатывает (переходит в рабочее состояние), под воздействием пост. магнита якорь реле «залипает» и после снятия этого воздействия контакты реле остаются в переключенном (рабочем) состоянии. Контакты придут в исходное состояние тогда, когда поступит воздействие на встречную (выключающую) обмотку. Воспринимающие органы Р. э. с ф. в., имеющих одну группу воспринимающих органов, реагируют как на включающие, так и на выключающие воздействия. К такого рода релейным элементам относится триггер со счетным входом, имеющий только один вход, на к-рый поступают воздействия, переводящие триггер из исходного состояния в рабочее и из рабочего в исходное. Р. э. с ф. в. в ряде случаев может быть получен из обычного релейного элемента путем образования обратной связи от его исполнит. органов к воспринимающим. *В. Г. Лазарев.*

РЕЛЕЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (р е л е э л е к т р и ч е с к о е) (electrical relay element; élément électrique de commutation; elektrisches Relaiselement) — релейный элемент, действие к-рого основано на явлениях, вызванных протеканием электрич. тока, изменением электрич. поля или явлениями, связанными с электрич. проводимостью.

Р. э. э. получили широкое применение в автоматич. управлении, вычислит. технике, дискретной телемеханике и связи. Автоматич. устройства управления и связи часто содержат тысячи и десятки тысяч Р. э. э., работающих взаимосвязанно друг с другом.

По назначению Р. э. э. делятся на две большие группы (табл.): а) аварийные, предназначающиеся для отключения или изменения режима работы технологического или др. оборудования в аварийных условиях, т. е. тогда, когда по к.-л. причинам режим его работы стал опасным, и б) для контроля и управления — осуществление различных операций по переключению и изменению режима работы оборудования в нормальных условиях.

В первой группе следует различать Р. э. э.: 1) аварийного отключения (см. *Реле защитное*), отключающие технологич. оборудование (линии электропередачи, электрооборудование электрич. станций и подстанций, электродвигатели и пр. оборудование пром. и др. установок) при кз и др. ненормальных режимах работы; 2) повторного включения, предназначаемые для обратного включения в работу оборудования, отключившегося под действием Р.э.э. аварийного отключения в тех случаях, когда вызвавшие это ненормальные режимы были кратковременны, и 3) включения резерва оборудования в случае аварийного отклю-



Классификация релейных электрич. элементов.

чения или перегрузки основного. По принципам действия аварийные Р. э. э. весьма разнообразны (классификацию их по этим признакам см. *Релейный элемент*).

Осн. назначение Р. э. э. контроля и управления — реализация логич. части алгоритмов контроля и управления технологич. и др. объектов. Поскольку такие алгоритмы весьма разнообразны, то существует большое количество типов Р. э. э. и их конструктивных выполнений. Выбор тех или иных Р. э. э. определяется требованиями к надежности и устойчивости их работы, величинами напряжений и токов в схемах управления, требованиями к быстродействию и т. п. В связи с этим существенна универсальность Р. э. э. контроля и управления, к-рая позволяет обеспечить реализацию любых алгоритмов работы контрольных и управляющих устройств при наличии немногих типов стандартных Р. э. э. Для контактных Р. э. э. универсальность достигается за счет большого числа модификаций реагирующих органов и сочетаний контактов (контактных групп) релейных элементов. Большое применение в качестве Р. э. э. контроля и управления получили электромагнитные релейные элементы (см. *Реле электромагнитное*), выпускаемые обычно с различными обмоточными данными, большим разнообразием контактных групп, конструкций, размеров и весов. В бесконтактных релейных элементах (см. *Реле электрическое бесконтактное*) указанные требования к универсальности выполняются с помощью набора типовых элементов, обладающего св-вом алгоритмич. полноты, т. е. такого набора, с помощью к-рого может быть реализован любой логич. алгоритм. Обычно в такой набор как минимум входят: логические элементы, линии (элементы) задержки, элементы памяти и усилители.

В качестве бесконтактных Р. э. э. контроля и управления используются самые различные релейные элементы: на электронных лампах, на кристаллич. диодах и триодах, на магнитных и криогенных элементах и т. п. Начали получать широкое применение многовходовые бесконтактные элементы со сложными структурными св-вами, способные выполнять различные логич. ф-ции в зависимости от подачи на их входы тех или иных постоянных воздействий.

Необходимость размещения в ряде случаев большого количества Р. э. э. в малых объемах потребовала их специального конструктивного оформления, в частности в виде *модулей* и *микромодулей*.

На первых этапах развития релейной техники Р. э. э. контроля и управления часто создавались различными по конструкции и принципам действия в зависимости от выполняемых ими ф-ций (см., напр., классификацию реле в [1] по месту и назначению в схеме). В настоящее время, в связи с применением типовых элементов, Р.э.э. целесообразно классифицировать лишь по общим ф-циям, выполняемым ими в устройствах контроля и управления, а именно подразделять на следующие: а) в о с п р и н и м а ю щ и е Р. э. э., к-рые воспринимают воздействие на устройство извне. При выборе типов и расчете этих элементов должны учитываться параметры внешних цепей и самих объектов, к-рые воздействуют на контрольные или управляющие устройства. Часто в качестве воспринимающих элементов используются различные *датчики* с релейным выходом; б) и с п о л н и т е л ь н ы е Р. э. э., передающие во вне воздействия от управляемых или контрольных устройств на управляемые объекты или устройства. Последние воспроизводят в том или ином виде информацию, перерабатываемую контрольными устройствами. Выбор типов и расчет этих Р. э. э. определяется характером указанных воздействий или требованиями к воспроизведению информации; в) п р о м е ж у т о ч н ы е Р. э. э., передающие воздействия от воспринимающих элементов к исполнительным с переработкой их в соответствии с заданным логич. алгоритмом. Выбор параметров и типов этих элементов определяется в основном требованиями к быстродействию и устойчивости работы контрольных и управляющих устройств, а также требованиями к весу и объему, занимаемому ими, мощности и напряжению источников питания и т. п.

Лит.: 1) Терминология «реле», «Бюл. Комитета технической терминологии», вып. 21, 1938; 2) С о т с к о в Б. С., Лекции по курсу «Магнитные элементы вычислительных машин». Новые элементы быстродействующих вычислительных машин, М., 1960; 3) Васильева Н. П., Гашковец И. С., Логические элементы в промышленной автоматике, М.—Л., 1962; 4) Р о з е н б л а т М. А., Бесконтактные магнитные устройства автоматики, М., 1961; 5) К р а й з м е р Л. П., Новые элементы электронных цифровых машин, М.—Л., 1961. *М. А. Гаврилов.*

РЕЛЕЙНЫХ УСТРОЙСТВ АНАЛИЗ (relay systems analysis; analyse des dispositifs de commutation; Analyse von Relaissystemen) — определение условий работы релейного устройства (РУ) по заданной *релейного устройства структуре*. Условия работы элемента РУ определены, если известны все комбинации состояний воздействующих на него элементов устройства, при к-рых данный элемент включен (принимает состояние 1), и все комбинации состояний, при к-рых он отключен (принимает состояние 0). Р. у. а. для *релейного устройства однотактного* заключается в определении условий работы для каждого исполнит. элемента РУ. Для *релейного устройства многотактного* необходимо, кроме того, определение условий работы для промежуточных элементов и установление последовательности действия промежуточных и исполнит. элементов в зависимости от нач. состояния устройства и от последовательности изменения состояний воспринимающих элементов. Результаты структурного Р. у. а. представляются обычно либо в виде таблицы состояний, либо в совершенной дизъюнктивной нормальной форме булевой ф-ции, либо (для релейно-контактных устройств) в дизъюнктивной нормальной форме. Дизъюнктивная нормальная форма состоит из суммы членов, каждый из к-рых представляет собой произведение перем. ф-ции (или их отрицаний), соответствующих исполнит. органам воспринимающих и промежуточных элементов устройства. Норм. формы, представляющие условия работы промежуточных элементов A и B и исполнит. элемента Z релейно-контактной схемы (рис.), имеют вид: $F_A = u\bar{b} + a\bar{b} + \bar{u}ab$, $F_B = ub + ab + \bar{u}a\bar{b}$, $F_Z = ab$. Из F_A следует, что реле A работает при включенном воспринимающем элементе u и отключенном b или включенном a и отключенном b или отключенном u и включенных a и b. Табл. 1 представляет собой таблицу состоя-

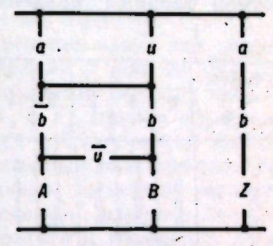


Таблица 1

Строки \ Элементы	u	a	b	A	B	Z
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0
3	0	1	0	1	1	0
4	0	1	1	1	1	0
5	1	0	0	1	0	0
6	1	0	1	0	1	0
7	1	1	0	1	0	0
8	1	1	1	1	1	1

ний для той же схемы. Если анализируемое устройство имеет сложную *мостовую структуру*, то для представления условий работы его элементов в одной из указанных форм мостовую структуру преобразуют в параллельно-последовательную, пользуясь методом разложения структуры по нач. элементам или матричными методами анализа. Метод разложения по нач. (или конечным) элементам состоит в удалении всех, кроме одного, элементов, примыкающих к нач. (конечному) полюсу структуры для определения всех цепей, проходящих через оставленный элемент. Метод позволяет сколь угодно сложную мостовую структуру преобразовать в параллельно-последовательную структуру, к-рая непосредственно описывается норм. формой булевой ф-ции [1]. Матричный анализ основан на получении из структурной матрицы характеристич. матрицы, содержащей все сведения о структурных проводимостях между любыми двумя узлами [2]. При анализе релейно-контактных схем с последовательным включением обмоток реле и с шунтирующими цепями для каждого элемента Z определяются цепи, включенные последовательно с ним, $f\{z\}$ и цепи, включенные параллельно ему $\overline{f\{z\}}$. Условия работы Z выражаются ф-лой $F_z = f\{z\} \cdot \overline{f\{z\}}$.

Для построения последовательности действия во времени элементов многотактного

РУ обычно пользуются результатами анализа его структуры. Последовательности работы элементов представляют в виде таблиц включений или таблиц переходов. Для построения таблицы включений по таблице состояний задаются начальным состоянием устройства, напр., отключенным состоянием всех воспринимающих и промежуточных элементов (строка 1 в левой части табл. 1). Это состояние принимают в качестве нулевого такта искомой таблицы включений (табл. 2). Из

Таблица 2

Такты	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
U	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	и т. д.
A	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
B	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
Z	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	

табл. 1 следует, что принятое нач. состояние является устойчивым, т. к. состояние исполнит. органов промежуточных элементов (левая часть табл. 1) и состояние их реагирующих органов (правая часть табл. 1) одинаковы. Поэтому для продолжения работы устройства необходимо оказать воздействие на один из воспринимающих элементов. В данном случае это означает включение элемента *u* и переход в строку 5 табл. 1 (такт 1 таблицы 2). Из правой части строки 5 следует, что устройство находится в неустойчивом состоянии (включается промежуточный элемент *A*), поэтому в такте 2 табл. 2 проставлена комбинация состояний 1100, соответствующая левой части строки 7. Состояние устройства снова устойчиво — следует отключить воспринимающий элемент *u* (строка 3 табл. 1 и такт 3 табл. 2). Такой процесс продолжают до тех пор, пока будет закончено построение последовательности. Аналогичным путем можно представить последовательности работы элементов РУ в форме таблицы переходов [3].

Лит.: 1) Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; 2) Арановичч Б. И., Использование матричных методов в вопросах структурного анализа релейно-контактных схем, «АиТ», 1949, т. 10, № 6, с. 437—51; 3) Колдуэлл С. Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962.

И. И. Пархоменко.

РЕЛЕЙНЫХ УСТРОЙСТВ ТЕОРИЯ (theory of relay systems, switching theory; théorie des dispositifs de commutation; Theorie der Relaiseinrichtungen) — раздел теории автоматич. управления, рассматривающий теорию и методы построения структуры релейных устройств по заданным условиям работы (см. *Синтез релейных устройств*) и определения условий работы по заданной структуре релейного устройства. В Р. у. т. эти вопросы рассматриваются в наиболее общем виде без ограничений классов релейных элементов, как это имеет место в теориях *конечных автоматов*, *логических схем*, последовательностных машин и т. п., для к-рых характерно изучение лишь отдельных классов релейных элементов или релейных устройств. Напр., теория конечных автоматов занимается только синхронными релейными устройствами, теория логич. сетей — релейными устройствами, состоящими из двух типов релейных элементов (задержек и логич. звеньев), и т. д. Для указанных теорий характерно абстрагирование от реальных св-в релейных элементов, из к-рых они строятся. В Р. у. т. определенные св-ва реальных релейных элементов, а именно: различие в задержках при переходе из одного состояния в другое, вероятность отказов и т. п., учитываются в нек-рой обобщенной форме уже на этапе т. н. абстрактного синтеза, в конкретной форме — на этапе структурного синтеза.

При решении задач Р. у. т. используются аппараты математич. логики, теории графов, комбинаторного анализа, теории алгоритмов и т. п. Однако специфич. св-ва этих задач, как, напр.: необходимость учета временных последовательностей смены состояний входов и внутр. элементов, недоопределенность заданных условий работы, неодинаковость задержек и т. п., потребовали значительной переработки и развития методов, применяемых в указанных разделах математики, а в ряде случаев и создания своего особого математич. аппарата. Это связано также с применением спец. видов математич. языков и спец. операций, к-рые оказались необходимыми для эффективного решения задач синтеза и анализа (язык регулярных событий, язык таблиц переходов и таблиц состояний и т. п.).

Первые попытки создания научной методики для построения структуры релейных устройств относятся к 1925—30 (работы сов. ученых А. Кутти, М. Цимбалистого [1,2], а также работы нек-рых зарубежных авторов). Однако началом развития Р. у. т. является 1936—38, когда В. Шестаков [3], К. Шеннон [4] и А. Накашима [5] применили для решения задач Р. у. т. аппарат математич. логики; указание на возможность применения этого аппарата было сделано еще в 1910 русским ученым П. Эренфестом [6]. В СССР работы в области Р. у. т. начали развиваться в 1944—46, в первую очередь в связи со сложными структурными задачами, возникшими в технике дискретной телемеханики. Был опубликован ряд работ, посвященных решению основных задач структурного синтеза применительно к контактным релейным устройствам, а в 1950 была опубликована первая монография в области Р. у. т., подытожившая состояние ее на этот период времени. За рубежом Р. у. т. начала развиваться с 1950—51 гл. обр. из базы задач, связанных с запросами вычислит. техники. В 1954 в работах Д. Хаффмена [8] было положено начало развитию табличных, а в 1943 в работах У. Мак Каллока и В. Питса [9], а затем в 1951 С. Клини [10] — началу развитию алгебраич. методов абстрактного синтеза. Существенные результаты в развитии Р. у. т. достигнуты в работах сов. ученых: М. Гаврилова, В. Глушкова, А. Закревского, Н. Кобринского, В. Лазарева, Г. Поварова, В. Рогинского, Б. Трахтенброта, В. Шестакова, М. Цетлина, С. Яблонского и др. Заметно развитие работы в области Р. у. т. получили за рубежом. Из числа наиболее существенных следует упомянуть работы: Г. Монсена и его учеников (Румыния); Л. Кальмара и его учеников (Венгрия); А. Свобода и Ф. Свобода (Чехословакия), Г. Ролледер (ГДР); Г. Аскенна, А. Беркса, У. Квайна, С. Колдуэлла, Э. Маккласки, Е. Мура, П. Рота, Д. Хаффмена, А. Черча и др. (США), М. Уилкса (Англия), К. Белломи и Р. Риги (Италия), К. Карэ и П. Наслена (Франция), Г. Цеманека и О. Плохль (Австрия), М. Гото и М. Ито (Япония) и др. Существенную роль в развитии Р. у. т. сыграли международные симпозиумы по теории релейных устройств и конечных автоматов. Первый из них (1957) имел место в США [11], а второй (1962) — в СССР [12].

Р. у. т. представляет собой один из крупных разделов современной теории автоматич. управления и прикладной математики со своими особыми методами и математич. аппаратом и своими математич. и технич. проблемами. Ее методы проникают во все области автоматич. контроля и управления производств. и др. процессами, не только дискретными, но и непрерывными, во всех случаях, когда в них необходимо выполнять логич. операции (экстремальные, самонастраивающиеся, самоорганизующиеся и др. совр. автоматич. системы и устройства). Изложению Р. у. т. посвящен ряд монографий, изданных в СССР и за рубежом, напр. [13—22].

Практич. применение Р. у. т. дает значительное сокращение времени при разработке структуры релейных устройств и позволяет получить более совершенные решения. Особенно большое значение имеют при этом научно обоснованные методы *минимизации*, применение к-рых приводит в ряде случаев к существенной экономии в числе элементов, необходимом для реализации заданных условий работы.

Большое значение для расширения практич. применения Р. у. т. имеет машинизация процессов синтеза и анализа, т. к. в ряде случаев решение практич. задач требует очень большого объема вычислений. За рубежом эти работы ведутся в направлении использования универсальных вычислит. машин. В СССР, помимо применения этих машин, созданы также нек-рые простые специализиров. машины для выполнения отд. этапов синтеза и анализа структуры релейных устройств. В США были проведены опыты синтеза на универсальной вычислит. машине весьма сложных релейных устройств, давшие положит. результаты.

Лит.: 1) Кутти А. К., в кн.: Труды Ленингр. экспериментальной электротехн. лаборатории, 1928, вып. 8, с. 10; 2) Цимбалистый М., там же, с. 19; 3) Шестаков В. И., Некоторые математические методы конструирования и упрощения двухполюсных электрических схем класса А, М., 1938 (Дисс.); 4) Shannon C. E., «Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs.», 1938, v. 57, p. 713; 5) Nakashima A., «Nippon Electr. Comm. Engng», 1936, № 3, p. 197; 6) Эренфест П., «Журнал Русского физико-химического об-ва», 1910, т. 42, вып. 10, отд. 2, с. 382; 7) Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; 8) Huffman D., «J. Franklin Inst.», 1954, v. 257, № 3, pt. 1, p. 161—190; № 4, pt. 2, p. 275—304; 9) Мак-Каллок У. С., Питтс В., в сб.: Автоматы, под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти, пер. с англ., М., 1956; 10) Клини С., там же, с. 15; 11) Proc. of an International symposium on the theory of switching, 2—5 Apr. 1957, pt. 1—2, Camb. (Mass.), 1959; 12) Труды Международного симпозиума по теории релейных устройств и конечных автоматов, М., 1962; 13) Логика. Автоматы. Алгоритмы, М., 1963; 14) Гаврилов М. А., Структурная теория релейных устройств. Лекции, ч. 1—3, М., 1959—61; 15) Глушков В. М., Синтез цифровых автоматов, М., 1962; 16) Кобринский Н. Е., Трахтенброт Б. А., Введение в теорию конечных автоматов, М., 1962; 17) Рогинский В. Н., Элементы структурного синтеза релейных схем управления, М., 1959; 18) Колдуэлл С., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962; 19) Моисил Гр., Алгебраическая теория дискретных автоматических устройств, пер. с рум., М., 1963; 20) Humphrey W. S., Switching circuits with computer applications, N. Y.-[a. o.], 1958; 21) Phister M., Logical design of digital computers, N. Y — L., [1958]; 22) Curtis H. A., A new approach to the design of switching circuits, Princeton [N. Y.], [1962].

М. А. Гаврилов.

РЕЛЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОСТЯЗАНИЕ (hasard of relay elements; compétition des éléments de commutation; Wettkampf der Relaiselemente) — режим работы релейного устройства, при к-ром неск. релейных элементов одновременно находятся в неустойчивом состоянии (см. *Неустойчивое состояние внутреннее*), т. е. одновременно меняют свое состояние. Пусть, напр., релейное устройство имеет 3 промежуточных элемента: Y_1, Y_2, Y_3, и при очередном изменении входа они должны изменить свое состояние с 000 на 011. Это означает, что одновременно меняют свое состояние элементы Y_2 и Y_3, причем это изменение происходит с нек-рой задержкой срабатывания. Поскольку практически задержки срабатывания у различных элементов различны, то какой-то из элементов изменит свое состояние раньше другого и возникнет промежуточное состояние 001 или 010. Если возникновение такого состояния не было предусмотрено заранее при синтезе устройства, то возможно нарушение работы: это состояние может либо оказаться устойчивым и перехода в 011 не произойдет, либо вызвать непредусмотренную цепочку неустойчивых состояний. Если всякая возможная цепочка заканчивается предусмотренным устойчивым состоянием (в данном случае 011) или заранее известно, какой элемент сработает раньше другого, то состязание наз. допустимым состязанием; если возможен переход в устойчивые состояния, не предусмотренные условиями работы,— недопустимым состязанием.

В. В. Ворожева.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА (X-ray tube; tube à rayons X; Röntgenröhre) — электронолучевой прибор для получения рентгеновского излучения, являющегося одним из видов электромагнитного колебания с непрерывным или линейчатым спектром. Первое возникает по закону: всякий электрич. заряд, движущийся с ускорением (в данном случае отрицательным), излучает электромагнитную энергию. Со стороны коротких волн спектр резко ограничен. Наикратчайшая волна зависит от скорости бомбардирующих электронов и может быть вычислена по ф-ле:

$$\lambda(\text{Å}) = \frac{12{,}34}{U(\text{кв})},$$

где U — скорость бомбардирующих электронов, равная анодному напряжению Р. т. Излучение с линейчатым спектром возникает при перескоке электрона с более высокого уровня на более низкий (по квантовой теории электроны в оболочке атома находятся на различных энергетич. уровнях), при этом выделяется энергия в виде электромагнитного излучения с частотой ν, определяемой соотношением:

$$h\nu = w_1 - w_2,$$

где h — постоянная Планка; w_1 и w_2 — уровни энергии. Спектр этого излучения состоит из дискретного ряда частот колебаний и составляет неск. групп или серий линий, напр. K, L, M, N, O; наиболее жесткое (коротковолновое) излучение образует серию K. Длины волн зависят только от атомного номера вещества преграды, бомбардируемой электронами.

Основные элементы Р. т.— катод и анод, помещаемые в оболочку (колбу) с высоким вакуумом или разреженным газом. Наиболее распространены электронные (высоковакуумные) Р. т. Источником электронов служит обычно вольфрамовый катод, накаливаемый до 2300—2500°К. Давление остаточных газов внутри оболочки составляет 10^{-5} — 10^{-3} *мм рт. ст.* Для концентрации электронного потока на небольшом участке поверхности анода (фокусное пятно) применяются фокусирующие устройства, напр. в виде металлич. цилиндра, окружающего катод. Электроны, испускаемые катодом, ускоренно движутся в направлении анода (под напряжением от десятков до тысяч *кв*) и достигают его поверхности. При этом кинетич. энергия электронов частично преобразуется в энергию рентгеновского излучения. Бо́льшая же часть энергии превращается в тепловую. Кпд Р. т. весьма низок; напр. при напряжении в 20 *кв* он составляет 0,15%, при 1000 *кв* — 7,5%.

Ионные Р.т. имеют вакуум в пределах 10^{-3}— 10^{-4} *мм рт. ст.* При приложении высокого напряжения происходит ионизация газа. Положит. ионы, ударяясь о катод, освобождают из него электроны. Последние направляются к аноду, где и возникает рентгеновское излучение. Катоды ионных Р. т. относятся к разряду «холодных»; изготовляются из алюминия и имеют форму сферы, что необходимо для фокусировки электронного потока на аноде.

Величина тока электронного пучка, от к-рой зависит интенсивность рентгеновского излучения и нагрузка анода, в электронных Р. т. регулируется изменением напряжения накала катода. При повышении анодного напряжения Р. т. спектр рентгеновского излучения сдвигается в сторону коротких волн. Анодная хар-ка электронной Р. т. простейшей конструкции имеет такой же вид, как у электронного *диода*. Рабочий участок хар-ки лежит в области насыщения.

Аноды часто выполняются в виде стержней или дисков. В Р. т. с большой уд. нагрузкой анода, последний изготовляется из меди, имеющей высокую теплопроводность. На торце анода запрессовывается диск (зеркало) толщиной в 1—3 *мм* из металла, соответствующего назначению Р. т. (W, Mo, Co, Fe, Cr, Ag и др.). Для повышения мощности Р.т. применяют принудит. охлаждение анода (рис. 1) или делают его вращающимся. Вращение осуществляется с помощью одеваемой на Р. т. снаружи катушки по принципу асинхронного двигателя. Оболочки Р. т. выполняются из стекла или металла со стеклянными, бериллиевыми или графитовыми окнами для пропускания рентгеновского излучения.

Существенное усложнение конструкции Р. т. обусловливают средства защиты от электрич. пробоев и паразитного рентгеновского излучения, вызываемых несфокусированными, вторичными и отраженными от стенок электронами. Для устранения пробоев применяются чехлы на аноде или на катоде, двухстенные стеклянные оболочки и т. д. Защита от паразитного излучения осуществляется с помощью массивных металлич. чехлов, укрепляемых на электродах внутри трубки, или надеваемых на Р. т. снаружи. Помимо этого, принимаются меры для защиты от высокого напряжения (безопасные Р. т.). К ним относятся заземляемые защитные кожухи, изолированные от заряж. металлич. частей при помощи воздуха или масла. Иногда кожух выполняется в виде бака, наполненного маслом, в к-рое погружается Р. т. При эксплуатации Р. т. помещается в рентгеновский аппарат, содержащий источники питания, органы регулировки, измерит. приборы и др. устройства.



Рис. 1. Анод рентгеновской трубки, охлаждаемый водой: *1* — анод; *2* — патрубок; *3* — бачок; *4* — стеклянная ножка (трубка) анода.

По назначению Р. т. разделяются на трубки для: структурного анализа (рис. 2), просвечивания материалов (рис. 3), микросекундной рентгенографии, рентгеновской теневой микроскопии (рис. 4), рентгенодиагностики (рис. 5), рентгенотерапии и др. (см. рис. 7).

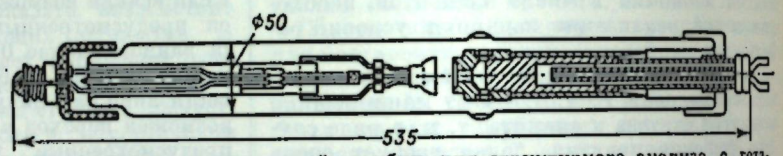


Рис. 2. Разрез рентгеновской трубки для структурного анализа с гетаковыми окнами.

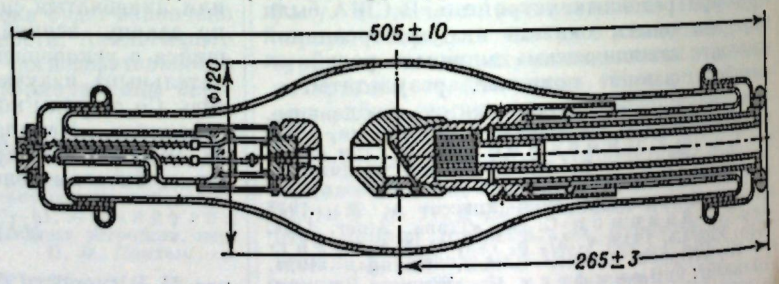


Рис. 3. Разрез рентгеновской трубки для просвечивания материалов.

Р. т. для структурного анализа (исследование расположения атомов в кристаллич. решетке, внутр. напряжений и т. п.) имеют анодные зеркала из различных металлов с малым уд. весом для получения их характеристич. излучения. Фокусное пятно часто имеет форму штриха (линейчатый фокус). Преимущество его заключается в возможности увеличения нагрузки анода приблизительно в 3 раза по сравнению с круглым фокусом той же площади. Анод имеет искусств. охлаждение. Для выхода мягкого рентгеновского излучения применяются окошки из стекла «гетан» или вакуумно-плотного бериллия. Для целей структурного, а также спектр. анализа находят применение ионные Р. т. разборной конструкции,

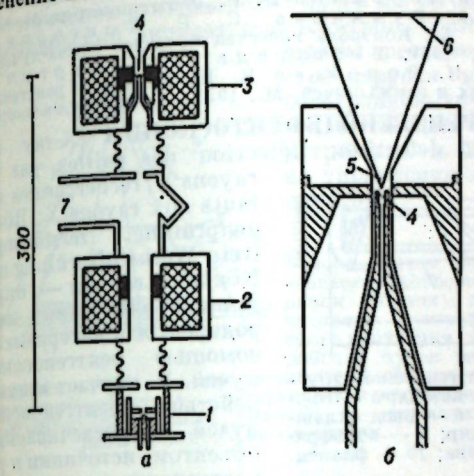


Рис. 4. Рентгеновский теневой микроскоп: *а* — эскиз; *б* — схематич. разрез; *1* — электронная пушка (катодная часть); *2* — габаритная магнитная линза; *3* — магнитная линза объектива; *4*—мишень; *5* — исследуемый объект; *6*—фотопластинки (пленки); *7* — труба к вакуумному насосу.

работающие с пост. откачкой (рис. 6). Металлич. оболочка такой Р. т. имеет двойные стенки. Радиус кривизны зеркала алюминиевого катода 80 *мм*. Рентгеновские лучи выходят через окна (от 1 до 6) диаметром 4—6 *мм*, закрытые алюминиевыми листочками толщиной 0,007—0,015 *мм*. Их преимущество: отсутствие накаленного катода — зеркало не загрязняется продуктами его испарения, обусловливающими появление лишних линий в спектре излучения. Кроме того, разборная Р. т. допускает легкую смену анодов из различных металлов.

Р. т. для исследования материалов (обнаружение трещин, раковин, пустот и др. дефектов) путем рентгеноскопии (проекцией на флуоресцирующий экран) и рентгенографии (фотографированием изображения) работают в большом диапазоне анодных напряжений (до 2000 *кв*) и мощностей (до неск. *квт*), в зависимости от толщины и проницаемости исследуемых материалов. Сверхвысоковольтные Р. т. (на 400—2000 *кв*) часто изготовляют секционированными, с электродами, имеющими промежуточные между катодом и анодом потенциалы (рис. 8). Это обеспечивает более равномерное распределение потенциала вдоль баллона трубки и, следовательно, уменьшение вероятности электрич. пробоя. Анод имеет вольфрамовое зеркало и искусств. охлаждение. При исследовании сложных пром. изделий часто требуется приблизить фокусное пятно к объекту. Для этого применяются Р. т. с выносным полым анодом. Последний помещен в длинную полую трубку, наружный торец к-рой одновременно выполняет ф-ции зеркала анода и окна для выхода излучения. Подобные Р. т. применяются также в медицине для контактной и полостной терапии.

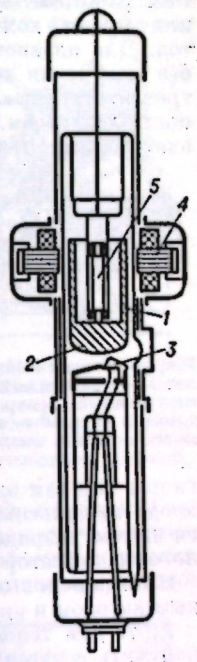


Рис. 5. Разрез диагностич. рентгеновской трубки с вращающимся анодом: *1* — медный анод; *2* — вольфрамовое зеркало анода; *3* — эксцентрически расположенный спиральный катод; *4* — надетый на трубку статор асинхронного электродвигателя; *5* — ось анода.

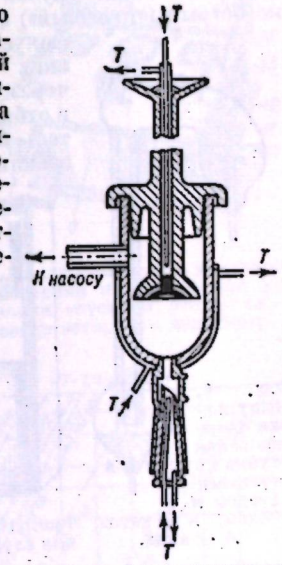


Рис. 6. Разборная металлич. ионная рентгеновская трубка: *T* — трубки для проточной охлаждающей воды.

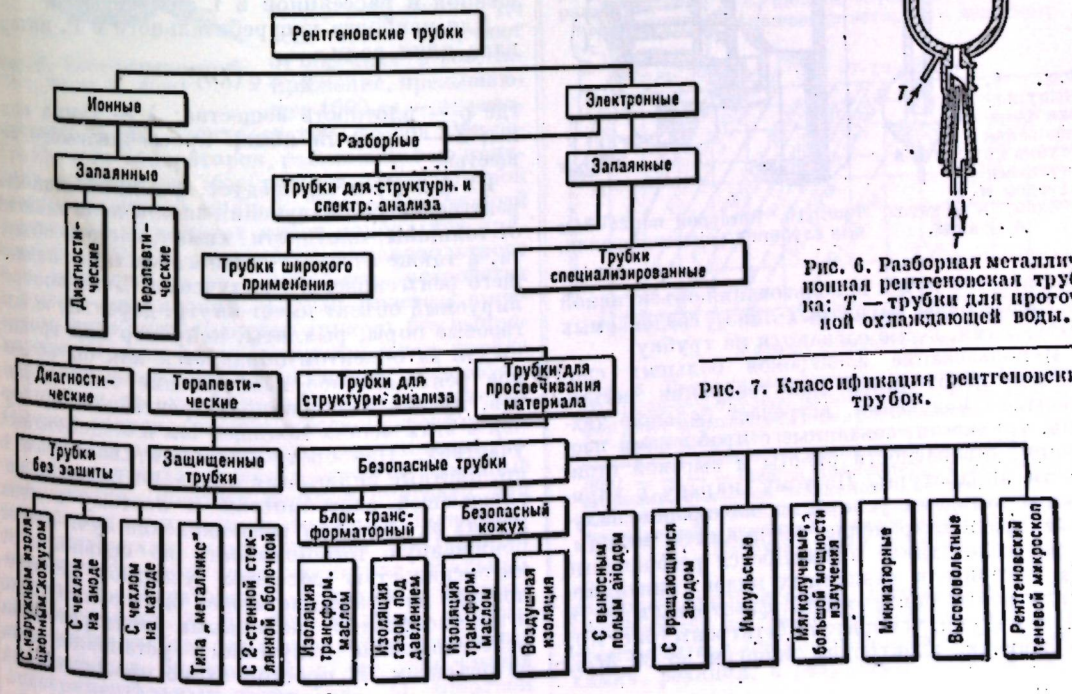


Рис. 7. Классификация рентгеновских трубок.

Для микросекундной рентгенографии (напр., съемка быстродвижущегося предмета — пули, снаряда и т. п.) применяются импульсные Р. т. Они работают при форсиров. накале катода или имеют холодный автоэмиссионный катод. Для плавного регулирования экспозиции без изменения накала катода применяются трехэлектродные Р. т. с дополнит. управляющим электродом. Анодные и сеточные хар-ки электронных трубок подобного типа аналогичны хар-кам электронного триода. Питание анода импульсных Р. т. обычно осуществляется путем разряда через трубку высоковольтного конденсатора.

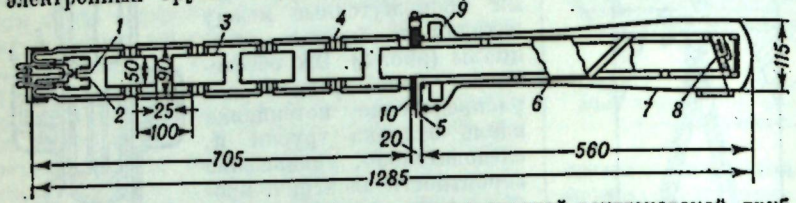


Рис. 8. Разрез секционированной сверхвысоковольтной рентгеновской трубки: *1* — спиральный катод; *2* — фокусирующий электрод у катода; *3* — промежуточный электрод; *4* — металлич. кольцо — перемычка; *5* — ввод охлаждающей воды; *6* — водяная рубашка; *7* — свинцовый футляр; *8* — вольфрамовое зеркало анода; *9* — магнитная фокусирующая катушка; *10* — фланец.

Иногда используются ионные трубки с ртутным катодом и анодом (рис. 9).

Р. т. для теневой микроскопии позволяют получить рентгенографич. изображение объектов, находящихся в воздухе. Возможно получение стереоскопич. снимков. Отличит. особенностью таких трубок является чрезвычайно острый («точечный») фокус. Выходящий из фокуса поток рентгеновских лучей пропускается через исследуемый объект и отбрасывает увеличенную тень на фотопленку. Образование точечного фокуса

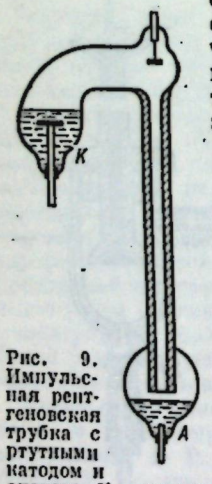


Рис. 9. Импульсная рентгеновская трубка с ртутными катодом и анодом: *K* — катод; *A* — анод.

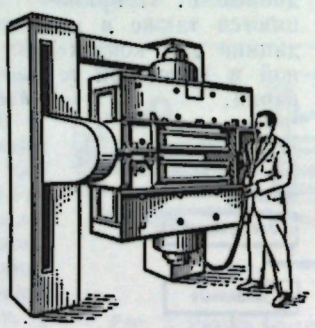


Рис. 10. Бетатрон на 24 *Мэв* для глубокой рентгенотерапии.

достигается путем использования объективной и собирающей магнитных линз, создаваемых катушками, к-рые одеваются на трубку.

Использование электронов больших скоростей, необходимых для генерации весьма жесткого излучения, встречает большие техн. трудности, связанные с проблемами изоляции, безопасности работы и высокой стоимости аппаратуры. Поэтому наряду с «прямыми» методами ускорения электронов получили распространение «непрямые» методы. В рентгенотехнике применяются резонансные ВЧ ускорители различных видов: линейные, циклотроны, синхротроны, фазотроны и др., а также индукц. ускорители-бетатроны (рис. 10), сообщающие электронам энергии до 30 *Мэв*.

Лит.: Харадзка Ф. Н., Общий курс рентгенотехники, 2 изд., М.—Л., 1956; Раков В. И., Электронные рентгеновские трубки, Л.—М., 1955; Блохин М. А., Физика рентгеновских лучей, М., 1953; Порайков И. В., Рентгенометрия, М.—Л., 1950; Румянцев С. В., Григорович Ю. А., Контроль качества металлов гамма-лучами, М., 1954; Биберталь А. В., Маргулис У. Я., Воробьев Е. И., Защита от рентгеновских и гамма-лучей, М., 1955. *А. Г. Александров.*

РЕНТГЕНОДЕФЕКТОСКОПИЯ (X-ray defect detection; détection des pailles par les rayons X, recherche des défauts aux rayons X; Röntgenprüfung, zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit Röntgenstrahlen) — определение внутренних макродефектов в материалах с помощью рентгеновских лучей. Р. изучает взаимодействие рентгеновских лучей с просвечиваемым объектом, источники и регистраторы рентгеновского излучения, виды дефектов, выявляемые рентгеновскими лучами, понижение прочности материалов и изделий, содержащих эти дефекты, методы защиты от действия рентгеновских лучей и др. вопросы, связанные с рентгеновским контролем материалов и изделий. В основе теории Р. лежит закон ослабления рентгеновских лучей веществом, к-рый выражается ф-лой:

$$J = J_0 e^{-\mu d}, \qquad (1)$$

где J — интенсивность рентгеновских лучей после выхода из просвечиваемого объекта (на границе раздела вещество — воздух); J_0 — интенсивность тех же лучей в той же точке пространства при отсутствии объекта; μ — линейный коэфф. ослабления лучей; d — толщина просвечиваемого объекта; e — основание натуральных логарифмов. В свою очередь $\mu = \tau + \sigma$, где τ — линейный коэфф. поглощения, σ — линейный коэфф. рассеивания лучей; τ и σ характеризуют доли энергии первичного пучка рентгеновских лучей поглощенной и рассеянной в 1 $см^3$ вещества.

Для наиболее употребительного в Р. интервала длин волн

$$\mu \approx \varrho (\lambda Z)^3, \qquad (2)$$

где ϱ — плотность вещества; λ — длина волны; Z — атомный номер просвечиваемого вещества.

Из ф-л (1) и (2) следует, что интенсивность рентгеновского излучения за объектом зависит от толщины, плотности, химич. состава объекта, а также от спектрального состава падающего рентгеновского излучения. Если контролируемый объект имеет внутр. дефекты: шлак, газовые поры, рыхлоты, непровар или трещины, то за объектом образуется как бы объемное рентгеновское изображение этих дефектов, причем интенсивность рентгеновских лучей в этих местах меньше, чем в бездефектных участках. Наоборот, ликвации, вольфрам и др. плотные включения обладают большой поглощающей способностью и поэтому в этих местах за объектом рентгеновские лучи имеют пониженную интенсивность по сравнению с интенсивностью соседних участков. Рентгеновское изображение может быть обнаружено и зафиксировано различными регистраторами рентгеновского излучения, установленными за объектом. В простой схеме просвечивания (рис. 1) контуры рентгеновского изображения, не видимые глазом, показаны штриховкой.

Источником рентгеновских лучей может быть рентгеновский аппарат или бетатрон, состоящие из *рентгеновской трубки* или бетатронной трубки, питающего ее устройства и блока управления аппаратом.

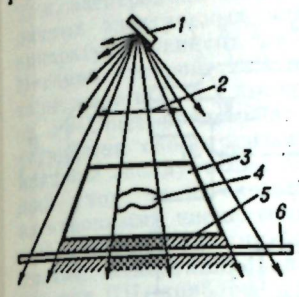


Рис. 1. Схема рентгеновского просвечивания объекта: *1* — источник рентгеновского излучения; *2* — рабочий пучок рентгеновских лучей; *3* — просвечиваемый объект; *4* — внутренний дефект; *5* — рентгеновское изображение за объектом (не видимое глазом); *6* — регистратор рентгеновского изображения.

Для контроля пластмасс и легких сплавов целесообразно использовать мягкие (длинноволновые) рентгеновские лучи. Это осуществляется трубками, обладающими бериллиевым окном, к-рое хорошо пропускает мягкие составляющие спектра тормозного излучения. При исследовании быстро протекающих процессов, напр. для регистрации летящей пули или осколков взорвавшегося снаряда, применяются импульсные трубки. С помощью этих трубок время экспозиции сокращается до величин порядка *мксек*. Для просвечивания изделий из стали и др. тяжелых сплавов, имеющих большую толщину стенок, применяются высоковольтные секционированные рентгеновские трубки (на 400—2000 *кв*) или бетатроны.

Бетатронные трубки для Р. производятся на 10, 15, 25 и 31 *Мэв* (рис. 2). Высоковольтное электрич. поле и ток накала в рентгеновских трубках создаются с помощью спец. генераторов. Высокое напряжение до 300—400 *кв* получают от обычных тр-ров. Напряжение, превышающее 1000 *кв*, — от резонансных тр-ров, электростатич. тр-ров Ван-де-Граафа или генераторов, работающих по принципу волноводов (бегущей высокочастотной электромагнитной волны). Трансформаторный рентгеновский аппарат имеет наибольшее применение в Р. Он состоит из высоковольтного или главного тр-ра, выпрямит. устройства и пульта управления. Самым простым аппаратом этого вида является аппарат без выпрямителя. В этом случае рентгеновская трубка присоединяется непосредственно к высоковольтному тр-ру. Аппараты с выпрямителем бывают: конденсаторные и бесконденсаторные, с одним, двумя или четырьмя вентилями. Аппараты рассчитаны на различные анодные напряжения, поэтому каждый пригоден для ограниченного интервала толщин и определенного материала, напр. аппарат РУП-200-5-1 пригоден гл. обр. для контроля стальных изделий в лабораторных, цеховых и полевых условиях (рис. 3, 4). Оптимальные режимы просвечивания для этих аппаратов находятся из графиков экспозиций, к-рые получаются экспериментальным путем (рис. 5). Бетатрон



Рис. 2. Бетатронная трубка на 31 *Мэв*.

применяется для контроля изделий большой толщины (напр., стальных св. 100 *мм*).

Известны 4 метода регистрации рентгеновских лучей, пригодных для Р.: фотографический (фотографич. эмульсия); флуороскопический, или визуальный (флуоресцирующий экран, электронооптический преобразователь, сцинтиллирующие монокристаллы и др.); ксерографический, или электрографический (полупроводниковый электрич. заряженный слой с проводящей подложкой); ионизационный (ионизационная камера, счетчик Гейгера — Мюллера, сцинтилляционный счетчик). Первые три метода позволяют получать видимое изображение исследуемого объекта в плоскости регистратора, ионизационным методом фиксируются лучи в нек-ром объеме, видимое изображение при этом отсутствует. В пром-сти

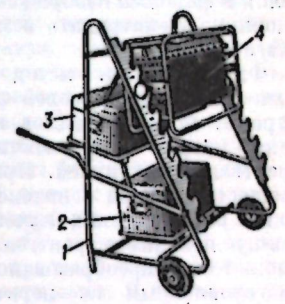


Рис. 4. Пульт управления (с поднятой крышкой): *1* — сигнальная лампа красная; *2* — реле времени на 15 мин.; *3* — сигнальная лампа зеленая; *4* — миллиамперметр; *5* — рукоятка регулировки анодного тока трубки; *6* — выключатель сети; *7* — крышка предохранителей; *8* — рукоятка регулировки высокого напряжения; *9* — градуировочный график; *10* — верхняя панель пульта управления; *11*, *12* — кнопки «пуск» и «стоп»; *13* — переключатель напряжения сети; *14* — вольтметр.

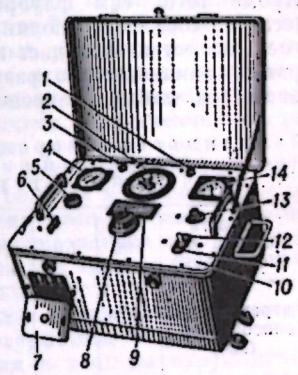


Рис. 3. Комплект аппарата типа РУП-200-5-1: *1* — штатив тележки; *2* — ящик с принадлежностями; *3* — пульт управления; *4* — блок тр-ра с рентгеновской трубкой.



Рис. 5. Графики экспозиции для стали. Аппарат РУП-200-5-1; анодное напряжение $U = 150$—200 *кв*; фокусное расстояние 75 см, рентгеновские пленки: РТ-5; РТ-2 или РМ-1; почернение пленки 1,0—1,4; ——— пленка без применения фольги и экранов; — — — — пленка применяется с двумя оловянными фольгами толщиной 0,05 *мм*; ·· ··· ·· ··· пленка применяется с двумя усиливающими вольфраматными экранами завода им. Семашко. Нагрузка 60/60 *мг/см²*.

наиболее распространен фотографич. метод, основанный на св-ве рентгеновских лучей производить в бромосеребряном слое физико-химич. реакции, в результате к-рых в эмуль-

сионном слое пленки образуется скрытое изображение контуров объекта и дефектов в нем. После проявления скрытое изображение становится видимым, а после закрепления слоя в фиксаже изображение (рентгенограмму) можно рассматривать в проходящем свете на негатоскопе.

Флуороскопич. метод основан на св-ве нек-рых веществ (солей кадмия, цинка, вольфрама; монокристаллов иодита цезия, кальция, натрия и др.) светиться под действием рентгеновских лучей. Яркость свечения этих веществ связана с интенсивностью действующих рентгеновских лучей. Благодаря этому св-ву невидимое рентгеновское изображение может быть преобразовано в видимое экраном, изготовленным из перечисленных веществ. Флуороскопич. метод обладает меньшей чувствительностью к выявлению дефектов, но он более производителен, чем фотометод. Малая чувствительность метода связана с нек-рым несовершенством человеч. глаза: глаз начинает воспринимать свечение экрана только при определенной его яркости; он способен различать два смежных поля светящегося экрана только в том случае, если отношение яркости этих полей будет не меньше 1,15. Кроме того, сам флуоресцирующий экран (если он состоит из поликристаллов светящегося вещества) обладает зернистостью, которая ограничивает его разрешающую способность (см. табл.). Разрешающую способность

Зависимость разрешающей способности от яркости экрана при двух значениях контрастности S

Яркость экрана B (апостильбы)	100	50	10	1	0,1	ΔS
Разрешающая способность (мм)	0,20 0,40	0,21 0,42	0,23 0,46	0,33 0,7	1 2	0,5 0,17

глаза можно повысить, увеличивая яркость экрана B и контрастность ΔS, где

$$\Delta S = \ln \frac{B_1}{B_2}, \qquad (3)$$

а B_1 и B_2 — яркости сравниваемых полей.

Яркость рентгеновского экрана ограничена, она обычно не превосходит 1—2 апостильба. В сотни раз бо́льшую яркость обеспечивает *электронооптический преобразователь* (ЭОП), т. е. электронолучевая трубка, в к-рой рентгеновское изображение объекта преобразуется четырежды: в световое на флуоресцирующем входном экране, в электронное на фотокатоде, в ускоренное электронное на аноде и опять в световое (с повыш. яркостью) на выходном экране ЭОП. Высокая яркость выходного экрана ЭОП позволяет использовать его для рентгеновского контроля более толстостенных изделий, чем при работе с обычным флуоресцирующим экраном, получая при менее мощных источниках рентгеновского излучения лучшую выявляемость нек-рых дефектов, чем на экране. Недостатком ЭОП является малая разрешающая способность (всего 2—3 *лин/мм*, в то время как рентгеновские пленки в среднем имеют 60—70 *лин/мм*). Это ограничивает их применение в рентгеновском контроле ответств. сварных изделий, т. к. тонкие трещины, непровары и слабую пористость ЭОП не обнаруживает; ЭОП используется гл. обр. для рентгеновского контроля литья. Схема устройства ЭОП с блоком питания и расположение аппаратуры при просвечивании объекта показаны на рис. 6.

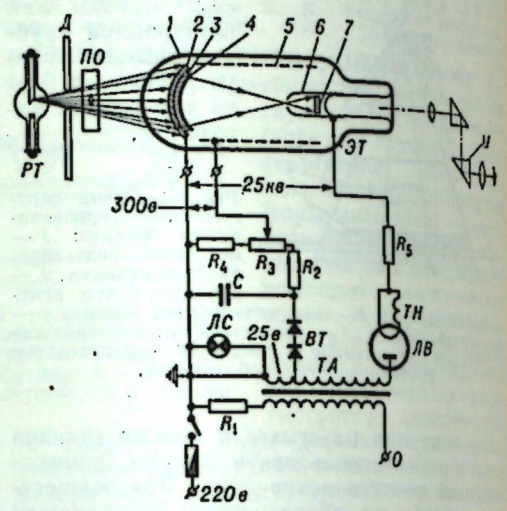


Рис. 6. Схема устройства электронооптич. преобразователя и блока питания к нему: *РТ* — рентгеновская трубка; *Д* — диафрагма; *ПО* — просвечиваемый объект; *ВТ* — выпрямитель твердый; *ЛВ* — лампа выпрямителя; *ЛС* — лампа сигнальная; *ЭТ* — электронная трубка; *ТА* — трансформатор анодный; *М* — монокуляр; *ТН* — тр-р накала; *1* — стеклянная колба; *2* — алюминиевая чаша; *3* — флуоресцирующий экран; *4* — фотокатод; *5* — электропроводящий слой; *6* — анод (алюминиевый конус); *7* — выходной флуоресцирующий экран.

Др. методы выявления дефектов продолжают совершенствоваться, но широкого применения в пром-сти не получили. Ксерографич. метод не внедряется ввиду отсутствия качественных пластин с селеновым покрытием. Ионизац. метод применяется гл. обр. для дефектоскопии изделий с плоско-параллельными поверхностями и для контроля нарушения толщины материала. Дефекты, выявленные рентгеновскими методами, классифицируются по характеру, величине, количеству и расположению в изделии. Допустимость тех или иных дефектов в изделии определяется техническими условиями на данное изделие, путем сравнения контролируемого изделия с эталонным.

Лит.: Назаров С. Т., Контроль качества сварных соединений, М., 1950; Дефектоскопия металлов. Сб. ст., М., 1950; Приборостроение и средства автоматизации контроля. [Сб. ст.], кн. 1, М., 1961; Трапезников А. К., Чернобровов С. В., Радиографирование при помощи вторичной радиации, возбужденной гамма-лучами, «Зл.», 1953, т. 19, № 9; Трапезников А. К., Рентгенодефектоскопия, М., 1948; Хараджа Ф. Н., Общий курс рентгенотехники, 2 изд., М.—Л., 1956; Шмелев В. К., Рентгеновские аппараты, 3 изд., М.—Л., 1957.

С. В. Чернобровов.

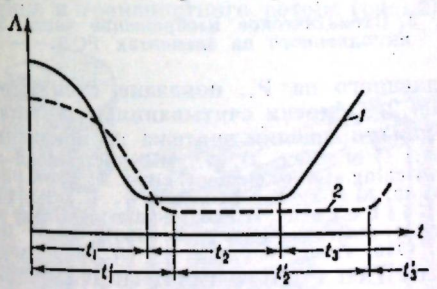
РЕОСТАТНАЯ СВЯЗЬ (resistor coupling; couplage par rhéostat, couplage par résistances; Widerstandsverbindung) — см. *Гальваническая связь.*

РЕОСТАТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ [resistance amplifier; amplificateur rhéostatique (à résistances); Widerstandsverstärker)] — см. *Усилитель на сопротивлениях.*

РЕСУРС технический (resource; resource; Ressource) — суммарное рабочее время (в часах) от начала эксплуатации любого устройства до ее прекращения, обусловленное изнашиванием (старением). При эксплуатации всегда наступает такое время, когда устройство начинает часто выходить из строя и его использование становится нецелесообразным. Р. совр. электронной аппаратуры лежит в пределах от неск. сотен до неск. тыс. часов. Т. к. электронная аппаратура состоит из различных электронных элементов, то Р. всей аппаратуры зависит от Р. этих элементов. Механич. устройства (редукторы, коммутаторы, реле и т. п.) также оказывают влияние на Р. Опыт показывает, что если механич. устройства сконструированы правильно и в процессе эксплуатации за ними есть надлежащий уход, то Р. аппаратуры определяется электронными элементами.

В электронной аппаратуре наиболее массовыми элементами являются электровакуумные или ПП приборы, а также сопротивления и конденсаторы. Совр. сопротивления и конденсаторы имеют Р. порядка 5000—10 000 час. Приемно-усилит. лампы имеют Р. порядка 1000—3000 час., лучшие типы — до 5000 час. Р. магнетронов, клистронов, мощных модуляторных ламп и т. п. обычно составляет неск. сотен час. Часто при эксплуатации аппаратуры приходится заменять электровакуумные приборы, выработавшие свой Р. Одной из причин постепенного вытеснения электронных ламп полупроводниками является то, что ПП имеют Р. порядка десятков тыс. час.

Обычно в паспорте аппаратуры указывается ее Р. Однако часто возникает вопрос, как практически определить то время, когда аппаратура выработала свой Р. Для этого при эксплуатации записываются все отказы аппаратуры, обусловленные выходом из строя радиоламп и др. деталей, и фиксируется, на каком часу работы они произошли. По этим данным определяется параметр потока отказов; эта величина обычно обозначается Λ и имеет размерность $1/час$. Для электронной аппаратуры зависимость Λ от времени имеет характер, изображенный на рис. (кривая *1*). Первый



Зависимость потока отказов Λ от времени t.

участок t_1 (длительностью от десятков до сотен часов) характеризуется повышенной интенсивностью отказов, т. к. в первое время после изготовления аппаратуры наблюдаются выходы из строя вследствие скрытых дефектов, некачественности деталей, плохого монтажа и т. п. Этот участок обычно вырабатывается во время наладки и настройки аппаратуры. Второй участок t_2 — участок норм. работы аппаратуры — является основным. На всем его протяжении параметр потока отказов остается практически постоянным. Последний, третий участок t_3 характеризуется постепенным повышением параметра потока отказов вследствие старения и износа аппаратуры.

Р. аппаратуры определяется по ф-ле: $t_0 = t_1 + t_2$. Увеличение Р. является одной из важнейших проблем при разработке и эксплуатации аппаратуры. Увеличение Р. зависит как от конструкции и изготовления электронной аппаратуры, так и от ее правильной эксплуатации.

Р. элементов электронной аппаратуры можно увеличить за счет использования их в недогруженном режиме (рис., кривая *2*); при этом интенсивность отказов элементов на основном участке работы уменьшается, что еще более увеличивает эффективность эксплуатации элементов аппаратуры в этом режиме.

Р. радиоламп зависит от причин, к-рые можно разбить на 2 большие группы: причины, определяющие внезапный выход ламп из строя и возникающие гл. обр. в начальный период их эксплуатации t_1; причины, ускоряющие потерю работоспособности ламп. К причинам 1-й группы относятся: кз между электродами, трещины ножек и колб, обрывы электродов и др. Эти причины обусловлены гл. обр. недостаточной отработанностью технологич. процессов, загрязненностью производственных помещений и плохим контролем. Причинами 2-й группы являются повышение или понижение напряжения накала, увеличение коэфф. нагрузки, увеличение темп-ры баллона лампы, наличие вибрации и т. п. Увеличение нагрузки лампы по отношению к номинальной значительно сокращает ее Р. Это объясняется тем, что в форсированных режимах работы электроды ламп сильно раскаляются, возрастает газовыделение и появляется возможность пробоя между электродами. Увеличение темп-ры баллона лампы также резко сокращает их Р. Для повышения Р. рекомендуется применять лампы в режимах, близких к номинальным, не допуская повышения темп-ры баллона выше 100—150°. Напряжение накала в случае хорошей его стабилизации следует брать на 2—3% ниже номинального.

Р. сопротивлений и конденсаторов в значит. степени зависит от режима их работы, т. е. от коэфф. нагрузки и темп-ры окружающей среды. Коэфф. нагрузки сопротивления определяется по ф-ле $k_н = P_р/P_0$, где $P_р$ — рассеиваемая мощность; P_0 — номин. мощность. Коэфф. нагрузки конденсатора равен отношению напряжения $U_р$, прилож. к конденсатору, к номин. напряжению U_0, т. е. $k_н = U_р/U_0$. При проектировании аппаратуры для повышения Р. рекомендуется применять сопротивления с $k_н < 1$ и конденсаторы с $k_н \leqslant 0{,}5$. На Р. влияют также влажность и загрязненность воздуха, пониженное давление, солнечная радиация и др.

Правильность эксплуатации сильно влияет на Р. аппаратуры. Обычно предусматривается защита аппаратуры от неправильных действий обслуживающего персонала, тем не менее значит. число отказов происходит по его вине. Можно установить 3 группы факторов, влияющих на аппаратуру при эксплуатации: отсутствие необходимых знаний и опыта, небрежность в обращении с аппаратурой при ее обслуживании, неправильная организация профилактич. работ и ремонта. На Р. аппаратуры влияют, напр., неточная установка напряжения питания, переключения цепей под током (где это опасно для элементов аппаратуры), нарушение правил включения и выключения, установка несоответствующих предохранителей, произвольная регулировка устройств защиты, неправильная установка органов управления и регулировки (завышение

яркости изображений на электроннолучевой трубке), нарушение порядка, объема и методики профилактич. и ремонтных работ (установка деталей, не соответствующих спецификации), неправильное выполнение пайки, несвоевреем. или неправильная замена смазки, несвоевреем. устранение мелких неисправностей, к-рые затем приводят к отказам аппаратуры, и др. См. *Надежность электронной аппаратуры*.

Лит. см. при ст. *Надежность. Е. Ю. Намиот.*

РЕШАЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic operational amplifier; amplificateur opérationnel pneumatique; pneumatischer Rechenverstärker)—усилитель с большим коэфф. усиления по давлению воздуха, используемый в пневматич. приборах контроля и управления. Р. у. п. может быть построен на основе элемента *сопло-заслонка* или на *струйных элементах* (см. *Струйная техника*). Применение Р. у. п. позволяет строить пневматич. вычислит. приборы по методам, общим для аналоговой вычислит. техники, образуя включением сопротивлений и емкостей сумматоры, интеграторы и др. Большие возможности использования Р. у. п. для выполнения вычислит. операций открываются при переходе к работе пневматич. приборов в низком диапазоне давлений, где *дроссели пневматические* имеют линейную хар-ку (см. *Дроссель ламинарный*).

Лит.: Березовец Г. Т., Дмитриев В. Н., Таль А. А., Новая система пневматических вычислительных устройств, «АиТ», 1961, т. 22, № 1; Ferner V., Anschauliche Regelungstechnik, B., 1960. *Б. С. Шкрабов.*

РОД [rod (magnetic element for switching and storage matrices); élément magnétique de commutation et de mémoire; ROD (magnetisches Element für Umschaltung und für Speicherung)] — малогабаритный магнитный элемент на цилиндрич. тонкой пленке, предназнач. для ЗУ и логич. цепей ЭВМ. Разработан в 1959 под руководством Д.А. Мейера [1]. Конструктивно Р. (рис. 1) представляет собой

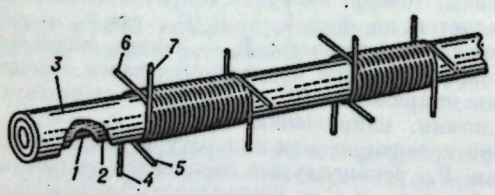


Рис. 1. Схема элемента РОД.: *1* — стеклянный стержень; *2* — слой серебра; *3* — цилиндрич. магнитная пленка; *4* и *5*— адресные обмотки *X* и *У*; *6* — обмотка считывания; *7* — обмотка запрета записи.

стеклянный стержень диаметром 0,25—0,5 *мм*, покрытый тонкой (неск. тысяч Å) ферромагнитной пленкой с прямоугольной петлей гистерезиса, имеющий группу секций, состоящих из неск. обмоток. При электролитич. способе нанесения *магнитной тонкой пленки* стеклянный стержень предварительно покрывается подслоем серебра. При осаждении паров магнитного материала в вакууме подслой может отсутствовать. В одной из конструкций Р. применена магнитная пленка состава 98% Fe и 2% Ni толщиной ок. 3000 Å с коэфф. прямоугольности петли гистерезиса 0,95—0,98.

Р. используется в ЗУ, причем каждый запоминающий элемент, предназнач. для хранения одного двоичного разряда, включает в себя отрезок длины стержня с магнитной пленкой и секцию, состоящую из четырех обмоток: двух адресных (в ЗУ, работающем по принципу совпадения токов), одной — считывания и одной — запрета записи. Все обмотки имеют по 10 витков. При величине тока возбуждения в каждой из адресных (селектирующих) обмоток 200 *ма*, сигнал считывания достигает 500 *мв* при времени переключения ок. 70 *нсек*. Более поздние разработки привели к созданию Р. со временем перемагничивания менее 10 *нсек*. Энергия, затрачиваемая на хранение 1 двоичной единицы информации на Р., составляет ок. 0,02 *вт*. На 1 *см* длины стержня размещается до 3—4 запоминающих элементов, причем взаимное влияние их оказывается практически несущественным.

Р. позволяют изготовить ЗУ с объемной плотностью до 64 двоичных единиц на 1 *см*^{3}, к-рые допускают работу с тактовой частотой до 3—5 *Мгц* при темп-ре окружающей среды до 200—250° С. ЗУ на Р. могут работать как по принципу совпадения токов, так и с непосредств. выборкой. Часть ЗУ с совпадением токов,

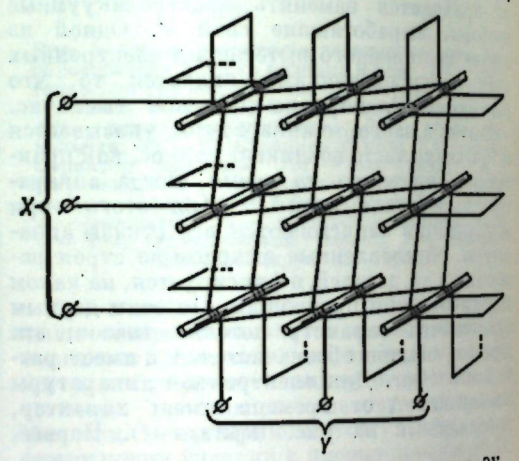


Рис. 2. Схематическое изображение части ЗУ, выполненного на элементах РОД.

выполненного на Р., показана схематически на рис. 2. Обмотки считывания и запрета записи для упрощения чертежа не показаны.

Лит.: 1) Meier D. A., Millimicrosecond magnetic switching storage element, «Brit. J. Appl. Phys.», 1959, v. 30, № 4; 2) Hoffman G. R., Turner J. A., Kilburn T., High-speed digital storage using cylindrical magnetic films, «J. Brit. Instn Radio Engrs», 1960, v. 20, № 1. *Л. П. Крайзмер.*

РОТОРНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ (automatic rotary line; chaîne automatique de rotation; automatisierte Rotationslinie) (РАЛ) — комплекс рабочих машин, транспортных устройств, приборов, объединенных единой системой управления, совмещающий во времени воздействие на заготовку инструмента с непрерывным его транспортным движением по замкнутой траектории и служащий для изготовления штучных изделий. Транспортные устройства передают заготовки с одной рабочей машины на другую (рис. 1).

РАЛ применяют при изготовлении изделий методами листовой и объемной штамповки в машиностроительной, электротехнич., радиотехнич. пром-сти, при изготовлении элементов и сборке втулочно-роликовых цепей, при фрезеровании, обточке и расточке относительно небольших изделий, при термохимич. обработке, нанесении гальванопокрытий, окрашивании и маркировке изделий и т. п. Применение РАЛ по сравнению с отдельными автоматами не роторного типа сокращает производственный цикл обработки в 10—15 раз; значительно уменьшаются межопер. запасы заготовок

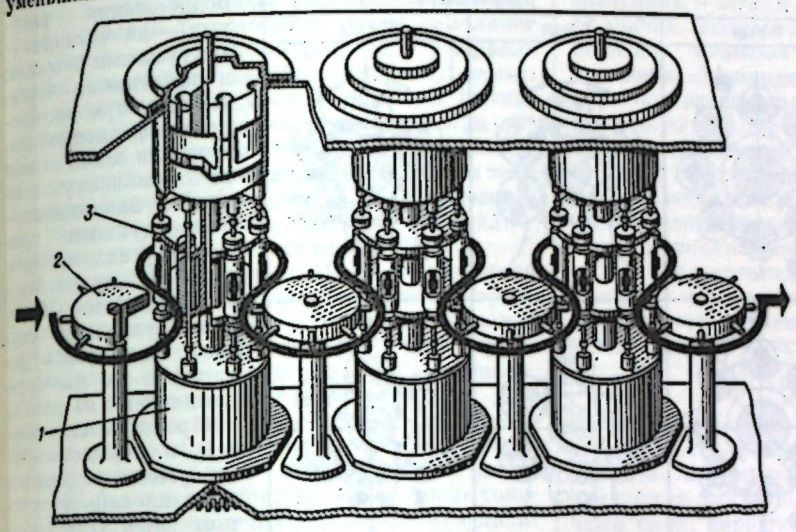
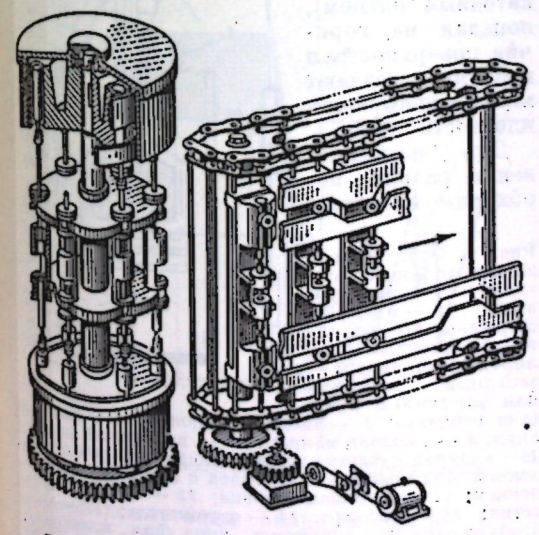


Рис. 1. Схема участка автоматич. роторной линии: *1* — технологический (рабочий) ротор; *2* — транспортный ротор; *3* — инструментальный блок.

(в 20—25 раз); высвобождаются производственные площади; в неск. раз снижается трудоемкость изготовления и себестоимость продукции; капитальные затраты окупаются за 1—3 года.

РАЛ позволяют в одной линии конструктивно подобных рабочих машин проводить разнохарактерные операции: штампование и резание, контроль и покрытие, упаковку и маркировку. Рабочие машины роторного и цепного типов обладают высокой производительностью. Типовая группа РАЛ состоит из загрузочного ротора, рабочей машины роторного или цепного типа и транспортного ротора (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Типовые схемы рабочих машин: *а* — роторный тип; *б* — цепной тип.

Отдельные рабочие машины предназначены для выполнения одного или неск. технологич. переходов (с постоянной для РАЛ производительностью) и могут иметь различное число инструментальных блоков. Применяются системы автоматич. замены инструментальных блоков, утративших работоспособность в результате износа или поломки. Инструментальные блоки одной рабочей машины взаимозаменяемы. Их настройка производится вне машины, на стенде без остановки РАЛ, на к-рой в это время работает запасной инструментальный блок.

Особенность инструментальных блоков состоит в том, что точность и качество технологич. операции определяются размерной цепью блока и не зависят от типа привода, конструкции рабочей машины и т. п. Размеры инструментальных блоков определяют шаговые расстояния рабочих машин, их габариты.

Рабочие машины РАЛ, предназнач. для термохимич. обработки, не имеют инструментальных блоков; заготовки размещаются в гнездах, пазах или клещевых захватах. В РАЛ осуществляется 100%-ный контроль изделий с помощью контрольных роторов: для выборочного контроля используются механизмы, изымающие из общего потока часть продукции, подлежащую проверке. Возврат годных изделий в поток производится спец. механизмами «подшитки» потока. Контрольно-измерит. устройства выполняются в виде роторов с механич. приводом. Эти устройства информируют систему управления о ходе технологич. процесса, о состоянии инструментальных блоков, качестве изделий, расходе энергии, параметрах технологич. сред, работе приводов и др.

Рабочие машины обеспечивают замыкание технологич. усилий в самих машинах, что позволяет конструировать легкие станины РАЛ, почти не нагруженные усилиями обработки. Многоинструментальность рабочих машин позволяет применять единую систему привода для группы инструментальных блоков; это значительно сокращает затраты на эксплуатацию, увеличивает надежность работы.

Исходными параметрами синтеза рабочих машин являются: технологич. время обработки, расстояние между инструментальными блоками и производительность. Определяются: геометрич. размеры рабочей машины, число инструментальных блоков или гнезд, количество ярусов и число оборотов ротора рабочей машины. На основании проектных расчетов выбирается вариант рабочей машины, позволяющий осуществлять одно- или многопоточную, одно- или многономенклатурную обработку изделий в один или неск. ярусов (рис. 3), взаимное расположение рабочих и транспортных роторов на станине, их кинематич. параметры.

Механич. (кулачковый) привод рабочих перемещений проектируют для технологич. усилий до 1000 *кг*. Для бо́льших усилий применяют гидравлич. или механогидравлич. приводы.

Цеха, оснащенные РАЛ, имеют: пульты информации о работе отдельных линий;

системы аварийной сигнализации; автоматич. защиту электрич. и электронной аппаратуры; устройства автоматич. регистрации и учета

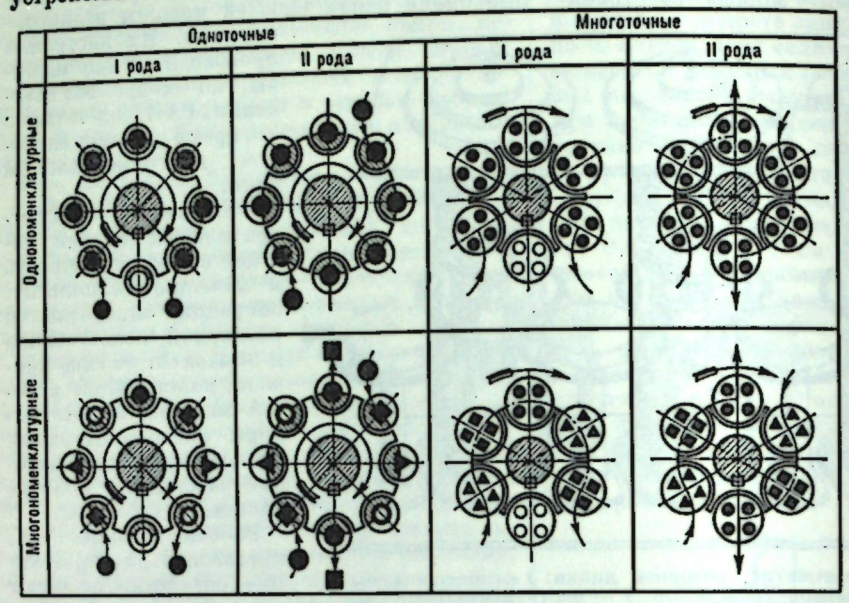


Рис. 3. Структурные схемы рабочих машин роторного типа.

выработки линий, наличия междулинейных запасов; стенды автоматич. регуляторов параметров технологич. процессов (темп-ра, режимы обработки, кондиция растворов и т. п.); комплексы устройств, осуществляющих самонастройку рабочих машин на заданную программу обработки для поддержания процесса на оптимальном режиме, и др. устройства, характерные для комплексно автоматизиров. произ-в.

В РАЛ практически отсутствуют межоперац. запасы заготовок, а наличие жесткой межоперац. связи между рабочими машинами позволяет установить надежный контроль за качеством обработки. Относит. независимость рабочих и транспортных скоростей позволяет использовать облегченные технологич. режимы обработки; увеличение производительности не требует интенсификации режимов обработки.

При объединении отдельных рабочих машин в РАЛ всегда можно установить одинаковую операц. производительность. Для технологически сходных процессов можно создавать многономенклатурные РАЛ, способные параллельно обрабатывать различные виды изделий. *И. А. Клусов, Л. Н. Кошкин, В. Ф. Прейс.*

РТУТНЫЙ ВЕНТИЛЬ [mercury arc bulb (tube or valve); valve à mercure; Quecksilberdampfventil] — *ионный прибор*, пропускающий ток в одном направлении: от анода к катоду, заполненному жидкой ртутью. Р. в.— разновидность электрического *вентиля*; применяется в ртутных преобразователях и в установках для получения мощных импульсов тока.

Р. в. в металлич. корпусе изготовляются на ср. значения тока 30—1000 *а* при макс. обратных напряжениях 2,5 *кв*, на 500 *а* при 5 *кв*, до 200 *а* при 15 *кв* и (для передачи пост. током) на 300 *а* при 130 *кв*. По числу гл. анодов в одном вентиле Р. в. делятся на многоанодные (3 или 6) и одноанодные; по способу зажигания катодного пятна — на *игнитроны* (зажигание в начале каждого периода) и *экситроны* (однократное зажигание при пуске и поддержание пятна дежурной дугой возбуждения); по способу поддержания вакуума — на откачные с вакуумными насосами и запаянные, обеспеченные при изготовлении формовкой током или отжигом при высоком вакууме; по способу охлаждения — с воздушным принудит. охлаждением или с жидкостным охлаждением. Общая конструктивная схема Р. в., его узлов, деталей и их наименования даны на рис. 1.

Проводимость тока в Р. в. осуществляется *дуговым разрядом* в ионизированном ртутном паре. Отдельные узлы Р. в. нагреваются до высокой темп-ры (графитовый анод до 600—700° С). В областях, прилегающих к этим узлам, ртутный пар перегрет; его плотность уменьшается обратно пропорционально абс. темп-ре; соответственно увеличиваются ср. свободные пробеги и ионные оболочки в процессе *деионизации*. Во многих конструкциях Р. в. резкая зависимость давления и плотности ртутного пара от темп-ры требует поддержания охлаждения в узких пределах, а при выборе дистанций между узлами — учета длины ср. свободных пробегов. Капли ртути (разбрызгиваемые катодным пятном), попадая на горячие поверхности и испаряясь, создают местные повышения плотности пара.

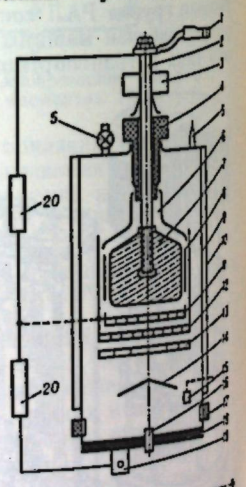


Рис. 1. Осн. узлы и детали ртутного вентиля: *1* — анодный ввод; *2* — анодный стержень; *3* — радиатор; *4* — анодный (изолированный) ввод; *5* — западный патрубок или вакуумный кран (для откачки); *6* — анодная коронка; *7* — главный анод; *8* — анодная манжета; *9* — вакуумный корпус; *10* — водяная рубашка для вентилей с водяным охлаждением или кожух для вентилей с воздушным охлаждением; *11* — делящая вставка; *12* — потенциальная сетка; *13* — фильтр; *14* — отражатель; *15* — анод возбуждения или вспомогат. анод (для игнитронов); *16* — зажигатель; *17* — катодный изолятор (для игнитронов); *18* — катод; *19* — катодный вывод; *20* — делитель напряжения.

Для возникновения разряда необходимо на поверхности ртути зажечь катодное пятно — ограниченный источник электронов. На расстоянии, близком к длине ср. свободного пробега электронов, устанавливается падение напряжения, необходимое для ионизации (8—11 *в*). На пути к аноду электроны ионизируют ртутный пар, а положит. ионы, устремляясь к пятну, создают у его поверхности положит. заряд и вызывают автоэлектронную эмиссию. Разряд в сторону анода развивается вначале узким каналом (стримером), затем заполняет осн. сечение Р. в. (столб разряда). Градиент потенциала в дуге невелик (0,05—0,1 *в/см*). Он увеличивается в местах сужений (сетки, фильтры) и может резко возрастать при холодном Р. в. и больших толчках тока. У анода при большой плотности пара и небольшом токе градиент может быть отрицательным. Суммарное падение напряжения в дуге у Р. в. различной конструкции и мощности 11—35 *в*.

В нек-рых конструкциях Р. в. применяется фиксация катодного пятна с помощью выступающей над поверхностью ртути молибденовой полоски. Пятно расплывается в фиксирующую линию. Ртуть успокаивается, интенсивность и размеры брызг уменьшаются. Для надежной фиксации необходимы вакуумнотермич. обработка молибдена, непрерывность и достаточная длина фиксирующей линии (1 *см*/10 *а*), а при больших токах — также токоотвод и теплоотвод непосредственно от фиксирующей линии.

Хар-ки выпрямителя и инвертора приведены в ст. *Вентильный преобразователь* и *Инвертор, ведомый сетью*. В установках электропривода, электротяги, передачах пост. током один и тот же Р. в. работает поочередно выпрямителем и инвертором.

Один и тот же Р. в. может также работать при различных напряжениях и режимах. При повышении напряжения номин. ток уменьшается, а мощность несколько увеличивается. Номин. мощность Р. в. определяется числом допустимых нарушений в эксплуатации. На рис. 2 дана линейная диаграмма работы анода с

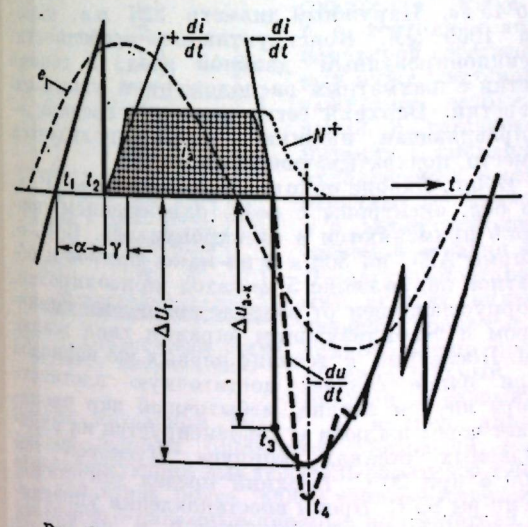


Рис. 2. Линейная диаграмма работы анода.

учетом коммутации анодных токов. От t_1 до t_2 сетка должна запирать анод с положит. напряжением, иначе произойдет «прорыв» и приемник получит полное напряжение. Чем больше Р. в. зарегулирован, тем больше коммутирующее напряжение между погасающим и зажигающимся анодом, меньше угол коммутации, больше $+di/dt$. Если Р. в. холодный, плотность пара мала, а нагрузка дается пиковым толчком, то дуга может оборваться, вызвать перенапряжение или гореть «каскадом», что приводит к более быстрому «износу» Р. в. В зарегулированном режиме наибольшая «напряженность» работы анода в t_3. При больших значениях $-di/dt$ и скачка Δu у анода остается значит. концентрация ионов $N+$ (условно показана точечной кривой). Под влиянием Δu ионы, бомбардируя анод, могут вызвать обратное зажигание, что приводит к несимметричному кз преобразователя. Вероятность обратного зажигания считалась пропорциональной произведению $-di/dt \cdot \Delta u$. Последние исследования [3] показали, что в преобразователях (даже на ср. напряжения) емкость и индуктивность схемы отклоняют кривую u от вертикали и приводят к колебат. процессу (прерывистая линия, рис. 2) и что вероятности обратного зажигания зависят от произведения трех величин:

$$-di/dt \cdot -du/dt \cdot \Delta u_{а-к}.$$

Вероятность обратного зажигания, кроме напряженности электрич. режима, зависит от: качества и вакуумной обработки материалов, состояния вакуума, местной плотности ртутного пара, неравномерной плотности прямого и обратного (ионного) тока. Совпадение отдельных факторов предопределяет статистич. характер вероятности обратного зажигания.

В экситронах в t_3 возможно погасание дуги возбуждения, вызванное замещением тока возбуждения током распада деионизирующейся плазмы, что приводит к погасанию Р. в. Погасания можно избежать либо увеличением тока возбуждения, либо его форсировкой в t_3, либо быстродействующим повторным зажиганием. В игнитронах возможен пропуск очередного зажигания. Средства против пропуска: качеств. зажигатель, схема поджига достаточной мощности и требуемой формы тока, схема подхвата, подтягивающая плазму к аноду.

Погасание возбуждения или пропуск зажигания в зарегулированном или инверторном режимах могут вызвать прорыв, кз и кратковрем. отключение преобразователя. Обратное зажигание не является аварией. При быстродействующей *защите вентильных преобразователей* обратное зажигание вызывает кратковрем. перерыв в работе до срабатывания *автоматического повторного включения*. Большое число обратных зажиганий приводит к сокращению срока до очередной ревизии откачных Р. в. или к замене (или восстановлению) запаянных, а также к более частой ревизии высоковольтного выключателя.

Миним. число нарушений нормальной работы в эксплуатации зависит от конструкции и технологии (особенно запаянных Р. в.). В Р. в. должен сохраняться, а у откачных поддерживаться вакуум 10^{-3}— 10^{-5} *мм рт. ст.* При ухудшении вакуума (в результате натекания через неплотности или выделения абсорбированных и оклюдированных газов) затрудняется зажигание, увеличивается падение в дуге, Р. в. загрязняется (на аноде, на сетках могут появляться пленки, увеличивающие вероятность обратных зажиганий). Непроницаемость Р. в. обеспечивается качеством сварки (контактная с ионным контролем, диффузионная, автоматич. аргоно-дуговая или атомно-водородная). Герметичность швов проверяется гелиевым течеискателем.

Материалы применяются определ. марок и химически пассивные к ртути (сталь, графит,

керамика); ртуть марки Р-0 или Р-1; искусственный с мин. примесями графит, изготовляемый прессованием в глухую матрицу. Большое значение имеет предварит. вакуумно-технологич. обработка деталей: отжиг в водороде, очистка графита после механич. обработки, отжиг графита в вакууме при темп-ре ок. 1800°С. В Р. в. с водяным охлаждением для предупреждения диффузии ионов водорода внутри вакуумного корпуса последний изготовляется из легиров. хромоникелевых сталей. В последнее время наиболее часто используются стекло-коварные вводы Р. в., но продолжают изготовляться вводы с напряженным более легкоплавким стеклом 3С4 (марка С-88-4). Недостаток последних — более низкая рабочая темп-ра и короткие пути поверхностного разряда. Большие перспективы имеют осваиваемые керамич. вводы. На срок службы запаянного Р. в. сильно влияет последняя операция при его изготовлении — отжиг или токовая формовка под откачкой собранного и сваренного Р. в. Чем выше темп-ра отжига, тем больше срок службы Р. в. (5—10 лет). В этом случае все внутр. части Р. в. являются геттером, поглощающим остатки посторонних газов.

Ниже приведены данные нек-рых Р. в. На рис. 3 дан разрез 6-анодного запаянного управляемого Р. в. на 500 *а* выпрямл. тока и

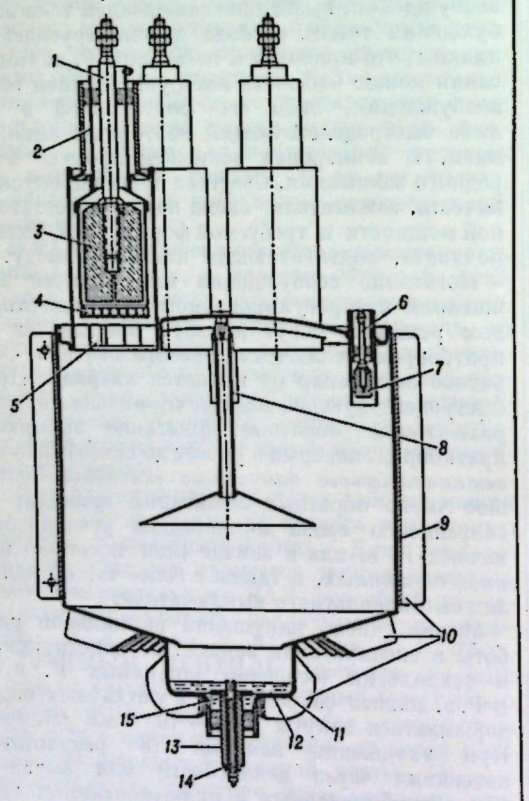


Рис. 3. 6-анодный запаянный ртутный вентиль: *1* — анодный вывод; *2* — вывод сетки; *3* — главный анод; *4* — сетка; *5* — фильтр; *6* — вывод анода возбуждения; *7* — анод возбуждения; *8* — отражательный экран; *9* — корпус; *10* — ребра; *11* — катодная чаша; *12* — ртуть; *13* — вывод катода; *14* — вывод зажигания; *15* — зажигатель.

600 *в* с возд. охлаждением типа РМ(6)—500/1,8. Катод с внутр. стороны покрыт эмалью, а катодный ввод введен через стержень, запрессованный в катодную чашу через напряженное стекло. В Р. в. концентричные анодные и сеточные вводы выполнены также на напряженном стекле. Разрез игнитрона ИВ-300/5 приведен на рис. 1 в ст. *Игнитрон*. На рис. 4 дан общий вид высоковольтного откачного Р. в. с жидкостным охлаждением на 300 *а* и 130 *кв* обратного напряжения. Р. в. показан вместе с системой автоматич. откачки и аппаратурой собств. нужд и регулирования.



Рис. 4. Общий вид откачного высоковольтного ртутного вентиля с жидкостным охлаждением.

В США выпускается запаянный игнитрон с водяным охлаждением на 150 *а* и макс. прямым и обратным напряжением 20 *кв*. Он применяется в выпрямит. и инверторном режимах для связи сетей различной частоты (25 *гц* и 60 *гц*) и для ускорителей, а также как замыкатель разрядных токов до 30 000 *а* при прямом запираемом напряжении до 45 *кв*. Наружный диаметр 228 *мм*, высота 1060 *мм*. Конструктивные особенности: секционированный двойной ввод, 3 тонкие сетки с шахматным расположением узких отверстий. Верхняя сетка делящая, средняя — управляющая, нижняя — часто используется вместо подхватывающего анода.

В Зап. Европе одноанодные запаянные Р. в. (в осн. экситроны с возд. охлаждением) широко применяются в электроприводе. В Р. в. фирмы AEG на 300 *а* и на макс. прямое и обратное напряжение 5 *кв* катод не изолирован, корпус защищен от разряда кварцевым цилиндром и стабилизующим экраном типа жалюзи. Последний в течение первых же периодов при пуске создает достаточную плотность пара внутри экрана, избыточный пар проникает через жалюзи и конденсируется на охлаждаемых стенках корпуса. Пусковой ток 900 *а* при 20°С. Верхний предел допустимой темп-ры 65°С. Время восстановления управляемости 0,5 *мксек*. Подобные Р. в. на ток до 600 *а* изготовляются и другими европ. фирмами.

Лит.: 1) Каганов И. Л., Промышленная электроника, М.—Л., 1961; 2) Danders W., «AEG Mitt.», 1959, v. 49, H. 2/3; 1961, H. 3/4; 3) Hull A. W., Cathode Spot, «Phys. Rev.», 1962, v. 126, № 5.

В. К. Крапивин.

РТУТНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ (mercury arc rectifier; redresseur à mercure; Quecksilberdampfgleichrichter) — комплектное устройство ср. и большой мощности для выпрямления перем. тока. Р. в.— наиболее распространенный вид *вентильного преобразователя*. Управляемый Р. в. может переходить из выпрямит. режима в инверторный. Преобразующим узлом Р. в. служат *ртутные вентили*: откачные или запаянные, *игнитроны* или экситроны, различающиеся способом зажигания катодного пятна.

Осн. потребители пост. тока, питаемые через Р. в.: а) городской и ж.-д. электрифицированный транспорт (в нек-рых случаях с инвертированием для рекуперативного торможения); б) электролиз металлов, водных растворов и расплавл. солей; в) электромагниты ускорителей заряж. частиц; г) индукц. нагрев; д) передача энергии пост. током; е) ионное возбуждение мощных генераторов с форсировкой по току и напряжению; ж) электропривод непрерывных и реверсивных прокатных станов, лифтов и подъемников (с инвертированием при торможении и реверсе).

Преимущества Р. в.: для откачных — неогранич. срок службы, для запаянных — 5—10 лет; способность выдерживать большие перегрузки; мгновенное регулирование при небольшой управляющей мощности (ок. 2 *вт*). Последние св-ва Р. в. сохраняют его как осн. перспективный вид преобразователя для мощного электропривода, ионного возбуждения, передачи пост. током и ускорителей.

Р. в. изготовляются при напряжении до 825 *в* на токи от 150 до 10 000 *а* (сдвоенные Р. в. на 20 000 *а*) и при 1650 и 3300 *в*—на 1200 и 2400 *а*. На более высокие напряжения — по отдельным технич. условиям. Для мощных электролизных установок, напр. для электролиза алюминия при общем токе 150 000 *а*, Р. в. устанавливаются параллельно с общей системой управления, регулирования и охлаждения.

На рис. 1 дана структурная схема Р. в., поставляемого заводами комплектно. *А* — вентиль или комплект вентилей; *Б* — собственно Р. в., т. е. вентили с аппаратурой собственных нужд, системой зажигания, возбуждения и сеточного питания *1*, системой охлаждения *2*, а для откачных — также и с автоматизиров. системой откачки *3*; *В* — ртутный выпрямит. агрегат, включающий, кроме Р. в., трансформатор преобразовательный *4* (обычно 6-фазный),

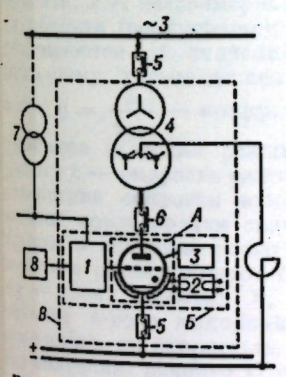


Рис. 1. Структурная схема ртутного выпрямителя.

иногда питающий два Р. в. и спец. аппаратуру защиты (поляризов. катодный быстродействующий выключатель обратного тока *5*, а для токов более 5000 *а* также быстродействующие 6-полюсные анодные выключатели *6* и, в случае необходимости, разрядники для защиты от перенапряжений). Защита со стороны питающей сети, а также тр-р собств. нужд с распределит. устройством *7* и УУ *8* в комплект Р. в. не входят. Эти узлы проектируются в зависимости от мощности и эксплуатац. режимов подстанций.

Если вентили охлаждаются водой, то применяются водо-воздушные или водо-водяные теплообменники. Первичный цикл последних охлаждается проточной водопроводной водой. Охлаждение вторичного цикла ведут по замкнутой, циркуляц. системе. Во всех случаях отдельные участки водопроводов выполняются из электроизоляц. материалов.

Р. в. включаются по нулевым, мостовым, встречно-параллельным схемам (см. *Вентильный преобразователь*). Иногда для уменьшения обратного напряжения и повышения надежности вентили включаются последовательно по два и более в каждую фазу тр-ра. В последних случаях катоды вентилей имеют различные напряжения и все вспомогат. устройства и их цепи должны быть изолированы на двойное рабочее напряжение. В откачных Р. в. такая изоляция должна быть выдержана и в вакуумных трубопроводах общей системы откачки.

Мощность и надежность Р. в. характеризуются не только допустимыми темп-рами, как у тр-ров и электрич. машин, но также четкостью зажигания, устойчивостью возбуждения и свойственными Р. в. нарушениями нормальной работы. Потеря вентильного св-ва вентиля приводит к обратному зажиганию, вызывающему кз Р. в. При соответствующей *защите вентильного преобразователя* и *автоматическом повторном включении* обратное зажигание не выводит Р. в. из строя и обычно не нарушает работу приемника. Однако частые обратные зажигания вызывают «износ» вентиля, расшатывают тр-р и требуют более частых ревизий выключателей. Считается допустимым, если число обратных зажиганий не превосходит в среднем 2—4 в год на 6 вентилей без сеточного регулирования и 4—8 при регулировании. Потеря запирающей способности управляющей сетки при работе Р. в. в зарегулиров. режиме приводит к «прорыву» и недопустимому толчку тока, а в инверторном режиме — к кз цепей пост. и перем. тока («опрокидывание» инвертора). Неск. сложнее *защита электропередачи постоянного тока*.

Надежность Р. в. зависит не только от вентиля, но также от конструктивной схемы обмоток преобразоват. тр-ра, от схем зажигания, возбуждения, сеток, синфазности цепей управления и гл. анодов, а также точности поддержания темп-ры вентиля в оптим. пределах автоматизиров. теплообменником или вентилятором.

Для четкого зажигания гл. анода в заданный момент необходимо формирование и подтягивание плазмы к аноду. Крутизна нарастания и величина тока на сетках должны быть достаточной величины (порядка десятых долей *а*). Поэтому в сеточных схемах применяется не пик-трансформатор, а насыщающийся дроссель. Отрицат. запирающее напряжение на сетках не должно быть выше 200 *в*, иначе деионизирующаяся плазма, оставшаяся от дуги предыдущего периода, может вызвать катодные пятна (обратные зажигания на сеточках), нарушающие деионизацию. Продолжительность положит. импульсов на сетках следует приравнивать к продолжительности горения анода, иначе вентиль загрязняется частицами распыления сетки. Режим сеток приведен в общем виде на рис. 2. Продолжительность положит. импульса на сетках принята в 90°. Ток сетки (сплошная кривая) сперва положительный (вертикальная штриховка), затем отрицательный (горизонт. штриховка). Пунктирная линия сеточного тока иллюстрирует аномальный режим, когда

катодные пятна на сетках препятствуют деионизации и могут вызвать «прорыв» и обратное зажигание. Повысить управляемость сеток лучше всего улучшением их собств. геометрии. В *игнитронах* для силовых Р. в.

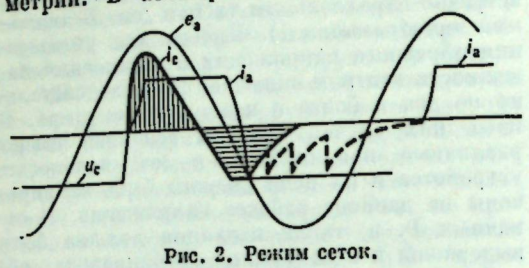


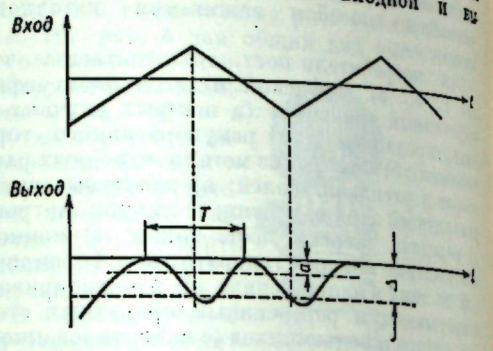
Рис. 2. Режим сеток.

применяются независимые схемы зажигания. В последнее время наблюдается тенденция связать импульс на зажигатель с импульсом на сетки посредством промежуточного тр-ра. Для регулирования тока и напряжения сдвигом фазы применяются *фазосдвигающие устройства управляемых выпрямителей*.

Лит.: Ривкин Г. А., Преобразовательные установки большой мощности, 2 изд., М.—Л., 1959; Ионные и электронные преобразователи, под ред. М.А. Чернышева, М., 1961; Суетин Т. А., Запаянные ртутные преобразователи, «ВЭ», 1962, № 2; Рубчинский А. В., Колесников В. Д., Надальняк Н. Ю., Вентиль для ионного преобразователя частоты, там же, 1959, № 1; Hingorani N. G., Survey of European Mercury — Arc Rectifiers, «Direct Current», 1963, v. 8, № 4.

В. К. Крапивин.

РЫСКАНЬЯ ПЕРИОД (hunting period; période de pompage; Nachlaufperiode) — период установившихся колебаний выходной величины объекта в автоколебат. системах экстремального регулирования. На рис. показано изменение входной и выходной координат объекта. Для уменьшения *потери на поиск* желательно уменьшение Р. п. Для этого применяются спец. средства. Например, можно двигаться в направлении к экстремуму с большей скоростью, чем в направлении от экстремума, чего можно достичь с помощью импульсной коррекции. К этому же результату приводит введение в экстремальный регулятор дополнительной замедленной обратной связи.



Графики изменения входа и выхода объекта при изменении входа с пост. скоростью: T — период рысканья; Δ — величина выхода, при к-рой изменяется знак скорости входа (реверс входа); a — потеря на поиск.

Ю. С. Попов.

С

САМОВОЗБУЖДЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ (oscillations, self-excitation; auto-excitation d'oscillations; Selbsterregung von Schwingungen) — см. *Генератор с самовозбуждением*.

САМОВЫРАВНИВАНИЕ (self-regulation; auto-équilibrage; Ausgleich, Selbstausgleich) — самостоятельный переход устойчивого тех. объекта к новому установившемуся режиму при огранич. изменении величины возмущающего воздействия без помощи регулятора. Кривая, отображающая этот процесс, наз. кривой разгона (см. *Переходная характеристика*). С. характеризуется коэфф. С. и скоростью разгона.

Пусть рассматриваемый объект описывается ур-нием:

$$y + \varepsilon\varrho y = \varepsilon x, \qquad (1)$$

где y — безразмерная выходная координата объекта, x — безразмерная входная координата объекта (возмущение); обе координаты отсчитываются от значений, соответствующих исходному установившемуся режиму; параметр $\varrho = \frac{x}{y_{уст}}$ — коэфф. С., $y_{уст}$ — установившееся (в новом режиме) значение y; параметр ε — скорость разгона объекта с С., т. е. отношение скорости изменения y в первый момент после подачи скачкообразного возмущения к величине этого возмущения. Часто вместо ε рассматривают обратную ей величину — время разгона T, равное времени, в течение к-рого выходная величина объекта, изменяясь со скоростью, равной ε, достигла бы значения, равного 1, т. е. номинальной величины, к-рая использовалась для приведения ур-ния объекта к безразмерному виду. Иногда в качестве хар-ки С. рассматривают время полувыравнивания t^*, равное времени, в течение к-рого выходная величина объекта достигает значения, составляющего 50% нового установившегося значения. На рис. 1 приведен пример кривой разгона объекта, ур-ние к-рого имеет вид (1). Реальные объекты могут быть описаны этими ур-ниями лишь при достаточно малых величинах x и отклонений y от исходного установившегося режима. Параметры ϱ и ε (или T), строго говоря, также имеют смысл лишь при достаточно малых отклонениях от исходного установившегося режима. Однако на практике С. реального тех. объекта в диапазоне ожидаемых величин возмущений характеризуют нек-рыми средними значениями ϱ и ε.

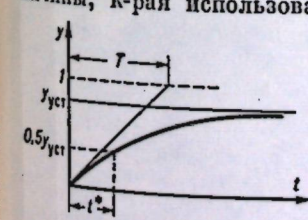


Рис. 1.

Если ϱ тех. объекта, описываемого ур-нием (1), равен 0, то такой объект наз. объектом без С.; это обычное интегрирующее звено. Кривая разгона для объекта 1-го порядка без С. представляет прямую линию ($y = t/T$). Если ϱ отрицателен, то объект имеет отрицательное С. Кривая разгона такого объекта представляет экспоненту с положительным показателем. Объект с отрицательным С. неустойчив и не может работать без регулятора.

На рис. 2, *а* приведена схема объекта с положит. С. Здесь выходной величиной является

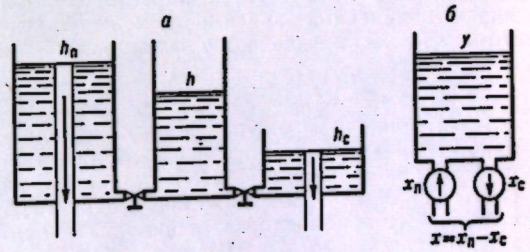


Рис. 2.

уровень воды h в среднем баке. В линейном приближении такая система может быть описана ур-нием:

$$T\dot{y} + y = k\,(x_п - x_с),$$

где $y = h - h_с$ — отклонение выходной величины от установившегося значения, $x_п$ и $x_с$ — величины внешних воздействий по притоку и стоку соответственно, k — коэфф. С. При изменении проходных сечений вентилей в таком объекте устанавливается новый режим, отличный от исходного.

На рис. 2, *б* приведена схема объекта без С. Здесь выходная величина — уровень воды в баке — зависит от производительности левого и правого насосов — нагнетающего и отсасывающего. Установившийся режим имеет место только в случае равенства производительности обоих насосов. Возмущение — изменение производительности одного из насосов —

приводит к неогранич. изменению уровня воды в баке.

Лит.: Герасимов С. Г., Теоретические основы автоматического регулирования тепловых процессов, М.—Л., 1949; Дудников Е. Г., Основы автоматического регулирования тепловых процессов, М.—Л., 1956; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Л. А. Тененбаум.

САМОВЫРАВНИВАНИЯ ВРЕМЯ (duration of self-regulation; durée d'auto-équilibrage; Ausgleichzeit) — продолжительность процесса перехода объекта в новое установившееся состояние; переход может быть вызван изменением нагрузки объекта. Физически С. в. зависит от аккумулирующей способности объекта регулирования и может продолжаться бесконечно долго. Практически С. в. оценивается по интервалу времени от момента возникновения возмущения до момента, когда отклонение регулируемой величины достигает заданного предела, напр. 90% от нового установившегося значения.

Лит.: Герасимов С. Г., Теоретические основы автоматического регулирования тепловых процессов, М.—Л., 1949; Дудников Е. Г., Основы автоматического регулирования тепловых процессов, М.—Л., 1956.

С. И. Дилигенский.

САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ МОДЕЛЬ (управляемая модель) [self-adjusting model; simulateur auto-règleur; selbstabstimmendes (selbsteinstellendes) Modell] — модель, хар-ки к-рой можно изменять при помощи внешних воздействий. Разработаны гл. обр. электронные управляемые модели (УМ), хар-ки к-рых можно изменять посредством управляющих напряжений. Распространение получили линейные инерц. УМ (ЛУМ) и нелинейные безынерц. УМ (НУМ). УМ нелинейных инерц. объектов строятся как комбинация НУМ и ЛУМ. Поведение ЛУМ описывается линейными дифференц. ур-ниями с изменяемыми коэфф. НУМ характеризуются видом нелинейной зависимости между входными $x_1, \ldots, x_n$ и выходной y величинами:

$$y = f(x_1, \ldots, x_n).$$

НУМ, или универс. управляемые функциональные (нелинейные) преобразователи, строятся обычно с одним (УНП-1) или с двумя (УНП-2) входами. Возможно построение УНП с бо́льшим числом входов, однако их структура очень сложна. В УНП-1 требуемая ф-ция преобразования аппроксимируется либо кусочно-линейной ломаной, либо суммой членов ряда к.-л. базисных ф-ций (степенны́х, тригонометрических и т. п.). Коэфф. членов ряда (или ординаты точек излома при кусочно-линейной аппроксимации) задаются управляющими напряжениями, под воздействием к-рых изменяется вид реализуемой УНП-1 ф-ции.

Пример построения схемы УНП-1 с кусочно-линейной аппроксимацией дан на рис. 1, *а*. На вход УНП-1 подается напряжение x. Выходной сигнал $y = f(x)$ воспроизводится десятизвенной ломаной с равными расстояниями между абсциссами точек излома. Ординаты точек излома задаются 11 управляющими напряжениями $y_1, y_2, \ldots, y_{11}$. В УНП-1 входят блок ступенчатой аппроксимации *БСА* и линейный интерполятор *И*. *БСА* в зависимости от значения x выделяет два соседних опорных напряжения $y_ч$ и $y_н$, где $y_ч$ — управляющее напряжение с четным индексом, а $y_н$ — с нечетным индексом. Эти напряжения и сигнал x поступают на вход *И*, выходной сигнал к-рого формируется по ф-ле:

$$y = y_ч + (y_н - y_ч)\left|\frac{x - x_н}{x_н - x_ч}\right| = y_ч + (y_н - y_ч)\,\Lambda(x),$$

где $\Lambda(x)$ — относит. расстояние x от ближайшего $x_ч$, является заранее известной ф-цией и воспроизводится спец. нелинейным преобразователем, предусмотренным в интерполяторе. На его выходе получается $y = f(x)$ (рис. 1, *б*).

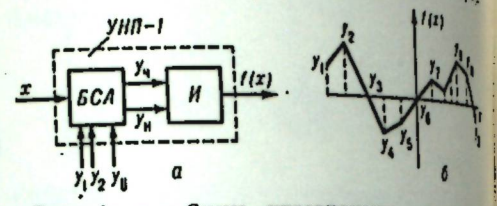


Рис. 1. *а* — Схема управляемого нелинейного преобразователя с одним входом; *б* — кусочно-линейная аппроксимация выходного сигнала

В УНП-2 ф-ция $f(x_1, x_2)$ может также воспроизводиться путем задания ее значения при фиксиров. значениях x_1 и x_2 и с аппроксимацией участками линейчатой поверхности между точками задания, а также путем представления ее в виде суммы произведений ф-ций одной переменной $f(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^{n} a_i \varphi_i(x_1)\psi_i(x_2)$.

Для УНП-2 с линейчатыми поверхностями изменение вида ф-ции производится изменением ординат точек излома, а в УНП-2 второго типа — изменением значений коэфф. a_i и вида ф-ций $\psi_i(x_2)$ и $\varphi_i(x_1)$.

Формирование $f(x_1, x_2)$ иллюстрирует рис. 2. На вход схемы подаются напряжения x_1 и x_2

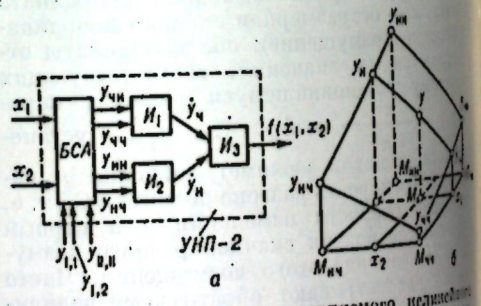
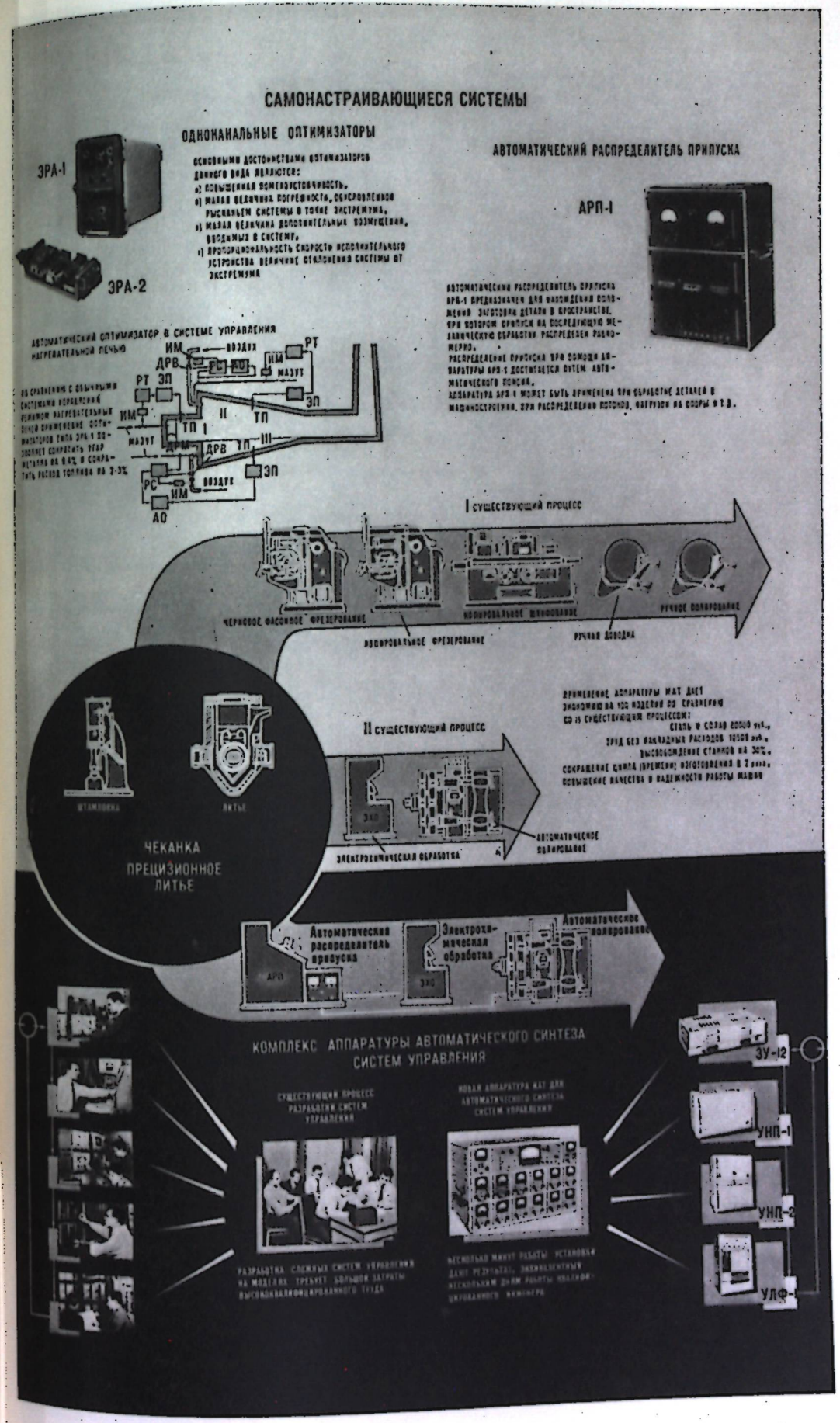


Рис. 2. *а* — Схема управляемого нелинейного преобразователя с двумя входами; *б* — аппроксимация выходного сигнала кусочно-линейной поверхностью.

Выходное напряжение $y = f(x_1, x_2)$ является кусочно-линейчатой поверхностью, вид к-рой определяется управляющими напряжениями $(y_{1,1}; y_{1,2}; \ldots; y_{1,11}; y_{2,1}; y_{2,2}; \ldots; y_{2,11}; \ldots; y_{11,1}; y_{11,2}; \ldots; y_{11,11})$. В УНП-2 входят БСА и три интерполятора $И_1$ и $И_2$ и $И_3$. БСА в зависимости от x_1 и x_2 выделяет из всех управляющих напряжений четыре соседних: $y_{чч}$, $y_{чн}$, $y_{нч}$ [буквы «ч» (четный) и «н» (нечетный) относятся соответственно к первой и второй цифрам индекса]. Интерполяторы $И_1$, $И_2$, $И_3$ функционируют аналогично $И$ в схеме УНП-1.

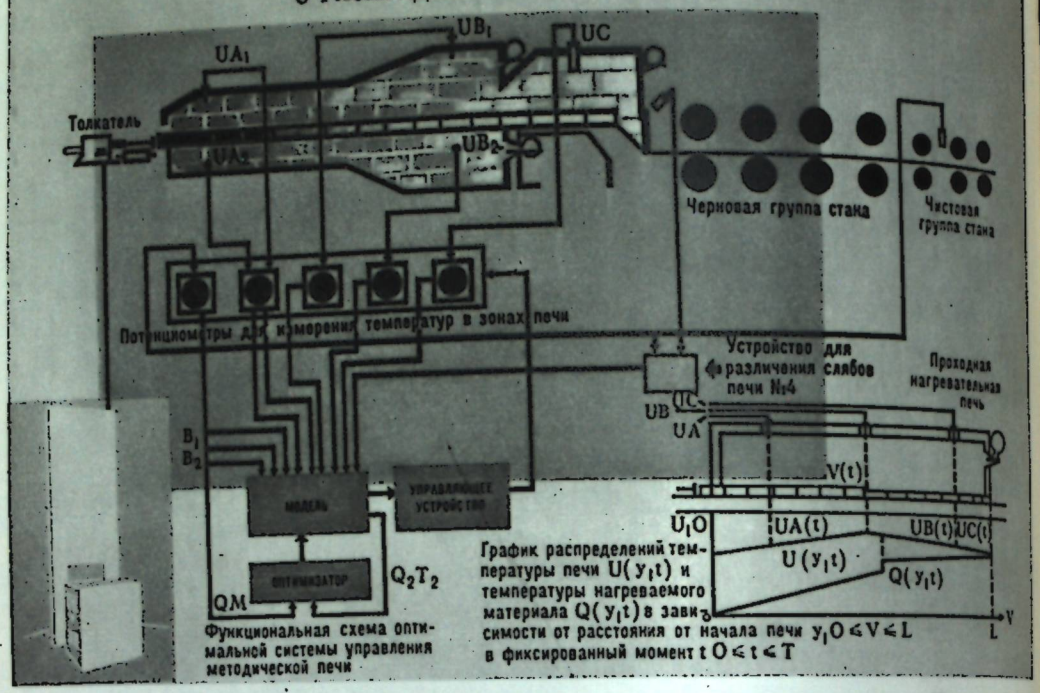
Для воспроизведения нек-рых типов нелинейностей удобно строить специализированные УНП (рис. 3).

Различают ЛУМ структурного типа и типа «управляемой свертки» (УС). Первые строятся из управляемых типовых звеньев, к-рые



Системы разработаны в Институте автоматики и телемеханики (технической кибернетики).

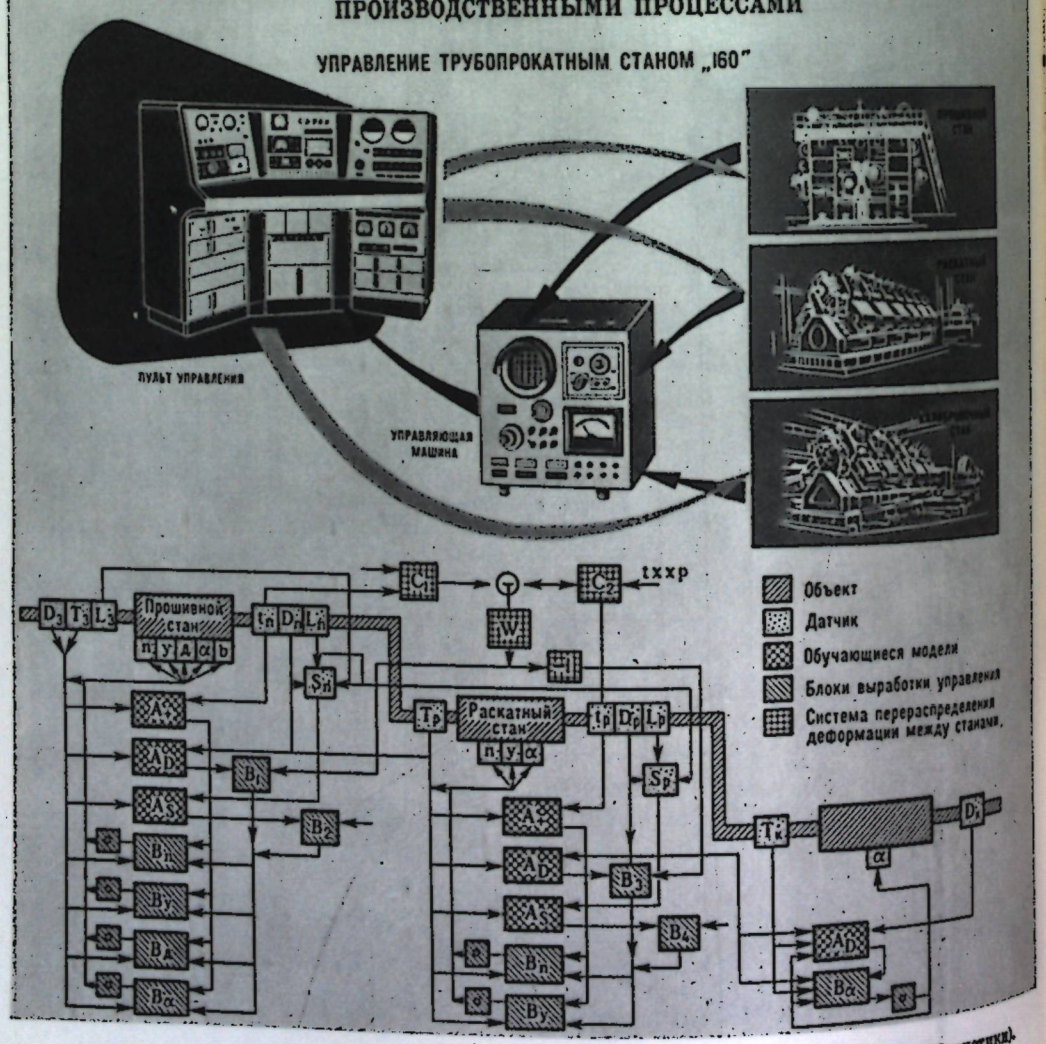
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ



Функциональная схема оптимальной системы управления методической печи

График распределений температуры печи $U(y_1t)$ и температуры нагреваемого материала $Q(y_1t)$ в зависимости от расстояния от начала печи $y_1 0 \leqslant V \leqslant L$ в фиксированный момент $t\ 0 \leqslant t \leqslant T$

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ И УПРАВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ



Системы разработаны в Институте автоматики и телемеханики (технической кибернетики).

сто реализуются с помощью операц. усилителей пост. тока и множит. звеньев.

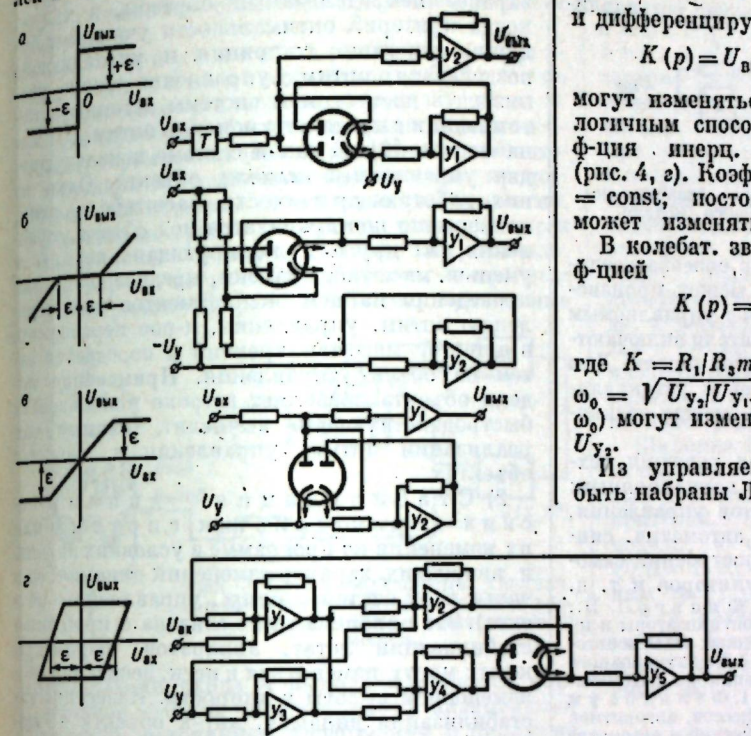


Рис. 3. Схемы специализир. управляемых нелинейных преобразователей (справа) и воспроизводимые ими зависимости (слева): *а* — сухое трение; *б* — зона нечувствительности; *в* — ограничение; *г* — люфт; (*Т* — триггер, *У* — усилитель, ε — изменяемый параметр).

На рис. 4. даны варианты схем линейных звеньев, параметры к-рых могут дистанционно изменяться под воздействием внешних управляющих напряжений U_y. В качестве усилит.

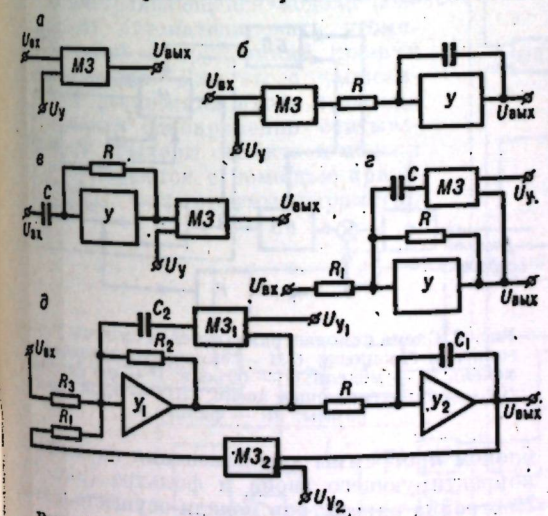


Рис. 4. Схемы линейных звеньев: *а* — усилит. звено; *б* — интегрирующее звено; *в* — дифференцирующее звено; *г* — инерционное звено; *д* — колебат. звено.

звена, коэфф. усиления к-рого $K = U_{вых}/U_{вх} = mU_y$ изменяется под воздействием U_y, может быть использовано множительное звено *МЗ* (рис. 4, *а*). При помощи *МЗ* могут быть построены интегрирующие (рис. 4, *б*) и дифференцирующие (рис. 4, *в*) звенья с изменяемыми коэфф. Передаточные ф-ции интегрирующего звена

$$K(p) = U_{вых}(p)/U_{вх}(p) = mU_y/RCp$$

и дифференцирующего звена

$$K(p) = U_{вых}(p)/U_{вх}(p) = mU_yRCp$$

могут изменяться под воздействием U_y. Аналогичным способом изменяется передаточная ф-ция инерц. звена $K(p) = -K/(1 + pT)$ (рис. 4, *г*). Коэфф. усиления звена $K = R/R_1 = \text{const}$; постоянная времени $T = RCmU_y$ может изменяться под воздействием U_y.

В колебат. звене (рис. 4, *д*) с передаточной ф-цией

$$K(p) = K\Big/\Big(1 + 2\frac{d_0}{\omega_0}p + \frac{p^2}{\omega^2}\Big),$$

где $K = R_1/R_3mU_{y_2}$; $2d_0/\omega_0 = R_1RC_1/R_2mU_{y_2}$; $\omega_0 = \sqrt{U_{y_2}/U_{y_1}R_1C_2RC_1}$, параметры ($K$, d_0, ω_0) могут изменяться под воздействием U_{y_1} и U_{y_2}.

Из управляемых типовых звеньев могут быть набраны ЛУМ структурного типа любой сложности. Достоинства ЛУМ структурного типа — в наглядности и в простоте получения математич. описания, но они имеют недостаточную универсальность: для различных систем требуются различные ЛУМ.

ЛУМ типа УС представляет собой устройство для вычисления интеграла: $y(t) = \int_{-\infty}^{t} x(t-\tau)N(\tau)d\tau$, где $x(t)$ и $y(t)$ — входной и выходной сигналы модели, а $N(\tau)$ — импульсная переходная ф-ция объекта. ЛУМ типа УС бывают аналоговые (с интерполяцией и без нее) и дискретные. Нек-рые ЛУМ типа УС строятся на линиях задержки. УС аналогового типа может быть построен с помощью двух УНП, интегратора, запоминающего и множит. устройств. На одном УНП набирается запомненное в ЗУ $x(t)$ за прошедший интервал времени, а на другом — $N(\tau)$. Вычисление интеграла произведения осуществляется *МЗ* и интегратором. Значения указанного интеграла принципиально могут быть получены только для дискретных моментов времени. При необходимости применяют интерполяцию, напр. линейную.

УС дискретного типа — по существу специализированная ЦВМ. В УС с использованием линии задержки указанный интеграл заменяется суммой: $y(t) = \sum_{k=0}^{n} x(t-\Delta t \cdot k)\alpha_k$, где $\alpha_k = N(k \cdot \Delta t)$. Изменение α_k, получаемое с помощью *МЗ*, приводит к изменению передаточной ф-ции ЛУМ. Достоинство ЛУМ типа УС — универсальность: одно устройство может моделировать разнообразные системы; недостаток — сложность и неустранимые погрешности.

Установка нач. значений переменных в электронных МУ непрерывного действия достигается изменением напряжений на конденсаторах интегрирующих звеньев перед их пуском. Дистанц. изменение нач. значений переменной под воздействием управляющего напряжения U_y удобно производить при помощи дополнит. суммирующего усилителя 2

(рис. 5). В этом случае в момент задания нового нач. значения переменной напряжение на конденсаторе C интегратора *1* следует устанавли-

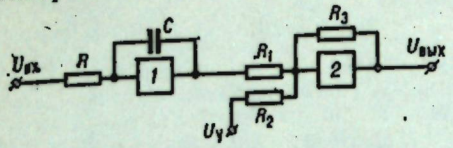


Рис. 5. Схема задания начального значения переменных в самонастраивающейся модели.

вать равным нулю. Изменение способа соединения звеньев между собой может производиться при помощи усилителя с управляемым коэфф. усиления K. Такие усилители включаются между звеньями управляемой модели. Для соединения звеньев между собой устанавливают $K = 1$, при $K = 0$ связь между звеньями разрывается.

УМ могут применяться для решения технич. задач, сводящихся к вариационным: для определения хар-к объектов управления, построения оптим. фильтров, автоматич. синтеза систем управления, для построения самообучающихся автоматич. регуляторов и т. д.

Лит.: 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; Фельдбаум А. А., Автоматический синтез процессов, алгоритмов и систем, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 4; Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения. III, «АиТ», 1961, т. 22, № 8.

К. Б. Норжин, Л. Н. Фицнер.

САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА (linear plants self-adjusting model; simulateur autorègleur de systèmes commandés linéaires; selbstabstimmendes Modell von linearen Strecken). Схема самонастраивающейся модели дана на рис. 1 [1]. Параметры MB $y_1, \ldots, y_n$ подбираются (напр., с помощью AO) такими, чтобы величина

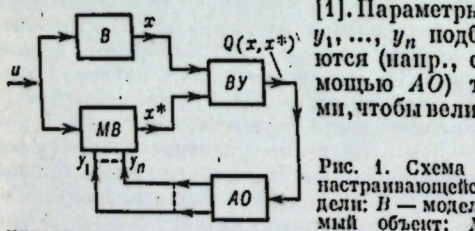


Рис. 1. Схема самонастраивающейся модели: B — моделируемый объект; MB — управляемая модель; AO — автоматич. оптимизатор; $BУ$ — вычислит. устройство, формирующее величину рассогласования Q; u — вход объекта и модели; x, x^* — выходы объекта и модели (соответственно).

критерия Q рассогласования была минимальной. Можно указать 4 проблемы техники автоматич. управления, решение к-рых связано с применением управляемой (подстраиваемой) модели [8].

1) Реализация оптимального управления. Имеется возможность теоретически найти оптим. управление для очень широкого класса управляемых объектов и критериев оптимальности. Однако при практич. реализации непрерывного оптим. управления объектом приходится все время измерять его динамич. состояние. Трудностей, связанных с измерением производных высшего порядка выходной координаты, удается избежать при применении самонастраивающейся модели. Управляемая модель, непрерывно подстраиваемая под объект, может служить датчиком его динамич. состояния. Когда динамич. хар-ки объекта управления изменяются заранее непредвиденным образом, а также, когда критерий оптимальности учитывает будущие динамич. состояния и управляющие воздействия, оптим. управление можно реализовать построением системы автоматич. оптимизации с предварит. поиском оптим. решения на модели [2]. В такой системе используются две управляемые модели объекта. Одна из них, работающая в естеств. масштабе времени, непрерывно подстраивается под объект управления, а другая, копирующая первую в уменьш. масштабе времени, предназначена для проведения на ней экспериментов по определению оптим. управления, к-рое переводится в естеств. масштаб времени и передается затем на объект управления. Применение модели объекта позволяет широко использовать быстродействующую вычислит. технику для реализации оптим. управления в сложных объектах.

2) Стабилизация динамических характеристик системы или их изменения по программе в условиях значит. и непредвид. заранее изменений динамич. св-в части этой системы (напр., управляемого объекта). Эта проблема тесно связана с проблемой стабилизации летат. аппаратов, параметры к-рых могут изменяться в неск. десятков раз с изменением высоты и скорости. Известно, что стабилизация динамич. хар-к объекта не может быть осуществлена с помощью глубокой отрицат. обратной связи, если добротность стабилизируемого контура резко падает в процессе работы. Для таких объектов может быть применена самонастраивающаяся система Марголиса и Леондеса [3], в к-рой используется управляемая модель, непрерывно подстраиваемая под объект. При этом значения текущих параметров модели учитываются

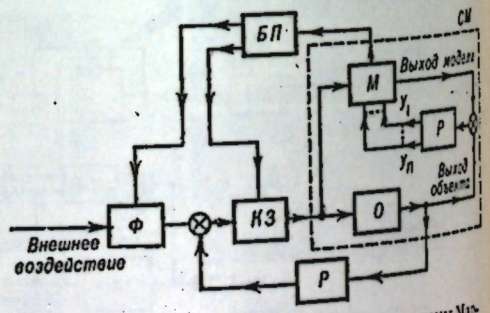


Рис. 2. Схема самонастраивающейся системы Марголиса и Леондеса: $СМ$ — самонастраивающаяся модель; M — модель; O — объект; P — регулятор; $КЗ$ — корректирующее звено; $БП$ — блок программы; $Ф$ — фильтр.

блоком программы для изменения параметров корректирующего звена и фильтра (рис. 2). Настройка параметров модели осуществляется согласно ур-нию

$$\frac{da_j}{dt} = -k_j \frac{\partial f(\varepsilon)}{\partial a_j},$$

где $\varepsilon = x - x^*$ — рассогласование выходных координат объекта и модели; $f(\varepsilon) = (\varepsilon + q\dot{\varepsilon} + r\ddot{\varepsilon} + \ldots)^2$ — критерий рассогласования объекта и модели; a_j — регулируемые параметры модели; k_j — нек-рые коэфф.

Для этих же целей может быть применена самонастраивающаяся система Вейганда и Пюри [4], в к-рой также используется управляемая модель, непрерывно подстраиваемая под объект. При этом динамич. хар-ки модели являются обратными динамич. хар-кам объекта.

3) Аппроксимация динамических характеристик объекта по его известным реализациям входа и выхода — часть общей проблемы изучения объектов — имеет огромное значение для комплексной автоматизации в управлении производств. процессами. Для создания высококачеств. автоматич. управления требуется знание динамич. хар-к управляемого объекта, причем, как правило, эти хар-ки могут быть получены в процессе его нормальной работы. Т. о., записанные

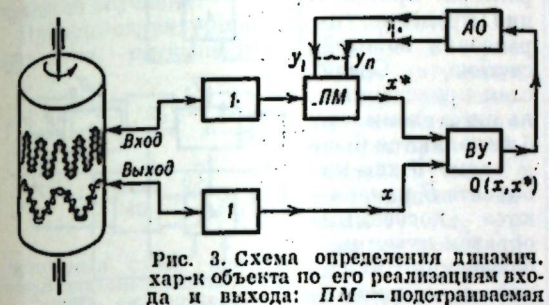


Рис. 3. Схема определения динамич. хар-к объекта по его реализациям входа и выхода: $ПМ$ — подстраиваемая модель.

реализации входа и выхода в процессе нормальной работы объекта часто оказываются единств. источником информации о динамике объекта.

Гудмен и Ресуик [5] предложили для аппроксимации динамич. хар-к объекта по его известным реализациям входа и выхода использовать управляемую модель, причем настройка регулируемых параметров модели осуществляется вручную. Применение же самонастраивающейся модели позволит автоматизировать утомительный и трудоемкий процесс настройки. Для этого записанные реализации входа и выхода объекта одновременно считываются. Выходы объекта и модели сравниваются с помощью критерия Q. Регулируемые параметры модели $y_1, \ldots, y_n$ подбираются такими, чтобы минимизировать величину критерия Q рассогласования (рис. 3).

4) Определение параметров оптимального фильтра и экстраполятора по известным реализациям полезного сигнала и полезного сигнала, аддитивно смешанного с шумом, типично для винеровского подхода к задачам оптим. управления и связи. Их теоретич. решение требует знания статистич. хар-к полезного сигнала и шума. Применение самонастраивающейся модели, предложенной Габором [6], позволяет непосредственно решить эту проблему. Если считать, что реализация полезного сигнала с шумом есть реализация входа, а реализация полезного сигнала, сдвинутая в сторону опережения по времени,— реализация выхода желаемого фильтра экстраполятора, то определение их параметров аналогично решению предыдущей проблемы.

Широкие перспективы имеют самонастраивающиеся модели с настройкой по фазовым хар-кам [7], в к-рых принимается не один критерий Q рассогласования объекта и модели, а совокупность частных критериев Q_i ($i = 1, 2, \ldots, n$), число к-рых выбирается равным числу регулируемых параметров модели.

Для случая, когда структуры объекта и модели аналогичны, выбранные частные критерии позволяют получить следующие зависимости:

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij} \Delta y_j \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \qquad (1)$$

где Δy_j — достаточно малые рассогласования параметров объекта и модели, так что членами

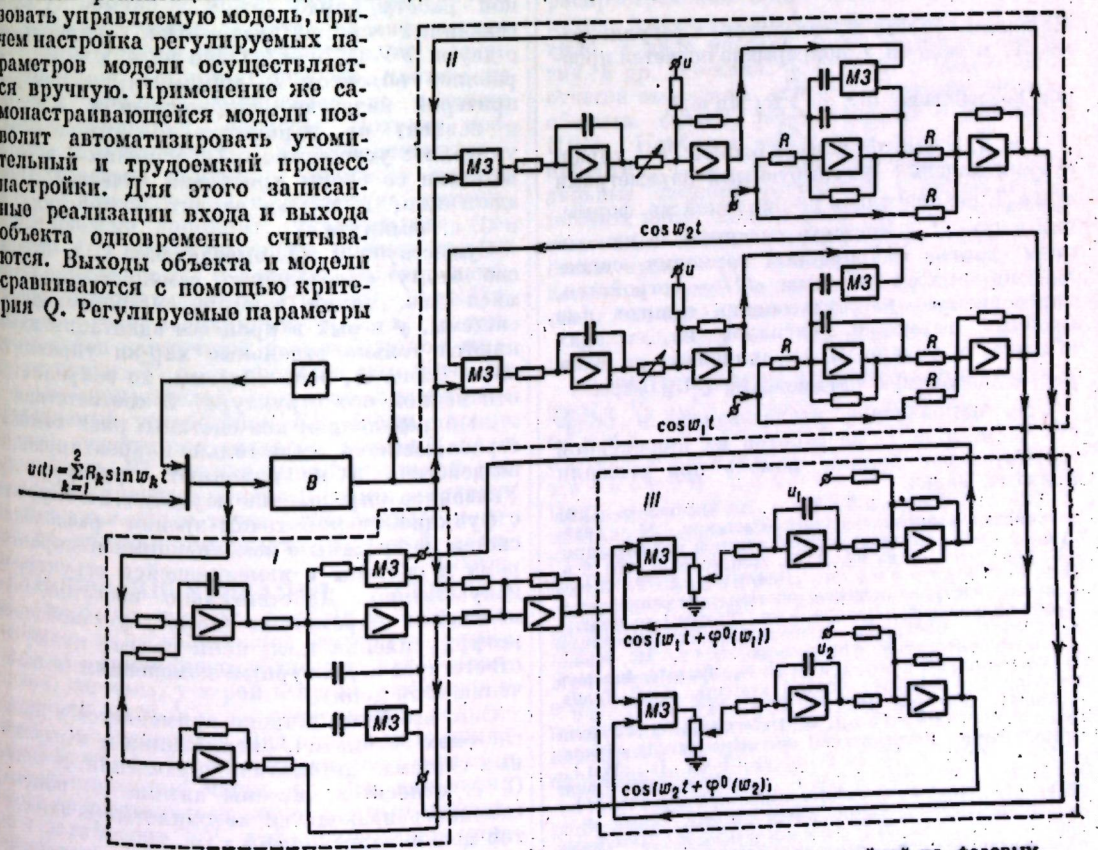


Рис. 4. Схема линейной самонастраивающейся модели 2-го порядка с настройкой по фазовым хар-кам ($R = 0{,}5$ *Мом*).

$(\Delta y_j)^2$ и членами высшего порядка можно пренебречь; λ_{ij} — нек-рые коэфф. Выражение (1) представляет собой систему линейных ур-ний относительно Δy_j ($j = 1, 2, \ldots, n$).

Для определения рассогласования параметров объекта и модели по измеренным значениям частных критериев Q_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) требуется, чтобы матрица $\|\lambda_{ij}\|$ коэфф. системы (1) линейных ур-ний была неособой. Изучение вопроса, когда матрица $\|\lambda_{ij}\|$ будет особой и когда — неособой, составляет предмет теоретич. исследования. Когда матрица неособая, то подстройка регулируемых параметров модели может осуществляться с помощью n-мерной системы регулирования. При этом ур-ние регулятора такой системы имеет вид:

$$\frac{dy_j}{dt} = k_j \sum_{i=1}^{n} \lambda^*_{ji} Q_i \quad (j = 1, 2, \ldots, n),$$

где y_j — значение регулируемых параметров модели, λ^*_{ji} — соответствующие коэфф. обратной матрицы $\|\lambda_{ij}\|^{-1}$; k_j — нек-рые коэфф.

Выбранные частные критерии $Q_i = \varphi_0(\omega_i) - \varphi_м(\omega_i)$, где $\varphi_0(\omega_i)$, $\varphi_м(\omega_i)$ — фазовые хар-ки соответственно объекта и модели, и корреляц. методы их измерения делают самонастраивающуюся модель помехоустойчивой. На рис. 4 изображен один из возможных вариантов С. м. л. о. 2-го порядка с настройкой по фазовым хар-кам.

Объект описывается следующим выражением:

$$W_2^0(p) = \frac{1}{a_2^0 p^2 + a_1^0 p + 1}. \quad (2)$$

На входы объекта B, связанного с регуляторами A, и модели I непрерывно подается пробное воздействие $u(t) = \sum_{k=1}^{2} R_k \sin \omega_k t$.

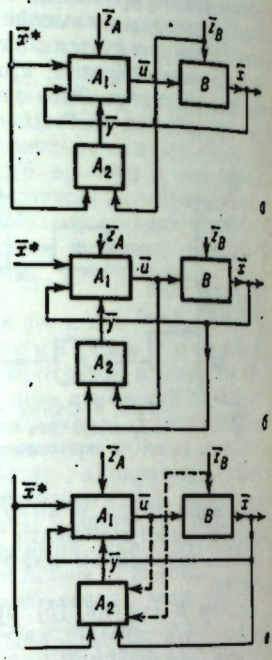
С. м. л. о. состоит из трех блоков: I — управляемая модель с регулируемыми параметрами $a_2^м$ и $a_1^м$, реализующая ур-ние такой же формы, как и (2); II — системы, следящие за изменением сдвигов фаз пробных гармоних. сигналов на выходе объекта; III — устройство, определяющее рассогласование сдвигов фаз пробных гармоних. сигналов на выходах объекта и модели и управляющее по этим рассогласованиям параметрами $a_2^м$ и $a_1^м$.

Осн. направление исследований в области С. м. л. о. — разработка их инженерной теории, к-рая должна помочь при решении практич. задач.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 2) его же, Системы автоматической оптимизации, «Ж. Всес. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева», 1961, т. 6, № 5; 3) Марголис М., Леондес С. Т., О теории самонастраивающейся системы регулирования. Метод обучающейся модели, в кн.: Труды 1-го Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, т. 2, М., 1960; 4) Weygandt C. N., Purl N. N., Transfer-function tracking and adaptive control systems, «IRE Trans. Automat. Control», 1961, v. AC-6, №2; 5) Goodman T. P., Reswick J. B., Determination of system characteristics from normal operating records, «Trans. ASME», 1956, v. 78, № 2; 6) Gabor D., Wilby W. P. L., Woodcock R., A universal non-linear filter, predictor and simulator which optimizes itself by a learning process, «Proc. Instn Electr. Engrs. B.», 1961, v. 108, № 40; 7) Осовский Л. М., Линейные самонастраивающиеся модели с настройкой по фазовым характеристикам, «АиТ», 1963, т. 24, № 2; 8) его же, Самонастраивающиеся модели. (Обзор), «ИАН СССР. ОТН. Техническая кибернетика», 1963, № 1.

Л. М. Осовский.

САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА (self-adjusting system; système auto-règleur; selbstabstimmendes System) — разновидность *самоприспосабливающейся системы*, у к-рой цепь адаптации сама является замкнутой системой, т. е. представляет собой САР или систему автоматич. поиска. При этом корректирующее воздействие $\bar{y}$, изменяющее характер функционирования управляющей части A_1, зависит от характера протекания процесса управления во всей системе. Среди схем, приведенных на рис., схемы *а* и *б* не являются С. с. В схеме *б* хар-ки объекта B измеряются косвенным образом путем наблюдения его входной и выходной величин $\bar{u}$ и $\bar{x}$. Схема *в* — пример С. с. (связи, обозначенные пунктиром, могут отсутствовать). Таким обр., С. с. является примером совместной работы двух связанных систем автоматич. управления с двумя УУ A_1 и A_2. Одно из них — A_1, управляет объектом B, минимизируя нек-рый критерий качества, заложенный в УУ A_1, и зависит от параметра $\bar{y}$; второе — A_2, управляет устройством A_1, изменяя $\bar{y}$ в соответствии со своим критерием качества. Цель адаптации, в к-рую входит воздействие $\bar{y}$, в С. с. замкнута.



Существует и др. определение С. с. Согласно этому определению самонастраивающимися наз. такие самоприспосабливающиеся системы, у к-рых в процессе адаптации изменяются только отдельные хар-ки управляющего блока A_1 осн. системы, но сохраняется неизменной его структура. В соответствии с этим определением все системы рис. самонастраивающиеся, если только корректирующие воздействия $\bar{y}$ не изменяют структуру A_1. Указанное определение неудобно потому, что с функциональной точки зрения разделение систем на системы с изменяющимися параметрами и системы с изменяющейся структурой искусственно. Действительно известно, что изменение параметров (напр., установление коэфф. усиления к.-л. цепи равным нулю) соответствует структурным изменениям (выключению этой цепи).

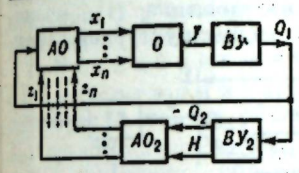
С. с. все более широко применяется в пром. системах автоматич. оптимизации и в различных системах автоматич. управления. К числу С. с. относятся системы автоматич. поиска, самонастраивающиеся автопилоты (с замкнутой цепью адаптации) и т. п.

Лит. см. при ст. *Самоприспосабливающаяся система.*

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

САМООБУЧАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА автоматической оптимизации (selfteaching system of automatic optimization; système d'optimalisation automatique à autoapprentissage; lernendes System der automatischen Optimisierung) — система, в к-рой оптим. режим работы управляемого объекта определяется при помощи УУ, алгоритм к-рого автоматически целенаправленно совершенствуется в процессе обучения путем автоматич. поиска при помощи второго УУ, являющегося органич. частью этой системы. Таким обр., С. с. автоматич. оптимизации приобретает алгоритм, успешный в к.-л. определ. смысле и не вложенный в нее конструктором ни до процесса обучения, ни в самом процессе обучения.

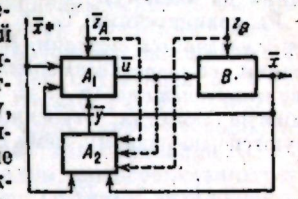
Пример структурной схемы простой С. с. автоматич. оптимизации показан на рис. Путем автоматич. поиска при помощи автоматич. оптимизатора AO_1, воздействующего на входные величины $x_1 \ldots x_n$ управляемого объекта O, находится и поддерживается оптимальный режим его работы. Выходная величина объекта y подается на $BУ_1$, к-рое вычисляет величину Q_1, представляющую собой критерий оптимизации (стоимость единицы продукции, кпд установки и т. п.). Эта величина оптимизируется при помощи AO_1. Наилучший в к.-л. смысле алгоритм поиска оптим. значений Q_1 обычно не может быть задан заранее как из-за отсутствия достаточной информации об объекте O, так и вследствие того, что хар-ки и параметры O, влияющие на протекание процесса поиска, изменяются во времени заранее непредвид. образом. Поэтому возникает необходимость в совершенствовании алгоритма поиска в процессе работы системы, для чего в С. с. автоматич. оптимизации введено дополнит. управляющее устройство AO_2, анализирующее процесс поиска оптим. значения Q_1 и целенаправленно изменяющее алгоритм устройства AO_1 воздействием на него величинами $z_1, \ldots, z_n$ с тем, чтобы найти наилучший в определенном смысле алгоритм. Т. о., в процессе самообучения к.-л. из показателей процесса поиска Q_2, вычисляемый устройством $BУ_2$ (напр., время поиска), улучшается согласно заданной цели управления. $BУ_2$ может вычислять также др. показатель процесса поиска H (напр., амплитуды рысканья около точки экстремума), который не должен превышать заданной величины.



Структурная схема простой самообучающейся системы автоматич. оптимизации.

Л. И. Фицнер.

САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ СИСТЕМА (self-organizing system; système à auto-organisation; selbstablaufendes System) — разновидность самоприспосабливающейся (адаптивной) системы, у к-рой в процессе функционирования часть УУ A_1 подвергается непредвиденным изменениям. Под влиянием внешних воздействий $\bar{z}_A$ (рис.) изменяется характер функционирования части A_1. Эти изменения могут осуществляться либо прямым изменением параметров УУ, либо изменением (повреждением) его структуры. Очевидно, что приведенное определение предполагает сохранение у системы способности правильно функционировать, минимизируя нек-рый критерий качества. Так как в С. с. (особенно биологич. природы) элементы управляющей части и объекта управления, воздействующего на среду, обычно тесно переплетаются, то часто не подчеркивают фактич. изменения одного УУ под влиянием внешних воздействий, а под С. с. понимают такую *самоприспосабливающуюся систему*, к-рая способна сохранять работоспособность под влиянием достаточно больших внешних воздействий, изменяющих характер ее функционирования или структуру. Формально неточная хар-ка возмущающих воздействий, как достаточно больших, имеет существ. значение, т. к. при малых воздействиях, неспособных, напр., изменить структуру системы, определенное подобным образом понятие самоорганизации по существу совпадает с понятием устойчивости.



Часто под влиянием внешних воздействий изменяется не только способ функционирования системы, но и критерий ее качества. Если при этом параметры системы не выходят за пределы области ее существования, т. е. система не разрушается, а только изменяет область устойчивых значений параметров, такую систему можно тоже относить к самоорганизующимся. Строгой теории С. с. пока не существует.

С. с. не получили еще достаточно широкого распространения среди технич. систем автоматич. управления и используются, как правило, в виде моделей более сложных биологич. и др. нетехнич. С. с. К С. с. может быть отнесен *гомеостат*, а также нек-рые модели обществ. систем, реализованные с помощью ЦВМ. Наиболее обширный класс С. с. — биологич. С. с. К ним относятся как отдельные системы регуляций в живых организмах, напр. система регулирования темп-ры тела или система регулирования химич. состава крови, так и живые организмы, как целое, а также сложные биологич. системы, такие, как стая, популяция, вид и т. п.

Лит. см. при ст. *Самоприспосабливающаяся система.*

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

САМОПРИСПОСАБЛИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА (адаптивная система, система автоматического приспособления, система автоматической адаптации) [self-adapting, goal-seeking system; système auto-adaptatif (à auto-adaptation); selbstanpassendes System)] — система автоматич. управления (кибернетич. система), у к-рой автоматически изменяется способ функционирования (алгоритм) управляющей части с целью осуществления в к.-л. смысле наилучшего управления. При этом хар-ки управляемого объекта или воздействия внешней среды могут изменяться непредвиденным образом, следовательно, и изменение алгоритма УУ также происходит непредвиденным путем.

Понятие адаптации в теории управления тождественно соответствующему понятию в биологии, означающему приспособление организма (аналог управляющего устройства) к

новой для него или изменяющейся среде (аналог управляемого объекта и внешних воздействий на систему).

Разновидностями С. с. являются *самонастраивающиеся системы*, *самообучающиеся системы*, *самоорганизующиеся системы*, *экстремальные системы*, и т. п. системы. В лит-ре многие понятия, относящиеся к С. с., трактуются по-разному, чему способствует также отсутствие резко очерченных границ между различными типами таких систем.

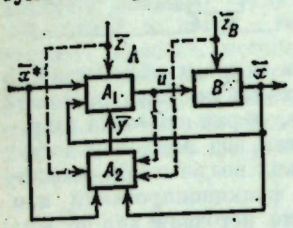


Рис. 1. Структурная схема самоприспосабливающейся системы.

Структурная схема С. с. (рис. 1) может быть представлена в виде совокупности трех связанных блоков A_1, A_2 и B. Выходная величина $\bar{x}$ объекта управления B воздействует на окружающую среду, а также по цепи *обратной связи* поступает на входы УУ, расчлененного на две части A_1 и A_2. На вход системы, кроме сигналов обратной связи, поступает задающее воздействие $\bar{x}^*$, представляющее собой часть информации, воспринимаемой системой из внешней среды и содержащей сведения о цели управления, в частности о требуемом значении управляемой величины $\bar{x}$. На систему действуют также возмущающие воздействия или помехи $\bar{z}_A$ и $\bar{z}_B$, заранее, как правило, неизвестные, к-рые действуют, вообще говоря, на УУ и на управляемый объект. Величины $\bar{x}^*$, $\bar{x}$, $\bar{z}_A$, $\bar{z}_B$, $\bar{u}$ могут быть в общем случае векторами, т. е. содержать неск. составляющих. Вектор $\bar{x}$, напр., может быть совокупностью величин $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$.

Изображенная на рис. 1 структура С. с. отличается от типовой структуры системы автоматич. управления тем, что УУ расчленено на две части. Часть A_1 выполняет осн. ф-ции управления, вырабатывая управляющее воздействие $\bar{u}$, поступающее на управляемый объект B. Способ функционирования A_1 может изменяться целенаправленно с помощью воздействия $\bar{y}$, поступающего на A_1 от дополнит. части — блока адаптации A_2. Для выработки воздействия $\bar{y}$, осуществляющего управление функционированием части A_1, блок адаптации A_2 получает в общем случае информацию о всех величинах, имеющихся в осн. части системы $\bar{x}^*$, $\bar{x}$, $\bar{u}$, а иногда и результаты непосредств. измерения всех или части помех $\bar{z}_A$ и $\bar{z}_B$. Хотя A_1 и A_2 не всегда являются отдельными самостоят. блоками, а могут, напр., быть отдельными частями общей программы работы единого УУ, во всех случаях можно представить схему адаптивной системы так, как изображено на рис. 1.

Следует подчеркнуть существенно различные задачи блоков A_1 и A_2. В то время как A_1 обеспечивает обычную работу системы, A_2 улучшает работу этой системы либо ликвидирует нарушения ее нормальной работы. При этом в зависимости от используемых способов управления часть A_1 УУ может либо содержать, либо не содержать элементы памяти. Часть A_2 в с е г д а содержит память, т. к. для суждения о работе системы необходимо наблюдать ее функционирование в течение нек-рого времени и запомнить результаты этого наблюдения. Отсюда, в частности, следует, что A_2 функционирует, как правило, в более медленном темпе, чем A_1. В тех случаях, когда это не наблюдается, деление УУ на части A_1 и A_2 представляется искусственным, и относить подобные системы к классу С. с. не имеет смысла. Так, напр., УУ оптимальной по быстродействию системы для одного из простейших типов объектов (см. *Синтез оптимальных систем*) работает в соответствии с соотношением:

$$u = U \operatorname{sign} \psi = U \operatorname{sign}\left[x + a\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \operatorname{sign}\frac{dx}{dt}\right], \quad (1)$$

где U и a — константы, а x — погрешность. УУ, реализующее соотношение (1), может быть представлено в виде структурной схемы

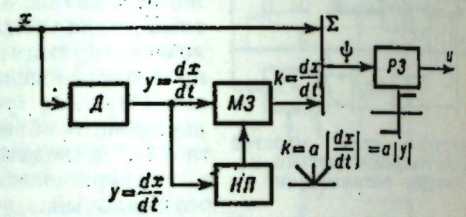


Рис. 2. Структурная схема УУ, оптимального по быстродействию.

рис. 2. Соотношение (1) может быть переписано следующим образом:

$$u = U \operatorname{sign}\left[x + k\frac{dx}{dt}\right], \quad (2)$$

где

$$k = a\left|\frac{dx}{dt}\right|. \quad (3)$$

Поэтому можно было бы рассматривать нелинейный преобразователь $НП$, реализующий соотношение (3), как «дополнительное» устройство A_2, воздействующее на «основную» часть УУ, содержащего блоки $Д$, $МЗ$, Σ и $РЗ$. Однако данную систему нельзя считать адаптивной, т. к. обе части работают в одном темпе, осуществляя осн. процесс управления. На вход устройства A_2 в этом примере поступает не хар-ка работы системы в целом, а лишь текущее значение величины $\frac{dx}{dt}$.

Классификация С. с. Первая линия классификации делит С. с. по их поведению в целом. Поведение системы как единого целого рассматривается извне с точки зрения того, что делает эта система, каковы внешние проявления процесса адаптации. Целью управления является поддержание миним. значения нек-рого критерия качества или критерия оптимальности Q (см. *Оптимального управления критерий*), обычно представляющего собой функционал $Q(\bar{x}_1, \bar{x}^*, \bar{u})$, зависящий от характера процессов $\bar{x}^*(t)$, $\bar{x}(t)$ и $\bar{u}(t)$.

Можно различить три вида поведения системы, как целого (рис. 3).

1) П е р е х о д н ы е п р о ц е с с ы а д а п т а ц и и. Типичный пример их — случай изменения хар-к объекта B (т. е. фактическое отсутствие воздействия $\bar{z}_B$) и отсутствия помехи $\bar{z}_A$. Пусть в нач. периоде значение Q еще не совпадает с его оптимальным (минимальным, либо экстремальным, либо лежащим в допустимой области) значением. В ходе процесса адаптации алгоритм УУ A целенаправленно

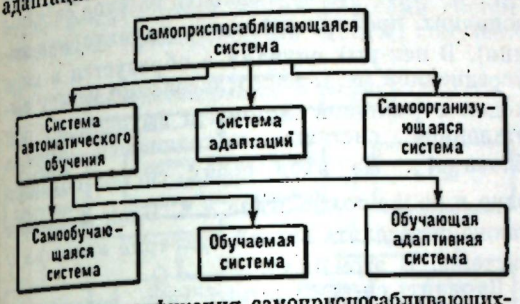


Рис. 3. Классификация самоприспосабливающихся систем по поведению в целом.

изменяется, осуществляя постепенное улучшение работы системы, т. е. приближение критерия Q к оптим. значению. С. с. этого типа наз. системами автоматич. обучения.

2) У с т а н о в и в ш и е с я п р о ц е с с ы а д а п т а ц и и. Пусть помеха $\bar{z}_A$ отсутствует, а хар-ки объекта B (или помехи $\bar{z}_B$) сравнительно медленно изменяются заранее непредвид. образом. Пусть алгоритм УУ A также целенаправленно изменяется с тем, чтобы удержать критерий оптимальности Q в допустимой области (напр., не допускать значит. отклонений от его экстрем. значения $Q_{экстр}$). Такие системы наз. системами стабилизирующей адаптации или системами автоматич. гомеостазиса.

3) П р о ц е с с ы а д а п т а ц и и п р и н е п р е д в и д е н н ы х и з м е н е н и я х в УУ. Задача устройств этого типа — сделать систему работоспособной или автоматически восстанавливающей свою работоспособность при повреждениях, разрушениях, выходах из строя или, вообще, при непредвид. нарушении работы нек-рой части УУ A. При этом помеха $\bar{z}_A$ отлична от нуля. Такие системы иногда называют самоорганизующимися. Восстановление работоспособности понимается как удержание критерия качества Q в допустимых границах или постепенное улучшение значений Q до тех пор, пока оно не войдет в допустимые границы.

Указанные три типа С. с., в свою очередь, могут быть разбиты на подтипы. Так, наиболее обширный тип систем автоматич. обучения можно разбить на три группы (рис. 3): самообучающиеся системы, обучаемые системы, обучающие адаптивные системы.

Самообучающимися наз. такие С. с., в к-рых способ функционирования (алгоритм) совершенствуется автоматически, по мере накопления опыта управления в самой системе. При этом в окружающей среде не выделяется обучающее устройство («учитель») для проведения инструктажа извне.

Обучаемыми системами наз. такие, для нормального функционирования к-рых требуется обучающее воздействие извне, осуществляемое либо человеком-оператором, либо автоматом, не относящимся к рассматриваемой системе. К числу таких обучаемых С. с. принадлежат, напр., автоматы, обучаемые *распознаванию образов* (см. *Обучаемая машина*, *Узнающая машина*).

Обучающими системами наз. такие С. с., к-рые используются для обучения человека или автомата (см. *Обучающая машина*). Но все обучающие устройства являются С. с. Так, обучающие таблицы, выдающие сигнал при правильном ответе на вопрос, не являются С. с., т. к. их функционирование неизменно и не зависит от поведения обучаемого. Следует также указать, что обучаемая система вместе с «учителем», также как обучающая система вместе с «учеником», образуют более сложную С. с., относящуюся к числу самообучающихся.

Линии «внутренней» классификации С. с. связаны с вопросом о том, как осуществляются процессы адаптации. Отметим возможность построения иерархии С. с. (рис. 4). Так, схема рис. 1 может быть обобщена на те случаи, когда адаптация осуществляется параллельно на различных уровнях. На рис. 4, напр., УУ содержит три части A_1, A_2 и A_3. A_1 осуществляет обычный процесс управления; A_2, наблюдая поведение системы, изменяет алгоритм управляющей части A_1; часть A_3, наблюдая поведение системы, содержащий блок адаптации A_2, воздействует на последний, целесообразно изменяя его алгоритм так, чтобы процессы адаптации в нек-ром смысле улучшались или приближались к оптимальным. В рассмотренном примере можно говорить не только о критерии оптимального управления, в соответствии с к-рым функционирует A_2, но и о критерии оптимальной адаптации, к-рый дает возможность части A_3 целенаправленно воздействовать на A_2, осуществляя адаптацию на более высоком уровне.

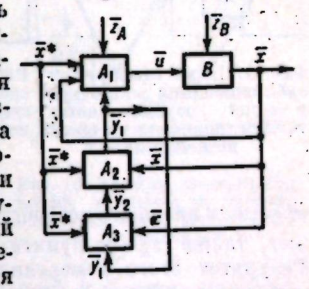


Рис. 4. Структурная схема самоприспосабливающейся системы с иерархией.

Возможна и трехступенчатая система, содержащая блок адаптации A_4, осуществляющий приспособление на еще более высоком уровне, и т. д. Среди технич. С. с. весьма редко встречаются системы даже с двумя уровнями адаптации. В то же время биологич. системы (живые организмы), обществ. системы (коллективы) и системы совместно работающих автоматов и живых организмов представляют собой примеры систем со сложной иерархией уровней адаптации. Ниже рассматриваются лишь наиболее простые системы, в к-рых имеется один уровень адаптации. Направления «внутренней» классификации таких систем связаны, в частности, со следующими факторами: 1) характер информации, поступающей на вход блока A_2, и хар-ки системы, изучаемые на основе этой информации; 2) способы воздействия части A_2 УУ на часть A_1 и характер изменения алгоритма части A_1; 3) характер процессов адаптации, реализуемых блоком A_2.

Рассмотрим на примере систем непрерывной адаптации первую линию этой классификации. В зависимости от характера информации, получаемой блоком адаптации, можно выделить три осн. класса: а) системы, в к-рых осуществляется прямое измерение внешних воздействий (рис. 5); б) системы, в к-рых определяются хар-ки управляемого объекта (рис. 6); в) системы, в к-рых определяются хар-ки всей системы или ее части, включающей управляемый объект и изменяемую часть УУ.

Существуют также и комбиниров. системы, совмещающие св-ва этих осн. классов, напр. системы, в к-рых производится измерение внешних воздействий и определение хар-к управляемого объекта.

На рис. 5 показана система с прямым из-

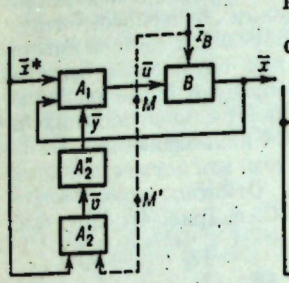


Рис. 5. Схема самоприспосабливающейся системы, в к-рой осуществляется прямое измерение внешних воздействий.

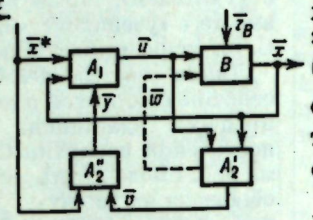


Рис. 6. Схема самоприспосабливающейся системы, в к-рой определяются хар-ки управляемого объекта.

мерением внешнего воздействия $\bar{x}^*$ и, быть может, также $\bar{z}_B$ (по пунктирной линии MM'). Результат этого измерения препровождается в блок A_2. Часть A_2' блока A_2 производит оценку этих воздействий — напр. отсеивание полезного сигнала от шумов, экстраполяцию и т. д. Результат в виде оценки текущего или будущих значений воздействий поступает по каналу $\bar{v}$ в др. часть A_2'' блока A_2. Блок A_2'' вычисляет воздействия $\bar{y}$, к-рые изменяют часть A_1 с целью нейтрализации или компенсации непредвид. изменений воздействий и обеспечения успешной работы системы. Здесь цепь адаптации, проходящая через A_2, разомкнута.

На рис. 6 дана система с определением хар-к управляемого объекта B. Входная величина $\bar{u}$ и выходная величина $\bar{x}$ последнего поступают в блок A_2', выходом к-рого служит найденная путем наблюдения $\bar{u}$ и $\bar{x}$ хар-ка $\bar{v}$ объекта B. Такой хар-кой может быть совокупность параметров ур-ний объекта либо коэфф. демпфирования, частота колебаний в переходном процессе, время реакции на импульс определ. формы и т. д. Иногда для определения хар-ки недостаточно иметь осн. управляющие воздействия $\bar{u}$, а требуются спец. дополнит. пробные сигналы $\bar{w}$, поступающие на объект B от блока A_2' (пунктирная линия). Выход $\bar{v}$

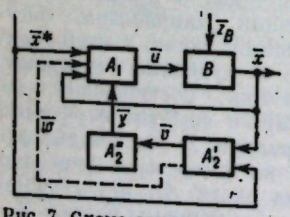


Рис. 7. Схема самоприспосабливающейся системы, в к-рой определяется хар-ка всей системы.

блока A_2' подается на следующий блок A_2'', в к-ром вычисляется воздействие $\bar{y}$, оказываемое на часть A_1. Цепь адаптации системы, приведённой на рис. 6, также разомкнута, т. к. воздействия $\bar{y}$ изменяют алгоритм блока A_1, но сами по себе не влияют на хар-ки $\bar{v}$ объекта B. Между тем, именно величина $\bar{v}$ поступает на вход части A_2''.

На рис. 7 дана система иного типа, в к-рой определяется хар-ка $\bar{v}$ всей системы в целом. Эта хар-ка образуется на выходе блока A_2'; на вход A_2' поступают входная $\bar{x}^*$ и выходная $\bar{x}$ величины системы. Иногда для получения хар-ки $\bar{v}$ необходимо подавать на вход системы дополнит. пробные сигналы $\bar{w}$ (пунктирная линия). В нек-рых случаях $\bar{v}$ образуется в виде усредненной меры рассогласования между выходом $\bar{x}$ реальной системы и выходом нек-рой эталонной системы, находящейся внутри блока A_2'. На вход обеих систем подается одно и то же воздействие $\bar{x}^*$. Блок A_2' может также определять общий критерий качества Q системы. В этом случае $\bar{v} = Q$.

Вариант системы этого типа показан на рис. 8. Здесь измеряется хар-ка участка системы, включающего объект B и часть A_1'' управляющего устройства A_1. Входная $\bar{s}$ и выходная $\bar{x}$ величины этого участка поступают на вход блока A_2'. Выходной величиной блока является характеристика $\bar{v}$ участка. Воздействие $\bar{y}$ изменяет алгоритм блока A_1'', входящего в состав данного участка.

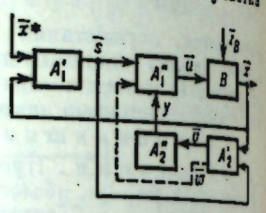


Рис. 8. Схема самоприспосабливающейся системы, в к-рой измеряется хар-ка части системы.

В схемах рис. 7 и 8 цепь адаптации замкнута, т. к. воздействие $\bar{y}$ изменяет хар-ку $\bar{v}$ системы или ее участка, измеряемую блоком A_2''. От гибкости и диапазона изменения блока A_1'' существенно зависят возможности обеспечения успешной работы всей системы в широком диапазоне изменения хар-к управляемого объекта B. В существующих техн. системах такого типа, как правило, изменяют лишь небольшое число параметров, напр. коэфф. усиления тракта, постоянную времени звена и т. п. Вообще говоря, можно изменять и структуру части A_1. Однако с принципиальной точки зрения можно свести любое изменение структуры к изменению достаточно большого числа параметров. Поэтому классификация по характеру изменения блока A_1 имеет в осн. практич. значение и важна для конкретных систем.

Принципиальное значение имеет классификация по характеру процессов адаптации, происходящих в цепи, охватывающей блок адаптации A_2 (рис. 9). Здесь можно выделить два осн. типа: системы жесткой адаптации и системы регулируемой адаптации (самонастраивающиеся). В системах жесткой адаптации, примеры к-рых даны на схемах рис. 5 и 6, характер зависимости управляющего воздействия $\bar{y}$ от внешних воздействий $\bar{x}^*$ и $\bar{z}_B$ (или эквивалентных последним хар-к управляемого объекта B) заранее жестко зафиксирован. Иными словами, в системах жесткой адаптации цепь адаптации разомкнута. В системах регулируемой адаптации (рис. 7 и 8) цепь адаптации замкнута. Возможны также и комбиниров. системы, в к-рых сочетаются методы жесткой адаптации и самонастройки. Самонастраивающиеся системы, в свою очередь, можно разделить на два класса: адаптивные САР и системы автоматич. поиска (САП).

В 1-м из этих классов процесс адаптации является процессом автоматич. регулирования, а во 2-м — процессом автоматич. поиска. Различие между этими двумя классами систем поясним на примере. Пусть часть A_2 получает

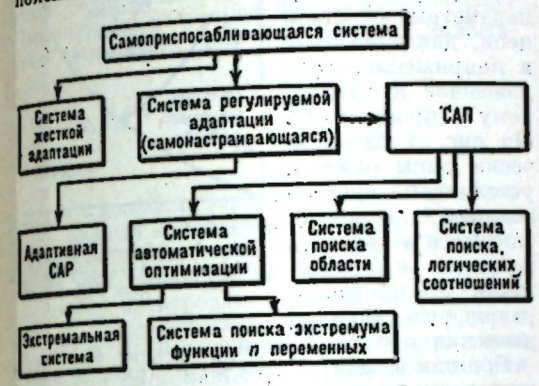


Рис. 9. Классификация самоприспосабливающихся систем по процессам адаптации.

информацию лишь о погрешности ε, т. е. о разности между задающим воздействием x^* и управляемой величиной x (выходом) объекта

$$\varepsilon = x^* - x. \qquad (4)$$

В свою очередь, часть A_2 воздействует на величину k — коэфф. усиления блока, входящего в состав A_1. В системе происходят переходные процессы $\varepsilon(t)$. Пусть внутри части A_2 имеется подблок, измеряющий степень колебательности μ (напр., декремент затухания) переходного процесса, являющуюся в примере показателем качества управления. При воздействии помехи z_B на объект B величина μ может изменяться заранее непредвид. образом в значит. диапазоне. Напр., при регулировании режима полета самолета (из-за изменения его аэродинамич. параметров на разных высотах) характер переходных процессов в системе самолет — автопилот может значительно изменяться. Чтобы этого избежать, можно изменять коэфф. усиления k тракта автопилота с тем, чтобы поддерживать нек-рое определ. значение $\mu = \mu_0$.

Пусть зависимость μ от k при различных значениях z_B (напр., на различных высотах полета самолета) определяется кривыми (рис. 10, *а*). Из них следует, что при слишком больших значениях μ, когда величина

$$\Delta\mu = \mu_0 - \mu \qquad (5)$$

отрицательна, следует уменьшать k до тех пор, пока $\Delta\mu$ не окажется, примерно, равным нулю. Если же $\Delta\mu > 0$, то коэфф. k нужно увеличивать. Закон регулирования может, напр., иметь следующий вид:

$$\frac{dk}{dt} = \lambda\Delta\mu = \lambda(\mu_0 - \mu). \qquad (6)$$

где $\lambda = \text{const} > 0$.

Однако не всегда автоматич. регулирование оказывается приемлемым законом для процессов адаптации. Пусть, напр., зависимость критерия качества Q от параметра k, при различных z_B, имеет вид кривых, рис. 10, *б*. В этом случае, если требуется достичь заданного или миним. значения Q, то сам по себе знак Q, или знак разности $(Q_0 - Q)$, где Q_0 — заданное значение, еще не определяет, в каком направлении требуется изменять величину k. Пусть $k = k_1$ и $Q = Q_1$ (кривая *1*). Чтобы найти правильное направление изменения k, необходимо пробное перемещение. Пусть к величине $k = k_1$ добавляется приращение Δk, причем новое значение $k_2 = k_1 + \Delta k$. Если соответствующее приращение ΔQ величины Q отрицательно, то дальнейшее движение к минимуму должно производиться в том же направлении, что и предварит. изменение Δk. Если же $\Delta Q > 0$ (а это может иметь место, если значение z_B соответствует кривой *2*), то дальнейшее изменение k должно производиться в противоположном направлении. Указанный метод представляет собой один из простейших вариантов автоматич. поиска.

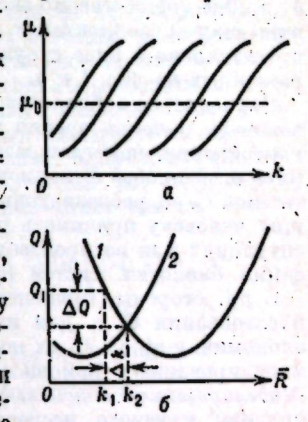


Рис. 10. Кривые зависимости коэфф. усиления от степени колебательности переходного процесса.

Имеются различные типы САП. Системы, в к-рых путем автоматич. поиска определяется экстремум величины Q, наз. системами автоматич. оптимизации. В свою очередь, эти системы можно разделить на экстремальные системы, в к-рых определяется экстремум ф-ции Q одного переменного и системы поиска экстремума ф-ции неск. (n) переменных. Др. тип систем автоматич. поиска — системы поиска области. В них происходит автоматич. поиск не точки (скажем, точки в пространстве параметров, соответствующей экстремуму ф-ции Q), а нек-рой области, точки к-рой обладают к.-л. требуемым св-вом. Напр., часть A_2 может так изменять параметры части A_1, чтобы автоматически привести осн. систему $A_1 - B$ к устойчивости. Одна из первых сложных систем автоматич. поиска — *гомеостат* — служила для этой цели.

Др. вид систем автоматич. поиска представляют собой системы поиска логич. соотношений. Напр., в автомате для поиска доказательств теорем геометрии Эвклида на плоскости совокупность аксиом, а также теорема, подлежащая доказательству или опровержению, представлены в виде закодированных на языке ЦВМ высказываний. Нахождение доказательства теоремы означает получение цепочки высказываний, соединяющей исходные аксиомы с доказываемой теоремой или ее отрицанием. Каждое высказывание получается из предыдущих путем определенных логич. действий. Нахождение доказательства сводится, т. о., к поиску определенных логич. соотношений.

С. с. широко применяются в технике в виде пром. систем автоматич. оптимизации, самонастраивающихся автопилотов, в спец. вычислит. устройствах, напр. в аппаратуре автоматич. синтеза оптим. систем автоматич. управления, и т. п.

Общей теории С. с. пока (1964) не существует. Однако разработаны теоретич. основы построения ряда классов С. с., систем автоматич. оптимизации, адаптивных САР, систем,

обучающихся распознаванию образов, и т. п. Функционирование многих биологич. управляющих систем и целых живых организмов, а также общественно-экономич. управляющих систем, коллективов и т. п. может быть представлено в виде структурных схем, изображенных на рис. 1 и 4.

Изучение св-в биологич. систем и в т. ч. человека, с точки зрения процессов самоприспособления, помогает разрабатывать и понимать особенности функционирования сложных технич. С. с., распознающих образы, помогающих человеку принимать решения в сложных ситуациях или воспроизводящих др. сложные ф-ции биологич. систем (см. *Бионика*).

С др. стороны, применение общих методов исследования С. с. для изучения биологич., экономич. и др. С. с., их полное или частичное моделирование с помощью технич. С. с. (см. *Моделирование бионическое*) является мощным орудием научного исследования, позволяющим получить, понять и проверить большое число новых научных фактов.

Лит.: Эшби У. Р., Конструкция мозга, пер. с англ., М., 1962; Gelernter H., Realization of a geometry theorem proving machine, в кн.: Proc. Internat. Conf. on Inform. Processing UNESCO, Paris 15—20 June 1959, P.— München.— L., 1960; Minsky M., Steps toward artifical intelligence, «Proc. I. R. E.», 1961, v. 49, № 1; Hawkins J. K., Self-organizing systems, там же; Steinbuch K., Automat und Mensch, B.-[u. a.], 1961; Шеннон К. Э., Вычислительные устройства и автоматы, в его сб.: Работы по теории информации и кибернетике, пер. с англ., М., 1963, с. 162—80; Приспосабливающиеся автоматические системы, под ред. Э. Мишкина и Л. Брауна, пер. с англ., М., 1963; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Цетлин М. Л., Конечные автоматы и моделирование простейших форм поведения, «УМН», 1963, т. 18, вып. 4 (112), с. 3—28; Гельфанд И. М., Цетлин М. Л., О некоторых способах управления сложными системами, там же, 1962, т. 17, вып. 1 (103), с. 3—25; Гаазе-Рапопорт М. Г., Автоматы и живые организмы, М., 1961; Глушков В. М., Введение в теорию самосовершенствующихся систем, Киев, 1962; Биологические аспекты кибернетики. Сборник работ, М., 1962.

М. Г. Гаазе-Рапопорт, А. А. Фельдбаум.

САМОСИН [autosyn; synchro (selsyn); autoéquilibreur; selbstsynchronisierender Drehmelder] — см. *Сельсин*.

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РАЗРЯД (self-maintained discharge; décharge auto-entretenue; selbstständige Entladung) — форма электрич. *разряда в газе*, поддержание к-рого обусловливается процессами, происходящими в самом разряде. Процессы, определяющие существование того или иного вида С. р.: γ-процессы на катоде, *внешний фотоэффект* под действием излучения разряда, *автоэлектронная эмиссия*, *термоэлектронная эмиссия*, возникающая при разогреве катода за счет его бомбардировки ионами, *ионизация* газа быстрыми ионами, ступенчатая ионизация и т. п. Диапазон токов, охватываемый различными видами С. р., от долей *мка* до сотен тыс. *а*.

С. р. возникает в результате перехода предшествующего ему *несамостоятельного разряда* к новому качеств. состоянию, характеризуемому резким возрастанием тока при снижении напряжения на разрядном промежутке. При этом разряд приобретает новые св-ва: из-за интенсивного возбуждения атомов газа он начинает светиться, плотность пространств. заряда между электродами возрастает, вызывая искажение поля в разрядном промежутке. Переход от несамостоят. разряда к С. р. наз. зажиганием газового разряда. Вид установившегося после пробоя разряда зависит от очень большого числа условий.

Ряд факторов позволяет в известной мере предопределить возникновение того или иного вида разряда. Наиболее существенны параметры разрядной цепи, давление газа и напряжение, приложенное к разрядному промежутку. На рис. 1 схематически даны области устойчивого существования темного, тлеющего и дугового разрядов в зависимости от плотности разрядного тока j, давления p и напряженности поля E [2].



Рис. 1. Области темного, тлеющего и дугового разрядов.

Вольтамперная хар-ка С. р. (рис. 2) имеет неск. резко выраженных участков. Переходную область от несамостоят. разряда к тлеющему

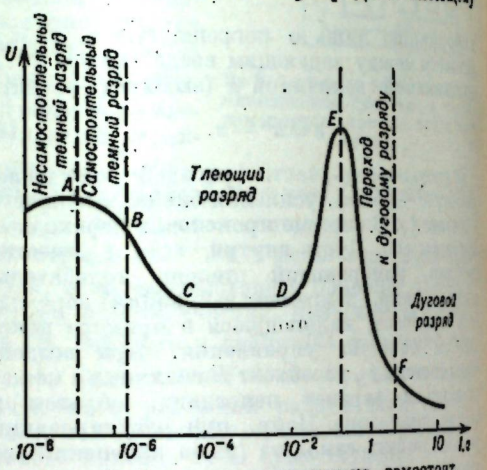


Рис. 2. Вольтамперная хар-ка самостоят. разряда.

занимает самостоят. *темный разряд* (участок AB), часто неустойчивый, если он не стабилизирован введением в разрядную цепь достаточно большого сопротивления. Если сопротивление внешней цепи не слишком мало и давление газа невелико, то при зажигании С. р. возникает *тлеющий разряд* (участок $BCDE$), к-рый при росте тока переходит в дуговой.

При давлении газа порядка атмосферного, плоских или слабо закругленных электродах и высоковольтном источнике тока возникает *искровой разряд*, характеризуемый прохождением электрич. тока через газ по зигзагообразным, разветвленным, узким, ярко светящимся каналам. В случае маломощного источника тока разряд имеет прерывистый (импульсный) характер, а при достаточной мощности источника переходит в *дуговой разряд*. Если при давлениях порядка атмосферного один или оба электрода имеют радиус кривизны во много раз меньший, чем расстояние между ними, то несамостоят. разряд переходит в *коронный разряд* с малой силой тока и со свечением, окружающим электрод с малым радиусом кривизны. Следует отметить, что коронный и искровой разряды не могут быть описаны вольтамперной хар-кой, рис. 2.

Весьма существен, с точки зрения практич. применений газового разряда, вопрос о переходе от несамостоят. разряда к самостоятельному, поскольку знание условий, при к-рых происходит этот переход, позволяет осуществлять сознательное управление моментом зажигания С. р.

Вытекающее из теории Таунсенда — Роговского выражение для напряжения зажигания С. р.

$$U_з = B\frac{pd}{\ln\frac{Apd}{\ln\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)}},$$

(здесь γ — коэфф. поверхностей ионизации, численно равный количеству электронов, эмитированных катодом, приходящихся на один положит. ион, попавший на катод; d — расстояние между электродами; p — давление газа; A и B — постоянные, зависящие от рода и состояния газа) показывает, что напряжение зажигания С. р. зависит от рода и состояния газа, его давления, расстояния между электродами, а также от материала и состояния поверхности катода. Характерна в ур-нии равнозначимость влияния величин p и d

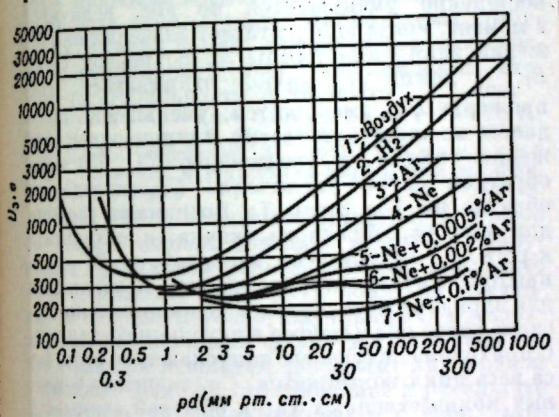


Рис. 3. Кривые Пашена.

на напряжение зажигания. Такая закономерность наз. законом Пашена и широко используется при конструировании газоразрядных приборов, когда задача получения необходимого напряжения зажигания не может быть решена путем выбора лишь одной из этих величин. Зависимость напряжения зажигания С. р. от произведения pd для нек-рых газов — кривые Пашена — приведена на рис. 3 [3]. Для них типично наличие минимума напряжения. Объяснить такой ход кривых можно, если рассматривать влияние p и d на напряжение зажигания независимо одно от другого. При малых давлениях вероятность столкновения электронов с молекулами газа мала, а следовательно, мала и вероятность ионизации. При повышении давления вероятность столкновения электронов с молекулами возрастает, но одновременно с этим уменьшается длина свободного пробега электронов, в результате чего энергия, приобретаемая ими до момента столкновения, снижается, вызывая тем самым снижение вероятности ионизации. При малых расстояниях между электродами пространство, в к-ром во время пробоя происходит развитие лавины заряж. частиц, оказывается недостаточным для его полного завершения. Поэтому напряжение, требующееся для зажигания разряда, должно быть в этом случае достаточно высоким. С др. стороны, большие расстояния между электродами приводят к уменьшению напряженности поля в разрядном промежутке и вместе с тем к уменьшению коэфф. ионизации. Т. о., при переходе от малых значений pd к большим в разряде имеет место ряд противоположно действующих процессов, вызывающих появление минимума в кривых Пашена. Положение минимума напряжения соответствует энергетически наивыгоднейшей напряженности поля. Значение произведения pd, при к-ром напряжение зажигания имеет миним. значение [1]

$$U_{з\,мин} = 2{,}718\frac{B}{A}\ln\left(1+\frac{1}{\gamma}\right),$$

равно

$$(pd)_{мин} = \frac{2{,}718\ln\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)}{A}.$$

Если в осн. газе содержится примесь др. газа, имеющего потенциал ионизации, меньший, чем потенциалы метастабильного возбуждения атомов осн. газа, то С. р. зажигается при более низком напряжении. Этот эффект (эффект Пеннинга) иллюстрируется кривыми 5—7 на рис. 3.

Влияние коэфф. поверхностной ионизации γ на напряжение зажигания С. р. таково, что использование катодов, изготовленных из материалов, обладающих меньшей работой выхода, должно приводить к меньшим значениям $U_з$. Зависимость напряжения зажигания в водороде от pd при различных катодах [3] дана на рис. 4. Снижение напряжения зажигания при уменьшении работы выхода наблюдается для всех приведенных на рис. катодов за исключением катода из никеля, имеющего самую высокую работу выхода, и особенно заметно при малых значениях pd вблизи минимума напряжения зажигания. Этим широко пользуются в технике при изготовлении низковольтных приборов газового разряда.

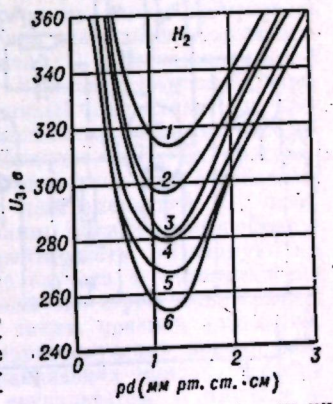


Рис. 4. Зависимость напряжения зажигания в водороде от pd при различных катодах: *1* — из спец. стали; *2* — из меди; *3* — из оксидированной стали; *4* — из никеля; *5* — из чистого алюминия; *6* — из коммерческого алюминия.

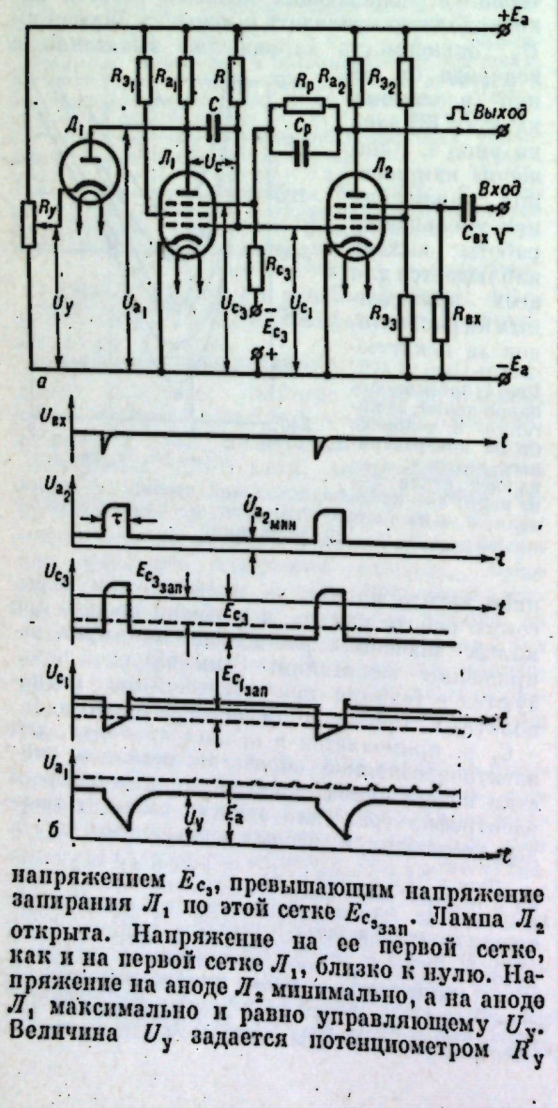
С. р. применяется в *ионных приборах*, для электроэрозионной обработки металлов, очистки поверхностей, электросварки, а также в электрофильтрах для очистки газов от твердых компонент, в дуговых электропечах и т. п.

Лит.: 1) Энгель А., Штенбек М., Физика и техника электрического разряда в газах, пер. с нем., т. 2, М.—Л., 1936; 2) Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; 3) Мик Дж., Крогс Дж., Электрический пробой в газах, пер. с англ., М., 1960; 4) Кагановский Н. Г., Электронные и ионные преобразователи, ч. 2, М.—Л., 1955; 5) Энгель А., Ионизованные газы, пер. с англ., М., 1959; 6) Гапонов В. И., Электроника, ч. 1—2, М., 1960.

О. П. Григорьев.

САНАТРОН (sanotron; sanatron; Sanatron)— двухламповая электронная схема, сочетающая в себе генератор линейно падающего напряжения и релаксатор. Применяется при получении коротких прямоугольных импульсов с крутыми фронтами и калиброванной длительностью τ. Строго линейная зависимость τ от управляющего напряжения позволяет применять С. для прецизионной постоянной и управляемой задержки, в устройствах с широтноимпульсной (ШИМ) и время-импульсной (ВИМ) модуляцией. В качестве генератора пилообразного напряжения С. применяется для формирования коротких линейных участков с высокой линейностью и крутизной. Как всякий релаксатор, С. может быть поставлен в режим автоколебаний, однако наиболее часто используется ждущий режим. Для аналогичных целей широко применяются одноламповые схемы, в к-рых указанные ф-ции совмещены (см. *Фантастрон*). Ими реализуются миним. временные интервалы до 10 *мксек* и точности порядка 0,5—1%. Для более коротких интервалов и более высоких точностей используется С.

Первая лампа С. имеет высокую допустимую мощность рассеивания по экранной сетке, а сигнал, управляющий первой лампой по защитной сетке, усиливается второй лампой. В исходном состоянии ждущего режима (см. рис.) лампа $Л_1$ заперта по защитной сетке



напряжением E_{c_3}, превышающим напряжение запирания $Л_1$ по этой сетке $E_{c_{3зап}}$. Лампа $Л_2$ открыта. Напряжение на ее первой сетке, как и на первой сетке $Л_1$, близко к нулю. Напряжение на аноде $Л_2$ минимально, а на аноде $Л_1$ максимально и равно управляющему U_y. Величина U_y задается потенциометром R_y и фиксируется диодом $Д_1$. Исходное состояние схемы устойчиво. Входной отрицат. импульс, запускающий схему, подается на защитную сетку $Л_2$. Вызванное им увеличение напряжения U_{a_2} через цепочку прямой связи C_pR_p передается на защитную сетку $Л_1$ и открывает ее. Уменьшение напряжения U_{c_1} через цепочку обратной связи RC передается на управляющую сетку $Л_2$, приводя к дальнейшему уменьшению ее тока и увеличению U_{a_2}. При соответствующем усилении в цепи процесс носит лавинообразный характер. $Л_1$ скачком открывается, а $Л_2$ запирается по первой сетке. В схеме возникает второе состояние. Это состояние неустойчиво, но процессы в нем протекают сравнительно медленно. Конденсатор C, заряженный в исходном состоянии до напряжения, близкого U_y, начинает разряжаться через токостабилизирующий двухполюсник, в к-рый входит открытая лампа $Л_1$; схема работает как интегратор. Постоянство тока разряда конденсатора C обеспечивает высокую линейность изменения напряжений U_c, U_{a_1} и U_{c_1}. Отрицат. напряжение U_{c_1}, запирающее в этом состоянии лампу $Л_2$, постепенно уменьшается по абс. величине; в момент, когда оно достигает значения напряжений запирания лампы $Л_2$ по первой сетке $Ec_{1зап}$, лампа $Л_2$ начнет открываться. Напряжение U_{a_2} уменьшится; уменьшение передается на защитную сетку $Л_1$, приводя к снижению тока $Л_1$ и увеличению U_{a_1}. По цепи обратной связи увеличение U_{a_1} передается обратно на 1-ю сетку $Л_2$. Возникают условия для второго, обратного скачка, в результате к-рого $Л_1$ оказывается запертой, а $Л_2$ — открытой. Спустя нек-рое время, необходимое для заряда конденсатора C до напряжения U_y, схема снова оказывается в исходном состоянии. С приходом следующего запускающего импульса весь цикл повторяется. Ср. значения основных количественных хар-к обычной схемы С.: стабильность длительности τ и линейность зависимости τ от U_y $(3—5)\cdot10^{-3}$, миним. значения τ — до 1 *мксек*, длительность процессов опрокидывания — доли микросекунды, линейность напряжения U_{a_1} — в пределах $(5—7)\cdot10^{-4}$, крутизна до 100 *в/мксек*.

Длительностью импульса τ в схеме рис., а управляют, изменяя верхний уровень напряжения U_{a_1}. Нижний уровень U_{a_1} ограничивается моментом, когда напряжение на 1-й сетке $Л_2$ достигает границы отпирания. Нестабильность величины $Ec_{1зап}$, связанная с изменениями питающих напряжений, старением или сменой ламп, ведет к нестабильности величины τ. Поэтому в ряде вариантов для стабилизации момента обратного скачка в цепь 1-й сетки $Л_2$ включается внешнее смещающее напряжение и фиксирующий диод. Фиксация напряжения на 3-й сетке $Л_1$ также увеличивает стабильность τ. Управление длительностью τ возможно также и при фиксированном верхнем и регулируемом нижнем уровнях напряжения U_{a_1}; при этом стабильность τ выше. Для увеличения скорости скачков и уменьшения длительности фронтов выходного импульса применяют обратную связь с катодной нагрузки $Л_1$. Возможность снять отрицат. выходной импульс с этой нагрузки — дополнит. преимущество такого варианта.

В прецизионных С., дающих длительности от долей *мксек*, скорости опрокидывания — до сотых долей *мксек* и стабильности $(1—3)\cdot10^{-3}$, кроме обычной обратной связи RC-типа с анода $Л_1$ на 1-ю сетку $Л_2$, имеется дополнит. обратная связь с экранной сетки $Л_1$ на 1-ю сетку $Л_2$ через импульсный тр-р. Малая инерционность этой связи обеспечивает быструю передачу перепадов экранного напряжения $Л_1$, что значительно сокращает продолжительность скачков. При еще более жестких требованиях приходится использовать схемы, в к-рых формирование времязадающих перепадов, генерация линейного напряжения и сравнение осуществляются на раздельных элементах. Такие схемы содержат до 5—8 ламп, но реализуют миним. длительности τ до 0,1 *мксек* и точности до $(2—5)\cdot10^{-4}$. При проектировании санатронных схем предъявляются повышенные требования к стабильности питающих напряжений. Применяется барретирование накала и термостатирование элементов времязадающей цепочки RC.

Создание линейно-изменяющихся напряжений, генерация коротких прямоугольных импульсов и осуществление задержек импульсов в принципе возможны и с помощью транзисторных схем. Однако такие схемы требуют разделения ф-ций, содержат большое число транзисторов и уступают ламповым схемам по стабильности и точности.

Лит.: Месерович Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953; Ицхоки Я. С., Импульсные устройства, М., 1959; Кривицкий Б. Х., Элементы и устройства импульсной техники, 2 изд., М., 1961.

Ю. В. Хомич.

СБОЙ ЦВМ (malfunctioning; interruption du fonctionnement normal; Ausfall) — нарушение правильной работы машины, влияющее на ход решения задачи. С. делят на случайные и систематические. Случайные С. обусловливаются одиночными флуктуац. помехами и, как правило, искажают результат лишь одной операции. Ошибки, возникающие в результате случайного С., обнаруживаются спец. схемами, а также программным способом — путем сравнения результатов двух просчетов одних и тех же этапов решения или анализом результатов вычислений. Правильные результаты после случайного С. получают, повторяя участок программы, в к-ром С. обнаружен. Наибольшей эффективностью при этом обладает схемный пооперац. контроль, приводящий при каждом случайном С. к повторению лишь одной операции. Часто повторяющиеся случайные С. говорят о наличии в машине критического элемента, к-рый отыскивается *испытательными программами* в утяжеленных условиях работы машины.

Систематич. С. вызываются выходом из строя к.-л. элемента машины и проявляются в виде постоянно возникающей ошибки при выполнении одной или ряда машинных операций. Обнаружить их методом двойного просчета нельзя. В процессе решения задачи систематич. С. фиксируется либо спец. контрольными схемами (машина НОРК, США), либо анализом результатов вычислений. Причины систематич. С. отыскиваются посредством испытат. программ. Утяжеление режимов работы машины при этом не обязательно.

Особую группу составляют плавающие С., существующие в течение определ. промежутка времени и исчезающие самопроизвольно. Они связаны с неустойчивой работой отдельных узлов машины (содержащих, как правило, емкостные или ПП элементы), а также с наличием плохих контактов элементов, подверженных переменной механич. нагрузке (напр., вибрации), или нарушением диэлектрич. св-в отдельных участков изолирующей основы элементов и блоков машины. Обнаруживаются контрольными схемами или двойным просчетом, если время одного просчета превышает период существования С. Причины С. отыскиваются тщательной проверкой всей машины с широким применением утяжеленных режимов (см. *Контроль профилактический*). Количество и характер С., а также время, необходимое для их обнаружения и устранения, определяют надежность и эффективность вычислит. машин. Особенно чувствительны к С. управляющие вычислит. системы, работающие в реальном масштабе времени.

Влияние С. на вычислит. процесс снижается следующими методами: 1) повышением надежности элементов, улучшением качества монтажа, построением рацион. конструкций устройств, блоков и т. д.; 2) рацион. организацией вычислений, обеспечивающей надежную фиксацию С. при миним. потерях времени на отыскание их причин и восстановление вычислит. процесса. Достигается сочетанием методов двойного просчета при оптим. выборе длины повторяющихся циклов и методов анализа результатов решения при макс. использовании элементов схемного контроля. В машинах с параллельным выполнением программ (с мультипрограммным управлением, см. *Мультипрограммирование*) каждый С., влияющий на одну к.-л. программу, может ее прервать с автоматич. вызовом диагностич. программы, определяющей причину С. и сигнализирующей об этом оператору. Выполнение остальных программ, на к-рые данный С. не влияет, не прерывается. Перспективным является способ применения профилактич. испытат. программы, выполняющейся параллельно с рабочими программами; 3) нейтрализацией С. спец. схемами и приемами, позволяющими обнаружить его, скорректировать вызванную им ошибку, а в ряде случаев и автоматически заменить вышедший из строя или критичный элемент. К таким приемам относятся: а) применение корректирующих кодов, фиксирующих и исправляющих ошибку, а также обеспечивающих сигнализацию о причине и месте ее возникновения. Наиболее удобен при передачах информации, менее эффективен при контроле выполнения операций; б) дублирование устройств, блоков и элементов с применением спец. схем, выделяющих правильный результат при С. в одном из параллельно работающих звеньев. Удобен на всех этапах вычислит. процесса, однако требует много избыточного оборудования. Эффективен для нейтрализации случайных С.; в) резервирование элементов, предусматривающее автоматич. подключение резервных типовых блоков взамен вышедших из строя. Требует меньшей избыточности оборудования, чем дублирование, т. к. небольшая часть резервных элементов может обеспечить нейтрализацию С. в довольно большом объеме вычислит. системы. Осн. недостаток — трудность коммутации резервных элементов. Целесообразен при борьбе с систематич. С. Практически используются различные сочетания этих способов и приемов. Характер сочетания определяется назначением вычислит. систем и требованием к их надежности и эффективности.

И. А. Данильченко.

СВАРКА ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРЕВЕ (high frequency welding; soudure par chauffage à haute fréquence; Schweißen durch HF-Erwärmung) — получение неразъемного соединения при индукционном (в нек-рых случаях контактном) нагреве токами ВЧ (стыковая сварка труб и изделий сплошных сечений, сварка продольных и спиральных швов труб, приварка колец из цветных и черных металлов к цилиндрич. изделиям и др.). При стыковой сварке труб (рис. 1) трубы *1* и *2*

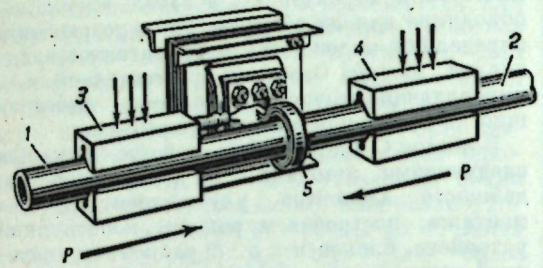


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для стыковой сварки труб при индукц. нагреве: *1*, *2* — трубы; *3*, *4* — зажимы; *5* — индуктор.

с обработанными на токарных или фрезерных станках торцами закрепляются в зажимах *3* и *4* и сводятся до соприкосновения. Стык труб помещается в электромагнитное поле индуктора *5*, возбуждающее в концах труб вихревые токи, нагревающие эти участки. По достижении сварочной темп-ры торцы труб сдавливаются усилиями *P*, при этом происходит сварка. Данный способ применим для стыковой сварки труб из углеродистых (содержащих до 0,25% C) и низколегированных сталей. Сварные соединения с высокими механич. св-вами (оцениваемыми разрывом при испытании не по зоне сварки, а по основному металлу, углом загиба на 180° и др.) стабильно получаются при нагреве до темп-ры 1200—1250°C и уд. давлении при сварке $P = 3—4$ *кг/мм²*; во время нагрева металл должен быть защищен от окисления применением нейтральных газов или флюсов. Соединение труб, к к-рому не предъявляется высоких требований по механич. св-вам и структуре металла, может быть получено сваркой при индукц. нагреве без применения флюса или нейтрального газа. Темп-ра нагрева в этом случае должна достигать 1380—1420°C. Время сварки от 2 до 10 сек. в зависимости от толщины стенки трубы; частота тока 8000—2500 *гц*; мощность сварочных устройств от 30 *квт* до 200—300 *квт* в зависимости от диаметра труб. Изделия сплошных сечений свариваются в стык при индукционном нагреве аналогично стыковой сварке труб.

Токи ВЧ широко используются при изготовлении стальных сварных труб с применением индукц. сварки. При этом методе (рис. 2) стальная лента непрерывно движется в направлении, показанном стрелкой, со скоростью до 60 *м/мин*, постепенно сворачивается в трубную заготовку *1*, кромки ее нагреваются до сварочной темп-ры (в данном случае до 1370—1450°C) с помощью прямолинейного индуктора *2*. При последующем обжатии в валках *3* нагретые зоны свариваются. Индуктирующий провод выполняется из медной трубки с шириной рабочей стороны 10—14 *мм*. Для повышения кпд индуктора на индуктирующий провод надевается П-образный магнитный сердечник. Индуктирующий провод и магнитный сердечник интенсивно охлаждаются водой. Нагрев осуществляется при высо-

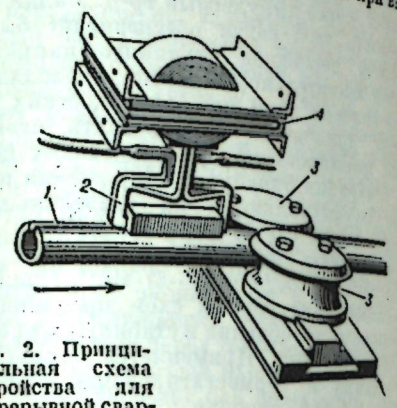


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для непрерывной сварки продольного шва трубы при индукционном нагреве: *1* — трубная заготовка; *2* — прямолинейный индуктор с магнитным сердечником; *3* — обжимные валки; *4* — понижающий ВЧ трансформатор.

ких уд. мощностях, порядка ~ 10 *квт/см²*. Мощность сварочного устройства зависит от требуемой скорости сварки и толщины стенки изготовляемых труб (рис. 3). В СССР имеются действующие станы индукционной сварки труб с диаметрами до 108 *мм*.

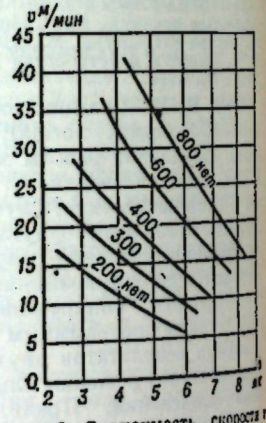


Рис. 3. Зависимость скорости индукц. сварки труб от толщины стенки δ при различной мощности сварочного устройства.

При контактном ВЧ нагреве (рис. 4) технологич. процесс изготовления труб аналогичен применяемому при индукц. нагреве. При контактном нагреве для сварки используется ток частотой 440 *кгц*, подводимый к свариваемым кромкам *1* с помощью контактов *2* и *3*. Ток от одного контакта к др. проходит

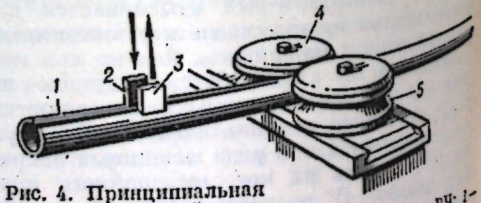


Рис. 4. Принципиальная схема непрерывной сварки труб с контактным подводом тока ВЧ: *1* — свариваемые кромки; *2*, *3* — контакты; *4*, *5* — валки.

по кромкам трубной заготовки, к-рые сходятся под углом в неск. градусов. В результате явления поверхностного эффекта и эффекта близости ток концентрируется на торцевых поверхностях кромок. Металл на кромках трубной заготовки интенсивно нагревается, достигая сварочной темп-ры в зоне схождения кромок. При обжатии кромок в валках *4* и *5* происходит сварка. При сварке разных труб сварочный ток составляет 1000—3000 *а*, а напряжение на контактах 30—200 *в*. В таких условиях скользящие контакты обеспечивают без замены сварку 30—35 тыс. погонных *м* труб, т. е. непрерывную работу в течение одной-двух смен. Контактные наконечники сварочных устройств изготовляются из вольфрама и из сплавов вольфрама или молибдена с серебром. Скорость сварки труб при контактном подводе тока ВЧ к кромкам определяется по графику (рис. 5).

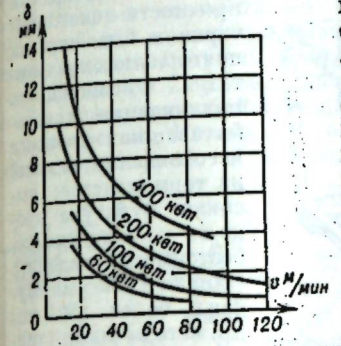


Рис. 5. Зависимость скорости *v* сварки труб из углеродистой стали при контактном подводе тока ВЧ от толщины стенки трубы δ и мощности сварочного устройства.

С помощью контактного ВЧ нагрева и последующих обжатия и сварки могут изготовляться из различных металлов и сплавов трубы со спиральным швом (рис. 6) диаметром

Рис. 6. Принципиальная схема радиочастотной сварки спиральных труб: *1* — лента, свиваемая в трубу; *2*, *3* — токоподводы; *4*, *5* — обжимные ролики; *6* — схема взаимного расположения нагретых кромок трубы и обжимных роликов при сварке.

от 60 до 1020 *мм* с толщиной стенки от 0,2 до 14 *мм*. Трубы с толщиной стенок от 0,2 до 3 *мм* изготовляются соединением внахлестку, а с большей толщиной — в стык.

Лит.: Глуханов Н. П., Богданов В. Н., Сварка металлов при высокочастотном нагреве, М.—Л., 1962; Головкин Р. В., Лунин И. В., Радиочастотная сварка прямошовных труб, М., 1961; Гельман А. С. [и др.], Сварка труб токами радиочастоты, «Сварочное производство», 1960, № 10, с. 4—7; Богданов В. Н., Применение токов звуковой частоты для изготовления сварных труб, «Тр. Н.-и. ин-та токов высокой частоты им. Вологдина», 1961, вып. 3, с. 56—76.

В. Н. Богданов.

СВАРКА ТЕРМОПЛАСТОВ ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ (high frequency welding of thermoplast; soudure à haute fréquence des couches thermiques; Hochfrequenzschweißung der Thermoplasten) — осуществляется под давлением при нагреве зоны шва до вязко-текучего состояния в электрич. поле ВЧ. Зону материала, подлежащую сварке, помещают между электродами, к к-рым подводится через коаксиальный фидер ВЧ (15—150 *Мгц*) энергия от ламнового генератора. Согласно решению Международной комиссии по радиочастотам при министре связи СССР, в этом диапазоне можно воспользоваться частотами: 13,56 ± 1%; 27,12 ± 1%; 40,68 ± 1%; 81,36 ± 1% и 152,5 ± 1% *Мгц*. Система электродов вместе с помещенным между ними материалом образует рабочий конденсатор. При подаче напряжения зона шва быстро нагревается по всему сечению за счет диэлектрич. потерь (см. *Диэлектрический нагрев*). Посредством этих же электродов для увеличения сил сцепления граничных слоев, т. е. придания шву механич.

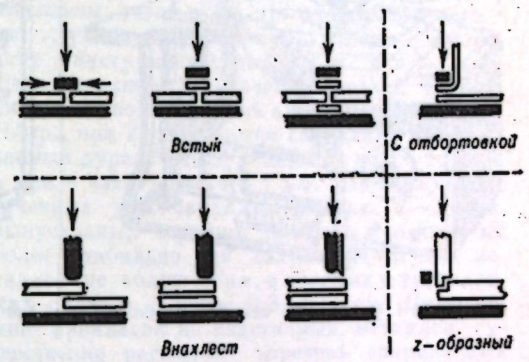


Рис. 1. Образцы швов при ВЧ сварке термопластов.

прочности, создают давление (5—10 *кг/см²* для пластифицированных термопластов и 10—20 *кг/см²* для непластифицированных). Спец. подготовки стыкуемых поверхностей требуют только два вида шва: с отбортовкой и Z-образный (рис. 1). По наружному виду различают простой плоский шов и шов фигурный, для обрезки и окантовки к-рого служит спец. приставка к электроду (рис. 2). Чтобы в месте шва после

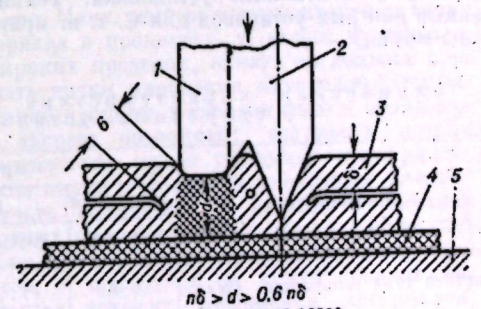


Рис. 2. Фигурный шов с окантовкой и обрезкой: *1* — часть электрода, создающая основной сварочный шов; *2* — часть электрода, формующая кромку изделия и обрезающая заготовку; *3* — планка; *4* — изоляционная прокладка; *5* — заземленный электрод (плита пресса); *6* — место перехода (наиболее слабая часть шва).

приложения давления на электроды материал не стал слишком тонок, применяют ограничители хода, фиксирующие заданную конечную толщину шва. Роликовая установка, оформленная в виде швейной машины (рис. 3), сваривает непрерывным швом изделия из эластичной пленки, напр. непромокаемые плащи, герметичную тару и т. п. Прессовая установка (рис. 4) предназначена для одновременной С. т. в. по заданному контуру или последовательной сварки швов отд. отрезками вдоль линии шва. Прессовая С. т. в. наиболее точно и многократно повторять операцию технологична и позволяет подобно штамповке С. т. в. с выбранным оформлением зоны шва.

Прочность шва обеспечивается даже при наличии под электродом переходов с различным количеством слоев материала. Процесс С. т. в. расчленяют на отд. операции, для к-рых и выбирают соответствующую конструкцию электродов и прессовой части. Переносная установка (рис. 5) применяется для заварки последнего, заключительного шва герметичной тары с упакованным в ней изделием; последоват. наложение швов с помощью электродов, изогнутых в виде скобы и вмонтированных в щипцы, позволяет получить герметичный шов любой длины. Установка может быть использована также для ремонта и С. т. в. изделий в монтажных установках. Технич. данные нек-рых установок для С. т. в. приведены в табл.

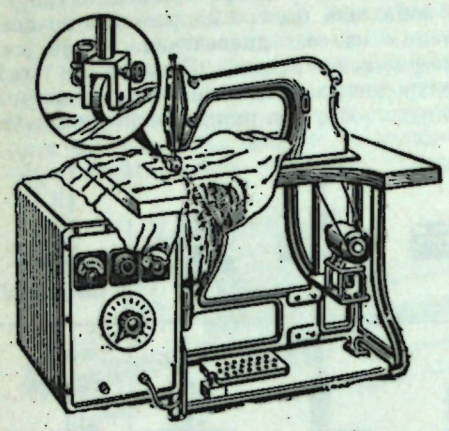


Рис. 3. ВЧ роликовая сварочная машина.

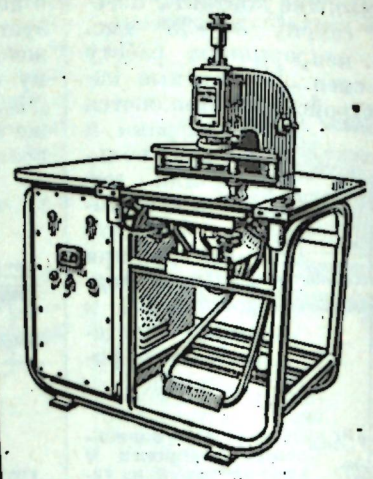


Рис. 4. ВЧ прессовая сварочная установка ВЧС-0,4.

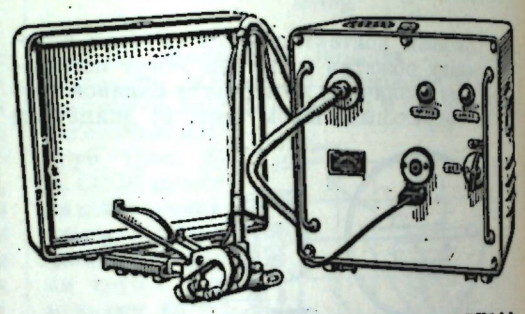


Рис. 5. ВЧ переносная сварочная установка ВЧС-0,2.

Преимущества С. т. в. перед сваркой с др. методами нагрева: быстрота нагрева; независимость его от теплопроводности и толщины материала; высокий термич. кпд процесса; прочность, приближающаяся к прочности целого материала, и строгая повторяемость результатов; возможность механизации и автоматизации процесса изготовления изделий из термопластов; высокая культура произ-ва и снижение себестоимости изделия. Однако в нек-рых случаях более выгодны др. методы (напр., термоимпульсная электросварка для пленок с малыми диэлектрич. потерями и толщиной менее 0,2 *мм*). С. т. в., как и всякая машинная сварка, особенно эффективна при массовом серийном произ-ве, при к-ром вполне оправдываются расходы на дополнит. оборудование (источники питания ВЧ энергией и сложную технологич. оснастку). В результате внедрения С. т. в. на ряде фабрик беловых товаров, искусств. кожгалантереи и др. на каждый 1 *квт* установленной ВЧ мощности условно-годовая экономия составляет 10—20 тыс. руб. Срок окупаемости капитальных затрат по организации участков С. т. в. не превышает 3—4 мес.

Для обеспечения техники безопасности труда операторов-сварщиков необходимо принимать меры по снижению уровней электрич. полей ВЧ на рабочем месте путем экранирования цепей ВЧ. Последнее необходимо также для снижения уровня радиопомех до норм, требуемых Министерством связи.

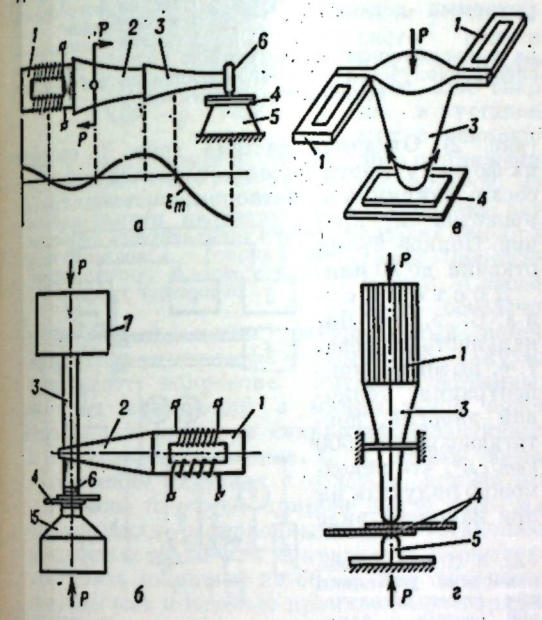
Техническая характеристика высокочастотных сварочных установок

Характеристики	Тип установки			
	роликовая	прессовая		переносная
	МСТ-3М	ВЧС-3	ВЧС-0,4	ВЧС-0,2
Частота тока генератора (*Мгц*)	40,68	27,12 и 40,68*	40,68	27,12 и 40,68*
Колебательная мощность (*квт*)	0,2	3,0	0,4	0,2
Макс. усилие пресса или щипцов (*кг*)	—	500	150	15
Привод	Электрический	Электропневматический	Механический, ножной	Ручные щипцы
Макс. размеры свариваемого изделия в плане (*мм*)	—	300×450	350×400	—
Макс. площадь свариваемых швов (*см*²)	—	50	13	2
Макс. линейный размер электродов (*мм*) при 27,12 *Мгц*	—	1000	—	110
при 40,68 *Мгц*	—	600	600	—
Скорость сварки непрерывным швом (*м/сек*)	3	—	—	—
При общей толщине материала 0,7 *мм*, ширине зоны нагрева 2,2 *мм* и суммарной длине шва (*мм*)	—	3000	500	110
миним. время сварки (сек.)	—	3	1,5	1,0
Потребляемая мощность (*ква*)	1,0	9,0	1,1	0,6
Габариты в плане ** (*мм*)	1100×700	700×900 / 1160×800	1160×750	310×285
Высота (*мм*)	1200	1400 / 800	800	275

* Генераторы могут быть настроены на любую из указанных частот.
** Установка ВЧС-3 состоит из 2 частей; в числителе даны размеры генератора, в знаменателе — пресса.

Лит.: Брицын Н. Л., Нагрев в электрическом поле высокой частоты, 2 изд., М.—Л., 1957; Федорова И. Г., Шелина Т. А., Брицын Н. Л., Использование высокочастотного метода сварки при изготовлении мягкой пластмассовой системы для хранения и переливания крови, «Пластические массы», 1961, № 3; Чудинов В. В., Использование токов высокой частоты в швейном производстве, «Легкая промышленность», 1950, № 3. *Н. Л. Брицын.*

СВАРКА УЛЬТРАЗВУКОВАЯ (ultrasonic welding; soudure ultrasonique; Ultraschallschweißen) — осуществляется воздействием УЗ колебаний и незначит. статич. сдавливающего усилия. Ведущая роль в образовании соединения при С. у. металлов с неметаллами и металлов между собой принадлежит процессу сухого трения. Колебания, возбуждаемые в деталях (см. рис.), обусловливают относит.



Схемы возбуждения УЗ колебаний в детали при помощи инструмента, совершающего колебания: *а* — продольные; *б* — изгибные; *в* — крутильные; *г* — схема сварки пластич. масс с помощью продольно колеблющегося инструмента, поджимаемого под прямым углом к свариваемой поверхности; *1* — двигатель магнитострикционного преобразователя; *2* — тр-р продольных упругих колебаний; *3* — инструмент; *4* — свариваемая деталь; *5* — опора; *6* — наконечник; *7* — присоединенная масса; ξ_m — кривая распределения амплитуд смещения.

смещения между свариваемыми поверхностями, приводящие к разрушению и устранению адсорбированных и окисных пленок (этим объясняется тот факт, что прочность соединений, получаемых посредством С. у., не зависит от качества подготовки поверхностей под сварку), и местному разогреву деталей в зоне их контакта. В этой зоне знакопеременные напряжения, вызванные наличием упругих колебаний, совместно со статич. усилием приводят к интенсивному пластич. течению металла. В результате образуется соединение, характеризующееся высокой прочностью в условиях статич. и динамич. нагрузок. Для С. у. термопластичных масс пользуются схемой (рис., *г*), при к-рой соединение получается при локальном выделении теплоты в контакте, испытывающем сжатие. Источником колебаний обычно служит электромеханич. преобразователь, питаемый от высокочастотного генератора с плавной регулировкой частоты тока. Схема генератора с автоматич. подстройкой частоты тока по резонансу колебат. системы, изменяющемуся в процессе С. у., является оптимальной.

УЗ свариваются точечные и герметичные шовные соединения внахлестку. Принципиально возможна приварка торцов проволок, прутков и трубок небольшого диаметра к плоским деталям и их сварка между собой в стык. Способность материалов свариваться УЗ различна. Хорошо свариваются медь, алюминий, их сплавы, титан и мн. др. пластичные металлы; хуже — жаропрочные сплавы; плохо, напр., инструментальные стали. Предел толщины верхней свариваемой детали определяется подводимой к ней акустич. мощностью. Напр., при 2 *квт* удается сваривать плакированный дуралюминий толщиной до 1—1,5 *мм*, а при 4 *квт* — до 2—2,5 *мм*. На сварочных точечных установках мощностью 2—3 *квт*, выпускаемых серийно, качество соединений более стабильно при сварке пластичных металлов не толще 1 *мм*, а твердых и тугоплавких сплавов — менее 0,3—0,5 *мм*. Применение прокладок из пластичных металлов существенно расширяет перечень свариваемых сочетаний. Так, с помощью фольги из никеля получены высокопрочные соединения листов молибдена толщиной 0,5—0,6 *мм*. При шовной С. у. предел свариваемых толщин снижается в 2—3 раза по сравнению с точечной С. у.

К основным параметрам процесса С. у., определяющим качество соединений, относятся амплитуда колебаний ξ_m, возбуждаемых в деталях, их частота f, усилие сжатия в контакте P и время сварки τ или (при шовной сварке) ее скорость. Обычно $\xi_m = 5—25$ *мк*; $f = 20—80$ *кгц*; $P = 5—250$ *кг*; τ не превышает 4 сек. Макс. темп-ра в приконтактных зонах материала в процессе С. у. может изменяться в широких пределах, однако не должна превышать точки плавления материала. Осуществление процесса в твердой фазе и локализация нагрева позволяют: сваривать детали неограниченно малой толщины; приваривать тонкие листы и фольгу к массивным плитам; получать соединения с миним. изменением исходных св-в металлов и сплавов; облегчает сварку разнородных материалов, напр. металлов с керамикой и полупроводниками; упрощает технику соединения материалов, обладающих высокой химич. активностью или делающихся хрупкими при высокой темп-ре. Применение С. у. наиболее перспективно для изготовления тонких деталей из однородных и разнородных сочетаний материалов в приборостроении, электротехнич. и радиоэлектронной пром-сти, для приварки тонких обшивок к несущей конструкции в авто- и авиастроении и др.

Лит.: 1) Силин Л. Л., Баландин Г. Ф., Коган М. Г., Ультразвуковая сварка, М., 1962; 2) Применение ультразвука в сварочной технике. Сб. ст., под ред. Г. А. Николаева, М., 1959 (ЦБТИ НИИ электропромышленности, № 305); 3) Сиротюк М. Г., Превращение акустических продольных колебаний в сдвиговые или крутильные, «АЖ», 1959, т. 5, вып. 2; 4) Peterson J. M., McKaing H. L., De Prisoo C. F., Ultrasonic welding in electronic devices, «IRE Internat. Convent. Rec.», 1962, v. 10, pt. 6, p. 3—12. *Л. Л. Силин.*

СВАРКА ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ (electron beam welding; soudure à faisceaux électronique; Schweißung mit Elektronenstrahl) — сварка, при к-рой сочленяемые участки расплавляются в месте стыка вследствие перехо-

да кинетич. энергии потока (пучка) электронов в тепловую энергию при их столкновении с поверхностью металла. Кинетич. энергия электронов преобразуется в тепловую практически без потерь.

Поток электронов формируется электронно-лучевой «пушкой» (рис. 1), к-рая состоит из 4 узлов: 1) к а т о д н ы й у з е л, в к-ром источником электронов служит вольфрамовая или танталовая нить накала (катод непосредств. подогрева) или таблетка с высокоэмиссионными св-вами (катод косвенного подогрева), напр. из гексаборида La (LaB_6). Таблетка нагревается подогревающей спиралью. К катоду прикладывается высокий отрицат. потенциал относительно анода, корпуса установки и обрабатываемой детали, к-рые заземлены. Посредством электрода, установленного в системе ускорения электронов (фокусирующего электрода), формируется необходимый ток, плотность к-рого должна быть достаточной для сварки при определенном фокусном расстоянии. Др. электродом (модулирующим) задается необходимая величина тока. Пушки данного типа работают в режиме триода. К модулирующему электроду подводится отрицат. потенциал по отношению к катоду. С помощью модулятора можно формировать импульсы тока определенной величины с необходимой частотой следования и с заданной скважностью. При импульсной подаче энергии может быть получена очень узкая зона нагрева. При сварке стали, вольфрама и молибдена установлено, что вне зоны шва структура материала изменяется незначительно, т. к. зона термич. влияния очень мала. 2) Э л е к т р о м а г н и т н а я л и н з а с бесступенчатым регулированием фокусного расстояния. 3) Э л е к т р о м а г н и т н а я о т к л о н я ю щ а я с и с т е м а, к-рая позволяет отклонять электронное пятно от оптич. оси системы. 4) В ы с о к о в о л ь т н ы й в ы п р я м и т е л ь с плавным изменением выпрямленного напряжения от 0 до заданной величины и с т а б и л и з и р о в а н н ы й и с т о ч н и к п и т а н и я фокусирующей и отклоняющей систем.

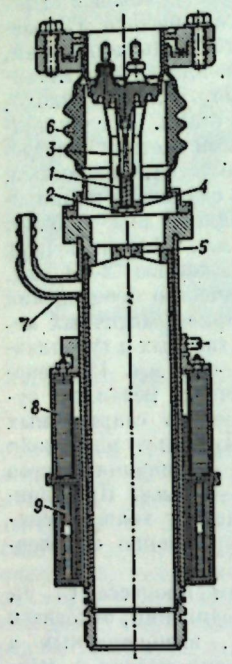


Рис. 1. Электронная пушка для сварки: *1* — вольфрамовая нить накала; *2* — таблетка с высокоэмиссионными св-вами; *3* — фокусирующий электрод; *4* — модулирующий электрод; *5* — анод; *6* — высоковольтный изолятор; *7* — анодная труба с водяным охлаждением; *8* — фокусирующая катушка; *9* — отклоняющая система.

С. э. осуществляется в сварочной камере, в к-рой поддерживается вакуум порядка $5 \cdot 10^{-5}$ *мм рт. ст.* В процессе сварки свариваемое изделие перемещают относительно электронного пучка со скоростью, к-рая зависит от толщины материала, напряжения и тока пучка. Конфигурация свариваемых деталей и их конструктивные особенности часто заставляют оператора производить сварку при плохой видимости стыка, а иногда и в закрытых от глаза местах. Для улучшения контроля сварки в некоторых пушках соосно с потоком электронов устанавливается оптич. система, позволяющая в процессе сварки с необходимым увеличением следить за правильностью движения пучка по линии стыка свариваемых деталей

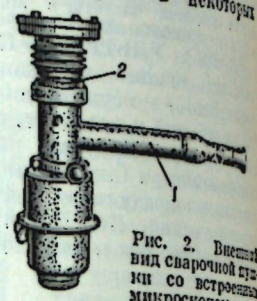


Рис. 2. Внешний вид сварочной пушки со встроенным микроскопом: *1* — световод микроскопа с наглазником и вакуумным уплотнением; *2* — электроннолучевая сварочная пушка со встроенным оптическим объективом.

(рис. 2). Откачная система (рис. 3) состоит из форвакуумного насоса, паромасляного насоса с вакуумным затвором, системы трубопроводов и кранов. Полное время откачки до 20 мин.

Д о с т о и н с т в а С. э.: 1) Локальность нагрева, т. е. высокая концентрация тепловой энергии, достигающая 2500 *квт/см*^{2}, что невозможно получить ни при каком др. виде сварки. Эта способность электронного луча концентрировать значит. энергию на очень малых площадках позволяет получать высококачеств. сварные швы при минимуме зоны термич. влияния. Наличие стабилизиров. источников питания для бесступенчатого регулирования мощности пучка определяет отсутствие прожогов даже при сварке деталей очень малых толщин (до 0,05 *мм*). При этом существенно уменьшается количество расплавленного металла, что сводит до минимума зону термич. влияния, уменьшает сварочные деформации и остаточные напряжения. 2) Легкость удаления летучих примесей благодаря чистоте среды и дегазирующему действию высокого разряжения в камере, т. к. откачка ведется непрерывно в процессе сварки. Содержание же кислорода и азота в атмосфере, окружающей зону сварки, снижается в 10^8—10^9 раз по сравнению со сваркой в атм. условиях. 3) Возможность совмещения процессов сварки и вакуумирования внутренней полости замкнутых цельносварных изделий. 4) Возможность сварки в местах конструкций, недоступных при др. способах (между высокими и тонкими ребрами, внутри изделия через щель шириной до 1 *мм*, сварка

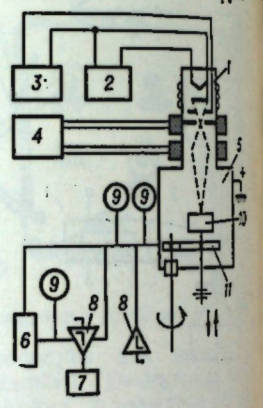


Рис. 3. Принципиальная схема установки для электроннолучевой сварки в вакууме: *1* — сварочная пушка; *2* — выпрямитель; *3* — модулятор; *4* — блок питания фокусирующей и отклоняющей катушек; *5* — сварочная камера; *6* — паромасляный насос; *7* — форвакуумный насос; *8* — краны; *9* — манометры; *10* — обрабатываемая деталь; *11* — система для передвижения обрабатываемой детали.

тавра через полочку, сварка перегородок внутри цилиндра и др.).

Н е д о с т а т к и С. э. 1) Необходимость применения герметич. камер, ограничивающих габаритные размеры изделий, что приводит к узкой специализации установок. 2) Усложнение конструкции сварочной камеры из-за необходимости создания биологич. защиты от рентгеновского излучения, возникающего при сварке в установках с ускоряющим напряжением выше 30 *кв*. 3) Большие затраты на приобретение оборудования. Способность обеспечивать чистый, легко регулируемый источник тепла в атмосфере высокого вакуума определяет получение высококачественных сварных соединений с минимальной зоной термич. влияния при сварке высокоактивных и тугоплавких металлов. С. э. можно соединять тонкий материал с толстым, причем эти материалы по своей природе могут быть однородными и разнородными. На установках мощностью до 20 *квт* сваривается нержавеющая сталь толщиной до 60 *мм* при отношении ширины шва к глубине проплавления порядка 1 : 20. При разновысоких кромках стыковые швы свариваются без разделки. В случае необходимости можно подавать присадочную проволоку. С.э. широко применяется в радиотехнич., машиностроит., электротехнич. и др. видах пром-сти и особенно выгодна при массовом произ-ве изделий.

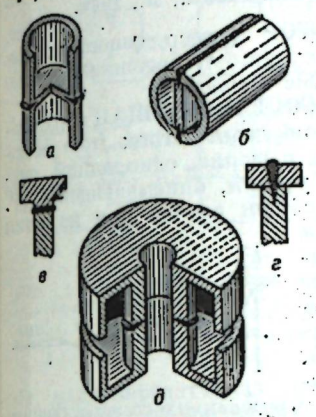


Рис. 4. Виды соединений, выполненных электроннолучевой сваркой: *а*, *б* — сварка перегородок внутри полости цилиндра; *в* — приварка полосок тавра глубинным проваром; *г* — сварка тавра через полочку; *д* — сварка изделия через щель.

Лит.: О л ь ш а н с к и й Н. А., К особенностям электронного нагрева при сварке, «Автоматическая сварка», 1962, № 5; Г о р б а н с к и й В. В., Ш у б и н Л. В., Х у д ы ш е в А. Ф., Оборудование для прецизионной электронно-лучевой сварки тугоплавких металлов и сплавов, там же, 1961, № 6; П а т о н Б. Е., Сварка в мире будущего, там же, 1963, № 2; Н а з а р е н к о О. К., Исследование электронно-оптических систем сварочных электронных пушек, Киев, 1962 (Дисс.); B a k i s h R. [ed.], Introduction to electron beam technology, N. Y.—L., [1962].

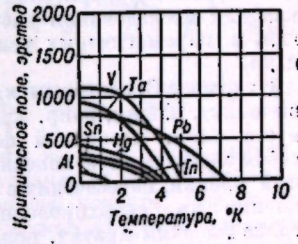
И. В. Шергов.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ (superconductivity; superconductivité; Supraleitung) — физич. явление, состоящее в полном исчезновении электрич. сопротивления у нек-рых металлов (наз. сверхпроводниками) при темп-рах, близких к абс. нулю. Открыта голл. физиком Г. Камерлинг-Оннесом в 1911. Известны (1963) 24 сверхпроводящих элемента (см. табл.), а также большое количество сверхпроводящих сплавов и интерметаллич. соединений. Темп-ра, при к-рой металл переходит из обычного (нормального) состояния в сверхпроводящее, наз. его критич. темп-рой T_c. Последняя зависит от изотопич. состава образца металла. В табл. приведены данные для образцов естеств. состава. Наивысшей известной критич. темп-рой обладает соединение Nb_3Sn ($T_c = 18$°K). Сопротивление сверхпроводника при темп-ре ниже критич. точно равно нулю, поэтому наведенный в сверхпроводящем кольце ток будет течь бесконечно долго (незатухающий ток). Экспериментально проверено, что время затухания больше 10^5 лет (по постоянству магнитного поля незатухающего тока).

Сверхпроводящие металлы

Металл	T_c (°K)	Металл	T_c (°K)	Металл	T_c (°K)
Иридий	0,14	Цинк	0,855	Ртуть (β-модификация)	3,949
Гафний	0,165	Молибден	0,92	Ртуть (α-модификация)	4,153
Титан	0,387	Галлий	1,087	Тантал	4,482
Рутений	0,493	Алюминий	1,18	Лантан (α-модификация)	4,9
Кадмий	0,52	Торий (α-модификация)	1,37	Ванадий	5,03
Цирконий	0,55	Рений	1,699	Лантан (β-модификация)	6,3
Осмий	0,655	Таллий	2,37	Свинец	7,193
Уран (α-модификация)	0,69	Индий	3,408	Ниобий	9,09
		Олово	3,722	Технеций	9,3

При темп-рах ниже T_c можно «разрушить» С. магнитным полем, бо́льшим «критич. поля» H_c. Зависимость $H_c(T)$ для нек-рых сверхпроводников приведена на рис. Кривые близки к параболам $H_c = H_0\,[1-(T/T_c)]^2$. Критическое поле при абс. нуле H_0 обычно тем больше, чем выше T_c. Переход в сверхпроводящее состояние в отсутствие поля является переходом 2-го рода, в магнитном поле — переходом 1-го рода. С. может быть разрушена также пропусканием тока достаточной величины через сверхпроводник. Этот критич. ток зависит от темп-ры примерно так же, как H_c. В слабых полях С. сохраняется до очень больших частот — порядка 10^{10} *гц*.



Сверхпроводящий ток течет по внешней поверхности сверхпроводника, проникая в глубь сверхпроводника примерно на 10^{-5} *см*. Внешнее магнитное поле проникает также лишь на такую глубину (глубина проникновения). Следовательно, сверхпроводник является идеальным диамагнетиком с проницаемостью, равной нулю (эффект Мейснера), и идеальным магнитным экраном. Через образцы очень малого размера (напр., пленки тоньше 1 *мк*) поле частично проникает. Критич. поля тонких пленок выше, чем у массивных сверхпроводников. Сверхпроводящий переход очень тонких пленок в магнитном поле является переходом 2-го рода. Многие сверхпроводящие сплавы обладают особенностями — неполным эффектом Мейснера, двумя критич. полями (для проникновения поля и для появления сопротивления), заставляющими выделить их в группу сверхпроводников 2-го рода. Согласно современным представлениям, перенос тока в сверхпроводниках осуществляется на́рами электронов, возникающими в результате электрон-фононного взаимодействия электронов

через кристаллич. решетку. Это взаимодействие имеет место на расстояниях между электронами, намного больших межатомных расстояний и, примерно, равных 10^{-4} —10^{-3} *см* для чистых сверхпроводников.

С. становится основой ряда важных технич. приложений. Нулевое сопротивление сверхпроводников используется для создания сверхпроводящих магнитов без потерь на джоулево тепло. В качестве материала для обмоток этих магнитов применяются сплавы с высоким значением H_c (напр., сплав Nb—Zr, соединение Nb_3Sn и др.). Уже получены сверхпроводящие магниты, дающие поля больше 100 000 *э*. Ток, питающий такие сверхпроводящие магниты, может подаваться в обмотки извне или же быть незатухающим током (в этом случае обмотка должна быть короткозамкнутой). Преимуществом сверхпроводящих магнитов наряду с отсутствием потерь в обмотках являются исключительное постоянство и стабильность поля. Сверхпроводящие магниты большого размера должны быть более экономичны, чем обычные соленоиды, для получения очень больших полей. Поэтому они должны найти применение в таких установках будущей техники, как магнитогидродинамич. генераторы для непосредств. превращения тепловой энергии в электрич., установки термоядерного синтеза, ракеты с плазменными двигателями и др. устройства, где требуется удерживать плазму магнитным полем. Сверхпроводящие магниты могут быть использованы в ускорителях частиц, в установках для исследования частиц высоких энергий, в парамагнитных усилителях (мазерах) и др.

На основе С. построены *криогенные элементы* вычислит. машин, напр. криотроны. Криотрон в его совр. пленочной форме представляет собой миниатюрную полоску из сверхпроводящей пленки, пересеченную узкой полоской из пленки др. сверхпроводника, обладающего более высоким критич. полем. Полоски разделены пленкой диэлектрика. При пропускании через вторую полоску управляющего тока создаваемое им магнитное поле разрушает С. первой полоски. Т. о., криотрон является электрич. ключом, размыкаемым управляющим током. На криотронах, как активных схемных элементах, можно построить запоминающее, арифметич. и др. устройства вычислит. машины. Преимущества криотронов — их высокая надежность, миниатюрность, простота и дешевизна изготовления, малое потребление энергии. На криотронах могут быть построены запоминающие системы такого большого объема (сравнимые по объему информации с человеческим мозгом), к-рый недоступен для систем на др. быстродействующих элементах. Нек-рые виды криотронов позволяют создавать схемы со временем переключения ок. 1 наносекунды (10^{-9} сек.).

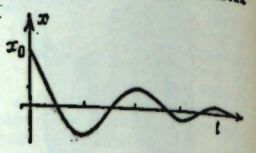
ВЧ св-ва сверхпроводников используются в СВЧ резонаторах с исключительно высокой добротностью и стабильностью частоты; резкость сверхпроводящего перехода — в сверхпроводящих приемниках излучений. Идеальный диамагнетизм сверхпроводников может быть применен для создания подшипников без трения (магнитная подвеска), моторов без потерь, гироскопов высокой точности, электронных микроскопов с повышенной разрешающей силой.

Лит.: Шенберг Д., Сверхпроводимость, пер. с англ., М., 1955; Физика низких температур, пер. с англ., М., 1959, с. 611, 679; Бремер Д., Сверхпроводящие устройства, пер. с англ., М., 1964; Крошот Р., Арп В., Сверхпроводящие магниты, «УФН», 1962, т. 78, вып. 4, с. 653; Линтон Э. А., Сверхпроводимость, пер. с англ., М., 1964.

Р. А. Чегнов.

СВИП-ГЕНЕРАТОР (sweep generator; générateur de balayage; Wippgenerator) — *генератор качающейся частоты.*

СВОБОДНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ (transient component; composante libre; freie Komponente) — общее решение однородной системы дифференц. ур-ний, описывающей САР. Известно, что в общем случае при наличии возмущающего или управляющего воздействия решение такой системы уравнений складывается из двух частей. Первая часть решения представляет *вынужденную составляющую*, а вторая — собственную составляющую. Последняя, в свою очередь, может быть разделена на две. Первая — определяет собственные движения, возникающие в системе под влиянием *возмущающего воздействия*, и зависит от его вида. Эта составляющая имеет место и при нулевых начальных условиях. Вторая — целиком определяется начальными условиями и наз. С. с. (рис., где x — координата; t — время; x_0 — начальное отклонение).



Б. А. Власюк.

СВЯЗАННЫЕ ЦЕПИ (coupled circuits; chaînes couplées; gekoppelte Stromkreise) — электрич. цепи, в к-рых процессы, протекающие в одной цепи, оказывают влияние на процессы в другой цепи. С. ц. могут состоять из элементов с сосредоточ. постоянными (катушек индуктивностей, емкостей и сопротивлений) или с распредел. постоянными (отрезков длинных линий). С. ц. различаются по способу связи между элементами. Основными способами связи являются: индуктивная (трансформаторная), при к-рой С. ц. влияют друг на друга, благодаря наличию взаимоиндукции между катушками индуктивности; автотрансформаторная (кондуктивная), осуществляемая через катушку индуктивности, одновременно входящую в обе С. ц.; емкостная — через конденсатор; гальванич.— через общее сопротивление; комбинированные виды связи. Как и любые электрич. цепи, С. ц. в зависимости от процессов, в них протекающих, разделяются на колебат. и апериодич. С. ц. Наиболее распространенный тип колебат. С. ц.— колебат. электрич. контуры (рис. 1). Чаще всего термин «С. ц.» применяется именно к связанным контурам, а процессы, протекающие в них, наз. связанными колебаниями. Так же как и в обычных колебат. контурах, различают свободные и вынужденные связанные колебания.

Свободные связанные колебания вызываются свободным разрядом конденсатора в системе связанных контуров. При этом возникают два колебания с т. н. парциальными частотами Ω_1 и Ω_2, зависящими от параметров каждого из связанных контуров, и результирующие колебания в обоих контурах имеют форму биений, при к-рых оба контура последовательно обмениваются энергией. Аналогичную «перекачку» колебаний можно наблюдать в системе из двух маятников, когда они подвешены на общем основании и связаны гибкой упругой нитью. Свободные связанные колебания применялись только в искро-

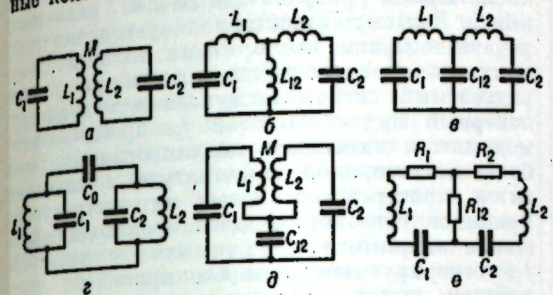


Рис. 1. Различные способы связи контуров: *а* — трансформаторный; *б* — автотрансформаторный; *в, г* — емкостный; *д* —комбинированный; *е* — гальванический.

вых радиопередатчиках затухающих колебаний. При вынужденных связанных колебаниях периодич. процесс в контурах происходит на частоте вынуждающего колебания, а параметры колебат. системы влияют только на реакцию системы на это вынуждающее воздействие. Ток в цепи зависит от того, насколько близко совпадает частота вынуждающего воздействия с собств. частотой колебат. системы, т. е. от того, имеет ли она резонансный характер. Взаимное влияние связанных контуров проявляется в наличии 2 резонансных частот (т. н. частот связи), при к-рых токи в контурах максимальны, а реактивные сопротивления равны нулю; одна из этих частот больше наибольшей из собств. частот контуров ω_1 и ω_2, другая — меньше наименьшей (их наз. еще быстрой и медленной частотами связи). Частоты связи ω_I, ω_{II} зависят также от величины связи между контурами k

$$\omega_{I,\,II}=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2\pm\sqrt{\left(\omega_1^2+\omega_2^2\right)^2-4\left(1-k^2\right)\omega_1^2\,\omega_2^2}}{2\left(1-k^2\right)}}$$

(при малых потерях в контурах). Если $\omega_1=\omega_2=\omega_{рез}$, а потери в контурах характеризуются величиной $d_1=d_2=d$, то резонанс имеет место на частотах:

$$\omega_{I,\,II}=\omega_{рез}\left(1\pm\frac{1}{2}\sqrt{k^2-d^2}\right).$$

Если связь выбрать больше определенной критич. величины, в С. ц. наблюдаются два резонанса; при связи ниже критической ($k<d$) контурам свойственна одна резонансная частота: $\omega_1=\omega_2$. В большинстве схем со С. ц. стремятся добиться макс. значения тока, а следовательно, и мощности во вторичном контуре. Это возможно при разных методах настройки, поэтому различают: 1-й частный резонанс, при к-ром настраивают только 1-й контур; 2-й частный резонанс, когда настройке подвергается только 2-й контур; сложный резонанс, при к-ром настраивают один из контуров и одновременно подбирают связь между контурами; полный резонанс, когда настраивают сначала 1-й контур (при разомкнутом втором), затем — 2-й контур, а потом уже подбирают связь между контурами. Любой из частных резонансов не может обеспечить наибольший максимум тока во вторичном контуре, в то время как и при сложном и при полном резонансе, путем надлежащего выбора связи, можно получить одинаковое значение наибольшего тока во вторичном контуре («максимум-максиморум»):

$$I_{2\,max\,max}=\frac{E}{2\sqrt{r_1 r_2}},$$

где r_1 и r_2 — соответственно активные сопротивления контуров. Однако при полном резонансе для этого необходима меньшая величина связи между контурами. Величина связи в значительной мере определяет полосу пропускания С. ц. (рис. 2):

$$2\Delta\omega_0=\frac{\omega_p}{Q}\sqrt{k^2Q^2-1+\sqrt{2\left(1+k^4Q^4\right)}},$$

где $Q=1/d$ — добротность контуров. При связи меньше критической полосу пропускания можно сделать даже меньше полосы про-

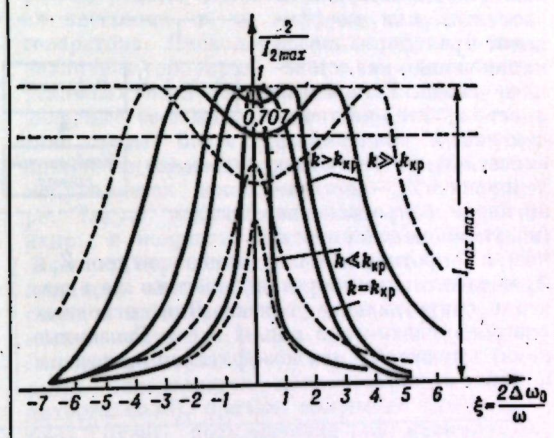


Рис. 2. Резонансные кривые связанных контуров для различных величин связи.

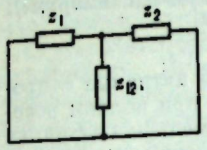
пускания одиночного контура; при критич. связи полоса пропускания в 1,41 раза превышает полосу одиночного контура; при связи выше критической можно получить предельную полосу пропускания (по уровню 0,707), в 3,1 раза превышающую полосу одиночного контура. Зависимость полосы пропускания С. ц. от величины связи широко используется на практике. Это св-во сохраняется и при числе связанных контуров, большем двух. При значительном увеличении числа связанных контуров система превращается в многозвенный фильтр с сосредоточ. постоянными. Различные типы С. ц. служат входными цепями в приемниках, в избират. и полосовых усилителях, в качестве фильтров, в измерит. аппаратуре (резонансные волномеры) и др. Широкое применение имеют и нек-рые апериодич. С. ц., напр. для согласования сопротивлений чаще всего — трансформаторные и автотрансформаторные С. ц. В схемах, содержащих электронную лампу, используются также С. ц. в виде комбинации колебат. контура с апериодическим. Св-ва и процессы в С. ц. определяются только величиной, а не способом связи.

Лит.: Атаев Б. П., Колебательные цепи, 3 изд., М., 1955; Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957.

А. П. Шпаков.

СВЯЗИ КАНАЛ (communications channel; canal de liaisons; Nachrichtenkanal) — см. *Канал, Канал акустический, Канал гидравлический, Длинная линия пневматическая, Канал радио и радиорелейный, Канал связи, Канал связи оптический, Канал телемеханический, Связь оптическая.*

СВЯЗИ КОЭФФИЦИЕНТ (coupling factor; coefficient de couplage; Kopplungskoeffizient) — мера количественной оценки взаимного влияния связанных электрич. цепей, численно равная среднему геометрическому из отношений сопротивления связи к сопротивлению каждого из элементов, связанных между собой. По определению (см. рис.) С. к. равен:



$$k=\sqrt{k_1k_2}=\sqrt{\frac{Z_{12}}{Z_1}\frac{Z_{12}}{Z_2}}=\frac{Z_{12}}{\sqrt{Z_1Z_2}}.$$

Коэффициенты k_1 и k_2, характеризующие отношение сопротивления связи к сопротивлению соответствующего элемента, или коэффициент трансформации по напряжению, наз. степенями связи. Если связь имеет характер чисто индуктивный или чисто емкостный, то сопротивление связи Z_{12} — чисто реактивное сопротивление (индуктивное или емкостное), а сопротивления каждого из контуров Z_1 и Z_2 — реактивное сопротивление того же вида, что и сопротивление связи. Для основных способов связи (см. рис. 1 к ст. Связанные цепи) выражения для коэфф. связи приведены в табл.

Вид связи	Трансформаторная	Автотрансформаторная	Емкостная: внутренняя	Емкостная: внешняя	Комбинированная	Гальваническая
Рис.	1, *а*	1, *б*	1, *в*	1, *г*	1, *д*	1, *е*
k	$\frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}$	$\frac{L_{12}}{\sqrt{(L_1+L_{12})(L_2+L_{12})}}$	$\frac{\sqrt{C_AC_B}}{C_{12}}$	$\frac{C_0}{\sqrt{(C_1+C_0)(C_2+C_0)}}$	$\frac{\lvert X_{12}\rvert}{\frac{1}{\omega}\sqrt{\frac{1}{C_AC_B}}}$	$\frac{R_{12}}{\sqrt{(R_1+R_{12})(R_2+R_{12})}}$

Примечание: M — коэфф. взаимоиндукции; $C_A=C_1C_{12}/(C_1+C_{12})$; $C_B=C_2C_{12}/(C_2+C_{12})$; $|X_{12}|=|\omega M-1/\omega C_{12}|$; в последнем выражении знак зависит от направления намотки катушек L_1 и L_2.

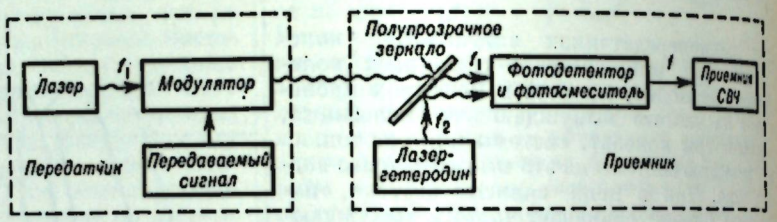
Если коэфф. затухания связанных контуров одинаковы и равны d, то при $k=d$ связь наз. критической, а при $k<d$ и $k>d$, соответственно, ниже и выше критической. Если коэфф. затухания неодинаковы ($d_1\neq d_2$), то

$$k_{кр}=\sqrt{(d_1^2+d_2^2)/2};$$

при $d_2\gg d_1$, $k_{кр}\approx d_2/\sqrt{2}$. С. к. обычно выражается в % или числом <1. Наибольший реально достижимый С. к., близкий к 1, возможен только для трансформаторного способа связи, при спец. бифилярном типе намотки (одновременно двумя проводами).

Лит. см. при ст. *Связанные цепи.* *А. П. Шпаков.*

СВЯЗЬ ОПТИЧЕСКАЯ (optical communication; communication optique; optische Verbindung) — способ передачи и приема информации с помощью электромагнитных колебаний оптич. диапазона (т. о. ультрафиолетового, видимого и инфракрасного света). После создания действующих образцов квантовых генераторов света (см. *Лазер*) появилась практич. возможность для такой передачи информации по *каналу связи оптическому*. Разработка средств С. о. идет по пути создания устройств и методов, в принципе аналогичных разработанным в радиотехнике. Поэтому принципиальную схему передачи и приема информации по оптич. каналу можно представить так (см. рис.): передаваемый сигнал поступает в модулятор; лазерный луч с частотой f_1, пройдя через модулятор, становится модулированным (либо по частоте, либо по амплитуде) и излучается в пространство. Затем он поступает в приемное устройство. Здесь происходит смешение принятого луча и луча с частотой f_2, генерируемого лазером приемного устройства, к-рый является, т. о., местным гетеродином. После смесителя сигнал разностной частоты $f=|f_1-f_2|$ (уже в диапазоне СВЧ) усиливается и регистрируется обычными методами радиотехники СВЧ. Практически указанные операции могут осуществляться с помощью следующих устройств.



1) Передающим лазером может служить любой квантовый генератор когерентного света, работающий в непрерывном режиме, излучение к-рого происходит в пределах малого телесного угла. Возможность чрезвычайно высокой направленности лазерного луча (в пределах 1″) является неоспоримым преимуществом лазеров и при условии высоких кпд (как, напр., в случае полупроводниковых диодных лазеров) позволяет использовать их даже для передачи энергии (а не только информации). Направленность излучения, испускаемого лазером, определяется теми видами колебаний, к-рые возбуждаются в оптич. резонаторе лазера (цилиндрич. сосуд с плоскопараллельными отражающими торцами — в случае газового лазера, объем цилиндрич. монокристалла с полированными, параллельными торцами, снабженными отражающими покрытиями, — в случае рубинового лазера и т. д.). Рабочая частота лазера может регулироваться подбором соответствующего активного материала либо использованием *рассеяния света комбинационного индуцированного* в различных оптич. жидкостях. Однако более перспективным представляется использование т. н. нелинейных св-в диэлектриков для генерации гармоник и перестройки частоты. Вследствие больших напряженностей электрич. и магнитных полей лазерного луча при распространении его в диэлектрич. среде начинают заметно проявляться отклонения в законе колебания электронов этой среды от простого гармоник. закона. Эти отклонения обусловлены тем, что на электрон, помимо электрич. поля волны, действует и магнитное поле (к-рое при обычных интенсивностях имеет ничтожную величину), вследствие чего возбуждаются колебания на верхних гармониках возбуждающей частоты; кроме того, сила, удерживающая электрон в атоме, является не вполне упругой, так что колебания электрона негармоничны, и это приводит к аналогичному эффекту. В принципе все среды обладают подобными нелинейными св-вами. Однако величина эффекта зависит от кристаллич. структуры. Наибольшим нелинейным эффектом обладают кристаллы, к-рые не имеют точки инверсии (пьезоэлектрич. кристаллы), напр. первичный кислый фосфат калия. Т. о., направляя мощный лазерный луч в такую среду, в последней можно возбудить гармоники основной частоты и затем использовать их. При определенных условиях в нелинейной среде можно получить также и перестройку частоты в довольно широких пределах; если, напр., нелинейный кристалл, освещаемый лазерным лучом, поместить внутри оптич. резонатора (эталона Фабри — Перо), то в зависимости от ориентации оси резонатора относительно оси луча в кристалле можно усилить колебания той или иной возбуждаемой частоты.

2) Модуляция света возможна как амплитудная, так и фазовая. Модуляция осуществляется пропусканием лазерного луча через среду, в к-рой создаются модулирующие колебания. Такие колебания могут быть либо механич. (ультразвук), либо электромагнитными. В первом случае используется дифракция света на стоячих УЗ волнах, при скорости звука $\sim 5\cdot10^5$ *см/сек* (плавленый кварц) и при частоте его 10 000 *Мгц* длина волны составляет 0,5 *мк*, и, т. о., луч света, проходящий перпендикулярно через тонкую плоскопараллельную кристаллич. пластину, в к-рой возбуждены такие колебания, будет испытывать дифракцию на решетке, постоянная к-рой равна 0,5 *мк*. Эта решетка будет появляться и исчезать с частотой $2\cdot10\,000$ *Мгц* и с такой же частотой будет модулироваться луч света. Вследствие большого различия скоростей звука и света (примерно в 10^5 раз) расходимость луча света, проходящего через УЗ поле, не должна превышать долей угловой секунды. Для модуляции на более ВЧ подобный метод непригоден: постоянная дифракционной решетки становится меньше рабочей длины волны света, а при этом дифракция невозможна. Кроме того, даже при работе на более низких частотах трудно осуществить акустич. резонатор для частоты модуляции. Поэтому большее внимание привлекают электро- и магнитооптич. среды. Оптич. св-ва таких сред зависят от приложенного электрич. или магнитного поля; меняя напряженность полей, можно менять хар-ки световых колебаний, распространяющихся в подобной среде. На электрооптич. эффекте основаны *электрооптические модуляторы света*. В магнитооптич. модуляторах используются: эффект Фарадея (вращение плоскости поляризации плоскополяризованного света, проходящего через магнитооптич. среду, к-рая помещена в магнитное поле, параллельное направлению луча света); эффект Коттон — Мутона (возникновение двойного лучепреломления в изотропном веществе, помещенном в магнитное поле, к-рое перпендикулярно направлению луча света; вследствие этого плоскополяризованный луч становится эллиптически поляризованным); магнитооптич. эффект Керра (плоскополяризованный луч света при нормальном отражении от намагнич. ферромагнетика становится эллиптически поляризованным). По отношению к генератору света рассмотренные способы модуляции являются внешними, т. к. свет модулируется вне генератора. Поскольку при этом неизбежны различные дополнит. потери и ограничения реальных возможностей передатчика, определяемые св-вами электро- или магнитооптич. среды, более перспективной представляется внутр. модуляция, при к-рой свет модулируется непосредственно в генераторе. Такую модуляцию можно осуществить, напр., с помощью эффекта Зеемана (расщепление спектральных линий на неск. близколежащих линий при помещении источника света в магнитное поле); при этом эффекте можно получить, напр., излучение на двух близких частотах (разность Δf, между которыми определяется напряженностью магнитного поля), причем излучение одной частоты будет поляризовано по правому, а др.— по левому кругу; в результате сложения этих колебаний возникнет поляризованная световая волна, электрич. вектор к-рой вращается с частотой $\Delta f/2$. Аналогичное расщепление спектральных линий можно получить и в электрич. поле (эффект Штарка). Наконец, импульсную модуляцию по амплитуде можно осуществить при импульсной подаче энергии, возбуждающей лазер.

3) Для приема световых сигналов служат различные фотодетекторы, в т. ч. полупроводниковые *фотодиоды*, фотоумножители, *электронно-оптические преобразователи*. Прием по супергетеродинному принципу осуществляется с помощью *фотосмесителей*.

4) Предварит. усиление принятого оптич. сигнала возможно с помощью лазера; при этом в нем должны быть созданы условия, при к-рых коэфф. поглощения отрицателен, но обратная связь недостаточна для самовозбуждения лазера. При практич. осуществлении подобных усилителей возникают значит. трудности, т. к. необходимо с чрезвычайно высокой точностью поддерживать неизменными размеры оптич. резонатора (напр., эталона Фабри — Перо); поэтому, в частности, темп-ру приходится поддерживать с точностью до тысячных долей градуса.

Для передачи оптич. сигнала без потерь (или с усилением) можно использовать активные линии передачи на основе оптич. волокон, изготовленных из стекла с различными присадками, к-рые позволяют получить в этом материале лазерный эффект (см. *Стеклянный лазер*). Если не требуется, чтобы сигнал на выходе усилителя был когерентным, то для усиления света или светового

изображения можно применять усилители света и изображений на основе *электролюминесцентных элементов* и панелей. На качество С. о. влияют шумы фотодетекторов, частотные хар-ки приемных и передающих устройств, св-ва среды, в к-рой распространяется сигнал (поглощение, дисперсия, рассеяние).

Лит.: Лазеры. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; «Труды Ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике» (США), рус. пер., 1963, т. 51, № 1. *М. М. Горшков.*

СДВИГ ФАЗЫ (phase shift; déphasage; Phasenverschiebung) — разность фаз двух гармонич. ф-ций, изменяющихся с одинаковой частотой.

С. ф. играет важную роль при прохождении сигнала через системы, содержащие реактивные элементы (устройства), предназначенные для сдвига сигнала во времени (линии задержки, устройства запаздывания и т. д.). В общем случае С. ф. неодинаков для гармонич. сигналов различных частот. Что является причиной искажения формы электрич. сигналов (содержащих составляющие с различными частотами) при прохождении их через электрич. систему, даже если эта система одинаково усиливает все составляющие сигнала. Такой тип искажений наз. фазовым и наблюдается в усилителях ВЧ и НЧ, в линиях задержки и др. устройствах. Фазовые искажения могут быть скорректированы добавлением цепи, выравнивающей время прохождения для всех частот сигнала (фазовый выравниватель). Если в замкнутой электрич. цепи суммарный С. ф. станет равным $2\pi n$ ($n = 1, 2, \ldots$) для к.-л. частоты, то устойчивость системы может нарушиться и в ней могут возникнуть колебания с этой частотой. Это лежит в основе создания многих генераторов периодич. сигналов (LC-, RC-генераторы и т. д.). В ТАР различают *опережение фазы* и *отставание фазы*. *В. П. Тюрин.*

СЕГРЕГАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТ (коэффициент распределения примесей в ПП) (segregation factor; coefficient de ségrégation; Ausscheidungskoeffizient) — см. *Выращивание монокристаллов по Чохральскому, Зонная плавка.*

СЕЛЕКТИВНОСТЬ (избирательность) (selectivity; sélectivité; Selektivität) — способность автоматич. устройства из множества сигналов, несущих различную информацию, выделять полезные сигналы или реагировать только на сигналы с заданными заранее установленными параметрами, независимо от времени их действия и физ. природы. Требование высокой степени С. предъявляется: к устройствам релейной защиты от различного рода повреждений элементов электрич. цепей, сетей и систем, путем отключения лишь поврежд. элементов; к устройствам ТУ неск. объектов, когда требуется, чтобы из множества командных импульсов, передаваемых по единому для всех каналу связи, каждый объект реагировал лишь на «свои» команды; к считывающим устройствам элементов накопителей вычислит. машин любого типа, когда нужно точно установить выборку заданной части информации, записанной в накопителе; ко всем радиоприемным устройствам, радиорелейным линиям, многоканальным линиям связи и др. при настройке на данный источник информации и т. д.

Лит.: Федосеев А. М., Релейная защита электрических систем, М.—Л., 1952. *А. Г. Ав...*

СЕЛЕКТОР АМПЛИТУДНЫЙ (amplitude selector; sélecteur d'amplitude; Amplitudenwähler) — устройство, позволяющее выделить из имеющейся последовательности импульсов только те, амплитуда к-рых превышает нек-рый заданный уровень или находится в пределах заданного интервала ΔU, выдел. над заданным уровнем. Простейший С. а. представляет собой *амплитудный дискриминатор импульсов.* С. а., выделяющий импульсы, амплитуды к-рых находятся в заданном интервале, состоит из двух амплитудных дискриминаторов импульсов и *антисовпадений схемы.* *Р. В. Фельдм...*

СЕЛЕКТОР ЧАСТОТНЫЙ [frequency selector; sélecteur fréquentiel (de fréquence); Frequenzwähler] — устройство, позволяющее выделить (отселектировать) радиосигналы заданной частоты. В многоканальных линиях связи С. ч.— устройство для одновременного раздельного приема сигналов каждого канала, отличающихся один от другого значениями несущих или поднесущих частот. В С. ч. используется явление разонанса. Технич. основа С. ч.— полосовые фильтры как электрич., так и электромеханические. Качество работы С. ч. характеризуется степенью остаточного влияния сигналов соседних каналов друг на друга, степенью влияния помех (определяется избирательными св-вами фильтров), а также степенью искажения сигналов, проходящих через селектор (определяется соответствием частотной хар-ки каждого канала спектру сигнала). Любой радиоприемник может служить примером простейшего С. ч.

Лит. см. при ст. *Резонанс.* *Н. А. Мин...*

СЕЛЕКЦИЯ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ (remote-control signals selection; sélection des signaux transmis à distance; Auswahl von Signalen in der Fernwirktechnik)— разделение элементарных сигналов телемеханич. сообщений. Иногда под С. т. с. понимается формирование сигналов для передачи адресной телемеханич. информации и наз. *избиранием*, а методы разделения сигналов различных каналов в многоканальных системах связи и ТИ наз. *разделением каналов.* При передаче большого числа сообщений из элементарных сигналов (аналогичных буквам) составляются кодовые комбинации (слова). При малом числе сообщений каждому из них соответствует определ. элементарный сигнал.

Основные виды С. т. с. и их осуществление: С. т. с. по частоте — выполняется устройствами, пропускающими полосу частот, соответствующих сигналу (последоват. и паралл. резонансными контурами, электрич. полосовыми или электромеханич. фильтрами); С. т. с. по времени — разделение сигналов, запаздывающих относительно нек-рого опорного (запускающего) импульса, при помощи ждущих генераторов импульсов различной длительности, схем совпадения и распределителей; С. т. с. полярная осуществляется при помощи поляризов. реле, схем однополярных усилителей импульсов, схем с вентилями и др. устройств, реагирующих на полярность импульса; С. т. с. амплитудная —выполняется с помощью ограничителей и различных амплитудных селекторов; С. т. с. по длительности посылок обеспечивается электромагнитными реле, интегрирующими цепями с пороговыми устройствами и др. селекторами по длительности импульсов; С. т. с. комбинированная — совместное применение различных селекторов, напр. селекторов полярности и длительности; очень редко используется С. т. с. по фазе синусоидальных колебаний; принципиально возможна, но не применяется С. т. с. по форме сигнала. Эти виды С. т. с. возможны тогда, когда сигналы отличаются значением только одного импульсного признака; при неск. признаках необходима комбинац. (кодовая) селекция. *В. В. Наумченко.*

СЕЛЕН (selenium; sélénium; Selen), Se,— элемент VI группы периодич. системы, являющийся одним из материалов ПП техники. В природе С. встречается в виде изоморфной примеси к сульфидным минералам. Основным источником получения С. в пром-сти является анодный шлам, выпадающий на дно электролитич. ванн при рафинировании меди. Дополнит. очистка С. производится путем перекристаллизации из раствора Na_2SeSO_3. С. растворяется в концентриров. растворах щелочей, в азотной кислоте, в сероуглероде и растворах цианистых солей. Галогениды С. легко разлагаются водой; с металлами С. образует селениды; при темп-ре выше 523°K взаимодействует с водородом; с кислородом образует двуокись С. (SeO_2). Соединения С. ядовиты. Существует неск. аллотропич. модификаций С.: аморфный черный, кристаллич. красный моноклинный и серый гексагональный, каждый из них является ПП (или почти диэлектриком). Аморфный С. получают в виде стеклообразного вещества при быстром охлаждении его расплава ниже точки плавления; в виде порошка— при выделении из растворов. Красный С. выделяется при кристаллизации из сероуглеродного раствора С. Серый гексагон. С. создается путем термообработки аморфного С. при темп-ре свыше 450°K. Серый С. при темп-ре выше комнатной является термодинамически устойчивой формой и представляет наибольший практич. интерес. Нек-рые физ. св-ва С. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства	Единица измерения	Численное значение
Атомный номер	—	34
Атомный вес	—	78,96
Постоянные решетки	Å	$a = 4{,}355$; $c/a = 1{,}365$
Плотность при 300° K	$г/см^3$	4,8
Твердость по Бринеллю	$кг/мм^2$	75
Коэфф. линейного расширения	$град^{-1}$	$37\cdot10^{-6}$
Теплопроводность	кал/см·сек·град	$2{,}6\cdot10^{-3}$
Уд. теплоемкость (c_p) в интервале темп-р 295—335° K	кал/г·град	0,084
Темп-ра плавления	°K	493
Уд. теплота плавления	кал/г	15,4
Темп-ра кипения	°K	961
Диэлектрич. постоянная	—	6,3
Ширина запрещенной зоны при 300° K:		
аморфного	эв	2,2
гексагонального	эв	1,79
расплавленного	эв	2,3
Дрейфовая подвижность дырок при 300° K	$см^2/в\cdot сек$	1
Проводимость p-типа при 300° K:		
аморфного	$(ом\cdot см)^{-1}$	$<10^{-12}$
гексагонального	$(ом\cdot см)^{-1}$	10^{-6}

При изучении поликристаллич. образцов и даже монокристаллов гексагонального С. наблюдаются: нелинейная зависимость тока от напряжения, заметная частотная зависимость величины проводимости, экспоненциальная зависимость подвижности от темп-ры [$\mu_p \approx \exp(-0{,}13/kT)$], резкое возрастание подвижности при расплавлении до значения 1000 $см^2/в\cdot сек$. Предполагают, что указанные св-ва С. обусловлены внутр. потенциальными барьерами, существующими в С. вследствие особенностей его структуры. Атомы гексагонального С., связанные между собой ковалентными связями, образуют ряд параллельных спиральных цепочек. Энергия связи Se—Se порядка 2,3 эв. Цепи удерживаются вместе силами Ван-дер-Ваальса. Внутри цепочек носители тока могут двигаться свободно, но для перехода в соседнюю цепочку им необходимо преодолеть потенциальный барьер. Источниками носителей заряда могут быть дефекты структуры, появляющиеся на концах цепочек. Их число зависит от условий кристаллизации (предыстории образца) и от наличия посторонних примесей. Обнаружено, что почти все примеси не меняют дырочный тип проводимости, причем галогены (Cl, Br, J) сильно увеличивают проводимость [до значений 10^{-2} $(ом\cdot см)^{-1}$], а такие примеси, как Hg, S, As уменьшают ее. Многие примеси в С. обладают высокой подвижностью ионов, что приводит к гистерезисным явлениям из-за структурных изменений при прохождении электрич. тока. В табл. 2 приведены данные для определения коэфф. диффузии [$D = D_0\exp(-Q/T)$] ряда элементов в С.

Таблица 2

Элементы	D_0 ($см^2/сек$)	Q (кал/моль)
Zn	$3{,}8\cdot10^{-7}$	6700
In	$5{,}2\cdot10^{-6}$	7400
Tl	$1{,}4\cdot10^{-6}$	8100
Ge	$9{,}4\cdot10^{-6}$	9150
Sn	$4{,}8\cdot10^{-8}$	9000
Sb	$2{,}8\cdot10^{-8}$	6630
Te	$5{,}4\cdot10^{-6}$	12340

С. применяется в качестве основы ПП выпрямителей, к-рые, однако, вытесняются *диодами германиевыми* и *диодами кремниевыми*. Фотоэлементы, изготовл. на основе С., используются в измерит. светотехнике. Интегральная чувствительность С. относительно невелика — неск. сот мка/лм; наибольшая его чувствительность относится к красной области спектра. С. применяется для изготовления светофильтров и ИК поляроидов, для окраски стекол, при произ-ве теплостойкой и долговечной резины, красителей и т. д.

Лит.: Юхтанов Д. М., Производство селена и теллура, М., 1955; Мосс Т., Оптические свойства полупроводников, пер. с англ., М., 1961, гл. 11, с.177; Справочник по электротехническим материалам, т. 2, М.—Л., 1960, с. 326—30, 375—76; Болтакс Б. И., Диффузия в полупроводниках, М., 1961, с. 312—17. *Ю. А. Концевой.*

СЕЛЬСИН (самосин, автосин) (selsyn, synchro, magslip, autosyn; selsyn, synchro; Drehmelder) — самосинхронизирующаяся электрич. машина, служащая для *дистанционной передачи* угла поворота вала другой машине. С.-датчик (СД) механически связывается с валом, а у электрически соединенных с ним С.-приемников (СП) повороты осей роторов будут синхронно и синфазно следовать за поворотами оси ротора СД. Для дистанц. измерения алгебраич. суммы поворотов двух валов используются дифференц. С.

С. имеют две обмотки. У дифференц. С. обе обмотки трехфазные, у других С.— одна из обмоток однофазная. Трехфазная обмотка располагается в пазах статора или ротора со сдвигом фаз 120°. Конструкция и технология сборки С. (сдвиг паза вдоль оси машины, веерная сборка пакетов железа и т. п.) обеспечивают идентичность магнитных цепей для потока каждой фазы обмотки и синусоидальное распределение по окружности ротора или статора намагничивающей силы, создаваемой однофазной обмоткой. Если однофазную обмотку СД включить в сеть перем. тока (в этом случае она наз. обмоткой возбуждения), то во всех трех фазах его трехфазной обмотки (наз. обмоткой синхронизации) возникнут эдс. Эти эдс синфазны, но различаются по амплитуде, напр. при сдвиге оси 1-й фазы трехфазной обмотки на угол α от оси потока однофазной обмотки эдс 1-й фазы будет пропорциональна величине потока и синусу угла α, эдс 2-й фазы — величине потока и синусу угла $\alpha + 120°$, эдс 3-й фазы — величине потока и синусу угла $\alpha + 240°$. При включении трехфазной обмотки С. на симметричную нагрузку соотношение токов в фазах обмотки будет таким же, как соотношение эдс. Эти токи создадут в СД синфазные потоки. Ось результирующего потока будет направлена по оси потока возбуждения. Взаимодействие этих двух потоков не будет создавать в машине вращающего момента.

Если оси трехфазной обмотки в к.-л. СП совпадают в пространстве с осями фаз СД, то пространств. направление оси результирующего потока у СП будет таким же, как и у СД. Т. о., данная схема позволяет создать в СП такой поток трехфазной обмотки, что поворот оси этого потока следует за поворотом оси потока возбуждения СД. Если при этом у СП 2-я обмотка однофазная, то при ее подключении к сети перем. тока вся сельсинная схема будет работать в режиме индикаторной дистанц. передачи (рис. 1).

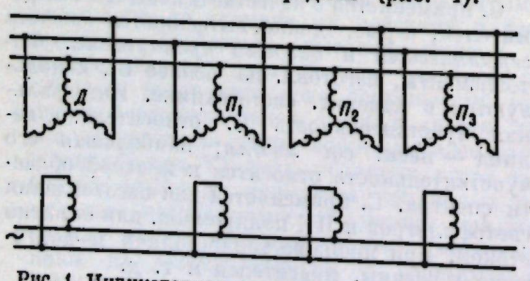


Рис. 1. Индикаторная схема включения сельсинов: *Д* — датчик; $П_1$, $П_2$, $П_3$ — приемники.

При несовпадении осей потоков возбуждения у СД и СП в каждой машине возникнут вращающие моменты (т. н. синхронизирующие моменты). У СП этот момент будет стремиться повернуть ротор в такое положение, при к-ром ось потока возбуждения будет совпадать с осью результирующего потока (к-рый создан токами обмотки синхронизации, вызванными эдс, наведенной потоком возбуждения СД), т. е. перевести ротор СП относительно статора СП в положение, согласованное с положением ротора СД относительно статора СД.

У СД вращающий момент будет стремиться повернуть его ротор в положение, при к-ром ось потока возбуждения СД будет совпадать с осью результирующего потока, созданного токами фаз синхронизирующей обмотки, к-рые вызваны эдс, наведенными потоком возбуждения СП.

Если однофазную обмотку СП не подключать к сети перем. тока, а эдс, наводимую в этой обмотке потоком обмотки синхронизации, использовать для управления (обычно через усилитель) серводвигателем (рис. 2),

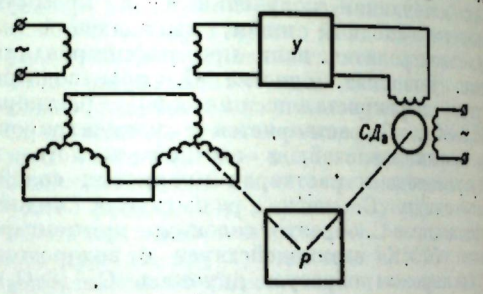


Рис. 2. Трансформаторная схема включения сельсинов: *У* — усилитель; $СД_В$ — серводвигатель; *Р* — редуктор.

поворачивающим ротор СП в положение, при к-ром эдс однофазной обмотки становится равным нулю, то сельсинная схема будет работать в режиме трансформаторной следящей системы. В этой схеме согласованным является положение, при к-ром ось однофазной обмотки СП сдвинута на 90° от оси результирующего потока синхронизирующей обмотки СП, ибо именно в этом случае эдс в указанной обмотке равна нулю.

Применение усилителей и серводвигателей позволяет получить весьма значит. синхронизирующие моменты на приемном устройстве — до десятков и сотен *кгс·м* на градус рассогласования роторов СД и СП.

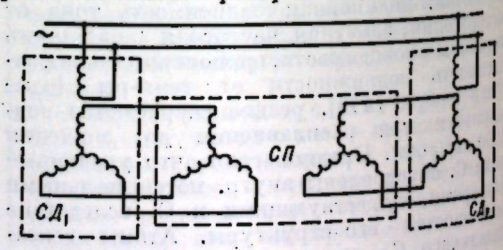


Рис. 3. Дифференц. схема включения сельсинов.

Если использовать в качестве СП дифференц. С. (рис. 3), то одна из его трехфазных обмоток подключается к трехфазной обмотке $СД_1$ и вторая трехфазная обмотка — к трехфазной обмотке $СД_2$, образуя т. н. дифференц. схему сельсинной передачи. Т. к. ось результирующего потока 1-й трехфазной обмотки СП будет соответствовать положению оси потока возбуждения $СД_1$, в отношении его обмотки синхронизации, а ось результирующего потока 2-й трехфазной обмотки СП — оси потока возбуждения второго $СД_2$, то вращающий момент (синхронизирующий момент) у СП будет стремиться повернуть его ротор на угол, равный разности углов поворота $СД_1$ и $СД_2$. Кроме трех перечисленных осн. сельсинных схем, иногда применяется еще т. н. фазовая схема включения сельсинов, при к-рой трехфазные обмотки СД и СП подключаются к трехфазной сети, а однофазные обмотки, являющиеся в этом случае обмотками синхронизации, соединяются друг с другом.

С. подразделяются на контактные и бесконтактные. Контактные С. можно разделить на 4 осн. группы: 1) С. с магнитной цепью, выполненный по типу, близкому к машинам пост. тока (рис. 4). В этом случае у С. обмотка возбуждения расположена на явно выраженных полюсах статора *1*, а трехфазная обмотка синхронизации — в пазах, к-рые равномерно распределены по окружности ротора *2*. Концы обмоток синхронизации выводятся на три контактных кольца, установленных на роторе; 2) С. с магнитной цепью, выполненный по типу синхронной машины (рис. 5) с явно выраженными полюсами ротора. Однофазная обмотка возбуждения помещается на полюсах ротора *1*, а трехфазная обмотка синхронизации — в пазах статора *2*. На оси ротора устанавливаются два контактных кольца для подачи напряжения на катушку возбуждения; 3) С. с магнитной цепью, построенный по типу синхронных машин с неявно выраженными полюсами ротора (рис. 6). Обмотка возбуждения укладывается в пазы по окружности ротора. Концы обмотки возбуждения подведены к двум кольцам, находящимся на оси ротора *1*. Обмотка синхронизации укладывается в пазах, распределенных по окружности статора *2*; 4) С. с магнитной цепью, выполненный по типу асинхронного двигателя с фазным ротором. К этой группе следует отнести дифференц. С., у которого одна из трехфазных обмоток расположена в пазах ротора, а вторая — в пазах статора; на роторе предусмотрены три контактных кольца для связи с обмотками.



Рис. 4. Схема сельсина (1-я группа), магнитная цепь к-рого близка к магнитной цепи машин пост. тока.

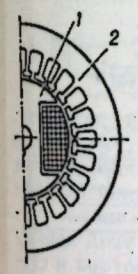


Рис. 5. Схема сельсина (2-я группа), магнитная цепь к-рого выполнена по типу магнитной цепи синхронной машины.

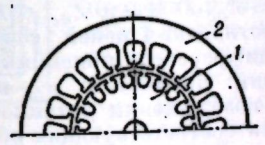


Рис. 6. Схема сельсина (3-я группа) с магнитной цепью по типу магнитной цепи синхронных машин с неявно выраженными полюсами.

С. 1-й и 4-й групп менее надежны в работе, т. к. у них сопротивление переходных контактов ротора включено в цепь обмотки синхронизации, и его изменение может внести значительную ошибку в работу сельсинной системы. Нарушение контакта может повлечь за собой аварийный режим и ошибку передачи, достигающую десятков градусов. Кроме того, в цепи синхронизации при малых углах рассогласования действуют лишь малые напряжения, и малейшее загрязнение контактного перехода может вызвать нарушение работы системы.

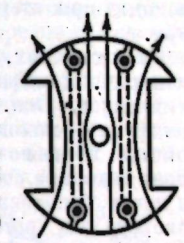


Рис. 7. Демпферная обмотка.

Недостаток С. 2-й и 3-й групп — необходимость обеспечивать большое давление на щетках ротора, т. к. через них постоянно проходит ток возбуждения. Действительно, момент трения на имеющем два кольца контактном С. 2-й группы (тип НС-404) составляет 11 *гс·см*, тогда как у С., имеющего три кольца (тип СС-404), момент трения лишь 9 *гс·см*, что почти вдвое меньше в расчете на один контактный переход.

Контактные СД выполняются, как правило, по 2-й конструктивной группе. Часто требуется передача угловых перемещений в неск. приемных пунктов; тогда к одному СД присоединяется несколько СП. При этом СД должен обладать достаточной мощностью и выбирается бо́льших размеров, чем СП. Момент трения СД больше момента трения СП. Так, для идентичных по конструкции и габаритам С. НД—501 (датчик) и НС—501 (приемник) моменты трения возбужд. машин соответственно равны 70 *гс·см* и 30 *гс·см*.

Основные показатели качества изготовления СП: добротность — отношение удельного синхронизирующего момента (в *гс·см/град*) к моменту трения на его оси, и точность. В зависимости от величины статической ошибки различают 3 класса точности СП:

Класс	Ошибка $\|\delta\| <$
1-й	0,75°
2-й	0,75—1,5°
3-й	1,5—2,5°

По конструктивному выполнению СП аналогичен СД, но обладает меньшими размерами, чем СД, работающий на неск. приемников, и имеет демпфирующее устройство. При повороте оси датчика ротор приемника занимает новое согласованное положение не сразу, а лишь после неск. колебаний относительно этого положения. Время успокоения СП — один из важных показателей синхронной передачи и обычно не превосходит двух сек. Демпфирующие св-ва СП определяются по характеру затухания колебаний ротора приемника после начального рассогласования на нек-рый угол θ.

Электрич. демпферы состоят из спец. коротко-замкнутых обмоток, оси к-рых расположены под углом 90° к оси обмотки возбуждения и не воздействуют на магнитный поток, создаваемый этой обмоткой. При колебаниях ротора приемника в демпфирующей обмотке возникают электрич. потери, к-рые покрываются за счет кинетич. энергии движения ротора приемника. Т. о., демпфирующая обмотка вводит в систему затухание. На рис. 7 показана демпфирующая обмотка, состоящая

из двух самостоят. короткозамкнутых изолиров. витков на роторе. Каждый виток состоит из двух медных стержней, размещаемых в пазах на полюсах ротора, и двух перемычек, соединяющих стержни в торцевых частях ротора.

В тех случаях, когда невозможно получить электрич. демпфирование, применяется механическое. Осн. элемент любого механич. демпфера — маховая масса и фрикц. устройство. При возникновении колебаний маховая масса за счет большой инерции остается почти неподвижной, и на оси С. вследствие поворота оси ротора относительно маховой массы появляется дополнит. момент трения. На его преодоление расходуется часть кинетич. энергии движущегося ротора, что ведет к затуханию его колебаний. На рис. 8 показан двухступенчатый фрикционно-инерц. демпфер. Менее распространен ртутный механич. демпфер. Маховой массой в нем является ртуть. Корпус демпфера с крышкой и размещаемая между ними перегородка с отверстиями являются фрикц. устройством. При колебаниях ротора ртуть, заполняющая демпфер, через отверстия в перегородках перемещается из одной полости корпуса в другую. Трение ртути о стенки перегородки и корпуса создает необходимый демпфирующий момент на оси С.

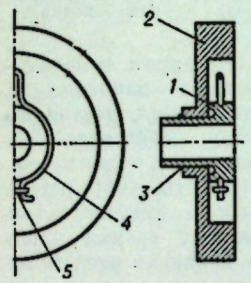


Рис. 8. Двухступенчатый фрикционно - инерционный демпфер: *1* — втулка; *2* — маховое колесо; *3* — стопорное пружинное кольцо; *4* — пружина и *5* — зажим фрикц. устройства.

Величина момента на валу СД определяется по ф-ле

$$M_д = \frac{3}{2}\cdot\frac{1{,}02\cdot10^4}{\omega}\cdot\frac{E_{вд}E_{вп}}{2z}\frac{W_д k_w}{W_{вд}}\frac{W_п k_w}{W_{вп}}\sin(\alpha-\beta)\times$$
$$\times\left[\cos(\varphi_п-\varphi_д)\frac{x}{z}-\sin(\varphi_п-\varphi_д)\frac{R}{z}\right]$$

Величина момента на оси СП определяется по ф-ле

$$M_п = \frac{3}{2}\cdot\frac{1{,}02\cdot10^4}{\omega}\cdot\frac{E_{вд}E_{вп}}{2z}\cdot\frac{W_д k_w}{W_{вд}}\times$$
$$\times\frac{W_п k_w}{W_{вп}}\sin(\beta-\alpha)\times$$
$$\times\left[\cos(\varphi_п-\varphi_д)\frac{x}{z}+\sin(\varphi_п-\varphi_д)\frac{R}{z}\right]$$

Здесь $E_{вд}$ и $E_{вп}$ — эдс возбуждения и $W_д$ и $W_п$ — число витков обмоток синхронизации датчика и приемника, k_w — обмоточный коэфф. обмотки синхронизации, $2z = 2|R + jX|$ — полное сопротивление в цепи каждой пары последовательно включенных фаз датчика и приемника, α — угол между осью первой фазы обмотки синхронизации и осью потока возбуждения у датчика, β — то же у приемника, $\varphi_п-\varphi_д$ — фазовый сдвиг между напряжениями питания обмоток возбуждения датчика и приемника, $W_{вд}$ и $W_{вп}$ — числа витков обмотки возбуждения датчика и приемника, $\omega = 2\pi f$ — угловая частота.

СД в индикаторной схеме может быть разгружен от реактивного момента введением сдвига фаз между напряжениями питания датчика и приемника. Оптимальной при этом является схема (рис. 9) с компенсацией реактивных составляющих в обмотках синхронизации и сдвигом фазы напряжения возбуждения приемника на 36°.

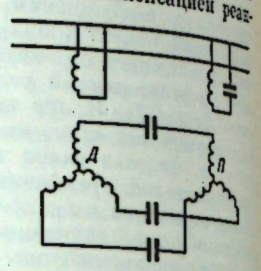


Рис. 9. Сельсинная схема с разгрузкой датчика Д от реактивного момента; П—приемник.

Дифференц. схема сельсинной передачи (рис. 3) предназначена для выполнения алгебраич. сложения в электромеханич. счетно-решающих устройствах и состоит из двух СД и С.-дифференциала, используемого в качестве приемника.

Если связать ось дифференц. С. со стрелкой, пером и т. п., а оси обычных С.— с двумя первичными приборами, то дифференц. С. будет давать разность показаний этих первичных приборов. Если с первичными приборами связать дифференц. С. и один из обычных С., то стрелка или перо на оси второго обычного С., будет отмечать сумму показаний обоих первичных приборов.

Схемы с дифференц. С. допускают также и многократное суммирование и аналогичные операции. С.-дифференциалы выполняются по 4-й конструктивной группе. Магнитная цепь С.-дифференциала обязательно должна состоять из неявнополюсных статора и ротора, т. к. магнитный поток поворачивается как относительно статора, так и относительно ротора. Величина момента на валу С.-дифференциала определяется по ф-ле:

$$M_c = \frac{3}{2}\cdot\frac{1{,}02\cdot10^4}{\omega}\cdot\frac{E_{fa}E_{fb}}{Z_{ac}+Z_{bc}}\cdot\frac{w_{вэ}}{w_{fa}}\times$$
$$\times\frac{w_{вэ}}{w_{fb}}\sin[0-(\beta-\alpha)]\times$$
$$\times\cos[(\varphi_a-\varphi_b)-(\varphi_{ac}-\varphi_{bc})],$$

где E_{fa} и E_{fb} — эдс возбуждения датчиков; $Z_{ac} = Z_{ac}\cdot e^{-j\varphi_{ac}}$ и $Z_{bc} = Z_{bc}\cdot e^{-j\varphi_{bc}}$ — полные сопротивления цепей соответственно датчика a (дифференц. приемник) и датчика b (дифференц. приемник); w_{fa} и w_{fb} — числа витков возбуждения датчиков; θ — угол между осями соответствующих обмоток ротора и статора; $\varphi_a-\varphi_b$ — фазовый сдвиг между напряжениями питания обмоток возбуждения датчиков; α — угол поворота ротора датчика a; β — угол поворота ротора датчика b; $w_{вэ}$ и $w_{вэ}$ — эффективные числа витков фазных обмоток датчиков; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота.

Для следящей сельсин-трансформаторной схемы осн. показателями работы являются: крутизна зависимости эдс выходной обмотки от угла рассогласования, выходное сопротивление $R_{вых}$ и статич. и динамич. ошибки. Точность следования синхронной передачи, в к-рой С. используется в трансформаторном режиме, может составлять неск. угловых минут.

Конструктивно С.-тр-р выполняется так же, как и С., работающие в индикаторном режиме. Наиболее часто встречаются С.-тр-ры, выполненные по 2-й и 3-й конструктивным группам, причем предпочтительнее магнитная цепь, состоящая из неявнополюсных

ротора и статора, т. к. в согласованном положении ось однофазной обмотки перпендикулярна оси потока трехфазной обмотки. При расположении однофазной обмотки на явновыраженных полюсах магнитный поток будет направлен поперек полюсов и должен проходить большой путь по воздуху. Для создания потока требуется значит. намагничивающий ток. Величина его зависит от взаимного положения осей потока и однофазной обмотки, и при параллельной работе неск. приемных С.-тр-ров они могут влиять друг на друга. С.-тр-р выполняется как с однофазной обмоткой на роторе и трехфазной на статоре, так и с однофазной обмоткой на статоре и трехфазной на роторе. Момент трения С.-тр-ра не имеет такого значения, как в случае индикаторной сельсинной передачи, т. к. поворот оси приемника осуществляется принудительно с помощью достаточно мощного электродвигателя следящей системы.

Лит.: Штурман Г. И., Индукционные машины в системе электрических валов (сельсины), М., 1938; Васильев Д. В., Индукционные системы синхронной связи, Л.—М., 1949; Иосифьян А. Г., Свечарник Д. В., Сельсины, М.—Л., 1941 (труды ВЭИ, вып.57); Мкртчян Д. П., Хрущев В. В., Однофазные сельсины, Л., 1957; Свечарник Д. В., Дистанционные передачи, М.—Л., 1959; его же, Сельсины и их применение в системах автоматизации производственных процессов, М.—Л., 1962; Иосифьян А. Г., Каган Б. М., Основы следящего привода, М.—Л., 1954. *Д. В. Свечарник.*

СЕЛЬСИН БЕСКОНТАКТНЫЙ (contactless selsyn; selsyn sans contacts; kontaktloser Drehmelder) — сельсин, не имеющий контактов для подвода тока к обмотке ротора. В СССР получили распространение С. б., построенные в ВЭИ по схеме Иосифьяна и Свечарника. Осн. особенность этих сельсинов — введение потока возбуждения в расточку статора в аксиальном направлении и использование ротора, к-рый шихтуется в плоскости, параллельной продольной оси машины (рис. 1). Магнитный поток, создаваемый однофазными кольцеобразными катушками возбуждения f_1 и f_2, через дополнит. зазор δ_1 проходит в первый пакет ротора P_1 и через осн. зазор — в зубцы пакета статора. Далее он идет по спинке статора и через зубцы пакета статора и осн. зазор попадает во второй пакет ротора P_2, отделенный от первого немагнитной прослойкой, и замыкается через второй дополнит. зазор δ_2 и дополнит. магнитопровод M. Т. о., в статоре и в размещенной в его пазах трехфазной обмотке синхронизации при повороте ротора все явления протекают принципиально таким же образом, как и в соответствующих элементах контактного сельсина. Были предложены разнообразные конструктивные модификации С. б. как с аксиальными, так и с радиальными дополнит. зазорами и дополнит. элементами магнитопровода в виде тороидов и наружных пакетов, проходящих над внешней поверхностью пакета статора. На основе последней модификации выпускаются совр. конструкции С. б.: датчики БД-404, БД-501 и приемники БС-404, БС-405, БС-501, а также сдвоенный сельсин ДБС-500. Конструкция С. б. с внешнезамкнутым потоком возбуждения вызывает определ. технологич. и конструктивные трудности.

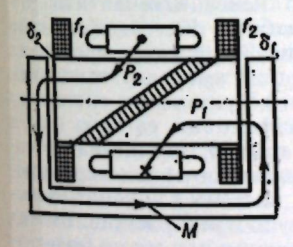


Рис. 1. Продольный разрез бесконтактного сельсина ВЭИ.

В тех случаях, когда существенно отношение полезного потока к поперечному сечению машины и когда нужно получить при заданном наружном диаметре наибольший полезный поток за счет соответствующего увеличения длины машины, возможно применение С. б. с двусторонним вводом потока (рис. 2). Поток, создаваемый обмоткой возбуждения *1*, проходит вдоль коротких наружных пакетов *2* через тороид *3* и дополнит. зазор и попадает в роторный пакет *4*. Из роторного пакета *4* поток, как и в обычном сельсине, проходит через осн. зазор в зубья статора *5*; через спинку статора, снова зубья и осн. зазор поток попадает во второй роторный пакет *6* и замыкается через дополнит. зазор и затем тороид *7*. Форма роторного пакета предусматривает, с одной стороны, удвоение площади для прохождения потока из роторного пакета в тороид *7* и, с др. стороны, малое рассеяние потока между пакетом *6* и тороидом *3*. Поток, создаваемый обмоткой *1'*, замыкается аналогично. Потребность в таких сельсинах возникает, напр., тогда, когда на огранич. поверхности пульта или щита нужно расположить наибольшее количество сельсинных приборов, причем глубина щита не столь строго лимитирована. Существ. достоинство С. б. с двусторонним вводом потока — лучшие динамич. хар-ки.

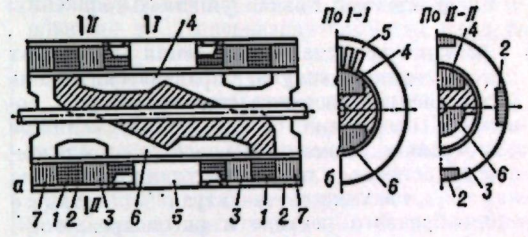


Рис. 2. Бесконтактный сельсин с двусторонним вводом потока в статор; *а* — продольный разрез; *б* — поперечный.

С. б. имеют те же классы точности, что и контактные *сельсины*. Однако по уд. синхронизирующему моменту последние обладают преимуществами перед С. б. равных габаритов. Так, контактный сельсин НС-404 и бесконтактный БС-404 имеют одинаковые габариты и коэфф. добротности 1,0, но уд. синхронизирующий момент их равен соответственно 10 *гс·см/град* и 4,5 *гс·см/град*. Это объясняется наличием дополнит. зазоров и дополнит. участков магнитопровода в магнитной цепи С. б. Тем не менее в связи с весьма высокой надежностью (число отказов в час С. б. порядка $4-5\cdot10^{-6}$ и лишь незначительно превышает число отказов такой надежной радиодетали, как пост. сопротивление) С. б. все более вытесняют контактные из всех ответств. схем автоматики и контроля.

Лит. см. при ст. *Сельсин.* *Д. В. Свечарник.*

СЕМИОТИКА (semiotics; sémiotique; Semiotik) — общее название комплекса научных теорий, изучающих различные свойства знаковых систем (ЗС), т. е. систем объектов, называемых знаками, каждому из к-рых определенным образом сопоставлено нек-рое значение (могущее быть как конкретным физич.

из двух самостоят. короткозамкнутых изолиров. витков на роторе. Каждый виток состоит из двух медных стержней, размещаемых в пазах на полюсах ротора, и двух перемычек, соединяющих стержни в торцевых частях ротора.

В тех случаях, когда невозможно получить электрич. демпфирование, применяется механическое. Осн. элемент любого механич. демпфера — маховая масса и фрикц. устройство. При возникновении колебаний маховая масса за счет большой инерции остается почти неподвижной, и на оси С. вследствие поворота оси ротора относительно маховой массы появляется дополнит. момент трения. На его преодоление расходуется часть кинетич. энергии движущегося ротора, что ведет к затуханию его колебаний. На рис. 8 показан двухступенчатый фрикционно-инерц. демпфер. Менее распространен ртутный механич. демпфер. Маховой массой в нем является ртуть. Корпус демпфера с крышкой и размещаемая между ними перегородка с отверстиями являются фрикц. устройством. При колебаниях ротора ртуть, заполняющая демпфер, через отверстия в перегородках перемещается из одной полости корпуса в другую. Трение ртути о стенки перегородки и корпуса создает необходимый демпфирующий момент на оси С.

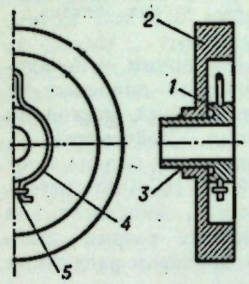


Рис. 8. Двухступенчатый фрикционно - инерционный демпфер: *1* — втулка; *2* — маховое колесо; *3* — стопорное пружинное кольцо; *4* — пружина и *5* — зажим фрикц. устройства.

Величина момента на валу СД определяется по ф-ле

$$M_д = \frac{3}{2}\cdot\frac{1{,}02\cdot10^4}{\omega}\cdot\frac{E_{вд}E_{вп}}{2z}\cdot\frac{W_д k_w}{W_{вд}}\cdot\frac{W_п k_w}{W_{вп}}\sin(\alpha-\beta)\times$$
$$\times\left[\cos(\varphi_п-\varphi_д)\frac{x}{z}-\sin(\varphi_п-\varphi_д)\frac{R}{z}\right]$$

Величина момента на оси СП определяется по ф-ле

$$M_п = \frac{3}{2}\cdot\frac{1{,}02\cdot10^4}{\omega}\cdot\frac{E_{вд}E_{вп}}{2z}\cdot\frac{W_д k_w}{W_{вд}}\times$$
$$\times\frac{W_п k_w}{W_{вп}}\sin(\beta-\alpha)\times$$
$$\times\left[\cos(\varphi_п-\varphi_д)\frac{x}{z}+\sin(\varphi_п-\varphi_д)\frac{R}{z}\right]$$

Здесь $E_{вд}$ и $E_{вп}$ — эдс возбуждения и $W_д$ и $W_п$ — число витков обмоток синхронизации датчика и приемника, k_w — обмоточный коэфф. обмотки синхронизации, $2z = 2|R + jX|$ — полное сопротивление в цепи каждой пары последовательно включенных фаз датчика и приемника, α — угол между осью первой фазы обмотки синхронизации и осью потока возбуждения у датчика, β — то же у приемника, $\varphi_п - \varphi_д$ — фазовый сдвиг между напряжениями питания обмоток возбуждения датчика и приемника, $W_{вд}$ и $W_{вп}$ — числа витков обмотки возбуждения датчика и приемника, $\omega = 2\pi f$ — угловая частота.

СД в индикаторной схеме может быть разгружен от реактивного момента введением сдвига фаз между напряжениями питания датчика и приемника. Оптимальной при этом является схема (рис. 9) с компенсацией реактивных составляющих в обмотках синхронизации и сдвигом фазы напряжения возбуждения приемника на 36°.

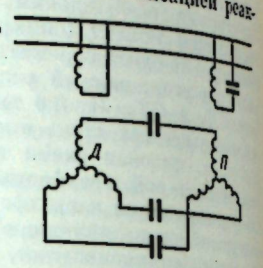


Рис. 9. Сельсинная схема с разгрузкой датчика Д от реактивного момента; *П* — приемник.

Дифференц. схема сельсинной передачи (рис. 3) предназначена для выполнения алгебраич. сложения в электромеханич. счетно-решающих устройствах и состоит из двух СД и С.-дифференциала, используемого в качестве приемника.

Если связать ось дифференц. С. со стрелкой, пером и т. п., а оси обычных С. — с двумя первичными приборами, то дифференц. С. будет давать разность показаний этих первичных приборов. Если с первичными приборами связать дифференц. С. и один из обычных С., то стрелка или перо на оси второго обычного С., будет отмечать сумму показаний обоих первичных приборов.

Схемы с дифференц. С. допускают также и многократное суммирование и аналогичные операции. С.-дифференциалы выполняются по 4-й конструктивной группе. Магнитная цепь С.-дифференциала обязательно должна состоять из неявнополюсных статора и ротора, т. к. магнитный поток поворачивается как относительно статора, так и относительно ротора. Величина момента на валу С.-дифференциала определяется по ф-ле:

$$M_с = \frac{3}{2}\cdot\frac{1{,}02\cdot10^4}{\omega}\cdot\frac{E_{fa}E_{fb}}{Z_{ac}+Z_{bc}}\cdot\frac{w_{вэ}}{w_{fa}}\times$$
$$\times\frac{w_{пэ}}{w_{fb}}\sin[0-(\beta-\alpha)]\times$$
$$\times\cos[(\varphi_a-\varphi_b)-(\varphi_{ac}-\varphi_{bc})],$$

где E_{fa} и E_{fb} — эдс возбуждения датчиков; $Z_{ac} = Z_{ac}\cdot e^{-j\varphi_{ac}}$ и $Z_{bc} = Z_{bc}\cdot e^{-j\varphi_{bc}}$ — полные сопротивления цепей соответственно датчика a (дифференц. приемник) и датчика b (дифференц. приемник); w_{fa} и w_{fb} — числа витков возбуждения датчиков; θ — угол между осями соответствующих обмоток ротора и статора; $\varphi_a - \varphi_b$ — фазовый сдвиг между напряжениями питания обмоток возбуждения датчиков; α — угол поворота ротора датчика a; β — угол поворота ротора датчика b; $w_{эа}$ и $w_{эв}$ — эффективные числа витков фазных обмоток датчиков; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота.

Для следящей сельсин-трансформаторной схемы осн. показателями работы являются: крутизна зависимости эдс выходной обмотки от угла рассогласования, выходное сопротивление $R_{вых}$ и статич. и динамич. ошибки. Точность следования синхронной передачи, в к-рой С. используется в трансформаторном режиме, может составлять неск. угловых минут.

Конструктивно С.-тр-р выполняется так же, как и С., работающие в индикаторном режиме. Наиболее часто встречаются С.-тр-ры, выполненные по 2-й и 3-й конструктивным группам, причем предпочтительнее магнитная цепь, состоящая из неявнополюсных

ротора и статора, т. к. в согласованном положении ось однофазной обмотки перпендикулярна оси потока трехфазной обмотки. При расположении однофазной обмотки на явновыраженных полюсах магнитный поток будет направлен поперек полюсов и должен проходить больший путь по воздуху. Для создания потока требуется значит. намагничивающий ток. Величина его зависит от взаимного положения осей потока и однофазной обмотки, и при параллельной работе неск. приемных С.-тр-ров они могут влиять друг на друга. С.-тр-р выполняется как с однофазной обмоткой на роторе и трехфазной на статоре, так и с однофазной обмоткой на статоре и трехфазной на роторе. Момент трения С.-тр-ра не имеет такого значения, как в случае индикаторной сельсинной передачи, т. к. поворот оси приемника осуществляется принудительно с помощью достаточно мощного электродвигателя следящей системы.

Лит.: Штурман Г. И., Индукционные машины в системе электрических валов (сельсины), М., 1938; Васильев Д. В., Индукционные системы синхронной связи, Л.—М., 1949; Иосифьян А. Г., Свечарник Д. В., Сельсины, М.—Л., 1941 (труды ВЭИ, вып.57); Мкртчян Д. П., Хрущев В. В., Однофазные сельсины, Л., 1957; Свечарник Д. В., Дистанционные передачи, М.—Л., 1959; его же, Сельсины и их применение в системах автоматизации производственных процессов, М.—Л., 1962; Иосифьян А. Г., Каган Б. М., Основы следящего привода, М.—Л., 1954. *Д. В. Свечарник.*

СЕЛЬСИН БЕСКОНТАКТНЫЙ (contactless selsyn; selsyn sans contacts; kontaktloser Drehmelder) — сельсин, не имеющий контактов для подвода тока к обмотке ротора. В СССР получили распространение С. б., построенные в ВЭИ по схеме Иосифьяна и Свечарника. Осн. особенность этих сельсинов — введение потока возбуждения в расточку статора в аксиальном направлении и использование ротора, к-рый шихтуется в плоскости, параллельной продольной оси машины (рис. 1). Магнитный поток, создаваемый однофазными кольцеобразными катушками возбуждения f_1 и f_2, через дополнит. зазор δ_1 проходит в первый пакет ротора P_1 и через осн. зазор — в зубцы пакета статора. Далее он идет по спинке статора и через зубцы пакета статора и осн. зазор попадает во второй пакет ротора P_2, отделенный от первого немагнитной прослойкой, и замыкается через второй дополнит. зазор δ_2 и дополнит. магнитопровод M. Т. о., в статоре и в размещенной в его пазах трехфазной обмотке синхронизации при повороте ротора все явления протекают принципиально таким же образом, как и в соответствующих элементах контактного сельсина. Были предложены разнообразные конструктивные модификации С. б. как с аксиальными, так и с радиальными дополнит. зазорами и дополнит. элементами магнитопровода в виде тороидов и наружных пакетов, проходящих над внешней поверхностью пакета статора. На основе последней модификации выпускаются совр. конструкции С. б.: датчики БД-404, БД-501 и приемники БС-404, БС-405, БС-501, а также сдвоенный сельсин ДБС-500. Конструкция С. б. с внешнезамкнутым потоком возбуждения вызывает определ. технологич. и конструктивные трудности.

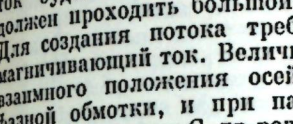


Рис. 1. Продольный разрез бесконтактного сельсина ВЭИ.

В тех случаях, когда существенно отношение полезного потока к поперечному сечению машины и когда нужно получить при заданном наружном диаметре наибольший полезный поток за счет соответствующего увеличения длины машины, возможно применение С. б. с двусторонним вводом потока (рис. 2). Поток, создаваемый обмоткой возбуждения *1*, проходит вдоль коротких наружных пакетов *2* через тороид *3* и дополнит. зазор и попадает в роторный пакет *4*. Из роторного пакета *4* поток, как и в обычном сельсине, проходит через осн. зазор в зубья статора *5*; через спинку статора, снова зубья и осн. зазор поток попадает во второй роторный пакет *6* и замыкается через дополнит. зазор и затем тороид *7*. Форма роторного пакета предусматривает, с одной стороны, удвоение площади для прохождения потока из роторного пакета в тороид *7* и, с др. стороны, малое рассеяние потока между пакетом *6* и тороидом *3*. Поток, создаваемый обмоткой *1'*, замыкается аналогично. Потребность в таких сельсинах возникает, напр., тогда, когда на огранич. поверхности пульта или щита нужно расположить наибольшее количество сельсинных приборов, причем глубина щита не столь строго лимитирована. Существ. достоинство С. б. с двусторонним вводом потока — лучшие динамич. хар-ки.

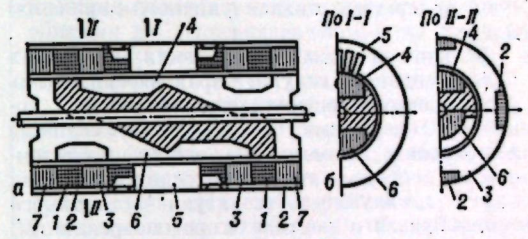


Рис. 2. Бесконтактный сельсин с двусторонним вводом потока в статор; *а* — продольный разрез; *б* — поперечный.

С. б. имеют те же классы точности, что и контактные *сельсины*. Однако по уд. синхронизирующему моменту последние обладают преимуществами перед С. б. равных габаритов. Так, контактный сельсин НС-404 и бесконтактный БС-404 имеют одинаковые габариты и коэфф. добротности 1,0, но уд. синхронизирующий момент их равен соответственно 10 *гс·см/град* и 4,5 *гс·см/град*. Это объясняется наличием дополнит. зазоров и дополнит. участков магнитопровода в магнитной цепи С. б. Тем не менее в связи с весьма высокой надежностью (число отказов в час С. б. порядка $4—5\cdot10^{-6}$ и лишь незначительно превышает число отказов такой надежной радиодетали, как пост. сопротивление) С. б. все более вытесняют контактные из всех ответств. схем автоматики и контроля.

Лит. см. при ст. *Сельсин.* *Д. В. Свечарник.*

СЕМИОТИКА (semiotics; sémiotique; Semiotik) — общее название комплекса научных теорий, изучающих различные свойства знаковых систем (ЗС), т. е. систем объектов, называемых знаками, каждому из к-рых определенным образом сопоставлено нек-рое значение (могущее быть как конкретным физич.

объектом или явлением, так и абстрактным понятием). Под столь общее понятие «знака» подпадают объекты самой разнообразной природы. ЗС в этом понимании оказываются естественные (разговорные) языки, искусств. языки, в т. ч. формализованные (и частично формализованные) естественнонаучные языки (логич. и математич. исчисления, химич. символика и др.), языки программирования (*алгол*, *кобол* и др.), информац. языки, всевозможные системы сигнализации в животном мире и человеч. обществе (от «языка» пчел до системы знаков уличного движения) и др.

Всякая попытка объединения в рамках некоей единой «науки» практически сколь угодно широкого круга проблем будет, конечно, совершенно беспредметной, если не фиксировать внимание на одном определенном их аспекте — на рассмотрении их именно как ЗС. Разумность и актуальность такого единообразного подхода к рассмотрению ЗС самой различной природы естественно вытекала из процесса развития науки, в ходе к-рого устанавливалось все большее число общих для ЗС закономерностей. Проявления такого «семиотического» подхода наметились прежде всего в логике и математике (Г. Лейбниц) и лингвистике (Ф. де Соссюр). Осн. принципы С. как единой теории были сформулированы Ч. Пирсом, к-рый ввел и сам термин «семиотика»; Г. Маннури для аналогичного круга вопросов пользовался термином «сигнифика». Как уже отмечалось, точнее и правильнее было бы говорить не о «науке С.», а о семиотич. проблематике, семиотич. подходе к изучению различных ЗС. Семиотич. проблематика может естественно рассматриваться по крайней мере в трех осн. аспектах. 1) Синтактика, изучающая «синтаксис» различных ЗС, т. е. структуру сочетаний знаков и правила их образования и преобразования безотносительно к их значениям и каким бы то ни было ф-циям ЗС. Иными словами, синтактика подходит к ЗС как к неинтерпретированным исчислениям (см. *Логика математическая*). 2) Семантика, изучающая ЗС как средства выражения смысла, т. е. правила интерпретации знаков и составленных из них выражений. 3) Прагматика, изучающая отношение ЗС к тем, кто их использует (к «приемникам-интерпретаторам сообщений»). Т. о., синтаксич. аспект ЗС проявляется в отношении знаков к знакам, семантический — в отношении знаков к обозначаемому, прагматический — в отношении знаков к реакции на них интерпретатора.

Отмеченная выше условность трактовки С. как четко очерченной научной дисциплины (наглядно проявляющаяся, напр., в неизбежных кругах, возникающих при попытках точно установить относит. местоположение С., математич. логики, математич. лингвистики и кибернетики в классификации наук) в полной мере относится и к классификации разделов С. Так, синтаксич. и семантич. аспекты изучения ЗС по прочной традиции относятся к металогике, причем семантика выросла в самостоят. дисциплину (не связываемую обычно с термином «С.»), а прагматич. ф-ция, согласно исследованиям Р. М. Мартина, в значит. степени может быть выражена синтаксич. и семантич. средствами (наглядный, хотя и не вполне строгий, пример — стилистика художеств. литературы).

Специфика семиотич. проблематики и закономерность ее выделения в качестве самостоятельного и целостного предмета исследования обусловлена в значит. мере тем, что С. рассматривает различные ЗС как модели внешнего мира, строящиеся в процессе познават. человеч. деятельности. В связи с этим особое значение для практич. приложений приобретают проблемы прагматики, выходящие (в отличие от синтаксиса и семантики) за рамки логич. исследований. Типичным примером может служить классич. кибернетич. проблема «человек и машина», прагматич. аспект к-рой рассматривает, в частности, *психология инженерная*. Выделение в качестве спец. предмета изучения различных ЗС характерно для совр психологии, нейрофизиологии, биофизики, генетики и др. наук.

Связь семиотич. проблематики с многочисл. приложениями особенно ясно обнаруживается с привлечением не используемого явным образом при определении этой проблематики понятия информации. Для семиотич. проблематика характерно изучение качественных структурных хар-к информации в противоположность статистич. *информации теории*, изучающей количественные хар-ки информации. С. позволяет понять, что разработка методов машинного перевода должна производиться с учетом всех аспектов языка, а не только на основе автоматизации синтаксич. анализа и синтеза. Более того, С. дает возможность подойти к точным математич. методам анализа семантич. и прагматич. аспектов языков. Примеры правильности семиотич. подхода могут служить работы по дешифровке неизвестных письменностей, основанные лишь на общих представлениях о структуре языка и структурных аналогиях синтаксиса и семантики различных языков (работы Ю. В. Кнорозова и др.). Рассмотрение ЗС с точки зрения их информац. св-в и ф-ций приводит к понятию информац. системы и теории таких систем как «прикладной С.». Информац. система (как и всякая ЗС), вообще говоря, неоднозначно определяется своим (даже точным и исчерпывающим) описанием как системы в целом: в ее синтаксисе следует предусмотреть, какие именно элементы рассматриваются как знаки («элементарные носители информации»), а какие — как их сочетания («слова»). Аналогично, семантика к.-л. данной системы, определяемая получающимся в результате ее учета «пониманием» смысла (или информации), зависит от того, каким элементам по определению приписывается интерпретация (отдельным знакам, составленным из них словам или, быть может, целым фразам — важность этого обстоятельства отчетливо выявляется в задачах дешифровки текстов). Еще большее разнообразие обнаруживают прагматич. св-ва подобных друг другу (в синтаксич. и семантич. отношениях) систем; разумный выбор и определение этих св-в играют часто решающую роль в задачах оптимизации (по отношению к критериям удобства восприятия или обслуживания) «кибернетич.» систем.

Теория информац. систем, понимаемых как абстрактные модели или их материальные воплощения, осуществляющие сбор, хранение,

поиск, систематизацию, переработку и передачу информации, выводит традиц. семиотич. проблематику за рамки лингвистики и логики и делает объектом семиотич. исследования задачи теории ЦВМ и их комплексов, автоматизации программирования, документалистики, машинного перевода, автоматич. дешифровки и автоматич. реферирования. Обширный круг информационно-семиотич. проблем возникает при исследовании вопросов рационализации обучения. Семиотич. проблемы возникают в связи с задачами автоматизации управления произ-вом, когда от автоматизации отдельных агрегатов приходится переходить к комплексной автоматизации.

Лит.: Morris Ch.W., Foundations of the theory of signs, Chicago, 1938; Carnap R., The logical syntax of language, L., 1937; его же, Introduction to semantics, Camb., 1946; Tarski A., Logic, semantics, metamathematics, Oxf., 1956; Morris Ch. W., Signs, language and behavior, N. Y., 1946; Curry H. B., Language, metalanguage and formal system, «Philos. Rev.», 1950, v. 59, № 3; Quine W. V. O., From a logical point of view. A logicophilosophical essays, Camb. (Mass.), 1953; Kemeny J. G., A new approach to semantics, «J. Symbolic Logic», 1956, v. 21, № 1—2; Карнап Р., Значение и необходимость, [пер. с англ.], М., 1959; Витгенштейн Л., Логико-философский трактат, пер. с нем., М., 1958; Семиотика, в кн.: Философский словарь, М., 1963; Бир С т., Кибернетика и управление производством, пер. с англ., М., 1963; Mannoury G., Die signifischen Grundlagen der Mathematik, «Erkenntnis», 1934, Bd 4, S. 288—309, 317—45; Martin R. M., Toward a systematic pragmatic, Amst., 1959; Симпозиум по структурному изучению знаковых систем. Москва 1962. Тезисы докладов, М., 1962.

Ю. А. Гастев, Р. Г. Котов.

СЕРВОМОТОР (servomotor; servo-moteur; Stellmotor) — силовой исполнит. элемент, преобразующий энергию вспомогат. источника в механич. энергию перемещения (перестановка регулирующего органа) в соответствии с сигналом управления чувствит. элемента. Требования к С.: мощность при всех режимах должна обеспечивать перестановку регулир. органа с заданной скоростью; линейное или угловое перемещение на выходе должно быть согласовано с соответствующим перемещением регулирующего органа; отношение кинетич. энергии движущихся частей к мощности должно быть минимальным.

С. делятся на электрические, гидравлические и пневматические (см. *Исполнительный механизм электрический*, *Гидравлический исполнительный механизм*, *Пневматический мембранный исполнительный механизм*, *Пневматический поршневой исполнительный механизм*, *Исполнительный механизм*). *Н. П. Козлов.*

СИГНАЛ (signal; signal; Signal) — материальное воплощение сообщения в виде, используемом в информац. системах при передаче, переработке и хранении информации. В первых двух случаях С. представляет процесс изменения во времени и пространстве нек-рой физич. величины, характеризующей состояние информац. системы. Иногда такие С. наз. динамическими. В системах хранения информации С. первого типа преобразованы в состояния нек-рого материального носителя (оттиски набора, записи на перфокартах, кинопленке и пр.). Иногда они наз. статическими С. Сообщение — элемент *ансамбля сообщений* — выступает как инвариантная сущность (по отношению к операции преобразования в С.), общая для всевозможных соответств. ему С., независимо от их конкретной физич. природы.

Различают звуковые, световые и др. С. Особое значение приобрели С. в виде потоков свободных электронов и электромагнитных волн — электрич. С. Они применяются для передачи сообщений, обнаружения объектов и определения их местоположения, ориентирования в пространстве при вождении судов и летат. аппаратов, автоматич. регулирования и управления, выполнения физич. измерений и наблюдений, решения математич. и логич. задач и для многих др. целей.

В любой информац. системе С. подвергаются ряду преобразований, из к-рых важнейшими и наиболее общими являются: кодирование — преобразование первичного представления сообщения в С., предназначенный для передачи по каналу или дальнейшей переработки, и обратная операция — декодирование.

Для систем, оперирующих с электрич. С., типичны следующие операции. Первичное преобразование превращает информацию входного источника в электрич. форму — сигналы-оригинал (С.-о.), спектр к-рых обычно сосредоточен около частоты $f = 0$. В дальнейшем с помощью кодирования С.-о. превращаются в рабочие С. Если С. предназначены для передачи по каналу, то путем модуляции колебаний несущей частоты f_0 они преобразуются в радиосигналы, спектр к-рых сосредоточен вокруг f_0. Для восстановления на приемном конце передаваемых С.-о. применяются обратные операции — демодуляция (детектирование) и декодирование. К др. распространенным преобразованиям относятся *квантование* и *дискретизация* по времени.

Осн. св-ва С.: огранич. длительность; огранич. мгновенная мощность (а следовательно, и огранич. энергия); сосредоточение осн. доли энергии в конечной полосе частот, способность переносить информацию. Последнее определяет С. как случайный процесс $u(t)$, являющийся недетерминированным. Это означает, что по известной части С. невозможно определить (с помощью выполнения над ней к.-л. операций) их последующие значения без нек-рой конечной ошибки. Для стационарного процесса условие недетерминированности

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\ln \Phi(f)|}{1+f^2}\, df < \infty,$$

где $\Phi(f)$ — энергетич. спектр. Т. о., спектр С. может быть равен нулю только в отдельных точках оси частот, но не в интервале.

В зависимости от св-в сообщений С. разделяются на 3 осн. класса: 1) сообщения — отдельные символы из нек-рого множества (напр., буквы алфавита). С. — случайные величины, имеющие дискретные значения; 2) сообщения — величина нек-рого параметра, принимающего непрерывное множество значений из определ. интервала (напр., показания прибора системы ТИ). С.-о. — непрерывные случайные величины, обычно отсчеты передаваемого параметра через заданные промежутки времени; 3) сообщения в системах речевой передачи и др., им подобных. С.-о. — непрерывные (во времени и по интенсивности) случайные ф-ции. С. 3-го класса можно превратить в С. 2-го класса с помощью дискретизации, а при дополнит. квантовании они преобразуются в совокупность С. 1-го класса (напр., речевые С. в канале с кодовой ИМ). В технич. системах осн. значение имеет сохранение информации, несомой С., при воздействии различных *помех*. Наибольшей помехо-

устойчивостью при прочих равных условиях обладают С. 1-го класса, поэтому целесообразно использовать рабочие С. такого вида. Однако, если С.-о. — непрерывные случайные величины или ф-ции времени, то преобразование их в С. 1-го класса неизбежно связано с потерей информации (ухудшением верности воспроизведения сообщений).

Теория С., интенсивно развивающаяся за последние годы, отвлекается от конкретной физич. природы и назначения С. и изучает их общие св-ва как материальных носителей информации. При этом основным является изучение С. 3-го класса как наиболее сложных. Изучение помех ведется в рамках теории С., поскольку между ними нет существенных принципиальных различий. Действительно, вопрос о том, относится ли рассматриваемый процесс к помехам или к С., не всегда может быть решен без учета специфики технич. системы. Так, радиоизлучение звезд — помехи для линии космич. связи, но оно образует полезные С. для радиотелескопа. Первая задача теории С. — выбор рацион. модели (представляющей идеализацию С.), в к-рой сохранялись бы принципиальные св-ва С., имеющие существ. значение для рассматриваемых задач. Т. о., целесообразность модели целиком определяется характером исследуемых вопросов. В процессе развития науки и по мере появления более сложных задач вводились новые модели, к-рые постепенно совершенствовались в направлении более полного отображения св-в С.

Следующей задачей теории является характеризация, т. е. введение ряда параметров и хар-к для описания модели. Они могут быть разделены на 3 группы: 1) метрические параметры и хар-ки, дающие количественное описание общих св-в С. (напр., энергетич. спектр); 2) параметры избирания, по к-рым производится выбор С. из нек-рого множества (напр., несущая частота); 3) информац. параметры, изменение к-рых несет передаваемую информацию (напр., момент прихода отраженного импульса в радиолокац. системе измерения дальности). Подобное разделение не всегда возможно, т. к. одни и те же параметры иногда применяются как для избирания С., так и для передачи информации (напр., расположение импульсов в кодовой группе). Наиболее полным описанием С. как случайного процесса является задание ансамбля С., т. е. множества реализаций вместе с вероятностями их появления. В большинстве случаев (за исключением С. 1-го класса, а иногда и С. 2-го класса) это невозможно из-за отсутствия необходимых статистич. сведений. Для С. 3-го класса приходится ограничиваться спектрально-корреляц. хар-ками.

В зависимости от исследуемых задач оказывается удобным применять те или иные хар-ки С. Так, при рассмотрении преобразований С. в линейных электрич. цепях пользуются спектр. хар-ками (частотное описание). При изучении информац. св-в целесообразно представить С. в виде разложения на элементарные С. (временно́е описание). Если нужно учесть нестационарную природу С., применяется описание совместно в терминах частоты и времени (спектр мгновенной мощности). При рассмотрении возможности передачи С. по каналу наглядным параметром оказывается «объем С.», определяемый произведением 3 измерений: длительности T, полосы частот Δf и числа градаций интенсивности H, необходимого для воспроизведения передаваемых сообщений с заданной точностью.

К др. задачам теории относятся: изучение С. как носителей информации (сравнение эффективности различных информац. параметров, разыскание С., обладающих определ. оптим. св-вами, и т. д.); исследование преобразований С. и влияния их на информац. св-ва С. (напр., исследование потерь информации при квантовании и дискретизации) и пр. Теория С. рассматривается как часть общей теории информац. систем, а в более широком плане — как часть кибернетики.

В 1933 сов. ученый В. А. Котельников предложил модель С., спектр к-рого предполагается тождественно равным нулю вне нек-рой полосы частот Δf_0 (обычно $0—F_м$). В 1948 амер. ученый К. Шеннон применил ее к задачам теории информации, рассматривая С. как стационарный случайный процесс. Такая модель нашла широкое применение и на ее основе был получен ряд важных прикладных результатов. Для нее характерно, что длительность и энергия С. считаются бесконечно большими, а параметры (энергетич. спектр, ф-ция корреляции, мгновенная мощность) не изменяются во времени. Осн. представлением служит разложение по ортогональной системе ф-ций

$$\left\{\sigma_k(t)=\frac{\sin 2\pi\Delta f_0(t-t_k)}{2\pi\Delta f_0(t-t_k)}\right\},$$

где $t_k = k/2\Delta f_0$,

$$f(t)=\sum_{k=-N/2}^{N/2} f_k\sigma_k(t). \qquad (1)$$

В зависимости от того, какие св-ва С. сохраняются в модели (1), различают два случая: 1) $\{f_k\}$ — коэфф. Фурье в системе $\{\sigma_k(t)\}$, при этом $N\to\infty$ (теорема Котельникова); здесь спектр модели в полосе Δf_0 совпадает со спектром С.; 2) $\{f_k\}=\{u(t_k)\}$, при этом $N=2T\Delta f_0$; здесь значения временной ф-ции модели $f(t)$ в моменты $\{t_k\}$ совпадают с соответствующими значениями С. Можно считать, что С. задаются этой моделью с помощью $N_1=2T\Delta f_0$ «данных» (т. е. коэфф. $\{f_k\}$), к-рые рассматриваются как координаты в N_1-мерном пространстве. Каждой реализации соответствует точка пространства, а всему множеству реализаций — нек-рая область. Благодаря внутр. помехам флуктуац. происхождения вокруг каждой точки создается сферич. область неопределенности, что ограничивает число различимых С. Пользуясь такой моделью, Шеннон определил пропускную способность канала с С. 3-го класса при наличии аддитивных нормальных шумов:

$$C=\Delta f_0\log_2(1+P_c/P_ш)$$ двоичных ед/сек, (2)

где P_c и $P_ш$ — ср. мощности С. и шумов. Замена С. моделью (1) приводит к искажениям ф-ции $u(t)$, к-рые могут быть оценены, напр., величиной средне-квадратичной ошибки. Она тем меньше, чем больше полоса частот Δf, модели. Т. к. спектр реальных С. неограничен, а модель С. с ограниченным спектром не удовлетворяет условию недетерминированности и поэтому не может обеспечить стационарный приток новой информации, то оставался неясным как смысл ф-лы (2), так и то, что следует понимать под Δf_0. В результате работ сов. ученого А. Н. Колмогорова был выяснен теоретико-информац. смысл ф-лы (2). Однако в тех случаях, когда нельзя пренебречь нестационарным характером С. (напр., при изучении модулированных и кратковрем. С.), модель (1) неприменима.

В 1955 была предложена новая модель С., сохраняющая его принципиальные св-ва как носителя информации. К числу ее осн. параметров относится интервал корреляции τ_0, разделяющий соседние некоррелиров. значения С. Наиболее продвинута разработка теории для квазистационарного варианта модели, у к-рого ср. значение, ф-ция корреляции, спектр мгновенной мощности и интервал корреляции считаются не зависящими от момента времени t внутри промежутка существования С. (вне T первые три хар-ки полагаются равными нулю). Для оценки протяженности спектра по оси f применяется эффективная полоса

$$\Delta f_э=\frac{1}{\Phi_м}\int_0^\infty \Phi_T(f)\,df,$$

где $\Phi_м$ — макс. значение спектра. Справедливо соотношение $\tau_0\Delta f_э\geqslant\frac{1}{2}$, т. о., число некоррелированных элементов С. $N_0\leqslant N_{0\,макс}=2T\Delta f_э$. Осн. представлением служит каноническ. разложение

$$u_T(t)=\sum_{k=1}^{N} u_k\varphi_k(t), \qquad (3)$$

где $\{\varphi_k(t)\}$ — собственные ф-ции интегр. ур-ния

$$\varphi_k(t_1)\lambda_k^2=\int_T R_T(t_1,\ t_2)\,\varphi_k(t_2)\,dt_2,$$

а $\{u_k\}$ — коэфф. Фурье в системе $\{\varphi_k(t)\}$ — являются некоррелированными, т. е.

$$M\{u_k,\ u_l\}=\begin{cases}\lambda_k^2, & k=l\\ 0, & k\neq l.\end{cases}$$

Здесь $R_T(t_1, t_2)$ — ф-ция корреляции, $\{\lambda_k^2\}$ — собств. числа интегр. ур-ния, а M — знак математич. ожидания. В общем случае в (3) $N\to\infty$, однако число ф-ций $\{\varphi_k(t)\}$, осн. доля энергии к-рых сосредоточена в полосе $\Delta f_э$, ограничено и не превышает $N_{0\,макс}$. В результате число измерений $N\leqslant 2T\Delta f_э$. На основе этой модели С. найдено, что в (2) под Δf_0 следует понимать эффективную полосу $\Delta f_э$; доказана теорема для пропускной способности канала с коррелиров. помехами; определена предельная верность, с к-рой могут быть переданы С. 3-го класса с помощью N «данных» (т. е. в виде С. 2-го класса) и пр.

Для общего случая, когда квазистационарная модель неприменима, построен спектрально-корреляц. аппарат для С. с произвольным характером нестационарности.

Лит.: Полетаев И. А., Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики, М., 1958; Котельников В. А., Теория потенциальной помехоустойчивости, М.—Л., 1956; Шеннон К., Статистическая теория передачи электрических сигналов, в сб.: Теория передачи электрических сигналов при наличии помех, М., 1953; его же, Связь при наличии шума, в сб.: Теория информации и ее приложения, М., 1959; Колмогоров А. Н., Теория передачи информации, М., 1956; Харкевич А. А., Спектры и анализ, 4 изд., М., 1962; Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 1—2, М., 1961—62; Тарасенко Ф. П., Введение в курс теории информации, Томск, 1963; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; Железнов Н. А., О принципиальных вопросах теории сигналов и задачах ее дальнейшего развития на основе новой стохастической модели, «Р-ка», 1957, т. 12, № 11; его же, Некоторые вопросы теории информационных электрических систем, Л., 1960; Gabor D., Communication theory and physics, «Philos. Mag.», 1950, v. 41, № 322. *Н. А. Железнов.*

СИГНАЛ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЙ (remote-control signal; signal transmis à distance; Fernwirksignal) — сигнал, передающий по каналу связи информацию управления. С. т. образуется на выходе модулирующего или кодирующего устройства, на вход к-рого поступает сообщение или сигнал от источника информации или с промежуточных устройств (датчик, управляющие машины, объект управления, устройства сбора информации и т. п.). Используются также С. т. с двойной и тройной модуляцией, осуществляемые последовательно для передачи по ВЧ каналу связи. Может применяться двойное или тройное кодирование. Для передачи информации управления используются дискретные и непрерывные сигналы различного вида. В канале связи могут возникать помехи и значительные затухания. Борьба с этим осуществляется выбором вида и параметров С. т. Кроме того, используют методы многоканальной передачи от неск. или многих источников к одному или многим приемникам информации через общий канал связи (см. *Телемеханика*). *Ю. И. Чугин.*

СИГНАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ (automatic indication; signalisation automatique; automatische Anzeige) — представление оператору информации о наступлении тех или иных событий (обычно об аварийном состоянии управляемого объекта), выполняемое автоматич. средствами. С. а. осуществляется визуальными или акустич. сигналами. К первым относятся: загорание лампочки, подсветка табло с надписью, указывающей характер события, освещение изображения аварийного участка на мнемосхеме и др. Для аварийной сигнализации часто используется мигающий свет, что способствует привлечению внимания оператора. В качестве акустич. средств С. а. применяют сирену, звонок, гудки (см. *Информации представление*).

Цепи обработки информации от объекта до пульта сигнализации выполняются в различном аппаратурном оформлении: 1) первичными преобразователями служат реле (сигнализаторы), выдающие сигнал непосредственно на пульт при достижении контролируемой величиной установленного значения; 2) сигнал от датчика непрерывно сравнивается во вторичном приборе с установленным значением. При превышении этого значения формируется сигнал управления устройствами представления информации.

В машинах *контроля централизованного* производится поочередной опрос датчиков, сравнение получаемой информации с предельными значениями и формирование сигналов управления средствами представления информации. В случае сигнализации о наступлении сложных событий, характеризующихся неск. признаками, используются логич. устройства, сопоставляющие эти признаки и формирующие сигнал. См. *Контроль автоматический.* *Д. И. Агейкин.*

устойчивостью при прочих равных условиях обладают С. 1-го класса, поэтому целесообразно использовать рабочие С. такого вида. Однако, если С.-о. — непрерывные случайные величины или ф-ции времени, то преобразование их в С. 1-го класса неизбежно связано с потерей информации (ухудшением верности воспроизведения сообщений).

Теория С., интенсивно развивающаяся за последние годы, отвлекается от конкретной физич. природы и назначения С. и изучает их общие св-ва как материальных носителей информации. При этом основным является изучение С. 3-го класса как наиболее сложных. Изучение помех ведется в рамках теории С., поскольку между ними нет существенных принципиальных различий. Действительно, вопрос о том, относится ли рассматриваемый процесс к помехам или к С., не всегда может быть решен без учета специфики технич. системы. Так, радиоизлучение звезд — помехи для линии космич. связи, но оно образует полезные С. для радиотелескопа. Первая задача теории С. — выбор рацион. модели (представляющей идеализацию С.), в к-рой сохранялись бы принципиальные св-ва С., имеющие существ. значение для рассматриваемых задач. Т. о., целесообразность модели целиком определяется характером исследуемых вопросов. В процессе развития науки и по мере появления более сложных задач вводились новые модели, к-рые постепенно совершенствовались в направлении более полного отображения св-в С.

Следующей задачей теории является характеризация, т. е. введение ряда параметров и хар-к для описания модели. Они могут быть разделены на 3 группы: 1) метрические параметры и хар-ки, дающие количественное описание общих св-в С. (напр., энергетич. спектр); 2) параметры избирания, по к-рым производится выбор С. из нек-рого множества (напр., несущая частота); 3) информац. параметры, изменение к-рых несет передаваемую информацию (напр., момент прихода отраженного импульса в радиолокац. системе измерения дальности). Подобное разделение не всегда возможно, т. к. одни и те же параметры иногда применяются как для избирания С., так и для передачи информации (напр., расположение импульсов в кодовой группе). Наиболее полным описанием С. как случайного процесса является задание ансамбля С., т. е. множества реализаций вместе с вероятностями их появления. В большинстве случаев (за исключением С. 1-го класса, а иногда и С. 2-го класса) это невозможно из-за отсутствия необходимых статистич. сведений. Для С. 3-го класса приходится ограничиваться спектрально-корреляц. хар-ками.

В зависимости от исследуемых задач оказывается удобным применять те или иные хар-ки С. Так, при рассмотрении преобразований С. в линейных электрич. цепях пользуются спектр. хар-ками (частотное описание). При изучении информац. св-в целесообразно представить С. в виде разложения на элементарные С. (временно́е описание). Если нужно учесть нестационарную природу С., применяется описание совместно в терминах частоты и времени (спектр мгновенной мощности). При рассмотрении возможности передачи С. по каналу наглядным параметром оказывается «объем С.», определяемый произведением 3 измерений: длительности T, полосы частот Δf и числа градаций интенсивности H, необходимого для воспроизведения передаваемых сообщений с заданной точностью.

К др. задачам теории относятся: изучение С. как носителей информации (сравнение эффективности различных информац. параметров, разыскание С., обладающих определ. оптим. св-вами, и т. д.); исследование преобразований С. и влияния их на информац. св-ва С. (напр., исследование потерь информации при квантовании и дискретизации) и пр. Теория С. рассматривается как часть общей теории информац. систем, а в более широком плане — как часть кибернетики.

В 1933 сов. ученый В. А. Котельников предложил модель С., спектр к-рого предполагается тождественно равным нулю вне нек-рой полосы частот Δf_0 (обычно $0—F_м$). В 1948 амер. ученый К. Шеннон применил ее к задачам теории информации, рассматривая С. как стационарный случайный процесс. Такая модель нашла широкое применение и на ее основе был получен ряд важных прикладных результатов. Для нее характерно, что длительность и энергия С. считаются бесконечно большими, а параметры (энергетич. спектр, ф-ция корреляции, мгновенная мощность) не изменяются во времени. Осн. представлением служит разложение по ортогональной системе ф-ций

$$\left\{\sigma_k(t)=\frac{\sin 2\pi\Delta f_0(t-t_k)}{2\pi\Delta f_0(t-t_k)}\right\},$$

где $t_k = k/2\Delta f_0$,

$$f(t)=\sum_{k=-N/2}^{N/2} f_k\sigma_k(t). \qquad (1)$$

В зависимости от того, какие св-ва С. сохраняются в модели (1), различают два случая: 1) $\{f_k\}$ — коэфф. Фурье в системе $\{\sigma_k(t)\}$, при этом $N\to\infty$ (теорема Котельникова); здесь спектр модели в полосе Δf_0 совпадает со спектром С.; 2) $\{f_k\}=\{u(t_k)\}$, при этом $N=2T\Delta f_0$; здесь значения временной ф-ции модели $f(t)$ в моменты $\{t_k\}$ совпадают с соответствующими значениями С. Можно считать, что С. задаются этой моделью с помощью $N_1=2T\Delta f_0$ «данных» (т. е. коэфф. $\{f_k\}$), к-рые рассматриваются как координаты в N_1-мерном пространстве. Каждой реализации соответствует точка пространства, а всему множеству реализаций — нек-рая область. Благодаря внутр. помехам флуктуац. происхождения вокруг каждой точки создается сферич. область неопределенности, что ограничивает число различимых С. Пользуясь такой моделью, Шеннон определил пропускную способность канала с С. 3-го класса при наличии аддитивных нормальных шумов:

$$C=\Delta f_0\log_2(1+P_c/P_ш)$$ двоичных ед/сек, (2)

где P_c и $P_ш$ — ср. мощности С. и шумов. Замена С. моделью (1) приводит к искажениям ф-ции $u(t)$, к-рые могут быть оценены, напр., величиной средне-квадратичной ошибки. Она тем меньше, чем больше полоса частот Δf_0 модели. Т. к. спектр реальных С. неограничен, а модель С. с ограниченным спектром не удовлетворяет условию недетерминированности и поэтому не может обеспечить стационарный приток новой информации, то оставался неясным как смысл ф-лы (2), так и то, что следует понимать под Δf_0. В результате работ сов. ученого А. Н. Колмогорова был выяснен теоретико-информац. смысл ф-лы (2). Однако в тех случаях, когда нельзя пренебречь нестационарным характером С. (напр., при изучении модулированных и кратковрем. С.), модель (1) неприменима.

В 1955 была предложена новая модель С., сохраняющая его принципиальные св-ва как носителя информации. К числу ее осн. параметров относится интервал корреляции τ_0, разделяющий соседние некоррелиров. значения С. Наиболее продвинута разработка теории для квазистационарного варианта модели, у к-рого ср. значение, ф-ция корреляции, спектр мгновенной мощности и интервал корреляции считаются не зависящими от момента времени t внутри промежутка существования С. (вне T первые три хар-ки полагаются равными нулю). Для оценки протяженности спектра по оси f применяется эффективная полоса

$$\Delta f_э=\frac{1}{\Phi_м}\int_0^\infty \Phi_T(f)\,df,$$

где $\Phi_м$ — макс. значение спектра. Справедливо соотношение $\tau_0\Delta f_э\geqslant\frac{1}{2}$, т. о., число некоррелированных элементов С. $N_0\leqslant N_{0\,макс}=2T\Delta f_э$. Осн. представлением служит канонич. разложение

$$u_T(t)=\sum_{k=1}^{N} u_k\varphi_k(t), \qquad (3)$$

где $\{\varphi_k(t)\}$ — собственные ф-ции интегр. ур-ния

$$\varphi_k(t_1)\lambda_k^2=\int_T R_T(t_1,t_2)\varphi_k(t_2)\,dt_2,$$

а $\{u_k\}$ — коэфф. Фурье в системе $\{\varphi_k(t)\}$ — являются некоррелированными, т. е.

$$M\{u_k,u_l\}=\begin{cases}\lambda_k^2, & k=l\\ 0, & k\neq l.\end{cases}$$

Здесь $R_T(t_1,t_2)$ — ф-ция корреляции, $\{\lambda_k^2\}$ — собств. числа интегр. ур-ния, а M — знак математич. ожидания. В общем случае в (3) $N\to\infty$, однако число ф-ций $\{\varphi_k(t)\}$, осн. доля энергии к-рых сосредоточена в полосе $\Delta f_э$, ограничено и не превышает $N_{0\,макс}$. В результате число измерений $N\leqslant 2T\Delta f_э$. На основе этой модели С. найдено, что в (2) под Δf_0 следует понимать эффективную полосу $\Delta f_э$; доказана теорема для пропускной способности канала с коррелиров. помехами; определена предельная верность, с к-рой могут быть переданы С. 3-го класса с помощью N «данных» (т. е. в виде С. 2-го класса) и пр.

Для общего случая, когда квазистационарная модель неприменима, построен спектрально-корреляц. аппарат для С. с произвольным характером нестационарности.

Лит.: Полетаев И. А., Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики, М., 1958; Котельников В. А., Теория потенциальной помехоустойчивости, М.—Л., 1956; Шеннон К., Статистическая теория передачи электрических сигналов, в сб.: Теория передачи электрических сигналов при наличии помех, М., 1953; его же, Связь при наличии шума, в сб.: Теория информации и ее приложения, М., 1959; Колмогоров А. Н., Теория передачи информации, М., 1956; Харкевич А. А., Спектры и анализ, 4 изд., М., 1962; Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 1—2, М., 1961—62; Тарасенко Ф. П., Введение в курс теории информации, Томск, 1963; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; Железнов Н. А., О принципиальных вопросах теории сигналов и задачах ее дальнейшего развития на основе новой стохастической модели, «Р-ка», 1957, т. 12, № 11; его же, Некоторые вопросы теории информационных электрических систем, Л., 1960; Gabor D., Communication theory and physics, «Philos. Mag.», 1950, v. 41, № 322. *Н. А. Железнов.*

СИГНАЛ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЙ (remote-control signal; signal transmis à distance; Fernwirksignal) — сигнал, передающий по каналу связи информацию управления. С. т. образуется на выходе модулирующего или кодирующего устройства, на вход к-рого поступает сообщение или сигнал от источника информации или с промежуточных устройств (датчик, управляющие машины, объект управления, устройства сбора информации и т. п.). Используются также С. т. с двойной и тройной модуляцией, осуществляемые последовательно для передачи по ВЧ каналу связи. Может применяться двойное или тройное кодирование. Для передачи информации управления используются дискретные и непрерывные сигналы различного вида. В канале связи могут возникать помехи и значительные затухания. Борьба с этим осуществляется выбором вида и параметров С. т. Кроме того, используют методы многоканальной передачи от неск. или многих источников к одному или многим приемникам информации через общий канал связи (см. *Телемеханика*). *Ю. И. Чугин.*

СИГНАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ (automatic indication; signalisation automatique; automatische Anzeige) — представление оператору информации о наступлении тех или иных событий (обычно об аварийном состоянии управляемого объекта), выполняемое автоматич. средствами. С. а. осуществляется визуальными или акустич. сигналами. К первым относятся: загорание лампочки, подсветка табло с надписью, указывающей характер события, освещение изображения аварийного участка на мнемосхеме и др. Для аварийной сигнализации часто используется мигающий свет, что способствует привлечению внимания оператора. В качестве акустич. средств С. а. применяют сирену, звонок, гудки (см. *Информации представление*).

Цепи обработки информации от объекта до пульта сигнализации выполняются в различном аппаратурном оформлении: 1) первичными преобразователями служат реле (сигнализаторы), выдающие сигнал непосредственно на пульт при достижении контролируемой величиной установленного значения; 2) сигнал от датчика непрерывно сравнивается во вторичном приборе с установленным значением. При превышении этого значения формируется сигнал управления устройствами представления информации.

В машинах *контроля централизованного* производится поочередной опрос датчиков, сравнение получаемой информации с предельными значениями и формирование сигналов управления средствами представления информации. В случае сигнализации о наступлении сложных событий, характеризующихся неск. признаками, используются логич. устройства, сопоставляющие эти признаки и формирующие сигнал. См. *Контроль автоматический.* *Д. И. Агейкин.*

СИГНАЛОВ ПРОСТРАНСТВО (signal space; espace de signaux; Signalraum) — множество векторов, представляющих все возможные в данном случае сигналы. В теории сигналов геометрич. представления введены гл. обр. сов. ученым В. А. Котельниковым (1946) и амер. ученым К. Шенноном (1949). Сущность этих представлений в том, что сигнал рассматривается как вектор, составляющие к-рого равны мгновенным значениям сигнала. С. п. всегда является метрическим, хотя метрика его не обязательно эвклидова.

Если множество возможных сигналов счетно, то С. п. дискретно, т. е. представляет собой нек-рую решетку. Если же множество сигналов несчетно, то С. п. есть континуум. Если сигналы представляют собой конечные последовательности чисел, то С. п. конечномерно. Если же сигналы заданы как непрерывные ф-ции времени, то С. п. в общем случае бесконечномерно. Однако, если сигнал выражается ф-цией с огранич. спектром, то в силу *Котельникова теоремы* он полностью определяется счетным множеством своих значений, и, следовательно, для конечных отрезков такого сигнала размерность С. п. конечна, хотя может быть и велика. Размерность С. п. определяется величиной $2FT$, где F — ширина спектра, T — длительность сигнала. По физич. смыслу эта величина есть число некоррелированных значений сигнала в интервале T. С. п. позволяет наглядно представить различие между сигналами, к-рое интерпретируется, как расстояние между концами соответствующих векторов. С. п. столь же наглядно показывает действие аддитивной помехи, состоящее в смещении конца вектора передаваемого сигнала. Помеха также представляется вектором в С. п., но вектором случайным, для к-рого определена лишь вероятность оказаться в определ. области С. п. Геометрич. наглядность приобретают и многие вопросы теории приема. Напр., правила решения, на к-рых основано действие приемников с так или иначе назначенными пороговыми значениями, геометрически интерпретируются как границы соответствующих областей С. п.

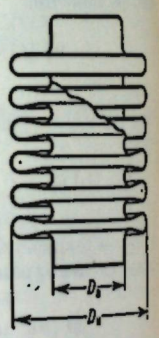
Первоначально понятие «С. п.» строилось на основе представления сигнала, как ф-ции времени; в качестве составляющих вектора сигнала при этом брались значения этой ф-ции в определ. моменты времени. Понятие «С. п.» может быть обобщено, если рассматривать не ф-цию времени, а любое ее функцион. преобразование. Напр., если воспользоваться преобразованием Фурье, то получится С. п., в к-ром по осям отложены значения спектр. плотности сигнала, соответствующие определ. значениям частоты. В таком пространстве особенно просто представляется процесс фильтрации.

Можно построить различные полезные модификации С. п. Напр., для сигналов, представленных заданного вида ф-цией времени и нек-рым числом параметров, можно отложить эти параметры по осям и получить конечномерное С. п., к-рое уместно назвать пространством параметров. Так, все синусоидальные сигналы размещаются в трехмерном пространстве, по осям к-рого отложены значения амплитуды, частоты и начальной фазы. Описанное пространство особенно удобно для рассмотрения вопросов модуляции.

Лит.: Котельников В. А., Теория потенциальной помехоустойчивости, М.—Л., 1956; Шеннон К., Связь при наличии шума, в сб.: Теория информации и ее приложения, М., 1959.

А. А. Харкевич.

СИЛЬФОН (bellows, sylphon; soufflet; Wellrohr, Faltenbalg) — упругий элемент из тонкостенной металлич. трубки с гофрами (волнами) на боковой поверхности. Материал С. — латунь (полутомпак), фосфористая и бериллиевая бронзы, нержавеющая сталь. Различают бесшовные С., изготовляемые гидравлич. или механич. формовкой гофр, и сварные, состоящие из отштампованных и затем сваренных полугофр. С. служат гибкими соединениями трубопроводов, компенсаторами температурных удлинений, упругими разделителями сред и гибкими уплотняющими устройствами. Наиболее широко С. применяются в пневмо- и гидроавтоматике в качестве чувствит. элементов, реагирующих на разность давлений газов или жидкостей, действующих на дно сильфона (напр., в датчиках темп-ры, давления, перепада, регуляторах и др. устройствах). При действии на С. разности давлений или аксиального усилия он ведет себя подобно пружине, обладающей жесткостью, и работает на сжатие или растяжение в зависимости от знака разности давлений. Его жесткость $C = Q/\lambda = (p_1 - p_2)\,F/\lambda$, где Q — аксиальное усилие, λ — ход С., $(p_1 - p_2)$ — разность наружного и внутреннего давлений, $F = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D_н + D_в}{2}\right)^2$ — эффективная площадь С. (см. рис.).



Хар-ка «усилие — ход» С. линейна на рабочем участке в зоне упругих деформаций. Вследствие сложности точного расчета хода λ сильфона обычно пользуются приближенными ф-лами. Для повышения надежности и уменьшения жесткости С., работающих при большой разности давлений или в агрессивных средах, они изготовляются 2-, 3- и 4-слойными из одного или разных металлов. $D_н$ С. обычно от 10 до 100 *мм*, сварных С. до 1,5—2 *м*.

Лит.: Феодосьев В. И., Упругие элементы точного приборостроения, М., 1949; Лоссиевский В. Л., Автоматические регуляторы, М., 1960; Перспективы развития упругих чувствительных элементов. Сб. ст., М., 1961.

Г. Т. Березкин.

СИМВОЛИЧЕСКИЙ АДРЕС (symbolic address; adresse symbolique; symbolische Adresse, Pseudoadresse) — адрес в команде, не связанный с конкретным *распределением памяти*. С. а., так же как и истинный, определяет одно единственное число из перерабатываемой информации или одну единственную команду программы. Однако С. а. определяет не место этой команды или числа в памяти машины, а указывает, к какой части программы или информации они относятся и какое место в этой части они занимают. Таким образом С. а., числа или команды зависит от структуры соответствующей части информации или программы, но не зависит от расположения операторов и различных частей обрабатываемой информации в памяти машины.

Обычно С. а. имеют вид: $\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_k\alpha_{k+1}\ldots\alpha_N$, где разряды $\alpha_1\,\alpha_2\ldots\,\alpha_k$ указывают номер части программы или информации, а разряды α_{k+1} $\alpha_{k+2}\ldots\alpha_N$ — номер строки в соответствующей

части. Напр., С. а. четырехразрядный 5236 может означать 236-ю строку 5-й части программы или информации, если для обозначения номера части отводится один разряд, а для обозначения номера строки — три разряда.

По программе, описанной при помощи команд с С. а., может быть автоматически составлена программа, рассчитанная на любое заданное распределение памяти. Это можно сделать, расположив в памяти машины в указанном порядке все операторы программы и части информации. После этого, для каждого С. а. легко найти соответствующий ему истинный адрес. Заменой С. а. истинными адресами завершается составление программы.

С. С. Камынин.

СИММЕТРИЧНАЯ СТРУКТУРА (symmetric structure; structure symétrique; symmetrische Struktur) **релейного устройства** — релейная структура, реализующая симметрическую логич. ф-цию (в случае структур с одним выходом) или систему m таких ф-ций (в случае структур с m выходами). Под симметрической ф-цией $S_{a_1,\ a_2,\ldots,\ a_k}(x_1,\ldots,x_n)$, где $k \leqslant n$, понимается логич. ф-ция, принимающая значение 1 только в том случае, если $a_i (i = 1, 2,\ldots, k)$ переменных принимают значение 1. С. с. часто встречаются на практике, в частности в схемах различных сумматоров. Для реализации симметричной релейно-контактной структуры удобно использовать структуру типа «решетки» с мостиковыми элементами (рис. 1). Проводимость между

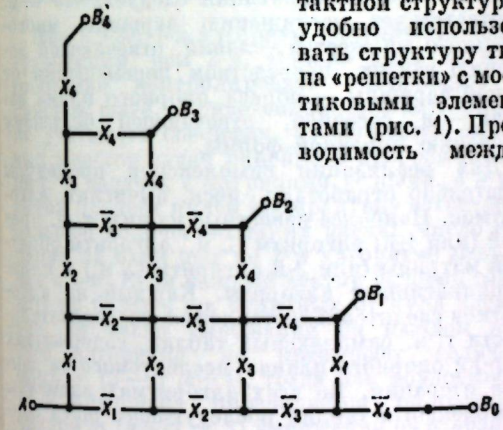


Рис. 1.

узлом A и узлом B_{a_i} равна 1 при срабатывании a_i любых реле. Напр., при срабатывании любых 4-х реле проводимость между узлами A и B_4 будет равна 1. Если, напр., требуется построить симметричную релейно-контактную структуру, имеющую проводимость, равную 1 при срабатывании «любых 2-х или любых 4-х реле», узлы B_2 и B_4 соединяются между собой, а остальные узлы с примыкающими к ним контактами не строятся вообще (рис. 2). Решетка разделительна относительно как входов, так и выходов, т. е. проводимость между каждой парой выходов всегда равна 0. С. с., реализуемая на бесконтактных элементах, зависит от логич. ф-ций, осуществляемых этими элементами. В простейшем случае, когда она строится из элементов «и», «или» и «не», методы синтеза применяются те же, что и при синтезе обычных структур с одним или неск. выходами. Однако для нахождения миним. нормальных выражений симметрических ф-ций предложены спец. приемы. Пусть $Q_0 = \bar{x}_1\bar{x}_2\ldots\bar{x}_n$, $Q_1 = x_1\bar{x}_2\ldots\bar{x}_n \vee \bar{x}_1x_2\ldots\bar{x}_n \vee \ldots \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\ldots\bar{x}_{n-1}x_n$, …, $Q_n = x_1x_2\ldots x_n$ и $\tau_0 = 1$, $\tau_1 = x_1 \vee x_2 \vee \ldots \vee x_n$, $\tau_2 = x_1x_2 \vee x_1x_3 \vee \ldots \vee \bigvee_t x_{n-1}x_n$, …, $\tau_n = x_1x_2\ldots x_n$, $\tau_{n+1} = 0$. Доказано, что $\bigvee_{i=r}^{t} Q_i = \tau_r \cdot \bar{\tau}_{t+1}$, $t > r$. Например, ф-цию $S_1(x_1, x_2, x_3) = x_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3$ можно представить в виде $\tau_1 \cdot \bar{\tau}_2 = (x_1 \vee x_2 \vee x_3) \cdot \overline{(x_1x_2 \vee x_1x_3 \vee x_2x_3)}$. Если через σ_i обозначить ф-цию τ_i от переменных $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n)$, то $\bigvee_{i=r}^{t} Q_i = \tau_r \cdot \sigma_{n-s}$. Напр., приведенная выше ф-ция будет иметь вид $\overline{(x_1 \vee x_2 \vee x_3)}$, $\overline{(x_1x_2 \vee x_1x_3 \vee x_2x_3)}$. После получения миним. нормальных выражений общие множители выносятся, если это возможно, за скобки, а при синтезе схем с неск. выходами, объединяются общие части в схемах, реализующих различные выходы.

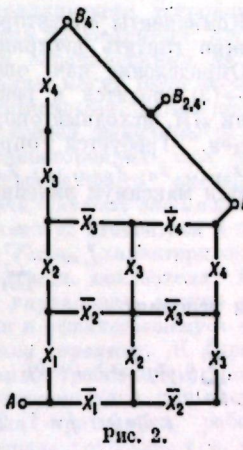


Рис. 2.

Лит.: Колдуэлл С. Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962; Epstein G., Synthesis of electronic circuits for symmetric functions «IRE Trans. Electronic Comput.», 1958, v. EC-7, № 1, p. 57.

В. Д. Казаков.

СИМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД (simplex method; méthode simplex; Simplexmethode) — вычислит. метод, позволяющий за конечное число однообразных по процедуре выполнения шагов (итераций) решить задачу *линейного программирования* (ЛП). Назв. метода связано с геометрич. истолкованием первых частных задач ЛП, к решению к-рых он был применен (ограничения этих задач состоят из условий вида $\sum_{j=1}^{n} x_j = 1,\ x_j \geqslant 0,\ j = 1, 2,\ldots, n$, определяющих в n-мерном пространстве симплекс, т. е. n-мерный выпуклый многогранник, имеющий $n+1$ вершин).

В отечеств. литературе С. м. наз. методом последовательного улучшения плана, что хорошо отражает его идею, содержащую три существ. пункта: а) указывается способ вычисления нач. опорного плана; б) устанавливается признак, позволяющий проверить, является ли выбранный опорный план оптимальным; в) формулируется правило, к-рое позволяет по выбранному неоптим. опорному плану построить др. опорный план, более близкий к решению задачи. Доказывается, что таким путем можно через конечное число шагов получить оптим. план.

Алгоритмы С. м. позволяют также в процессе вычислений установить, является ли задача ЛП разрешимой, т. е. не оказываются ли условия задачи противоречивыми и обеспечивают ли они ограниченность ее линейной формы.

В задаче ЛП требуется вычислить переменные $(x_1, x_2,\ldots,x_n)$, на к-рых достигается максимум линейной формы

$$L(X) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (1)$$

при условиях

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

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

Компоненты b_i вектора ограничений всегда можно считать неотрицательными.

Определение нач. опорного плана задачи (1)—(3) сводится к решению следующей задачи ЛП, исходный опорный план к-рой очевиден. Требуется определить переменные $x_1, x_2, \ldots, x_n, x_{n+1}, \ldots, x_{n+m}$, на к-рых достигается максимум линейной формы

$$\tilde{L} = -\sum_{i=1}^{m} x_{n+i} \qquad (4)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j + x_{n+i} = b_i, \quad i=1, 2, \ldots, m, \qquad (5)$$

$$x_j \geqslant 0, \quad j=1, 2, \ldots, n+m. \qquad (6)$$

Опорный план задачи (4)—(6) составляется из компонент: $x_j = 0$ при $j \leqslant n$ и $x_{n+i} = b_i$ при $i = 1, 2, \ldots, m$. Последовательно улучшая этот план в соответствии с рекомендациями С. м., получаем оптим. план $\tilde{X}^*$ задачи (4)—(6).

Неравенство $\tilde{L}(\tilde{X}^*) < 0$ может иметь место только в том случае, когда условия исходной задачи противоречивы. При $\tilde{L}(\tilde{X}^*) = 0$ все $x^*_{n+i} = 0$ $(i = 1, 2, \ldots, m)$ и первые n компонент решения задачи (4)—(6) составляют опорный план исходной задачи (1)—(3). Т. о., для изучения С. м. достаточно разобрать пункты б) и в).

Среди составляющих опорного плана задачи (1)—(3) не более m (а в невырожденном случае, рассмотрением к-рого здесь ограничиваемся, ровно m) положит. чисел. Пусть это первые m компонент $x_1, x_2, \ldots, x_m$. Соответствующие им векторы условий $A_1 = (a_{11}, a_{21}, \ldots, a_{m1}), \ldots, A_m = (a_{1m}, a_{2m}, \ldots, a_{mm})$ составляют базис полученного опорного плана. Разрешим ур-ния (2) относительно переменных $x_1, x_2, \ldots, x_m$ и подставим их значения в линейную форму (1). Выражения (1) и (2) переписываются при этом в виде

$$L(X) = \sum_{j=1}^{m} c_j x_j^0 - \sum_{j=m+1}^{n} \Delta_j x_j, \qquad (7)$$

$$x_i = x_i^0 - \sum_{j=m+1}^{n} x_{ij}x_j, \quad i=1, 2, \ldots, m. \qquad (8)$$

Параметры Δ_j и x_{ij} дают полную хар-ку исследуемому опорному плану, необходимую для завершения или продолжения симплексной процедуры.

Возможен один из следующих трех случаев:

1) $\Delta_j \geqslant 0$ для всех j;

2) $\Delta_j < 0$ для нек-рого j и все соответствующие этому индексу величины $x_{ij} \leqslant 0$ $(i = 1, 2, \ldots, m)$;

3) $\Delta_j < 0$ для нек-рых j и для каждого такого j, по крайней мере, одно из чисел x_{ij} положительоо.

В 1-м случае исследуемый опорный план оптимален. Во 2-м случае задача ЛП неразрешима — ее линейная форма не ограничена на множестве своих планов.

В 1-м и 2-м случаях решение задачи заканчивается установлением соответствующих фактов. В 3-м случае указывается способ перехода от исследуемого опорного плана к новому, с бо́льшим значением линейной формы и, следовательно, более близкому к решению задачи. В число векторов базиса нового опорного плана вводится вектор условий A_k с $\Delta_k < 0$ вместо вектора A_r — базиса предыдущего опорного плана. Номер r вектора условий A_r, исключаемого из базиса, определяется из условия:

$$\frac{x_r^0}{x_{rk}} = \min_i \frac{x_i^0}{x_{ik}},$$

где min берется по всем i, для к-рых $x_{ik} > 0$. Базисными переменными нового опорного плана (переменными, отвечающими векторам базиса) оказываются переменные $x_1, x_2, \ldots, x_{r-1}, x_k, x_{r+1}, \ldots, x_m$.

С новым опорным планом повторяется та же процедура, что и с предыдущим. Последоват. переходы от одного опорного плана к следующему производятся до тех пор, пока будет получено решение задачи (1-й случай) или будет установлена ее неразрешимость (2-й случай). Один из этих случаев обязательно наступит через конечное число шагов.

Из геометрич. интерпретации задачи линейного программирования следует, что С. м. соответствует достижению вершины многогранного множества условий, отвечающей решению задачи, посредством перемещения от одной вершины — образа опорного плана задачи — к соседней, отвечающей большему значению линейной формы.

Для реализации симплексной процедуры тщательно отработано неск. вычислит. алгоритмов. Наиболее известные из них: т. н. прямой (или 1-й) алгоритм С. м., алгоритм обратной матрицы (или 2-й алгоритм С. м.) и мультипликативный алгоритм. Каждый из алгоритмов сводится к составлению последовательности т. н. симплексных таблиц, содержащих хар-ки опорного плана, исследуемого на данной итерации. Во всех алгоритмах элементы симплексных таблиц последующего шага связаны с соответствующими элементами предыдущей итерации рекуррентными соотношениями вида:

$$\xi'_{ij} = \begin{cases} \xi_{ij} - \dfrac{\xi_{rj}}{\xi_{rk}}\xi_{ik} & \text{при } i \neq k, \\ \dfrac{\xi_{kj}}{\xi_{rk}}. \end{cases}$$

Индексы k и r обозначают номера векторов условий, включаемого в базис и исключаемого из базиса на соответствующей итерации. В 1-м алгоритме С. м. ξ_{ij} — компоненты x_{ij} разложения вектора условий по векторам базиса. Во 2-м алгоритме ξ_{ij} — элементы матрицы, обратной матрице, составленной из векторов текущего базиса.

По таким же рекуррентным ф-лам преобразуются и составляющие опорного плана $x_{s_i} = \xi_{i0}$, оценки $\Delta_j = \xi_{0j}$ и значения линейной формы $L(X) = \xi_{00}$.

В 1-м алгоритме преобразованию от шага к шагу подлежат составляющие разложения всех векторов условий по векторам базиса. Во 2-м алгоритме достаточно преобразовывать на каждом шаге матрицу, обратную матрице базиса. Однако необходимость вычисления оценок Δ_j на каждом шаге в ряде случаев сводит на нет преимущества 2-го алгоритма.

Мультипликативный алгоритм С. м. является одной из весьма полезных модификаций 2-го алгоритма, позволяющей весьма экономным образом использовать оперативную память ЦВМ.

Общее число итераций, необходимое для решения С. м. задачи ЛП, теоретически не установлено. Оно зависит от типа задачи и, гл. обр., от выбора исходного опорного плана. Многолетний опыт вычислений показал, что число шагов С. м., требуемое для отыскания оптим. плана, колеблется обычно между $1{,}5m$ и $2m$ [m — число условий вида (2) в задаче ЛП]. Ясно, что число итераций определяется методом и не зависит от того, выбран ли первый или второй алгоритм С. м. Трудоемкость вычислений на каждом шаге характеризуется для обоих алгоритмов С. м. следующей таблицей, в к-рой указано число умножений на одну итерацию.

	1-й алгоритм	2-й алгоритм
Проведение итерации	$m(n-m+1)$	$m(n+m+1)$
Контроль	$m(n+1)$	$m(m+1)$
Итого	$m(2n-m+2)$	$m(2m+n+2)$

При $n > 3m$ 1-й алгоритм оказывается более трудоемким, чем 2-й. Однако вряд ли целесообразно контролировать вычисления на каждом шаге. Приведенная сравнит. оценка не учитывает специфич. особенностей отдельных классов задач линейного программирования. В задачах с матрицами условий, в к-рых высок процент нулей (на практике встречается большое количество таких задач), число операций на один шаг во 2-м алгоритме меньше, чем в 1-м. Если каждый вектор условий содержит не больше αm отличных от нуля элементов, то число умножений на каждом шаге 2-го алгоритма не превышает величины $m[\alpha n + (2-\alpha)m + 1]$, тогда как трудоемкость 1-го алгоритма определяется по-прежнему числом $m(n-m+1)$ умножений на итерацию. Отсюда при $n > \frac{3-\alpha}{1-\alpha}m$ 2-й алгоритм требует меньше умножений, чем первый.

В СССР для основных типов ЦВМ составлены компактные программы для решения задач ЛП по С. м. Наиболее экономные из них реализуют мультипликативную модификацию 2-го алгоритма.

С. м. используется не только как вычислит. прием для решения конкретных задач ЛП. С помощью С. м. устанавливаются также многие качеств. результаты теории ЛП. Так, посредством С. м. получены простые доказательства теорем о существовании опорного плана и опорного решения, теоремы о разрешимости задачи ЛП, первой теоремы двойственности и др. Использование С. м. всегда приводит к конструктивному доказательству, позволяющему установить не только сам факт, но и приемлемые пути расчета.

Лит.: Гасс С., Линейное программирование, пер. с англ., М., 1961; Юдин Д. Б. и Гольштейн Е., Задачи и методы линейного программирования, М., 1961.

Д. Б. Юдин.

СИНТЕЗ (synthesis; synthèse; Synthese) систем автоматического управления — разработка управляющей части системы автоматич. управления, включающая в общем случае выбор принципа управления, типа, схемы и параметров управляющего устройства. Иногда задача С. сужается и при заданной схеме сводится к выбору параметров управляющего устройства. С. системы определяется требованиями, предъявляемыми к ней, и ограничениями на их выполнение. Требования могут быть качественными или количественными, напр. достижение показателем определ. величины (в определ. пределах — односторонних или двусторонних) или экстремального значения, когда ставится задача *синтеза оптимальной системы*. Требования могут относиться к процессу управления или характеризовать нек-рые технико-экономич. показатели. Требования к процессу управления можно разделить на требования к *установившемуся процессу* и к *переходному процессу*. К первым относится, как правило, требование *устойчивости*, к-рое несущественно лишь для систем, предназначенных для кратковрем. работы. Выделяют также условие грубости, т. е. сохранение устойчивости при малых отклонениях параметров системы от расчетных значений. Часто к установившемуся процессу предъявляется требование *астатизма*. Требования к переходному процессу: к величине времени переходного процесса, перерегулирования (см. *Качества показатели*), к величине интегрального показателя (см. *Интегральных оценок метод*), к характеру протекания переходного процесса (см. *Монотонный процесс*) и т. д. Для релейных и импульсных систем иногда формулируется требование конечности времени переходного процесса. Ограничения относятся к заданной части системы (объект управления) и чаще всего представляют собой ограничения координат. Ограничения на С. накладываются также нек-рыми отрицат. св-вами линейного объекта (напр., наличием нулей и полюсов передаточной ф-ции в правой полуплоскости, запаздыванием). Дополнит. задания, относящиеся к управляющему устройству, можно рассматривать как ограничения, накладываемые на управляющую часть, напр. требование линейности или задание схемы управления (огранич. С.).

Методы С. разделяются на прямые и пробно-проверочные; аналитические и графо-аналитические. Они в значит. мере различаются в зависимости от требований к системе, от ограничений управляющей части и от задания внешних воздействий (регулярных или случайных).

Методы С. линейных систем: а) Для непрерывных систем — при заданных показателях переходного процесса или частотных хар-ках системы, в случае регулярных воздействий, С. обычно проводится графо-аналитич. методами (см. *Корневого годографа метод*). Задача С. оптим. линейной системы возникает, напр., при применении квадратичных критериев оптимальности при случайных воздействиях. В этом случае применяются прямые аналитич. методы и графоаналитич. частотные методы (см. *Синтез статистически оптимальных систем*). б) Для импульсных систем — при заданных регулярных воздействиях применяются гл. обр. прямые аналитич. методы во временно́й области,

в первую очередь, методы конечного времени установления. В частности, при заданном времени квантования возникает задача С. оптимальной по быстродействию системы. В меньшей степени находят применение методы логарифмич. частотных хар-к и корневого годографа. Детально разработаны методы С. оптимальных систем при случайных воздействиях, когда существ. роль играет распределение нулей и полюсов передаточной ф-ции объекта.

Методы С. нелинейных систем: введение нелинейных связей; построение оптимальных систем при наличии ограничений фазовых координат; построение систем с перем. структурой.

Можно выделить методы С. релейных систем, основанные гл. обр. на частотных представлениях. Разработаны также методы *синтеза автоматического.*

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Траксел Дж., Синтез систем автоматического регулирования, пер. с англ., М., 1959; Цыпкин Я. З., Теория линейных импульсных систем, М., 1963; его же, Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955. *Р. С. Рутман.*

СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКИЙ (automatic synthesis; synthèse automatique; automatische Synthese) — автоматич. определение оптимальных в к.-л. смысле параметров и структуры систем связи и управления. При разработке новых типов систем необходимо осуществлять выбор варианта схемы, а также находить формы хар-к и значения параметров элементов выбранной схемы. При этом обычно руководствуются к.-л. критерием Q, принимающим экстрем. значение для выбранного варианта. Напр., если требуется осуществить такой обнаруживатель сигналов, в к-ром безусловная вероятность ошибки была бы минимальной, то в этом случае Q — вероятность ошибки. Если надо построить управляющую часть системы автоматич. регулирования так, чтобы переходные процессы в системе заканчивались за миним. время, то Q — время переходного процесса. Если необходимо осуществлять управление химич. объектом (реактором, крекинг-установкой и т. п.) так, чтобы ср. производительность агрегата была максимальной, то Q — величина последней.

Теория оптим. процессов и *синтеза оптимальных систем* получила значит. развитие. Однако многие важнейшие задачи еще до сих пор не решены. Даже в тех случаях, когда общий метод нахождения решения известен, фактически решение задачи с помощью вычислит. устройств обычного типа невозможно или крайне затруднительно. Процесс синтеза особенно осложняется тем, что практика ставит не только задачу нахождения строго оптим. систем, но и задачу синтеза значительно более простых систем, достаточно близких к оптимальным. Получившие распространение электронные моделирующие установки (ЭМУ) и ЦВМ позволяют набирать на них математич. модель сложного объекта и системы управления. Изменением параметров, хар-к и структурной схемы можно в принципе добиться наилучшего решения. Особенно удобно изменять параметры и хар-ки на ЭМУ непрерывного действия. Однако такая «оптимизация вручную» связана с большой затратой времени и не исключает возможности нахождения не наилучшего решения из-за недостатка времени либо из-за недостаточного внимания при эксперименте. По указанным причинам решение ряда задач синтеза оптим. систем управления и связи осуществляется путем С. а.

С. а. может использоваться для нахождения оптим. процессов, к-рые в ряде случаев могут служить трамплином для перехода к синтезу самой системы. Иногда путем С. а. целесообразно находить оптим. закон, связывающий вход и выход управляющей части системы, и лишь потом по найденному алгоритму управления переходить к синтезу самой управляющей части с таким же или близким алгоритмом. Наконец, при помощи С. а. может быть найдена сразу сама требуемая структурная схема системы, к-рая затем кладется в основу проектирования реальной системы управления.

С. а. может осуществляться при помощи многоканального *оптимизатора автоматического* (АО). На схеме рис. 1 объект оптимизации O (или его модель) состоит из управляющей части A и управляемой части B. Параметры A можно изменять с помощью управляющих величин $y_1, \ldots, y_n$. Воздействуя достаточным количеством величин y_i, можно изменять передаточные ф-ции линейных блоков, нелинейные хар-ки нелинейных блоков, а также структурную схему части A. Для каждого варианта схемы из части B выводится (либо вычисляется промежуточным вычислит. устройством) критерий качества Q. Точно также выводятся или вычисляются величины H_j, к-рые в объекте оптимизации не должны (согласно заданным условиям) превышать допустимые значения. Все эти величины подаются на АО, к-рый автоматически изменяет управляющие величины $y_1,\ldots,y_n$ с целью минимизации (или максимизации) величины Q, при удовлетворении дополнит. условий, напр. $H_j \leqslant 0$ $(j = 1,\ldots,m)$.

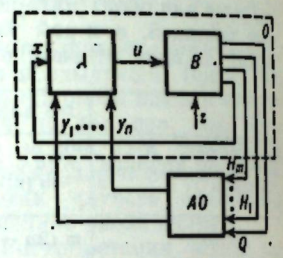


Рис. 1. Структурная схема системы автомат. синтеза: $y_1,\ldots,y_n$ — управляющие воздействия АО; $H_1,\ldots,H_m$ — ограниченные величины; u — управляющее воздействие системы B; z — случайная помеха, действующая на управляемую часть.

Величины Q и H_j являются ф-циями величин $y_1,\ldots,y_n$. Однако эти ф-ции заранее неизвестны либо потому, что объект O слишком сложен, либо потому, что он изменяется заранее непредвиденным образом, напр. из-за воздействия случайной помехи z. АО производит пробные изменения параметров $y_1, \ldots, y_n$ и анализирует влияние пробных воздействий на величины Q и H_j. В результате анализа выясняется, в каком направлении следует производить дальнейшие рабочие изменения параметров $y_1,\ldots,y_n$, чтобы добиться экстремума величины Q при дополнит. ограничениях H_j.

Комплекс аппаратуры для С. а., получивший распространение, состоит из следующих осн. частей: а) неизменяемой модели обычного типа (напр., модель части B системы, рис. 1); б) самонастраивающейся модели, управляемой величинами y_i, идущими от АО (напр., модель части A, рис. 1); в) автоматич. оптимизатора, производящего процесс автоматич. поиска в системе; г) вспомогат. аппаратуры (промежуточного блока памяти, блока вычисления величин Q и H_j, блока синхронизации работы комплекса аппаратуры).

Пример С. а. На рис. 2 показана ЭМУ M следящей системы 3-го порядка, действующая в ускоренном масштабе времени. На вход модели периодически подается сигнал x прямоугольной формы. На усилителе $У$ формируется напряжение, пропорциональное динамич. погрешности Q следящей системы. Это напряжение после выпрямления и сглаживания поступает на вход АО.

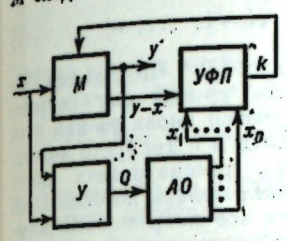


Рис. 2. Структурная схема автоматич. синтезатора следящей системы 3-го порядка с нелинейной тахометрич. обратной связью: Q — минимизируемая величина, равная усредненному значению динамич. погрешности; $x_1,\ldots,x_n$ — управляющие воздействия, изменяющие вид ф-ции f, воспроизводимой УФП; k — величина тахометрич. обратной связи.

Следящая система включает тахометрич. *обратную связь*, величина к-рой является нелинейной ф-цией отклонения выходной величины системы y от заданного значения x. Вид этой ф-ции находится при помощи АО в процессе минимизации величины динамич. погрешности системы путем воздействия на управляемый функцион. преобразователь (УФП) напряжениями $x_1,\ldots,x_n$. На рис. 3 показан полученный вид нелинейной зависимости. Динамич. погрешность такой системы минимальна, если при больших отклонениях система включает положит., а при малых отклонениях — отрицат. тахометрическую обратную связь.

Рис. 3. Зависимость величины тахометрич. обратной связи k от отклонения выходной величины следящей системы y от требуемого состояния x.

Лит.: Фельдбаум А. А., Автоматический синтез процессов, алгоритмов и систем, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, №4; Стаховский Р. И., Фицнер Л. Н., Шубин А. Б., Автоматические оптимизаторы и их применение для решения вариационных задач и автоматического синтеза, в кн.: Труды 1-го Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т.] 4, М., 1961; Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения. Ш., «АиТ», 1961, т. 22, № 8. *Л. Н. Фицнер.*

Синтез автоматический на ЦВМ предполагает использование ЦВМ для синтеза различного рода схем и разработки структур устройств автоматики, электроники и вычислит. техники. В качестве составной части алгоритма С. а. на ЦВМ может быть использован расчет тех или иных параметров схемных вариантов, синтезированных на ЦВМ, а также цифровое моделирование действия таких схем.

Работа по С. а. на ЦВМ начинается обычно с анализа существующих ручных методов и выяснения условий, к-рым должна удовлетворять синтезированная схема. Сложность многих задач С. а. на ЦВМ зачастую приводит к составлению алгоритма, основанного на направленном переборе допустимых вариантов схем. В этом случае для сравнения вариантов на машине необходимо сформулировать критерий качества проектирования — число, определяющее в какой мере удовлетворены условия на синтез в данном варианте схемы.

Пусть качество варианта схемы определяется совокупностью чисел $q_1, q_2, \ldots, q_n$ таких, что вариант с качеством $(q_1, q_2, \ldots, q_i^*, \ldots, q_n)$ «лучше» варианта с качеством $(q_1, q_2, \ldots, q_i, \ldots, q_n)$, если $q_i^* > q_i$. Тогда критерий качества Q часто удобно выразить в виде $Q = \sum_{i=1}^{n} k_i q_i$, где k_i — константы, выбираемые в согласии с имеющимися требованиями и опытом проектирования. Если формулировка полного критерия качества представляет трудности, окончат. выбор синтезированной схемы целесообразно выполнять вручную. Более эффективны алгоритмы С. а. на ЦВМ, основанные на использовании различных аналитич. методов и комбинации таких методов с перебором вариантов. Большую роль для С. а. на ЦВМ должно играть создание самообучаемых программ.

По алгоритму синтеза составляется программа для той или иной универсальной или специализир. ЦВМ. При выполнении программы на ЦВМ в ее накопитель должны быть помещены исходные данные, определяющие условия синтеза конкретной схемы.

Использование ЦВМ для синтеза схем и разработки структур позволяет повысить качество проектирования и для многих задач значительно сократит его сроки. Наибольший эффект С. а. на ЦВМ дает при наличии большого количества задач синтеза, близких между собой по типу, и при таком характере представления результатов выполнения задачи синтеза на ЦВМ, к-рый сводит к минимуму их ручную обработку. Последнее включает возможность изготовления на внешних устройствах ЦВМ наглядных и удобных для использования чертежей, графиков, таблиц и др. документации, представляющей схему.

С. а. на ЦВМ может иметь продолжением автоматич. изготовление синтезиров. схем. В этом случае результаты выполнения алгоритма удобно представлять в форме, пригодной для управления технологич. оборудованием. ЦВМ эффективно используются для синтеза релейно-контактных схем, различного рода монтажных схем радиоэлектроники, выбора оптим. параметров систем регулирования и компоновки графич. схем. Характерным примером задачи по С. а. на ЦВМ является относящаяся к синтезу монтажных схем задача размещения деталей или блоков на плоскости внутри прямоугольной области. Исходные данные для этой задачи — размеры деталей, связи между ними и допустимые зоны расположения клемм на краях платы. Требования к проектированию выражаются в виде: стремления к достижению миним. длины проводов, обеспечения уровня помех между проводами и деталями ниже допустимого, благоприятных условий отвода тепла и ряда др. условий. Один из возможных путей решения этой задачи основан на формулировке ее как задачи отыскания минимума взвешенной суммы длин

проводов при наличии ограничений и решении ее приближ. методами.

Лит.: Линский В. С., Алгоритмическое проектирование вычислительных цифровых устройств, М., 1963; Kloomok M., Case P. W., Graff H. H., The recording, checking, and printing of logic diagrams. Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, Dec. 3—5, 1958. Philadelphia, N. Y., 1959; Leichner G. H., Designing computer circuits with a computer, «J. Assoc. Comput. Machinery», 1957, v. 4, № 2. *В. С. Линский.*

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ (optimal systems synthesis; synthèse de systèmes optimaux; Synthese optimaler Systeme) — разработка структурной схемы, определение хар-к и параметров оптимального в к.-л. смысле УУ. Под С. о. с. понимают обычно лишь определение алгоритма оптим. УУ, т. е. закона, связывающего его выходную величину — управляющее воздействие — с входными величинами, поступающими в УУ. Поэтому С. о. с. иногда наз. синтезом оптим. алгоритмов. Конструирование реального УУ не входит в задачу С. о. с. и составляет предмет последующего этапа разработки системы.

1) Синтез оптимальных по быстродействию систем методом фазового пространства. Пусть ур-ния движения объекта имеют вид

$$\frac{dx_i}{dt}=f_i(x_1, \ldots, x_n; u, t) \quad (i=1, \ldots, n), \quad (1)$$

где x_i — координаты объекта, совокупность к-рых определяет состояние объекта в любой момент времени, $u(t)$ — управляющее воздействие, ограниченное условием

$$|u| \leqslant U, \quad (2)$$

где $U=\text{const}$, а f_i — вообще говоря, нелинейные ф-ции своих аргументов конечные при конечных значениях x_i. Для идеального процесса должно быть обеспечено условие

$$x_i=x_i^* \quad (i=1, 2, \ldots, n), \quad (3)$$

где x_i^* — нек-рые заданные допустимые ф-ции времени, т. е. такие ф-ции, к-рые могут быть решениями ур-ний (1) при $u(t)$, удовлетворяющем условию (2). Векторам

$$\left.\begin{aligned}\bar{x}&=(x_1, \ldots, x_n)\\ \bar{x}^*&=(x_1^*, \ldots, x_n^*)\end{aligned}\right\} \quad (4)$$

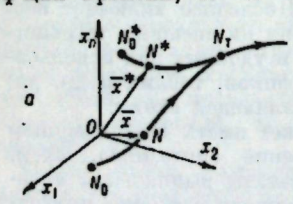


Рис. 1. Фазовое пространство.

в фазовом пространстве (ФП) системы соответствуют изображающие точки N и N^* соответственно (рис. 1, *а*). Пусть N_0 и N_0^* — нач. положения этих точек. Пусть, далее, процесс перехода объекта от нач. состояния, соответствующего N_0, до состояния, соответствующего точке N_T, где N и N^* совмещаются, имеет длительность T. При $t>T$ обе точки оказываются совпадающими. Система наз. оптимальной по быстродействию, если в ней время T переходного процесса минимально.

Точки N и N^* не могут встретиться в течение сколь угодно малого T, т. к. ввиду условия (2) и ограниченности f_i изображающая точка N не может перемещаться в ФП с бесконечно большой скоростью. Задача состоит в подборе такого допустимого, т. е. удовлетворяющего условию (2) управляющего воздействия $u(t)$, чтобы встреча точек N и N^* в ФП произошла спустя промежуток времени T миним. длительности.

Можно видоизменить постановку задачи, введя погрешности

$$\varepsilon=x_i^*-x_i \quad (i=1, \ldots, n) \quad (5)$$

и вектор $\varepsilon=(\varepsilon_1, \ldots, \varepsilon_n)$. Подставляя (5) в (1), можно получить ур-ния для погрешностей ε_i. Т. к. получатся вновь ур-ния того же типа, что и (1), хотя и с др. f_i, то можно, переименовав ε_i в x_i, рассматривать опять ур-ния типа (1). Однако теперь по окончании переходного процесса все погрешности обращаются в нули. Следовательно, изображающая точка N (рис. 1, *б*), выходя из нач. положения N_0, попадает по окончании переходного процесса в начало координат.

Рассмотрим частный случай задачи, когда движение объекта характеризуется линейным дифференц. ур-нием с пост. коэффициентами (X — выходная величина объекта):

$$a_0\frac{d^nX}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}X}{dt^{n-1}}+\ldots+a_nX=u, \quad (6)$$

где $a_0>0$ и корни характеристич. ур-ния

$$a_0p^n+a_1p^{n-1}+\ldots+a_n=0 \quad (7)$$

действительные и неположительные. Для этого случая справедлива теорема об n интервалах, заключающаяся в следующем: оптим. процесс $x(t)$ состоит из n интервалов; в каждом из них

$$u=\sigma U, \quad (8)$$

где

$$\sigma=\pm 1 \quad (9)$$

и знаки σ чередуются на соседних интервалах. Эту теорему можно применить для синтеза оптим. УУ. Пусть в простейшем случае $n=2$ и имеются два интервала, а ур-ние движения объекта

$$a_0\frac{d^2X}{dt^2}=u. \quad (10)$$

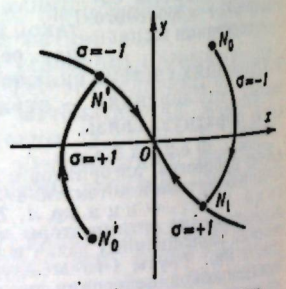


Рис. 2. Фазовая плоскость.

В данном случае ФП превращается в фазовую плоскость (рис. 2). Обозначим через X_0 задающее воздействие. Пусть координаты x и y на этой плоскости представляют собой погрешность ($x=X_0-X$) и ее производную и пусть $X_0=\text{const}$. Согласно теореме об n интервалах, фазовая траектория состоит из двух участков, напр. N_0N_1 и N_1O или $N_0'N_1'$ и $N_1'O$. На одном из участков $\sigma=+1$ и $u=U$, а на др. $\sigma=-1$ и $u=-U$. В результате происходит попадание в начало координат O (сравни также с рис. 1, *б*). Из рис. 2 видно, что переключение знака σ происходит на линиях ON_1 и ON_1'. Они представляют собой отрезки парабол. Действительно, заменяя время t новым аргументом по ф-ле:

$$\tau=T-t, \quad (11)$$

где τ — «обратное» время, можно рассматривать задачу выхода изображающей точки из положения O по одной из двух линий ON_1 и ON_1'. Заменяя аргумент t на τ по ф-ле (11), получаем вместо (10) ур-ние

$$a_0\frac{d^2x}{d\tau^2}=u. \quad (12)$$

Решая его при «начальных» условиях ($\tau=0$ $x=y=0$), для $u=\sigma U$ получаем:

$$x=\frac{\sigma U}{a_0}\frac{\tau^2}{2}; \quad y=\frac{dx}{dt}=-\frac{dx}{d\tau}=-\frac{\sigma U}{a_0}\tau. \quad (13)$$

Исключая τ из ур-ний (13), находим ур-ния отрезков парабол:

$$x=\frac{1}{2}\frac{a_0}{\sigma U}y^2. \quad (14)$$

Из 2-го равенства ур-ния (13) следует, что $\sigma=+1$ для линии ON_1, где $y<0$, и $\sigma=-1$ для линии ON_1'. Т. о., справедливо ур-ние:

$$x=\frac{1}{2}\frac{a_0}{U}y^2 \quad (y<0,\ x>0) \quad (15)$$

для линии ON_1 и ур-ние

$$x=-\frac{1}{2}\frac{a_0}{U}y^2 \quad (y>0,\ x<0) \quad (16)$$

для линии ON_1'. Ур-ния (15) и (16) можно объединить в одно:

$$x=-\frac{1}{2}\frac{a_0}{U}y^2\operatorname{sign}y, \quad (17)$$

где $\operatorname{sign}y=+1$ при $y>0$ и $\operatorname{sign}y=-1$ при $y<0$.

Нетрудно видеть, что область над линией $N_1'ON_1$, характеризуемой ур-нием (17), соответствует значению $\sigma=-1$, а область под этой линией — значению $\sigma=+1$. Следовательно, вопрос о том, какой знак должен быть у управляющего воздействия $u(t)$ при данном состоянии (x, y) объекта, решается знаком ф-ции:

$$\psi=x+\frac{1}{2}\frac{a_0}{U}y^2\operatorname{sign}y=x+\frac{1}{2}\frac{a_0}{U}y|y|. \quad (18)$$

Если $\psi>0$, что соответствует области над линией переключения, то $\sigma=-1$; если $\psi<0$, то $\sigma=+1$. Итак,

$$u=-U\operatorname{sign}\psi. \quad (19)$$

Ур-ния (18) и (19) дают возможность произвести синтез оптим. УУ. Его структурная схема дана на рис. 3. С выхода дифференциатора $Д$ снимается производная y от x; нелинейный преобразователь $НП_1$ образует модуль $|y|$ величины y; на выходе множительного звена $МЗ$ получается произведение входных величин y и $|y|$ с пост. коэфф. пропорциональности $\frac{1}{2}\frac{a_0}{U}$; x и выход $МЗ$ суммируются в суммирующем звене Σ. В результате суммирования образуется величина ψ, поступающая на вход релейного звена $РЗ$. На выходе последнего получается управляющее воздействие u. Схема от x до u представляет собой структурную схему УУ $А$. Управление u поступает на вход управляемого объекта $В$, выход к-рого обозначен X. После изменения знака X в инверторе (-1) и сравнения с задающим воздействием X_0 в суммирующем звене Σ на выходе последнего получается погрешность x, к-рая

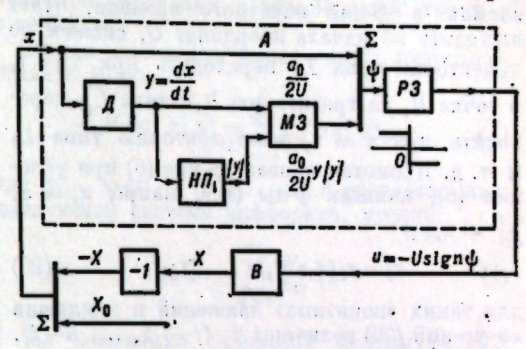


Рис. 3. Структурная схема оптимального управляющего устройства.

поступает на вход УУ $А$. Эта методика обобщается на случай объектов более высокого порядка, где вместо фазовой плоскости приходится рассматривать n-мерное ФП (рис. 4).

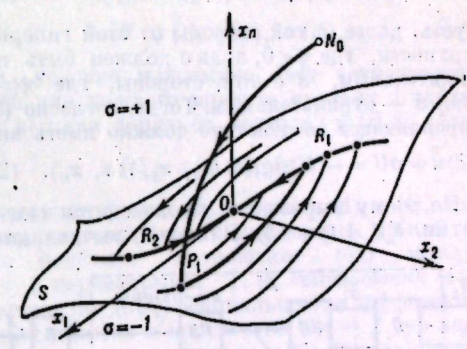


Рис. 4. Трехмерное фазовое пространство.

Оно также разбито на две области: $\sigma=+1$ и $\sigma=-1$, разделяемые $(n-1)$-мерной гиперповерхностью S. Рассмотрим метод получения этой гиперповерхности переключения.

На рис. 4 показано трехмерное ФП, однако методика без изменений применима для пространства любой размерности. В начало координат O можно попасть, двигаясь лишь по двум траекториям R_1O при $\sigma=+1$ и R_2O при $\sigma=-1$. Обозначим их L_1' и L_1'' соответственно. Далее, в к.-л. определ. точку траектории L_1' можно попасть, двигаясь при $\sigma=-1$ по траектории типа P_1R_1. Обозначим множество точек траекторий, соответствующих $\sigma=-1$ и ведущих к точкам траектории L_1', через L_2'. В свою очередь, к каждой точке траектории, принадлежащей к L_2', ведет одна траектория с $\sigma=+1$. Обозначим множество точек всех таких траекторий, ведущих к L_2', через L_3' и т. д. Совершенно аналогично обозначим множество точек траекторий с $\sigma=+1$, ведущих к L_1'', через L_2'' множество точек траекторий с $\sigma=-1$, ведущих к L_2'', через L_3'' и т. д. Оказывается, что гиперповерхность переключения S состоит из двух частей, являющихся как раз множествами точек L_{n-1}' и L_{n-1}''.

Построить эти множества удобно, воспользовавшись обратным временем [см. ф-лу (11)]. Тогда изображающая точка, рассматриваемая в ф-ции обратного времени, будет выходить из начала координат O, скажем по траектории типа L_1' переходить при $\tau=\tau_1$ в точке R_1 на траекторию R_1P типа L_2', переходить при $\tau=\tau_2$ на траекторию типа L_3' и т. д. Проинтегрировав ур-ние (6) при условии (8), написав ф-лы (где, напр., $x_1=x$, $\frac{d^ix}{dt^i}=x_{i+1}$)

$$x_i=x_i(\tau_1, \tau_2, \ldots, \tau_{n-2}) \qquad (20)$$

для таких «попятных» движений и исключив из ур-ний (20) величины τ_j ($j=1, \ldots, n-2$), можно получить зависимость между x_i, являющуюся ур-нием одной части L'_{n-1} гиперповерхности S. Аналогично получается и часть L''_{n-1}. Допустим, что ур-ние гиперповерхности S имеет вид:

$$\psi(x_1, \ldots, x_n)=0. \qquad (21)$$

Пусть, далее, с той стороны от этой гиперповерхности, где $\psi<0$, знак σ должен быть положительным, а с той стороны, где $\psi>0$, знак σ — отрицательным. Тогда, согласно (8), управляющее воздействие должно иметь вид:

$$u=\sigma U=-U\,\mathrm{sign}\,\psi(x_1, x_2, \ldots, x_n). \qquad (22)$$

По этому выражению производится синтез оптим. УУ A (рис. 5). В блоке $П$ вычисляются

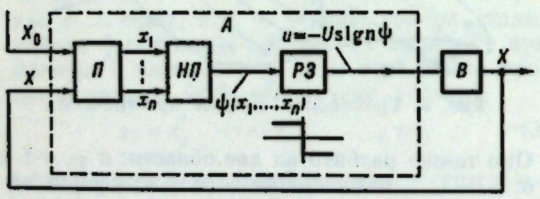


Рис. 5. Структурная схема управляющего устройства A.

координаты $x_1, x_2, \ldots, x_n$ — напр., значения погрешности и ее производных; они поступают на вход нелинейного преобразователя $НП$, вырабатывающего ф-цию ψ. Последняя подается на вход релейного звена $РЗ$, выход u к-рого подчиняется закону (22). Управляющее воздействие u поступает на вход управляемого объекта B, выходом к-рого является управляемая величина X.

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; его же, «АиТ», 1949, т. 10, № 4; 1955, т. 16, № 2; Hopkin A. M., «Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs.», 1951, v. 70, pt 1; Bogner I., Kazda L. F., там же, 1954, v. 73, pt 2. *А. А. Фельдбаум.*

2) С. о. с. при помощи областей изохрон. Этот способ С. о. с. эффективен для сложных объектов, в т. ч. объектов с нелинейными хар-ками и ограничениями координат. Совокупность оптим. процессов находят при построении границ *изохрон областей* методом обратного времени [1]. Для этого в ур-ниях движения системы время t заменяется на $\tau=-t$, заданное состояние системы рассматривается как ее нач. состояние, и задача синтеза оптим. управления сводится к задаче интегрирования ур-ния движения динамич. системы при известных нач. условиях и при известной форме входного воздействия $u(t)$. При этом $u(t)$ должно удовлетворять условиям, вытекающим из *максимума принципа*: оно должно содержать нужное число скачков и изменяться так, чтобы изображающая точка в течение любого конечного интервала времени двигалась по границам области допустимых состояний системы.

Метод областей изохрон позволяет синтезировать оптим. управления также для случаев, когда точка, изображающая заданное состояние системы, в течение определ. интервала выходит за пределы области допустимых состояний (S-области). Пусть требуется оптим. образом воспроизвести движение, заданное траекторией 1 в пространстве состояний системы, описываемой ур-нием 2-го порядка (рис. 6). Существенно, что на участке a_1a_2

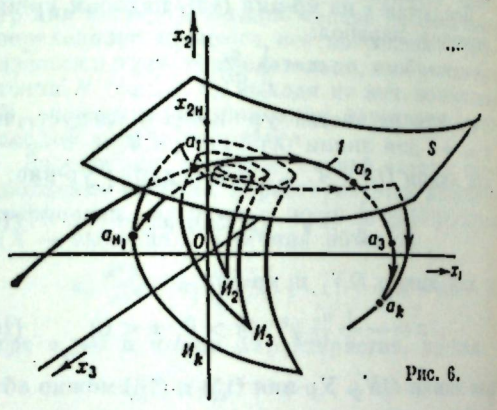


Рис. 6.

траектория 1 выходит за пределы S-области. Будем считать приближение движения системы к заданному наилучшим в том случае, если период несоответствия ее состояния заданному будет минимальным. В ряде распространенных случаев такая форма процесса оказывается оптимальной также и по условиям минимума средней и среднеквадратичной погрешности воспроизведения. Очевидно, что ни в одной точке участка, заключенного между точками a_1 и a_2, состояние системы не может совпасть с заданным. Выделим в пространстве состояний системы семейство областей изохрон H_2, H_3, ..., H_k относительно полюсов $a_2, a_3, \ldots, a_k$, расположенных внутри S-области (включая границы) со временами перехода в эти точки за время $t_2<t_3<\ldots<t_k$, соответствующими времени движения изображающей точки из положения a_1 по траектории 1 в $a_2, a_3, \ldots, a_k$. Поскольку границы этих областей изохрон будут монотонно расширяться, то для определ. значения $t=t_k$ граница области изохрон пройдет через точку a_1. Следовательно, время t_k будет минимальным временем приведения системы в состояние, соответствующее заданному, а точка a_k явится именно той точкой пространства состояний, где может произойти наиболее ранняя встреча траекторий заданного и действительного движений системы.

На рис. 7 приведен пример оптим. процесса следования за невоспроизводимой ф-цией для системы, в к-рой ограничены значения первой и второй производных управляемой величины. На рис. 7, *а* этот процесс показан во времени, а на рис. 7, *б* — на плоскости x_1, x_2.

Использование метода областей изохрон оказывается эффективным также и для синтеза оптим. управлений в случаях, когда ограничения наложены на нефазовые координаты системы, напр., когда ограничен нагрев обмоток управляемого двигателя [2] (см. также *Следящая система с ограничением по нагреву*).

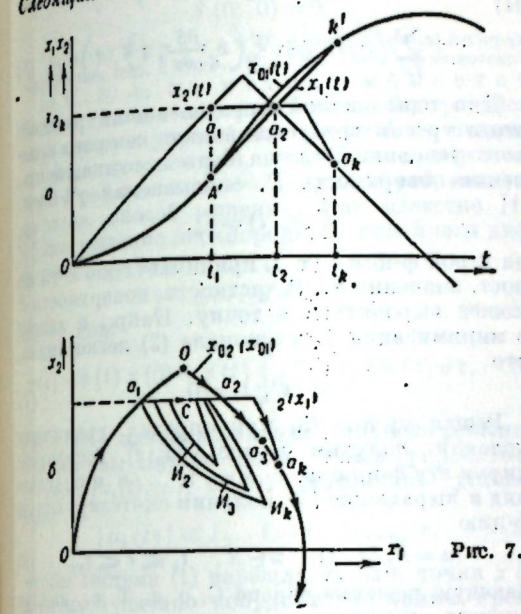


Рис. 7.

Оптимальное значение нек-рых параметров управляемых систем также удается определить при помощи областей изохрон, таких, напр., как передаточное отношение редуктора следящего привода, обеспечивающее макс. быстродействие, и т. п. [3].

Лит.: 1) Лернер А. Я., Принципы построения быстродействующих следящих систем и регуляторов, М.—Л., 1961; 2) Розенман Е. А., «АиТ», 1958, т. 19, № 7; 3) Наджафова Г. А., там же, 1962, т. 23, № 3. *А. Я. Лернер.*

3) С. о. с. с помощью принципа максимума. Пусть управляемый объект описывается следующей системой обыкновенных дифференц. ур-ний:

$$\dot{x}_i=f_i(x, u),\ i=1, 2, \ldots, n, \qquad (1)$$

где вектор $x=(x_1, \ldots, x_n)$ характеризует состояние управляемой системы в каждый момент времени t, $t_0\leqslant t\leqslant t_1$, т. е. $x=x(t)$. При этом вектор $u=u(t)$ может принимать свои значения из нек-рой допустимой области ω r-мерного эвклидова пространства.

Для систем, описывающихся ур-ниями типа (1), задача синтеза оптим. управления (ОУ) может ставиться в двух следующих аспектах: а) найти такое допустимое управление u как ф-цию изображающей точки x системы (1) в фазовом пространстве, чтобы система (1) попала в заданную точку x^1 и интеграл

$$x_0=\int_{t_0}^{t_1} f_0(x, u)\,dt \qquad (2)$$

достиг своего миним. значения, где время t_1 определяется моментом попадания изображающей точки x в точку x^1; б) для любого нач. состояния системы x^0, принадлежащего нек-рому фиксированному множеству Γ нач. состояний системы (1) (в общем случае это множество может совпадать со всем фазовым пространством X данной системы), найти такое допустимое управление $u(t)$ (программу управления во времени, зависящую от нач. точки $x^0\in\Gamma$) $t_0\leqslant t\leqslant t_1$, $u\in\omega$, чтобы система (1) перешла из нач. состояния x^0 в заданное состояние x^1 и т. о., чтобы интеграл (2) достиг своего миним. значения, где время t_1 также определяется моментом попадания изображающей точки x в точку x^1.

Следуя *максимума принципу* [1], нужно составить ф-цию

$$H(\psi, x, u)=\sum_{i=0}^{n}\psi_i f_i(x, u), \qquad (3)$$

где $\psi_i=\psi_i(t)$, $i=0,1, \ldots, n$ удовлетворяют следующей системе дифференц. ур-ний:

$$\dot{\psi}_i=-\sum_{\alpha=0}^{n'}\frac{\partial f_\alpha}{\partial x_i}\psi_\alpha. \qquad (4)$$

На основании принципа максимума ОУ $u(t)$ таково, что при фиксиров. векторах ψ и x ф-ция H, определенная равенством (3), достигает максимума по аргументу u, когда u меняется в области ω, почти для каждого момента времени t, $t_0\leqslant t\leqslant t_1$, т. е.

$$\max_{u\in\omega} H(\psi(t), x(t), u)=H(\psi(t), x(t), u(t)). \qquad (4a)$$

Т. о., условие максимума дает возможность почти для каждого момента времени t найти ОУ $u(t)$ как ф-цию от векторов $\psi(t)$ и $x(t)$, т. е.

$$u(t)=u(\psi(t), x(t)). \qquad (5)$$

Подставляя ф-цию (5) в ур-ния (1) и (4), получим систему $2n+2$ дифференц. ур-ний и одно конечное соотношение (4а) между $2n+3$ переменными. Т. к. соотношение (4а) конечное (не дифференциальное), а дифференц. ур-ний имеется в количестве $2n+2$ [ур-ния (3), (4)], то решение системы (3), (4), (4а) зависит от $2n+2$ параметров [нач. условий системы (3), (4)]. Однако один из этих параметров является несущественным, т. к. ф-ции $\psi_i(t)$, $i=0,1, \ldots, n$, определены лишь с точностью до общего множителя в силу линейности системы (4). Кроме того, один из параметров связан условием, говорящим о том, что ф-ция H при $t=t_1$ равна нулю.

Принцип максимума непосредственно не дает приемов для определения этих $2n+1$ параметров [нач. условий для системы (4)]. Определение таких параметров уже не есть в полном смысле слова вариац. задача. Это т. н. краевая задача, в к-рой требуется, чтобы решение системы (3), (4) удовлетворяло определ. условиям (прохождение через заданные точки x^0 и x^1) в разные моменты времени t_0 и t_1. Для решения этой задачи требуется привлекать различные вычислит. методы и приемы решения. Один из таких методов описан в [2]. Он основан на применении самонастраивающейся системы в виде многоканального *оптимизатора автоматического* в сочетании с моделью для решения системы ур-ний (3) и (4). Путем *поиска автоматического* оптимизатор подбирает искомые параметры задачи, чтобы минимизировать определ. меру расстояния траектории $x(t)$ системы (3), (4) от заданной точки x^1, в к-рую нужно попасть. Эта мера подбирается т. о., чтобы ее абс. минимум как раз соответствовал прохождению траектории $x(t)$ через точку x^1.

Т. о., принцип максимума дает лишь нек-рую, правда, очень существ. исходную

информацию о характере оптим. решения. Напр., в задаче на минимум времени переходного процесса, когда система (1) — линейная система типа

$$\dot{x}=Ax+bu, \qquad (6)$$

где A и b — пост. матрицы, принцип максимума утверждает, что ОУ $u(t)$ таково, что оно принимает значения, лежащие только лишь на границе допустимой области ω. Напр., если ω есть r-мерный куб с центром в начале координат и ребром длины $2L$, то ОУ в векторной форме имеет вид:

$$u(t)=L\,\mathrm{sign}\,b^*\psi(t), \qquad (7)$$

где b^*— матрица, сопряженная к матрице b, а $\psi(t)$ — решение системы (4).

Отправляясь от вида ОУ (7), можно, далее, показать, что если однородная система, соответствующая ур-нию (6), имеет лишь действительные неположит. характеристич. числа, то каждая компонента вектора $u(t)$ меняет свой знак не более чем (n—1) раз, где n — размерность вектора x. Это — теорема об n интервалах — см. [2]. Примеры синтеза с использованием принципа максимума приведены в [1].

Лит.: 1) Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; 2) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959.

А. Г. Бутковский.

4) С. о. с. по методу динамического программирования. Пусть управляемая система описывается ур-нием в векторной форме

$$\dot{x}=f(x,\ u,\ t),\quad x\in X,\quad u\in\omega, \qquad (1)$$

где X является n-мерным фазовым пространством $x=(x_1,\ \ldots,\ x_n)$ и ω — нек-рое допустимое множество значений r-мерного вектора управления. Из нач. точки x^0, в к-рой система (1) находится в нач. момент $t=t_0$, требуется попасть в фиксиров. точку x^1 в нек-рый момент t_1, причем интеграл

$$\int_{t_0}^{t_1} f_0(x,\ u,\ t)\,dt \qquad (2)$$

должен достичь минимума.

Обозначим через $S=S(x,t)$ ф-цию, значение к-рой дает величину функционала (2) на оптимальном управлении (ОУ), если в момент времени t система (1) находится в точке x. Тогда ф-ция $S=S(x,t)$ удовлетворяет следующему функцион. ур-нию, к-рое иногда наз. ур-нием Беллмана [1]:

$$\frac{\partial S}{\partial t}=\max_{u\in\omega}\left[-f_0(x,\ u,\ t)+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial S}{\partial x_i}f_i(x,\ u,\ t)\right]. \qquad (3)$$

Из (3), пользуясь условием максимума по переменной u, меняющейся в допустимой области ω, можно определить ОУ как ф-цию от вектора x, вектора $\frac{\partial S}{\partial x}=\left(\frac{\partial S}{\partial x_1},\ \ldots,\ \frac{\partial S}{\partial x_n}\right)$ и времени t:

$$u=F\left(x,\ \frac{\partial S}{\partial x},\ t\right). \qquad (4)$$

Подставляя определяемую этой ф-лой ф-цию u обратно в исходное ур-ние (3), получим, вообще говоря, нелинейное дифференц. ур-ние в частных производных 1-го порядка:

$$\frac{\partial S}{\partial t}=-f_0\left(x,\ F\left(x,\ \frac{\partial S}{\partial x},\ t\right),\ t\right)+$$
$$+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial S}{\partial x_i}f_i\left(x,\ F\left(x,\ \frac{\partial S}{\partial x},\ t\right),\ t\right). \qquad (5)$$

Для однозначной определенности решения этого ур-ния требуется знание нек-рого краевого условия. Должна быть известна, напр., некая поверхность P, описываемая ур-нием:

$$S(x,\ t)=S_0, \qquad (6)$$

на к-рой ф-ция $S(x,\ t)$ принимает одно и то же пост. значение S_0. В частности, поверхность P может выродиться в точку. Напр., в задаче о минимизации функционала (2) легко видно, что

$$S(x^1,\ t)=0. \qquad (7)$$

Решая ур-ние (5) при определ. граничном условии, получим ф-цию $S(x,\ t)$. Дифференцируя эту ф-цию по x_i, $i=1,\ \ldots,\ n$ и подставляя в выражение (4), получим синтезирующую ф-цию

$$u=F_1(x,\ t),\quad x\in X,\quad t_0\leqslant t\leqslant t_1, \qquad (8)$$

дающую решение задаче С. о. с. Т. о., задача синтеза сводится к вычислению решения ур-ния (5) при граничном условии (6).

Можно показать (это ясно также из физич. смысла задачи), что если система (1) автономна [правые части ур-ний (1) не зависят от времени t] и подынтегр. ф-ция в (2) также не зависит от t, то и ф-ция S не зависит от t, т. е.

$$S=S(x). \qquad (9)$$

Следовательно, синтезирующая ф-ция тоже не зависит от t:

$$u=F_1(x). \qquad (10)$$

Пример на составление ур-ний для определения синтезирующей ф-ции $u=F_1(x,t)$ для системы:

$$\dot{x}_1=ux_1+x_2,\quad \dot{x}_2=u^2,\quad t_0\leqslant t\leqslant t_1, \qquad (11)$$

к-рая из любого нач. состояния $(x_{10},\ x_{20})$ при $t=t_0$ должна приходить в начало координат ($x_{11}=x_{21}=0$) в нек-рый момент времени t_1 так, чтобы интеграл

$$\int_{t_0}^{t_1}(x_1^2+x_2^2)\,dt \qquad (12)$$

был минимален. Ур-ние Беллмана (3) в этом случае принимает вид:

$$0=\max_u\left[-x_1^2-x_2^2+\frac{\partial S}{\partial x_1}(ux_1+x_2)+\frac{\partial S}{\partial x_2}u^2\right]. \qquad (13)$$

Максимум правой части последнего ур-ния находится из условия равенства нулю частной производной по u. Отсюда получаем, что ОУ имеет вид:

$$u=-\frac{x_1\frac{\partial S}{\partial x_1}}{2\frac{\partial S}{\partial x_2}}. \qquad (14)$$

Подставляя это выражение в (13), получим, так сказать, в явном виде ур-ния Беллмана:

$$0=-x_1^2-x_2^2+\frac{\partial S}{\partial x_1}x_2-\frac{x_1^2\left(\frac{\partial S}{\partial x_1}\right)^2}{4\frac{\partial S}{\partial x_2}}. \qquad (15)$$

Краевое условие для этой задачи очевидно в векторной форме имеет вид:

$$S(0;\ 0)=0. \qquad (16)$$

Лит.: 1) Беллман Р., Динамическое программирование, пер. с англ., М., 1961. *А. Г. Бутковский.*

5) С. о. с. по методу моментов. Задача синтеза оптимальной по быстродействию системы управления может быть сведена к решению нек-рой L-проблемы моментов (см. *Проблема моментов*), для к-рой имеется определ. способ решения. Как известно [1], общее решение неоднородного линейного дифференц. ур-ния

$$\dot{x}=Ax+bu \qquad (1)$$

имеет вид:

$$x(t)=c(t)\,x(0)+c(t)\int_0^t c^{-1}(\tau)\,bu(\tau)\,d\tau, \qquad (2)$$

где $c(t)$ — матрица фундаментального решения ур-ния (1). Нужно найти такое управление $u(t)=(u_1(t),\ \ldots,\ u_r(t))$, стесненное условиями:

$$|u_i(t)|\leqslant L,\quad i=1,\ 2,\ \ldots,\ r, \qquad (3)$$

чтобы система (1) перешла из нач. точки $x(0)$ в точку 0 (начало координат) за миним. время T. Из (2) следует, что нужно найти такое $u(t)$ при условии (3), чтобы равенство

$$-x(0)=\int_0^T c^{-1}(\tau)\,bu(\tau)\,d\tau \qquad (4)$$

выполнялось при минимальном T. Равенство (4) выражает L-проблему моментов.

Как показано в [1], оптим. управление (ОУ) $u(t)$ выражается ф-лой:

$$u(t)=L\,\mathrm{sign}\,\xi^0c^{-1}(t)\,b, \qquad (5)$$

где вектор $\xi^0=(\xi_1,\ \ldots,\ \xi_n^0)$ определяется из соотношения [n — порядок системы (1)]:

$$\min_{\xi}\int_0^T|\xi c^{-1}(t)\,b|\,dt=\int_0^T|\xi^0c^{-1}(t)\,b|\,dt=\frac{1}{L}. \qquad (6)$$

Здесь $|\xi c^{-1}(t)\,b|$ означает модуль суммы координат вектора $\xi c^{-1}(t)b$ при дополнит. условии

$$-\xi x(0)=1. \qquad (7)$$

Т. о., решение ξ^0 задачи (6) при условии (7) будет зависеть от вектора $x(0)$ состояния системы (1), как от параметра, т. е.

$$\xi^0=\xi^0(x(0)). \qquad (8)$$

Подставляя (8) в ф-лу (5), получим, что ОУ определяется выражением:

$$u(t)=L\,\mathrm{sign}\,\xi^0(x(0))\,c^{-1}(t)\,b. \qquad (9)$$

Следовательно, решение задачи (6) при условии (7) обеспечивает определение ОУ для любой нач. точки $x(0)$ системы (1) и тем самым решает задачу синтеза ОУ.

В [2] показано, что при фиксированном T минимум выражения (6) при условии (7) всегда достигается, и минимизацию можно производить любым способом из любого нач. приближения для вектора ξ. Ее удобно осуществлять с помощью автоматич. оптимизатора.

Если задача синтеза разрешима, то левая часть равенства (6) есть монотонная ф-ция параметра T, для к-рой существует наименьшее значение аргумента T, дающего значение этой ф-ции, равное $^1/_L$. Это наименьшее значение T является временем оптим. переходного процесса из данной точки $x(0)$ в начало координат.

Изложенный метод синтеза оптимальных по быстродействию линейных систем пригоден для любых линейных систем, в т. ч. и систем с распредел. параметрами. Информация о системе должна состоять в знании собственных ф-ций системы [2].

Лит.: 1) Красовский Н. Н., К теории оптимального регулирования, «ПМ и М», 1959, т. 23, вып. 4; 2) Бутковский А. Г., Метод моментов в теории оптимального управления системами с распределенными параметрами, «АиТ», 1963, т. 24, № 9.

А. Г. Бутковский.

6) С. о. с. с распределенными параметрами. Состояние объекта с распредел. параметрами в каждый фиксиров. момент времени t характеризуется уже не конечным набором величин (напр., n координатами изображающей точки в фазовом пространстве системы), а одной или неск. ф-циями распределения в пространстве. В силу этого оптим. управляющее воздействие будет зависеть от указанных ф-ций распределения. В этом случае оптим. управляющее устройство представляет собой оператор, к-рый в каждый фиксиров. момент времени ф-циям, характеризующим состояние управляемого объекта, ставит в соответствие управляющие ф-ции. Общая постановка этих задач приведена в [1, 2].

В качестве примера рассмотрим задачу о минимизации ср. уклонения темп-ры заготовок от заданной темп-ры на выходе из проходной печи. Состояние управляемого объекта характеризуется ф-цией распределения темп-ры заготовок $Q(y,\ t)$ по длине печи y, $0\leqslant y\leqslant L$, в каждый момент времени t, $0\leqslant t\leqslant T$, причем длина печи L и время T — фиксированы. По мере продвижения заготовок со скоростью $v=v(t)\geqslant 0$ в положит. направлении оси y, заготовки нагреваются под действием темп-ры печи $u=u(t)$, к-рая меняется в интервале времени $0\leqslant t\leqslant T$ и стеснена условиями $A_1\leqslant u(t)\leqslant A_2$, $A_1<A_2$. Теплофизические параметры материала характеризуются заданием ф-ции $b=b(y,\ t)$. Тогда ф-ция $Q(y,\ t)$ удовлетворяет следующему ур-нию в частных производных:

$$b(y,\ t)\frac{\partial Q}{\partial t}+b(y,\ t)\,v(t)\frac{\partial Q}{\partial y}+Q=u(t). \qquad (1)$$

При этом материал входит в греющую зону $y=0$ с условием $Q(0,\ t)=0$. Нач. условие $Q(y,\ 0)=Q_0(y)$.

Задача оптимального управления (ОУ) в этом случае формулируется следующим образом. Найти такое управление $u=u(t)$, $0\leqslant t\leqslant T$, $A_1\leqslant u\leqslant A_2$, чтобы функционал

$$\int_0^T|Q^*-Q(L,\ T)|^2\,dt,$$

где Q^* — пост. заданная величина, достигал своего наименьшего значения. Задача синтеза этой системы состоит в том, чтобы найти такой оператор I (в данном случае это функционал), к-рый позволил бы при каждом фиксированном t, $0\leqslant t\leqslant T$, ф-ции распределения $Q(y,\ t)$ однозначно поставить в соответствие оптим. значение $u(t)$.

Для простоты рассмотрим случай, когда происходит возмущение процесса по скорости $v(t)$, а также имеется один скачкообразный разрыв коэффициента, напр.,

$$b(y,t)=\begin{cases} B_1=\text{const при } L\geqslant y-\int_0^t v(\sigma)\,d\sigma\geqslant\frac{1}{2}L, \\ B_2=\text{const при } 0\leqslant y-\int_0^t v(\sigma)\,d\sigma\leqslant\frac{1}{2}L, \end{cases}$$

где $B_1\neq B_2$. Этот случай соответствует нагреву в печи двух партий заготовок с различными теплофизич. св-вами или размерами (рис. 8).

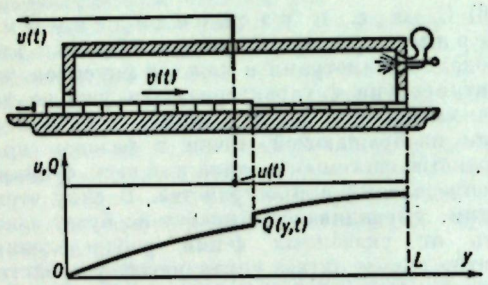


Рис. 8. График распределения темп-ры в проходной нагреват. печи $u(t)$ и темп-ры нагреваемого материала $Q(y,\ t)$ в зависимости от расстояния от начала печи y, $0<y<L$, в фиксир. момент времени t, $0<t<T$.

При таком однократном возмущении по коэффициенту b оптим. процесс (рис. 9) состоит из трех участков: $0\leqslant t\leqslant t_1$, $t_1\leqslant t\leqslant t_2$, $t_2\leqslant t\leqslant T$. Первый и последний участки таковы, что темп-ра металла на выходе точно равна заданной темп-ре Q^*. Это свидетельствует о том, что достаточно малые возмущения по скорости $v(t)$ в течение этих двух интервалов можно «отработать» идеально с нулевой разницей между заданной и действит. темп-рой металла на выходе из печи. Можно показать [1], что на этих участках ОУ будет иметь вид:

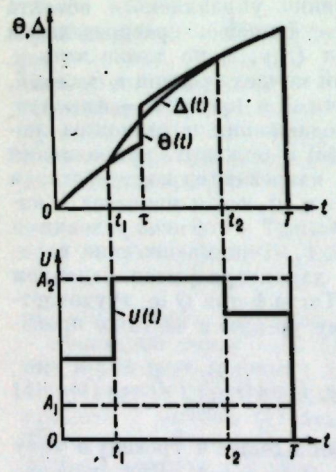


Рис. 9. График оптимального процесса.

$$u(t)=\begin{cases} Q^*+B_1 v(t)\,Q_0'\left(L-\int_0^t v(\sigma)\,d\sigma\right)e^{-t/B_1} \\ \qquad 0\leqslant t\leqslant t_1 \\ Q^*+B_2 v(t)\,Q_0'\left(L-\int_0^t v(\sigma)\,d\sigma\right)e^{-t/B_2} \\ \qquad t_2\leqslant t\leqslant T. \end{cases}$$

Если УУ располагает информацией о ф-ции $Q(y,t)$ в каждый момент времени t, $0\leqslant t\leqslant T$, то, принимая любой момент времени за начальный, получим, что ОУ $u(t)$ имеет вид:

$$u(t)=\begin{cases} Q^*+B_1 v(t)\,Q_t'(L), \\ Q^*+B_2 v(t)\,Q_t'(L), \end{cases}$$

где $Q_t'(L)$ — производная по координате y при $y=L$ от ф-ции $Q(y,\ t)$ в момент времени t. Т. о., последняя ф-ла определяет синтезирующий оператор, к-рый ф-ции состояния управляемого объекта $Q(y,\ t)$ в каждый момент времени t ставит в соответствие значение управляющего воздействия, т. о. в этом случае синтезирующий оператор является функционалом. Один из способов вычисления ф-ции $Q(y,t)$ на модели описан в [3].

Ср. участок $t_1\leqslant t\leqslant t_2$ (рис. 9) соответствует оптим. отработке скачкообразного возмущения по коэфф. b. В течение этого интервала управляющее воздействие поддерживается на одном из своих предельных уровней A_1 или A_2 в зависимости от того, вверх или вниз произошел скачок коэфф. b. Моменты t_1 и t_2 перехода с одного типа управляющего воздействия на др. определяются однозначно следующим условием:

$$\int_{t_1}^{t_2}[0(\sigma)-\Delta(\sigma)]\,e^{-\sigma/b}\,d\sigma=0,$$

где

$$0(t)=Q^*-e^{-t/b}\,Q_0\left(L-\int_0^t v(\sigma)\,d\sigma\right),$$

$$\Delta(t)=\frac{1}{b}\,e^{-t/b}\int_0^t u(\sigma)\,e^{\tau/b}\,d\sigma.$$

Момент времени τ на графике соответствует моменту выхода из печи первой заготовки новой партии металла с коэфф. $b=B_2$. Т. о., τ определяется условием:

$$\frac{1}{2}L-\int_0^\tau v(\sigma)\,d\sigma=0.$$

Лит.: 1) Бутковский А. Г., Лернер А. Я., Об оптимальном управлении системами с распределенными параметрами, «АиТ», 1960, т. 21, № 6; 2) Бутковский А. Г., Расширенный принцип максимума для задач оптимального управления, там же, 1963, т. 24, № 3; 3) его же, О моделировании некоторых объектов с распределенными параметрами, в сб.: Автоматическое регулирование и управление, М., 1962.

А. Г. Бутковский.

СИНТЕЗ РЕЛЕЙНЫХ УСТРОЙСТВ (структур) (switching devices synthesis; synthèse des dispositifs de commutation; Synthese von Relaisanlagen)—процесс построения структур релейных устройств, реализующих заданные условия работы. Основная задача С. р. у.— получение релейного устройства, оптимального в к.-л. смысле: обладающего минимальным числом элементов, высокой надежностью, быстродействием и т. д. До возникновения *релейных устройств теории* создание устройств, удовлетворяющих вышеуказанным критериям, было целиком делом изобретательского таланта и интуиции проектировщика. Теория релейных устройств ставит своей задачей найти систематич. методы С. р. у., к-рые существенно облегчили бы труд проектировщика. В последнее время особую роль приобретают поиски алгоритмич. (см. *Алгоритм*) методов С. р. у., к-рые однозначно приводят к результату, исключая необходимость интуитивных решений на к.-л. шаге.

Создание алгоритмич. методов синтеза открывает возможности для автоматизации процессов С. р. у.

В процессе С. р. у. можно выделить неск. основных этапов: 1) точная формулировка *релейного устройства условий работы*; 2) абстрактный синтез (определение объема и структуры памяти, т. е. числа состояний и переходов между ними); 3) размещение (кодирование, assignment) состояний и получение таблицы состояний или логич. ф-ций; 4) структурный синтез (нахождение оптимальной в к.-л. смысле структурной реализации систем логич. ф-ций, полученных на предыдущем этапе). Синтез конкретного устройства не всегда проходит через все эти этапы; напр., в случае *релейного устройства однотактного* опускаются второй и третий этапы. Формулировка условий работы для однотактных релейных устройств обычно заключается в составлении таблицы состояний. Условия работы *релейного устройства многотактного* могут быть записаны различными способами: *таблицей переходов*, диаграммой переходов, *таблицей включений*, системой регулярных событий, системой временны́х логич. ур-ний, ф-лой исчисления предикатов и т. д.

Этап абстрактного синтеза заключается в построении таблицы переходов с минимальным числом состояний. Во многих случаях таблицу переходов можно записать непосредственно из условий работы (т. е. получить уже на первом этапе), и тогда задача заключается в ее *минимизации*. Непосредств. запись таблицы переходов используется, напр., в одном из наиболее распространенных методов С. р. у.— методе Хаффмана, подробно описанном в книге Колдуэлла [2]. Рассмотрим пример построения этим методом релейного устройства с двумя входами, на выходе к-рого появляется единица только в том случае, если на вход устройства в начальном состоянии подана рабочая последовательность 10, 00, 01, 00, 10, 00 (в случае нарушения этой последовательности появление состояния входов 00 приводит устройство в начальное состояние). Таблица переходов строится след. образом. Указанной выше последовательности сопоставим последовательность устойчивых состояний (заключенных в таблице в угловые скобки). Состояния занумеруем по порядку. Получим: <1>→(начальное состояние) → <2> → <3> → <4>→ → <5> → <6> → <7>. Эту последовательность запишем в таблицу, причем каждое состояние записывается в столбец того входа, к-рый переводит устройство в это состояние. При переходах появятся неустойчивые состояния; таблица будет иметь следующий вид (табл. 1):

Таблица 1

00	01	10	11	Выход
<1>		2		
3		<2>		0
<3>	4			0
5	<4>			0
<5>		6		0
7		<6>		0
<7>				1

Таблица 2

00	01	10	11	Выход
<1>	8	2	10	0
3	8	<2>	10	0
<3>	4	9	10	0
5	<4>	9	10	0
<5>	8	6	10	0
7	8	<6>	10	0
<7>	8	9	10	1
1	<8>	<9>	<10>	0

Нарушением рабочей последовательности в состоянии <2> будут входы 01 и 11, в состоянии <3> — 10 и 11 и т. д. Нарушениям рабочей последовательности сопоставим переход в состояния, к-рые на выходе дают 0, а при отключении входов переходят в начальное состояние. Окончательно получаем табл. 2. В случае, когда нек-рые последовательности входов запрещены (напр., нельзя изменять два входа одновременно), нек-рые клетки в табл. 2 будут пустые, и мы получим неполностью определенную таблицу переходов.

Если в условиях работы содержится большое (или даже бесконечное) число рабочих последовательностей, то непосредственное выписывание таблицы переходов может оказаться затруднительным. В этом случае условия работы иногда удобнее записывать в виде ф-лы, выражающей зависимость между входами и выходами; абстрактный синтез осуществляется с помощью алгоритма, применяемого к этой ф-ле. Таковы методы синтеза, использующие языки регулярных событий, исчисления предикатов и временны́х логич. ф-ций. Иногда удобно также применять блочное построение таблиц переходов [19].

Метод С. р. у., исходящий из записи условий работы в языке регулярных событий, был предложен Клини в 1951 и впоследствии существенно модифицирован В. М. Глушковым. Алгоритм Глушкова позволяет, исходя из системы регулярных событий, построить таблицу переходов устройства, представляющего эту систему. При этом, если n — число букв в системе регулярных событий, то число состояний в полученной таблице не превосходит 2^n. В дальнейшем таблица переходов минимизируется. Подробно метод описан в книге В. М. Глушкова [1].

Метод С. р. у., использующий язык исчисления предикатов, был предложен Б. А. Трахтенбротом в 1958 и описан в [3]. Этот метод по предикатной ф-ле непосредственно определяет число промежуточных элементов устройства и логич. ф-ции их цепей. Число промежуточных элементов при этом получается необязательно минимальным; логич. ф-ции минимизируются затем обычными способами (см. *Минимизация*). Т. о., этот метод, также как и методы, использующие временны́е логич. уравнения (Ван Хао, Черча), минует таблицу переходов и этап размещения состояний. Если в ходе С. р. у. получается таблица переходов, то она затем минимизируется, после чего осуществляется размещение состояний и получение таблицы состояний. Каждой строке таблицы переходов соответствует внутреннее состояние релейного устройства, т. е. комбинация состояний промежуточных элементов устройства, к-рая в случае, если используются *релейные двухпозиционные элементы*, выражается нек-рым двоичным числом (число разрядов в нем равно числу элементов). Размещение состояний и заключается в том, что каждой строке таблицы сопоставляется двоичное число, причем различным строкам сопоставляются различные числа. Т. к. различных k-разрядных чисел всего 2^k, то число элементов устройства определяется из соотношения $2^k\geqslant n$, или $k\geqslant\log_2 n$, где n — число строк, т. е. однозначно определяется таблицей состояний устройства. Пусть, напр., таблица переходов с разме-

щенными состояниями (соответствующие двоичные числа выписаны слева) и таблица выходов имеют следующий вид (табл. 3):

Таблица 3, *а*

Вход /	00	01	10	11
00	⟨1⟩	⟨3⟩	5	7
01	⟨2⟩	3	⟨5⟩	8
10	1	⟨4⟩	6	⟨7⟩
11	2	4	⟨6⟩	⟨8⟩

Таблица 3, *б*

Состояние	Выход
1	0
2	0
3	0
4	0
5	1
6	0
7	0
8	1

Размещение состояний внутри таблицы производится по след. правилам. Устойчивое состояние устройства заменяется числом, приписанным строке, к-рая содержит это состояние. Неустойчивое состояние заменяется тем же числом, что и устойчивое состояние, в к-рое оно переходит. Запишем в таблицу, кроме того, состояние выходов устройства: для устойчивых состояний — в соответствии с табл. 3,*б*; неустойчивым припишем те же выходы, что и соответствующим устойчивым. Получим табл. 4 (первые две цифры в клетке обозначают состояние промежуточных элементов, третья — состояние выходов).

Таблица 4

	00	01	10	11
00	00,0	00,0	01,1	10,0
01	01,0	00,0	01,1	11,1
10	00,0	10,0	11,0	10,0
11	01,0	10,0	11,0	11,0

Таблица 4 является видоизмененной таблицей состояний, к-рая для каждого состояния промежуточных элементов в момент $t-1$ (строки таблицы) и состояния входов в момент t (столбцы таблицы) указывает соответствующее состояние промежуточных элементов и входное воздействие в момент t (клетку таблицы). Возможны различные размещения двоичных чисел по строкам таблицы переходов; при этом будут получаться различные таблицы состояний и, следовательно, различные устройства, реализующие одни и те же условия работы. Эти устройства будут обладать различной структурой, и поэтому возникает задача — найти размещение, дающее оптимальную в к.-л. смысле структуру. Наибольшее внимание до сих пор привлекали размещения, дающие структуры без состязаний (см. *Релейных элементов состязание*); имеются методы размещения, к-рые дают структуры, способные правильно функционировать при повреждениях заданного числа элементов [10]. Вопрос отыскания размещений, приводящих к устройствам с минимальным числом элементов, пока разработан слабо.

Следующим этапом является оптимальная реализация таблицы состояний — структурный синтез. При структурном С. р. у. задается набор типов релейных элементов или логич. звеньев, из к-рых следует строить структуру; иногда указывается цена, надежность, время срабатывания и т. п. элементов каждого типа. Логич. ф-ции, реализуемые заданным набором элементов, должны обладать функциональной полнотой, т. е. способностью выразить через себя любую логич. ф-цию. Методы синтеза зависят от заданного набора элементов, предъявляемых к структуре требований, а также от характера реализуемых ф-ций (напр., известны спец. методы построения структур, реализующих симметричные, монотонные, сильно недоопределенные и др. ф-ции). Методы синтеза структур из *релейных контактных элементов* отличаются от методов синтеза из *релейных бесконтактных элементов*. К первым относятся метод каскадов Г. Н. Поварова [13], графич. метод В. Н. Рогинского [6], канонич. метод А. Ш. Блоха [14], комбинаторный метод Ф. Свободы [15], метод узловых таблиц М. А. Гаврилова [11], метод поглощения С. Колдуэлла [2] и др.

В результате применения этих методов могут получиться мостиковые структуры, к-рые, в общем случае, более экономичны, чем параллельно-последовательные. Метод каскадов Г. Н. Поварова, графич. метод В. Н. Рогинского и канонич. метод А. Ш. Блоха имеют много общего. Все они основаны на объединении нек-рых узлов *многополюсника универсального*; цепи структуры разделительны относительно выходов; получающиеся структуры не всегда минимальны [а для нек-рых $(1, k)$-полюсников — заведомо не минимальны]; для получения наиболее экономичной структуры требуется просмотр $n!$ вариантов.

Пусть требуется построить релейно-контактную структуру с 1 входом и k выходами, реализующими логич. ф-ции $f_1(x_1, x_2,\ldots,x_n)$, $f_2(x_1, x_2,\ldots, x_n),\ldots, f_k(x_1,x_2,\ldots, x_n)$. По методу Г. Н. Поварова для каждой из этих ф-ций $f_i(x_1, x_2,\ldots, x_n)$ выделяется одна и та же переменная, напр. x_1 по ф-ле: $f_i(x_1, x_2,\ldots, x_n) = x_1 f_i(1, x_2,\ldots, x_n) + \bar{x}_1 f_i(0,x_2,\ldots,x_n)$ и составляется список коэфф. разложения f_i $(1, x_2,\ldots, x_n)$ и $f_i(0, x_2,\ldots, x_n)$. Всего получается $2k$ коэффициентов, являющихся ф-циями от $n-1$ переменных. Нек-рые из этих ф-ций могут оказаться константами 1 или 0, а нек-рые — равными друг другу. Все ф-ции, равные 1 или 0, и ф-ции, встречающиеся второй раз, вычеркиваются. Из оставшихся после вычеркивания ф-ций опять выделяется одна из переменных, напр. x_2, и весь процесс повторяется до тех пор, пока не будут выделены все n переменных. При этом проводятся, по крайней мере, элементарные, упрощения записей каждой из заданных и получаемых в ходе разложений ф-ций. После того как выделение переменных закончено, строится соответствующее графич. изображение структуры, причем выделению каждой переменной соответствует вертикальный ряд узлов («каскад») в структуре, а полученные ф-лы указывают соединения узлов через контакты приемных элементов. Структура, получаемая в результате метода каскадов, существенно зависит от порядка выделения переменных.

Графич. метод построения $(1, k)$-полюсника, предложенный В. Н. Рогинским и основанный на методе каскадов, позволяет обойтись без преобразований логич. ф-ций, заменяя их арифметич. операциями над числами, соответствующими членам дизъюнктивной нормальной формы выходных ф-ций и нек-рыми графич. построениями. В отличие от метода каскадов, в методе автоматически учитываются

неиспользуемые состояния и *безразличные состояния* релейных цепей. Как и в методе каскадов, для получения наиболее экономичной по числу контактов схемы нужно просмотреть $n!$ вариантов.

Канонич. метод А. Ш. Блоха состоит в объединении по спец. правилам нек-рых узлов универсального многополюсника. Комбинаторный метод Ф. Свободы и метод узловых таблиц состояний М. А. Гаврилова основаны на последовательном построении узлов $(1; k)$-полюсника с помощью преобразований спец. узловых таблиц. Порядок расположения контактов в структуре не строго определен, как это имело место в описанных выше методах, а целиком зависит от результатов преобразований узловых таблиц. Метод узловых таблиц отличается от комбинаторного метода тем, что в нем автоматически учитываются неиспользуемые и безразличные состояния, что существенно сокращает трудоемкость метода. Для определения контактов (или установления их отсутствия, т. е. наличия прямой проводимости или разомкнутости цепи), соединяющих узлы структуры, в этом методе используются 4 операции: операция A (определение контактов, расположенных между двумя любыми узлами, ни один из к-рых не есть начальный или конечный узел структуры); операция $Б$ (определение контактов, расположенных в цепях, соединяющих начальный узел с конечными) и операции $В$ и $Г$ (введение новых узлов и определения примыкающих к ним контактов). Получающиеся в результате этих двух методов структуры могут быть минимальными, поскольку в них отсутствуют к.-л. ограничения, налагаемые на вид структуры.

Широкое использование в последние годы бесконтактных релейных элементов привело к созданию ряда методов синтеза структур из логич. звеньев «и», «или», «не», из блоков, реализующих ф-цию Шеффера, и др. Методы синтеза структур из этих звеньев основаны на минимизации логич. ф-ций, т. к. минимизация числа операторов: (логич. «и») + (логич. «или») и — (логич. «не») в записи ф-ции означает минимизацию числа соответствующих блоков при ее реализации. Методы синтеза структур из др. наборов элементов (например, из элементов, реализующих штрих Шеффера, или из пороговых элементов) менее разработаны и, как правило, не претендуют на абс. минимальность получающихся решений.

В последнее время стали интенсивно разрабатываться методы минимизации структур, основанные на декомпозиции булевых ф-ций [18]. Декомпозицией булевой ф-ции $F(x_1, x_2,\ldots, x_n)$ наз. ее представление в виде $F = G[\alpha_1(x_{a_1},\ldots, x_{a_k}), \alpha_2(x_{a_1},\ldots, x_{a_k}),\ldots, \alpha_m(x_{a_1},\ldots, x_{a_k}), x_{b_1},\ldots, x_{b_l}]$, где x_{a_i} может быть равно x_{b_j} и где ф-ции $\alpha_p (p = 1,\ldots, m)$ могут быть опять представлены в виде декомпозиций. Методы минимизации, основанные на декомпозиции, позволяют получать весьма экономичные структуры за счет «разветвления» выходов элементарных блоков внутри структуры. Повышение надежности устройств достигается введением структурной избыточности (см. *Резервирование*), т. е. число элементов в структуре увеличивается для того, чтобы выход из строя определенного числа элементов не нарушал работу всего релейного устройства. Иногда, при работе устройств возникает опасность сбоев из-за различной длительности переходных процессов в выходных цепях запоминающих элементов. Вследствие этого иногда приходится вводить в минимизированную структуру лишние цепи. Напр., при синтезе структур из элементов «и», «или» и «не» приходится иногда отказываться от реализации минимальной нормальной формы (см. *Частная минимальная форма*) и реализовать несколько «расширенную» минимальную форму, а иногда и всю сокращенную нормальную форму (см. *Общая минимальная форма*). Если требуется синтезировать схему с минимальным временем срабатывания, то стараются уменьшить число каскадов в структуре (т. е. число последовательно соединительных блоков) и для этого обычно ограничиваются получением минимальных нормальных форм, а не более сложных, т. н. «скобочных» форм.

Лит.: 1) Глушков В. М., Синтез цифровых автоматов, М., 1962; 2) Колдуэлл С., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962; 3) Кобринский Н. Е., Трахтенброт Б. А., Введение в теорию конечных автоматов, М., 1962; 4) Мили Дж., Алгебраическая теория дискретных автоматических устройств, пер. с рум., М., 1963; 5) Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; 6) Рогинский В. Н., Построение релейных схем управления, М.—Л., 1964; 7) Базилевский Ю. Я., Вопросы теории временных логических функций, «Вопросы теории математических машин», 1958, сб. 1; 8) Curtis H. A., A new approach to the design of switching circuits, Princeton, N. Y.-[a. o.], 1962; 9) Church A., Application of recursive arithmetic in the theory of computers and automata, Univ. Michigan, 1959, p. 1—68; 10) Wang Hao, Circuit synthesis by solving sequential boolean equations, «Z. math. Logic and Grundl. Math.», 1959, Bd 5, H. 3/4, p. 291—322; 11) Гаврилов М. А., Структурная избыточность и надежность работы релейных устройств, в кн.: Труды I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, т. 3, М., 1960, с. 323—39; 12) его же, Общий метод построения мостиковых структур $[1,k]$-полюсников, в кн.: Структурная теория релейных устройств, М., 1963; 13) Поваров Г. Н., Математико-логическое исследование синтеза контактных схем с одним входом и k выходами, в сб.: Логические исследования, М., 1959; 14) Блох А. Ш., Канонический метод синтеза электронных схем, «Сб. тр. Ин-та машиноведения и автоматизации АН БССР», 1961, № 1; 15) Свобода Ф., Синтез релейных схем при помощи машин, «АиТ», 1957, т. 18, № 3, с. 240—55; 16) Quine W. V., The problem of simplifying of truth functions, «Amer. Math. Monthly», 1952, v. 59, № 8, p. 521—31; 17) Мур Э. Ф., Шеннон К. Э., Надежные схемы из ненадежных реле, в кн.: Кибернетический сборник, [№] 1, М., 1960, с. 109—48; 18) Воржева В. В., Получение частных минимальных форм булевых функций, не дающих состязаний при схемной реализации, в кн.: Автоматическое регулирование и управление, М., 1962; 19) Гаврилов М. А., Построение релейных устройств и конечных автоматов из блоков, «АН СССР. ОТН. Техническая кибернетика», 1963, № 3.

В. Д. Казаков, О. П. Кузнецов.

СИНТЕЗ СТАТИСТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ (optimal systems statistical synthesis; synthèse statistique de systèmes optimaux; statistische Synthese optimaler Systeme) — 1) С. с. о. с. линейных. На системы автоматич. управления (см. *Оптимальные системы*) могут влиять случайные воздействия, приложенные к их входам. Если в объекте имеется случайный механизм, то случайные воздействия возникают в самом объекте. Такие воздействия можно охарактеризовать эквивалентным случайным сигналом, действующим на выходе объекта, или сигналом, приложенным в иной точке схемы.

В качестве примера на рис. 1, *а* дана простейшая система регулирования с обратной связью. Здесь B — объект регулирования или

(в следящей системе) неизменные элементы, к-рые всегда присутствуют в системе, $X(t)$ — сигнал на входе и $Y(t)$ — сигнал на выходе системы, $\varepsilon(t)$ — сигнал ошибки, $Z(t)$ — эквивалентный сигнал, характеризующий либо возмущения, воздействующие на систему, либо случайный механизм в объекте или регуляторе A. Случайные ф-ции $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ предполагаются стационарными в широком смысле.

Эквивалентный сигнал можно получить следующим образом. Пусть на входе объекта действует неслучайный сигнал $X(\tau)=x(\tau)$ $(0\leqslant\tau\leqslant t)$. Т. к. объект содержит случайный механизм, сигнал на его выходе $Y(t)$ остается случайным. Аппроксимируем $Y(t)$ оператором $B_\tau^t X_\tau$ от случайной ф-ции $X(\tau)$ так, чтобы величина $\varepsilon^2=\mathrm{M}\{Y_t-B_\tau^t X_\tau\}^2$ имела возможное миним. значение (M — знак математич. ожидания).

Тогда можно показать [1], что A_τ^t имеет вид:

$$A_\tau^t X_\tau=\mathrm{M}\{Y_t|x(\tau)\quad(0\leqslant\tau\leqslant t)\},$$

т. е., A_τ^t является оператором условного математич. ожидания Y_t при условии $X(\tau)=x(\tau)$ $(0\leqslant\tau\leqslant t)$.

Представим теперь случайную величину Y_t в виде:

$$Y_t=B_\tau^t X_\tau+Z_t',$$

где Z_t' — случайная ф-ция, к-рая может быть вычислена после определения оператора A_τ^t: $Z_t'=Y_t-A_\tau^t X_\tau$. Ф-ция Z_t' некоррелирована с $A_\tau^t X_\tau$.

Т. о., любой объект, содержащий случайный механизм, может быть представлен эквивалентной схемой (рис. 1, *б*). На рис. 1, *а* эквивалентный случайный сигнал $Z'(t)$ на выходе объекта заменен эквивалентным ему сигналом $Z(t)$. Такое «перенесение» сигнала всегда можно осуществить, если известны операторы A и B.

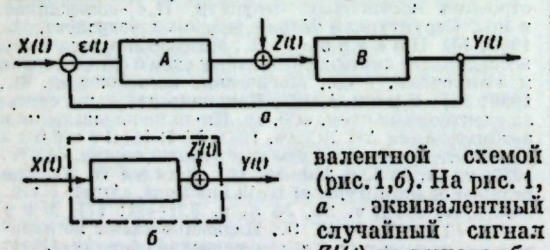


Рис. 1.

С точки зрения математич. анализа схема рис. 1, *а* является достаточно общей. Именно она охватывает как сигналы, приложенные к системе извне, так и случайные сигналы, возникающие в системе.

Как указывалось, оптимальная система в статистич. смысле (ОС) должна наилучшим образом функционировать в присутствии случайных воздействий. Это означает, что сигнал Y_t на ее выходе должен быть близок в нек-ром смысле к желаемому сигналу R_t. Т. к. R_t и Y_t — случайные ф-ции, то их близость нельзя мерить обычным способом, напр., вводя нек-рый функционал от R_t и Y_t, измеряющий качество системы регулирования, ибо функционал будет случайной величиной. Поэтому естественно пользоваться к.-л. статистич. хар-кой, напр. ф-цией распределения или, в более простом случае, математич. ожиданием функционала качества системы. Тогда говорят, что система регулирования будет оптимальна, если выбранный критерий качества будет иметь экстрем. значение.

Для оценки качества можно выбрать самые разнообразные функционалы. Это зависит от требований, предъявляемых к системе в реальных условиях ее работы. Выбор критерия зависит также от априорных сведений о системе и сигналах. Наибольшее распространение в силу своей простоты получил критерий минимума ср. квадрата ошибки. Если искать ОС в классе линейных, то решение задачи еще более упрощается. Поэтому вначале естественно решать линейную задачу. В этом случае отдельные звенья системы регулирования и вся система в целом описываются соответствующими весовыми ф-циями.

Ниже показывается, как определить весовую ф-цию регулятора системы рис. 1, *а* так, чтобы вся система в целом была оптимальной [2, 3]. Предполагается, что $X(t)$ — случайный сигнал на входе системы рис. 1, *а* [состоит из суммы полезной составляющей $X_1(t)$ и помехи $X_2(t)$]. Желаемый сигнал R_t, к-рый возможно точно должна отработать система, обычно является оператором от полезной составляющей $X_1(t)$ входного сигнала. Можно привести примеры этого оператора: $R(t)=X_1(t)$ — фильтрация; $R(t)=X_1(t+\alpha)$ — упреждение на время α сек., $R(t)=X_1(t-\alpha)$ — интерполяция, $R(t)=\frac{dX_1(t)}{dt}$ и т. д.

Для изображения Лапласа $Y(p)$ сигнала на выходе системы рис. 1, *а* можно записать выражение:

$$Y(p)=H(p)[X_1(p)+X_2(p)]+$$
$$+B(p)[1-H(p)]Z(p),$$
$$H(p)=AB/(1+AB),$$

где $A(p)$ и $B(p)$ — передаточные ф-ции соответственно регулятора и объекта, $X_1(p)$, $X_2(p)$, $Z(p)$ — двустороннее изображение Лапласа соответствующих ф-ций.

Согласно ур-нию для $Y(p)$ для ср. значения квадрата ошибки между желаемым сигналом $R(t)$ и сигналом на выходе системы Y_t получается ф-ла:

$$E^2=\mathrm{M}\{R_t-Y_t\}^2=$$
$$=\mathrm{M}\left\{R(t)-\int h(\sigma)X(t-\sigma)\,d\sigma-\right.$$
$$\left.-\int h(\tau)\,d\tau\int b(\mu)Z(t-\tau-\mu)\,d\mu\right\}^2.$$

Здесь $h(\tau)$ — весовая ф-ция, соответствующая передаточной ф-ции $H(p)$, и $b(\mu)$ — весовая ф-ция объекта. Выполнив операции возведения в квадрат и математич. ожидания, получим E^2, зависящее от соответствующих корреляционных и взаимных корреляц. ф-ций [см. 3].

Далее определяется весовая ф-ция $h(t)$, дающая минимум E^2. Обычная процедура минимизации квадратичного функционала E^2 приводит к интегр. ур-нию 1-го рода (ур-ние Винера—Хопфа [2]):

$$\int_0^\infty h(\tau)K(t-\tau)\,d\tau=\tilde{K}(t)\quad(0\leqslant t<\infty).$$

Здесь

$$K(t-\tau)=2K_{XX}(t-\tau)+$$
$$+\int b(\mu)\,d\mu\int b(\nu)[K_{ZZ}(t-\tau+\mu-\nu)+$$
$$+K_{ZZ}(t-\tau-\mu-\nu)]\,d\nu-$$
$$-2\int b(\mu)[K_{XZ}(t-\tau-\mu)+K_{ZX}(t-\tau+\mu)]\,d\mu$$

и

$$\tilde{K}(t)=2k_{XR}(t)-$$
$$-2\int b(\mu)[k_{ZR}(t+\mu)+k_{XZ}(t-\mu)]\,d\mu+$$
$$+2\int b(\mu)\,d\mu\int b(\tau)k_{XX}(\mu-t-\tau)\,d\tau,$$

где через K с совпадающими индексами обозначены корреляц. ф-ции, а с разными индексами — взаимные корреляц. ф-ции соответствующих случайных ф-ций. Существенно условие $0\leqslant t<\infty$, сопровождающее это ур-ние. Оно получается при минимизации E^2 и учете условия физич. осуществимости $h(t)\equiv 0$ при $t\leqslant 0$, к-рому должна удовлетворять весовая ф-ция любой системы, допускающей физич. реализацию.

В работе Н. Винера [2] была рассмотрена более простая задача и получено ур-ние такого же вида, как и здесь. Там же было предложено решение для частного класса ф-ций $K(t)$. Распространение указанного метода на следящие системы является очевидным.

Если двустороннее изображение Лапласа $\Phi(-p^2)$ ф-ции $K(t)$ является дробно-рацион. ф-цией от p^2, то решение интегр. ур-ния для изображения $H(p)$ имеет вид:

$$H(p)=\frac{1}{\Phi^+(p)}\left[\frac{\Phi(p)}{\Phi^-(p)}\right]_+.$$

Здесь

$$\Phi(p)=\Phi^+(p)\cdot\Phi^-(p),$$

$\Phi^+(p)$ — ф-ция, имеющая нули и полюсы только в левой полуплоскости переменной p, $\Phi^-(p)$ — ф-ция, имеющая нули и полюсы только в правой полуплоскости p. В случае, когда $\Phi(-p^2)$ — дробно-рациональная ф-ция от p^2, ее всегда можно представить произведением $\Phi^+(p)\,\Phi^-(p)$. $\Phi(p)$ — двустороннее изображение ф-ции Лапласа $\tilde{K}(t)$. $[\ ]_+$ — операция, соответствующая разложению выражения, стоящего в квадратных скобках, на простые дроби и отбрасыванию членов, содержащих полюсы в правой полуплоскости p.

Определив ф-цию $H(p)$ оптим. системы, можно затем из выражения $H(p)=\frac{AB}{1+AB}$ найти передаточную ф-цию $A(p)$ регулятора, считая передаточную ф-цию объекта $B(p)$ известной. На этом завершается синтез линейной системы регулирования, оптимальной в смысле минимума ср. квадрата ошибки.

Простота и изящество, достигнутые при решении этой задачи, связаны с простотой критерия и ограничением класса систем линейными системами с пост. параметрами. Получ. решение вполне равноценно применению способа наименьших квадратов для случая «зависимых неравноточных измерений». Но если отказаться от неизменности параметров линейной системы во времени, то задача отыскания ОС усложняется. Она также сильно усложнится, если учесть, что минимум ср. квадрата ошибки достигается в общем случае при нелинейном операторе системы регулирования; решение задачи в этом случае до сих пор не получено.

Существует неск. обобщений задачи определения оптим. линейной системы. Первое касается полезной составляющей $X_1(t)$. В рассмотренном варианте задачи предполагалось, что полезная составляющая $X_1(t)$ — стационарная случайная ф-ция. Однако во многих случаях $X_1(t)$ может иметь др. вид. Напр., часто естественно предполагать, что $X_1(t)$ — гладкая ф-ция, такая, что в окрестности (t_0-T, T) любого значения t_0 ее можно представить достаточно точно отрезком ряда Тейлора $X_1(t)\approx\sum_{k=0}^{n}a_k(t-t_0)^k$. При этом известны сам факт возможности представления $X_1(t)$ отрезком ряда Тейлора и величина n, а значения коэфф. a_k неизвестны. В этом случае оказывается возможным так рассчитать регулятор системы рис. 1, *а*, что система будет выделять «наилучшим» образом сигнал $X_1(t)$ из смеси $X(t)=X_1(t)+X_2(t)$.

Систему можно рассчитать так, что она будет отслеживать не сигнал $X_1(t)$, а произвольный линейный оператор от $X_1(t)$, напр., производную от $X_1(t)$ или интеграл и т. д. На выходе такой ОС полезный сигнал $X_1(t)$ или заданный оператор от него можно получить лишь приближенно в виде случайной ф-ции Y_t, являющейся оценкой $X_1(t)$. Оценка будет наилучшей в смысле минимума ср. квадрата ошибки и несмещенной, т. е. удовлетворит соотношению:

$$\mathrm{M}\{Y_t\}=X_1(t)\quad(T\leqslant t).$$

Решение такой задачи в значит. мере подобно решению 1-й задачи. Интегр. ур-ние для весовой ф-ции ОС имеет, однако, конечный верхний предел, равный T вместо ∞ в ур-нии Винера—Хопфа, и, следовательно, метод его решения неск. иной [4]. Весовая ф-ция, полученная при решении этой задачи, обладает св-вом: $h(t)=0$; $t\leqslant 0$; $t\geqslant T$. Системы с такой весовой ф-цией наз. системами с конечной памятью, равной T. Они работают следующим образом. При воздействии произвольного полезного сигнала $X_1(t)$ из класса полиномов степени n (на к-рую рассчитана система) в системе начинается переходный процесс, длящийся ровно T сек. Затем наступает совершенно точное воспроизведение полезной составляющей входного сигнала. При этом, чем больше память системы T, тем лучше подавляются помехи, но тем позднее наступает неискаженное воспроизведение оценки Y_t желаемого сигнала $R_t=X_1(t)$ на выходе системы. И, наоборот, чем меньше T, тем раньше воспроизводится оценка полезного сигнала, но слабей подавляются помехи. Поэтому выбор T диктуется этими двумя противоречивыми требованиями.

Строго говоря, никакая система с сосредоточ. параметрами не имеет конечной памяти, т. к. ее весовая ф-ция стремится к нулю асимптотически. Однако с любой заданной степенью приближения произвольная устойчивая система может быть заменена системой с конечной памятью. Именно поэтому подобные системы представляют значит. интерес.

Др. известное обобщение задачи — ее распространение на случай нестационарных случайных воздействий [4]. Предполагается, что случайные ф-ции X_t, Z_t — нестационарны.

При этих условиях также возможно решить задачу определения весовой ф-ции ОС для нек-рого класса нестационарных ф-ций. Такое обобщение естеств. образом приводит к оптим. линейным системам с перем. параметрами.

Несмотря на сравнительно хорошо разработанный аппарат для расчета ОС по минимуму ср. квадрата ошибки, задача еще далека от своего завершения, т. к. существ. ограничением является линейность класса операторов. Как уже указывалось, в общем случае системы, рассчитанные из условия минимума ср. квадрата ошибки, нелинейны.

Линейные системы, рассчитанные из условия минимума ср. квадрата, часто не могут удовлетворить предъявляемым к ним требованиям, т. е. плохо выделяют сигнал. Для преодоления этой трудности часто используют др., более общие критерии или даже вводят игровые ситуации, заставляя «играть» систему с внешним миром. При использовании этих более общих критериев и методов требуются и более полные априорные статистические данные о сигналах, действующих в системе. Нек-рые возможные задачи расчета таких систем рассмотрены в частях 2—4 этой статьи.

Лит.: 1) Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; 2) Wiener N., Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series, 2 ed., N. Y.—L., 1950; 3) Нелепин М., Статистический расчет следящих систем, пер. с франц., М., 1957; 4) Zadeh L. A., Ragazzini J. R., An extension of Wiener's theory of prediction, «J. Appl. Phys.», 1950, v. 21, № 7, p. 645—55.

Ю. И. Неймарк.

2) **С. с. о. с. при заданных вероятностных распределениях.** Законы распределения, в отличие от корреляционных функций, являются исчерпывающими хар-ками *вероятностных процессов*. Поэтому их использование позволяет построить оптим. системы, в т. ч. и с нелинейными объектами, с лучшими, в среднем, показателями, чем системы, построенные к-рых основано на корреляционных функциях.

С. с. о. с. производится при наличии неполной информации об объекте. Если эта информация не может быть дополнена в результате наблюдений, автоматически производимых в процессе работы системы, то такую систему наз. системой с макс. информацией об объекте. В противном случае системы наз. системами с накоплением информации и разделяются на два подтипа: системы с пассивным (независимым) накоплением информации и системы с активным накоплением информации. Последние наз. также системами *дуального управления* (см. ниже).

Пример, иллюстрирующий метод синтеза оптимального УУ в системе с макс. информацией об объекте. Пусть ур-ние управляемого объекта имеет вид

$$\frac{dx_1}{dt} = u, \qquad (1)$$

где x_1 — выходная величина объекта, u — управляющее воздействие. Примем, что задающее воздействие x_2 представляет собой марковский процесс, к-рый может быть получен на выходе звена с ур-нием

$$\frac{dx_2}{dt} = -x_2 + \xi \qquad (2)$$

при воздействии на его вход чисто случайного процесса $\xi(t)$ со ср. значением, равным нулю, и ср. квадратическим отклонением σ.

Пусть критерий оптимальности имеет вид:

$$Q = \mathrm{M}\left\{\int_{t_0}^{T} [(x_1 - x_2)^2 + u^2]\, dt\right\}, \qquad (3)$$

где M — символ математич. ожидания, t_0 — начальный, а T — конечный моменты времени процесса, к-рые примем фиксированными. Задача синтеза состоит в определении оптим. алгоритма управляющего устройства. На вход последнего подаются x_1 и x_2, а на выходе появляется управляющее воздействие u. В оптим. системе достигается минимум величины Q; миним. значение Q обозначим Q^*. Применяя метод *динамического программирования*, получим ур-ние в частных производных, к-рому должна удовлетворить величина Q^*:

$$-\frac{\partial Q^*}{\partial t} = \min_u \left[(x_1 - x_2)^2 + u^2 + u\frac{\partial Q^*}{\partial x_1} - x_2\frac{\partial Q^*}{\partial x_2} + \frac{\sigma^2}{2}\frac{\partial^2 Q^*}{\partial x_2^2}\right]. \qquad (4)$$

Минимизация правой части по u позволяет одновременно найти и оптим. управление u^*. Приравнивая производную от квадратной скобки нулю, находим:

$$u^* = -\frac{1}{2}\frac{\partial Q^*}{\partial x_1}. \qquad (5)$$

Подставляя (5) в (4) и пользуясь обратным временем $\tau = T - t$, приходим к ур-нию:

$$\frac{\partial Q^*}{\partial \tau} = (x_1 - x_2)^2 - \frac{1}{4}\left(\frac{\partial Q^*}{\partial x_1}\right)^2 - x_2\frac{\partial Q^*}{\partial x_2} + \frac{\sigma^2}{2}\frac{\partial^2 Q^*}{\partial x_2^2}. \qquad (6)$$

Это ур-ние следует решить при граничных условиях, естественных для принятого критерия (3):

$$\left.\begin{aligned} &Q^*(x_1, x_2, \tau = 0) = 0 \quad \text{для всех } x_1 \text{ и } x_2 \\ &Q^*(x_1, x_2, \tau) \to \infty \text{ при } x_1^2 + x_2^2 \to \infty. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Предположим, что решение ур-ния (6) имеет форму ряда:

$$Q^*(x_1, x_2, \tau) = k_0(\tau) + \sum_{i=1,2} k_i(\tau)\, x_i + \sum_{i,j=1,2} k_{ij}(\tau)\, x_i x_j + \sum_{i,j,m=1,2} k_{ijm}(\tau)\, x_i x_j x_m + \ldots \qquad (8)$$

Подставив (8) в (6) и приравняв друг другу коэфф. при соответствующих членах в правой и левой частях, можно найти, что лишь $k_0(\tau)$ и $k_{ij}(\tau)$ отличны от нуля, причем можно выбрать $k_{ij} = k_{ji}$. В результате получаем для $k_0(\tau)$ и $k_{ij}(\tau)$ обыкновенные дифференц. ур-ния, к-рые можно решить при нач. условиях $k_0(0) = k_{ij}(0) = 0$, вытекающих из (7). Подставив (8) в (5), с учетом вышеналоженного находим:

$$u^*(\tau) = -k_{11}(\tau)\, x_1 - k_{12}(\tau)\, x_2. \qquad (9)$$

По этой ф-ле можно построить блок-схему оптим. управляющего устройства A (рис. 2). Блок D построен согласно ур-нию (2) и

действительности отсутствует. Он изображен лишь для выявления структуры марковского процесса x_2. *ИЗ* — интегрирующее звено.

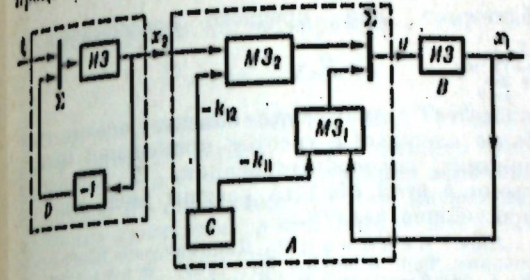


Рис. 2. Блок-схема управляющего устройства: Σ — суммирующее звено; |—1| — инвертор.

Задающее воздействие x_2 поступает извне в управляющее устройство A. Управляемый объект B, согласно (1), представляет собой *ИЗ* с выходной величиной x_1. Управляющее воздействие u, согласно (9), формируется в виде суммы выходов двух множительных звеньев $M3_1$ и $M3_2$. Сомножители $[-k_{11}(\tau)]$ и $[-k_{12}(\tau)]$ поступают на входы этих звеньев от вычислит. устройства C, где они вырабатываются в виде кривых в ф-ции обратного времени τ.

Иллюстрация метода синтеза оптим. систем с накоплением информации об управляемом объекте дана на рис. 3, где показана система управления без обратной связи, работающая по принципу компенсации или регулирования по возмущению. Для исследования используются термины и приемы теории статистич. решений. Пусть все величины представляют собой ф-ции дискретного времени $t = 0, 1, \ldots, s, \ldots, n$, где n фиксировано. В канале E измерения помехи z_s присутствует случайный шум e_s. Для простоты будем считать объект B безынерционным; выходная величина объекта в момент $t = s$

Рис. 3. Система управления без обратной связи.

$$x_s = F(z_s, u_s), \qquad (10)$$

где u_s — управляющее воздействие, F — однозначная ф-ция. Пусть

$$z_s = z_s(s, \mu), \qquad (11)$$

где μ — случайный вектор с координатами μ_j ($j = 1, \ldots, m$). Заданы априорная плотность вероятности $P(\mu)$ вектора μ и плотность вероятности $P(e_s)$ шума e_s в канале E, причем e_s и e_q при $s \neq q$ — независимые случайные величины с одной и той же плотностью вероятности, а e_s и e_q не зависят от μ. Пусть известен алгоритм безынерционного канала E:

$$w_s = w_s(e_s, z_s), \qquad (12)$$

где w_s — выходная величина E. Введем удельную ф-цию потерь, соответствующую моменту $t = s$:

$$W_s = W_s(s, x_s, x_s^*) \qquad (13)$$

(x_s^* — задающее воздействие в момент $t = s$).

Оптимальной будем считать систему, в к-рой величина ср. риска R минимальна и где

$$R = \mathrm{M}\left\{\sum_{s=0}^{n} W_s\right\} = \sum_{s=0}^{n} \mathrm{M}\{W_s\} = \sum_{s=0}^{n} R_s \qquad (14)$$

(R_s наз. удельным ср. риском). Введем вспомогательные векторы:

$$z_s = (z_0, z_1, \ldots, z_s);\ w_s = (w_0, w_1, \ldots, w_s);\ w_s^* = (x_0^*, x_1^*, \ldots, x_s^*). \qquad (15)$$

Оптимальная стратегия УУ A может, вообще говоря, быть случайной. Тогда она задается плотностью вероятности для u_s в момент $t = s$:

$$P_s(u_s) = \Gamma_s(u_s \mid w_s^*, w_{s-1}). \qquad (16)$$

Ф-ция Γ_s есть условная плотность вероятности, зависящая от x_s^* и w_{s-1}, т. е. от информации, поступающей на вход A. Если считать, что x_s^* — регулярная ф-ция, известная заранее, то ее можно не выписывать в явном виде.

Введем вспомогат. ф-цию:

$$\eta(u_s, w_{s-1}) = \int_{\Omega(\mu)} W_s\{s, F[z_s(s, \mu), u_s]\} \times \left\{\prod_{l=0}^{s-1} P[w_l \mid z_l(l, \mu)]\right\} P(\mu)\, d\Omega, \qquad (17)$$

где интегрирование производится по области $\Omega(\mu)$ значений вектора μ, а $d\Omega$ — бесконечно малый элемент этой области. Развернув выражение для удельного ср. риска R_s, можно показать, что

$$R_s = \int_{\Omega(w_{s-1}, u_s)} \Gamma_s(u_s \mid w_{s-1})\, \eta_s(u_s, w_{s-1})\, d\Omega = \int_{\Omega(w_{s-1})} J(w_{s-1})\, d\Omega, \qquad (18)$$

где

$$J(w_{s-1}) = \int_{\Omega(u_s)} \Gamma_s(u_s \mid w_{s-1})\, \eta_s(u_s, w_{s-1})\, d\Omega, \qquad (19)$$

а $\Omega(u_s)$ — допустимая область для u_s.

Ф-ция Γ_s представляет собой плотность вероятности. Поэтому

$$\int_{\Omega(u_s)} \Gamma_s(u_s \mid w_{s-1})\, d\Omega = 1. \qquad (20)$$

Если подобрать Γ_s, удовлетворяющую (20) так, чтобы для любого w_{s-1} величина $J(w_{s-1})$ была минимальна, то и R_s будет иметь миним. значение.

Из теоремы о ср. значении и из (19) и (20) следует:

$$J(w_{s-1}) = (\eta_s)_{\mathrm{cp}} \int_{\Omega(u_s)} \Gamma_s\, d\Omega = (\eta_s)_{\mathrm{cp}} \geq (\eta_s)_{\min}. \qquad (21)$$

Далее, найдем значение $u_s = u_s^*$, минимизирующее ф-цию η_s. Пусть

$$\eta_s(u_s^*, w_{s-1}) = \min_{u_s \in \Omega(u_s)} \eta_s(u_s, w_{s-1}). \qquad (22)$$

Очевидно, u_s^* зависит от w_{s-1}:

$$u_s^* = u_s^*(w_{s-1}). \qquad (23)$$

Это выражение и дает оптим. управление, причем оптим. стратегия Γ_s^* оказывается

регулярной и выражается через единичную импульсную ф-цию (ф-цию Дирака) δ:

$$\Gamma_s^* = \delta(u_s - u_s^*). \qquad (24)$$

Действительно, при подборе u_s, соответствующем (22) и (23), ф-ция $J(w_{s-1})$ принимает для любого w_{s-1} миним. значение [см. (21)]. Поэтому и удельный риск R_s, а вместе с тем и весь ср. риск R минимальны.

Пример. Пусть вектор μ в частном случае является скаляром μ. Далее,

$$z_s = \mu;\ w_s = e_s + \mu,\ x_s = \mu + u_s, \qquad (25)$$

плотности вероятности случайных величин e_s и μ нормальны

$$P(\mu) = \frac{1}{\sigma_\mu \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\mu-\mu_0)^2}{2\sigma_\mu^2}\right\};$$

$$P(e_s) = \frac{1}{\sigma_e \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{e_s^2}{2\sigma_e^2}\right\}, \qquad (26)$$

а удельную ф-цию потерь представим в виде

$$W_s = (x_s^* - x_s)^2 = (x_s^* - \mu - u_s)^2. \qquad (27)$$

Так как $e_i = w_i - \mu$, то из (25) и (26) следует:

$$P(w_i \mid z_i) = P(w_i \mid \mu) = P(e_i = w_i - \mu) = \frac{1}{\sigma_e \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(w_i-\mu)^2}{2\sigma_e^2}\right\}. \qquad (28)$$

Подставляя соответствующие выражения в (17) и производя интегрирование, находим:

$$\eta_s = b\left(1 + \frac{B_s^2}{2C_s}\right), \qquad (29)$$

где b — величина, не зависящая от u_s, а B_s и C_s даются выражениями

$$\left.\begin{aligned} B_s &= 2\varrho_s C_s - \beta_s;\quad \varrho_s = x_s^* - u_s; \\ C_s &= \frac{s\sigma_\mu^2 + \sigma_e^2}{2\sigma_e^2\sigma_\mu^2};\quad \beta_s = \frac{\sigma_\mu^2 \sum_{i=0}^{s-1} w_i + \sigma_e^2 \mu_0}{\sigma_e^2 \sigma_\mu^2}. \end{aligned}\right\} \qquad (30)$$

Из (29) нетрудно видеть, что η_s минимально при $B_s = 0$; тогда [см. первую ф-лу (30)]

$$\varrho_s = \beta_s / 2C_s. \qquad (31)$$

Подставив сюда ϱ_s и β_s из (30), приходим к оптим. алгоритму управления

$$u_s^* = x_s^* - \frac{\sigma_\mu^2 \sum_{i=0}^{s-1} w_i + \sigma_e^2 \mu_0}{s\sigma_\mu^2 + \sigma_e^2} = x_s^* - \frac{\mu_0 + \left(\frac{\sigma_\mu}{\sigma_e}\right)^2 \sum_{i=0}^{s-1} w_i}{1 + \left(\frac{\sigma_\mu}{\sigma_e}\right)^2 s}. \qquad (32)$$

По этой ф-ле можно построить структурную схему оптим. УУ. Поясним смысл ф-лы (32): из (25) и (27) видно, что идеальным было бы значение $x_s = x_s^*$, для чего следует выбирать $u_s = x_s^* - \mu$. Сравнивая это выражение с (32), можно убедиться в том, что второе слагаемое в (32) дает оценку μ, наиболее выгодную при принятом критерии оптимальности. При достаточно больших s, когда накапливается значит. сумма $\sum_{i=0}^{s-1} w_i$, оценка принимает приближенно вид среднего арифметического $\frac{1}{s}\sum_{i=0}^{s-1} w_i$.

Синтез для инерц. объекта оказывается более сложным и требует применения метода динамич. программирования. В настоящее время в этой области решены лишь нек-рые простейшие задачи.

Лит.: Беллман Р., Динамическое программирование, пер. с англ., М., 1960; Фельдбаум А. А., Основы теории оптимальных автоматических систем, М., 1963.

А. А. Фельдбаум.

3) С. с. о. с. дуального управления основывается на применении методов *статистических решений теории* и *динамического программирования*. При синтезе оптим. УУ возможны различные пути. УУ само может, руководствуясь заложенными в него общими правилами теории, вычислять оптим. управляющее воздействие; однако УУ при этом часто оказывается весьма сложным. Для различных комбинаций входных воздействий, поступающих на УУ, значение его выходной величины — управляющего воздействия, можно также определить предварительным расчетом на к.-л. вычислит. машине, а затем аппроксимировать получ. зависимость к.-л. сравнительно простым выражением, к-рое и закладывается в виде приближенного оптим. алгоритма в реальное УУ. Второй путь, вообще говоря, предпочтительнее первого.

Задача существенно облегчается, если управляющее воздействие зависит от небольшого количества—двух, трех ф-ций, каждая из к-рых известным образом связана с величинами, поступающими на вход УУ.

Пример, иллюстрирующий соответствующую методику синтеза. На рис. 4 показана

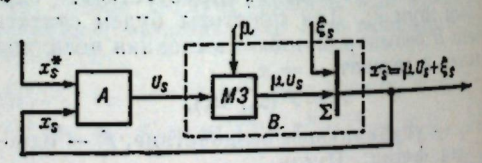


Рис. 4.

система, в к-рой выходная величина x управляемого объекта B связана с входной величиной объекта (управляющим воздействием u) зависимостью

$$x_s = \mu u_s + \xi_s. \qquad (1)$$

На эквивалентной схеме объекта $M3$ — множительное, а $\sum$ — суммирующее звенья. Все величины рассматриваются в моменты времени $t = 0, 1, \ldots, s, \ldots, n$, где n фиксировано, и снабжаются индексом s, если они соответствуют моменту времени $t = s$. Пусть шум ξ_s есть последовательность независимых нормальных случайных величин, а μ — независимая от ξ_s нормальная случайная величина. Плотность вероятности дается выражением:

$$P(\xi_s) = q(\xi_s) = \frac{1}{\sigma_\xi \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\xi_s^2}{2\sigma_\xi^2}\right\}, \qquad (2)$$

а априорная плотность вероятности μ — ф-лой:

$$P_0(\mu) = \frac{1}{\sigma_\mu \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\mu-\mu_0)^2}{2\sigma_\mu^2}\right\}. \qquad (3)$$

Удельную ф-цию потерь примем в виде:

$$W_s = (x_s^* - x_s)^2, \qquad (4)$$

где x_s^* — задающее воздействие. Требуется найти алгоритм оптим. управляющего устройства A, для к-рого минимальная величина ср. риска R, определенного как математич. ожидание суммарной ф-ции потерь ΣW_s,

$$R = \mathrm{M}\left\{\sum_{s=0}^{n} W_s\right\} = \sum_{s=0}^{n} \mathrm{M}\{W_s\} = \sum_{s=0}^{n} R_s. \qquad (5)$$

Если бы шум ξ_s отсутствовал, то для определения неизвестного значения μ оказалось бы достаточным лишь одно измерение величин u_s и x_s. В этом случае задача определения хар-ки μ объекта B была бы тривиальной. Если, с др. стороны, величина μ была бы известной, но $\xi_s \neq 0$, то это означало бы, что хар-ка объекта B испытывает чисто случайные изменения; но накопление информации об этих изменениях невозможно, ибо ξ_i и ξ_j независимы при $i \neq j$. Задача становится содержательной тогда, когда величина μ неизвестна и, кроме того, $\xi_s \neq 0$. В этом случае точное измерение μ за конечное число тактов невозможно. Можно лишь, накапливая информацию о данных измерений u_i и x_i, конструировать с каждым новым тактом все новые и новые апостериорные плотности вероятности $P_i(\mu)$, позволяющие производить все более и более точную оценку μ, и, следовательно, организовать все лучшее и лучшее управление. Поскольку теми накопления информации о μ зависит от значений u_s, но последние, кроме того, должны, в соответствии с ф-лой (4), приводить объект к требуемому режиму (в идеале должно бы быть $x_s = x_s^*$), то управление должно иметь двойственный, дуальный характер. Такие виды управления рассматриваются в теории *дуального управления*. Для данной задачи эта теория дает следующий рецепт получения оптим. стратегии. Положим

$$\left.\begin{aligned} q_{s-1} &= \frac{1}{2\sigma_\xi^2} \sum_{i=0}^{s-1} x_i u_i + \frac{\mu_0}{2\sigma_\mu^2} \\ r_{s-1} &= \frac{1}{2\sigma_\xi^2} \sum_{i=0}^{s-1} u_i^2 + \frac{1}{2\sigma_\mu^2} \end{aligned}\right\} \quad (s = 1, \ldots, n) \qquad (6)$$

и введем вспомогат. ф-цию

$$\alpha_s = \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_\xi^2} \sum_{i=0}^{s-1} x_i^2\right\} \left[\sigma_\xi^2 + (x_s^*)^2 + \frac{u_s^2}{2r_{s-1}}\left(1 + \frac{2q_{s-1}^2}{r_{s-1}}\right) - 2u_s x_s^* \frac{q_{s-1}}{r_{s-1}}\right] \times \frac{1}{\sqrt{r_{s-1}}} \exp\left\{\frac{q_{s-1}^2}{r_{s-1}}\right\}. \qquad (7)$$

Пусть $\gamma_n = \alpha_n$ и

$$\gamma_s^* = \min_{u_s} \gamma_s = (\gamma_s)_{u_s = u_s^*}, \qquad (8)$$

а также

$$\gamma_{s-1} = \alpha_{s-1} + \int_{-\infty}^{\infty} \gamma_s^* dx_{s-1}. \qquad (9)$$

Тогда u_s^* есть оптим. управление при $t = s$. Напр., находя минимум $\gamma_n = \alpha_n$ по u_n, приходим к выражению:

$$u_n^* = 2x_n^* \frac{q_{n-1}}{1 + \frac{2q_{n-1}^2}{r_{n-1}}}. \qquad (10)$$

Уже определение γ_{n-1} по (9) невозможно провести аналитич. путем. Однако, как видно из структуры α_s [см. (7)], можно провести цепочку операций минимизации и интегрирования, необходимую для определения γ_s и u_s^*, запоминая на каждом шаге не ф-ции большого числа переменных $x_0, \ldots, x_{s-1}, u_0, \ldots, u_{s-1}$, а лишь ф-ции двух переменных L_{s-1} и M_{s-1}, где

$$L_{s-1} = \sum_{i=0}^{s-1} x_i u_i;\quad M_{s-1} = \sum_{i=0}^{s-1} u_i^2. \qquad (11)$$

При этом

$$u_s^* = u_s^*[L_{s-1}, M_{s-1}, (n-s)], \qquad (12)$$

где $(n-s)$ — число тактов до конца процесса, остающихся в момент $t = s$. Из ур-ний (11) и (12) следует, что структурная схема оптим. управляющего устройства A может быть изображена так, как это дано на рис. 5. В множит.

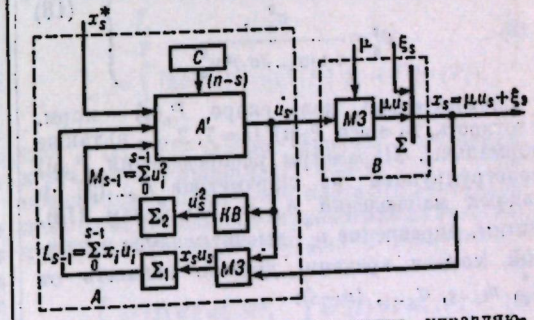


Рис. 5. Структурная схема оптим. управляющего устройства A.

звене $M3$ и квадраторе K_B вырабатываются величины $x_s u_s$ и u_s^2 соответственно. Эти величины поступают в суммирующие звенья $\sum_1$ и $\sum_2$, на выходе к-рых получаются L_{s-1} и M_{s-1}. Счетчик тактов C дает значения $(n-s)$. Величины x_s^*, L_{s-1}, M_{s-1}, $(n-s)$ поступают в блок A', к-рый либо производит указанные выше операции минимизации и интегрирования, либо по заранее определ. ф-ле (12) находит значение u_s^*.

Можно построить и неск. иной вариант структурной схемы. Рассмотрим отдельно управляемый объект B. Допустим, что апостериорная плотность вероятности $P_{s-1}(\mu)$ для величины μ — нормальная, т. е.

$$P_{s-1}(\mu) = \frac{1}{\sigma_{s-1}\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\mu - m_{s-1})^2}{2\sigma_{s-1}^2}\right\}, \qquad (13)$$

где m_{s-1} и σ^2_{s-1} — ср. значение и дисперсия соответственно. Пусть на вход объекта B подано нек-рое воздействие u_s и получена реакция x_s на выходе объекта. Какова будет новая апостериорная плотность вероятности $P_s(\mu)$, найденная с учетом наблюдения u_s и x_s, произведенного в s-том такте? Нетрудно показать, что в данном примере $P_s(\mu)$ также нормальна. Действительно, она может быть рассчитана по ф-ле Бэйеса:

$$P_s(\mu)=P(\mu\mid x_s,\ u_s)=\frac{P_{s-1}(\mu)\,P(x_s\mid\mu,u_s)}{P(x_s)}, \quad (14)$$

где величина $P(x_s)$ не зависит от μ и может быть вычислена из условия нормировки:

$$\int_{-\infty}^{\infty} P_s(\mu)\,d\mu=1. \quad (15)$$

Из уравнений (1) и (2) видно, что

$$P(x_s\mid\mu,\ u_s)=P(x_s\mid\mu u_s)=q(\xi_s=x_s-\mu u_s)=$$
$$=\frac{1}{\sigma_\xi\sqrt{2\pi}}\exp\left\{-\frac{(x_s-\mu u_s)^2}{2\sigma^2_\xi}\right\}. \quad (16)$$

Подставив (16) в (14), приходим, после очевидных преобразований, к $P_s(\mu)$ в форме:

$$P_s(\mu)=\text{const}\cdot\exp\left\{-\frac{(\mu-m_s)^2}{2\sigma^2_s}\right\}, \quad (17)$$

где новое ср. значение m_s и новая дисперсия σ^2_s даются выражениями:

$$\left.\begin{aligned} m_s&=\frac{u_s x_s+(\sigma_\xi/\sigma_{s-1})^2 m_{s-1}}{u_s^2+(\sigma_\xi/\sigma_{s-1})^2};\\ \sigma^2_s&=\frac{\sigma^2_{s-1}}{1+(\sigma_{s-1}/\sigma_\xi)^2 u_s^2}. \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

Следовательно, коль скоро $P_0(\mu)$ — норм. плотность, то и все $P_i(\mu)$ $(i=1,2,\ldots,n)$ также нормальны. Параметры распределения $P_s(\mu)$ конструируются из параметров $P_{s-1}(\mu)$ и данных наблюдений u_s, x_s по ф-лам (18). Оптим. управление u^*_s, высчитываемое в каждый момент времени, должно зависеть от x^*_s, m_{s-1}, σ_{s-1}, $(n-s)$:

$$u^*_s=u^*_s[x^*_s,\ m_{s-1},\ \sigma_{s-1},\ (n-s)]. \quad (19)$$

Найти эту ф-лу путем аналитич. расчета, как указано выше, невозможно; она также должна быть получена процедурой поочередных минимизаций и интегрирований — напр., путем предварит. расчета на универс. ЦВМ, а затем путем аппроксимации результатов расчета. Полученную ф-лу можно заложить в оптим. УУ. На рис. 6 показан вариант структурной схемы, основанный на ур-ниях (18) и (19). Значения u^2_s и $u_s x_s$ поступают вместе с m_{s-1} и σ_{s-1} в блок Φ, вырабатывающий m_s и σ_s, согласно ф-лам (18). Значения m_{s-1} и σ_{s-1} запасаются в ячейках памяти $П_1$ и $П_2$, соответственно, куда они поступают (через блоки задержки τ на один такт) с выхода Φ. Блок A' работает по алгоритму (19). Разумеется варианты схем на рис. 5 и 6 эквивалентны.

Приведенный пример дает представление о методах синтеза; последние могут быть распространены на различные классы систем. Напр., пусть шум ξ_s находится не внутри объекта, а вне его, являясь, допустим, аддитивной ошибкой измерения. Тогда измеренное значение y_s отличается от x_s:

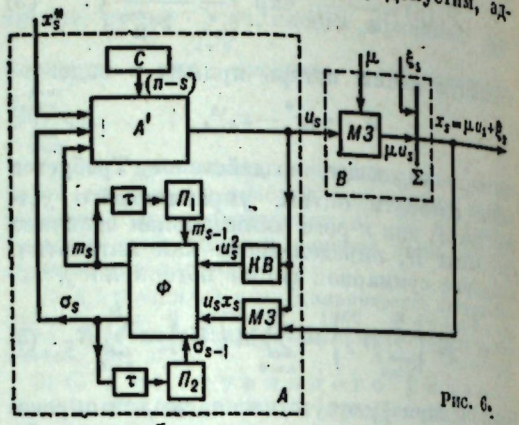


Рис. 6.

$$y_s=x_s+\xi_s. \quad (20)$$

Нетрудно показать, что и в этом случае ф-лы (18) справедливы, с тем лишь отличием, что x_s в них заменяется на y_s. Решение более сложных задач в этой области обычно сопряжено с большими вычислит. трудностями.

Лит.: Беллман Р., Динамическое программирование, пер. с англ., М., 1960; Фельдбаум А. А., Основы теории оптимальных автоматических систем, М., 1963; Florentin J. J., «J. of Electronics and Control». Ser. 1, 1962, v. 13, № 2. *А. А. Фельдбаум.*

4) Синтез систем, оптимальных в минимаксном смысле (СМС), применяется тогда, когда отсутствуют данные о вероятностных законах распределения, необходимые для синтеза статистически оптим. систем (см. раздел 2). Предполагается также, что никакая информация об этих данных не может быть получена при помощи устройств накопления информации (см. раздел 3).

Для СМС необходимо задать множество значений переменных, определяющих условия синтеза. Сущность метода заключается в том, что ищется система, оптимальная при таких значениях этих переменных, когда условия синтеза наиболее неблагоприятны.

СМС употребляется в задачах двух типов: синтез оптим. систем в условиях «нейтральной природы» и синтез оптим. систем при конфликтных ситуациях.

Задачи 1-го типа тесно связаны с *статистических решений теорией*. Пусть $r(S,\delta)$ — условный риск, определяемый в этой теории; S — переменная, описывающая состояние «нейтральной природы», δ — решающая ф-ция. За оптим. решающую ф-цию в минимаксном смысле принимается такая ф-ция δ^*, при к-рой макс. значение условного риска для всех возможных значений переменной S не превышает макс. значения условного риска при любой др. решающей ф-ции:

$$\max_S r(S,\ \delta^*)=\max_S \min_\delta r(S,\ \delta)\leqslant\max_S r(S,\ \delta). \quad (1)$$

Минимаксное правило выбора решающей ф-ции можно выразить также через ср. риск $R(\sigma,\ \delta)$, где σ — априорное распределение вероятностей на множестве значений переменной S:

$$R(\sigma_0,\ \delta^*)=\max_\sigma R(\sigma,\ \delta^*)=\max_\sigma\min_\delta R(\sigma,\ \delta). \quad (2)$$

Т. о., оптим. решающая ф-ция, оптимизирующая ср. риск (бейесово правило решения) при наиболее неблагоприятном распределении вероятности для S, эквивалентна оптим. решающей ф-ции в минимаксном смысле. Этот факт лежит в основе часто применяемого метода отыскания оптим. в минимаксном смысле системы: решающая ф-ция, к-рой соответствует одинаковый для всех значений переменной S условный риск, является минимаксной решающей ф-цией.

Как было показано в [1], задачи 1-го типа при нек-рых условиях эквивалентны нулевым играм двух лиц. Поэтому часто такие задачи решаются методами *игр теории*.

Пример задачи 1-го типа. Пусть проектировщику системы обнаружения полезного сигнала (1-й игрок) требуется определить (при помощи энергетич. приемника с временем интегрирования T) наличие полезного сигнала $S(t)$ в аддитивной смеси сигнала и шума $Z(t)$:

$$y(t)=S(t)+Z(t). \quad (3)$$

Полезный сигнал может или присутствовать с вероятностью $^1/_2$ или отсутствовать с такой же вероятностью. В первом случае полезный сигнал так пронормирован, что

$$\int_0^T S^2(t)\,dt=1.$$

Пусть точное значение мощности шума неизвестно, но

$$\int_0^T Z^2(t)\,dt\leqslant a.$$

Положим, что

$$0<\int_0^T Z^2(t)\,dt=\alpha\leqslant a;$$

тогда на выходе приемника могут образоваться две величины с равной вероятностью $^1/_2$:

$$\int_0^T y^2(t)\,dt=$$
$$=\begin{cases}1+\alpha, & \text{если присутствует полезный сигнал}\\ \alpha, & \text{если отсутствует полезный сигнал.}\end{cases} \quad (4)$$

В рассматриваемой игре против нейтральной природы (2-й игрок) 1-й игрок выбирает порог β, с к-рым сравнивает выход энергетич. приемника (4). Точное значение α 1-му игроку неизвестно. α и β — чистые стратегии игроков. В качестве платежной ф-ции 2-го игрока 1-му возьмем вероятность правильного обнаружения

$$P(\beta,\alpha)=\begin{cases}^1/_2, & \text{если } 0\leqslant\alpha<\beta-1\\ 1, & \text{если } \beta-1\leqslant\alpha\leqslant\beta\\ ^1/_2, & \text{если } \beta\leqslant\alpha\leqslant a.\end{cases} \quad (5)$$

Если предположить, что как α, так и β принимают значения из множества целых неотрицат. чисел, т. е. $\alpha=0,1,\ldots,a$; $\beta=1,\ldots,a+1$ (случай $\beta=0$ всегда хуже $\beta=1$ и поэтому не рассматривается), то платежная ф-ция превращается в матрицу размеров $(a+1)\times(a+1)$, элементами к-рой являются (5). Цена игры в этом случае равна (оценка качества оптим. системы)

$$v=\frac{1}{2}+\frac{1}{2(a+1)}, \quad (6)$$

а оптим. стратегия 1-го игрока (точнее оптим. система, т. к. выбор порога — конструирование системы) состоит в использовании с равными вероятностями $\beta=1,2,\ldots,a+1$. Значение a в ф-ле (6) можно интерпретировать как отношение мощности шума к мощности полезного сигнала. Из-за того, что a — наибольший предел изменения α, ф-ла (6) слишком «осторожна».

Пример задачи 2-го типа — задача об управлении объектом при конфликтных ситуациях. Пусть переменная x, описывающая состояние управляемой системы, является решением следующего дифференц. ур-ния:

$$\frac{dx}{dt}=-ax+Eu+Dv$$
$$[x(t_0)=x_0;\quad t_0\leqslant t\leqslant T], \quad (7)$$

где $u(t)$ и $v(t)$ — управляющие воздействия 1-го (максимизирующего) и 2-го (минимизирующего) игроков соответственно, a, E, D — константы.

В качестве суммарной платы $P(u,\ v)$, к-рую 2-й игрок выплачивает 1-му, примем следующее выражение:

$$P(u,\ v)=\int_{t_0}^T S(u(t),\ v(t))\,dt+V[x(T)]=$$
$$=\int_{t_0}^T[\lambda u^2(t)-\eta v^2(t)]\,dt+V[x(T)], \quad (8)$$

где $V[x(T)]$ — оценка окончат. состояния, к-рое система принимает в момент T, т. е.— конечная плата. Дифференц. плата $S(u,v)$ обусловлена тем, что введено ограничение на энергию, используемую игроками для управления:

$$\int_{t_0}^T v^2(t)\,dt\leqslant M^2,\quad \int_{t_0}^T u^2(t)\,dt\leqslant N^2, \quad (9)$$

λ и η — множители Лагранжа, учитывающие ограничения (9).

Пусть $R(T-t)$ — решение однородного ур-ния (7) при нач. условиях, взятых в момент t на траектории ур-ния (7):

$$R(T-t)=x(t)\,e^{-a(T-t)}. \quad (10)$$

Имеет место также ур-ние:

$$\frac{\partial R(T-t)}{\partial t}=W(T-t)\,[Eu(t)+Dv(t)], \quad (11)$$

где $W(T-t)$ — весовая ф-ция ур-ния (7), равная

$$W(T-t)=e^{-a(T-t)}. \quad (12)$$

Пользуясь методами динамич. программирования, можно выписать ур-ние для цены игры:

$$f[T-t,\ R(T-t)]=\max_v\min_u\{\ \}=$$
$$=\min_u\max_v\{\ \}=\operatorname*{val}_{u,v}\{\ \}. \quad (13)$$

Выражение в фигурных скобках равно

$$S(u, v)\,\delta + f[T-t-\delta,\ R(T-t-\delta)]. \quad (14)$$

К ур-нию (13) следует приплюсовать условие:

$$f[0,\ R(0)] = V[R(0)] = V[x(T)]. \quad (15)$$

Устремив $\delta \to 0$ в (13), получим ур-ние для определения f:

$$\frac{\partial f}{\partial (T-t)} = \left(\frac{\partial f}{\partial R}\right)^2 W^2(T-t)\left[-\frac{E^2}{4\lambda} + \frac{D^2}{4\eta}\right]. \quad (16)$$

Ур-ние (16) с условием (15) можно решить методом разделения переменных:

$$f[T-t,\ R(T-t)] = h(T-t)\,V[R(T-t)] \quad (17)$$
$$h(0) = 1.$$

Ниже предполагается также, что конечная плата представляет собой квадрат состояния системы в момент T с нек-рым положит. коэфф. пропорциональности:

$$V[R(T-t)] = c^2 r^2 (T-t). \quad (18)$$

Окончательное решение имеет вид:

$$f[T-t_0,\ R(T-t_0)] = c^2 R^2 (T-t_0) h(T-t_0), \quad (19)$$

$$\left.\begin{aligned} u^* &= -\frac{1}{\lambda} c^2 R(T-t_0) W(T-t_0) E h(T-t_0) \\ v^* &= \frac{1}{\eta} = c^2 R(T-t_0) W(T-t_0) D h(T-t_0) \end{aligned}\right\}, \quad (20)$$

где параметр

$$h(T-t_0) = \frac{1}{1 + c^2\left(\frac{E^2}{\lambda} - \frac{D^2}{\eta}\right)\int\limits_0^{T-t_0} W^2(x)\,dx} \quad (21)$$

имеет смысл. меры управляемости системой.

Множители λ и η, входящие в ф-цию $h(T-t_0)$, определяются из неравенств (9). Подставив управляющие воздействия, определяемые по ф-ле (20), в неравенство (9), можно показать (см. [4]), что если $B \geqslant \sqrt{2}/2$, где

$$B^2 = \frac{[(NE)^2 + (MD)^2]\int\limits_{t_0}^{T} W^2(T-\tau)\,d\tau}{R^2(T-t_0)} \quad (22)$$

— отношение макс. энергии, к-рую могут использовать оба игрока при конструировании управляющих воздействий, к энергии собственного движения системы $R^2(T-t_0) \neq 0$, то

$$\frac{(\sqrt{2}/2)+B}{\sqrt{2}/2} \leqslant h \leqslant \frac{(\sqrt{2}/2)+B}{\sqrt{2}/2}. \quad (23)$$

Если же $B < \sqrt{2}/2$, то

$$\left.\begin{aligned} \frac{-(\sqrt{2}/2)+B}{\sqrt{2}/2} &\leqslant h \leqslant \frac{B-(\sqrt{2}/2)}{\sqrt{2}/2} \\ \frac{(\sqrt{2}/2)-B}{\sqrt{2}/2} &\leqslant h \leqslant \frac{(\sqrt{2}/2)+B}{\sqrt{2}/2}, \end{aligned}\right. \quad (24)$$

т. е. $h(T-t_0)$ располагается в двух непересекающихся отрезках.

В результате решения игровой задачи получена суммарная плата $P(u^*, v^*)$, к-рая удовлетворяет соотношению уравновешенности

$$P(u^*, v) \leqslant P(u^*, v^*) \leqslant P(v^*, u). \quad (25)$$

Управление игроками со стороны системы должно осуществляться не по принципу обратной связи (см. 20). Это обстоятельство связано с тем, что дифференц. плата $S(u, v)$ не содержит переменной x, и поэтому ее значение внутри интервала управления может быть произвольным.

При значениях параметра $B^2 \geqslant 1/2$ собств. движение системы путем выбора управляющих воздействий может быть скомпенсировано. Если же $B^2 < 1/2$, то никакими управляющими воздействиями нельзя нейтрализовать влияние собств. колебаний системы к моменту T.

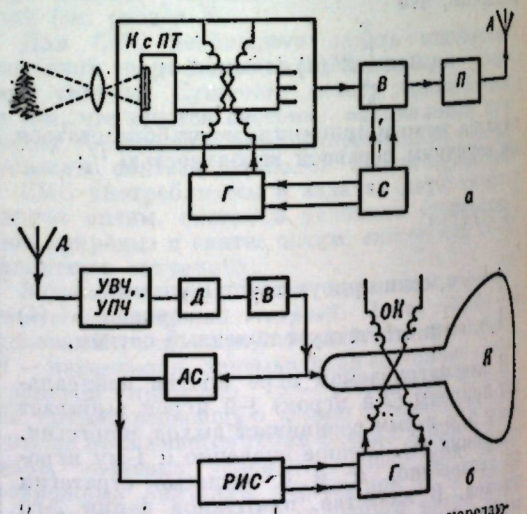
Интересно отметить, что в «чистой» задаче оптим. управления с максимизирующим управлением, когда система подобна рассматриваемой, собственное движение системы всегда может быть скомпенсировано к заданному моменту времени T. Физически это достигается (при сколь угодно малом отношении энергии управляющего воздействия к энергии собственного движения системы) подбором такого значения управления к моменту T, чтобы обусловленное им движение системы было в противофазе с собств. движением системы в тот же момент T.

Лит.: 1) Wald A., Statistical decision functions, N. Y.— L., 1950; 2) Фельдбаум А. А., Теория дуального управления, «АиТ», 1960, т. 21, № 9, 11; 3) Root W. L., Communications through unspecified additive noise, «Inform. Control», 1961, v. 4, № 1; 4) Гаджиев М. Ю., Применение теории игр к некоторым задачам автоматического управления, «АиТ», 1962, т. 23, № 8, 9.

М. Ю. Гаджиев.

СИНУСОИДАЛЬНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ (sinusoidal input; perturbation sinusoidale; sinusförmige Störung) — см. *Гармонические колебания*, *Воздействие*.

СИНХРОНИЗАЦИЯ (synchronization; synchronisation; Synchronisation) — согласование во времени периодич. процессов. С. широко применяется в энергетике, телевидении, связи, системах точного измерения времени в ТИ, ТУ, вычислит. машинах, кино и др. Задачей С., напр. в телевидении, является обеспечение совпадения координат луча на мозаике передающей трубки и



Блок-схема телевиз. аппаратуры: *а* — передающая часть; *б* — приемная часть; *К с ПТ* — камера с передающей трубкой; *В* — видеоусилитель; *П* — передатчик; *Г* — генераторы строчной и кадровой развертки; *С* — синхрогенератор; *Д* — детектор; *АС* — амплитудный селектор; *ОК* — отклоняющие катушки; *К* — кинескоп; *РИС* — разделитель импульсов синхронизации.

лучей на экранах приемных трубок в любой момент времени работы системы. Это достигается (рис.) путем применения спец. синхронизирующих импульсов (синхроимпульсов), вырабатываемых синхрогенератором и передаваемых из телевиз. центра вместе с видеосигналами. В каждом телевиз. приемнике имеются устройства, выделяющие синхроимпульсы из общего сигнала и использующие их для С. по частоте и фазе генераторов строчной и кадровой развертки.

В радиолокации, фототелеграфии, в осциллографах, в многоканальной радиосвязи и др. С. осуществляется способом мгновенного действия, т. е. каждым импульсом и инерц. схемой, когда сравнение частот производится в среднем за относительно большой промежуток времени. Последний способ более помехоустойчив.

Лит.: Соловьев И. И., Автоматизация энергетических систем, 2 изд., М.—Л., 1956, с. 115—53; Самойлов В. Ф., Синхронизация генераторов телевизионной развертки, М.—Л., 1961; Федорцов Б. Ф., Фототелеграфная техника, М., 1961.

А. Г. Адоян.

СИНХРОНИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ генератора (oscillation synchronization; synchronisation d'oscillations; Schwingungssynchronisation) — согласование во времени колебаний (синусоидальных колебаний, частот повторения импульсных процессов, пилообразных колебаний и др.). Обычно для С. к. применяется явление *захватывания частоты* генератора с самовозбуждением. Простейший случай С. к.— взаимная синхронизация синусоидальных колебаний 2 автогенераторов (рис. 1). Синхронизирующее напряжение вводится в колебат. систему каждого автогенератора вследствие индуктивной взаимосвязи колебат. систем обоих генераторов. При сближении частот собств. колебаний автогенераторов ω_1 и ω_2 в системе сперва возникают биения колебаний того и др. генератора. Затем при нек-рой разности их частот $\frac{\Delta\omega_{1,2}}{2}$ биения скачком исчезают и система переходит в синхронный режим с единственной частотой колебаний ω. При дальнейшем изменении частоты колебаний одного из генераторов система продолжают нек-рое время работать в синхронном режиме, а затем скачком выходит из него: в системе опять возникают биения частот обоих генераторов с разностной частотой $\frac{\Delta\omega_{1,2}}{2}$, т. к. каждый из них вновь начинает генерировать на своей собственной частоте. Полоса частот, в пределах к-рой система из 2 автогенераторов генерирует на одной синхронной частоте $\Delta\omega_{1,2}$, наз. полосой взаимной синхронизации.

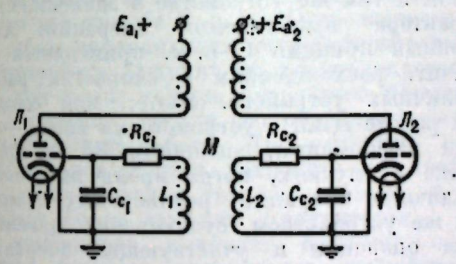


Рис. 1. Схема взаимной синхронизации колебаний 2 автогенераторов.

Частота синхронных колебаний системы из 2 сравнимых автогенераторов определяется из след. ур-ния:

$$(\omega^2 - \omega_1^2)(\omega^2 - \omega_2^2) - \alpha_1\alpha_2\omega^4 \sin^2\varphi = 0,$$

где ω_1 и ω_2 — парциальные частоты колебаний генераторов, φ — сдвиг фаз между синхронными напряжениями на сетках генераторов, α_1 и α_2 — коэфф. связи контуров генераторов ($\alpha_1 = M/L_1$; $\alpha_2 = M/L_2$). Частота синхронного режима лежит ближе к собств. частоте колебаний более мощного (захватывающего) автогенератора и приближается к ней с уменьшением расстройки частот обоих генераторов. При увеличении взаимной связи между обоими автогенераторами выше критич. и при сравнимых мощностях генераторов в системе становятся возможными 2 синхронных режима. Переход из одного синхронного режима во второй происходит скачком.

Для работы систем точного измерения времени обычно требуются синхронизирующие напряжения, частоты к-рых равны или кратны частоте высокостабильного *генератора задающего*, а период составляет целое число единиц времени. Примеры таких систем — эталоны частоты и времени, а также радиолокационные дальномеры. В радиодальномерах вырабатываются напряжения строго пост. частоты для запуска импульсного модулятора передатчика, а также измерит. синусоидальное напряжение, частота к-рого кратна частоте повторения импульсов передатчика. Заданное соотношение частот может быть получено с помощью задающего генератора более высокой стабильной частоты (обычно *генератора кварцевого*) путем ее деления, или более низкой частоты — путем ее умножения. В простейшей схеме С. к. частоты автогенератора внешней силой (рис. 2) синхронизирующий сигнал обычно подается на управляющую сетку лампы. Величина напряжения синхронизации в этом случае пропорциональна амплитуде собств. колебаний автогенератора на управляющей сетке, добротности его колебат. системы и относит. расстройке собственной и синхронизирующей частот.

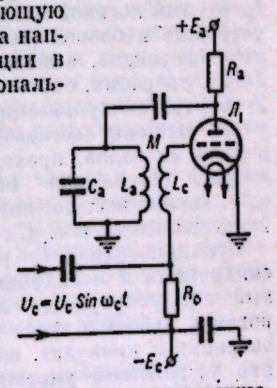


Рис. 2. Схема синхронизации частоты автогенератора внешней силой.

Засинхронизированный автогенератор гармоних. колебаний можно рассматривать как регенеративный делитель (или умножитель) частоты с коэфф. деления (или умножения), равным единице. Если синхронизирующий сигнал имеет частоту, равную $n\omega_c \approx \omega_0$, где n — положит. целое число, то имеет место С. к. автогенератора на субгармонике частоты колебаний синхронизирующего сигнала, т. е. деление частоты. Когда $\omega_c = n\omega_0$, имеет место синхронизация частоты автогенератора на гармонике синхронизирующего сигнала, т. е. умножение частоты задающего генератора. Оба эти способа С. к. широко распространены; первый — в системах регенеративных делителей частоты. Однако, вследствие достаточно высокой добротности колебат. системы автогенератора гармоних. колебаний, этот тип генераторов сравнительно плохо поддается синхронизации на субгармониках, особенно при больших коэфф. деления. Поэ-

тому чаще применяют С. к. релаксац. генераторов (*мультивибраторов, блокинг-генераторов* и т. п.), обладающих меньшей добротностью колебат. системы и меньшей стабильностью частоты собств. колебаний (генераторы напряжения развертки в телевидении, осциллографах и отметчиках радиолокац. станций). Этот тип автогенераторов может синхронизироваться как синусоидальным напряжением, так и последовательностями электрич. импульсов напряжения. Для устойчивой С. к. этих генераторов частота внешнего синхронизирующего напряжения должна быть на 15—30% выше частоты колебаний автогенератора. Существенное значение имеет и форма синхронизирующих колебаний, напр. в схеме мультивибратора наиболее устойчива С. к. короткими остроконечными импульсами напряжения с крутым передним фронтом и плавным спадом.

Лит.: Теодорчик К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952; Петрович Н. Т., Козырев А. В., Генерирование и преобразование электрических импульсов, М., 1954.

Ю. Б. Любченко.

СИНХРОНИЗАЦИЯ РАБОТЫ МАШИНЫ (цифровой) (machine operation synchronizing; synchronisation du fonctionnement de la machine; Synchronisation der Maschinenarbeit) — согласование во времени действий отдельных устройств или элементов ЦВМ в соответствии с *временной диаграммой* ее работы. Осуществляется последовательностью гл. синхронизирующих импульсов, общих для всего устройства или блока, обладающего замкнутой синхросистемой. Различают: 1) функциональную С. р. м., обеспечивающую требуемый логикой операций порядок работы устройств и блоков (выборка команды, передача операндов, выполнение арифметич. или логич. операций, опрос канала связи и т. д.); 2) внутр. синхронизацию работы отдельных узлов машины (согласование временны́х задержек сигналов, проходящих по различным цепям, обеспечение необходимой последовательности поступления сигналов на многовходовые схемы и т. д.).

Функциональная С. р. м. осуществляется синхронным и асинхронным способами. Первый предусматривает централизов. формирование рабочего такта машины для каждой операции и принудит. включение и выключение устройством управления исполнит. элементов. Момент переключения не зависит от времени, фактически затраченного на выполнение данной операции. Временны́е интервалы устанавливаются по максимально возможному для каждого устройства или блока интервалу. Аппаратурная реализация синхронного принципа весьма проста, но эффективность работы устройств оказывается низкой. При операции, выполняющейся за время, меньшее максимально возможного, машина или устройство простаивает часть рабочего такта. Снижение непроизводит. простоев достигается введением перем. такта работы. Для каждой однотипной по времени выполнения группы операций УУ выделяет свой интервал. Синхронный принцип используется в тех случаях, когда разброс во времени выполнения различных операций незначителен.

При асинхронном принципе каждое исполнит. устройство вырабатывает сигнал об окончании работы. Такой сигнал определяет готовность устройства к следующему циклу и сообщает об этом смежным устройствам и блокам. Т. о. устраняются потери времени в работе каждого устройства. Производительность машины повышается, но схемно и конструктивно она усложняется, поскольку в исполнит. устройствах необходимо предусматривать свои схемы фиксации момента окончания каждой операции. Машины такого типа строятся как с общей синхронизирующей последовательностью гл. импульсов, так и с частными последовательностями, параметры к-рых выбираются в соответствии с особенностями тех устройств, для к-рых данная последовательность предназначается. В первом случае понятие «асинхронный» относится лишь к числу синхронизирующих циклов, меняющихся в зависимости от характера операции. Срабатывание отдельных звеньев различных устройств при этом жестко синхронизировано одной и той же последовательностью гл. импульсов. Такая С. р. м. облегчает схемную связь отдельных устройств, т. к. позволяет легко устанавливать требуемые фазовые соотношения между различными входными и внутр. сигналами. Однако при этом трудно обеспечить оптимальные для каждого устройства частотные режимы работы. Во втором случае каждое устройство содержит автономный источник синхронизирующих сигналов. В ряде случаев предусматривается изменение частоты синхронизирующих сигналов в одном и том же устройстве в зависимости от характера выполняемой операции. Асинхронный принцип С. р. м. применяется при значит. расхождениях в скоростях работы различных устройств. Напр., при совместной работе ЦВМ с устройствами ввода — вывода информации, внешними ЗУ и др., а также в случаях, когда время выполнения различных операций, реализуемых одним и тем же устройством, существенно зависит от типа операции и участвующих операндов. Довольно часто применяется взаимно-обратимая синхронизация, при к-рой медленно работающее устройство запускается со стороны электронного управляющего блока, расшифровавшего соответствующий код операции, а дальнейшая синхронизация совместной работы ведется медленно действующим устройством, посылающим синхроимпульсы, к-рые сообщают о готовности к выдаче или приему информации. Эти импульсы вызывают срабатывание электронного блока. Синхроимпульсы в электромеханич. устройствах формируются либо за счет спец. элементов носителя информации (напр., стартовых пробивок на перфокартах), либо с помощью отдельных узлов самого устройства (кулачковых механизмов, фотоэлектрич. дисковых синхронизаторов и т. д.), жестко связанных с транспортирующими блоками.

С. р. м., при к-рой отдельные устройства в процессе выполнения операции (во время одного рабочего такта) работают последовательно, наз. линейной синхронизацией. В каждый момент времени рабочего такта функционирует лишь одно устройство или блок. Выполнив операцию, это устройство переходит в режим ожидания окончания работы остальных устройств, к-рым выделяются свои временные интервалы (машина «Стрела»). Такое ожидание снижает эффективность использования устройств машины.

С. р. м. с совмещением временны́х интервалов работы отдельных устройств предусматривает одновременное (параллельное) функционирование ряда устройств или блоков по выполнению логически автономных действий (напр., одновременное выполнение различных фаз одной и той же операции или отдельных этапов текущей и последующей команды). В более сложных вариантах такое совмещение доводится до параллельного решения нескольких задач с одноврем. вводом и выводом информации по многим каналам (машина «Стретч»). Различные устройства работают при этом параллельно и независимо с кратковрем. прерываниями работы для связи со смежными устройствами или для перехода с одной задачи на др. При наличии в машине неск. однотипных устройств (УУ, АУ и т. д.) параллельно решаемые задачи могут закрепляться за отдельными устройствами. Синхронизация этих устройств с блоками, общими для всех задач, так же как и перераспределение (напр., при выходе из строя к.-л. устройства) этих устройств между задачами, может осуществляться спец. координирующим устройством с помощью программы-диспетчера, устанавливающей относит. приоритет в обработке тех или иных задач. При наличии одного УУ и одного АУ совмещение операций и программ решения различных задач производится за счет временно́го разделения работы отдельных узлов или блоков. Для координации работы различных устройств машины в этом случае применяются два способа С. р. м.: 1) последовательный опрос управляющим устройством остальных устройств; 2) принудит. внешнее прерывание, при к-ром каждое устройство посылает в УУ сигналы, требуя его переключения на нужный режим работы. При одноврем. приходе сигналов от неск. устройств УУ прежде всего связывается с тем устройством, к-рое обладает более высоким приоритетом.

В комбиниров. вычислит. системах, обладающих сериями однотипных устройств и временны́м разделением работы каждого устройства, С. р. м. осуществляется сочетанием программных (программы-диспетчеры) и аппаратурных (координирующее устройство, система прерывания, приоритетные блоки и т. д.) средств согласования работы всех звеньев системы.

Внутр. С. р. м. определяется типом элементов машины и характером схемных решений. Различают однотактную и многотактную синхронизацию элементов. В первом случае логически завершенное действие осуществляется тем или иным элементом с помощью одного синхронизирующего сигнала (в течение одного синхроцикла). Во втором случае предусматривается расчленение элементарной логич. операции (напр., сдвиг на один разряд) на неск. отдельных фаз, каждая из к-рых обеспечивается отдельной синхронизирующей серией. Используется наиболее часто для элементов, построенных на ферритовых сердечниках, феррит-диодных и феррит-транзисторных ячейках. Недостатки такой синхронизации — наличие неск. серий сдвинутых по фазе синхроимпульсов, поступающих на схемные элементы по автономным цепям.

В случае статич. элементов управляющие сигналы выполняют одновременно и роль синхронизирующих. При многовходовых схемах (схемах совпадения, дешифраторах и т. д.) часто используется централизов. стробирование схемы. Оно устраняет нек-рый временной разброс входных сигналов, возникающий за счет различных трактов их следования. Динамич. элементы обладают различными цепями для синхронизирующих и управляющих сигналов. Управляющие сигналы изменяют логич. значение схем, а синхронизирующие сохраняют динамич. состояния элемента между смежными управляющими сигналами (напр., циркуляцию импульса в динамич. триггере при записи в нем единицы). Выходные сигналы при этом совпадают по фазе с синхронизирующей серией, что позволяет устранить естественные задержки сигналов и удобно согласовывать различные схемные каскады.

И. А. Данильченко.

СИНХРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА цифровая (synchronous digital computer; calculatrice numerique synchrone; synchrone Digitalmaschine)—вычислит. машина дискретного действия, в к-рой длина рабочего такта задается для всех операций устройством управления независимо от фактически необходимого времени работы остальных устройств машины. Временна́я шкала тактов работы машины рассчитывается заранее в процессе разработки машины. Расчет ведется по макс. времени выполнения каждой операции. Если в процессе решения задачи на операцию затрачивается более короткое время, то часть рабочего такта используется неэффективно (время выполнения данной операции зависит от операндов). Поэтому скорость работы С. в. м. при всех прочих равных условиях меньше скорости работы *асинхронных вычислительных машин*, рабочий такт к-рых определяется устройством, выполняющим операцию. Конструктивно и схемно С. в. м. более простая, поскольку в ней отсутствуют спец. схемы для фиксации момента окончания операции. В связи с этим облегчается их разработка и эксплуатация.

С. в. м. бывают двух типов: с постоянным и с перем. рабочим тактом. В машинах с пост. рабочим тактом на выполнение операции отводится максимально возможное для принятой системы команд время. В ней имеют место большие потери времени. Система управления наиболее простая; машина удобна в наладке и эксплуатации.

В машинах с перем. рабочим тактом все операции разбиваются на эквивалентные по времени выполнения группы. Для каждой группы рассчитывается макс. время выполнения операции и устанавливается соответствующий такт работы. Непроизводит. потери рабочего времени машины в этом случае уменьшаются. В нек-рых С. в. м. с перем. рабочим тактом допускается определенное варьирование времени, отводимого на выполнение операции, в зависимости от предварит. анализа типа операндов (фиксацией нулевого операнда, определением величины сдвига при выравнивании порядков и т. д.). Однако такой анализ в С. в. м. проводится перед выполнением операции, а не в процессе ее выполнения (как это делается в асинхронных машинах) и лишь для наиболее характерных случаев. Синхронизация работы всех схем С. в. м. централизованная — от одной и той же системы гл. импульсов.

Стремление к повышению производительности вычислит. машин вызывает ограничение

использования синхронного принципа управления в машинах общего назначения. Однако в ряде специализиров. машин с заранее определ. кругом задач и характером используемой информации этот принцип может оказаться весьма удобным. Целесообразно совмещать синхронный и асинхронный принципы в одной машине, применяя последний к операциям с временем выполнения, значительно большим времени обращения к ЗУ при существенной его зависимости от типа операндов. В крупных вычислит. системах с широким использованием принципа параллельного выполнения программ синхронный способ применяется крайне редко. *Н. А. Данильченко.*

СИНХРОННАЯ ПЕРЕДАЧА (synchronous communication; liaison synchrone; Synchronverbindung) — система передачи, позволяющая осуществить синхронное и синфазное перемещение двух или неск. осей, не связанных механически между собой. Система С. п. состоит из трех основных частей: задатчика, угол поворота оси к-рого является задающей величиной; линии передачи; приемника, воспроизводящего перемещение своей оси на величину, определяемую задатчиком. Линии С. п. могут быть проводными и беспроводными. В общем случае линия содержит реле, усилители, тр-ры и др. Задатчик и приемник связываются с задающим и исполнит. механизмами непосредственно или через промежуточные звенья (механические, электромеханические и др.).

По принципу действия различают: 1) Импульсные системы С. п., в к-рых задатчик — переключатель или коммутатор — подает импульсы тока только в определенный для данного положения задатчика канал линии передачи. В качестве приемника используются импульсные двигатели. Схема четырехпроводной импульсной системы С. п. дана на рис. 1. Здесь *З* — задатчик — барабанный

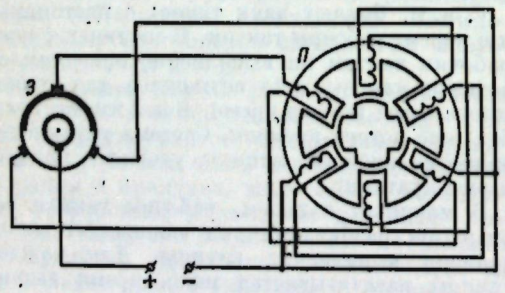


Рис. 1.

коммутатор с 3 токосъемными щетками, расположенными под углом 120° одна к другой (питание к коммутатору подводится через 4-ю щетку и токопроводящее кольцо); *П* — приемник — синхронный двигатель импульсного типа, без возбуждения (реактивный), ротор к-рого следит за магнитным полем статора. 2) Системы С. п. с меняющейся частотой. Задатчиками в этих системах служат частотные преобразователи, а приемниками — синхронные двигатели, работающие при перем. частоте. Схема включения обмоток статора синхронного двигателя при работе с двухпластинчатым коллектором (частотным преобразователем) дана на рис. 2. 3) Системы С. п. индукц. типа (рис. 3), где задатчиками и приемниками служат индукц. машины перем. тока (сельсины). Благодаря простоте устройства, надежности и возможности самосинхронизации наибольшее распространение получили системы С. п. последнего типа, к-рые обычно предназначаются для синхронной передачи угла и для передачи синхронного вращения. В первом случае системы могут работать в статич. режиме — синхронный поворот в пределах конечного заданного угла, и в режиме вращения при пост. и перем. угловых скоростях. При этом оси задатчика и приемника все время должны быть синфазны. При синхронной передаче вращения необходимо, чтобы оси задатчика и приемника вращались синхронно.

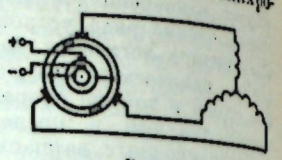


Рис. 2.

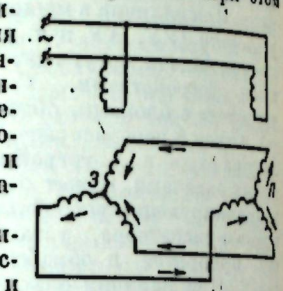


Рис. 3.

Системы С. п. применяются для дистанц. управления и для передачи показаний различного рода механизмов, напр. для контроля уровня воды в водоемах, количества жидкого топлива в баках и др. Маломощные системы С. п. угла обычно строятся на основе однофазных сельсинов, имеющих на статоре однофазную обмотку, питаемую перем. током, и трехфазную обмотку на роторе. Трехфазные обмотки задатчика и приемника соединяются между собой при соблюдении следования фаз. Мощные силовые системы строятся на основе трехфазных индукц. машин.

Лит.: Васильев Д. В., Индукционные системы синхронной связи, Л.— М., 1949; Попов В. К., Элементы электроавтоматики, М.—Л., 1947; Иосфьян А. Г., Каган Б. М., Основы следящего привода, М.—Л., 1954; Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т.1—2, М., 1954—59. *Д. И. Нетелих.*

СИНХРОННОЙ СВЯЗИ СИСТЕМА (синхронная передача, дистанционная передача индикаторная) (synchronous communication system; système de liaison synchrone; System der Synchronverbindung) — совокупность устройств, обеспечивающих синхронный поворот двух или неск. механически между собой не связанных осей за счет усилий, возникающих при рассогласовании углов поворота осей. Одна из осей, связанная с измерит. элементом или ручным задатчиком, положение к-рой необходимо передать на расстояние, наз. задающей. Другая ось, устанавливающаяся в соответствии с положением задающей оси, наз. приемной. Во многих С. с. с. (индикаторных сельсинных системы, индуктивные мосты, система с электродинамометрами и др.) отсутствуют к.-л. усилители сигнала рассогласования, и на приемной оси реализуется только та энергия, к-рая была затрачена при перемещении задающей оси. В нек-рых С. с. с. усилия, возникающие при рассогласовании, воздействуют как на приемную, так и на задающую ось. Если при этом нагружается маломощная задающая ось, то понижается точность измерит. элемента, являющегося преобразователем измеряемого параметра в перемещение. Предпочтительны системы, в к-рых усилие воздействует только на приемную ось; такие С. с. с. наз. системами с детектированием воздействия (рис.). Для сельсинных систем величина момента, воздействующего на задающую ось, может быть значительно снижена при определ. сдвиге фаз между напряжениями питания датчика и приемника.

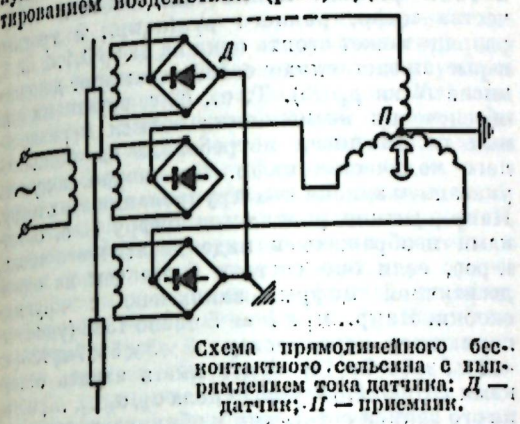


Схема прямолинейного бесконтактного сельсина с выпрямлением тока датчика: *Д* — датчик; *П* — приемник.

В зависимости от вида электрич. сигнала, возникающего в С. с. с. при рассогласовании, различают непрерывные и дискретные системы. В зависимости от принципа преобразования углового положения оси в электрич. сигнал датчика С. с. с. и обратного преобразования электрич. сигнала в угловое положение приемной оси различают индукционную, параметрическую, электродинамическую, импульсную С. с. с. По характеру изменения электрич. сигнала, возникающего в С. с. с., системы делятся на многообходные и немногообходные (с ограничен. диапазоном слодования). В зависимости от схемы соединения отдельных элементов С. с. с. можно разделить на токовые, мостовые и компенсационные. Отсутствие в С. с. с. усилителей электрич. сигнала рассогласования и исполнит. механизма, устраняющего рассогласование, позволяет достигнуть надежности и простоты С. с. с., но вместе с тем и значительно сужает область их применения. Практически С. с. с. можно применять лишь в устройствах, имеющих незначит. момент на приемной оси. Наиболее типично применение С. с. с. в приборах дистанц. контроля и измерения.

Лит.: Васильев Д. В., Индукционные системы синхронной связи, Л.—М., 1949; Свечарник Д. В., Дистанционные передачи, М.—Л., 1959; Жданов Г. М., Телеизмерение, ч. 1, М.—Л., 1952. *Д. В. Свечарник.*

СИНХРОННОЙ СВЯЗИ СИСТЕМА ИНДУКТИВНАЯ (synchronous communication inductive system; système de liaison synchrone inductive; induktives System der Synchronverbindung). Применяются для дистанц. передачи значительных (порядка 30 *мм*) линейных перемещений, в частности перемещений поплавковых дифференц. манометров, измеряющих расход, разность давлений, уровень и т. п. Примером такой системы может служить схема индуктивного моста (рис.). При перемещении плунжера датчика изменяется значение индуктивности обмоток x_1 и x_2, и в системе возникает перераспределение токов; усилие, воздействующее при этом на плунжер приемника, приводит его в положение, соответствующее положению плунжера датчика, при к-ром устанавливается равновесие моста $x_1/x_2=x_3/x_4$. Дистанционность передачи показаний с помощью выпускаемых пром-стью индуктивных мостов ограничена сопротивлением линии связи порядка 3—4 *ом*. От чувствит. элемента, сочлененного с датчиком индуктивного моста, требуется значительное переста-новочное усилие. К С. с. с. и. можно также отнести и сельсинную индикаторную схему и схему магнесинную (см. также *Дистанционная передача с амплитудной модуляцией сигнала* и *Сельсин*). *Д. В. Свечарник.*

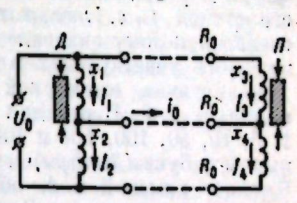
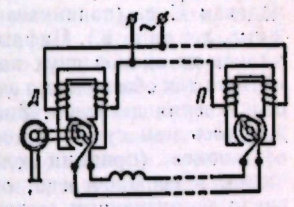


Схема индуктивного моста: *Д* — датчик; *П* — приемник; R_0 — сопротивление линий связи; i_0 — ток небаланса.

СИНХРОННОЙ СВЯЗИ СИСТЕМА ФЕРРОДИНАМИЧЕСКАЯ (synchronous communication electrodynamic system; système de liaison synchrone electro-dynamique; elektrodynamisches System der Synchronverbindung). Осн. элемент системы — ферродинамич. преобразователь, представляющий собой датчик взаимной индуктивности. Принципиальная схема С. с. с. ф. дана на рис. В поле, создаваемом обмоткой возбуждения, расположенной на магнитопроводе, размещена подвижная обмотка. Эдс, наводимая в этой обмотке, зависит от угла между направлением потока в зазоре и осью катушки. Подвижные обмотки задающего и приемного ферродинамич. преобразователей включены встречно. При рассогласованном положении этих обмоток наводимые в них эдс не равны, и в цепи обмоток потечет ток разбаланса. Он вызывает на задающей и приемной осях моменты, стремящиеся повернуть оси в сторону достижения согласования. Ферродинамич. преобразователь имеет небольшие воздушные зазоры на пути магнитного потока, что позволяет сделать систему малогабаритной и экономичной. Недостаток системы — невозможность передачи перемещений из замкнутого объема; для устранения этого в качестве датчика применяют дифференц. тр-р. *Д. В. Свечарник.*



Электродинамич. система синхронной связи: *Д* — датчик, *П* — приемник.

СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (number system; système de calcul; Rechensystem) — совокупность приемов обозначения (записи) чисел. Наиболее совершенными являются *позиционные системы счисления*. Эти С. с. — результат длительного истор. развития, начавшегося, по-видимому, с возникновения т. н. единичной С. с., в к-рой для записи чисел применялся только один вид знаков — «палочка». Каждое число в такой С. с. обозначалось с помощью строки, составленной из палочек, количество к-рых равнялось обозначаемому числу. Более совершенна египетская С. с. (возникла за 2,5—3 тыс. лет до н.э.), к-рая была десятичной непозиционной. Для обозначения чисел 1, 10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6, 10^7 в этой С. с. были приняты спец. знаки (цифры). Числа,

представимые в египетской С. с., записывались как комбинации этих цифр, в к-рых каждая цифра повторялась не более 9 раз. В основе египетской С. с. лежал принцип сложения, согласно к-рому значение числа равно сумме значений участвующих в записи цифр.

Аналогична египетской римская (непозиционная) С. с. В ней для обозначения чисел 1, 5, 10, 50, 100, 500 и 1000 приняты заглавные лат. буквы (цифры) I, V, X, L, C, D и M. Число в римской С. с. обозначается набором стоящих подряд цифр. Значение числа равно: 1) сумме значений цифр, если они одинаковы; 2) разности значений цифр, если слева от большей цифры стоит меньшая (от значения большей отнимается значение меньшей); 3) сумме значений групп цифр, если справа от группы цифр, обозначающей большее число, стоит группа цифр, обозначающая меньшее число. Напр., запись MCMLXIV означает M+(M−C)+L+X+(V−1)=1964. Еще более совершенны алфавитные С. с., в к-рых числа от 1 до 9, целые количества десятков (от 10 до 90) и целые количества сотен (от 100 до 900) обозначались последоват. буквами алфавита. К числу таких С. с. относились ионийская (греческая), славянская и др.

Первая известная нам С. с., основанная на позиц. принципе,— шестидесятеричная вавилонская С. с. (появилась приблизительно за 2 тыс. лет до н. э.). Цифры в этой С. с. составлялись из знаков двух видов, один из к-рых служил для обозначения единиц, другой — для обозначения десятков. Значение цифры определялось как сумма значений составляющих ее знаков (принцип сложения). Значение числа, в свою очередь, определялось аналогично по значениям составляющих его цифр, но с учетом того, что цифры в каждом последующем разряде были в 60 раз больше той же цифры в предыдущем разряде. Запись чисел была неоднозначной, т. к. не существовало цифры для обозначения нуля. Следы вавилонской С. с. сохранились до сих пор в способах измерения и записи величин углов и времени.

Совр. десятичная позиц. С. с. возникла приблизительно в 5 в. н. э. в Индии. Позиц. С. с., а также единичная С. с. позволяют записывать в принципе любые числа, что не имеет места в др. вышеописанных С. с. В наст. время в связи с развитием электронной вычислит. техники приобрели большое практич. значение позиц. С. с. с основаниями, отличными от 10. (См. *Восьмеричная система счисления*, *Двоичная система счисления*, *Девятиричная система счисления*, *Троичная система счисления*, *Шестнадцатиричная система счисления*).

Нек-рые попытки улучшения работы АУ ЭЦМ связаны с разработкой С. с., основывающихся на совершенно новых принципах. Пример одной из таких С. с. — **система счисления остатками**, к-рую следует считать позиционной, т. к. значения ее цифр зависят от их мест в последовательности, обозначающей число. Пусть $p_1, p_2, \ldots, p_l, \ldots, p_k$ — последовательные простые числа (т. е. $p_1=2$, $p_2=3$, $p_3=5$, $p_4=7$, $p_5=11$, ...). Тогда целое число N, удовлетворяющее условию

$$\prod_{i=1}^{k-1} p_i < N < \prod_{i=1}^{k} p_i,$$

записывается в С. с. остатками в виде последовательности цифр $a_k, a_{k-1}, \ldots, a_2, a_1$, где $a_l = N \bmod p_l$ (т. е. a_l — остаток при делении числа N на число p_l), а числа $N=0$ и $N=1$ записываются как одноразрядные (т. е. одной цифрой a_1). Для С. с. остатками характерно, что цифра в l-том разряде может быть любой из количества цифр, равного p_l (напр., в третьем разряде может стоять одна из цифр 0, 1, 2, 3, 4, к-рые представляют собой остатки от деления числа N на $p_3=5$). Т. о., С. с. остатками для обеспечения возможности записи произвольных целых чисел потребовала бы бесконечного количества цифр. Их можно получить указанием закона конструирования этих цифр. Напр., можно условиться цифру С. с. остатками изображать в виде десятичного числа, к-рое, если оно состоит более чем из одной десятичной цифры, заключено в круглые скобки. Напр., при $k=5$ число 1385 (удовлетворяющее неравенству $2\times3\times5\times7 \leqslant 1385 < 2\times3\times5\times7\times11$) будет иметь запись остатками (10)0021. Перевод числа $a_k, a_{k-1}, \ldots, a_2, a_1$ из его записи остатками в обычную десятичную систему счисления может быть произведен с помощью след. алгоритма: 1) положить $i=1$, $\nu_1=a_1$, $\mu_1=2$. Перейти к пункту 2; 2) найти первое натуральное число u (путем последовательных подстановок $u=1, 2, \ldots$), обращающее выражение

$$\frac{\mu_i u + \nu_i - a_{i+1}}{p_{i+1}}$$

в целое число. Перейти к пункту 3; 3) положить

$$\nu_{i+1} = \mu_i u + \nu_i$$
$$\mu_{i+1} = \mu_i p_{i+1}.$$

Перейти к пункту 4; 4) проверить, имеет ли место равенство $i+1=k$. Если да, принять $N=\nu_{i+1}$ и прекратить процесс. Если нет, перейти к пункту 5; 5) увеличить значение i на единицу и перейти к пункту 2.

С. с. остатками была разработана в целях повышения быстродействия работы АУ за счет того, что операции сложения, вычитания и умножения в этой С. с. выполняются как поразрядные операции.

Лит.: Карцев М. А., Арифметические устройства электронных цифровых машин, М., 1958; Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; Выгодский М. Я., Арифметика и алгебра в древнем мире, М.—Л., 1941. *Н. А. Криницкий*

СИСТЕМА «ЧЕЛОВЕК И АВТОМАТ» («man-machine» system; système «homme-automate»; System «Mensch-Automat») — сложная управляющая система, в к-рой человек широко использует автоматич. управляющие устройства и, работая совместно с ними, выполняет функции управления; совокупность людей и автоматов, перерабатывающих информацию, предназначенную для управления процессами.

В большинстве случаев С. «ч. и а.» представляет собой комплексное управляющее звено более общей системы «человек и машина», включающей также устройства для переработки материи и энергии. Бывают, однако, случаи, когда С. «ч. и а.» является «автономной» и обеспечивает симбиоз, т. е. непосредственное взаимодействие вычислит. машины и человека в процессе творчества (напр., при сочинении музыкальных произведений) или при решении познавательных задач. В этом случае энергетич. сторона связи человека и информац. машины, включающая затраты энергии при вводе информации в машину, на повороты управляющих рычагов, нажатие кнопок и т. п., играет подчиненную роль и может не учитываться при анализе информац. значения всей системы в целом.

С. «ч. и а.» — киберн. система, изучение к-рой как единого функционального целого может и должно осуществляться при помощи методов, используемых для изучения любых киберн. систем. Но, несмотря на совместное выполнение ф-ций управления человеком и автоматич. устройством, каждая из двух основных составляющих С. «ч. и а.» подчиняется в своей работе собственным, свойственным ей принципам и закономерностям, причем эффективность поведения системы в целом определяется тем, в какой мере при ее создании были выявлены и учтены специфич. особенности — ограничения и функциональные возможности — как человеч., так и автоматич. звеньев. Наибольший интерес и основную трудность при изучении С. «ч. и а.» представляет, естественно, человек — как вследствие того особого места, к-рое ему принадлежит в системе как субъекту труда, так и вследствие своей чрезвычайной сложности и восприимчивости к посторонним возмущениям, не имеющим отношения к управляемым процессам, а также относительно меньшей доступности исследованию при помощи точных количественных методов, к-рое бы сделало его деятельность в системе достаточно сопоставимой с работой автоматич. устройств.

Специфич. особенности человека, как потребителя результатов функционирования системы, для к-рого эта система и создается, проявляются в установлении цели и назначения системы, а также во введении ряда ограничений, связанных с необходимостью создания здоровых и приятных условий для его деятельности.

Имея в виду исключительную роль человека как субъекта труда и многоплановый характер его при управлении, с одной стороны, как элемента системы и, с другой — как потребителя результатов функционирования последней, при изучении С. «ч. и а.» приходится абстрагироваться от способов выработки целей управления и рассматривать человека только как звено нек-рой сложной автоматич. (киберн.) системы.

Стройной классификации С. «ч. и а.» еще не существует; при ее создании целесообразно учесть: назначение системы; место и роль человека в системе; характер обмена информацией между человеком и автоматич. устройствами. По назначению можно, по-видимому, выделить след. типы С. «ч. и а.»: 1) Системы, являющиеся частью системы «человек и машина» и управляющие внешними источниками энергии, приводящими в действие машины — орудия. 2) Системы, входящие в состав более сложных управляющих комплексов и выполняющие в таком комплексе относительно автономные ф-ции. 3) Автономные системы, перерабатывающие информацию, используемую человеком или др. системами по мере возникновения в ней надобности (человек — вычислит. машина, человек — машина для хранения информации, машинные системы инвентаризации, каталогизации и учета). 4) Сложные управляющие вычислит. комплексы, собирающие и преобразующие очень большие и разнообразные по характеру массивы информации. Такие комплексы, как правило, состоят из большого числа разнообразных автоматич. устройств, связанных друг с другом с помощью людей и линий передачи информации. Наличие связей приводит к тому, что функционирование каждого устройства или каждого человека, входящего в комплекс, оказывает влияние как на работу др. элементов, так и на значение критерия качества работы комплекса в целом.

По месту и роли человека в С. «ч. и а.» можно выделить следующие классы систем: 1) Системы, в к-рых человек, осуществляя ф-ции управления, является в то же время исполнит. элементом и источником энергии, непосредственно воздействующим на машину. Машина при этом может служить как для управления, так и для выполнения к.-л. рабочих ф-ций. Примером является рулевой, вручную управляющий плывущим судном, или водитель автомобиля. 2) Системы, в к-рых человек управляет внешними источниками энергии, добиваясь оптимального функционирования этих систем. Здесь человек выполняет ф-ции одного или неск. звеньев в образовавшейся системе автоматизированного управления (системе с замкнутым циклом воздействия). Существенным в таких системах является характер зависимости результирующего воздействия источника энергии от величины управляющего воздействия человека (угла поворота маховика или перемещения рычага и т. п.). Критич. хар-кой человека здесь обычно является скорость его реакции на изменение обстановки. 3) Системы, автоматически выполняющие ф-ции управления в соответствии с нек-рым, заранее заданным законом функционирования (алгоритмом). Человеку здесь отводится роль адаптивного звена, наблюдающего за ходом управления и вводящего корректирующие воздействия для смены или корректировки закона функционирования основного УУ. В этом случае человек вместе с системой автоматич. управления, на к-рую он воздействует, образует *самонастраивающуюся систему*. Подобные системы могут иметь, как известно, неск. уровней адаптации и на долю человека обычно приходится один или неск. наиболее высоких уровней. 4) Усложнение предыдущей — система, в к-рой человек не имеет возможности вмешиваться в ее нормальное функционирование в процессе управления, а наблюдает за ее функционированием и принимает решения в тех случаях, когда сама система выдает информацию о наличии непредвиденной ситуации и о невозможности управления. 5) Системы, в к-рых человек, кроме выполнения ф-ций наблюдения за поведением автоматич. части, вводит в нее дополнит. информацию или участвует в процессе обмена информацией между неск. автоматич. системами или между автоматич. системами и др. людьми. 6) Системы, в к-рых человек осуществляет настройку и обучение автомата до начала его функционирования. Возможно, конечно, и большое число комбинаций, в к-рых человек выполняет одновременно нек-рые из перечисленных функций.

Основной ф-цией человека при работе с совр. автоматич. и вычислит. устройствами является обмен информацией с этими устройствами; поэтому можно классифицировать С. «ч. и а.» в зависимости от характера такого обмена. Анализ возможных видов обмена информацией между человеком и автоматом — проблема,

еще требующая решения. Примерами являются: 1) Использование автоматич. устройств в качестве «консультанта», советчика. Человек задает вопросы — машина отвечает. Разновидность этого случая — использование ЦВМ для решения математич. и логич. задач по программам, составленным человеком; ф-ции управления реализует человек. 2) Человек наблюдает за поведением управляющего автоматич. устройства, отвечает на «вопросы» последнего и, в случае надобности, «по просьбе» автомата вмешивается, помогая осуществлять управление или пытаясь заменить автоматич. устройство.

Одной из центральных проблем, выделяющих С. «ч. и а.» из общего класса кибернетич. систем, является проблема оптимального распределения функций между человеком и автоматич. устройствами в рамках единой управляющей системы. Проблему рационального распределения ф-ций между человеком и автоматом при создании систем управления можно будет считать принципиально разрешенной тогда и только тогда, когда мы будем располагать оценкой (критерием качества), позволяющей в каждом конкретном случае выбрать оптимальный вариант такого распределения ф-ций, к-рое удовлетворяет наложенным на систему ограничениям и соответствует наивыгоднейшим значениям нек-рой оценки. Т. к. при распределении ф-ций между человеком и автоматом приходится считаться с рядом факторов различной значимости, необходимо осуществлять выбор по одной комплексной оценке, учитывающей оценки по отдельным факторам и их относит. значимость. Такой общей оценкой могло бы быть выражение вида

$$I = f(I_1, I_2, \ldots, I_n) \approx \sum_{i=1}^{n} a_i I_i,$$

где I_1, I_2, ..., I_n — оценки по отдельным показателям; a_1, a_2, ..., a_n — коэфф. (веса), характеризующие относит. значимость частных оценок для выбора оптимального распределения ф-ций. В число этих частных оценок должны, по-видимому, входить: эффективность управления; надежность управления; стоимость аппаратуры; расходы на управление; утомляемость оператора; степень удовлетворенности оператора работой.

Решение задачи оптимального распределения ф-ций требует детального целенаправленного изучения св-в и особенностей «человеческой» и автоматич. частей системы. Было бы неправильным исходить из крайних положений, гласящих, что автоматич. устройства всегда и всюду должны заменять человека или, в противоположность этому, утверждающих, что «чисто человеческие» ф-ции мышления и принятия решений никогда и ни при каких условиях нельзя передавать машине. На самом деле и та и другая «части» управляющей системы обладают своими преимуществами и недостатками и способны взаимно дополнять друг друга. Человек, напр., пока способен лучше машины решать требующие гибкости недостаточно формализованные задачи, в к-рых трудно заранее предугадать общий ход процесса, он лучше приспособлен для распознавания сложных образов и принятия не оптимальных, но приближающихся к ним решений. Человек — универсальная, весьма экономичная система, способная приспосабливаться к изменяющейся в широких пределах обстановке и решать разнообразные, относительно редко повторяющиеся задачи; он обладает способностью успешно воспринимать и перерабатывать информацию, поступающую одновременно по различным параллельным каналам.

С др. стороны, человек, как элемент автоматизированной управляющей системы, обладает и рядом существенных недостатков, заставляющих в большом числе случаев стремиться к его замене автоматич. устройствами: небольшая скорость восприятия и переработки информации, малая пропускная способность, ограниченная скорость реакции, низкая помехоустойчивость, небольшая надежность при выполнении однообразных операций, большая зависимость функционирования от внешних условий и от внутр. физиологич. и психич. состояний, неспособность к устойчивой продолжит. работе (утомляемость) и др. В нек-рых системах выполнение человеком управляющих ф-ций может быть связано с опасностью для его здоровья или жизни. В этом случае полная замена человека автоматич. устройствами необходима даже при экономич. нецелесообразности и большом усложнении всей системы.

Автоматич. устройства, уступая человеку в гибкости и широте возможностей, превосходят его при выполнении стандартных операций в быстроте, производительности, надежности и др. Возможности автоматич. устройств по воспроизведению управляющих св-в, присущих человеку, непрерывно растут и совершенствуются и принципиально нельзя указать границу этого развития.

Говоря о проблеме распределения ф-ций в С. «ч. и а.», необходимо иметь в виду исторически сложившуюся «уродливость» большого числа уже существующих автоматич. устройств и систем, не приспособленных должным образом к возможностям и особенностям человека. Задача поэтому состоит также в изыскании способов и средств согласования уже существующих автоматич. устройств с возможностями человека при создании сложных управляющих комплексов.

Развитие и внедрение автоматич. и вычислит. устройств в системы управления открывает принципиально новое направление, еще почти не исследованное. Внедрение автоматич. средств не исключает человека из сферы управления, а позволяет заблаговременно анализировать возможные ситуации и заблаговременно принимать решения, быстро и надежно реализуемые автоматич. системами в нужный момент времени. Такое разделение во времени момента принятия решения и момента его реализации — одно из важнейших следствий внедрения средств автоматизации в сферу управления, позволяющее не только заранее принять решение, но также заранее промоделировать возможные последствия его реализации. Здесь реализуется способность технич. систем накапливать большие объемы информации и затем концентрированно использовать накопленные сведения в течение относительно небольшого времени. Исследования в этом направлении также должны оказать существенное влияние на характер распределения ф-ций между человеком и автоматом.

Решение сформулированных выше проблем синтеза управляющих систем, с участием человека, требует знания св-в и особенностей человека, как элемента С. «ч. и а.», его хар-к и ограничений. Сюда относятся объективная классификация функцион. возможностей человека в различных условиях его взаимодействия с машиной и объективный анализ качества их реализации. К этому же кругу примыкают задачи объективного изучения информац. и механич. хар-к человека, в зависимости от длительности работы, физиологич. и психич. состояния и др. факторов. Здесь важно изучение пропускной способности человека, свойств и хар-к памяти, возможностей рецепторов и анализаторов, их хар-к при одноврем. использовании неск. органов чувств.

Большое значение имеет также объективное изучение функциональных состояний человека, его способности выполнять возложенные на него задачи при работе в сложной кибернетич. системе, его напряженности, утомления. Автоматич. фиксация функционального состояния человека особенно важна в тех случаях, когда предварит. замена оператора возможна, а ошибки, уже допущенные им, ведут к необратимым изменениям в системе (напр., необходимость замены летчика или космонавта автоматом на время сильных перегрузок, способных привести к непродолжит. потере сознания). Известно также, что нервные перенапряжения, связанные с ответственностью, важностью задачи или внешними условиями работы, влияя на функциональное состояние человека, часто приводят к ошибкам при субъективной оценке им своего состояния. С исследованием функциональных состояний связано также изучение способов искусственного и целенаправленного воздействия на них (в т. ч. и на психофизиологич. состояние) как в процессе функционирования, так и во время обучения и тренировки. Детального исследования требуют также особенности аппарата принятия решений, механизмы оперативного мышления и хар-ки тренируемости и обучаемости работе в системе.

При изучении св-в автоматич. части С. «ч. и а.» может быть выделено два направления. 1) Создание спец. автоматич. систем для работы совместно с человеком, учитывающих его особенности. Такие системы должны, видимо, освободить человека от выполнения малоэффективных стандартных последовательностей логич. или вычислит. операций. Сюда относятся также изыскание оптимальных форм связи человека и машины, изучение возможностей параллельного воздействия на различные рецепторы человека, использование, кроме широко распространенных зрительных и слуховых, также и кинестетических, тактильных, вкусовых и др. рецепторов человека. Весьма интересны возможности непосредственных информационных воздействий на мозг человека. 2) Приспособление существующих автоматич. и вычислит. устройств для работы в системе с участием человека, при обеспечении наиболее простой и надежной информац. связи между машиной и человеком. Путями для достижения этой цели могут быть: а) разработка спец. алгоритмов, осуществляющих переработку информации, к-рые выдают человеку результаты в форме, наиболее удобной для непосредственного восприятия и использования при принятии решений; б) создание спец. переходных, согласующих устройств, обеспечивающих удобную связь человека с машиной (табло, панели управления); в) разработка и создание переходных устройств и спец. алгоритмов, позволяющих вводить в машину и получать из нее информацию в форме, наиболее удобной и привычной для человека (создание читающих устройств, систем распознавания образов, устройств, воспринимающих человеч. речь, включение в систему печатающих устройств, устройств синтетич. речи и др.).

Работы в области *распознавания образов* позволяют осуществить связь проблемы «человек и автомат» с развивающимся сейчас бионическим направлением в кибернетике (см. *Бионика*). С др. стороны, распознающие устройства могут не только осуществлять удобную информац. связь с человеком, но, выполняя ф-ции распознавания, позволяют автоматизировать большое число управляющих процессов, исключить из них человека, возложив на него лишь ф-ции наблюдения и контроля.

Основная методологич. трудность исследований по С. «ч. и а.» в необходимости целеустремленного проведения исследований в различных областях науки (психология, физиология и морфология, технич. науки и кибернетика), обладающих различными аппаратами, средствами исследований и отличающихся терминологией. При моделировании С. «ч. и а.» разнообразие задач, решаемых системами, и условий, в к-рых они должны работать, приводит к чрезвычайно сильному распылению сил и средств, если не создавать единой методики модельного эксперимента и не разрабатывать типовых, базовых конструкций моделирующей аппаратуры. Важной является проблема отбора, обучения и тренировки людей для работы в С. «ч. и а.». Сюда входит как разработка соответствующих методик отбора и испытания способностей и пригодности кандидатов для тех или иных ф-ций, так и создание спец. аппаратуры для обучения и тренировки (тренажеры, стенды, модели — заменители натурных испытаний и т. д.). Для решения этой задачи необходимо также проведение широких исследований по изучению процессов обучения у человека, по моделированию этих процессов и по созданию обучающихся моделей, программ и устройств.

Лит. см. в кн.: Ломов Б. Ф., Человек и техника, Л., 1963.

М. Г. Гаазе-Рапопорт, А. Я. Летов, Д. А. Ошанин.

СКАНИРОВАНИЕ (scanning; exploration, balayage; Abtastung, Bildfeldzerlegung) — непрерывное упорядоченное поэлементное просматривание пространства, объекта. С. в радиоэлектронике — анализирование пространственной картины электронным лучом. С. в радиолокации — перемещение по к.-л. закойу луча диаграммы направленности антенны радиолокац. станции в заданном секторе пространства для поиска цели или для создания равносигнальной зоны при сопровождении обнаруженной цели. Напр., при поиске цели узкий луч радиолокац. станции должен последовательно пройти все точки пространства в заданном секторе, как по азимуту, так и по углу места. Диаграмма направленности антенны радиолокац. станции, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, имеет небольшой угол раскрыва (порядка неск. градусов). Последовательный обзор пространства осуществляется по одному из законов двумерной *развертки* — спиральному или строчному.

Лит.: Сайбель А. Г., Основы радиолокации, М., 1961.

Р. В. Фельдман.

СКАЧКООБРАЗНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ [step disturbance; perturbation par échelons (saut); sprungförmige Störung] — см. *Ступенчатое воздействие.*

СКВАЖНОСТЬ (pulse relative duration, duty ratio; espacement d'impulsions; Impulsverhältnis) — хар-ка периодич. импульсной последовательности, показывающая, во сколько раз период следования импульсов больше длительности самого импульса, т. е. $S=\frac{T}{\tau}$, где T — длительность периода, τ — длительность импульса. С. показывает, во сколько раз мощность в импульсе больше средней мощности, и, т. о., косвенно характеризует энергетич. загрузку импульсных генераторов. Это особенно существенно для мощных импульсных электровакуумных приборов, для к-рых, помимо ограничений по средней отдаваемой мощности, существуют ограничения по С. ввиду ограниченной величины эмиссии катода.

В. И. Шебанов.

СКЕПТРОН (с ц е п т р о н) (sceptron; sceptron; Skeptron) — устройство для распознавания звуковых сигналов, основанное на использовании *оптики волоконной* (см. *Распознавание звуков речи*). Назв. (sceptron) образовано начальными буквами полного англ. назв. Spectral Comparative Pattern Recognizer — спектральное компарирующее устройство для распознавания символов.

Ячейка с площадью 6×6 *мм*², состоящая из большого числа (~1000) оптич. волокон, каждое длиной ~ 2 *см*, освещается источником света так, что лучи проникают в волокна через закрепл. торцы. Противоположные концы волокон не закреплены и потому могут колебаться при внешнем воздействии. Принятый микрофоном звуковой сигнал с помощью электромеханич. преобразователя превращается в механич. колебания, под действием к-рых незакрепл. конец каждого волокна начинает вибрировать; амплитуда вибрации определяется упругими св-вами волокон, и т.к. они различны у разных волокон, то последние при данном механич. воздействии возбуждаются в разной степени. В соответствии с этим изменяется распределение светового потока, выходящего из волокон. Зная, каково будет его распределение в результате данного звукового сигнала, можно на пути лучей, выходящих из волокон, установить маску (напр., фотографическую), имеющую соответствующий узор; тогда фотоэлемент, находящийся за маской, сможет регистрировать тот момент, когда приемным устройством будет воспринят данный звуковой сигнал. На каждый несложный звуковой сигнал (напр., произнесенное слово) можно подобрать свою ячейку, снабженную соответствующей маской и фотоэлементом. Подключая фотоэлементы на вход схемы выбора решения, удается осуществить классификацию поступающего звукового сигнала. Существующие С. позволяют воспринимать информацию в диапазоне от 100 *гц* до 20 *кгц*. Они могут использоваться для устного управления машинами, для акустич. локации, акустич. контроля и т. п.

Лит.: «Электроника» (рус. пер.), 1962, т. 35, № 43.

М. М. Горшков.

СКИН-ЭФФЕКТ (skin-effect, surface effect, Kelvin effect; effet de peau, effet pelliculaire; Skin-Effekt) — см. *Поверхностный эффект.*

СКЛЕИВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ [high frequency glueing; soudage (collage) à haute fréquence; Hochfrequenzklebung, Hochfrequenzverleimung] — ускорение процесса склеивания неметаллич. материалов синтетич. (фенольными, карбамидными, резорциновыми и др.) клеями путем нагрева клеевого шва в электрич. поле ВЧ (см. *Диэлектрический нагрев*). Применяется для склеивания древесины, пенопластов, стеклопластиков и др. материалов в мебельной и строительной пром-сти. Склеиваемые детали, прижатые должным образом друг к другу поверхностями, на к-рые нанесен клей, помещаются в электрическое поле ВЧ. При этом происходит нагрев клеевого шва (до темп-ры 80—150°), вызывающий резкое ускорение процесса полимеризации клея. Время склеивания зависит от св-в клея, температуры и скорости нагрева клеевого шва. Наименьшее время склеивания составляет: для фенольных клеев 30—120 сек., для резорциновых клеев 30—60 сек., для карбамидных клеев 5—15 сек. Коэфф. потерь ε'' клеевого шва обычно в десятки и сотни раз больше коэфф. потерь склеиваемых материалов, поэтому клеевой шов нагревается сильнее (селективный нагрев). Селективность нагрева выражается наиболее сильно, когда электроды рабочего конденсатора прилегают к склеиваемым деталям и расположены так, что электрич. поле направлено вдоль плоскости клеевого шва (рис. 1, *а*). Наличие воздушного зазора между электродами и склеиваемыми деталями (рис. 1, *б*) приводит к некоторому снижению селективности нагрева. При расположении электрич. поля перпендикулярно плоскости клеевого шва (рис. 1, *в*) селективность нагрева резко падает. Наличие воздушного зазора в этом случае приводит лишь к снижению напряженности электрич. поля и на селективность нагрева не влияет. Изменение величины воздушного зазора приводит к изменению напряженности электрич. поля, что дает возможность регулировать интенсивность нагрева. Приближенный расчет уд. мощности в клеевом шве, необходимой для его нагрева, производится на основании ур-ния теплопроводности по ф-ле: $P_s=7{,}4\sqrt{c\gamma\lambda/t}\,\Delta\vartheta$ [*вт/см*²], где c — уд. теплоемкость материала (*кал/г·град*), γ — удельный вес материала (*г/см*³), λ — коэфф. теплопроводности (*кал/см·сек·град*), t — время нагрева (сек.), $\Delta\vartheta$ — темп-ра нагрева (°С). При ВЧ склеивании вблизи клеевой прослойки образуется зона клеевого шва (рис. 2), толщина к-рой равна $\Delta_k=1{,}77\sqrt{\lambda t/\gamma c}$ [*см*]. С. в. производят в прессах или ваймах, снабженных ВЧ генераторами (см. *Генераторы для диэлектрического нагрева*). Мощность генераторов для С. в. обычно 1—60 *квт* в зависимости от размеров склеиваемых изделий; частота генераторов — обычно 3—20 *Мгц*; напряженность электрич. поля в клеевом шве 0,3—1 *кв/см*. На рис. 3 показаны нек-рые характерные схемы склеивания. В случае, приведенном на рис. 3, нагрев клеевого шва происходит в поле рассеивания, к-рое направлено как вдоль, так и поперек клеевого шва. Применение ВЧ нагрева дает возможность склеивать изделия в процессе движения (рис. 4). Установки для С. в. должным образом экранируются для снижения излучаемых ими радиопомех и защиты обслуживающего персонала от вредного воздействия ВЧ поля.

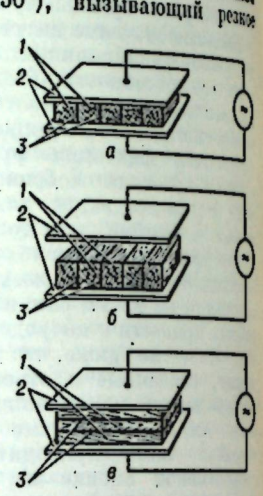


Рис. 1. Склеивание: *а*, *б* — в продольном электрич. поле; *в* — в поперечном электрич. поле; *1* — склеиваемые элементы; *2* — электроды; *3* — клеевые швы.

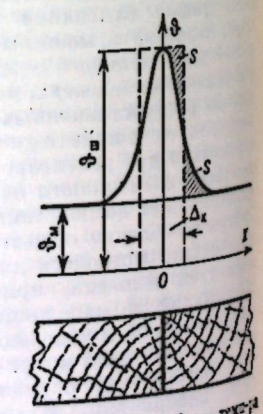


Рис. 2. Распределение темп-ры в склеиваемом изделии и толщина зоны клеевого шва: $\vartheta_{ш}$ — темп-ра клеевого шва; $\vartheta_м$ — темп-ра склеиваемого материала; Δ_k — толщина зоны клеевого шва.

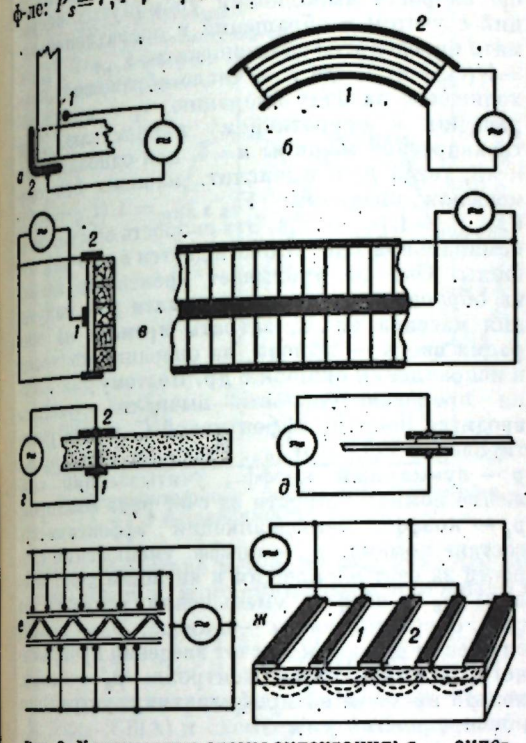


Рис. 3. Характерные схемы склеивания: *а* — склеивание углового элемента; *б* — склеивание гнутого элемента; *в* — приклеивание паркетной дощечки к щитовой основе; *г* — склеивание заготовок пенопластов; *д* — склеивание листов стеклопластика; *е* — склеивание трехслойной панели из стеклопластика; *ж* — приклеивание настила к основе (пунктиром схематически показаны силовые линии электрич. поля); *1* — низкопотенциальный электрод; *2* — высокопотенциальный электрод.

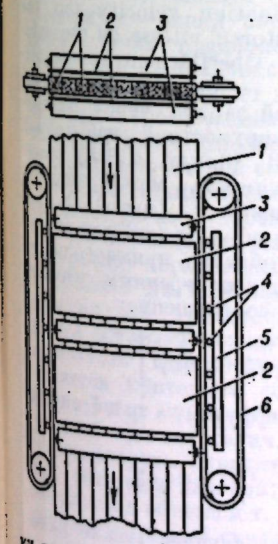
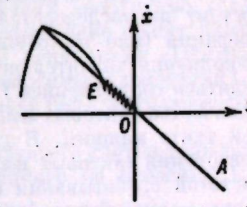


Рис. 4. Склеивание на конвейере реек в щит: *1* — щит; *2* — электроды; *3* — рамного прижима; *4* — ролики горизонтального прижима; *5* — прижимной брус; *6* — лента транспортера.

Лит.: К о в а л ь ч у к Л. М., Склеивание древесины в поле токов высокой частоты, М.—Л., 1960; е г о ж е, Склеивание деревянных строительных изделий в поле токов высокой частоты, М., 1962; Ускоренные способы склеивания древесины. [Сб. ст.], М.—Л., 1960; Клееные деревянные конструкции и технология их изготовления. [Сб. ст.], под ред. А. Б. Губенко, М., 1962; П а у н д Д ж., Практическое руководство по высокочастотному нагреву при склейке изделий из древесины, [пер. с англ., М.], 1959; Указания по высокочастотному склеиванию деревянных конструкций и деталей, М., 1960; Н е т у ш и л А. В. [и д р.], Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1959.

Е. П. Паршин.

СКОЛЬЗЯЩИЙ РЕЖИМ (sliding regime; régime pulsatoire; gleitender Betrieb) — специфич. движение в нелинейной (релейной) системе, с разрывной хар-кой нелинейного звена, при к-ром входная величина реле проходит одно и то же (пороговое) значение, а выходная величина представляет собой последовательность импульсов ВЧ. При С. р. изображающая точка в фазовом пространстве совершает колебат. движение относительно нек-рой гиперповерхности, наз. поверхностью скольжения, с ВЧ и малой амплитудой отклонения от поверхности. Условие существования С. р. формулируется так: С. р. существует в той части поверхности скольжения, описываемой ур-нием $g(x_1, x_2, \ldots, x_n)=0$ [$(x-n)$-мерный вектор координат], где при любом малом отклонении точки от гиперповерхности вектор скорости направлен к ней, т. е. $g\frac{dg}{dt}<0$.



Изображающая точка непрерывно «протыкает» поверхность скольжения и каждый раз переключается реле. В С. р. движение изображающей точки полностью определяется ур-нием поверхности скольжения и не зависит от параметров системы и возмущающих сил. Но область существования С. р. существенно зависит от последних. С. р. выгодно использовать в релейных САР.

Если $g(x_1, \ldots, x_n)$ — линейная форма, то движение нелинейной системы совпадает с движением линейной САР. На рис. приведен фазовый портрет релейной системы второго порядка в скользящем режиме, где x — ошибка системы, $\dot{x}$ — производная ошибки. Управление изменяется скачком при пересечении изображающей точкой прямой A с ур-нием $g(x, \dot{x})=x+k\dot{x}=0$. На участке EO прямой A, где выполняется условие $g\frac{dg}{dt}<0$, существует С. р. В остальных точках прямой A его нет.

Лит.: Н е й м а р к Ю. И., О скользящем режиме и периодических движениях релейной системы, в кн.: Тр. Горьковск. исслед. физ.-техн. ин-та и рад.-физич. фак. ГГУ. Ученые записки. Сер. физич., 1956, т. 30;

Долголенко Ю. В., Скользящие режимы в релейных системах непрямого регулирования, в кн.: Труды Второго Всес. совещания по теории автоматического регулирования, т. 1, М.—Л., 1955. *В. А. Таран.*

СКОРОСТНОЙ КОЭФФИЦИЕНТ гидравлических и исполнительных механизмов (velocity factor; coefficient de vitesse; Geschwindigkeitskoeffizient) — величина, определяющая уменьшение скорости их хода при преодолении внешних сил. С. к. равен отношению выходной скорости к скорости холостого хода $K_c = \frac{v_{\text{и макс}}}{v_{\text{хх макс}}}$. Для исполнит. механизмов объемного управления С. к. обычно близок к единице из-за достаточной жесткости их внешней хар-ки. С. к. исполнит. механизмов дроссельного управления является ф-цией коэффициента запаса по нагрузке и рассчитывается по ф-ле $K_c = \sqrt{1 - \frac{1}{K_{\text{зи}}}}$.

С. к. может быть значительно увеличен за счет применения обратных связей. *В. А. Хохлов.*

СКОРОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ (performing operations speed; vitesse d'exécution des opérations; Operationsgeschwindigkeit) — количество операций, выполняемых ЦВМ в единицу времени. С. в. о. или быстродействие ЦВМ может быть определено из соотношения $V \leqslant 1/T_{\text{раб}}$, где $T_{\text{раб}}$ — ср. длительность рабочего такта, или время выполнения одной операции с учетом времени обращения к оперативной памяти. Поскольку каждая арифметич. и логич. операция (или макрооперация) состоит из последовательности элементарных операций (или микроопераций), скорость их выполнения значительно выше и будет определяться соотношением $V_{\text{эл}} \leqslant N_T / T_{\text{раб}}$, где N_T — количество тактовых импульсов в одном рабочем такте машины. В свою очередь, частота повторения тактовых импульсов определяется частотой срабатывания осн. элементов (триггеров, вентилей и др.). Для элементов с рабочей частотой 5 *Мгц* скорость выполнения элементарных операций (с 30-процентным запасом) составит ок. 3,5 млн. операций в сек., что при $N_T = 10—20$ дает быстродействие ЦВМ порядка 150—350 тыс. операций в сек. Один из путей повышения С. в. о. — увеличение рабочей частоты срабатывания элементов или скорости выполнения элементарных операций при одноврем. уменьшении размеров вычислит. машин, что необходимо для ограничения естеств. задержки сигналов в линиях связи внутри машины. Отсюда предельная частота срабатывания элементов при данных размерах линий связи внутри вычислит. машины и допустимом коэфф. относит. величины фазового сдвига (задержки) в линиях связи порядка $1/10 \div 1/100$ составит $F_{\text{пред}} \leqslant {}^1/_{10} — {}^1/_{100} \cdot \frac{c}{L}$, где $F_{\text{пред}}$ — предельная рабочая частота элементов, L — принятая длина связей внутри машины, c — скорость света.

Поскольку скорости выполнения отдельных арифметич. и логич. операций значительно отличаются друг от друга, обычно определяется ср. скорость выполнения операций из соотношения: $V_{\text{ср}} \leqslant 1/t_{\text{ср}} = 1/\sum_i \alpha_i t_i$, где $t_{\text{ср}} = \sum_i \alpha_i t_i = \alpha_{\text{слож}} t_{\text{слож}} + \alpha_{\text{выч}} t_{\text{выч}} + \alpha_{\text{умн}} t_{\text{умн}} + \alpha_{\text{дел}} t_{\text{дел}}$; α_i — коэфф. повторения i-той операции при решении задач данного класса. Этот коэфф. определяется на основе статистич. анализа процентного состава операций для данного класса задач. Время выполнения операции или длительность рабочего такта машины $T_{\text{раб}}$ складывается из времени выполнения операции в АУ и времени обращения к памяти, тогда ср. скорость выполнения упомянутых операций с учетом n обращений к оперативной памяти определится соотношением: $V_{\text{ср}} = 1/T_{\text{раб}} = 1/(t_{\text{ср}} + n\tau_0)$, где n — число обращений, приходящееся на одну операцию, τ_0 — время обращения к оперативному накопителю. Для трехадресной машины $n=4$, для одноадресной $n=2$, тогда для вычислит. машины без совмещения операций: $V_{\text{ср 3 адр}} = 1/(t_{\text{ср}} + 4\tau_0)$; $V_{\text{ср 1 адр}} = 1/(t_{\text{ср}} + 2\tau_0)$. Эта скорость обычно наз. номинальной скоростью и дается в хар-ках машины. Она не учитывает временны́х затрат на обращения к внешней памяти для получения массива чисел, затраты времени на операции ввода — вывода, на операции контроля и исправления ошибок и др. Поэтому для оценки производительности вычислит. машины вводится понятие эффективной С. в. о. Ориентировочно $V_{\text{эфф}} = pV_{\text{ном}}$, где $p = p_1 p_{\text{м}} p_{\text{в}} p_{\text{к}} p_{\text{п}}$, p — суммарный коэфф., учитывающий снижение номин. скорости за счет ряда факторов; p_0 — коэфф., определяющий эффективность состава команд; $p_{\text{м}}$ — коэфф. уменьшения скорости за счет обращения к внешним накопителям; $p_{\text{в}}$ — коэфф. уменьшения скорости за счет операций ввода — вывода; $p_{\text{к}}$ — коэфф. снижения скорости за счет введения программного и аппаратного контроля; $p_{\text{п}}$ — коэфф. потерь времени на профилактику, устранение неисправностей и др.

Повышают С. в. о. путем одноврем. выполнения неск. операций (см. *Совмещение операций в машине*), т. е. повышения $V_{\text{ном}}$ и увеличения $V_{\text{эфф}}$, при сокращении временны́х затрат за счет перечисл. факторов. См. *Цифровая вычислительная машина.*

Лит.: Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г., О возможности построения вычислительных систем высокой производительности, Новосибирск, 2 изд., 1963; Глушков В. М., Два універсальні критерії ефективності обчислювальних машин, «ДАН УССР», 1960, № 4; Вычислительная техника, Сб. статей, вып. 2, М., 1961. *Г. В. Смирнов.*

СКОРОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ [recombination velocity (on the surface of semiconductors); vitesse de recombinaison superficielle; Oberflächenrekombinations-Geschwindigkeit] — отношение плотности потока носителей заряда через поверхность ПП к поверхностной избыточной концентрации их. В. Шокли (США) теоретически вывел зависимость между поверхностным временем жизни τ_s (*мксек*), С. п. р. s (*см/сек*) и размерами образца (*см*) для стержня или нитевидного образца прямоугольного сечения. Для образца с поперечным сечением $2B \times 2C$ справедливо соотношение:

$$\frac{1}{\tau_s} = 4D\left[\frac{\eta^2}{(2B)^2} + \frac{\xi^2}{(2C)^2}\right],$$

где D — константа диффузии, а η и ξ определяются из ур-ний:

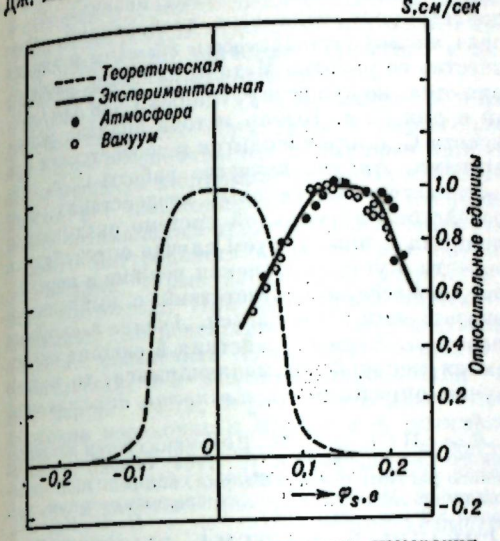
$$\frac{sB}{D} = \eta \operatorname{tg} \eta; \quad \frac{s \cdot C}{D} = \xi \operatorname{tg} \xi.$$

Для двух предельных случаев можно написать:

$$\frac{1}{\tau_s} = \frac{\pi^2 D}{4}\left(\frac{1}{B^2} + \frac{1}{C^2}\right), \quad s \to \infty;$$

$$\frac{1}{\tau_s} = s\left(\frac{1}{B} + \frac{1}{C}\right), \quad s \to 0.$$

Для прямоугольных образцов толщиной x_0 Дж. Мак Кельви и Р. Лонжини (США) получили соотношение между s, эффективным временем жизни $\tau_э$ и объемным временем жизни τ_0:



Экспериментальные результаты измерения s в зависимости от φ_s.

$$s = \left[D\left(\frac{1}{\tau_э} - \frac{1}{\tau_0}\right)\right]^{1/2} \operatorname{tg} \frac{x_0}{2}\left[\frac{1}{D}\left(\frac{1}{\tau_э} - \frac{1}{\tau_0}\right)\right]^{1/2}.$$

На основе теории рекомбинации В. Шокли и В. Рида (США) и схемы энергетич. уровней на поверхности германия было получено:

$$s = \frac{C_p(n+p)}{n_i[\exp(E_i - E_t)/kT + 2\operatorname{ch}(e\varphi_s/kT)]},$$

где C_p — вероятность захвата в единицу времени, E_t — энергия ловушки, φ_s — поверхностный потенциал, $e\varphi_s = E_F - E_i + eV_b$; eV_b — характеризует величину искривления зон у поверхности, n и p — концентрации электронов и дырок; E_i, n_i — уровень Ферми и концентрация электронов (дырок) в собственном ПП; k — постоянная Больцмана; T — абс. темп-ра; e — заряд электрона. Для этого общего случая предполагается, что уровень Ферми E_F не находится в середине *запрещенной зоны*. Существуют две группы методов измерения s: 1) основанные на создании в ПП локального пост. нарушения равновесной концентрации носителей заряда и на непосредств. измерении стационарного распределения носителей в разных участках образца; 2) основанные на наблюдении кинетики измерения концентрации неравновесных носителей заряда в процессе их возбуждения. Широкое применение для определения С. п. р. германия нашел фотомагнитоэлектрич. метод (см. *Полупроводника измерение параметров*). С. п. р. является критерием состояния поверхности. Она зависит от концентрации поверхностных уровней и их энергетич. расположения, к-рые, в свою очередь, зависят от характера обработки, темп-ры, газовой среды, концентрации носителей в объеме и т. д. От этих же факторов зависит φ_s, к-рый связан с s (рис.).

Для шлифованных поверхностей Ge и Si $s = 2 \cdot 10^4$ *см/сек*. Для Ge, травленного в СР-4, H_2O_2, электролитически, в щелочи, при $T = 300°$ K, на воздухе $s = 100—300$ *см/сек*, для Si, травленного в щелочи, СР-4, при этих же условиях, $s = 7000$ и 3000 *см/сек* соответственно. По мере уменьшения темп-ры ниже 300° К С. п. р. возрастает. Обработка Ge озоном вызывает возрастание С. п. р. По мере удаления с поверхности Ge паров воды откачкой в вакууме С. п. р. возрастает. На Si она может быть понижена до 100—200 *см/сек* дополнит. обработкой после травления в 1%-ном растворе бихромата. Нельзя пользоваться для Si понятием эффективной С. п. р., когда рекомбинация и генерация неравновесных носителей заряда на самой поверхности и в слое объемного заряда оказывают большое влияние на распределение неравновесных носителей заряда в этом слое. Это относится к случаю, когда толщина слоя объемного заряда у поверхности велика по сравнению с длиной свободного пробега.

Лит.: Петрусевич В. А., Сорокин О. В., Круглов В. И., «ФТТ», 1961, т. 3, вып. 7; Файнштейн С. М., Роль состояния поверхности в производстве полупроводниковых приборов, М.—Л., 1961; Navon D., Bray R., Fan H., «Proc. I. R. E.», 1952, v. 40, № 11, p. 1342—47; Conwell E. M., там же, p. 1327; McKelvey J. P., Longini R. L., «J. Appl. Phys.», 1954, v. 25, № 5. *С. М. Файнштейн.*

СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА (servomechanism; système de poursuite; Folgesystem) — автоматич. система, в к-рой выходная величина с определ. точностью воспроизводит изменяющуюся заранее неизвестным образом входную величину при помощи *обратной связи*.

В С. с. воспроизведение входной величины $g(t)$ может происходить по различным законам. В нек-рых случаях необходимо поддерживать заданное соотношение между входной (g) и выходной (x_1) величинами. Однако в силу погрешностей, вносимых элементами С. с., это равенство не может быть выполнено точно и $x_1(t) \approx kg(t)$.

Для дифференцирующего счетно-решающего устройства, построенного по принципу С. с., $x_1(t) = k\frac{dy}{dt}$, для интегрирующего — $x_1(t) = k\int_0^t g\,dt$. При этом реакция управляемого объекта на все внешние возмущающие воздействия $f(t)$ должна быть минимальной.

Структурная схема С. с. (рис. 1) включает прямую цепь воздействий и главную обратную

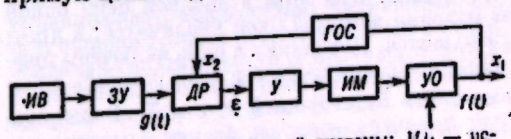


Рис. 1. Блок-схема следящей системы: *ИВ* — источник воздействия; *ЗУ* — задающее устройство; *ДР* — датчик рассогласования; *У* — усилитель; *ИМ* — исполнит. механизм; *УО* — управляемый объект; *ГОС* — главная обратная связь.

связь *ГОС*. С помощью датчика рассогласования определяется ошибка $\varepsilon = g - x_2$, к-рая воздействует на промежуточные устройства и через них на управляемый объект. С. с. работает так, чтобы все время сводить к нулю рассогласование ε. Сигнал главной обратной связи x_2 должен иметь ту же физ. природу, что и g.

На рис. 2 приведена схема С. с. копировально-фрезерного полуавтомата. Станок обрабатывает изделие по форме копира. Движение изделия и копира происходит непрерывно в одном направлении (задающая подача). По копиру *1* движется копировальный палец *2*,

а по изделию *3* — фреза *4*. Фреза воспроизводит движение копира (следящая подача). Копировальный палец связан с якорем дифференциального тр-ра *5*. Если копировальный

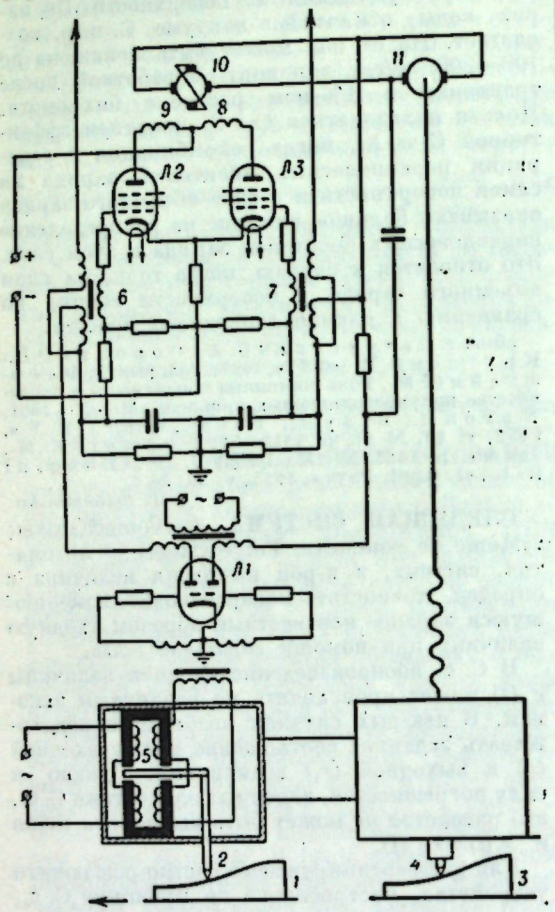


Рис. 2. Схема следящей системы копировально-фрезерного полуавтомата.

палец поднимается на величину ε, то якорь переместится из среднего положения, эдс верхней обмотки увеличится, а нижней — уменьшится. Разность эдс верхней и нижней обмоток пропорциональна ε, а фаза зависит от ее знака. При этом в анодной цепи одной из половин лампы *Л1* ток увеличится, в др.— уменьшится. Поскольку в цепь включены дифференцирующие тр-ры *6* и *7*, то разность анодных токов будет ф-цией от ε и $\frac{d\varepsilon}{dt}$. В анодную цепь ламп *Л2* и *Л3* включены управляющие обмотки *8* и *9* электромеханич. усилителя (ЭМУ). Напряжение от ЭМУ *10* поступает на двигатель *11*, осуществляющий перемещение фрезы и корпуса, на к-ром помещены сердечники дифференциального тр-ра.

По характеру работы С. с. делятся на системы непрерывного действия, *импульсные системы* и *релейные системы*. С. с., имеющая одну обратную связь, наз. одноконтурной, неск. обратных связей — многоконтурной. В С. с., кроме основного замкнутого контура, может быть один или неск. разомкнутых контуров для компенсации основных возмущающих воздействий (см. *Следящая система комбинированная*).

Наиболее важной хар-кой работы С. с. является точность ее действия — слежения. На основе заданной точности и характера воздействий формулируются требования к поведению С. с. в динамике. Для того чтобы определить, насколько рассматриваемая С. с. удовлетворяет заданным требованиям, проводят *анализ устойчивости системы* и анализ качества ее работы. Методы динамич. расчетов являются, по существу, едиными как для САР, так и для С. с. Выбор метода анализа устойчивости С. с. производится в соответствии с ее хар-ками. Анализ качества работы С. с. осуществляется при типовых воздействиях, если воздействия в реальной системе оказываются близкими к ним. В этом случае определяются точности в установившемся режиме и переходном процессе в соответствии с выбранными показателями качества (см. *Анализ переходных процессов*). Если воздействия в системе оказываются непрерывно меняющимися, то в этом случае определяется *точность динамическая* С. с.

Лит.: Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Теория следящих систем, пер. с англ., 2 изд., М., 1953.

И. Н. Крутова.

СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ (high-speed servomechanism; systèmes de poursuite à action rapide; schnellwirkende Folgesysteme) — *следящая система*, характеризующаяся тем, что процесс перехода из нач. состояния в заданное при имеющихся в системе ограничениях координат и управляющих воздействий совершается за минимально возможное время (см. *Оптимальный процесс по быстродействию*).

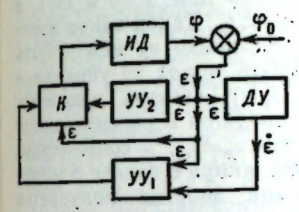
В С. с. б. осн. ограничениями, определяющими миним. продолжительность переходного процесса, являются ограничения, относящиеся к исполнит. двигателю и источнику его питания. В электрич. следящих системах, напр., ограничены момент, ток и скорость вращения исполнит. двигателя, напряжение и ток источника питания. В нек-рых случаях существенно также ограничение по мощности или нагреву (см. *Следящая система с ограничением по нагреву*).

При проектировании С. с. б. возникают следующие задачи: 1) определение класса возмущающих воздействий (детерминированные, случайные, скачкообразные, плавно изменяющиеся) и их хар-к (законы распределения вероятности, макс. значения отклонения, скорости и ускорения); 2) определение совокупности оптимальных по быстродействию процессов — семейства оптимальных законов изменения управляющих воздействий во времени или семейства фазовых траекторий; 3) синтез управляющей части С. с. б. Хар-ка возмущающих воздействий определяется из условий работы следящей системы. Определение семейства оптимальных процессов требует решения вариац. задач на минимум функционала — времени переходного процесса. При наличии ограничений эта задача в общем случае решается с помощью *максимума принципа*. Во многих практически важных случаях решение может быть получено с помощью методов, развитых в [1—5].

В следящей системе, силовая часть к-рой может быть с достаточной точностью аппроксимирована линейной моделью, оптимальный процесс отработки конечных отклонений и скоростей состоит из определ. числа интервалов, в течение каждого из к-рых управляющее воздействие или фазовая координата на-

ходятся на предельном огранич. уровне. В системах, существенно нелинейных, а также в системах, где необходимо учитывать ограничение по нагреву, в отдельные интервалы процесса предельные значения координат и воздействий могут и не достигаться.

Задача синтеза УУ С. с. б. состоит в определении такой его структуры и параметров, при к-рых обеспечивается наилучшее приближение процесса к оптимальному. На практике, однако, нет необходимости всегда воспроизводить оптимальный процесс. Обеспечение предельного быстродействия важно при значит. отклонениях, к-рые необходимо устранять с макс. скоростью. При достаточно малых отклонениях быстродействие менее существенно и важно обеспечить требуемую точность и устойчивость. УУ в этом случае состоит из двух частей: части, к-рая обеспечивает приближение переходного процесса к оптимальному при больших отклонениях, и части, к-рая обеспечивает требуемую точность, устойчивость и качество процесса в области отклонений, где быстродействие несущественно (рис.).



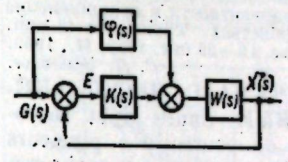
Структурная схема быстродействующей следящей системы: *ИД* — исполнит. двигатель; $УУ_1$ — управляющее устройство, действующее при больших отклонениях; $УУ_2$ — управляющее устройство, действующее при малых отклонениях; *ДУ* — дифференцирующее устройство; *К* — коммутатор; φ — управляемая координата; φ_0 — заданное ее значение; ε — отклонение.

При детерминированных возмущениях оптимальное управляющее воздействие может вычисляться на основании данных о нач. отклонениях фазовых координат. При случайных возмущениях управляющее воздействие необходимо определять на основании текущих отклонений, к-рые должны измеряться по ходу процесса. Управляющее воздействие может вводиться в систему в виде ф-ции времени либо в виде ф-ции отклонения истинной фазовой траектории движения системы от оптимальной. Определение текущего значения управляющего воздействия можно производить вычислит. устройством, к-рое входит составной частью в С. с. б. В простейшем случае, когда силовая часть следящей системы описывается дифференц. ур-нием 2-го порядка, вычислит. устройство может быть выполнено в виде нелинейного преобразователя с одним входом и схемы сравнения. Закон управления определяется в этом случае непосредственно выражением фазовой траектории оптимального процесса.

Лит.: 1) Лернер А. Я., Улучшение динамических свойств автоматических компенсаторов при помощи нелинейных связей, «АиТ», 1952, т. 13, № 2; 4; 2) его же, О предельном быстродействии систем автоматического управления, там же, 1954, т. 15, № 6; 3) Розенман Е. А., Об оптимальных переходных процессах в системах с ограниченной мощностью, там же, 1957, т. 18, № 6; 4) его же, О предельном быстродействии следящих систем с ограниченным по мощности, моменту и скорости исполнительным элементом, там же, 1958, т. 19, № 7; 5) Петров Ю. П., Оптимальное управление электроприводом, М.—Л., 1961.

Е. А. Розенман.

СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА КОМБИНИРОВАННАЯ (mixed servomechanism; système de poursuite combiné; kombiniertes Folgesystem) — *следящая система*, включающая замкнутый и разомкнутый контуры управления. Назначение С. с. к.— воспроизведение на ее выходе управляющего воздействия $g(t)$ с наибольшей точностью — наименьшей ошибкой слежения. Для структурной схемы С. с. к. (рис.) передаточная функция замкнутой системы имеет вид:



$$\Phi(s)=\frac{X(s)}{G(s)}=\frac{W(s)[K(s)+\varphi(s)]}{1+W(s)K(s)},$$

где $W(s)\cdot K(s)$ — передаточная ф-ция разомкнутой системы без учета цепи регулирования по управляющему воздействию; $\varphi(s)$ — передаточная ф-ция в цепи регулирования по управляющему воздействию. Ошибка в замкнутой системе определяется выражением:

$$E(s)=\frac{[1-W(s)\varphi(s)]G(s)}{1+W(s)K(s)}.$$

Условие *инвариантности* для данной С. с. к. [$E(s)=0$ или $X(s)=G(s)$]

$$\varphi(s)=\frac{1}{W(s)}.$$

С. с. к. широко применяются в случаях, когда требуется высокая точность слежения при больших значениях скорости и ускорений изменения входной величины. Полное выполнение условий инвариантности обычно требует получения первой, второй и высших производных от управляющего воздействия, что физически часто не реализуется. В большинстве случаев удается достаточно точно получить лишь первую и вторую производные. Учитывая это, ввод разомкнутой цепи управления в систему целесообразно делать в такой точке, чтобы $K(s)$ содержало макс. число инерц. элементов, присущих системе. Даже при условии неполного выполнения условий инвариантности, такое комбинирование контуров управления позволяет значительно улучшить статич. и динамич. св-на следящих систем. В них обычно существует противоречие между устойчивостью и статич. ошибкой отслеживания управляющего воздействия: уменьшение статич. ошибки требует повышения общего коэфф. усиления системы, что, как правило, приводит к повышению динамич. ошибки и приближению системы к границе устойчивости. Введение разомкнутых связей по управляющему воздействию не влияет на устойчивость системы (см. *Регулирования комбинированная система*), но дает возможность влиять на статич. ошибку. Т. о., добившись в следящей системе минимума динамич. ошибки ценой увеличения статич. ошибки, мы можем введением разомкнутой связи скомпенсировать статич. ошибку, сохраняя прежним запас устойчивости системы.

Разомкнутый контур управления в С. с. к. действует как сравнительно грубый регулятор, замкнутый же контур управления выбирает остающуюся ошибку, обеспечивая требуемую точность.

С. с. к. проще и дешевле, чем система замкнутого типа, и удовлетворяет тем же требованиям. По комбинированной схеме управления строится большинство следящих приводов, динамич. платформ, нек-рые маломощные сле-

дящие системы, применяемые в электромеханич. интеграторах, и др.

Лит.: Ивахненко А. Г., Электроавтоматика, Киев, 1957; Теория инвариантности и ее применение в автоматических устройствах. Труды совещания, состоявшегося в г. Киеве, 16—20 окт. 1958, М., 1959.

С. Д. Земляков.

СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА С НЕСКОЛЬКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ (multi-input servomechanism; système de poursuite à plusieurs grandeurs d'entrée; Folgesystem mit mehreren Steuergrößen) — *следящая система*, у к-рой воздействие на исполнит. элемент возможно путем изменения неск. величин. Такими системами являются, напр., следящая система с исполнит. электрич. двигателем пост. тока, к-рый управляется путем изменения тока якоря и тока возбуждения; следящая система с двигателем перем. тока, управляемым изменением частоты и напряжения. Аналогичными св-вами обладают и нек-рые системы регулирования, напр. система регулирования натяжения прокатываемой полосы в листовых станах холодной прокатки, где в качестве управляющих воздействий выбраны натяжение и обжатие.

По сравнению с системами с одним воздействием следящие системы и САР с неск. воздействиями обладают бо́льшими возможностями удовлетворения различным требованиям, т. к. они допускают бо́льшую свободу в выборе схемы и параметров системы.

В случаях, когда полосы пропускания системы по каждому из воздействий существенно разнесены по частоте, возможно раздельное рассмотрение контуров.

Интерес представляют С. с. с п. в., оптимальные в смысле обеспечения наивыгоднейшего значения к.-л. критерия, характеризующего качество управления (см. *Оптимальные системы*). Критерием качества управления часто является функционал v, зависящий от выбора r управляющих воздействий

$$v = v(u_1, \ldots, u_r).$$

Здесь $u_1, \ldots, u_r$ — воздействия, выбор к-рых в общем случае стеснен ограничениями. Смысл ограничений в том, что в процессе управления воздействия $u_1, \ldots, u_r$ могут изменяться лишь в заданном диапазоне. Ограничения могут относиться и к фазовым координатам системы.

Задачи об оптим. управлении в системах с неск. воздействиями принадлежат к классу вариац. задач на экстремум функционалов, зависящих от неск. ф-ций. В случаях, когда границы допустимых значений координат и воздействий не достигаются, эти задачи решаются с помощью обычных вариац. методов. Для получения необходимых условий экстремума таких функционалов при заданных граничных условиях для всех ф-ций варьируют по очереди каждую из ф-ций, оставляя все прочие неизменными. При этом исходный функционал превращается в функционал, зависящий лишь от одной варьируемой ф-ции, а ф-ция, реализующая экстремум, должна удовлетворять ур-нию Эйлера. Это справедливо для любой из r ф-ций, и, следовательно, экстремаль должна удовлетворять системе r дифференц. ур-ний Эйлера. Если управляющие воздействия или фазовые координаты достигают границ, то необходимо привлечь более общие математич. методы (напр., *максимума принцип*). В системах с неск. воздействиями часть из них может выбираться независимо от условий оптимальности, исходя из к.-л. дополнит. требований. В этих случаях функционал, достигающий экстремума при оптим. управлении, зависит соответственно от меньшего числа ф-ций. Если, напр., исполнит. электрич. двигатель пост. тока управляется изменением тока якоря и тока возбуждения, то энергия, рассеиваемая за время переходного процесса t_0, пропорциональна

$$\vartheta = \int_0^{t_0} (i_я^2 + c i_в^2)\, dt,$$

где $i_я$ — ток якоря, $i_в$ — ток возбуждения, c — константа. В задаче об оптим. управлении с минимизацией рассеиваемой энергии минимум функционала ϑ обеспечивается независимым выбором ф-ций $i_я(t)$ и $i_в(t)$, если отсутствуют к.-л. дополнит. условия. При линейной идеализации кривой намагничивания оптим. управляющие воздействия имеют вид импульсных разрывных ф-ций, обращающихся (по модулю) в бесконечность при $t=0$ и $t=t_0$ и равные нулю при $0<t<t_0$. Такой закон изменения $i_я(t)$ и $i_в(t)$ естественно не может быть реализован. Если выбор одной из управляющих ф-ций (напр., $i_в(t)$) связать дополнит. условием, то задача сведется к рассмотренной в [2]. В частности, при $i_в = i_{вa} = \text{const}$ оптим. закон изменения тока якоря в задаче с минимизацией рассеиваемой энергии получается линейным.

Лит.: 1) Розенман Е. А., Оптимальное управление объектом с двумя управляющими воздействиями, «АиТ», 1959, т. 20, № 10; 2) его же, Об оптимальных переходных процессах в системах с ограниченной мощностью, там же, 1957, т. 18, № 6; 3) Петров Ю. П., Оптимальное управление электроприводом, М.—Л., 1961.

Е. А. Розенман.

СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПО НАГРЕВУ (heatlimited servomechanism; système de poursuite avec limitations d'échauffement; Folgesystem mit Erwärmungsbegrenzung) — *следящая система*, в к-рой в процессе нормальной работы нагрев элементов (исполнит. двигателей, усилителей, источников питания) может достигать значений, близких к максимально допустимым (τ_m). Смысл ограничения по нагреву в соблюдении неравенства:

$$\tau(t) \leqslant \tau_m \qquad (1)$$

(τ — текущее значение перегрева) при любом режиме работы. Ограничение по нагреву, наряду с др. хар-ками системы, определяет допустимые воздействия, от к-рых зависит скорость протекания переходных процессов, точность и др. св-ва следящей системы. Поэтому при построении следящей системы, оптимальной в нек-ром смысле, напр. предельно-быстродействующей, необходимо учитывать ограничение по нагреву.

Соблюдение неравенства (1) в электрич. следящих системах может быть обеспечено соответствующим выбором максимально допустимого значения тока, к-рое определяется τ_m, теплоемкостью и теплоотдачей элемента, а также режимом работы. В этом случае задача об оптим. процессе с огранич. нагревом сводится к задаче об оптим. процессе с огранич. током [1]. Такой упрощ. способ учета ограничения по нагреву не приводит к строго оптим. процессу, т. к. в этом случае закон изменения перегрева во времени устанавливается независимо и не вытекает из условий оптимальности.

Учет ограничения по нагреву с целью получения оптим. процесса требует присоединения к системе ур-ний движения ур-ний изменения перегрева. Так, если в электрич. следящей системе ограничения относятся только к исполнит. двигателю, то к ур-ниям движения

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}(M_д - M_н) = \frac{1}{J}(C_д\, i - M_н) \qquad (2)$$

с ограничениями $|\varphi| \leqslant \varphi_m$, $|\omega| \leqslant \omega_m$, $|i| \leqslant i_m$ (где φ — угол поворота, ω — скорость, t — текущее время, J — момент инерции, $M_д$ — момент двигателя, $M_н$ — момент нагрузки, i — ток двигателя) следует добавить ур-ние нагрева, к-рое в предположении однородного нагрева имеет вид:

$$C\frac{d\tau}{dt} + A\tau = ki^2 \qquad (3)$$

(C — теплоемкость, A — теплоотдача, k — постоянная), и ограничение (1).

Оптим. процесс находится в результате решения следующей вариац. задачи. Найти $i(t)$ так, чтобы время t_0 движения системы из нач. состояния ($\varphi(0)=\varphi_0$, $\omega(0)=\omega_0$) в заданное ($\varphi(t_0)=\varphi_k$, $\omega(t_0)=\omega_k$) было минимальным. При этом $\tau(0)=\tau_0$ и $\tau(t) \leqslant \tau_m$ при $0<t<t_0$. Полное использование исполнит. двигателя по нагреву предполагает $\tau=\tau_m$ по крайней мере при $t=t_0$, что не исключает равенства $\tau=\tau_m$ при $t<t_0$. В последнем случае оптим. процесс может состоять из двух участков: участка t_1, где $i_1=i_1(t)$, в течение к-рого перегрев $\tau<\tau_m$ увеличивается до ограничения, и участка $t_2=t_0-t_1$, на к-ром перегрев $\tau=\tau_m$ остается постоянным. Соответствующее значение тока i_2 определяется из (3)

$$|i_2| = \sqrt{\frac{A}{k}\tau_m} = \text{const}. \qquad (4)$$

В случае, когда продолжительность переходного процесса мала по сравнению с постоянной времени нагрева $\theta = C/A$, ур-ние (3) можно заменить ур-нием

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{k}{C}\, i^2 \qquad (5)$$

и свести рассматриваемую задачу к задаче об оптим. процессе при ограниченной рассеиваемой энергии [2]. Участок i_2 при этом исчезает, а ограничение $\tau=\tau_m$ достигается только в конце процесса при $t=t_0$.

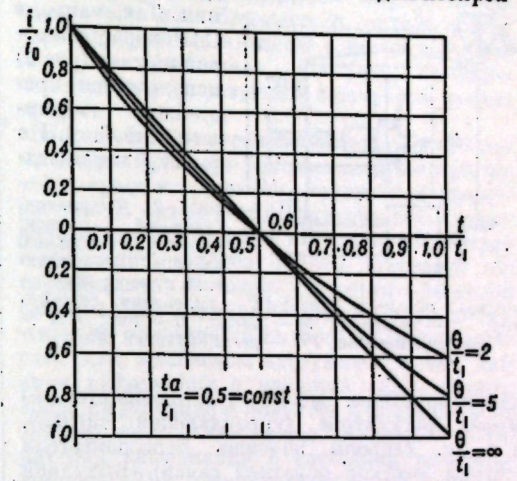
Чтобы определить оптим. процесс с учетом (3), необходимо найти: закон изменения тока на 1-м участке; продолжительность 1-го участка t_1; координаты φ_1 и ω_1, достигаемые к концу 1-го участка, и закон изменения тока на 2-м участке, где $|i| = \text{const}$.

Закон изменения тока на 1-м участке находится так же, как в случае $A=0$ (см. ур-ние 5). Он выражается ур-нием

$$i = i_0\left(1 - \frac{t}{t_a}\right) e^{-\frac{t}{\theta}} \qquad (6)$$

(i_0 и t_a — параметры, определяющиеся из граничных условий) и тем меньше отличается от линейного, чем больше постоянная времени θ по сравнению с временем переходного процесса t_0 (рис.). Закон изменения тока на 2-м участке находится так же как и в случае ограничения тока [1].

Для определения времени t_1 и координат φ_1, ω_1 можно воспользоваться методом изохрон



Оптимальный переходный процесс при огранич. нагреве (1-й участок).

[2, 3], сущность к-рого состоит в следующем. Строятся два семейства изохрон, соответственно двум законам изменения тока на 1-м и 2-м участках. Полюс семейства изохрон 1-го участка совмещается с нач. состоянием системы, а полюс семейства изохрон 2-го участка — с конечным состоянием. Из всех возможных сочетаний изохрон 1-го и 2-го семейств следует выбрать такую пару, где изохроны имеют одну общую точку, и суммарное время 1-го и 2-го участков оказывается наименьшим.

Лит.: 1) Лернер А. Я., Улучшение динамических свойств автоматических компенсаторов при помощи нелинейных связей, «АиТ», 1952, т. 13, № 2; 2) его же, О предельном быстродействии систем автоматического управления, там же, 1954, т. 15, № 6; 3) Розенман Е. А., Об оптимальных переходных процессах в системах с ограниченной мощностью, там же, 1957, т. 18, № 6.

Е. А. Розенман.

СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД (сервомеханизм) (servo drive; commande à poursuite; Folgeantrieb) — *следящая система*, выходной величиной к-рой является механич. движение. Выходная величина сравнивается с сигналом на входе, и разность их используется в качестве управляющего сигнала. С. п. предназначается для осуществления с определ. степенью точности механич. перемещений, задаваемых с помощью маломощных измерит. элементов, и представляет собой замкнутую систему с жесткой обратной связью, в к-рой воздействие передается от одного элемента к др. последовательно в одном направлении (рис. 1). Она включает: *1* — выходной элемент измерит. устройства, *2* — усилит. устройство, *3* — исполнит. элемент (сервомотор), *4* и *5* — обратные связи. Для улучшения переходных процессов в С. п. наряду с жесткой обратной связью иногда используются скоростные и нелинейные обратные связи. В качестве усилит. и исполнит. элементов применяются электрич., гидравлич. и пневматич. устройства. Последними двумя часто служат поршневые сервомоторы и золотниковые устройства

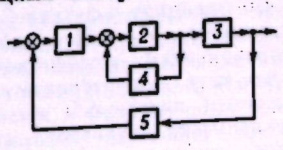


Рис. 1.

различных типов; первыми — электрич. двигатели пост. и перем. тока. С. п. обычно является составной частью САР или системы дистанц. управления. Так, напр., в САР скорости паровой машины (рис. 2) используется простейший гидравлический С. п. На рычаг, перемещающий золотник, действует с одной стороны муфта регулятора (управляющий сигнал), а с др. стороны поршень серводвигателя (сигнал жесткой обратной связи). Выходной вал сервомотора непосредственно связан с регулирующим органом паровой машины. Др. примером служит автопилот с магнитным усилителем (рис. 3). При отклонении самолета от заданного курса гироскоп перемещает ползунок потенциометра $П_1$ и изменяет напряжение на первой управляющей обмотке магнитного усилителя w_1. При этом в цепи обмотки перем. тока w_2 последний изменяется, что, в свою очередь, приводит к перемещению золотника электрогидравлич. рулевой машинки. С валом последней связан ползунок потенциометра обратной связи $П_2$, изменяющий напряжение на обмотке w_3 магнитного усилителя.

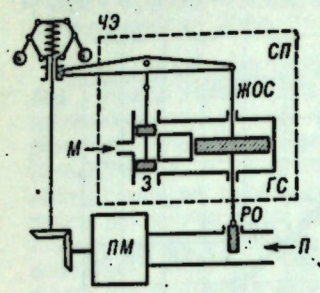


Рис. 2. Гидравлич. следящий привод: *ЧЭ* — чувствительный элемент; *СП* — следящий привод; *ЖОС* — жесткая обратная связь; *ГС* — гидравлич. сервомотор; *З* — золотник; *М* — масло; *П* — пар; *ПМ* — паровая машина; *РО* — регулирующий орган.

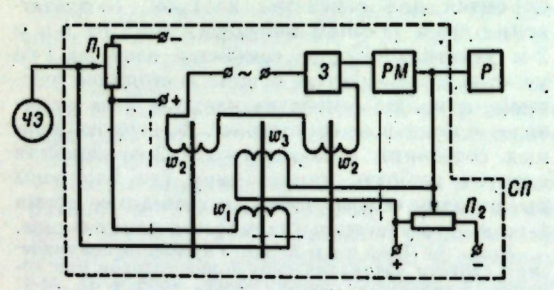


Рис. 3. Автопилот: *РМ* — рулевая машина; *Р* — руль.

По принципу действия С. п. делятся на непрерывные, релейные и вибрационные. С. п. с управляющим устройством пропорционального типа характеризуется непрерывным и плавным изменением выходной величины в зависимости от входного воздействия; с релейным управлением — постоянством скорости отработки независимо от скорости изменения и величины входного воздействия; с вибрационным управлением — импульсным изменением скорости отработки управляющего воздействия. Характерной особенностью С. п. является и то, что в нем основным процессом является не свободное, определяемое только параметрами системы, а вынужденное движение, зависящее от входного воздействия. На динамику С. п. существенное влияние оказывают хар-ки регулирующих органов, действия к-рых в одних случаях рассматриваются как нагрузка на выходе, а в др. — как составная часть С. п. По назначению различают С. п.: системы дистанц. управления, устройства усиления и преобразования управляющего сигнала. В зависимости от исполнения различают С. п.: электропневматические, гидравлические, электрогидравлические, электрические и др.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Горская Н. С., Крутова И. Н., Рутковский В. Ю., Динамика нелинейных сервомеханизмов, М., 1959.

Д. И. Петелич.

СЛОВО (code word; mot; Wort) — 1) В лингвистике — основной, наряду с предложением, конструктивный объект языка. Все С. языка по их значениям и ф-циям делятся на С. знаменательные, соответствующие отдельным понятиям, и С. служебные, к-рые выражают отношение между знаменательными С.

2) В теории алгоритмов — конструктивный объект, состоящий из букв, объединенных связями следования. При этом буквами наз. любые объекты, являющиеся в данном их применении целыми и неизменными. Количество букв, входящих в состав С., наз. длиной С. В отношении любых двух букв всегда известно, одинаковы они или различны, т. к. теория алгоритмов исключает из рассмотрения случаи, в к-рых это определить нельзя. С., состоящее из букв, каждая из к-рых одинакова с одной из букв нек-рого *алфавита*, наз. С. в данном алфавите. С., как нек-рый набор букв, объединенных связями следования, удовлетворяет условиям: а) одна из букв С. не следует ни за какой другой — начало С.; б) за одной из букв С. не следует никакая др. буква — конец С.; в) каждая буква С., кроме его начала, следует за одной и только одной буквой этого же С.; г) за каждой буквой С., кроме его конца, следует одна и только одна буква этого же С. С помощью связей следования из букв могут быть получены, кроме С., и др. конструктивные объекты, не имеющие начал и концов: «кольца» из букв.

Значит. часть теории алгоритмов, есть теория алгоритмов, определяющих процессы преобразования С. в новые С. Предполагается, что существуют правила, позволяющие каждый конструктивный объект описать вполне определенным С., и обратно, имея это С., указать соответствующий ему объект. При этом можно ограничиться рассмотрением С., образованных из букв, являющихся графич. символами. В этом случае С. может быть определено как строка, состоящая из последовательно, слева направо записанных букв. Самая левая буква строки при этом наз. началом С., а самая правая — концом С. (ориентировку строки «слева направо» в определении можно заменить противоположной — «справа налево»). Примеры графич. С. — запись числа в *позиционной системе счисления:* письменное слово рус. языка, письменное предложение или последовательность неск. письменных предложений, если пробел между буквами и знаки препинания считать буквами.

В теории программно-управляемых машин существует термин *«слово машинное»*, означающий произвольное С. в одном из алфавитов, принятых в данной машине, к-рое может быть записано в ее запоминающей ячейке.

Лит.: Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963.

Н. А. Криницкий.

СЛОВО МАШИННОЕ (machine word; mot-machine; Maschinenwort) — совокупность информац. символов (цифр, букв и т. д.), выбираемых из оперативных ЗУ (записываемых в ОЗУ) по одному адресу и воспринимаемых во всех устройствах машины в виде единой кодовой группы. В вычислит. машинах служит единицей информации. Количество символов, содержащихся в С. м., наз. длиной С. м. Различают С. м. пост. и перем. длины. С. м. пост. длины содержит одно и то же, максимальное для данной машины, количество разрядов. В каждой ячейке ЗУ при этом можно хранить только одно С. м., если даже длина его значащей части меньше максимально возможной. Емкость ЗУ используется нерационально. С. м. перем. длины, в свою очередь, делят на С. м. с рядом фиксированных длин (наиболее часто с двумя) и на С. м. с произвольной длиной. В первом случае адресуются отдельные участки ячейки, в к-рых располагаются укороченные С. м. (машины «Урал», ИБМ-701). Во втором случае адресуется каждый разряд ячейки (машина «Стретч»). Положение слова при этом определяется либо заданием признака его начала и конца, либо указанием граничного разряда (левого или правого) и длины С. м.

Н. А. Данильченко.

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ (большие системы) (complex systems; systèmes complèxes; komplizierte Systeme). Не существует общепринятого определения С. с., однако введение этого понятия оказалось плодотворным для решения ряда теоретич. и практич. задач. Оно появилось в результате нового подхода к постановке и решению задач управления сложными комплексами, что, в свою очередь, является следствием непрерывного усложнения производств. процессов, повышения их параметров; усложнения систем управления. Этот новый подход обусловлен также развитием теории и средств автоматизации произ-ва и вычислит. техники, в частности.

Можно указать ряд признаков, характеризующих С. с.: наличие подсистем (выделяемых частей), имеющих каждая цель функционирования, подчиненную общей цели функционирования всей системы, и управляемых единой системой управления иерархич. структуры; наличие большого числа связей между подсистемами, внутри каждой подсистемы и необходимость для целей управления разветвленной информац. сети; наличие элементов самоорганизации; участие людей, машин и природной среды.

Примерами С. с. являются крупные пром. и энергетич. комплексы, экономич. системы, комплексы ЭВМ, предназначенные для обработки информации. Можно классифицировать С. с. как системы многократного (непрерывного) функционирования, или регулярные, и однократного функционирования, или нерегулярные.

В регулярных С. с. цели функционирования сохраняются и за пределами рассматриваемого интервала времени (пром. пр-тие, энергетич. система). Проблема управления такой С. с. включает в себя: выбор структуры управления комплексом пр-тий, входящих в систему; определение целей функционирования системы в целом и каждой из подсистем; определение методов оптимизации режима работы; распределение ф-ций управления между людьми и автоматами.

В нерегулярных С. с. цель функционирования ставится в начале и достигается в конце рассматриваемого интервала времени. Здесь задачей управления является: выработка оптимального или близкого к оптимальному плана проведения процесса в целом и каждого из его участников, контроль выполнения плана и управления ходом его реализации.

Во многих С. с. возникает проблема «обслуживания» большого числа «клиентов» при помощи средств с огранич. пропускной способностью. В связи с этим оказывается плодотворным использование в теории С. с. идей и математич. методов теории массового обслуживания, а также понятия базисной системы (БС). Задача БС заключается в обслуживании клиентов. Для этого БС имеет агрегаты или комплексы следующих типов: датчики информации о клиентах (ДК), пункты сбора информации о клиентах и формирования заявок на обслуживание клиентов (ФЗ), датчики информации о состоянии элементов системы (ДЭ), устройства передачи информации (ПИ), комплекс обработки информации (ОИ), исполнит. органы (ИО). Истинная информация о клиентах в БС не циркулирует. ДК, взаимодействуя с клиентами, вырабатывают циркулирующую в системе информацию, к-рая может отличаться от истинной представлением в другой системе координат, недостаточной полнотой, наличием ошибок и т. д. Истинная информация о клиентах известна лишь постороннему наблюдателю, располагающему достаточно точными измерит. средствами. ДК являются, таким образом, входными полюсами БС. Информация от ДК поступает к ПИ, перерабатывается (кодирование, декодирование), преобразуется (задержки во времени, ошибки, помехи) и поступает в ФЗ. Отсюда после обработки, сортировки и формировании заявок информация при помощи ПИ передается к ОИ. Сюда же поступает информация от ДЭ, а также внешняя управляющая информация (по особому каналу ОИ). Таким образом, ОИ является управляющим полюсом БС. Все агрегаты и комплексы БС получают от ОИ управляющую информацию. Исключением бывают лишь сами агрегаты ОИ, получающие управляющую информацию извне.

ОИ окончательно обрабатывает информацию, планирует обслуживание поступивших клиентов и выдает команды ИО, к-рые собственно и обслуживают клиентов (вырабатывают моменты конца обслуживания, критерии «обслужен» — «необслужен», параметры клиентов после обслуживания и т. д.). ИО являются выходными полюсами БС. Однако выходным полюсом может быть и ОИ, выдающий информацию о состоянии элементов системы в процессе ее функционирования.

Рассмотрение БС оказывается плодотворным для целей типизации алгоритмов при исследовании С. с. методом статистич. моделирования. Исследование С. с. производится при помощи функциональных хар-к — показателей соответствующих св-в. Эти показатели выбираются в зависимости от назначения и характера С. с., а также от целей исследования. При этом выбирается основной показатель, характеризующий степень соответствия процесса функционирования С. с. заданным требованиям.

Его величину — эффективность С. с.— можно вычислить при моделировании системы. При этом определяют его приращения при изменениях любого параметра системы. Показателями, характеризующими осн. св-ва системы, служат функционалы, зависящие от величин изменения параметров и соответствующих приращений показателя эффективности.

Построение математич. моделей С. с. необходимо для формулирования теоретич. задач. Модели должны строиться для процесса (система ур-ний, описывающих движение системы; граф, характеризующий последовательность операций и взаимосвязи между ними и др.), для информационных связей (структурная схема, изображающая потоки информации в системе; матрица, элементы к-рой обозначают соответствующие связи и др.), для среды (статистич. или детерминированные закономерности, характеризующие влияние на систему возмущающих воздействий и данные, необходимые для формирования критериев эффективности функционирования системы).

В теории управления С. с. критерии эффективности не могут рассматриваться как заданные. Они существенно зависят от критериев эффективности системы более высокого уровня, в к-рую данная система входит как подсистема. Поэтому точное определение критериев эффективности возможно лишь при рассмотрении всей совокупности С. с. вплоть до самого высокого их уровня, что требует уже учета факторов глобального масштаба. Практически при рассмотрении конкретных задач можно заменить влияние достаточно высоких уровней поправками, основанными на весьма грубых оценках. При всех обстоятельствах определение критериев эффективности должно основываться не только на оценке мгнов. состояния рассматриваемой системы, а также на прогнозе ее поведения, исходя из разумного компромисса между величинами выгод и сроками их получения. Цели управления каждой системы более высокого уровня формулируются в более общих терминах, нежели цели подчиненных им систем. Чем выше уровень систем, тем более комплексными и обобщенными показателями оценивается их состояние. Этим определяется возможность обработки информации для выбора целесообразных управляющих воздействий на высоких уровнях иерархии управления.

В общем случае, критерий эффективности С. с. является ф-цией неск. частных критериев, веса каждого из к-рых могут изменяться в зависимости от условий работы системы. Частные критерии могут при нек-рых условиях играть роль ограничивающих факторов. Так, напр., производительность производств. процесса может являться частным критерием эффективности и входить (наряду с показателями качества продукции и др.) в общий критерий, но может также являться ограничивающим фактором, выражающим требование поддержания производительности на уровне не ниже заданного, определяемого «интересами» С. с. более высокого ранга. Во многих С. с. возникают очень сложные переплетения ограничений и критериев эффективности. Напр., при строительстве к.-л. крупного объекта может оказаться необходимым прежде всего обеспечить минимальное время его завершения. Т. к. при строительстве крупного объекта не все участки работ лимитируют время его завершения и многие работы могут выполняться параллельно, то оказывается возможным, форсируя лимитирующие участки работ (за счет их удорожания), минимизировать время строительства. Остальные же участки работ могут вестись в такой очередности и в таком темпе, при к-рых будет достигнут минимум их стоимости, совместимый с заданными сроками окончания этапов работ.

При др. внешних условиях может оказаться необходимым вести строительство таким образом, чтобы удовлетворялся критерий минимума стоимости, а время строительства ограничивалось бы заданным сроком. Необходимость оптимизации С.с. по сложным критериям с различными изменениями весов частных критериев, а также необходимость учета разнообразных технич. и экономических ограничений усложняют построение ее математич. модели. Сложность модели возрастает также и от того, что ее структура и параметры должны изменяться при изменении заданий, поступающих из внешней среды.

Расширение возможностей автоматов и развитие вычислит. техники вызывают тенденцию все возрастающей автоматизации управления С. с. Однако человек принципиально неустраним из сферы управления С.с., поскольку цели человека изменяются во времени и потому соответственно должны изменяться критерии эффективности и корректироваться отклонения системы от выполнения изменяющихся целей функционирования. В связи с этим перед теорией С. с. возникают задачи оптимального распределения ф-ций между людьми и автоматами; определение предельных и оптимальных потоков информации, перерабатываемых человеком; оптимальных методов общения людей и автоматов. Эти задачи составляют сущность проблемы «Человек и автомат» (см. *Система «человек и автомат»*) и расширяют проблематику инженерной психологии (см. *Психология инженерная*). Сюда входят и психологич. аспекты проблемы, т. к. приходится рассматривать вопросы психологии принятия решений руководителями, взаимодействия между членами коллектива и т. д.

Указанные выше положения являются важными элементами создаваемой ныне теории С. с. Эта теория открывает огромные возможности улучшения методов руководства и способов управления сложными производств. комплексами, что приведет к коренным изменениям в самом произ-ве, к резкому повышению его эффективности. Эти возможности ныне ограничены, однако, быстродействием вычислит. машин, объемом их памяти и т. д.

Лит.: Бусленко Н. П., К теории сложных систем, «ИАН СССР. ОТН. Техн. кибернетика», 1963, № 5; Поспелов Г. С., Тейман А. И., Автоматизация процессов управления разработками больших систем или сложных комплексов, там же, 1963, № 4; Гуд Г. Х., Макол Р. Э., Системотехника. Введение в проектирование больших систем, пер. с англ., М., 1962; Hall D. A., A methodology for systems engineering, [New Jersey], 1962; Kipiniak W., Dynamic optimization and control; a variational approach, N. Y., 1961; Gosling W., The design of engineering systems, N. Y., 1962; Бир С., Кибернетика и управление производством, пер. с англ., М., 1963.

Д. М. Беркович, Н. П. Бусленко, А. Я. Лернер, А. Б. Челюсткин.

СЛУЧАЙНАЯ ВЕЛИЧИНА [random quantity, random variable; grandeur aléatoire (stochastique); Zufallgröße] — величина, к-рая в результате опыта принимает одно и только одно из множества возможных значений, заранее непредвиденное. С. в. полностью определяется ее ф-цией распределения вероятностей $F(x)=P(\xi\leqslant x)$. На практике при изучении С. в. вместо $F(x)$ часто используют нек-рые ее числовые хар-ки, напр. моменты различных порядков. Наиболее употребительны матем. ожидание, дисперсия, коэфф. корреляции. С. в., принимающая конечное или счетное число значений, наз. дискретной. С. в., для к-рой существует ф-ция $p(x)\geqslant 0$, такая, что $F(x)=\int_{-\infty}^{x} p(y)dy$, наз. непрерывной, а ф-ция $p(x)$ — плотностью распределения вероятностей С. в. Часто рассматривают векторную С. в. $\xi=(\xi_1, \xi_2,\ldots,\xi_n)$, все компоненты ξ_k к-рой являются С. в.

Лит.: Гнеденко Б. В., Курс теории вероятностей, 3 изд., М., 1961; Вентцель Е. С., Теория вероятностей, 2 изд., М., 1962; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962.

А. И. Тейман.

СЛУЧАЙНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ [random action; action (essai) aléatoire (stochastique); zufällige (stochastische) Einwirkung, zufälliger Einfluss] — *воздействие*, описываемое *случайной величиной*. Обычно САР находятся под влиянием *управляющих воздействий*, определяющих требуемые законы изменения регулируемых величин, и *возмущающих воздействий*, мешающих осуществлению этих законов. Последние часто имеют случайный характер. Управляющие воздействия содержат в себе не только полезные сигналы, но и помехи. Причины образования помех, являющихся случайными ф-циями, могут быть самыми различными, напр. в САР самолет — автопилот управляющим воздействием служат сигналы, поступающие на вход автопилота и определяющие требуемый закон движения самолета, а возмущающими воздействиями являются непрерывные, и притом случайные, изменения лобового сопротивления и подъемной силы самолета вследствие хаотич. движения масс воздуха, колебаний плотности атмосферы и др. причин. В следящей системе радиолокатора управляющим воздействием является входной сигнал, воспроизводящий закон движения цели, к-рый не может быть точно предугадан. С. в. являются помехи, накладывающиеся на полезный сигнал. В приемнике, в контактах, потенциометрах и др. частях следящей системы образуются шумы, накладывающиеся на полезный сигнал, также являющиеся С. в.

Т. о., воздействия или сигналы в САР чаще всего не являются заданными ф-циями времени, а представляют собой С. в., т. к. ни знание сигнала в любой исходный момент времени, ни знание всей предыдущей истории изменения сигнала не позволяют однозначно определить закон изменения сигнала в последующие моменты времени.

Лит.: Солодовников В. В., Статистическая динамика линейных систем автоматического управления, М., 1960; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962.

В. И. Попов.

СЛУЧАЙНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ [random disturbance; perturbation aléatoire (stochastique); zufällige Störung] — см. *Случайное воздействие*.

СЛУЧАЙНЫЙ ПРОЦЕСС (random process; processus aléatoire; zufälliger Prozeß) — см. *Вероятностный процесс*.

СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ПОЛУЧЕНИЕ (generation of random numbers; obtention de nombres aléatoires; Gewinnung von Zufallszahlen) — совокупность методов выработки случайных чисел (распределенных по требуемым законам) в процессе реализации статистич. методов решения задач на ЦВМ. Различают 3 метода С. ч. п.: выборки из таблиц, алгоритмический, или программный, и аппаратурный, или физический.

При методе **выборки из таблиц** в процессе вычислений используются случайные числа (СЧ), получаемые заранее и вводимые в виде таблицы в ЗУ машины перед решением задачи. Небольшие таблицы заносятся непосредственно в оперативное ЗУ (ОЗУ) машины, а таблицы большого объема хранятся во внешних ЗУ и передаются в ОЗУ частями, по мере необходимости. Достоинства метода: 1) незначит. время, затрачиваемое ЦВМ для получения каждого числа (после ввода таблицы в ОЗУ для выборки каждого числа требуется не более 2—3 команд); 2) воспроизводимость процесса С. ч. п., что позволяет применять метод двойного просчета для контроля правильности вычислений. Недостатки метода, ограничивающие область его применения: необходимость предварит. получения и ввода в машину обширных массивов СЧ (для нек-рых задач — десятки млн. и более), а также загромождение этими массивами больших объемов ЗУ машины.

При **алгоритмическом**, или **программном** методе СЧ получаются с помощью рекурентных соотношений типа $x_n=f(x_{n-1},x_{n-2},\ldots,x_{n-k})$, $k\leqslant n<N$, где N — объем требуемой выборки. Вид рекурентного соотношения подбирается таким, чтобы сформированная совокупность чисел обладала в пределах используемого объема статистич. св-вами СЧ с требуемым законом распределения. Полученные т. о. числа наз. псевдослучайными (ПЧ). Наиболее часто принимается $k=1$. Программа получения ПЧ хранится в машине и работает по мере необходимости. Способы выработки ПЧ характеризуются длиной цикла формирования (ДЦФ) — количеством команд (тактов) машины, к-рые необходимо выполнить для формирования одного числа, и длиной интервала апериодичности (ДИА) — количеством чисел, получаемых до вырождения псевдослучайной совокупности (до появления систематически повторяющихся групп чисел). ДЦФ определяет производительность способа (чем меньше цикл, тем выше производительность), а ДИА — объем выборки, пригодной к практич. использованию.

Процесс выработки ПЧ с заданным законом распределения распадается на формирование основной (базовой) совокупности, в качестве к-рой, как правило, принимается равновероятная псевдослучайная совокупность, и на преобразование базовой совокупности в последовательность с заданным распределением.

Для выработки равновероятной базовой совокупности можно применять следующие способы: 1) m — разрядное двоичное число x_n ($0<x_n<1$) вида $x_n=\varepsilon_1\cdot 2^{-1}+\varepsilon_2\cdot 2^{-2}+\ldots+\varepsilon_m\cdot 2^{-m}$, где ε_l принимает значения 0 и 1, возводится в квадрат $x_n^2=\delta_1\cdot 2^{-1}+\delta_2\cdot 2^{-2}+\ldots+\delta_{2m}\cdot 2^{-2m}$. Из ср. разрядов формируется новое число $x_{n+1}=f(x_n)=\delta_{\frac{m}{2}+1}\cdot 2^{-1}+\delta_{\frac{m}{2}+2}\cdot 2^{-2}+\ldots+\delta_{\frac{3m}{2}}\cdot 2^{-m}$,

к-рое и принимается в качестве очередного элемента псевдослучайной последовательности. Недостаток способа — довольно большая вероятность получения нулевого числа, после к-рого наступает нулевое вырождение последовательности. ДИА не превышает 2^m. 2) Произвольное число x_n умножается на нек-рое нечетное целое число λ, постоянное для данной совокупности ПЧ. Из получ. произведения выделяется остаток от деления на 2^m (m — разрядность ПЧ), к-рый и принимается в качестве очередного члена псевдослучайной совокупности. В общем виде $x_{n+1} \equiv \lambda \cdot x_n \pmod{2^m}$. Максимальная ДИА для этого случая может быть достигнута при $\lambda = 2^a \pm 3$, $a > 2$. 3) Число x_n умножается на нечетное целое число λ. К произведению прибавляется константа C и результат делится на 2^m. Остаток принимается в качестве x_{n+1}: $x_{n+1} \equiv \lambda \cdot x_n + C \pmod{2^m}$. ДИА не более 2^m. Возможна при $C = 2k+1$ ($k = 0, 1, 2, \ldots$), $\lambda = 2^a + 1$ либо $\lambda = 2^a - 3$, $a > 2$. 4) Формируются две последовательности целых чисел по рекурентным соотношениям: $u_{n+1} \equiv 3u_n \pmod{p}$; $v_{n+1} \equiv 7v_n \pmod{p}$. Перестановкой двоичных знаков числа v_{n+1} в обратном порядке получают новое число w_{n+1}, u_{n+1} и w_{n+1} поразрядно складываются по mod 2. Результат принимается в качестве очередного ПЧ x_{n+1}. Данный способ был апробирован на ЦВМ ЭДЗАК при $p = 2^{31} - 1$ и оказался весьма устойчивым (u_n и v_n выбирались между 1 и p). 5) В качестве ПЧ x_{n+1} принимается дробная часть линейной комбинации с целыми коэфф. произвольного набора чисел $x_0, x_1, x_2, \ldots, x_n$. В следующем формировании участвует последовательность $x_1, x_2, \ldots, x_n, x_{n+1}$ и т. д. Интервал апериодичности в данном случае может быть получен существенно бо́льшим, чем в предыдущих вариантах. Свертывание можно осуществлять по любому модулю. На машине СЕАК, напр., реализована схема $x_{n+1} \equiv [x_n + x_{n-1}] \pmod 4$, где $x_0 = \pi$, а $x_1 = 5^{17} \cdot 2^{-42}$.

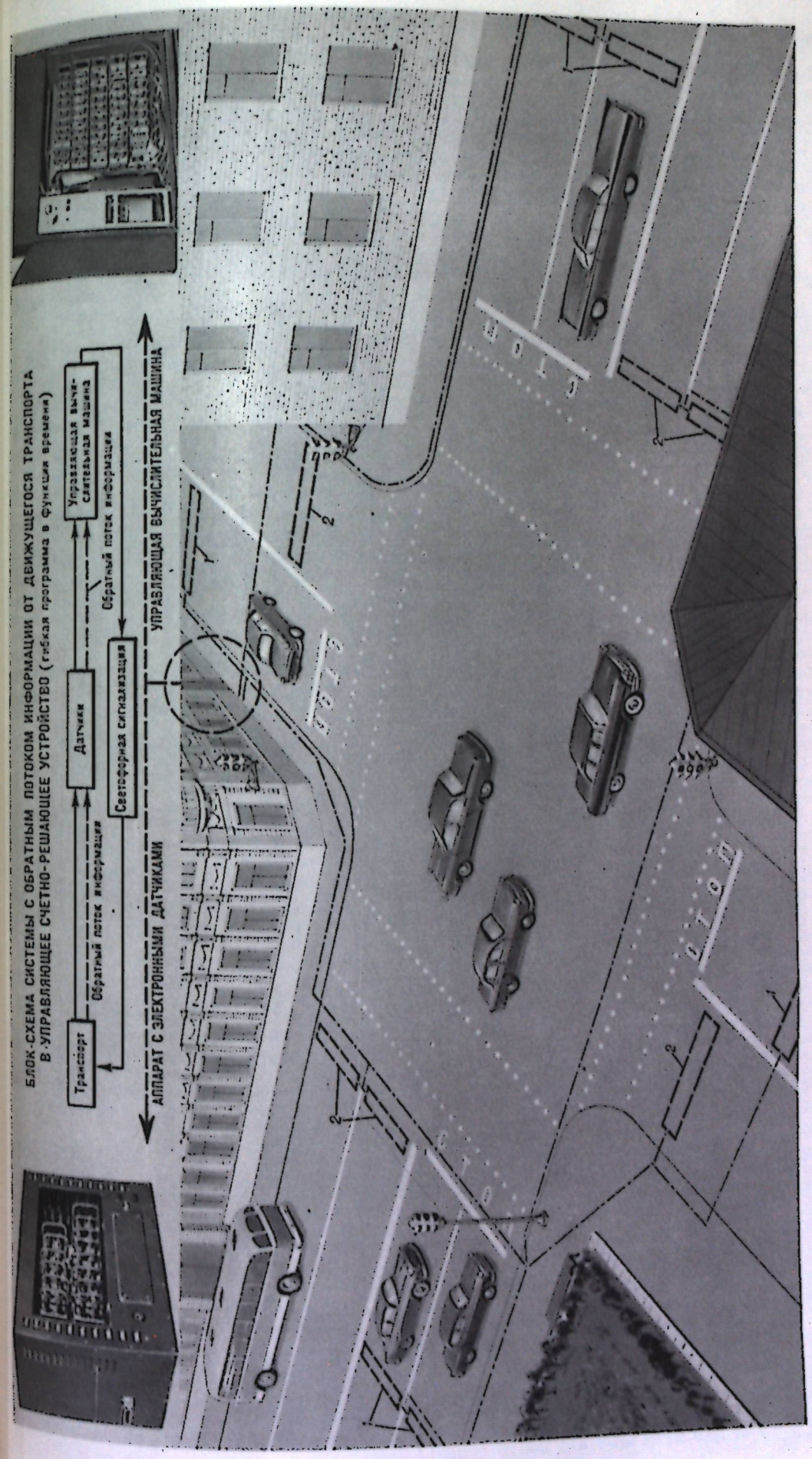
Ряд методов получения псевдослучайных последовательностей с равномерным распределением использует структурные особенности отдельных машин. Хорошо зарекомендовал себя способ, применяемый на машине «Стрела» (предложен Д. И. Голенко), к-рый можно успешно приспособить и к др. машинам с плавающей запятой. Число x_n сдвигается на семь разрядов влево. Результат складывается поадресным суммированием с x_n (операция 02 в машине «Стрела»), а полученная сумма подвергается операции «вычитание модулей с нормализацией» (операция 04) при нулевом втором операнде. Сформированное при этом число и воспринимается в качестве очередного ПЧ x_{n+1}. Цикл формирования содержит всего три команды; ДИА равна 300 000.

Номер команды	Двоичный код операции	1-й адрес	2-й адрес	3-й адрес
1	001100	a	4007	b
2	000010	b	a	a
3	000100	a	0000	a

Методы преобразования низовых совокупностей в последовательности с заданными законами распределения делят на 2 группы: универс. методы, позволяющие трансформировать базовые совокупности в последовательности с произвольными законами распределения, и частные методы, каждый из к-рых обеспечивает преобразование базовой совокупности в последовательность чисел со строго определ. законом распределения.

К универсальным относятся следующие методы: 1) Случайная совокупность, распределенная с плотностью вероятности $f(x)$ на интервале (a, b), формируется из последовательности, распределенной по закону равной вероятности на том же интервале $\left(q(x) = \frac{1}{b-a}\right)$, и равномерной последовательности, заданной на интервале (0,1). Предполагается, что $f(x) = \alpha\varphi(x) \cdot g(x) = \frac{\alpha}{b-a} g(x)$, где $g(x)$ — ф-ция, значение к-рой находится между нулем и единицей, а α — положительный пост. коэфф., выбираемый из соотношения $g(x) = \frac{b-a}{\alpha} f(x)$ так, чтобы обеспечить требуемый диапазон изменения $g(x)$. Из равновероятной совокупности, заданной на интервале (a, b), выбирается случайное число x_l и вычисляется величина $kf(x_l)$, где $k = \frac{b-a}{\alpha}$. Затем берется число u_l из последовательности, равномерно распределенной в интервале (0,1), и проверяется неравенство $kf(x_l) \geqslant u_l$. Если неравенство выполняется, число x_l принимается в качестве значения z_l искомой последовательности. В противном случае x_l отбрасывается, и весь процесс повторяется. Недостаток способа — недетерминированность периода выработки каждого СЧ.

2) Требуемая совокупность вырабатывается из одной последовательности, равномерно распределенной в интервале (0,1). Используется лемма о том, что если случайная величина имеет плотность распределения $f(x)$, то ее ф-ция распределения $y = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx$ распределена равномерно в интервале (0,1). Для получения на базе этой леммы требуемого преобразования из последовательности чисел, равномерно распределенных на интервале (0,1), выбираются числа y_l, для каждого из них решается ур-ние $y_l = \int_{-\infty}^{x_l} f(x)dx$ относительно x_l и т. о. находит искомые числа. Способ обладает полной детерминированностью интервала выработки каждого числа, однако для ряда законов связан с весьма громоздкими вычислениями, снижающими его производительность. Для упрощения процедуры выработки СЧ по этому способу часто используют прием равновероятной выборки из заранее заготовленных таблиц. Интервал (0,1) делится предварительно на n участков, и для границ каждого участка рассчитываются соответствующие значения z_i. Табл. этих чисел вводится в определ. зону ЗУ машины. В процессе решения задачи вырабатываются равновероятные коды, используемые в качестве адресов зоны для выборки из нее заранее рассчитанных чисел. Выбираемые числа соответствуют заданному распределению. Случайность каждого значения требуемой последовательности определяется случайностью адреса выборки. Этот прием существенно ускоряет моделирование требуемого закона распределения в процессе решения задачи, но оказывается неудобным, если нуж-



Автоматическое счетно-решающее устройство для регулирования уличного движения на перекрестке: 1 — входные датчики; 2 — выходные датчики. Разработано проектной конторой «Мосгортранспроект».

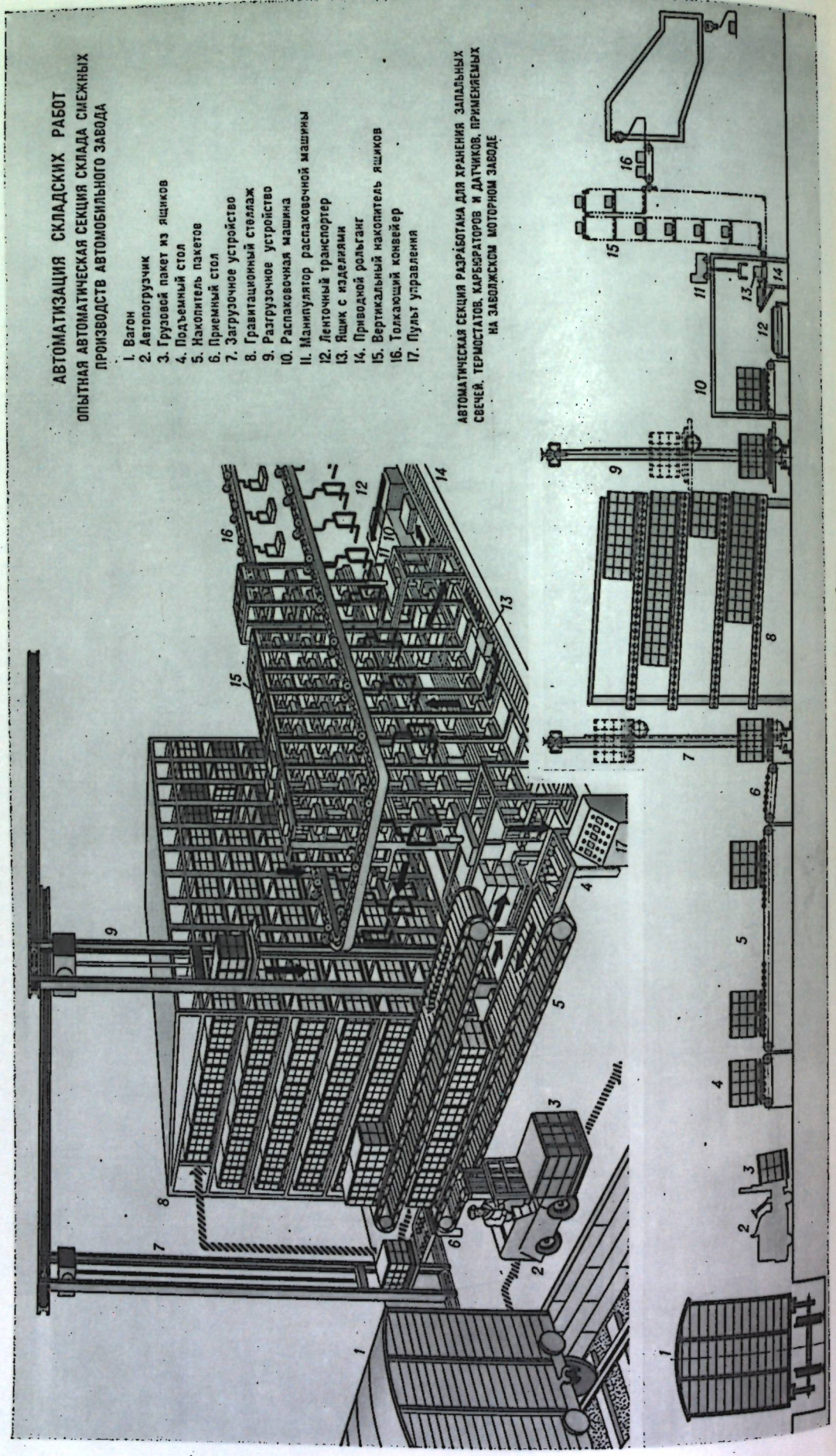


Схема автоматизации складских работ.

но получить большое количество различных значений реализуемой величины. В этом случае значительно усложняется процесс подготовки таблицы, ее ввода в машину и размещения в ЗУ. Недостаток этот устраняется применением кусочной аппроксимации законов распределения. СЧ при этом интерпретируются суммой $x_i=a_i+\eta_i$, где a_i— значение искомой величины, соответствующее границе i-того участка, а η_i— случайная величина, распределенная внутри этого участка по закону, определяемому принятым способом аппроксимации.

Наиболее просто реализуется линейная аппроксимация, при к-рой $x_i = a_i + (a_{i+1} - a_i)\alpha_i$. Практически этот прием осуществляется следующим образом. Предварительно так же, как и в предыдущих случаях, заготавливаются табл. значений a_i, соответствующие границам участков y_i. При этом определяются также для каждого участка параметры аппроксимирующего выражения (для линейной аппроксимации это — коэфф. $a_{i+1}-a_i$). Получ. величины вводятся перед решением задачи в ЗУ машины. Для получения требуемого СЧ x_i в процессе решения задачи необходимо выбрать из равновероятной совокупности два числа. Из одного формируется адрес, по к-рому выбирается значение a_i с соответствующим параметром аппроксимации. Второе число (α_i), приведенное к интервалу (0,1), используется для получения на базе аппроксимирующего выражения значения η_i. Сумма $a_i+\eta_i$ и является искомым числом. Для n участков в данном случае получаем $n\cdot 2^k$ несовпадающих значений моделируемой величины вместо n значений в предыдущем варианте (k — разрядность равновероятных чисел). При использовании метода кусочной аппроксимации необходимо учитывать, что точность аппроксимации закона распределения внутри участков в большинстве случаев не одинакова для всей области определения моделируемой величины. Поэтому параметры преобразования выбирают так, чтобы обеспечить требуемую точность на рабочих участках.

Примерами частных преобразований могут служить: а) преобразование равномерно распределенной на интервале (0,1) совокупности к последовательности бинарных цифр с заданной вероятностью выхода единицы $P(z_i=1)=p$. Из совокупности равновероятных чисел выбирается число x_i и проверяется неравенство $x_i\leqslant p$. Если оно выполняется, то полагают $z_i=1$, в противном случае $z_i=0$. Легко видеть, что $P(x_i\leqslant p)=P(z_i=1)=\int_0^p dx=P$; б) выработка нормально распредел. чисел на базе центр. предельной теоремы теории вероятностей для одинаково распредел. случайных величин. Согласно этой теореме, сумма n независимых случайных величин $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n$ с одним и тем же распределением вероятностей, каждая из к-рых имеет математич. ожидание m_ξ и ср. квадратич. отклонение σ_ξ, асимптотически нормальна с математич. ожиданием $m_\xi=nm_\xi$ и ср. квадратич. отклонением $\sigma_\xi=\sigma_\xi\sqrt{n}$. Следовательно, процедура получения чисел $z_1, z_2, \ldots, z_i, \ldots$ с нормальным распределением из равномерно распределенных на интервале (0,1) чисел $x_1, x_2, \ldots, x_i$ состоит в последовательной выборке и суммировании n равновероятных чисел $z_i=x_{j+1}+x_{j+2}+\ldots+x_{j+n}$. При этом $m_z=\frac{n}{2}$, а $\sigma_z=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{n}{3}}$. Практически выбирают, как правило, $n\geqslant 8$—12. Для улучшения асимптотич. нормальности ПЧ можно пользоваться различными корректирующими выражениями. Напр., если для получения z_i воспользоваться соотношением $z_i=\eta-\frac{1}{20n}(3\eta-\eta^3)$, где $\eta=\frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{i=1}^{n} x_i$— нормированная сумма СЧ x_i, равномерно распределенная в интервале $(-l,+l)$, то весьма близкое приближение к нормальному распределению достигается уже при $n=5$.

3) Получение СЧ, распределенных по закону Пуассона $P(k)=\frac{a^k}{k!}e^{-a}$, где a — математич. ожидание. Используется предельная теорема Пуассона, утверждающая, что вероятность наступления k событий при n независимых испытаниях, если вероятность появления каждого события при одном испытании $p_n\to 0$, а $n\to\infty$, асимптотически приближается к P_k. Для осуществления такого преобразования в ЦВМ задаются вероятностью $p_n=\frac{a}{n}$ (n выбирают так, чтобы $p_n\ll 1$; практически $p_n=0{,}1$—$0{,}2$) и производят серии из независимых испытаний, состоящих в выборке равновероятных на интервале (0,1) чисел и проверке неравенства $x_i<p$. Если неравенство выполняется, то к содержимому спец. счетчика прибавляется единица. Числа, равные количеству единиц, накопленных в счетчике во время проверки серий из n испытаний каждая, составят новую совокупность чисел, распределенных по закону Пуассона.

В связи с тем, что вместо равномерного распределения базовой совокупности на практике используется квазиравномерное распределение, возникают нек-рые расхождения между теоретич. и практич. результатами. Степень этого расхождения определяется величиной 2^{-k}, где k—разрядность базовых ПЧ. Разрядность ПЧ также, как и параметры их формирования и преобразования, должны выбираться так, чтобы обеспечить требуемое для реализуемых статистич. моделей соответствие между теоретич. и эмпирич. распределением. Испытания псевдослучайных совокупностей проводятся по следующим направлениям: а) определение ДИА для различных значений исходных величин; б) проверка «случайности» вырабатываемых чисел. ПЧ признаются локально случайными, если они формально удовлетворяют определ. образом составленной системе критериев проверки случайности распределения; в) проверка гипотезы соответствия эмпирич. распределения требуемому распределению. Проверка осуществляется на рабочем отрезке последовательности (на отрезке последовательности, к-рый будет использован в реализуемых моделях) с помощью выбранной системы критериев. Наиболее часто применяют критерий Пирсона (критерий χ^2), критерий Колмогорова и критерий ω^2.

Достоинства алгоритмического, или программного, метода выработки псевдослучайных совокупностей: отсутствие потребности в спец. оборудовании для выработки требуемых пос-

ледовательностей чисел и воспроизводимость процесса получения каждого числа, что позволяет легко восстанавливать прерванный сбоем машины этап вычислений и контролировать правильность решения методом двойного просчета. Недостатки метода: а) необходимость затрачивать машинное время для выполнения программы получения каждого ПЧ, что в ряде случаев может существенно замедлить процесс вычислений; б) возможность вырождений псевдослучайных последовательностей; в) необходимость тщательного предварит. исследования псевдослучайной последовательности для каждого набора нач. условий, а в ряде случаев и для каждой конкретной статистич. модели. Это особенно неудобно при больших моделях, требующих для своей реализации весьма обширных совокупностей СЧ; г) загрузка ОЗУ машины в процессе формирования псевдослучайных совокупностей программами их получения и промежуточными данными.

Метод удобен при эпизодич. использовании приемов статистич. испытаний на универс. ЦВМ высокой производительности, особенно если машина может выполнять несколько программ параллельно.

При **аппаратурном, или физическом,** методе С. ч. п. используются естеств. случайные физич. процессы. Процесс аппаратурного С. ч. п. также разбивается, как правило, на 2 этапа — выработка базовой равномерно распределенной совокупности и преобразование этой совокупности к последовательностям с требуемыми законами распределения. Оба этапа реализуются с помощью спец. аппаратуры, осуществляющей все необходимые преобразования независимо от работы ЦВМ. Для получения базовых последовательностей используются такие случайные физич. процессы, как шумы радиоэлектронных приборов, радиоактивный распад и др. Устройства, позволяющие преобразовывать эти процессы в совокупность чисел, равномерно распредел. на заданном интервале, наз. *датчиками случайных чисел* и являются основой аппаратуры для С. ч. п. Преобразование сформированных датчиком СЧ совокупностей производится также аппаратурным путем.

Из универс. методов наиболее удобен для аппаратурной реализации метод равновероятной выборки из таблиц. Устройство при этом содержит: датчик СЧ, формирующий равновероятные наборы, к-рые могут использоваться либо в качестве адресов таблиц, либо в качестве СЧ; дешифратор, преобразующий случайные адреса в систему управляющих сигналов, обеспечивающих обращение к соответствующей ячейке таблицы; одностороннее ЗУ, в к-ром закоммутированы таблицы чисел, соответствующие различным законам распределения; система синхронизации и общего управления устройством. Для получения СЧ из требуемой совокупности в данном случае достаточно записать в адресной части команды условный код таблицы, соответствующий требуемому распределению, и признак обращения к устройству. По этому адресу датчик СЧ выдаст на дешифратор случайный адрес, к-рый в зависимости от адресного кода в команде будет отнесен к тому блоку одностороннего накопления таблиц, к-рый отвечает заданному закону распределения. В этом случае все устройство воспринимается машиной как набор активных ячеек памяти, в каждой из к-рых в любой момент времени находится требуемое СЧ. Блоки таблиц делаются съемными, что позволяет устанавливать требуемое для каждой статистич. модели сочетание законов распределения случайных величин. Набор таких блоков составляет своеобразную библиотеку стандартных таблиц.

Достоинства аппаратурного метода: а) независимость С. ч. п. от осн. вычислит. процесса. С. ч. п. совершенно не замедляет решение задачи; б) высокое качество случайных последовательностей независимо от длины используемой последовательности. Однако это св-во С. ч. п. обеспечивается в полной мере лишь при наличии в датчике СЧ, формирующем базовые последовательности, спец. цепей для стабилизации статистич. параметров генерируемых чисел; в) удобство использования СЧ. При подготовке задачи к решению достаточно лишь предусмотреть обращение в соответствующих командах к аппаратуре С. ч. п.

Недостатки аппаратурных методов: введение дополнит. оборудования, усложняющего ЦВМ; невоспроизводимость процесса С. ч. п., что исключает в ряде случаев использование метода двойного просчета для контроля правильности вычислений. Метод целесообразен в специализированных и в универс. вычислит. машинах при массовом использовании методов статистич. испытаний.

Перспективно сочетание аппаратурных и алгоритмич. методов С. ч. п. Такое сочетание можно осуществить: 1) периодич. возбуждением с помощью простейшего датчика СЧ псевдослучайных последовательностей для предотвращения их вырождения. Датчик СЧ в этом случае может оказаться предельно простым, поскольку время для формирования возбуждающего числа можно допустить довольно большим, а требования к статистич. стабильности этих чисел существенно ослабляются. Здесь возможно воспроизводить повторно последовательность между двумя возбуждениями. Для этого достаточно запомнить последний возбуждающий код; 2) аппаратурным формированием базовых совокупностей и программным их преобразованием в последовательности с требуемыми распределениями. Это удобно, напр., для реализации метода кусочной аппроксимации законов распределения. В таком случае получение равновероятных чисел можно обеспечить аппаратурным путем, а выборку компонент преобразования из таблиц и вычисление выражения $a_i + \psi\ (a_i)$ — программным. Табл. в этом случае хранятся в оперативном или буферном ЗУ машины, поскольку их объем можно сделать весьма малым. Особенно эффективно в машине с мультипрограммным управлением; 3) схемной реализацией наиболее удачных алгоритмов получения псевдослучайной последовательности. Каждое число при этом будет получаться с помощью одной команды, что удобно при микропрограммном управлении.

Лит.: 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; Большов Л. Н., О преобразованиях случайных величин, «Теория вероятностей и ее применение», 1959, т. 4, вып. 2; Данильченко И. А., Вырабатывание вероятностей появления двоичных цифр смешением прямых и инверсных представлений, «Вопросы теории математических машин», 1962, № 2; Tocher K. D., The application of automatic computers to sampling experiments, «J. Roy. Statist. Soc. B», 1954, v. 16, № 1; Davis P., Rabinowitz P., Some Monte-Carlo experiments in computing multiple integrals, «Math. Tables and other Aids Comput.», 1956, v. 10, № 53; Greenberger M., Notes on a new pseudo-random number generator, «J. Assoc. Comput. Machinery», 1961, v. 8, №2. *И. А. Данильченко.*

СМЕСИТЕЛЬ [mixer; mélangeur (de signaux); Mischglied, Mischanordnung, Mischer] — см. *Преобразователь частоты.*

СМЕШАННАЯ СТРАТЕГИЯ (mixed strategy; stratégie mixte; Mischstrategie) — стратегия, осуществляющая выбор каждой из возможностей (чистых стратегий) в определенной доле случаев (с определенными вероятностями). См. *Игр теория.*

СМЕЩЕНИЕ постоянное (в электронике) (bias; déplacement; Verschiebung) — постоянное напряжение, приложенное между электродами электронного прибора (электронной лампы, ПП прибора) для сдвига (смещения) рабочей точки на вольтамперной хар-ке прибора. Подачей С., кроме выбора рабочей точки и обеспечения заданного режима прибора, могут быть установлены «уровень задержки» АРУ, уровень ограничения, порог срабатывания (в импульсных системах), может быть «заперта» лампа, установлен начальный уровень напряжения на отклоняющих электродах ЭЛТ и т. д. Напряжение С. можно подать как от отдельной батареи, так и от общей (анодной) цепи питания через соответствующий реостат или делитель напряжения. Для обеспечения оптимального режима в генераторах и усилит. каскадах в подавляющем большинстве случаев применяют *смещение автоматическое.* В магнитных устройствах (напр., магнитных усилителях, ферритах и др.) С. пользуются для выбора или регулирования положения рабочей точки. *И. А. Минасян.*

СМЕЩЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ [self-bias; polarisation (déplacement) automatique; automatische Verschiebung] — пост. напряжение на сетке электронной лампы, возникающее за счет протекания катодного тока через сопротивление в катодной цепи лампы. В отличие от напряжения смещения, подаваемого на сетку электронной лампы от автономных источников тока (батарея, аккумулятор, выпрямитель), С. а. технически осуществляется значительно проще, благодаря чему находит на практике широчайшее применение. В схеме С. а. рабочая точка на хар-ке лампы устанавливается автоматически за счет тока самой лампы. Выбор рабочей точки, а следовательно, и величина напряжения С. а. определяются назначением каскада (усилитель класса А, AB_1, AB_2, умножитель, ограничитель, генератор и т.п.) и типом электронной лампы. Для пентодов: $U_c(I_a + I_э)\ R_к$, где: U_c — напряжение С. а. (*в*), I_a — анодный ток лампы (*а*), $I_э$ — экранный ток лампы (*а*), $R_к$ — сопротивление С. а. (*ом*). Термин «С. а.» применяется чаще к лампам, но по существу он справедлив и для транзисторов, где величина напряжения С. а. может быть определена как $E_э = I_э R_э + 0{,}2$; здесь $E_э$ — напряжение С. а. (*в*); $I_э$ — ток эмиттера (*а*); $R_э$ — сопротивление в цепи эмиттера (*ом*). На практике для транзисторов $E_э$ выбирается в пределах 0,7—1,5 *в*. Для диодов термин «С. а.» применяется еще реже, однако в результате протекания постоянной составляющей анодного тока диода через сопротивление нагрузки образуется С. а. рабочей точки диода. При больших величинах детектируемого сигнала рабочая точка на хар-ке диода может быть значительно смещена влево, что приводит, в частности, к эффекту подавления слабого сигнала сильным.

Лит.: Лэнди Р., Дэвис Д., Албрехт А., Справочник радиоинженера, М.—Л., 1961. *И. А. Стрельцов.*

СОБИРАТЕЛЬНАЯ СХЕМА, логич., элемент типа «или», вентиль «или», дешифратор «или» (collecting circuit; schema de montage; Sammelschaltung) — переключающая схема с неск. входами для двоичных сигналов и одним выходом, сигнал на к-ром появляется, когда есть сигнал хотя бы на одном из входов. С. с. входит в качестве одного из элементов в *элементов систему ЦВМ* и широко применяется в вычислит. технике и цифровой автоматике для реализации операции логич. сложения (операции дизъюнкции) ($A+B$, $A \vee B$, см. *Алгебра логики*). В отличие от С. с. схемы «только или», «исключающее или» или схема несовпадения реализуют операцию отрицания равнозначности ($A \vee B = \bar{A}B \vee A\bar{B}$). Условное обозначение С. с. в различных вариантах см. *Вычислительных машин символика.* Если 1 изображает наличие сигнала, а 0 — его отсутствие, то логика работы С. с. на три входа определяется табл. истинности и иллюстрируется временной диаграммой (рис. 1). С. с. позволяет неск. источникам сигналов работать на общую нагрузку, разделяя при этом источники от взаимного влияния друг на друга. Важное св-во

Входы			Выход
A	*B*	*C*	*D*
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	1	1
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

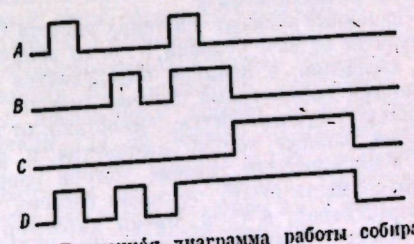


Рис. 1. Временная диаграмма работы собират. схемы на 3 входа.

С. с. и *совпадения схемы* — их взаимообратимость. Например, С. с. для положительных потенц. сигналов (единиц) будет одновременно схемой совпадения для отрицатель-

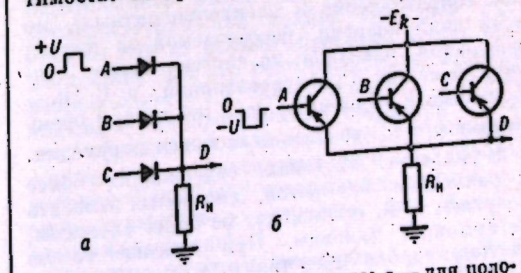


Рис. 2. Собират. схема на 3 входа: *а* — для положит. сигналов на ПП диодах; *б* — для отрицат. сигналов на ПП триодах.

ных потенц. сигналов (нулей) и наоборот. Наибольшее распространение получили контактные С. с. на электромеханич. реле, бесконтактные С. с. на ПП диодах (рис. 2, *а*) и триодах (рис. 2, *б*), на магнитных элементах.

Г. Б. Смирнов.

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ (с в о б о д н ы е к о л е б а н и я) (proper oscillations; oscillations propres; Eigenschwingungen) — колебания в любой физич. системе (механич., электромагнитной и др.), совершаемые при отсутствии внешнего воздействия за счет первоначально накопленной энергии. С. к. могут существовать только при условии, что в колебат. системе возможно обратимое преобразование энергии из одной формы в др.: потенциальной в кинетич., электрической в магнитную (и обратно). Поэтому С. к. могут возникнуть в колебат. системе, содержащей элементы, способные запасать энергию различной формы и обладающие возможностью обмениваться энергией. Примерами С. к. являются: движение маятника, совершающего колебания относительно положения равновесия, колебания груза массы m, подвешенного на пружине с коэфф. упругости k, и электромагнитные колебания в электрич. контуре, составленном из емкости C и индуктивности L.

С. к. в любой системе описываются однородным дифференц. ур-нием вида: $\frac{d^2x}{dt^2}+2\delta\frac{dx}{dt}+\omega_0^2x=0$, где δ — коэфф., характеризующий потери в колебат. системе (коэфф. затухания), ω_0 — коэфф., характеризующий ее инерционные св-ва ($\omega_0=\sqrt{k/m}$; или $\omega_0=1/\sqrt{LC}$ — собственная частота колебаний системы), x — величина смещения в механич. системе или тока в электромагнитной. Данное ур-ние имеет общее решение: $x=Ae^{-\delta t}\sin(\omega t+\varphi)$, где A — амплитуда, ω — круговая частота С. к., φ — их начальная фаза.

В линейных колебат. системах частота С. к. не зависит от нач. условий, т. е. от величины нач. смещения, а целиком определяется собственными параметрами системы (массой, упругостью, индуктивностью, емкостью); от нач. условий зависят только амплитуда и фаза С. к. Если в колебат. системе потери энергии не имеют места ($\delta=0$), то такая система наз. консервативной, и С. к. имеют характер незатухающих гармонич. колебаний:

$$x=A\sin(\omega_0 t+\varphi).$$

В реальных физич. системах всегда имеются потери (трение в механич. системах, активное сопротивление в электромагнитных), но если доля энергии, рассеиваемой за период колебания, невелика, то систему можно считать близкой к консервативной, а С. к.— близкими к гармонич.; если же потери очень велики $\delta^2>\omega_0^2$, то С. к. становятся апериодич.

В колебат. системах, содержащих более 2 различных элементов, способных запасать энергию, С. к. происходят по более сложным, негармонич. законам. При анализе такую систему удобно представить в виде простейших (парциальных) систем, включающих в себя не более 2 элементов, способных обмениваться энергией, и затем уже рассматривать взаимодействие и обмен энергией между парциальными системами (см. *Связанные цепи*). С к. в такой системе наз. связанными колебаниями; их характер зависит от величины связи между системами (см. *Связи коэффициент*). В электрич. колебат. контурах с сосредоточенными постоянными С. к. происходят за счет обмена энергией между электрич. полем конденсатора и магнитным полем катушки индуктивности; в СВЧ колебат. контурах С. к. происходят вследствие обмена энергией между электрич. и магнитным полями, сосредоточенными непосредственно в замкнутом объеме пространства, ограниченном электропроводящими поверхностями (см. *Резонатор объемный*). В огранич. системах с распредел. параметрами С. к. представляют собой стоячие волны и зависят от характера начального распределения энергии, скорости распространения волн, размеров системы и способа закрепления ее границ. Примерами С. к. распредел. системы являются колебания струны, стоячие волны в длинных линиях и т. п. С. к. имеют большое практич. значение в радиоэлектронике, автоматике и пром. машиностроении. Часто С. к. вредны (вибрации механизмов и конструкций, качка корабля, самовозбуждение петли авторегулирования или усилит. схемы и т. д.), и их приходится устранять введением спец. демпфирующих устройств или соответствующим выбором параметров системы.

Лит.: Г о р е л и к Г. С., Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику, 2 изд., М., 1959; А с с е е в Б. П., Колебательные цепи, 3 изд., М., 1955.

А. П. Шпаков.

СОБЫТИЕ (event; évenement; Ereignis) — множество *последовательностей входных* в нек-ром фиксированном входном алфавите. Это множество может быть как конечным, так и бесконечным. В алфавите $\{0,1\}$ примером конечного С. служит множество всех последовательностей из нулей и единиц длины $\leqslant 5$ (обозначим его через s'), примером бесконечного С. (т. е. С., содержащего бесконечное число последовательностей) — множество всех последовательностей, содержащих хотя бы 2 единицы подряд (обозначим его через s''). Говорят, что С. наступает, если на входе появляется нек-рая входная последовательность, принадлежащая этому С. Напр., для конечного автомата с одним входом s' обязательно наступает для любого момента $t\leqslant 5$, а для $t>5$ оно никогда не наступит; событие s'' наступает, если появилась одна из последовательностей 010110, 11 000111 и т. д. Автомат A представляет С. s выходным символом α, если α появляется на выходе автомата A тогда и только тогда, когда наступает С. s (подробнее см. *Представление событий*).

Если автомат имеет n выходных комбинаций $\alpha_1, \ldots, \alpha_n$, то все бесконечное множество входных последовательностей можно разбить на n множеств: множество s_1 тех последовательностей, в ответ на к-рые появляется α_1; множество s_2 последовательностей, в ответ на к-рые появляется α_2; ..., множество s_n последовательностей, в ответ на к-рые появляется α_n. Получим систему событий $s_1, \ldots, s_n$, представляемых в данном автомате его выходами. Заданию такой системы событий вместе с соответствующими выходами полностью определяет функционирование автомата. Поэтому понятие «С.» является формализацией, математич. уточнением интуитивного понятия *релейного устройства условий работы*. Не все С. представимы в конечном автомате (пример непредставимого С. см. *Конечный автомат*). Представимыми являются только т. н. «регулярные» события.

Лит.: Г л у ш к о в В. М., Синтез цифровых автоматов, М., 1962.

О. П. Кузнецов.

СОВМЕЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ В МАШИНЕ (combination of operations in a machine, overlapping operations; cumul d'opérations dans une machine; Vereinigung der Maschinenoperationen) — один из важнейших способов повышения производительности и эффективности использования оборудования электронных ЦВМ путем частичного или полного перекрытия (совмещения) времени выполнения рядом функцион. устройств отдельных команд или последовательностей команд одной или разных программ.

Различают три уровня С. о. в м.: 1) параллельное выполнение отдельными узлами и блоками элементарных действий (передача кодов, сдвиг, сложение, инверсия кодов и т. п.) — совмещение микроопераций; 2) параллельное выполнение (частичное или полное) отдельными устройствами машины неск. команд одной программы — локальное совмещение; 3) параллельное выполнение отдельными устройствами или машинами вычислит. системы команд, принадлежащих разным программам одной задачи или программам разных задач — мультипрограммирование.

С о в м е щ е н и е м и к р о о п е р а ц и й. Для ускорения операции сложения *сумматор* делится на группы, причем перенос в пределах разрядов группы образуется параллельно, а распространяется между группами последовательно; происходит частичное совмещение распространения переносов внутри различных групп. Для ускорения операций умножения и деления совмещаются элементарные операции сдвига и сложения (вычитания); в сумматорах с запоминанием переносов используется форма незаверш. представления числа в виде поразрядной суммы и переносов с совмещением действий над суммой и переносами. Часто умножение производится сразу на неск. разрядов множителя. В машине «Стрич» имеет место одноврем. умножение на 12 разрядов множителя, разбитых на 4 группы, и используются 4 полноразрядных комбинац. сумматора с запоминанием переносов для образования отдельно суммы и переносов 4 частичных произведений. В результате время умножения (2,7 *мксек*) лишь в два раза превышает время сложения для операций с плавающей занятой. Подобным образом время операции деления может быть значительно сокращено за счет использования неск. кратных делителей (напр., 1, $^1/_2$, $^3/_4$) и одновременного сравнения со старшими разрядами всех кратных делителей и частного остатка. Это позволяет за один цикл сложения (вычитания) получать в среднем 3,5 цифры частного. В машине НОРК «генератор произведений» образует одновременно 9 кратных величин множимого и подает их на вентили, управляемые определ. разрядами множителя. После соответствующего сдвига эти 9 частичных произведений суммируются на ряде суммирующих блоков. Здесь время умножения также лишь в 2 раза превышает время сложения. В УУ параллельно с др. операциями в осн. такте работы машины могут одновременно модифицироваться неск. адресов. При наличии неск. счетчиков команд (в машине БЭСМ — двух), управляющих последовательностью команд, элементарные действия могут производиться на всех счетчиках одновременно. Наконец, в ЗУ могут совмещенно работать неск. блоков памяти по выборке кодов, тогда как работа адресной части разделена во времени для каждого блока.

Л о к а л ь н о е с о в м е щ е н и е выполнения команд одной программы состоит в параллельном выполнении отдельных этапов соседних команд (выборка кода команды, выборка операндов из памяти, произ-во действия, отсылка результата). При таком совмещении достигается высокая скорость выполнения команд внутри одной программы. Простейшим действием является выборка кода следующей команды во время выполнения операции в АУ (машины «Урал», ИБМ-701). При наличии для хранения чисел и команд отдельных блоков памяти можно совместить выборку из памяти следующей команды с выборкой операнда для данной команды. Можно также совместить выборку чисел и команд с выполнением операции. При этом для одноадресной машины выполняются одновременно различные этапы 3 соседних команд. Время обращения к памяти сокращается путем разбиения оперативной памяти на ряд отдельных блоков, к каждому из к-рых возможно автономное обращение. Оперативное ЗУ на магнитных сердечниках машины ИБМ-7030 сдержит 6 блоков (4 для чисел и 2 для команд) на 16 384 слова каждый с циклом чтения-записи 2,1 *мксек*. Для получения совмещения выборки операндов последоват. адреса распределяются среди различных блоков. Благодаря этому эффективное время выборки данных получают порядка 0,5 *мксек*. Наличие неск. независимо работающих блоков памяти позволяет одновременно (за один полный цикл обращения) выбрать 2 полных команды и 4 операнда. Одновременно с этим могут вырабатываться адреса операндов (индексацией или косвенной адресацией) для двух предыдущих команд и выполняться действия для др. команд. В машине ИБМ-7030 на разных стадиях могут одновременно выполняться до 11 команд. Согласование работы быстродействующего АУ и неск. относительно медленнодействующих, но одновременно работающих блоков памяти возможно с помощью дополнит. буферного устройства, т. н. виртуальной памяти [2].

М у л ь т и п р о г р а м м и р о в а н и е — параллельное выполнение двух или более последовательностей команд из одной программы или из разных программ может производиться или за счет разделения времени работы одного УУ (амер. машина МН-800, имеющая ряд программных счетчиков с цикл. обращением к каждой из 8 программ), или за счет использования неск. УУ (франц. машина «Гамма-60», содержащая ряд независимо управляемых устройств, см. *Мультипрограммирование*).

Развитие метода совмещения выполнения различных частей разных задач привело к созданию вычислит. систем, состоящих из неск. машин (см. *Комплексирование машин*) с неодинаковыми ф-циями, и вычислит. машин, построенных по полиморфич. принципу с перем. структурой. Последние машины содержат неск. арифметич., логич. блоков,

неск. блоков обмена информацией с внешними устройствами и долговрем. памятью, работающих автономно.

Лит.: 1) Кибернетический сборник, № 2, М., 1961; 2) Кибернетический сборник, № 5, М., 1962; 3) Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г., О возможности построения вычислительных систем высокой производительности, 2 изд., Новосибирск, 1963; 4) «Труды института радиоинженеров» (США), рус. пер., 1961, № 1, 1962, № 5; 5) Planning a computer system. Project stretch, N. Y., 1962. *Г. Б. Смирнов.*

СОВПАДЕНИЙ СХЕМА (and-gate, coincidence circuit; circuit de coïncidence; Koinzidenzschaltung, Torschaltung) — 1) Логический элемент типа «и», вентиль, клапан, дешифратор «и», ключ «и», стробирующая схема — переключающая схема (прибор) с неск. входами для сигналов дискретной двоичной природы и одним выходом, сигнал на к-ром появляется только тогда, когда есть сигналы на всех входах одновременно. С. с. обычно входит в качестве одной из осн. составляющих в *элементов систему ЦВМ* и широко применяется в вычислит. технике и цифровой автоматике для реализации операции логического умножения или операции конъюнкции ($A \cdot B$, $A \wedge B$, $A\&B$, см. *Алгебра логики*). Условное обозначение С. с. в различных вариантах см. *Вычислительных машин символика*. Если 1 изображает наличие сигнала, а 0 — его отсутствие, то логика работы С. с. на 3 входа определяется табл. истинности С. с. и иллюстрируется временной диаграммой (рис. 1), где выходной сигнал соответствует совпадающей части трех входных сигналов.

Входы			Выход
A	*B*	*C*	*D*
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
1	1	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	1

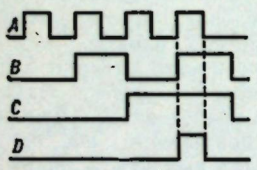


Рис. 1. Временна́я диаграмма работы схемы совпадения на 3 входа.

В пром. автоматике часто используются контактные логич. элементы, включающие в себя С. с., выполненные на электромеханич. реле с числом обмоток на катушке реле, равным числу входных переменных или последоват. включением контактов n однообмоточных реле (рис. 2, *а*). В ЦВМ наибольшее распространение получили бесконтактные С. с. комбинац. (асинхронного) типа на электронных лампах, ПП диодах и триодах (рис. 2, *б*, *в*), на феррит-транзисторных элементах и др. Эти С. с. можно характеризовать следующими параметрами: а) коэфф. передачи — отношение величин выходного и входного сигналов (токовых или потенциальных). В пассивных С. с. коэфф. передачи <1; для активных С. с., содержащих усилит. элемент, коэфф. >1. Поэтому для последних часто вводится коэфф. разветвления, равный числу логич. элементов, на к-рое может работать данный элемент без допустимого ухудшения своих параметров; б) отношение полезного сигнала к помехе. Макс. ложный сигнал, как правило, будет тогда, когда из n сигналов на входах С. с. отсутствует только один. В диодно-реостатной С. с. (рис. 2, *б*) для положит. сигналов это произойдет, когда закрыт $(n-1)$ диод и

Рис. 2. Схема совпадения для положит. сигналов: *а* — на реле; *б* — на ПП диодах; *в* — на ПП триодах.

$$u_{\text{ложн. макс.}} \approx E_1 (1-1/n) \frac{1}{R_1/R_2+1}$$

в предположении, что $U_{вых}=0$ и $r_{пр.диода}=0$, когда все диоды открыты. Ложный сигнал тем меньше, чем меньше число входов, и уменьшается с увеличением отношения R_1/R_2, где R_2 включает выходное сопротивление источника сигнала. Для уменьшения ложного сигнала, пользуясь св-вом ассоциативности операции логич. умножения, строят цепочку из С. с. с меньшим числом входов; в) время переключения или время запаздывания. Для схемы рис 2, *б* это будет время нарастания выходного сигнала, к-рое определяется паразитными параметрами выхода С. с. и нагрузки.

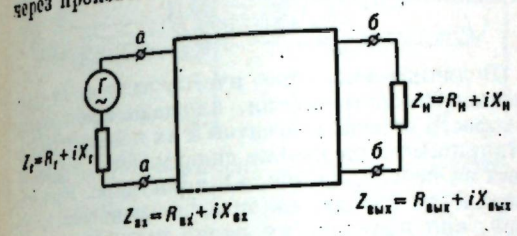
Для уменьшения времени переключения используют различные методы коррекции. С. с. на магнитных и магнитно-полупроводниковых элементах, сигнал на выходе к-рых появляется в момент действия тактовых или синхронизирующих импульсов, относятся к однотактным, двухтактным или многотактным схемам синхронного типа. Время запаздывания в таких схемах определяется частотой тактовых сигналов. Развитие С. с. идет по пути применения новых быстродействующих и надежных элементов.

Лит.: Прессман А. И., Расчет и проектирование схем на полупроводниковых приборах для цифровых вычислительных машин, пер. [с англ.], М., 1963; Васильева Н. П., Гашковец И. С., Логические элементы в промышленной автоматике, М.—Л., 1962. *Г. Б. Смирнов.*

2) Электронная схема, используемая в дешифраторах и логич. устройствах для определения временно́го совпадения двух сигналов. В каскаде совпадений, выполненном на пентоде, на управляющую сетку лампы в момент t_2 поступает положит. импульс U_1. На экранную сетку лампы подается положит. импульс U_2. Если моменты t_1 и t_3 прихода импульса U_2 не совпадают с моментом t_2 прихода импульса U_1, то лампа закрыта. Если моменты подачи обоих импульсов совпадают, то лампа открывается и в ее анодной цепи образуется импульс $U_{вых}$. Т. о., наличие сигнала на выходе каскада совпадений свидетельствует о временно́м совпадении двух сигналов. *Е. Ю. Напиенп.*

СОГЛАСОВАННАЯ НАГРУЗКА (matched load; charge accordée; übereinstimmende Belastung) — нагрузка, имеющая электрич. сопротивление такой величины, при к-рой мощность, поступающая от источника в нагрузку, максимальна. Условием передачи макс. мощности от генератора, обладающего внутренним сопротивлением $Z_г=R_г+iX_г$, в нагрузку $Z_н=R_н+iX_н$ является равенство между собой

активных составляющих сопротивлений $R_н=R_г$ и комплексная сопряженность реактивных составляющих сопротивлений $X_н=-X_г$. Если $X_г$ имеет индуктивный характер, то $X_н$ должно иметь емкостный, и наоборот, а абс. величины сопротивлений $|X_н|$ и $|X_г|$ должны быть одинаковыми. Если нагрузка подключается к генератору не непосредственно, а через произвольный четырехполюсник (рис.),



то условие согласования, рассматриваемое в точках подсоединения генератора, имеет вид: $R_г=R_{вх}$; $X_г=-X_{вх}$. Если четырехполюсник не имеет потерь (реактивный четырехполюсник, идеальная линия передачи), то выполнение условия согласования генератора с входным сопротивлением четырехполюсника в точках *а—а* обеспечивает автоматически и условие согласования выходного сопротивления четырехполюсника с нагрузкой в точках *б—б*. Это важное свойство широко используется для согласования произвольных сопротивлений нагрузки и генератора при помощи согласующих устройств. В технике СВЧ под условием согласования генератора с линией передачи и линии с оконечной нагрузкой обычно понимают выполнение равенств $Z_г=Z_0$ и $Z_н=Z_0$, где Z_0 — волновое сопротивление линии. Поэтому для СВЧ генераторов С. н. является линия, входное сопротивление к-рой равно внутреннему сопротивлению генератора. Если $Z_г \neq Z_0$, то передача макс. мощности в оконечную нагрузку обеспечивается при $Z_н \neq Z_0$, что называется сопряженным согласованием.

При сопряженном согласовании в любом сечении линии без потерь, связывающей генератор с нагрузкой, должно выполняться условие комплексной сопряженности входного сопротивления линии в сторону генератора

$$Z_1 = Z_0 \frac{Z_г + iZ_0 \operatorname{tg} kl_1}{Z_0 + iZ_г \operatorname{tg} kl_1}$$

и входного сопротивления линии в сторону нагрузки

$$Z_2 = Z_0 \frac{Z_н + iZ_0 \operatorname{tg} kl_2}{Z_0 + iZ_н \operatorname{tg} kl_2},$$

где l_1 и l_2 — расстояния до генератора и нагрузки от данного сечения, а k — постоянная распространения. По многим причинам такой режим работы нежелателен, т. к. в линии при этом устанавливается режим стоячих волн, приводящий к электрич. перегрузкам линии, погрешностям при измерениях, большой частотной зависимости согласования и т. д. Критерием согласования оконечной нагрузки с линией является отсутствие отражения от нагрузки, т. е. минимум коэфф. стоячей волны (КСВН) в линии.

Под С. н. в технике СВЧ часто подразумевают оконечную поглотит. нагрузку, применяемую при измерениях, в качестве эквивалентов антенн, поглотителей во вторичных линиях направленных ответвителей и др. Конструктивно такие С. н. делятся, в зависимости от диапазона волн, на коаксиальные и волноводные, а в зависимости от уровня мощности — на С. н. малой мощности и С. н. большой мощности. Поглотительные С. н. выполняются из материала, способного поглощать энергию СВЧ поля; такие материалы должны вносить значит. потери в передающий тракт. Для уменьшения отражений С. н. делают в виде заостренных пластин, конусов или стержней, помещаемых в волновод или коаксиальную линию в плоскости распределения электрич. поля; при этом поглотитель может быть распределен как по поверхности, так и по объему С. н. В качестве поглощающего материала применяется графит, наносимый в виде коллоидного раствора на поверхность или входящий в смесь с песком, керамикой, пластмассой, порошковое железо, нихром и др. С. н., рассчитанные на большой уровень мощности, снабжаются радиаторами для отвода выделяемого тепла или имеют водяное охлаждение. Основными требованиями, предъявляемыми к С. н. на СВЧ, являются: минимум КСВН в заданном диапазоне частот, максимум мощности, безопасной для нагрузки (средней и импульсной), независимость согласования от темп-ры, влажности, старения, ударов, вибраций и т. д. Величина КСВН С. н. лежит в пределах 1,05—1,5. Реже требуются С. н. с КСВН $\leqslant 1{,}02$.

Лит.: Саусворт Дж. К., Принципы и применения волноводной передачи, пер. с англ., М., 1955; Слэтер Дж., Передача ультракоротких радиоволн, пер. [с англ.], М., 1946. *А. П. Шпаков.*

СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (в электрич. цепях) (matching device; dispositif de réalignement; Anpassungsanordnung) — устройство, обеспечивающее передачу макс. мощности от источника к нагрузке, если сама величина и характер нагрузочного сопротивления не удовлетворяют условию согласования (комплексная сопряженность внутреннему сопротивлению генератора). В общем случае С. у. представляет собой реактивный *четырехполюсник*, включаемый между источником электрич. сигнала и нагрузкой. На НЧ обычно С. у. является тр-р, позволяющий согласовывать сопротивления в достаточно широких пределах. Аналогичным св-вом обладает и *катодный повторитель*, при помощи к-рого чаще всего согласуют два каскада с различными выходным и входным сопротивлениями. На СВЧ С. у. наз. тр-ры полных сопротивлений. С. у. изменяет амплитуды и фазы *волн стоячих* на входе линии, создает заданную величину полного сопротивления в заданной точке линии при условии, что линия нагружена на сопротивление, равное волновому. С. у. обеспечивает также заданную величину входного сопротивления линии, в случае, когда линия нагружена на сопротивление, отличное от волнового. СВЧ С. у. делятся на трансформирующие С. у. и С. у., компенсирующие отражения в линии. Любой отрезок линии передачи трансформирует сопротивление нагрузки $Z_н$ в сопротивление $Z_{вх}$, величина к-рого зависит от длины отрезка линии и его волнового сопротивления. Чаще всего в качестве трансформирующего С. у. применяется «четвертьволновая линия», т. к. при длине линии $l=\frac{\lambda}{4}$ ее $Z_{вх}=\frac{Z_0^2}{Z_н}$. Величина волнового сопротивления четвертьволнового

отрезка линии, необходимого для согласования сопротивлений Z_1 и Z_2, определяется выражением: $Z_0=\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$. Более сложное трансформирующее С. у. состоит из двух или трех включаемых последовательно четвертьволновых отрезков линии, выполненных в виде диэлектрич. втулок или вставок, или же из отрезков линии с воздушным заполнением. Для обеспечения согласования в более широком диапазоне изменения согласуемых сопротивлений и в более широком диапазоне частот расстояние между четвертьволновыми тр-рами может быть переменным. Иногда применяются многосекционные тр-ры, составленные из большого числа четвертьволновых отрезков линии, к-рые в пределе приводят к С. у. в виде плавного перехода (или линии с плавно меняющимися параметрами). Др. типом трансформирующего С. у. являются шлейфовые тр-ры, представляющие собой короткозамкнутые поршни, включенные параллельно основной линии через расстояние, составляющее определ. долю длины волны в линии, чаще всего через четверть длины волны. Обычно бывает достаточно трех таких «шлейфов» для обеспечения любого сопротивления на входе линии при любом сопротивлении нагрузки. Очень часто вместо «шлейфов» применяют реактивные штыри, иногда довольно сложной конфигурации. Однако в этом случае сужается диапазон трансформируемых сопротивлений. Особым типом трансформирующего С. у. является фазовращатель, к-рый меняет фазу коэфф. отражения, но не меняет абс. величины коэфф. отражения (амплитуды стоячей волны). Фазовращатель чаще всего выполняется из диэлектрич. пластины, перемещаемой внутри волновода, или ферритового стержня, параметры к-рого меняются в зависимости от величины намагниченности. С. у., к-рые служат для устранения отражений от произвольной нагрузки, представляют собой реактивный элемент (штырь, диафрагму, диэлектрич. втулку, одиночный шлейф и т. д.), включаемый в том месте линии, в к-ром реактивное сопротивление линии обратно по знаку и равно по абс. величине сопротивлению реактивного элемента. В этом случае фазы коэфф. отражения будут противоположны, т. е. отражение от реактивного элемента компенсирует отражения от несогласованной нагрузки. Основное требование к С. у. СВЧ диапазона—обеспечение минимума коэфф. стоячей волны в наибольшей полосе частот. Для увеличения диапазонности С. у. чаще всего приходится увеличивать число регулируемых согласующих элементов, что усложняет конструкцию. Наиболее широкополосным С. у. является линия с плавно меняющимися параметрами (плавный переход).

Лит.: Линии передачи сантиметровых волн, пер. с англ., М., 1951.

А. П. Шпаков.

СОЛИОН. хи м о т р о н н ы й д а т ч и к (solion; solion; Solion), — прибор, основанный на управлении обратимой электрохимич. реакцией и использовании электроосмотич. явлений. Применяется в электронике в роли датчиков и управляющих элементов.

Для С. характерны высокая чувствительность, малое потребление энергии (до 1 *мвт*), большие значения выходных сигналов, используемых без усиления, малость размеров и надежность в работе. Он обычно представляет собой ячейку с платиновыми электродами, заполненную водным раствором KJ (0,5 N) и J_2(10^{-2} N). В С. протекают следующие реакции: образование иодина

$$J^- + J_2 \rightleftarrows (J_3)^-,$$

катодный процесс

$$(J_3)^- + 2e \rightarrow 3J^-$$

и анодный процесс

$$3J^- - 2e \rightarrow (J_3)^-.$$

Величина тока через ячейку зависит от прилагаемого напряжения, площади электродов, скорости подачи реагентов и их концентрации. Напряжение на ячейке складывается из падения на катоде, на аноде и в растворе. При поверхности катода, значительно меньшей анодной, оно практически равно катодному падению, и для управления током существенны условия в области катода. Т. о., явление концентрационной поляризации, связанное с диффузией иодина к катоду, контролирует процесс. На этой основе разработан ряд типов С.

С. - д и о д (рис. 1) при поверхности катода ~0,01 *см*^{2} и емкости ~30 *мкф* для перем.

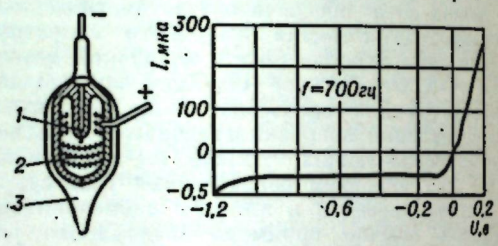


Рис. 1. Солион-диод и его хар-ка (отношение токов в прямом и обратном направлениях 500:1): *1* — катод; *2* — сетчатый анод; *3* — корпус.

напряжения 0,2 *в* имеет следующую зависимость тока (в *мка*) от частоты (в *гц*): $I=0{,}4/$ (в области от 0,1 до 1000 *гц*).

С. - д а т ч и к д а в л е н и я и р а с х о д а использует эффект возрастания тока при движении электролита в области катода (движение вызывается давлением гибкой мембраны, рис. 2). Изменение формы катода позволяет получить различные зависимости тока от скорости протекания жидкости (линейная, степенная, логарифмическая). При этом обеспечивается высокая чувствительность, достигающая ~10^{-5} *см*^{3}/*сек*. Конечный запас жидкости ограничивает время измерения потоков и давлений пост. интенсивности. С. реагирует на перем. воздействия в диапазоне частот от 0 до ~400 *гц*. С. такой конструкции применяются также в качестве датчиков-акселерометров.

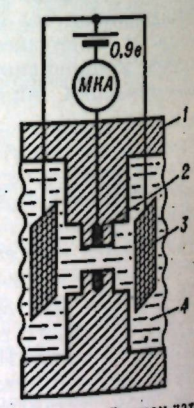


Рис. 2. Солион-датчик давления и расхода: *1* — пластмассовый корпус; *2* — кольцевой катод; *3* — сетчатые аноды; *4* — электролит.

С. - и н т е г р а т о р позволяет производить интегрирование электрич. сигналов по времени путем измерения вызванного ими изменения концентрации иода в одном из двух отсеков прибора, отделенных друг от

друга селективной мембраной, препятствующей обратной диффузии иода (рис. 3). Накопленное количество иода пропорционально

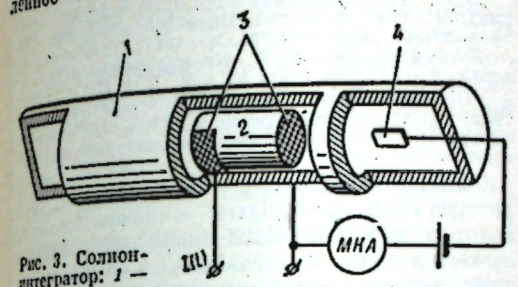


Рис. 3. Солион-интегратор: *1* — корпус; *2* — пористый диск; *3* — рабочие электроды; *4* — вспомогательный электрод.

суммарному току, прошедшему через С., и определяется затем или колориметрически или по величине электрохимич. потенциала, измеренного с помощью вспомогат. электрода.

С.-т е т р о д - и н т е г р а т о р использует в роли селективной мембраны перфориров. платиновый электрод, к к-рому прикладывается экранирующий потенциал E_s (рис. 4).

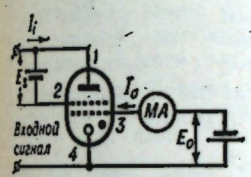


Рис. 4. Солион-тетрод: *1* — входной; *2* — экранирующий; *3* — считывающий; *4* — общий электрод.

Количество заряда, прошедшего через С., $Q_i=\int I_i(t)dt$ устанавливается по величине тока I_0, протекающего между общим и считывающим электродами. С.-т е т р о д используется также в качестве усилителя. При этом ток, подлежащий усилению, подается на входной электрод, играющий роль управляющей сетки; усиленный сигнал снимается со считывающего электрода. Выходные хар-ки С.-тетрода сходны с параметрами обычного пентода (крутизна ~40 000 *мком*$^{-1}$ при выходном токе в 500 *мка*). НЧ усилители на С.-тетродах обладают рядом существ. преимуществ перед электронными лампами и ПП из-за более низкого уровня шумов, малого дрейфа и высокого коэфф. усиления.

С.-э л е к т р о к и н е т и ч. п р е о б р а з о в а т е л ь (э л е к т р о о с м о т и ч. С.) основан на явлении электроосмоса, вызывающем движение жидкости (вода, ацетон) через пористый фильтр под влиянием приложенного к электродам напряжения E (рис. 5). Подобная перекачка жидкости достаточно эффективна: в С. - г е н е р а т о р а х д а в л е н и я подбором сечения пор и рабочей жидкости получают давления, достигающие нескольких *г*/*см*^{2} при малых напряжениях ~0,8 *в*. Обратный эффект индуцирования напряжения E на электродах при протекании жидкости, вызываемом давлением на мембрану, позволяет использовать электроосмотич. С. в роли датчика (индикатора) давления.

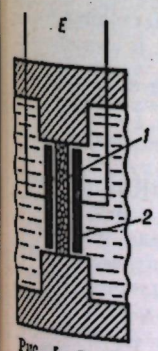


Рис. 5. Солион-электрокинетич. преобразователь: *1* — пористый диск; *2* — серебряные электроды.

С.-у с и л и т е л ь строится последовательным соединением электроосмотич. С. и С.-расходомера. При токах в неск. *мка* первый С. создает поток жидкости, образующий в С.-расходомере токи в неск. *ма*, что дает высокий коэфф. усиления по току.

Различные соединения электроосмотич. С. с другими С. путем использования мембранных пленок, сопротивлений капилляров, емкостных мембран и др. элементов гидравлич. схем позволяют получать устройства для элементов вычислит. техники и моделирования ряда физико-химич. процессов и, в частности, построения простейших моделей живых клеток, рецепторных нейронов, нейронных сетей.

Лит.: Фрумкин А. Н., Луковцев П. Д., «Наука и жизнь», 1963, № 6; Euler J., «Elektrotechn. Z. B», 1960, Bd 12, № 22; Hurd R. M., Lane R. N., «J. Electrochem. Soc.», 1957, v. 104, № 12; Joachim K., «Elektronik», 1962, Bd 11, № 1; «Radio and Electronic Components», 1962, v. 3, № 11.

В. Б. Маргулис.

СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ (solar battery; pile solaire; Sonnenbatterie) — батарея, составленная из параллельно или последовательно соединенных фотоэлементов, служащая для преобразования солнечной энергии в электрическую. Основа фотоэлемента С. б.— *электронно-дырочный переход*, образованный в ПП материале. При наиболее благоприятных условиях освещения солнечный свет падает на p—n-переход нормально. Освещаемый слой (напр., p-типа) делается очень тонким (~5 *мк*), а нижележащий слой — относительно толстым. При этом поглощение света будет происходить практически в области p—n-перехода, т. е. наиболее эффективно, причем поглощаться будет весь свет, соответствующий основной полосе поглощения данного ПП. Если С. б. служит для получения электрич. мощности P, то ее нагружают на такое омич. сопротивление R, в к-ром выделяемая мощность будет максимальна, т. е. при $dP/dR=0$. Тогда при поглощении на единице поверхности p—n-перехода q квантов света в 1 сек. (в предположении, что каждый поглощенный квант создает одну электронно-дырочную пару) в такой нагрузке будет выделяться мощность

$$P \simeq qkT\,[\ln(q/j_0) - \ln\ln(q/j_0)]\,s,$$

где T — темп-ра, k — постоянная Больцмана, s — площадь p—n-перехода, $j_0=\frac{n_0 d}{\tau_e}+\frac{p_n L_h}{\tau_h}$, n_0 и p_0 — равновесные (при отсутствии освещения) концентрации электронов в p-слое и дырок в n-слое, τ_e и τ_h — времена жизни электронов и дырок, L_h — длина диффузии дырок, d — толщина освещаемого p-слоя. Т. о., каждый поглощенный квант света создает во внешней цепи электрич. энергию $W \simeq kT\ln(q/j_0)$, и, следовательно, для увеличения кпд С. б. нужно уменьшать j_0 и увеличивать q. При достаточно тонком p-слое можно считать, что $j \simeq p_0 L_h/\tau_h$ и, значит, уменьшение j_0 сводится к уменьшению p_0; т. к. в легированном материале концентрация неосновных носителей заряда тем меньше, чем больше концентрация основных (их произведение постоянно и равно квадрату собств. концентрации носителей), то n-область (аналогично и p-область) должна быть сильно легирована. Увеличение q сводится (при неизменной освещенности) к необходимости расширения основной полосы поглощения, т. е. к уменьшению ширины *запрещенной зоны*. Однако такое уменьшение будет сопровождаться увеличением собств.

концентрации носителей и в конечном счете — возрастанием величины j_0. Теоретически должна существовать оптимальная ширина запрещ. зоны $\Delta E \simeq 1{,}4$ *эв*, при к-рой будет происходить наиболее эффективное преобразование солнечной энергии в электрическую, и при этом кпд $\simeq 30\%$.

Можно считать, что при наиболее благоприятных условиях Солнце посылает на поверхность Земли энергию в 1 *квт/м²*, и, следовательно, при таком кпд, с каждого *м²* поверхности С. б. можно получить мощность 0,3 *квт*. Для изготовления С. б. одним из наиболее благоприятных является соединение GaAs ($\Delta E = 1{,}35$ *эв*). Однако лучше разработанными оказались кремниевые ($\Delta E = 1{,}12$ *эв*) С. б.

Практич. кпд всегда оказывается ниже теоретического, т. к. возникают потери из-за отражения света (их удается уменьшить, покрывая поверхность фотоэлементов «просветляющей» пленкой, к-рая значительно снижает коэфф. отражения в рабочем диапазоне спектра) и рекомбинации носителей заряда в объеме и на поверхности; на величине кпд также сильно сказываются изменения освещенности и темп-рные колебания. С повышением темп-ры эффективность С. б. падает, и тем больше, чем меньше ΔE. Поэтому для работы при темп-рах 100—150° более пригодны фотоэлементы из GaAs, а не кремниевые. При соединении в батерею фотоэлементов, к-рые неизбежно неск. различаются между собой, происходит нарушение оптимального режима, и это ведет к дополнит. снижению кпд. У лучших кремниевых С. б. кпд $\simeq 10\%$ (теоретически он может достигать 22%).

Конструктивно С. б. выполняется в виде плоской панели, заключенной в защитный корпус и набираемой из прямоугольных или шестиугольных фотоэлементов (с площадью неск. *см²*), соединенных между собой с помощью внешних шин или непосредств. контакта («елочкой» — край одного фотоэлемента накладывается сверху на край соседнего и т. д.), последний способ позволяет эффективнее использовать площадь С. б. Поверхность фотоэлементов для защиты от механич. воздействий и атм. влаги покрывается защитным лаком. Число фотоэлементов в С. б. — от десятков до сотен; комбинируя последоват. и параллельное соединения, можно изготовить С. б., дающие ток от десятков до сотен *ма* и развивающие на нагрузке напряжения от неск. до десятков *в*. Фотоэлементы для С. б. разрабатывают также с применением тонких *пленок полупроводниковых* и в виде кремниевых шариков, имеющих p—n-переход, соединенных между собой нанесенной на них металлич. пленкой и укрепленных на гибкой подложке. С. б. с большими поверхностями (неск. сотен *см²*) могут быть изготовлены на основе листового кремния (толщиной 0,5 *мм*), полученного из монокристаллич. или поликристаллич. слитков путем проката.

С. б. используются как источники питания электрич. энергией автоматич. метеостанций, радиоприемников, для зарядки аккумуляторов и т. д. Наиболее существенно применение С. б. в качестве источников питания космич. аппаратуры. В районах, где преобладает ясная погода и к-рые значительно удалены от центр. источников электроэнергии, может оказаться экономически выгодным использование С. б. большой площади (десятки *м²*) для обеспечения нек-рых производственных и бытовых потребностей в электроэнергии.

Лит.: Использование солнечной энергии. [Сборник], М., 1960; Мосс Т., Оптические свойства полупроводников, пер. с англ., М., 1961; Глиберман А. Я., Зайцева А. К., Кремниевые солнечные батареи, М.—Л., 1961; Хилсум К. и Роуз-Инс А., Полупроводники типа $A^{III}B^{V}$, пер. с англ., М., 1963; Преобразование тепла и химической энергии в электроэнергию в ракетных системах. [Сб. ст.], пер. с англ., М., 1963.

М. М. Горшков.

СОПЛО-ЗАСЛОНКА (nozzle-flapper; buse-palette; Düsen-prallplatte) — пневматич. дроссель, в к-ром эффект дросселирования получается при протекании воздуха по зазору между торцовыми поверхностями сопла и заслонки. Дроссели этого типа широко используются в мембранных приборах пневмоавтоматики, обычно в качестве основного узла реле пневматического с элементом сопло-заслонка. При течении воздуха по зазору между торцовыми поверхностями в дросселе С.-з. под малыми перепадами давлений хар-ки элемента рассчитываются по ф-лам, выведенным для случая течения несжимаемых жидкостей [1]. Распределение давления по зазору (рис. 1) в ф-ции радиуса определяется по ф-ле:

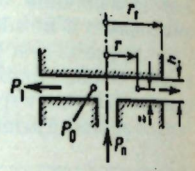


Рис. 1.

$$B = 6A \ln \alpha - 16{,}78A^2(\alpha^2 - 1), \quad \text{где} \quad \alpha = r_1/r,$$

$$A = \frac{Q}{\pi v h}\left(\frac{h}{10 r_T}\right)^2; \quad B = \frac{(P - P_1)h^2}{Q\nu^2}\left(\frac{h}{10 r_T}\right)^2,$$

где Q — объемный секундный расход, ν — кинетич. коэфф. вязкости, ρ — плотность. При больших перепадах давлений аналитич. исследование дросселя типа С.-з. затруднено, поэтому пользуются опытными данными. В качестве примера на рис. 2 показаны экспериментальные хар-ки дросселя типа С.-з. при двух различных величинах расстояния h [2].

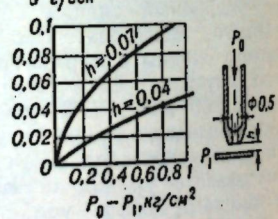


Рис. 2.

Лит.: 1) Андреева Е. А., К расчету статических характеристик элемента «сопло-заслонка», в кн.: Системы, устройства и элементы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1959; 2) Березовец Г. Т., Дмитриев В. Н., Наджафов Э. М., О допустимых упрощениях при расчете пневматических регуляторов, «П», 1957, № 4.

Б. С. Шкрабов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ АКТИВНОЕ (resistance; résistance active; Ohmischer Widerstand) — сопротивление электрич. току, вызывающее необратимый процесс преобразования электромагнитной энергии в тепловую. Обозначается R или r и измеряется в омах. Кроме омич. сопротивления материала проводника и потерь на вихревые токи в нем, С. а. может быть обусловлено потерями энергии в диэлектрике (напр., в изоляции проводника) потерями в магнитных материалах и др. Активные потери растут с частотой вследствие *поверхностного эффекта*, а также вследствие увеличения потерь в диэлектрике и в магнитных материалах. На ВЧ на С. а. влияют не только размеры, но и форма проводника. С. а. электрич. проводника зависит от темп-ры и может быть определено по ф-ле: $R_T = R_{20}[1 + \alpha(T - 20°)]$; где R_T — сопротивление при темп-ре T; R_{20} — сопротивление при 20°С; T — заданная темп-ра (в °С); α — температурный коэфф. сопротивления. Коэфф. α для наиболее часто употребляемых материалов: алюминий 0,0049; вольфрам 0,0045; латунь 0,002—0,007; серебро 0,0038.

Лит. см. при ст. *Сопротивление реактивное.*

И. А. Стрельцов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЕ (internal impedance; résistance interne; innerer Widerstand) — активное сопротивление электрич. току самого источника электрич. энергии. Обозначается $R_{вн}$, измеряется в омах. Величина С. в. источника электроэнергии (батареи, гальванич. элементов, аккумулятора, электромашинного генератора и др.) характеризует величину потерь электроэнергии в самом источнике тока. С. в. — один из основных параметров электровакуумных и ПП приборов. Под С. в. электронной лампы понимают величину $R_{вн} = \frac{dU_a}{dI_a}$ при $U_c = \text{const}$, определяющую, какое изменение анодного напряжения U_a необходимо для данного изменения анодного тока I_a при неизменном сеточном напряжении U_c. Для диодов $R_{вн}$ в прямом направлении $\simeq 50$—500 *ом*, в обратном — до неск. *Мом* и более. Для триодов $R_{вн} = 1$—100 *ком*. Для пентодов $R_{вн}$ доходит до неск. *Мом*. В ПП приборах С. в. зависит от схемы включения транзистора и лежит в пределах от неск. десятков *ком* до десятков *Мом*.

Лит.: Николаевский Н. Ф., Эксплуатационные параметры и особенности применения транзисторов, М., 1963.

И. А. Стрельцов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЛНОВОЕ (wave resistance; impédance d'onde; charakteristische Impedanz) — см. *Волновое сопротивление.*

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВХОДНОЕ [input impedance; résistance (impédance) d'entrée; Eingangswiderstand] — сопротивление электрич. току со стороны потребителя электроэнергии. Обозначается $R_{вх}$. Измеряется в омах. Для электровакуумных приборов величина С. в. весьма важна, т. к. она определяет шумовые св-ва ламп, а также ставит предел сужению полосы пропускания при проектировании широкополосных усилителей. С. в. быстро понижается с ростом частоты и может быть определено по ф-ле: $R_{вх} = \frac{k}{f^2}$ *Мом*, где f — частота (*Мгц*), k — коэфф., приведенный в таблице [*Мом·Мгц²*]. С. в. электронных ламп обусловливается конечностью времени пролета электронов между сеткой и катодом, а также индуктивностью сеточного и катодного выводов ножек лампы и ее входной емкостью.

В случае ПП приборов величина С. в. сильно зависит от уровня входного сигнала и схемы включения триода (диода) — схемы с общей базой, общим эмиттером и т. д. Напр., при сопротивлении нагрузки, включенном в цепь эмиттера (эмиттерный повторитель), величина С. в. в 50—100 раз больше сопротивления нагрузки. Знание величины С. в. имеет большое значение при работе с измерит. приборами, т. к. позволяет правильно оценивать шунтирующее действие измерит. аппаратуры, сказывающееся на точности и результатах проводимых измерений.

Величины коэффициента k для определения входного сопротивления некоторых употребительных типов ламп

Лампа	k (*Мом·Мгц²*)	Лампа	k (*Мом·Мгц²*)
1Ж17Б	210	6Ж11П	2
1Ж18Б	280	6Ж20П	18
1С12П	120	6Ж21П	20
2Ж27П	54	6Ж22П	12
6А7	12,5	6К1П	24
6Ж1Б	29	6К4П	68
6Ж1П	60	6Н3П	50
6Ж3П	36	6Н14П	1—80; 2—140
6Ж4	7,5	6Ф1П	20
6Ж5Б	25	6Э5П	2,8
6Ж9П	18		

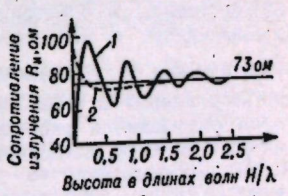
И. А. Стрельцов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ (earth resistance; résistance de prise de terre; Erdungswiderstand) — сопротивление току, стекающему в землю с поверхности заземлителя (системы металлических проводов и шин, расположенных в толще земли). Величина С. з. определяется уд. сопротивлением почвы, формой и размерами заземлителей.

Лит. см. при ст. *Сопротивление реактивное.*

И. А. Стрельцов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ (radiation resistance; résistance de rayonnement, résistance à la radiation; Strahlungsfestigkeit) — параметр, имеющий размерность сопротивления и связывающий мощность $P_и$, излучаемую антенной, с током, проходящим через к.-л. ее сечение. Излучаемая мощность $P_и = I^2 R_и$, где I — действующее значение тока в той точке, в которой в антенну включен питающий ее генератор или фидер, $R_и$ — С. и. антенны, отнесенное к точке, в к-рой измерен ток I. Общая мощность, подводимая к антенне, равна $P_а = I^2(R_0 + R_и)$, где R_0 — активное сопротивление элементов антенны. Омические потери обычно много меньше, чем потери на излучение для антени, длина к-рых больше $\frac{\lambda}{2}$. С. и. характеризует эффективность излучающих устройств. Величина С. и. зависит от размеров и формы антенны, а также от расположения антенны относительно др. предметов и земли. С. и. симметричного полуволнового диполя, напр., равно 73,1 *ом* и значительно меняется от ориентации и высоты подъема над землей (см. рис.).



Влияние величины подъема над землей на сопротивление излучения: *1* — горизонтальный вибратор; *2* — вертикальный вибратор.

Лит.: Надененко С. И., Антенны, М., 1959.

И. А. Стрельцов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ (dielectric resistance, insulation resistance; résistance de l'isolation; Isolationwiderstand) — сопротивление электрич. току, оказываемое электроизоляц. материалами. Различают объемное и поверхностное С. и. Величина поверхностного С. и. зависит в основном от состояния поверхности изоляц. материала (обработки, влажности, загрязненности маслом и т. п.). Объемное С. и. у монтажных проводов с волокнистой изоляцией (ПБО, ПБД, ПБТ,

ПШО, ПШД, ПЭШО, ПЭЛШО и др.) должно быть не менее 100 *Мом* при темп-ре 20°С; у проводов с шелковой изоляцией, покрытой лаками (МБДЛ, МГББЛ, МГБЛ и др.), до 500 *Мом*. Величина С. и. определяет качество диэлектрич. материалов, применяемых при произ-ве конденсаторов. У конденсаторов с диэлектриком из керамики, слюды и пленки С. и. между обкладками достигает десятков и сотен тысяч *Мом*, а с диэлектриком из бумаги — сотен и тысяч *Мом*. Этот параметр позволяет определить величину утечки тока через конденсатор и тем самым установить применимость его в том или ином участке схемы. Для конденсаторов емкостью до 0,1 *мкф* С. и. измеряется в абсолютных величинах, а у конденсаторов с большей емкостью принято указывать приведенное С. и., выражаемое в *Мом*×*мкф*. *И. А. Стрельцов.*

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАГНИТНОЕ (magnetic resistance; réluctance, résistance magnétique; magnetischer Widerstand) — характеризует сопротивление среды магнитному потоку. По аналогии с электрич. сопротивлением обозначается $R_м$. Измеряется в $1/ом \cdot сек$. С. м. может быть рассчитано по ф-ле: $R_м \cong \frac{l}{\mu S}$, где l — длина сердечника (*м*), S — его сечение (*м*²). Данное выражение применимо к замкнутым железным сердечникам любой формы при постоянных вдоль сердечника μ $\left(\frac{ом \cdot сек}{м}\right)$ и $S(м^2)$.

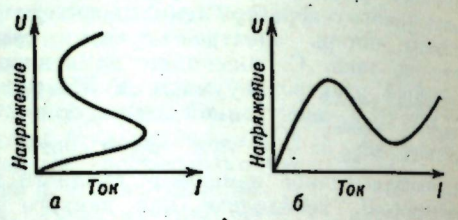
В случае магнитной цепи с воздушным зазором (напр., в электрич. машинах между вращающейся и неподвижной частями) выражение $R_м \cong \frac{l}{\mu S}$ должно быть усложнено, т. к. величина и св-ва различных участков цепи оказываются разными. В этом случае общее С. м. цепи вычисляется как сумма С. м. отдельных участков:

$$R_м = \sum R_{мк} = \frac{l_1}{\mu_1 S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 S_2} + \dots$$

Лит.: Нейман Л. Р., Калантаров П. Л., Теоретические основы электротехники, 5 изд., ч. 1—3, М.—Л., 1959; Круг К. А., Основы электротехники, 6 изд., т. 2, М.—Л., 1946; Касаткин А. С., Перекалин М. А., Электротехника, 9 изд., М.—Л., 1963. *И. А. Стрельцов.*

СОПРОТИВЛЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ (negative impedance; résistance négative; negativer Widerstand) — дифференц. сопротивление нелинейного элемента, при к-ром с увеличением напряжения ток в цепи уменьшается и наоборот. С. о. всегда связано с наличием падающего участка вольтамперной хар-ки. Если с ростом напряжения (положит. приращение) наблюдается уменьшение тока (отрицат. приращение), то дифференц. сопротивление между данными точками схемы, равное отношению этих приращений, отрицательно. Уменьшение напряжения с ростом тока (и наоборот) эквивалентно сдвигу фазы между указанными величинами на 180°. Поэтому перем. составляющие тока и напряжения направлены в С. о. навстречу друг другу. Следовательно, мощность перем. сигнала, равная произведению тока на напряжение, имеет отрицат. знак. С. о. не потребляет мощности перем. сигнала, а отдает ее во внешнюю цепь. Но падающий участок хар-ки любого реального прибора всегда ограничен, поэтому во внешнюю цепь практически отдается только ограниченная мощность. Любой генератор незатухающих колебаний эквивалентен нек-рому С. о., вносимому в контур, с помощью к-рого осуществляется компенсация активных потерь в колебат. контуре. Для возникновения колебаний в последовательном контуре необходимо, чтобы С. о. по абс. величине превосходило активное последоват. сопротивление контура; для параллельного контура его резонансное сопротивление должно быть несколько больше С. о., включенного параллельно.

Падающий участок хар-ки наблюдается при динатронном эффекте (см. *Генератор динатронный*), транзитронном эффекте (см. *Генератор транзитронный*), туннельном эффекте (см. *Диод туннельный*) и др. Вольтамперные хар-ки с падающим участком бывают двух типов. Хар-кой S-типа (рис., *а*) обладают перечисленные выше приборы, хар-кой N-типа (рис., *б*) — электрич. дуга и нек-рые ПП приборы, использующие явление лавинного или теплового пробоя p—n-перехода. С помощью приборов, обладающих С. о., можно создавать импульсные схемы, схемы усилителей и преобразователей электрич. колебаний.

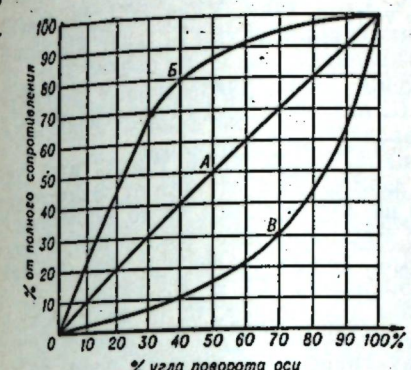


Лит.: Котельников В. А., Николаев А. М., Основы радиотехники, ч. 2, М., 1954. *К. С. Ржевкин.*

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЕ (variable resistance; résistance variable; regelbarer Widerstand, veränderlicher Widerstand) — элемент электрич. цепи, предназначенный для регулируемого поглощения энергии электрич. тока. В радиоэлектронике наиболее распространены сопротивления типов СП, ВК, ТК, СПО, конструктивно представляющие собой полукруглую подковку из изоляц. материала с нанесенным на нее слоем токопроводящей массы, концы к-рой подведены к двум монтажным лепесткам. Подвижный ползунок, контактирующий с токопроводящей массой, может быть установлен в любой точке подковки поворотом оси, на к-рой он укреплен, и имеет надежный контакт с третьим монтажным лепестком. Вся конструкция заключена в металлич. корпус, предохраняющий С. п. от механич. повреждений и климатич. воздействий и экранирующий его от внешних полей при работе в схеме. Корпус С. п., как правило, также снабжен лепестком, к-рый при монтаже соединяется с шасси (заземляется). С. п. типа ТК изготовляются с совмещенным дополнит. выключателем, расположенным на общей оси. В С. п. типа СПО слой токопроводящей массы нанесен в виде подковки на фарфоровое цилиндрич. основание.

Номинальные мощности рассеяния для С. п. типа СП — 0,5 *вт*, 1,0 *вт*, 2 *вт*. С. п. типа ТК и ВК выпускаются на мощность рассеяния 0,2 *вт*, 0,4 *вт* и 0,5 *вт*. С. п. типа СПО выпускаются на мощность рассеяния 0,1 *вт*, 0,5 *вт*, 1 *вт*.

По закону изменения величины омического сопротивления (т. е. сопротивления между одним из крайних лепестков и центральным), в зависимости от угла поворота оси, С. п. типов СП, ВК, ТК делятся на 3 вида (см. рис.):



Кривые зависимости величины сопротивления от угла поворота оси: *А* — линейная зависимость; *Б* — логарифмич. зависимость; *В* — показательная зависимость.

А — с линейной зависимостью; *Б* — с логарифмич. зависимостью; *В* — с показат. зависимостью. Сопротивления типа СПО выпускаются только типа *А*. Маркировка С. п. производится обычно на его крышке, где указывается величина сопротивления, мощность и тип зависимости сопротивления от угла поворота (буквы *А*, *Б* или *В*). Полный угол поворота оси С. п. ограничивается упорами и составляет 250—270°.

С целью компактного расположения регулирующих ручек в аппаратуре выпускаются сдвоенные С. п. на общей оси; С. п., имеющие самостоят. оси, находящиеся одна в другой; С. п., совмещенные с выключателями, со спец. стопорами и др. С. п. могут быть использованы в схемах в двух вариантах: как обычное сопротивление перем. величины или как потенциометр, т. е. делитель напряжения с перем. коэфф. деления.

Лит.: Брандт А. А., Техника монтажа и налаживания радиосхем, 2 изд., М., 1960; Справочник радиолюбителя, под ред. А.А. Куликовского, 3 изд., М.—Л., 1963. *И. А. Стрельцов.*

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛНОЕ (impedance; impédance; scheinbarer Widerstand, Impedanz) — параметр, характеризующий цепь перем. тока и определяемый как отношение комплексных значений напряжения и тока в цепи перем. тока. С. п. обозначается через Z и численно равно $Z = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ или в комплексной форме $Z = r + jX = Ze^{j\varphi}$, где r — активная, $X = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ реактивная составляющие сопротивления цепи (см. *Сопротивление реактивное*). *И. А. Стрельцов.*

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЕ (constant resistance; résistance constante; Konstantwiderstand) — элемент электрич. цепи, предназначенный для поглощения энергии тока, протекающего по цепи. С. п. широко применяют в радиоэлектронных схемах и др. электрич. цепях. В большинстве схем С. п. составляют более половины (до 80%) всех деталей. Выпускаемые пром-стью С. п. различаются по величине омич. сопротивления, допускам и мощности рассеяния. По точности (величине допускаемого отклонения от номин. величины) С. п. делятся на 3 класса: первый класс ± 5%, второй ± 10% и третий ± 20%. Шкала номин. значений С. п. стандартизована (ГОСТ 2825—60) и приведена в табл. Все разработка новых С. п. ведутся в соответствии с рядами номинальных величин, указанных в табл.

Шкала номинальных значений постоянных сопротивлений

Допускаемые отклонения								
±20%	±10%	±5%	±20%	±10%	±5%	±20%	±10%	±5%
ом, ком, Мом, Гом *								
1,0	1,0	1,0	10	10	10	100	100	100
		1,1			11			110
	1,2	1,2		12	12		120	120
		1,3			13			130
1,5	1,5	1,5	15	15	15	150	150	150
		1,6			16			160
	1,8	1,8		18	18		180	180
		2,0			20			200
2,2	2,2	2,2	22	22	22	220	220	220
		2,4			24			240
	2,7	2,7		27	27		270	270
		3,0			30			300
3,3	3,3	3,3	33	33	33	330	330	330
		3,6			36			360
	3,9	3,9		39	39		390	390
		4,3			43			430
4,7	4,7	4,7	47	47	47	470	470	470
		5,1			51			510
	5,6	5,6		56	56		560	560
		6,2			62			620
6,8	6,8	6,8	68	68	68	680	680	680
		7,5			75			750
	8,2	8,2		82	82		820	820
		9,1			91			910

* Сопротивления выпускаются также на 1 *Том* при допускаемых отклонениях ±20, ±10, ±5%.

Проводящим элементом С. п. (непроволочных) служит углеродистый или спец. состав, нанесенный на керамич. стержень путем вакуумного распыления. Среди различных типов С. п. наибольшее распространение имеют углеродистые лакированные сопротивления типа ВС, МЛТ, МТ, ОМЛТ, ОПЭВЕ, ПЭ, УЛИ, ПЛ, ПТ, УЛС, УНУ.

С. п. типа ВС выполнены в виде фарфорового цилиндрика или трубки с нанесенным на поверхность тонким слоем особой углеродистой массы, защищенной сверху лаком или эмалью. Этот слой углеродистой массы и является собственно сопротивлением, величина к-рого определяется составом массы и технологией ее обработки. Концы сопротивления заделаны в металлич. колпачки с приваренными проводниками, к-рые служат для подпайки сопротивления в схему. Величина сопротивления, допуск, а также его мощность указываются непосредственно на самом сопротивлении. В зависимости от допустимой мощности рассеяния сопротивления ВС делятся на 6 типов: ВС-0,25; ВС-0,5; ВС-1; ВС-2; ВС-5; ВС-10.

С. п. типа МЛТ — металлизированные, защищенные эмалевым покрытием (лакированные), теплостойкие, малогабаритные. Выпускаются на номин. мощности от 0,5 *вт* до 2 *вт* (МЛТ-0,5; МЛТ-1; МЛТ-2). Предназначены для работы в интервале темп-р от —60° до + 120°С при относит. влажности окружающей среды до 98%. Сопротивления этого типа представляют собой керамич. трубку с нанесенным на ее поверхность слоем спец. металлич. покрытия. Сопротивления армированы по концам металлич. наконечни-

ками и защищены сверху слоем изоляционной эмали. Номинальная величина омич. сопротивления достигается изменением состава покрытия и числа витков нарезанной на нем спирали. По сравнению с С. п. типа ВС сопротивления типа МЛТ имеют меньшие размеры и работают при более высокой темп-ре.

С. п. типа ОМЛТ — особые, металлизированные, защищенные эмалевым покрытием (лакированные), теплостойкие, малогабаритные, с номин. мощностью рассеяния от 0,5 до 2 *вт*, повышенной надежностью (последнее отмечено в названии буквой О — особые). С. п. типа УЛС — сопротивления углеродистые, постоянные, непроволочные для работы в спец. аппаратуре. Выпускаются на номин. мощность 0,5 *вт*. С. п. типа УЛИ — сопротивления углеродистые, предназнач. для работы в измерит. аппаратуре в цепях пост., перем., импульсного напряжений. Имеют повышенную стабильность и точность номин. значений; выпускаются четырех типов: УЛИ-0,1; УЛИ-0,25; УЛИ-0,5; УЛИ-1. С. п. типа УНУ — сопротивления углеродистые, непроволочные для работы в качестве безреактивных поглотит. сопротивлений на ВЧ до 1000 *Мгц*, а также для работы в цепях перем. и импульсного токов. Выпускаются 11 типов по номин. мощности рассеяния: УНУ-0,1; УНУ-0,15; УНУ-0,25; УНУ-0,5; УНУ-1; УНУ-2; УНУ-5; УНУ-10; УНУ-25; УНУ-50; УНУ-100.

С. п. типа ОПЭВЕ — сопротивления особые, проволочные, эмалированные, влагостойкие с номин. мощностью рассеяния от 2,5 *вт* до 100 *вт*, повыш. надежности. С. п. типа ПЭ — сопротивления проволочные, эмалированные, с номин. мощностью рассеяния от 7,5 до 150 *вт*. Выполнены из проволоки с высоким уд. сопротивлением (никелин, манганин, константан, нихром и т. п.), намотанной на трубчатый керамич. каркас и защищенной слоем эмали, с выводами по краям трубки.

С. п. типа ПЛ — сопротивления проволочные лакированные и регулируемые (РПЛ). С. п. типа ПЛ представляют собой керамич. трубку с намотанной на ней проволокой из константана или нихрома, с жесткими металлич. выводами по концам трубки для включения в схему. Боковая поверхность С. п. покрыта слоем лака. У сопротивления типа РПЛ боковая поверхность имеет непокрытое лаком «окно» для контакта подвижного хомута-токосъемника с проволокой, намотанной на каркас. Сопротивления типа ПЛ и РПЛ предназначены для работы в самолетной электро- и радиоаппаратуре.

С. п. типа ПТ — сопротивления проволочные, точные, на керамич. или пластмассовых каркасах. Предназначаются для работы в радиотехнич. устройствах при рабочем напряжении до 400 *в* пост. тока или 300 *в* перем. тока. Выпускаются трех классов: 0 ± 1%; 00 ± 0,5%; 000 ± 0,25%.

С. п. непроволочные используются как нагрузочные, развязывающие, гасящие в цепях пост., перем. и импульсного тока. С. п. проволочные применяются в основном в измерит. приборах в качестве добавочных сопротивлений и шунтов.

Лит. см. при ст. *Сопротивление реактивное*.
И. А. Стрельцов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЕ (reactance; résistance réactive; Blindwiderstand) — сопротивление электрич. цепи переменному току, учитывающее характер реакции цепи и не потребляющее энергии этого тока. Измеряется в омах и обозначается X или x. В общем случае $\dot{X} = j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$, где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота тока. Член ωL, учитывающий реакцию самоиндукции L, наз. индуктивным сопротивлением цепи и обозначают X_L, а выражение $1/\omega C$, учитывающее реакцию емкости C, наз. емкостным сопротивлением цепи и обозначают X_C.

В цепи, содержащей только индуктивное С. р., вектор тока отстает от вектора напряжения на 90°; в цепи с чисто емкостным С. р. вектор тока опережает вектор напряжения на 90°. При *резонансе* вектора напряжений на сопротивлениях X_L и X_C равны и противоположны друг другу, С. р. цепи обращается в нуль. Величины X_L и X_C зависят не только от индуктивности и емкости цепи, но также и от частоты приложенного напряжения. В реальных цепях С. р. обладают не только конденсаторы и катушки самоиндукции, но и все вообще проводники, т. к. каждый проводник имеет распределенные емкость и индуктивность, к-рые не играют существенной роли, если провода короткие. Но в случае длин волн, сравнимых с длиной проводов, распределенные емкость и индуктивность играют значительную, а иногда и определяющую роль при конструировании элементов аппаратуры.

Лит.: Круг К. А., Основы электротехники, 6 изд., т. 2, М.— Л., 1946; Нейман Л. Р., Калантаров П. Л., Теоретические основы электротехники, 5 изд., ч. 1—2, М.—Л., 1959; Атабеков Г. И., Линейные электрические цепи, М., 1957; Касаткин А. С., Перекалин М. А., Электротехника, 9 изд., М.—Л., 1963.
И. А. Стрельцов.

СОПРОТИВЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЕ (электрическое) (specific resistance; résistivité de volume; spezifischer Widerstand) — сопротивление пост. электрич. току цилиндрич. проводника с длиной, равной единице длины, и площадью поперечного сечения, равной единице площади. Характеризует св-ва материала проводника. Обозначается ρ. Измеряется в $\frac{ом\ мм^2}{м}$ и в *ом·см*. С. у. зависит от темп-ры — для металлов с повышением темп-ры повышается, для электролитов и угля — понижается. На величине С. у. сказывается механич. обработка: для металлов, напр., величина С. у. увеличивается при холодной обработке (ковке, протяжке и пр.), при отжиге величина ρ понижается. Величины ρ для нек-рых часто применяемых материалов приведены в табл.

Материал	ρ при 20° С ом·мм²/м
Медь	0,0175
Латунь	0,025—0,06
Алюминий	0,028
Серебро	0,016
Молибден	0,057
Сталь	0,098
Никель	0,1
Свинец	0,221
Тантал	0,155
Вольфрам	0,055
Хром	0,027
Цинк	0,059

Лит. см. при ст. *Сопротивление реактивное*.
И. А. Стрельцов.

СОПРЯЖЕНИЕ КОНТУРОВ (tracking of circuits; association de circuits; Verkettung der Kreise) — способ согласования настройки контуров супергетеродинного приемника, обеспечивающий при перестройке приемника постоянство разности частот контуров, настроенных на частоту сигнала и на частоту гетеродина, путем подключения добавочных конденсаторов. В супергетеродинном приемнике частота гетеродина должна отличаться от частоты принимаемого сигнала на величину промежуточной частоты, выбранной для данного приемника. Для удобства настройки контуры супергетеродинного приемника перестраиваются переменными конденсаторами, роторные (вращающиеся) пластины к-рых располагаются на общей оси. Зависимость емкости от угла поворота оси у всех конденсаторов должна быть одинаковой. При перестройке емкость перестраиваемых конденсаторов во всех контурах изменяется в одинаковое число раз. Изменение емкости контуров характеризуется коэфф.

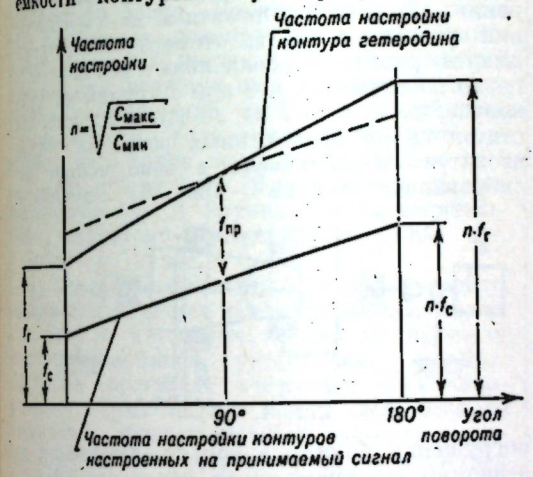


Рис. 1.

перекрытия: $n = \sqrt{C_{макс}/C_{мин}}$, где $C_{макс}$ и $C_{мин}$ — макс. и миним. емкости перестраиваемого контура. Разность частот настройки сигнальных контуров и гетеродина, равная промежуточной частоте, может быть таким

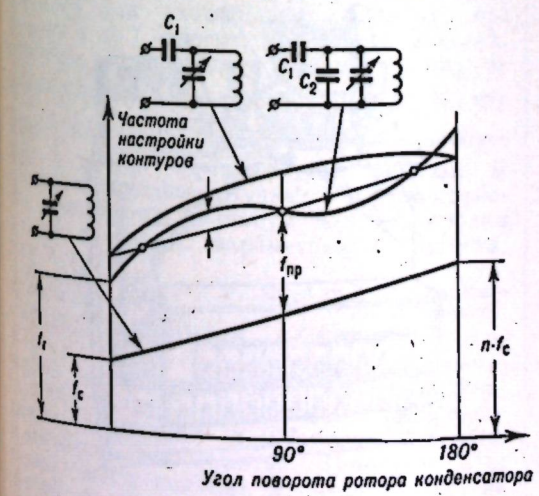


Рис. 2.

путем получена только в одной точке диапазона перестройки (рис. 1). Для С. к. в диапазоне перестройки используют различные способы уменьшения коэфф. перекрытия контуров, настроенных на высшую частоту. Когда частота гетеродина $f_г$ выше частоты принимаемого сигнала $f_с$, С. к. сводится к уменьшению коэфф. перекрытия гетеродинного контура включением дополнит. конденсаторов (конденсаторов сопряжения) в этот контур. При включении одного дополнит. конденсатора достигается С. к. в 2 точках диапазона перестройки приемника; при 2 конденсаторах — в 3 точках (рис. 2). Точное сопряжение контуров во всем диапазоне перестройки может обеспечить *автоматическая подстройка частоты* гетеродина приемника. При перестройке контуров супергетеродинного приемника изменением индуктивности справедливы все соображения, изложенные выше, если закон изменения индуктивности всех контуров одинаков.

Лит.: Харкевич А. А., Основы радиотехники, М., 1963; Гуткин Л. С., Лебедев В. Л., Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, ч. 1, М., 1961.
Л. М. Мошкунов.

СОРТИРОВАЛЬНАЯ МАШИНА (grading machine; machine à trier; Sortiermaschine) — машина для раскладки и подборки перфокарт по номерам признаков (номер цеха, номер заказа, табельный номер рабочего и т. п.). Входит в состав комплекта счетно-перфорац. машин и ЭВМ и бывает двух типов: сортировки — машины для группировки перфокарт по признаковым пробивкам; раскладочно-подборочные машины для различных операций по раскладке и объединению двух массивов перфокарт в один массив с сохранением порядка расположения групп признаков.

Сортирование перфокарт по признакам может производиться путем подбора или упорядочивания. Подбор сводится к группировке перфокарт по одинаковым номерам признаков, упорядочивание — к расположению перфокарт в заданной последовательности номеров признаков (в порядке возрастания или убывания их).

Сортировка обычно имеет в своем составе механизмы ввода перфокарт, восприятия пробивок, сортировальное устройство, транспортный механизм и 13 или 14 приемных карманов для перфокарт. Перфокарты с произвольным расположением признаков в заданных колонках закладываются в механизм ввода карт. Воспринимающее устройство устанавливается на восприятие одной цифры признака в заданной колонке. При включении машины сортировальное устройство в зависимости от воспринятой пробивки (одной из двенадцати позиций перфокарты) через транспортное устройство направляет карту в один из карманов. Т. о., после первого прогона перфокарты будут сгруппированы по одной цифре признака. Повторяя прогон перфокарт с установкой воспринимающего устройства на др. колонку, производят группировку по другим цифрам признака. За количество прогонов, равное количеству цифр признака, перфокарты будут сгруппированы по номерам признаков. Электромеханич. сортировки работают со скоростью 350—400 *карт/мин*, сортировки электронные — 750—2000 *карт/мин*.

Раскладочно-подборочные машины (РПМ) имеют два механизма ввода, два или четыре устройства восприятия и сортирования и четыре или пять приемных карманов. Восприятие признака производится одновременно по всем его разрядам.

На РПМ можно выполнять многие операции, из к-рых наиболее характерны: объединение двух массивов перфокарт, расположенных в порядке возрастания или убывания признаков, в один массив в таком же порядке расположения признаков; отбор в двух массивах карт с парными признаками (т. е. карт с совпадающими признаками в обоих массивах), объединение парных или непарных карт двух массивов; отбор первых карт по каждому признаку в двух массивах; отбор перфокарт по заданному многозначному признаку с заменой отобранных карт сигнальными картами без пробивок (обычно окрашенных в отличный цвет); контроль совпадения пробивок в двух одинаковых массивах перфокарт. Скорость работы электромеханич. РПМ 200—250 *карт/мин*, электронных — до 400—500 *карт/мин* для каждого устройства ввода.

Применение РПМ эффективно при наличии больших архивов перфокарт и массовом ежедневном поступлении новых перфокарт, к-рые должны храниться в порядке расположения соответствующих признаков.

Лит.: Евдокимов И. С., Евстигнеев Г. П., Крижшин В. Н., Цифровые вычислительные машины, 3 изд., М., 1961; Рязанкин В. Н., Коноплев В. В., Добецкий Л. Ю., Советские счетно-аналитические машины, М., 1957. *В. Н. Рязанкин.*

СОРТИРОВКА АВТОМАТИЧЕСКАЯ в машиностроении (automatic grading; triage automatique; automatische Sortierung) — сортировка деталей на размерные группы для селекционной сборки узлов машин. В ряде отраслей машиностроения (напр., в массовом произ-ве подшипников качения, нек-рых узлов топливной аппаратуры и др.) достигнутый уровень точности изготовления отд. деталей недостаточен для удовлетворения требований к точности сопряжений. В этих случаях размеры сопрягаемых деталей выдерживаются в пределах сравнительно широких допусков, а затем детали сортируются на группы; разноразмерность деталей каждой группы определяется заданными величинами допусков зазоров или натягов в сопряжениях. Сочетая детали, принадлежащие соответствующим сортировочным группам, можно обеспечить весьма высокую точность сопряжений. В массовом машиностроении нередко необходимо сортировать детали по линейным размерам через 1—2 *мк*, а в отд. случаях — через 0,1—0,2 *мк*. При селекционной сборке могут быть расширены только допуски рабочих размеров сопрягаемых деталей. Но допустимые отклонения их формы должны устанавливаться в соответствии с требуемой точностью сопряжений. В отд. случаях детали сортируются по параметрам, характеризующим их форму, напр. ролики подшипников — по величине конусности.

Для сортировки деталей на размерные группы применяют автоматы, основанные на различных методах измерения. Распространены сортировочные автоматы с регулируемыми калибрами в качестве измерительно-сортировочных устройств. Калибр в простейшем случае представляет собой две линейки с плоскими измерит. поверхностями, установленные под нек-рым углом одна относительно другой. Сортируемые детали транспортируются вдоль линеек и проходят в клиновидную щель между ними в том месте, где ширина щели как раз равна размеру детали, и попадают в соответствующие приемники. Применяются также ступенчатые линейки или цилиндрич. валики. Для сортировки цилиндрич. роликов применяются автоматы с измерительно-сортировочными устройствами маятникового типа. Над плоским измерит. столом подвешиваются цилиндрич. стержни, расстояния от торцов к-рых до плоскости стола соответствуют границам сортировочных групп. Ролик проходит в зазоры между стержнями и столом последовательно от наибольшего зазора к наименьшему. Если размер диаметра ролика превышает величину зазора между столом и к.-л. стержнем, последний отклоняется, при этом открывается связанная с ним заслонка и ролик проваливается в соответствующий приемник.

Все большее распространение получают высокоточные сортировочные автоматы, основанные на электроконтактном, индуктивном и пневмо-электроконтактном методах измерения. На электроконтактном методе измерений основаны автоматы отечественного производства для сортировки конич. роликов на 10 групп по диаметру и 2 или 3 группы по углу конуса, т. е. всего на 20 или 30 групп (не считая групп бракованных роликов). Ролик вводится автоматически в неподвижное калиброванное кольцо *1* (рис. 1). Глубина *h*

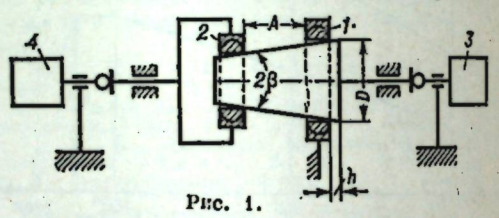


Рис. 1.

погружения ролика в кольцо, зависящая от величины его диаметра на определенном расстоянии от торца, измеряется многоконтактным датчиком *3*, подающим командный электрич. импульс механизмам разбраковки роликов.

Со стороны меньшего торца на ролик надевается второе калиброванное кольцо *2*.

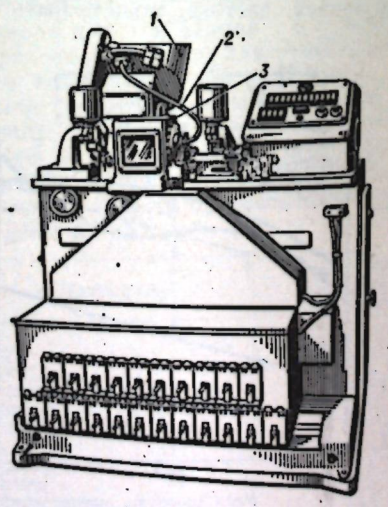


Рис. 2.

Расстояние *A* между кольцами *1* и *2*, определяющее величину *2* β угла конуса ролика, измеряется датчиком *4*. Сортируемые ролики засыпаются в бункер *1* (рис. 2), откуда по трубке *2* поступают в устройство для ориентирования ролика и далее — в транспортирующий диск измерительной позиции *3*. После измерения ролик транспортирующим диском подается в сортировочное устройство, заслонки которого управляются электронной измерительной схемой. Производительность автоматов 2400—4600 *шт/час*. Разноразмерность роликов в группе 3—4 *мк*.

Автомат отечественного произ-ва для сортировки шариков с точностью до десятых долей *мк* основан на индуктивном методе измерений. Характерная особенность автомата — возможность автоматич. поднастройки измерительно-сортировочной системы. Сортируемые шарики засыпаются в бункер, откуда поступают в транспортирующий диск, подающий их на измерит. позицию с индуктивным датчиком. Датчик преобразует линейные перемещения измерит. стержня в электрич. сигнал, поступающий на релейную схему управляющего блока. Периодически, 1 раз в час, на измерит. позицию автоматически подается образцовый шарик. При этом управляющий импульс подается на реверсивный сервопривод, управляющий спец. подналадчиком. Автоматы такого рода применяются для сортировки на 5 групп шариков диаметром от 1 до 3 *мм* и от 3 до 8 *мм*. Бракованные шарики сортируются на 2 группы. Производительность автоматов соответственно 7000 шт. и 18 000 шт. в час.

В условиях автоматизиров. произ-в существенно видоизменяется характер использования С. а. Так, на автоматич. линии по произ-ву шарикоподшипников установлен автомат, на к-рый поступает очередная пара окончательно обработанных колец. На автомате измеряется пневматическим методом разность диаметров дорожек качения колец и подается электрическая команда на вызов комплекта заранее рассортированных шариков, размеры которых соответствуют разности диаметров дорожек данной пары колец.

При расчете сортировочных допусков деталей следует учитывать погрешности измерений при сортировке. При сортировке деталей по одному определенному параметру (наибольшему или наименьшему размеру, ср. размеру и др.) относит. количество деталей, ошибочно попадающих в данную группу из соседних групп, составляет $\approx 25\,\frac{\Delta_{lim}}{\xi}$ %, где Δ_{lim} — предельная погрешность измерений, ξ допуск сортировочной группы. В сравнительно редких случаях в машиностроении применяются автоматы для сортировки деталей по физич. параметрам: упругости, весу и др.

Лит.: Берклайд И. М. [и др.], Контрольные автоматы, М., 1961. *М. И. Кочетов.*

СОСРЕДОТОЧЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ в телемеханике (lumped plants in remote-control; systèmes commandés concentrés; Streckenvermaschung) — подвижные или неподвижные объекты ТУ и ТК, расположенные в одном или неск. пунктах. Примером С. о. служат электростанции и подстанции: на каждой из них размещается неск. десятков таких объектов (выключателей отходящих линий, тр-ров, генераторов и т. п.) (см. *Сосредоточенные объекты в телемеханике*).

О. И. Бронштейн.

СОСТАВА И СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА (automatic equipment for measuring the composition and properties of material; appareillage de mesure automatique de la composition et des proprietés des matières; Messapparatur für die Bestimmung von Stoffzusammensetzung und — Eigenschaften) — совокупность контрольно-измерительной (и регулирующей) аппаратуры для автоматич. идентификации качественного состава, измерения и регулирования количественного состава веществ в производственных процессах, а также измерения значений нек-рых (гл. обр. физико-механич.— плотности, вязкости и др.— и оптич.) свойств, характеризующих состав и сырьевые и потребительские качества веществ. Качество определяется, помимо состава, макро- и микроструктурой. Поэтому к С. и с. в. а. и. а. относятся также приборы для определения строения веществ и материалов. С. и с. в. а. и. а. именуют аналитической, а отрасль техники, занимающуюся ее разработкой и изготовлением,— аналитическим приборостроением. Автоматич. аналитич. приборы применяют: 1) в системах автоматич. контроля и управления производственными процессами; 2) в лабораториях для автоматизации трудоемких и длительных химико-аналитич. операций. В первом случае это автоматы постоянного (циклич. или непрерывного) действия, стационарно установленные непосредственно на технологич. потоке; во втором — полуавтоматы эпизодически-повторного действия, переносные или передвижные. Значение С. и с. в. а. и. а. начало быстро возрастать, когда в 40-х гг. в управлении производственными процессами наметился сдвиг от контроля и регулирования по косвенным критериям (темп-ра, давление, расход и др.) к построению его по прямым качественным признакам (состав, св-ва, структура), имеющим решающее значение для обеспечения кондиционности продукции, а значит и для оценки применяемой технологии.

Номенклатура величин, контролируемых и управляемых при посредстве С. и с. в. а. и. а., очень велика и разнородна (рис. 1) и подразделяется на: 1) газоопределители и газоанализаторы, т. е. концентратометры для газов (см. *Газа анализ*); аппаратура элементного органич. анализа; 2) хроматографы газовые (см. *Хроматография автоматическая*) и жидкостные; электрохроматографы (электрофоретические анализаторы); 3) ультрацентрифуги и аппаратура пр. методов разделения (многократное экстрагирование, зонная плавка и др.); 4) концентратометры для жидкостей (см. *Концентрации жидкостей измерение*), титровальные автоматы (см. *Титратор автоматический*); 5) pH-метры (см. *Концентрации водородных ионов измерение*); оксредметры; полярографы; 6) влагомеры (см. *Влажности газов измерение, Влажности жидкостей измерение, Влажности твердых тел измерение*), приборы для определения упругости паров; 7) концентратометры для физически неоднородных сред — аэрозолей, туманов, взвесей, эмульсий и др. (см. *Дымомер, Нефелометр*); 8) плотномеры (см. *Плотности измерение*); консистометры для взвесей, пульп, шламов, паст и т. п.; 9) вискозиметры (см. *Вискозиметрия*); приборы для определения

текучести, пластичности и других реологич. свойств неньютоновских жидкостей; 10) приборы для определения точек фазовых переходов веществ и критич. точек (темп-ры вспышки, темп-ры застывания и др.); для термич. фазового анализа, для криоскопии и эбуллиоскопии; калориметры для термохимич. измерений; 11) приборы для определения оптич. св-в веществ — аналитич. поляриметры, рефрактометры, интерферометры, фотометры, спектрофотометры и др.; 12) аппаратура оптич. спектрального анализа (см. *Спектроскопия оптическая*); квантометры; пламенные фотометры; 13) *масс-спектрометры*; масс-спектральные течеискатели; 14) радиоспектрометры, газовые и магнитного резонанса (электронного, ядерного) и т. д. (см. *Радиоспектроскопия*); 15) рентгеновские аналитич. приборы абсорбционные (*Рентгенодефектоскопия*), флуоресцентные, дифракционные, эмиссионные и др.; 16) электронные аналитич. микроскопы и электронографы (электронные дифрактографы); 17) аналитические полуавтоматические и автоматические весы (см. *Взвешивание автоматическое*); 18) пробоотборные, пробоподготовительные, кондиционирующие и вспомогательные устройства.

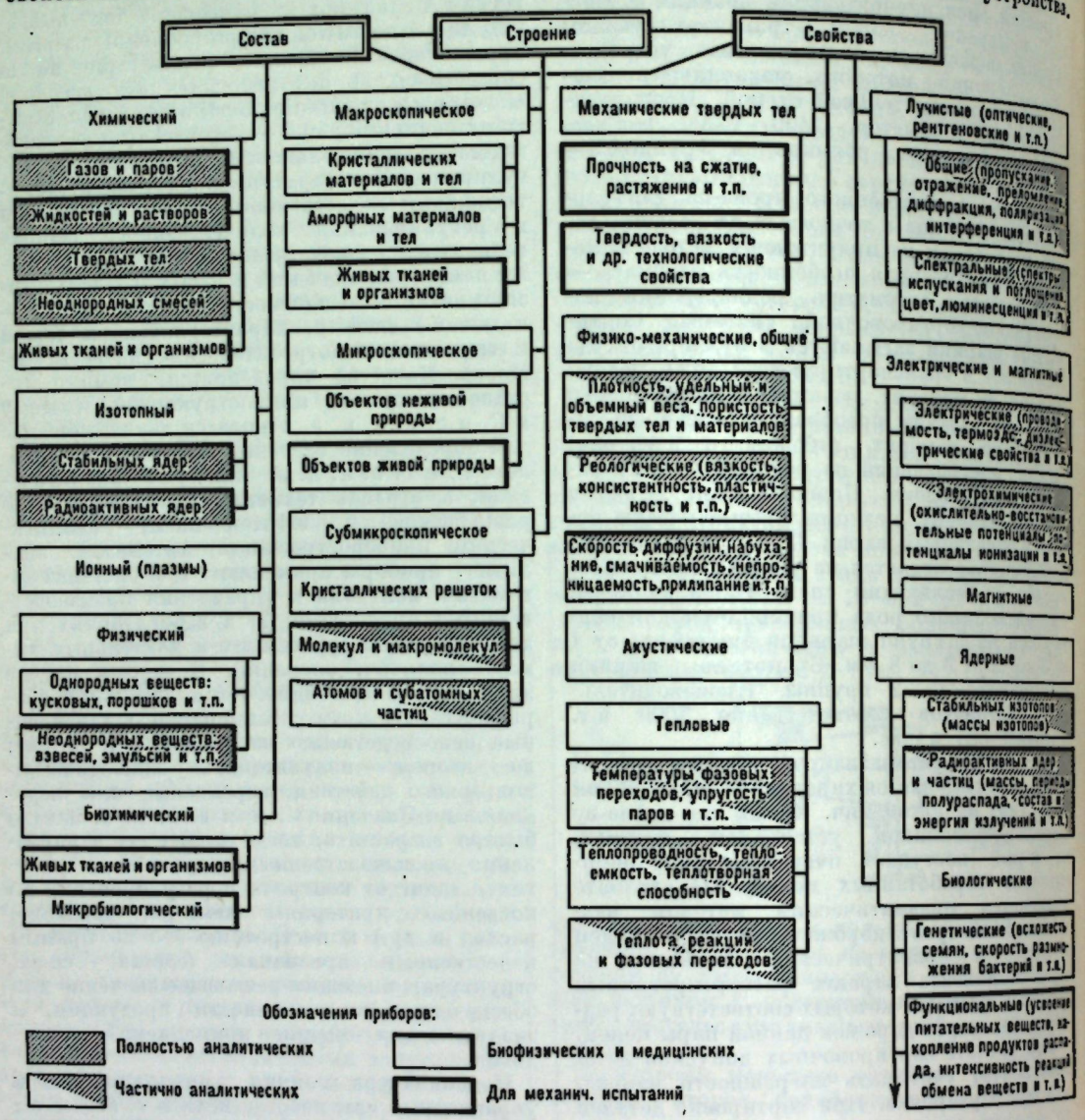


Рис. 1. Систематика величин, измеряемых и определяемых аналитич. приборами и приборами смежных групп.

С. и с. в. а. и. а., как правило, представляет собой измерит. комплект многоблочной структуры. Типичный комплектный прибор (рис. 2) состоит из блока, отбирающего пробу для анализа или измерения из производств. потока и кондиционирующего ее; блока, анализирующего состав (или определяющего значение, св-ва) и формирующего измерит. сигнал (ф-ции анализа или определения и формирования сигнала могут быть разделены между двумя блоками); блока (чаще всего это электроизмерит. устройство), сравнивающего — предпочтительно по нулевому методу — измерит. сигнал с преобразованной в одинаковую с ним форму единицей измерения и позволяющего отсчитать значение сигнала, записать его и т. п.; блока, обеспечивающего все остальные блоки вспомогат. веществами и энергией и координирующего их работу.

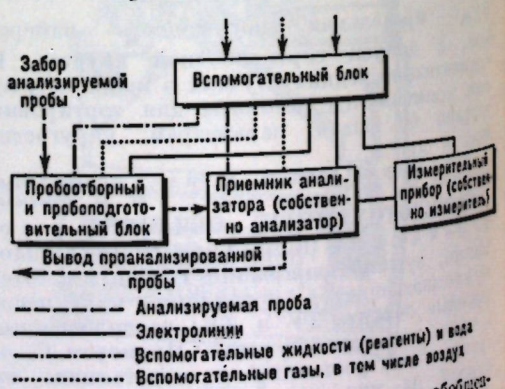


Рис. 2. Принципиальная блок-схема обобщенного аналитич. измерит. прибора.

Специфичность аналитич. приборов требует нек-рых дополнит. критериев для оценки их качества, не применяемых для измерит. приборов др. назначения. Наиболее существенные критерии: 1) универсальность пригодности прибора (метода), т. е. кол-во величин (напр., число компонентов смеси), для измерения каждой из к-рых в отдельности прибор пригоден; 2) избирательность (селективность) — возможность реагирования прибора только на 1 измеряемую величину (напр., на 1 из неск. компонентов смеси); 3) действие во времени непрерывное или повторно-циклическое; 4) индивидуальный (единичный) или спектральный (групповой) результат измерения, в последнем случае он имеет вид спектрограммы. Важнейший критерий качества спектральных измерений — *разрешающая способность*; 5) воспроизводимость результатов определений; 6) время начала реагирования, зависящее от мертвого объема самого прибора и предвключенных емкостей, и передаточная ф-ция (либо постоянная времени), характеризующие динамич. поведение аппаратуры (см. *Динамическая погрешность*).

Наиболее специфичен для С. и с. в. а. и. а. собственно аналитический блок, в котором возникает первичный измерит. сигнал. Для получения сигнала используются самые различные физич. и физико-химич. явления, возникающие при взаимодействии различных видов энергии или вспомогат. веществ с веществом, подлежащим анализу (табл. 1).

Чрезвычайное разнообразие условий аналитич. задач, даже в пределах отд. групп задач, однородных по своему характеру, вызывает необходимость строго индивидуального подхода к решению каждой из них. Напр., появление водорода в относительно значит. количествах в топочных отходящих газах, анализируемых на углекислоту, заставляет отказаться от газоанализатора по теплопроводности и перейти на более сложный прибор, основанный на поглощении ИК радиации. Для каждой конкретной аналитич. задачи необходимо индивидуально подбирать комплект вспомогат. аппаратуры (пробоотборной и пробоподготовительной).

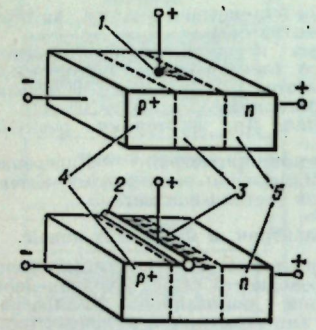
Лит.: Оршанский Д. Л., Павленко В. А., Шутов М. Д., Современное состояние и тенденции развития аналитического приборостроения, Acta IMEKO, 1958, т. 4, Будапешт, 1959, с. 289—310; Паттерсон Г., Новые автоматические приборы для контроля состава сред в химических производствах, в кн.: Химия и химическая технология. Пер. иностр. периодич. лит-ры, 1958, № 2(97), с. 179—94; Albright C. M., Chemical composition and instrumental techniques for its determination, в кн.: Process instruments and controls handbook, N.-Y.— Toronto — L., 1957, p. 6-11—6-24; его же, Basic instrumental schemes for chemical analysis, «Industr. and Engng Chem.», 1960, v. 52, № 6, p. 484—86; Karp H. R., Analysis instrumentation, «Control Engng», 1957, v. 4, № 5, p. 94—101;

Явления или физич. величины, создающие сигнал	Основанные на них методы анализа состава и измерения свойств
1. Взаимодействие вещества и электромагнитного излучения	
Интенсивность и длина волны испускаемого излучения а) термически возбуждаемое излучение б) электромагнитно возбуждаемое излучение	Эмиссионная спектроскопия. Пламенная фотометрия Флуоресцентный анализ. Рамановская спектрофотометрия. Активационный анализ. Рентгено-флуоресцентный анализ
Интенсивность и распределение по длинам волн пропущенного или отраженного излучения	Измерение поглощения и дифракции рентгеновских лучей. Ультрафиолетовая, в видимом свете, инфракрасная и микроволновая спектрофотометрия. Колориметрия. Измерение дифракции и интерференции потоков излучения. Измерение ядерного квадрупольного момента
2. Взаимодействие вещества с др. веществами	
Количество израсходованной пробы или реагента Количество продуктов реакции	Объемно-манометрич. анализ. Автоматич. титраторы Приборы с пропитанной реагентом лентой (ленточные фотометрические анализаторы). Приборы с непрерывной реакцией
Количество выделившегося тепла	Сжигание. Др. экзотермич. реакции
Равновесный потенциал раствора (окислительно-восстановительный)	Окисред-потенциометрия. Измерение pH. Измерение электродных потенциалов (металл-ион металла)
3. Реакция вещества на воздействие электрич. и магнитных полей	
Электрич. явления, вызванные ионизацией пробы	Масс-спектрометрия. Измерение электропроводности газов, обусловленной ударной ионизацией. Полярография, амперометрия и кулонометрия. Кондуктометрия электродная и безэлектродная. Диэлкометрия
Электрич. явления, обусловленные магнитными свойствами пробы	Спектрометрия ядерного магнитного резонанса. Спектрометрия электронного парамагнитного резонанса
Различные физич. явления, обусловленные электрич. или магнитными свойствами пробы	Термомагнитная конвекция (определение парамагнитного кислорода). Электролитическое осаждение
4. Взаимодействие вещества с тепловой или механич. энергией	
Явления, наблюдаемые в основном посредством измерения темп-ры	Измерение теплопроводности (для анализа газовых смесей). Определение точек фазовых переходов (затвердевания, кипения) и критич. точек (вспышки и т. п.)
Явления, зависящие от темп-ры или от термодинамич. равновесия	Измерение упругости паров (пар — жидкость, пар — твердое тело). Дилатометрия
Различные механич. явления	Вискозиметрия (измерение внутреннего трения). Измерение скорости звука в пробе. Измерение плотности

Lewin S. Z., Trends in laboratory instrumentation for analysis. I, II, «Analyt. Chem.», 1958, v. 30, № 6, p. 19A—29A; № 7, p. 17A—26A; Orszanski D. L., Systematyka i znaczenie przyrządów do automatycznego wyznaczania składu, struktury i własności substancji, «Pomiary, Automatyka, Kontrola», 1959, № 2, rok 5, s. 48—51; Patterson G. D. Jr., Automatic operations in analytical chemistry, «Analyt. Chem.», 1959, v. 31, № 4, pt. 2, p. 646—55.

Д. Л. Оршанский.

СПЕЙСИСТОР (спеcистор) (spacistor; spaysistor; Spesystor) — транзистор, в к-ром носители заряда инжектируются в область пространств. заряда коллекторного перехода. В области пространств. заряда электрич. поле сильнее, чем в базе транзистора, поэтому скорости электронов и дырок достигают предельных значений для данного ПП ($6 \cdot 10^6$ *см/сек* для германия и $8 \cdot 10^6$ *см/сек* для кремния). Это дает возможность получать малые времена пролета носителей от эмиттера к коллектору и создавать новые ПП ВЧ приборы (теоретически до 10 000 *Мгц*).



Схемы спейсистора: *1* — точечный эмиттер; *2* — линейный эмиттер; *3* — область пространств. заряда; *4* — база; *5* — коллектор.

На рис. дана схема структуры С.— триодов с точечным или линейным эмиттерами. Область пространственного заряда, отмеченная пунктиром, создана с помощью обратного напряжения на p^+ — n-переходе (p^+- область с высокой концентрацией дырок — вырожденное состояние; см. *Полупроводник вырожденный*). Эмиттер осуществляет инжекцию носителей заряда одного знака, в зависимости от полярности напряжения относительно его плавающего потенциала, т. е. напряжения на эмиттере, при к-ром ток эмиттера равен нулю. Когда на эмиттере оказывается отрицат. напряжение, в область пространств. заряда инжектируются электроны (показано стрелками); при положит. напряжении — дырки.

Действие С. аналогично действию электронной лампы. Ток, создаваемый инжектируемыми носителями заряда в цепи эмиттер — коллектор, зависит не только от напряжения эмиттер—коллектор, но также и от напряжения эмиттер — база. Поэтому сигнал в цепи база — эмиттер (входной сигнал) управляет током коллектора (выходной сигнал). Это управление также электростатическое. Т. о., эмиттер С. аналогичен катоду электронной лампы, база — сетке, коллектор — аноду. С. может быть триодом, тетродом и пентодом. Основные электрич. параметры С.: крутизна вольтамперной хар-ки S, коэфф. усиления по напряжению μ, внутр. сопротивление R_i. Были изготовлены опытные образцы С.— триодов с линейным эмиттером и предложен теоретич. расчет основных электрич. параметров и частотных св-в. Опытные образцы имели: $S = 0{,}5—1{,}0$ *ма/в*, $\mu = 3—5$; частотный предел до 100 *Мгц*; входное сопротивление порядка *Ом*. С. могут найти применение не только в ВЧ технике, но и в устройствах, где требуется иметь высокие входные сопротивления.

Лит.: Анохин В. Г. [и др.], Технология изготовления электронно-дырочных переходов методом двойного легирования и исследование их свойств, в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова, вып. 6, М., 1960; Заров А. Л., Низкочастотные параметры усилительного спейсистора-триода, «ИВУЗ. Радиотехника», 1960, № 2; его же, О частотных свойствах спейсистора-триода, там же, № 4; Statz H., Pector spacistor tetrodes, «Proc. I.R.E.», 1957, v. 45, № 11, p. 1475—83; Gärtner W. W., Design theory for depletion layer transistors, там же, № 10, p. 1392—1400; Lavine J. M. [a. o.], The spacistor, «IRE Trans. Electron Devices», 1961, v. ED—8, № 4, p. 252—64.

К. И. Скорых.

СПЕКТР ЧАСТОТ электрический (frequency spectrum; spectre de fréquences; Frequenzbereich, Frequenzspektrum) — непрерывный ряд гармонич. частот, используемых в радиоэлектронике (до $3 \cdot 10^{11}$ *Мгц*) и электротехнике (от единиц *гц* до *Мгц*). В узком смысле слова С. ч. есть совокупность гармонич. составляющих, на к-рые может быть разложен сигнал.

СПЕКТР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ (power density spectrum; spectre d'énergie; Energiespektrum) — спектральная плотность ср. мощности случайного процесса (СП) как ф-ция частоты. При исследовании неслучайных (полностью детерминированных) процессов очень часто и весьма успешно применяется гармонич. анализ: ряды Фурье — для периодических и интеграл Фурье — для апериодич. процессов. Непосредств. приложение классич. гармонич. анализа к случайным процессам (см. *Вероятностный процесс*) невозможно, т. к. для реализаций этих процессов спектральные плотности по Фурье не имеют конечных значений при любых частотах. Однако понятие «спектра» и спектральные методы исследования применительно к СП не бесполезны. Как показали А. Я. Хинчин и Н. Винер, можно обобщить гармонич. анализ, усредняя спектральные разложения усеченных реализаций СП.

Рассмотрим одну реализацию $\xi^{(k)}(t)$ случайного процесса $\xi(t)$. Пусть, кроме того, $\xi_T^{(k)}(t)$ — усеченная реализация, равная нулю вне интервала $|t| \leqslant \frac{T}{2}$ и совпадающая с $\xi^{(k)}(t)$ внутри этого интервала. Спектр (преобразование Фурье) $\xi_T^{(k)}(t)$ имеет вид:

$$Z_T^{(k)}(i\omega) = \int_{-T/2}^{T/2} \xi_T^{(k)}(t)\, e^{-i\omega t} dt.$$

Если $\xi_T^{(k)}(t)$ — напряжение или ток на нагрузке 1 *ом*, то ср. мощность на частоте ω, отнесенная к полосе $\Delta f = 1/T$, равна

$$G_T^{(k)}(\omega) = \frac{2}{T} \left| Z_T^{(k)}(i\omega) \right|^2 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \int_{-T/2}^{T/2} \xi_T^{(k)}(t_1) \times \xi_T^{(k)}(t_2)\, e^{-i\omega(t_1 - t_2)}\, dt_1\, dt_2.$$

Предел при $T \to \infty$ случайной ф-ции $G_T(\omega)$ [т. е. совокупности реализаций $G_T^{(k)}(\omega)$, соответствующих $\xi_T^{(k)}(t)$] не стремится, вообще говоря, к определ. пределу, а также является случайной ф-цией. Среднее по множеству реализаций для $G_T(\omega)$ равно:

$$F_T(\omega) = m_1\{G_T(\omega)\} = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \int_{-T/2}^{T/2} m_1\{\xi_T(t_1)\, \xi_T(t_2)\} \times e^{-i\omega(t_1 - t_2)}\, dt_1\, dt_2.$$

Вводя корреляц. ф-цию $B(t_1, t_2)$ процесса $\xi(t)$ (см. *Корреляция*), можно $F_T(\omega)$ представить в виде

$$F_T(\omega) = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \int_{-T/2}^{T/2} B(t_1, t_2)\, e^{-i\omega(t_1 - t_2)} dt_1\, dt_2.$$

Если СП $\xi(t)$ — стационарный (по крайней мере, в широком смысле), то $B(t_1, t_2) = B(t_1 - t_2)$. Тогда предел правой части приведенного выражения при $T \to \infty$ существует и равен

$$\lim_{T \to \infty} F_T(\omega) = \lim_{T \to \infty} \frac{2}{T} m_1\{|Z_T(i\omega)|^2\} = 2 \int_{-\infty}^{\infty} B(\tau)\, e^{-i\omega\tau} d\tau = F(\omega).$$

Ф-цию частоты $F(\omega)$, т. е. предел при $T \to \infty$ усредненной по множеству реализаций спектр. плотности ср. мощности процесса, наз. С. э. стационарного СП. Этот спектр дает только усредненную энергетич. картину распределения энергии процесса по частотам элементарных гармонич. составляющих, но не учитывает их фазовой структуры.

С. э. $F(\omega)$ и корреляц. ф-ция $B(\tau)$ стационарного СП связаны друг с другом преобразованием Фурье (теорема Хинчина — Винера):

$$F(\omega) = 4 \int_0^{\infty} B(\tau) \cos\omega\tau\, d\tau,$$

$$B(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} F(\omega) \cos\omega\tau\, d\omega.$$

С. э. является неотрицат. четной ф-цией частоты. Ср. мощность СП равна площади его С. э. (деленной на 2π):

$$B(0) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} F(\omega)\, d\omega.$$

Спектральная плотность ср. мощности при $\omega = 0$ равна

$$F(0) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} B(\tau)\, d\tau,$$

т. е. удвоенной площади под кривой корреляц. ф-ции. Если $B(\tau)$ неотрицательна; то $F(0)$ пропорциональна времени корреляции процесса.

Величина площади под кривой С. э., отнесенная к спектральной плотности на нек-рой характерной частоте ω_0, наз. шириной полосы С. э.:

$$\Delta f = \frac{\int_0^{\infty} F(\omega)\, d\omega}{2\pi F(\omega_0)}.$$

Эту величину можно трактовать как ширину равномерного в полосе Δf С. э. процесса, эквивалентного данному по ср. мощности.

Корреляц. ф-ция $B(\tau)$ и С. э. $F(\omega)$ стационарного СП обладают всеми присущими преобразованию Фурье св-вами. В частности, чем «шире» спектр $F(\omega)$, тем «уже» корреляц. ф-ция $B(\tau)$ и наоборот. Иначе говоря, произведение времени корреляции на ширину полосы — пост. величина для семейства С. э. заданной формы.

Аналогично изложенному выше, вводя усеченные реализации $\xi_T^{(k)}(t)$, $\eta_T^{(k)}(t)$ и их преобразования Фурье $Z_{T\xi}^{(k)}(i\omega)$, $Z_{T\eta}^{(k)}(i\omega)$, можно определить взаимные С. э. стационарных и стационарно связанных СП $\xi(t)$ и $\eta(t)$:

$$F_{\xi\eta}(\omega) = \lim_{T \to \infty} \frac{2}{T} m_1\{Z_{T\xi}(i\omega)\, Z_{T\eta}^*(i\omega)\},$$

где звездочка обозначает комплексно-сопряж. величину. Взаимные С. э. и взаимные корреляц. ф-ции также связаны преобразованием Фурье. Следует отметить, что в отличие от С. э. одного процесса, к-рый является действит. четной ф-цией, взаимный С. э. двух процессов — комплексный, действит. часть к-рого четна, а мнимая — нечетна.

Различают СП с дискретными и непрерывными С. э. Дискретными С. э., к-рые представляют последовательности спектр. линий (дельта-функций), сосредоточенных на дискретных частотах (рис. 1, *а*), обладают процессы,

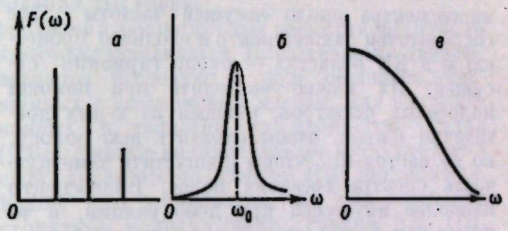


Рис. 1. Энергетич. спектры случайных процессов: *а* — дискретные; *б* — непрерывные узкополосные; *в* — непрерывные широкополосные.

изменения к-рых во времени описываются детерминированными ф-циями, зависящими, возможно, от случайных параметров (напр., гармонич. колебание пост. амплитуды со случайной фазой). Процесс с непрерывным спектром может быть узкополосным (рис. 1, *б*), когда С. э. процесса в основном сосредоточен в относительно узкой полосе частот около нек-рой фиксиров. частоты ω_0, или широкополосным (рис. 1, *в*), когда указанное условие не выполняется. Предельной математич. идеализацией широкополосных процессов является *шум белый*, для к-рого С. э. равномерный на всех частотах.

Если стационарный случайный процесс, С. э. к-рого равен $F(\omega)$, действует на вход фильтра (линейной системы) с частотной хар-кой $c(\omega)$, то С. э. процесса на выходе фильтра равен $F(\omega)\, c^2(\omega)$. С. э. белого шума на выходе фильтра совпадает по форме с квадратом его частотной хар-ки. При этом процесс будет широкополосным на выходе видеофильтра (рис. 2, *а*) и узкополосным — на выходе полосового фильтра, когда его резонансная частота ω_0 много больше ширины Δ полосы фильтра (рис. 2, *б*).

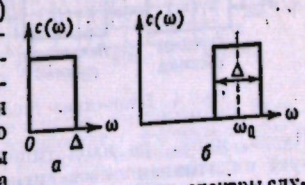


Рис. 2. Энергетич. спектры случайного процесса на выходе: *а* — видеофильтра, *б* — полосового фильтра.

Для определения С. э. процесса на выходе нелинейной неинерц. системы (детектора, преобразователя, модулятора, ограничителя и т. п.) необходимо, кроме вольтамперной характеристики системы, располагать информацией о

тонкой статистич. структуре входного процесса — по крайней мере, двумерной плотности вероятности. Широкополосный стационарный СП после нелинейного неинерц. преобразования также стационарный и широкополосный. С. э. узкополосного стационарного СП, прошедшего нелинейную неинерц. систему, представляет собой совокупность разделенных друг от друга спектр. полос (рис. 3). Эти полосы расположены в области

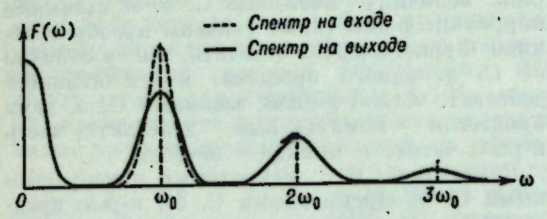


Рис. 3. Энергетич. спектры узкополосного стационарного процесса, прошедшего нелинейную неинерц. систему.

видеоспектра около несущей частоты (где сосредоточен также спектр и входного процесса) и в ВЧ областях — около гармоник несущей. Их можно разделить при помощи полосовых фильтров, каждый из к-рых достаточно широк, чтобы охватить всю полосу, но не настолько, чтобы пропустить заметную часть спектра соседних полос. Видеоспектр наиболее интересен при демодуляции, в то время как спектр. полоса около несущей важна для изучения таких процессов, как модуляция и гетеродинирование.

С. э. широко используются при оценке и сравнении качества различных систем (связи, радиолокации, навигации, САР и др.) по тем или иным энергетич. критериям. Большое число задач возникает в связи с воздействием помех на полезные сигналы. Тогда необходимо прежде всего условиться о критерии *помехозащищенности*, выбор к-рого зависит от метода выделения (наблюдения) полезного сигнала. Часто в качестве такого критерия принимают отношение мощностей сигнала и помехи (или корень квадратный из этого отношения) (см. *Отношение сигнал/помеха*). Для расчета этого отношения успешно используется теория преобразований С. э. случайных процессов в линейных и нелинейных системах. Отдельные устройства могут быть представлены рядом типовых звеньев, каждое из к-рых состоит из двух линейных и одной нелинейной системы. Рассмотрим порядок расчета отношения сигнал/помеха на выходе типового звена (рис. 4).

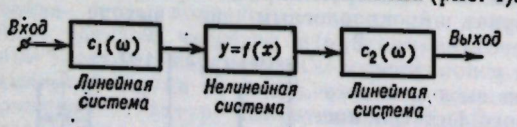


Рис. 4. Блок-схема типового звена.

Пусть, напр., на вход типового звена действует аддитивная смесь сигнала — детерминированной ф-ции времени, и помехи — шума, представляющего собой стационарный СП. Т. к. сигнал и шум при этом проходят через линейную систему независимо, то на входе нелинейного элемента по-прежнему имеем сумму детерминированного сигнала и шума, спектры к-рых, как указывалось выше, деформируются в соответствии с частотной хар-кой линейной системы. С. э. процесса на выходе нелинейного элемента имеет более сложную структуру. Спектральные составляющие, появляющиеся после нелинейного преобразования, возникают вследствие взаимных биений составляющих входного процесса, причем их число и интенсивность определяется видом преобразования и статистич. хар-ками самого процесса на входе. В С. э. на выходе нелинейной неинерц. системы различают в этом случае три гл. части в зависимости от того, какие частотные составляющие на входе создают их. Дискретная часть спектра $F_{\text{схс}}(\omega)$ соответствует биениям между компонентами сигнала (предполагается, что частотные компоненты сигнала дискретны). Одна часть непрерывного спектра $F_{\text{шхш}}(\omega)$ образуется биениями составляющих шума, а другая часть $F_{\text{схш}}(\omega)$ — взаимными биениями компонент сигнала и шума. Дискретная часть спектра дополняется спектральной линией при $\omega = 0$, к-рая соответствует постоянной составляющей на выходе, также возникающей вследствие биений между компонентами сигнала и шума. На рис. 5 показаны типичные

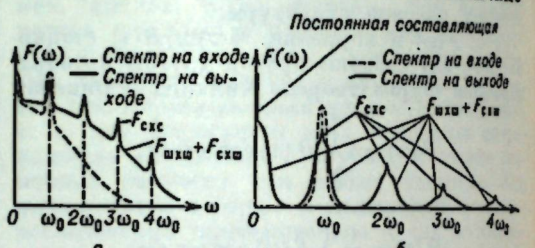


Рис. 5. Энергетич. спектры, полученные при нелинейном преобразовании суммы немодулиров. несущей частоты и шума.

С. э., получающиеся при нелинейном преобразовании суммы немодулированной несущей и шума (широкополосного *а* и узкополосного *б*).

Пусть $c(\omega)$ — частотная хар-ка фильтра, следующего за нелинейным элементом. Тогда С. э. процесса на выходе типового звена:

$$F(\omega) = c^2(\omega)\,[F_{\text{схс}}(\omega) + F_{\text{шхш}}(\omega) + F_{\text{схш}}(\omega)].$$

Для того чтобы подсчитать отношение сигнал/шум на выходе типового звена, необходимо решить, куда (к сигналу или к шуму) отнести часть выходного спектра $c^2(\omega)F_{\text{схш}}(\omega)$. Различаются две разновидности энергетич. критерия оценки помехозащищенности: а) биения между компонентами сигнала и шума отнесены к шуму, б) биения между компонентами сигнала и шума отнесены к сигналу. В первом случае отношение сигнал/ помеха подсчитывается по ф-ле:

$$\left(\frac{\text{С}}{\text{П}}\right)_a = \frac{\int_0^\infty c^2(\omega)\,F_{\text{схс}}(\omega)\,d\omega}{\int_0^\infty c^2(\omega)\,[F_{\text{шхш}}(\omega) + F_{\text{схш}}(\omega)]\,d\omega},$$

а во втором — по ф-ле:

$$\left(\frac{\text{С}}{\text{П}}\right)_б = \frac{\int_0^\infty c^2(\omega)\,[F_{\text{схс}}(\omega) + F_{\text{схш}}(\omega)]\,d\omega}{\int_0^\infty c^2(\omega)\,F_{\text{шхш}}(\omega)\,d\omega}.$$

По сравнению с критериями, основанными на более полных статистич. данных, энергетич. оценка имеет ряд преимуществ: простота физич. трактовки, возможность несложными математич. операциями фактически вычислить отношение сигнал/шум и получить т. о. наглядную меру качества устройства или системы. Однако энергетич. оценка неполна: она дает лишь частичную хар-ку системы и совершенно не учитывает действит. процесс принятия решения, независимо от того, принимает ли его автомат или человек. Энергетич. оценка качества системы не всегда точно совпадает с результатами экспериментов, т. к. при наличии нелинейных элементов иногда в точности нельзя определить, что относится к наблюдаемому выходному сигналу, а что к шуму.

Лит.: 1) Давенпорт В. Б., Рут В. Л., Введение в теорию случайных сигналов и шумов, пер. с англ., М., 1960; 2) Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; 3) Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 1, М., 1961; 4) Харкевич А. А., Спектры и анализ, 4 изд., М., 1962; 5) Хинчин А. Я., Теория корреляции стационарных стохастических процессов, «УМН», 1938, вып. 5; 6) Винер Н., Интеграл Фурье и некоторые его приложения, пер. с англ., М., 1963.

Б. Р. Левин.

СПЕКТРОСКОПИЯ ИНФРАКРАСНАЯ (СИ) (infrared spectroscopy; spectroscopie infrarouge; infrarote Spektroskopie) — раздел молекулярной спектроскопии, изучающий колебательные и вращательные спектры молекул. Спектр ИК поглощения индивидуального вещества состоит из полос поглощения, положение к-рых (в шкале частот) определяется частотами внутримолекулярных колебаний. Колебат. и колебательно-вращат. ИК спектры молекул исследуют в области длин волн от 1 до 25 *мк* (10 000—400 $см^{-1}$), реже, в силу больших экспериментальных трудностей, в более длинноволновой области, где проявляются нек-рые НЧ колебания и вращат. частоты молекул. В спектроскопии принято пользоваться вместо частот f в *гц* волновыми числами ν с размерностью $см^{-1}$, к-рые связаны между собой и с длиной волны λ соотношениями: $f = c/\lambda$, $\nu = 1/\lambda$, $f = c\nu$ (c — скорость света $3 \cdot 10^{10}$ *см/сек*). Говоря о частотах, подразумевают соответствующее волновое число.

Поглощение ИК излучения частоты ν определяется законом Бугера — Ламберта—Бера [1, 2, 3]:

$$I(\nu) = I_0(\nu)\,e^{-k(\nu)\,bC}$$

или, переходя к десятичному логарифму,

$$I(\nu) = I_0(\nu) \cdot 10^{-\varepsilon(\nu)\,bC}, \qquad (1)$$

где $I_0(\nu)$ — величина падающего светового потока (рис. 1), $I(\nu)$ — световой поток, прошедший через слой поглощающего вещества толщины b (*см*), с концентрацией поглощающих молекул C (*моль/л*); $\varepsilon(\nu)$ — коэфф. погашения ($моль^{-1} \cdot см^{-2} \cdot л$), являющийся хар-кой поглощат. способности молекулы для данной частоты ν. Величину $\varepsilon(\nu_0)$, где ν_0 — положение максимума поглощения, наз. интенсивностью линии в максимуме (полосы), а $\int_{\nu_1}^{\nu_2} \varepsilon(\nu)d\nu$ — интегральной интенсивностью в интервале частот ν_1, ν_2. Величина поглощения возрастает с увеличением $\varepsilon(\nu)$. Поглощение в полосе остается неизменным, если увеличение толщины слоя компенсируется пропорц. уменьшение $b \cdot C$ не изменяется (это верно, если закон Бугера—Ламберта—Бера выполняется в данном интервале концентраций). Коэфф. погашения для большого числа молекул довольно велики, так что для регистрации спектра достаточно небольшого количества вещества, обычно доли *мл*.

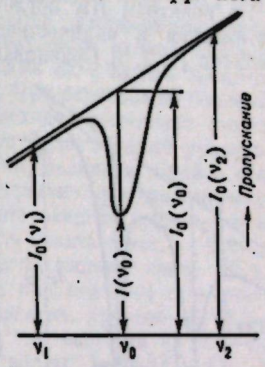


Рис. 1. Полоса поглощения при однолучевой регистрации спектра.

Кюветы, в к-рые помещают исследуемое вещество, устроены так, что жидкость образует в них однородный слой заданной толщины b. Для исследования ИК спектров газов и замороженных веществ конструкция кювет видоизменяется. Нерастворимые твердые вещества исследуют в виде порошков, смешанных с вазелиновым маслом, или запрессованных в таблетки из бромистого калия (KBr). Каждое индивидуальное вещество имеет свой характерный спектр ИК поглощения. Кроме того, установлено, что ряд элементов структуры молекул (напр., группы NH, OH, PH, SH, SiH, CH, CO, CN и др.) проявляется в ИК спектрах в виде интенсивных полос поглощения, положение к-рых почти не изменяется (или меняется в довольно узких пределах) при переходе от одной молекулы к др. Эти т. н. характеристические полосы используются для обнаружения перечисленных структурных групп в молекулах неизвестного строения. Существуют [4, 5] спец. таблицы, в к-рых указаны интервалы частот, характерные для тех или иных химич. структурных групп. Такие таблицы полезны для ориентировочной оценки структурно-группового состава вещества неизвестного строения или смеси веществ. Спектры двух различных веществ всегда отличаются друг от друга числом полос поглощения, значениями их

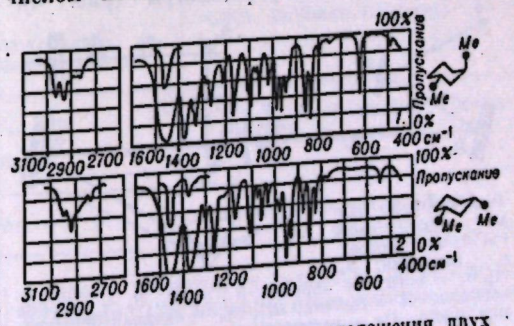


Рис. 2. Изменение относит. расположения двух метильных групп в молекуле *1*, 3-диметилциклогексана [транс-(*1*) и цис-(*2*) изомеры] приводит к существенному различию спектров изомеров. Метильная группа — CH_3.

частот и интенсивностей. Отличие в спектрах становится существенным даже при небольших отличиях в пространственной конфигурации молекул (рис. 2). Это важное свойство ИК спектров используется для аналитич. целей.

Сравнивая спектр ИК поглощения смеси веществ с эталонными спектрами индивидуальных соединений, можно установить качественный состав смеси. Собрания эталонных спектров выполняются обычно в виде атласов, каталогов или картотек перфокарт [4, 5, 6, 7].

По спектрам ИК поглощения может быть установлен и количественный состав смеси веществ [1, 2, 3]. Сравнивая ИК спектр смеси, напр., из двух веществ $A+B$ со спектрами индивидуальных соединений A и B, находим две неперекрывающиеся полосы с частотами $\nu_1(A)$ и $\nu_2(B)$. Поглощение в спектре смеси определяется суммарным поглощением: в ν_1 поглощением полосы B и фоном поглощения A, в ν_2 — поглощением полосы A и фоном поглощения B (рис. 3). Это можно записать в виде системы уравнений [при условии, что закон (1) выполняется в ожидаемом интервале концентраций C_A и C_B]:

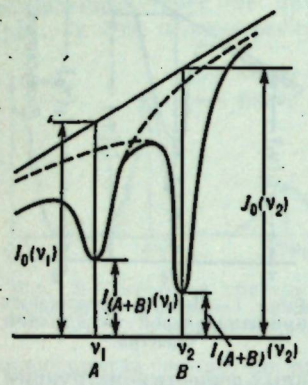


Рис. 3. Участок спектра ИК поглощения двухкомпонентной смеси $A+B$ веществ A и B.

$$\left.\begin{aligned}\lg\frac{I_0(\nu_1)}{I_{(A+B)}(\nu_1)}&=\varepsilon_A(\nu_1)\,bC_A+\varepsilon_B(\nu_1)\,bC_B\\ \lg\frac{I_0(\nu_2)}{I_{(A+B)}(\nu_2)}&=\varepsilon_A(\nu_2)\,bC_A+\varepsilon_B(\nu_2)\,bC_B\end{aligned}\right\}. \quad (2)$$

Левые части ур-ний определяются измерением $I_0(\nu_1)$, $I_0(\nu_2)$, $I_{(A+B)}(\nu_1)$, $I_{(A+B)}(\nu_2)$ по спектру ИК поглощения смеси, а величины $\varepsilon_A(\nu_1)$, $\varepsilon_B(\nu_1)$, $\varepsilon_A(\nu_2)$ и $\varepsilon_B(\nu_2)$ определяются из спектров ИК поглощения чистых веществ A и B после исключения аппаратурных искажений. Решая систему ур-ний (2), можно определить неизвестные концентрации C_A и C_B. Аналогично определяется состав многокомпонентных смесей с числом компонентов больше двух.

Для регистрации спектров ИК поглощения используются спектрофотометры (рис. 4).

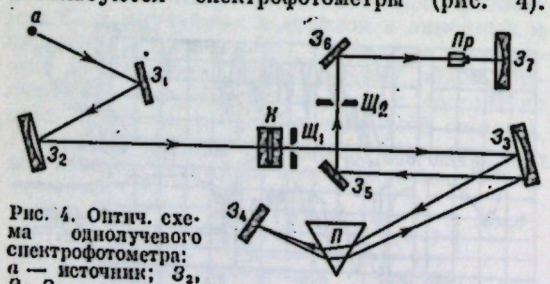


Рис. 4. Оптич. схема однолучевого спектрофотометра: a — источник; $З_2$, $З_3$, $З_7$ — вогнутые зеркала; $З_1$, $З_4$, $З_5$, $З_6$ — плоские зеркала; $П$ — призма; $Щ_1$, $Щ_2$ — входная и выходная щели; $Пр$ — приемник излучения; K — кювета с поглощающим веществом.

Излучение от источника a сплошного спектра (силитовый стержень, штифт Нернста) проходит через кювету K с исследуемым веществом. Далее поток, ослабленный поглощением, проходит в монохроматор через входную щель $Щ_1$, где разлагается в спектр с помощью диспергирующего элемента, напр. призмы $П$. При повороте зеркала $З_4$ через выходную щель $Щ_2$ монохроматора поочередно будут выходить световые потоки различных длин волн (частот). Эти монохроматич. потоки регистрируются приемником излучения $Пр$ (болометр, термопара, фотосопротивление). Усиленный фототок регистрируется самопишущим потенциометром. Величина фототока пропорциональна световому потоку частоты ν, прошедшему через кювету K, т. е. величине $I(\nu)$ в ф-ле (1). Для определения $I_0(\nu)$ в ф-ле (1) нужно записать спектр излучения источника в отсутствие поглощающего вещества до или после записи $I(\nu)$. Такой способ регистрации спектра наз. одноlучевым, а соответствующие спектрометры—одноlучевыми. Примером такого прибора является прибор ИКС-12, выпускаемый в СССР. Разновременная запись $I(\nu)$ и $I_0(\nu)$, необходимая для количественных измерений, требует больших затрат времени, при этом приходится предъявлять очень высокие требования к стабильности источника излучения и приемнорегистрирующей системы прибора.

От этого недостатка свободны получившие большое распространение т. н. двухлучевые спектрофотометры, где отношение $I(\nu)/I_0(\nu)$ регистрируется автоматически. В таких приборах (рис. 5) световой поток от источника a

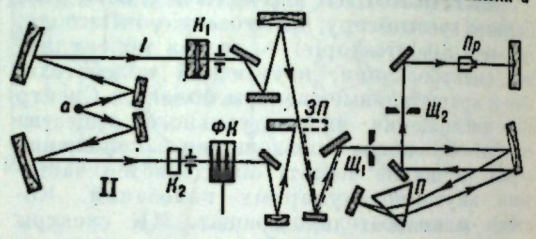


Рис. 5. Оптич. схема двухлучевого спектрофотометра: a — источник; $ЗП$ — зеркальный прерыватель; $Щ_1$ и $Щ_2$ — входная и выходная щели монохроматора; $П$ — призма; $Пр$ — приемник; $ФК$ — фотометрич. клин; K_1 и K_2 — кювета с поглощающим веществом и кювета сравнения.

с помощью оптич. системы разделяется на два пучка I и II. Пучок I проходит через кювету K_1 с поглощающим веществом, а II через кювету сравнения K_2 и через фотометрич. клин $ФК$. Далее с помощью системы зеркал и зеркального прерывателя $ЗП$ оба пучка поочередно направляются через монохроматор, аналогичный описанному выше, на приемник излучения $Пр$. Если интенсивность пучков неодинакова, то в приемнике возникает перем. сигнал с частотой, равной частоте прерывания. Усиленный и преобразованный сигнал подается на сервомотор, к-рый вводит в пучок сравнения II фотометрич. клин $ФК$. Он ослабляет интенсивность пучка II, пока ее величина не сравняется с интенсивностью пучка I, прошедшего через поглощающее вещество. Перемещение клина связано механически или электрически с самописцем, на к-ром и получается спектрограмма.

Для разложения светового потока в спектр в обл. от 1 до 25 *мк* используются призмы из стекла и монокристаллов солей LiF, NaCl, KBr и др. Стеклянные призмы применяются в области 1—2,5 *мк*, LiF—1—6 *мк*, CaF_2—3—7 *мк*, NaCl—5—15 *мк*, KCl—10—20 *мк*, KBr—15—25 *мк*. Окошки кюветы изготовляются из тех же материалов. В нек-рых приборах для разложения света в спектр использ-

уются вместе с призмами наборы дифракционных решеток. В таблице перечислены наиболее распространенные ИК спектрофотометры.

С. и. находит применение и непосредственно в процессе химич. произ-ва. После детального исследования ИК спектров конечных (исходных) продуктов и продуктов промежуточных стадий химич. процесса можно отобрать отд. полосы или группы полос поглощения, по к-рым осуществляют непрерывный контроль за ходом технологич. процесса. В этом случае нужный интервал частот выделяют с помощью фильтров или простых монохроматоров с малой разрешающей способностью. Изменение концентрации контролируемого продукта приводит к изменению величины поглощения, а следовательно, и к изменению светового сигнала. Так, ИК поглощение может быть использовано для создания датчиков концентрации, к-рые применяются в схемах автоматич. контроля или управления технологич. процессами. С. и. позволяет с большой точностью контролировать состав практически любых химич. продуктов.

Наиболее распространенные ИК спектрофотометры

Марка	Область длин волн (*мк*)	Призмы, решетки	Страна, фирма, город
ИКС-14 UR-10 H-800	1—25 1—25 1—25	Стекло, LiF, NaCl, KBr LiF, NaCl, KBr Стекло, LiF, NaCl, KBr	СССР, ЛООМП, Ленинград ГДР, Zeiss, Иена Англия, Hilger and Watts
SP-100	1—25	NaCl, CaF_2, KBr	Англия, Unicam Instruments Ltd., Кембридж
Leitz, ИК спектрометр	1—32	LiF, NaCl, KBr, CsBr, набор дифракционных решеток.	ФРГ, Leitz, Wetzlar
Mod. 221	2—15	NaCl с решеткой	США, Perkin-Elmer (филиал в ФРГ)
Mod. 237 Mod. 421	2,5—15 2,5—18	Две решетки » »	США, Perkin-Elmer » »
IR-4	1—36	NaCl, CaF_2, LiF, KBr, CsBr, двойной монохроматор	США, Beckman, California
IR-5 IR-7	2—16 2,5—15	NaCl NaCl — 1-й монохроматор, решетка — 2-й монохроматор	США, Beckman, California » »
Mod. 4-55 Mod. KM-1	2—26 2—26	NaCl, LiF, CaF_2, KBr CaF_2, NaCl, KBr	США, Baird-Atomic, Massachusetts » »
EPI-2	2—26	CaF_2, NaCl, KBr	Япония, Hitachi Ltd., Токио

Лит.: 1) Чулановский В. М., Введение в молекулярный спектральный анализ, 2 изд., М.—Л., 1951; 2) Методы спектрального анализа, под ред. В. Л. Левшина, М., 1962; 3) Кросс А., Введение в практическую инфракрасную спектроскопию, пер. с англ., М., 1961; 4) Применение спектроскопии в химии, под ред. В. Веста, пер. с англ., М., 1959; 5) Белами Л., Инфракрасные спектры молекул, пер. с англ., М., 1957; 6) Перфорированные карты и их применение в науке и технике, под ред. Р. Кейси [и др.], пер. с англ., М., 1963; 7) Александия В. Т., Баринова З. Б., «ЗЛ», 1963, т. 29, № 7, с. 849.

Г. *Н. Жижин.*

СПЕКТРОСКОПИЯ ОПТИЧЕСКАЯ (optical spectroscopy; spectroscopie optique; optische Spektroskopie) —изучение спектров излучения, поглощения, комбинационного рассеяния света (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного) в прибл. диапазоне 0,1—100 *мк*, данные и методы С. о. используются для определения состава и молекулярной структуры вещества. Все спектры излучения и поглощения объясняются изменениями энергетич. состояний электронов, атомов или молекул, т. е. переходами их с одного энергетич. уровня на другой. При переходе на более низкий уровень происходит выделение энергии, а при переходе на более высокий уровень — поглощение энергии, величина к-рой в обоих случаях равна энергетич. расстоянию между уровнями. Если эта энергия выделяется или поглощается в виде кванта света, то происходит излучение или поглощение света. По правилу частот Бора при переходе с энергетич. уровня E_2 на энергетич. уровень E_1 ($E_2>E_1$) излучается свет с частотой $f=(E_2-E_1)/h$ или с длиной волны $\lambda=hc/(E_2-E_1)$ (где $h=6{,}6\cdot10^{-27}$ *эрг·сек* — постоянная Планка, c—скорость света); при обратном переходе поглощается свет той же длины волны. Т. о., каждому возможному переходу соответствует излучение (поглощение) света определ. длины волны — определ. спектральная линия. Совокупность всех спектральных линий (соответствующих всем возможным переходам), наблюдаемых у данного вещества, есть спектр излучения (или поглощения) этого вещества. У атомов характер и расположение энергетич. уровней определяется структурой электронных оболочек (электронные уровни). Наиболее простой вид имеют спектры одноатомных газов, представляющие набор строго определенных (для данного газа) дискретных линий; появ-

ление и интенсивность отд. линий зависят от способа и условий возбуждения спектра; вследствие ряда причин (столкновения между атомами в результате теплового движения, эффект Доплера, проявляющийся при движении излучающего атома, влияние внешних электрич. и магнитных полей и др.) спектральные линии даже в этих наиболее простых случаях оказываются не абсолютно тонкими, но имеют конечную ширину (в наилучших случаях такое размытие линии может составлять всего лишь тысячные доли Å). Такие спектры наз. линейчатыми. Линии этих спектров образуют закономерные последовательности, к-рые наз. сериями. Молекулы, помимо электронных, обладают колебат. уровнями, соответствующими различным энергиям колебаний атомов (точнее — ядер), и вращат. уровнями, к-рые соответствуют различным состояниям вращения молекулы. Спектры наиболее простых — двухатомных — молекул имеют уже вид полос, образованных тесно располагающимися линиями, а полосы группируются в системы, из к-рых и состоит весь спектр, наз. поэтому полосатым. Вид его объясняется тем, что при данной энергии электронных оболочек атомов, образующих молекулу, и при данном колебат. состоянии молекулы возможны изменения вращат. состояний, т. е. переходы между различными вращат. уровнями; в результате получается ряд тесно расположенных спектральных линий, составляющих полосу; при иных колебат. состояниях будут наблюдаться др. полосы, совокупность к-рых образует системы полос; наконец, различным энергиям электронных оболочек будут соответствовать различные системы полос. Спектры более сложных молекул расшифровать значительно труднее. Спектры комбинационного рассеяния объясняются взаимодействием света с колеблющимися молекулами. Колебания молекул, совершающиеся с частотой f', приводят к периодич. модуляции амплитуды светового луча, а это равносильно появлению в рассеянном свете двух новых («комбинационных») частот $f_0 \pm f'$ вместо первоначальной частоты рассеиваемого света f_0. Наконец, упорядоченное расположение атомов в кристалле обусловливает спектры, характер к-рых зависит от структуры кристаллич. решетки и от хар-к междуатомных связей. Т. о., всякое вещество (твердое, жидкое или газообразное) характеризуется своими оптич. спектрами.

Для наблюдения и регистрации спектров служат спектральные приборы, в к-рых свет изучаемого источника разлагается в спектр. Приборы, позволяющие определять положение (т. е. длины волн) отд. спектральных линий и полос, наз. спектрометрами; приборы, посредством к-рых можно, кроме того, определять относит. интенсивность таких линий и полос, наз. спектрофотометрами (в частности, спектрографами, в к-рых спектр регистрируется на фотопластинке). Если для разложения света используется призма, то прибор наз. призменным, а если дифракционная решетка — то дифракционным. Оптич. детали спектральных приборов изготовляются из различных материалов (стекло, кварц, флюорит и др.) в зависимости от того диапазона длин волн, в к-ром работает данный прибор. Для регистрации спектров в спектральных приборах применяются (также в зависимости от диапазона длин волн) фотоэлементы, фотоумножители, термоэлементы, болометры; используется также фотографическая и визуальная регистрация.

По методам изучения С. о. распадается на: 1) эмиссионную (изучение спектров излучения), 2) абсорбционную (изучение спектров поглощения), 3) комбинационного рассеяния света.

1) Эмиссионная С. о. Исследуемое вещество переводится в газообразное состояние с помощью внешнего источника энергии, к-рый одновременно служит и для возбуждения спектра излучения. Обычно для этого применяют различные виды газового разряда при пониженном давлении (возбуждение спектров газов), введение изучаемой жидкости (в виде мелких капелек) в газовое пламя, дуговой и искровой электрич. разряды. Эмиссионная С. о. лежит в основе эмиссионного спектрального анализа (ЭСА) вещества. При качественном ЭСА обнаруживают всевозможные примеси, причем чувствительность анализа существенно зависит от св-в примесей, от способа возбуждения спектра, от св-в спектрального прибора и др. Существующие методы качественного анализа позволяют в наилучших условиях обнаруживать примеси элементов в концентрациях $\sim 10^{-5}$ весовых %.

В количественном ЭСА проводится визуальное, фотографич. или фотоэлектрич. фотометрирование спектров, к-рое по интенсивности спектральных линий позволяет определять концентрации соответствующих примесей. Напр., для анализа состава сталей и различных сплавов используются стилометры, для анализа редкоземельных элементов — дифракц. спектрографы. Примером прибора, получившего широкое применение в пром-сти, служит стилоскоп СЛ-11 для быстрого полуколичественного определения сортов стали (а также и ряда др. металлов). Прибор представляет собой простой призменный спектроскоп, снабженный фотометрич. клином и собранный на одной панели с искровым или дуговым генератором возбуждения спектра. При дуговом (или искровом) разряде вещество исследуемого образца стали испаряется и его спектр наблюдается визуально через окуляр. На барабан поворота призмы нанесены отметки, к-рые непосредственно указывают назв. элемента, линия к-рого находится в поле зрения окуляра при данном положении призмы. Если необходимо оценить приблизит. концентрацию данного элемента, то интенсивность его линии сравнивается с интенсивностью близлежащей линии основы (т. е. основного вещества), это сравнение делается с помощью фотометрич. клина, положение к-рого сразу указывает на относит. интенсивность сравниваемых линий. При малых концентрациях (порядка десятых долей %) точность определения составляет неск. десятых долей % (при более высоких — она хуже и составляет неск. % или даже десятков %).

Частный и практически важный случай ЭСА — люминесцентный анализ, в к-ром изучаются спектры, возбуждаемые светом либо потоком электронов, иногда — рентгеновским или радиоактивным излучением. Существенно, что при этом обычно можно исследовать вещество в норм. условиях, не переводя его в газообразное состояние. Люминесцентный анализ обладает исключительно высокой чувствительностью (до 10^{-9} весовых %) и получил большое распространение, т. к. значит. часть практически важных материалов (напр., почти все органич. соединения) обладает характерными спектрами люминесценции. Он широко используется в химич. пром-сти (анализ органич. и неорганич. соединений), в биологии и медицине (напр., обнаружение канцерогенных веществ при концентрациях до 10^{-7} %), в нефтяной пром-сти (анализ нефти), в геологич. исследованиях (анализ руд и минералов), в резиновой пром-сти (контроль качества продукции), в текстильной и бумажной пром-сти, в дефектоскопии и во многих др. областях произ-ва. В пром-сти, напр., широко применяется люминесцентная *дефектоскопия*, позволяющая выявлять мельчайшие, глубиной до 1 *мк*, механич. дефекты различных деталей (трещины, царапины и т. д.).

Широко применяется количественный люминесцентный анализ в геолого-минералогич. работах, при анализе руд, при добыче полезных ископаемых. Существуют, напр., методы, позволяющие определять сорт алмазов по спектрам их люминесценции, возбуждаемым рентгеновским излучением.

2) Абсорбционная С. о. занимается изучением спектров поглощения. Имея источник излучения со сплошным спектром (напр., стержень из спрессованного карбида кремния, нагреваемый проходящим по нему электрич. током — т. н. глобар) и пропуская это излучение через исследуемое вещество, по изменению спектра можно установить спектр поглощения данного вещества. Абсорбционная С. о. лежит в основе абсорбционного спектрального анализа (АСА). Путем АСА можно определить структуру вещества (по характеру полос поглощения) и его состав (по относит. интенсивности полос). Абсорбционный анализ применяется как в научных исследованиях (в физике, химии, медицине, биологии, геологии и др.), так и в самых различных отраслях пром-сти (для контроля технологич. процессов, для их автоматич. регулирования, для контроля исходных материалов и продуктов различных произ-в и др.).

При фотоэлектрической регистрации спектров, напр., можно осуществить непрерывный автоматич. контроль процесса произ-ва различных органич. продуктов (в химич., медицинской и др. отраслях пром-сти). Наиболее полные сведения получаются при анализе вращательных и колебат. молекулярных спектров поглощения, к-рые находятся в ИК области. Поэтому в АСА наибольшее значение имеют методы *спектроскопии инфракрасной*.

3) Спектроскопия комбинационного рассеяния света. Для возбуждения спектров комбинационного рассеяния необходимо пользоваться источниками, имеющими в своем спектре излучения яркие линии. Обычно — это ртутные лампы типа ПРК или ЛП. Свет, рассеянный в исследуемом веществе, наблюдается обычно под прямым углом к направлению освещения с помощью спектрографа (трехпризменного или дифракционного). Из анализа спектров комбинационного рассеяния можно получить сведения как о структуре молекул (особенно при изучении газовой фазы), так и о характере межмолекулярных связей, а также качественные и количественные сведения о составе вещества.

Расшифровка всех оптич. спектров — весьма сложная задача, т. к. характер спектров в значит. степени зависит от способа приготовления образцов для анализа, способа возбуждения спектра, хар-к спектрального прибора, метода регистрации спектра, способа обработки спектрограмм. Поэтому разработан ряд методов спектрального анализа, к-рые следует применять в зависимости от целей спектроскопич. исследования. При расшифровке спектров пользуются атласами спектральных линий.

Лит.: Ельяшевич М. А., Атомная и молекулярная спектроскопия, М., 1962; Чулановский В. М., Введение в молекулярный спектральный анализ, 2 изд., М.—Л., 1951; Бабушкин А. А. [и др.], Методы спектрального анализа, М., 1962.

М. М. Горшков.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ЦИФРОВАЯ МАШИНА (specialized digital computer; machine numérique spécialisée; spezialisierte Digitalmaschine) — ЦВМ, приспособленная для решения определ. класса задач. С. ц. м., как правило, проще и дешевле, чем универс. вычислит. машина, решающая те же задачи при такой же производительности. Упрощение С. ц. м. основано на ограничениях в параметрах реализуемого класса алгоритмов. Для С. ц. м., решающих вычислит. задачи, такими параметрами являются, как правило, т. н. связность и зацепленность алгоритма. Для управляющих С. ц. м. особую роль играет то, что они предназначены для реализации строго определ. алгоритмов, отличающихся набором констант или различной компоновкой подпрограмм.

Под связностью алгоритма понимается макс. количество одновременно хранимых величин. Так, целый класс С. ц. м. основан на вычислении сумм парных произведений $\sum_{i=1}^{n} a_i b_i$, где одновременно нужно хранить только накопленную сумму $S_k = \sum_{i=1}^{k} a_i b_i$ и очередное произведение $a_{k+1} b_{k+1}$.

Эти машины могут решать большой класс математич. задач (решение систем линейных ур-ний, вычисление коэфф. Фурье, преобразование Лапласа и т. п.). Массивы величин a_i и b_i хранятся на синхронно движущихся лентах, а результирующие суммы записываются сразу на выходную ленту.

Др. важный класс алгоритмов с малой связностью — это алгоритмы решения систем обыкновенных дифференц. ур-ний. Большинство таких алгоритмов (методы Рунге—Кутта, Адамса—Штёрмера и т. п.) имеет следующую структуру. Пусть решается система:

$$\frac{dx_i}{dt} = f(x_1, x_2, \ldots, x_n, t), \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \quad (1)$$

с заданными нач. условиями. Предположим, что уже найдены значения переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$ в момент времени t_k; тогда по тем или иным правилам из ур-ний (1) вычисляются приращения этих переменных и, после их прибавления к старым значениям, получаются новые значения $x_1, x_2, \ldots, x_n$ в момент времени t_{k+1}. При этом значения получ. переменных в момент t_k выдаются как результат и больше не используются. Т. о., связность этих алгоритмов равна порядку системы (1) плюс некая величина, зависящая от алгоритма вычисления правых частей системы (1). Для решения систем (1) при не слишком сложных правых

частях успешно применяются *цифровые дифференциальные анализаторы*, к-рые и являются С. ц. м. для решения систем обыкновенных дифференц. ур-ний.

Решение вычислит. задач с помощью *Монте-Карло метода* приводит к специфичным алгоритмам с малой связностью, малым количеством используемых разрядов и повторением большого числа идентичных циклов. За счет этого возможно построение С. ц. м. для реализации тех или иных классов алгоритмов, основанных на методе Монте-Карло. Схемы таких С. ц. м. приведены в [1]. Для них характерно использование малой оперативной памяти и довольно значительной пост. памяти (т. е. памяти, допускающей быстрое считывание, но не запись). Это связано с тем, что решение задачи по методу Монте-Карло состоит в моделировании нек-рой цепи Маркова. При этом в оперативной памяти нужно хранить номер текущего состояния, в к-ром в данный момент находится цепь, и накапливаемую сумму значений нек-рой ф-ции от пробегаемых состояний. Сама же информация о вероятностях перехода из состояния в состояние и способе вычисления ф-ции от состояния постоянна в течение всей задачи.

Др. характерный параметр алгоритма — т. н. зацепленность, т. е. макс. количество операций, в к-рых используется нек-рая величина. Условие малой зацепленности является более слабым, чем условие малой связности алгоритма. Тем не менее наличие этого условия для нек-рого класса алгоритмов позволяет применять для его реализации С. ц. м. К таким алгоритмам принадлежат, в частности, и обычные алгоритмы решения ур-ний в частных производных, где значение ф-ций в нек-рой точке поля используется лишь при вычислении значений ф-ции в соседних точках (связность этих алгоритмов, если исключить алгоритмы, основанные на методе Монте-Карло, является большой и определяется количеством точек поля). Для реализации подобных алгоритмов была предложена С. ц. м. «Дина». В этой машине точкам поля соответствовали точки на поверхности магнитного барабана. Алгоритм реализовывался на основе последоват. обсчета всех точек на поверхности барабана, причем в счете участвовали только соседние точки. Машины типа «Дина» не получили распространения ввиду того, что использование магнитного барабана требовало жесткой синхронизации вычислит. процесса с вращением барабана. Однако такого рода логич. схемы могут быть воспроизведены путем систематич. обзора оперативной памяти, осуществляемой с помощью индексных регистров и использования системы относит. адресов.

В управляющих С. ц. м. осн. упрощения возникают за счет использования пост. памяти для программ, представления величин с малым числом разрядов и относительно простой системы команд. Для многих управляющих С. ц. м. характерны сложные и очень специфичные входные устройства, служащие для предварит. обработки информации, поступающей от внешних датчиков—измерит. приборов. Входные устройства позволяют преобразовать информацию из непрерывной формы (угол поворота, напряжение и т. д.) в цифровую и выделять полезный сигнал из шумов с помощью тех или иных статистич. критериев. К входным устройствам относятся всевозможные коммутаторы, позволяющие объединять информацию, поступающую от внешних датчиков.

За последнее время все большее распространение получают т. н. информационно-логич. машины и системы, являющиеся в известном смысле С. ц. м. Эти машины предназначены для обработки больших массивов буквенно-цифровой информации (задачи машинного перевода, поиска информации, автоматич. доказательства теорем и т. п.). Для этих задач необходимы развитые устройства ввода и вывода (клавишные устройства с большим числом знаков, устройства автоматич. чтения текста, устройства ввода устной информации, высоко производит. широкополосные печатающие устройства и т. п.), спец. виды памяти, допускающей одноврем. поиск многих величин по признакам (ассоциативная память). Для этих машин удобна перем. разрядность ячеек памяти (до неск. сот двоичных разрядов), большой набор встроенных логич. операций, но относительно простой состав арифметич. операций.

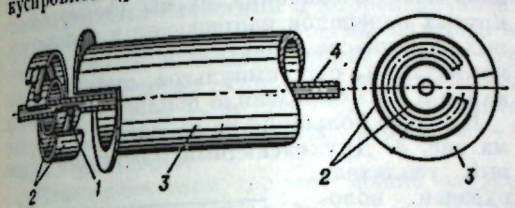
В начале развития совр. вычислит. техники С. ц. м. занимали значит. место в общем парке ЭВМ, т. к. универс. машины были очень редки, громоздки и дороги. Затем развитие пошло по пути удешевления универс. машин (улучшение логики, применение безламповых малогабаритных схем и др.). А поскольку стоимость новой разработки в области вычислит. техники очень велика, то оказалось в большинстве случаев гораздо выгоднее использовать универс. машины, чем разрабатывать новые С. ц. м. Осн. областью применения С. ц. м. стали системы управления различными реальными объектами, где так или иначе приходилось разрабатывать специфич. входные устройства и очень важно было сэкономить общее количество оборудования. В последние годы пром-сть все шире выпускает типовые вычислит. устройства и блоки, к-рые, в частности, можно использовать для компоновки С. ц. м. Ввиду этого намечается нек-рое увеличение уд. веса С. ц. м.

Характерно, что специализация вычислит. машин идет по двум линиям. Первая — создание упрощ. машин для решения узких классов задач. Этот тип специализации характерен для машин, предназнач. для решения вычислит. задач. Вторая — разработка сложных систем, обладающих целым рядом дополнит. возможностей. По этому пути сейчас идет развитие информационно-логич. машин. Для управляющих машин характерно смешение обеих линий специализации. При всемерном упрощении осн. вычислит. части система входов усложняется. Возможность и целесообразность создания С. ц. м. первого типа связана с выявлением хорошо отработанных и многократно встречающихся в практике алгоритмов. Такая ситуация имеет место сейчас в чисто вычислит. задачах. Ясно также, что создание, напр., практичных информационно-поисковых систем сможет привести к построению простых С. ц. м., решающих задачи поиска информации по запросу.

Лит.: 1) Бусленко Н. П., Шрейдер Ю. А., Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах, М., 1961; 2) Гутенмахер Л. И., Электронные информационно-логические машины, 2 изд., М., 1962.

Ю. А. Шрейдер.

СПИРАТРОН (spiratron; spiratron; Spiratron) — усилитель (генератор) электромагнитных колебаний СВЧ. Особенностью С., сравнительно с *лампой бегущей волны* и *лампой обратной волны*, является то, что в нем формирование и сохранение поперечной формы электронного пучка по длине прибора обеспечивается центробежно-электростатич. фокусировкой (рис.). Катодная система состоит



Система центробежно-электростатич. фокусировки со спиральной пушкой: *1* — катод; *2* — фокусирующие электроды; *3* — анод; *4* — фокусирующий стержень.

из кольцевого катода, источника электронов, заключенного между цилиндрич. фокусирующими электродами. Перед катодом расположен цилиндрич. анод, ускоряющий электроны. Т. к. все электроды имеют спиральный срез, электроны, покидая катод, приобретают начальный вращат. момент. Сформированный т. о. трубчатый поток вводится в пространство между двумя коаксиальными цилиндрами, к к-рым приложено фокусирующее напряжение (внутр. цилиндр имеет более высокий потенциал).

При уравновешивании центробежной силы силой электростатич. поля электроны устойчиво двигаются вдоль системы по спиральным траекториям. Это позволяет получить протяженные пучки со значит. плотностью тока. В С. внешний цилиндр (напр., металлич. спираль) — структура, замедляющая электромагнитные волны, к-рые взаимодействуют с электронным пучком. Это обеспечивает усиление или генерацию колебаний.

С. работают в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах волн, обеспечивая усиление ВЧ сигнала по мощности в 10^2—10^4 раз. Полоса пропускания частот 1—2 октавы. С.-генераторы осуществляют электронную перестройку с перекрытием по частоте до 1: 2. С. обладают малым весом, не расходуют мощность на фокусировку луча; катод эффективно защищен от разрушающего действия ионной бомбардировки, что резко увеличивает долговечность лампы. С. могут применяться в самолетной и космич. аппаратуре, в радиорелейных линиях и др. системах связи.

Лит.: Чернов З. С., «Тр. Ин-та радиотехники и электроники», 1956, сб. 1; его же, «РиЭ», 1956, т. 1, вып. 11, с. 1428; Бернашенский Г. А., Новскова Т. А., там же, 1959, т. 4, вып. 9, с. 1499.

З. С. Чернов.

СПЛАВНОЙ ПЕРЕХОД (alloy junction; transfert flottant; gleitender Übergang) — переход, образованный в результате сплавления (и последующей рекристаллизации) ПП с металлом или сплавом, содержащим донорные и (или) акцепторные примеси. Выбор темп-ры сплавления диктуется стремлением к лучшему смачиванию, необходимостью растворить заданное количество ПП, требованием сохранения достаточно высокого времени жизни неосновных носителей заряда в исходном кристалле и др. После нагрева до заданной темп-ры и выдержки в течение нек-рого времени производится охлаждение. Во время охлаждения растворенный в жидкой фазе ПП рекристаллизуется и при этом захватывает из жидкой фазы легирующие примеси в концентрациях, соответствующих предельным растворимостям этих примесей в твердом ПП при темп-ре кристаллизации. Рекристаллизация происходит на монокристалл, т. к. во время охлаждения жидкая фаза граничит с ним, причем нек-рая часть рекристаллизующегося ПП, даже при очень больших скоростях охлаждения, будет монокристаллической, повторяя структуру исходного кристалла. В результате в монокристаллич. части ПП образуется С. п.

С. п. характеризуется тем, что вблизи него изменение суммарной концентрации доноров и акцепторов происходит крайне резко и в первом приближении оно при расчетах может считаться скачкообразным. Преимущества С. п.: относит. простота его изготовления, сравнительно невысокие требования к технологич. оборудованию, к предварит. механич. обработке поверхности ПП кристалла (за исключением точности кристаллографич. ориентации); при получении С. п. одновременно создается электрич. контакт к ПП прибору, в то время как при др. методах (диффузия, выращивание из расплава) для этого нужна дополнит. операция, включающая в себя, как правило, прецизионное сплавление. С. п. применяется при изготовлении ряда ПП приборов, напр. *транзисторов*, *диодов туннельных*, различного рода выпрямит. диодов и т. д.

Недостатки С. п.: невозможность достаточно точного обеспечения их размеров; трудность варьирования их формы и концентрации легирующих примесей вблизи них; как правило, С. п. не допускают после своего изготовления обработки при высокой темп-ре, что не позволяет создать в сплавных приборах защитного окисного покрытия на границе перехода; сплавные приборы уступают диффуз. приборам по своим частотным и усилит. св-вам и обладают большим разбросом и недостаточной стабильностью параметров. Метод сплавления часто используется для создания контактов к электродам ПП приборов, в т. ч. диффузионных и тянутых.

Е. З. Мазель.

СПУСКОВАЯ СХЕМА (trigger circuit; circuit de déclenchement; Triggerkreis) — устройство, обладающее неск. состояниями равновесия и способное, при определенных видах внешнего воздействия, скачком переходить из одного состояния в другое. В основе работы С. с. могут лежать различные физич. явления, технич. принципы и схемные решения. С. с. широко применяются в автоматике, телемеханике, технич. кибернетике. Бо́льшая часть узлов совр. цифровых вычислит. и логич. устройств может быть отнесена к классу С. с. Наиболее распространенной является С. с. с двумя устойчивыми состояниями; схемы со многими состояниями применяются сравнительно редко.

Типовая динамич. хар-ка двустабильной С. с. и ее основные св-ва иллюстрируются рис. 1. Если С. с. находится в состоянии *I*, то с увеличением входного воздействия рабочая точка перемещается по нижней прямой ветви хар-ки в направлении точки *A*. До достижения входным воздействием порога *II* состояние С. с. остается неизменным. В момент перехода входным воздействием порога

II С. с. скачком переходит в состояние *II*, а рабочая точка — в точку *B'* хар-ки. Дальнейшее изменение входного воздействия не меняет состояния С. с. до тех пор, пока входной эффект не уменьшится до значения порога

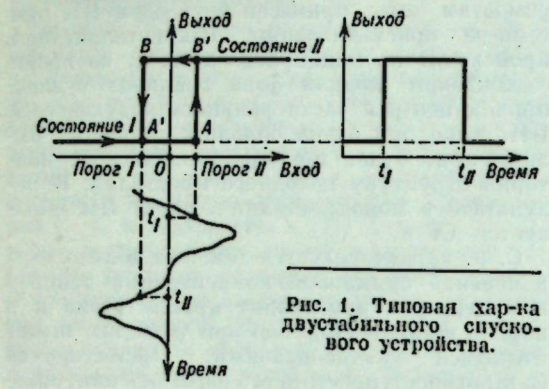


Рис. 1. Типовая хар-ка двустабильного спускового устройства.

I и не перейдет его. В момент перехода С.с. обратным скачком вернется в состояние *I*. С точки зрения принципа работы двустабильной С. с., форма входного воздействия безразлична, существенны лишь моменты перехода его через пороговые значения. Различные варианты режимов работы С. с. отличаются положением «петли» динамич. хар-ки относительно осей входного и выходного воздействий (рис. 2).

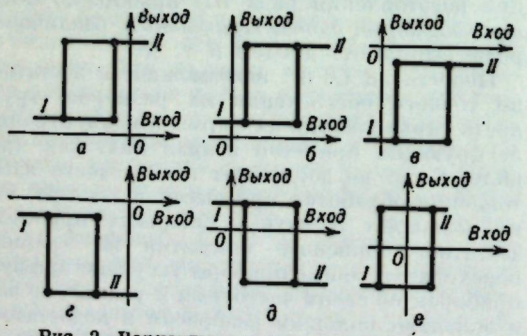


Рис. 2. Варианты режимов двустабильного спускового устройства.

При отсутствии входного воздействия С. с., с хар-кой рис. 1, может находиться либо в *I* либо во *II* состоянии. С. с. с хар-кой рис. 2, *а* при отсутствии входного воздействия будет находиться в состоянии *II*, тогда как С. с. с хар-кой рис. 2,*б*, в тех же условиях, будет в состоянии *I*. Пороги входных воздействий во 2-м случае лежат в области положит. значений, а в 1-м — в области отрицательных. Возможны разные комбинации знаков и величин порогов по входу со знаками и величинами выходных эффектов (рис. 2, *в*, *г*, *д*, *е*).

Скачкообразное изменение состояния С. с. происходит с большой скоростью за счет внутр. св-в или связей устройства. Внешнее воздействие играет как бы роль запуска, приводящего в действие эти св-ва и связи. Необходимая для спускового воздействия энергия большей частью сравнительно мала, а выходной эффект относительно велик. В этих случаях основными элементами С. с. являются усилитель и охватывающая его петля положит. обратной связи.

Предложенная в 1918 М. А. Бонч-Бруевичем схема апериодич. усилителя на электронных лампах, замкнутого в петлю обратной связи, является классич. и весьма распространенным образцом электронной С. с. [1]. Динамич. хар-кой этой схемы легко и удобно управлять путем подбора ее элементов и изменения режимов ламп. Варианты этой схемы известны под назв.: «реостатная спусковая схема», «реостатный триггер», «курковая схема», «схема да—нет», «полупериодный мультивибратор», «электронное реле» и др. Разнообразие назначений схемы (формирование крутых перепадов напряжения и прямоугольных импульсов, переключение и релейная коммутация, счет импульсов, статич. запоминание и др.) определило обилие ее вариантов.

В основе большинства вариантов лежит схема рис. 3. Двухкаскадный реостатный ламповый усилитель охвачен полож. обратной связью, напряжение к-рой передается с анода $Л_2$ на сетку $Л_1$ через сопротивление R_2. Обычно лампы $Л_1$ и $Л_2$ выбираются однотипными, а элементы обеих половин схемы одинаковыми (симметричная схема). В первый момент после включения питающих напряжений в идеально симметричной схеме должен установиться одинаковый для обеих ламп режим. В реальной схеме всегда имеются причины возникновения малой несимметрии анодных токов. Наличие положит. обратной связи, при коэфф. усиления усилителя >1, приведет к лавинообразному нарастанию несимметрии, вплоть до полного запирания одной из ламп. При отсутствии внешних сил это состояние схемы может продолжаться неограниченно долго, т. к. потенциал сетки запертой лампы определяется делителем $R_1R_{c_2}$ (или $R_2R_{c_1}$) и не меняется с течением времени. Если поданным извне напряжением вызвать появление тока в запертой лампе, или уменьшение тока в открытой, в схеме в силу симметрии связей происходит обратный скачок. Ранее запертая лампа полностью открывается, а открытая запирается. Это состояние схемы также устойчиво и остается неизменным вплоть до нового внешнего воздействия, напряжение к-рого может иметь разную форму и может подаваться в различные точки схемы, в зависимости от режима ламп и выполняемых схемой ф-ций. Пороговые величины внешнего воздействия определяются моментами начала открывания запертых ламп. Для большинства применений наилучшая форма запускающего напряжения — импульсы с крутым (порядка 0,5 *мксек*) передним фронтом и длительностью 1—2 *мксек*, подаваемые на управляющие сетки ламп. Выходные напряжения снимаются с анодов ламп.

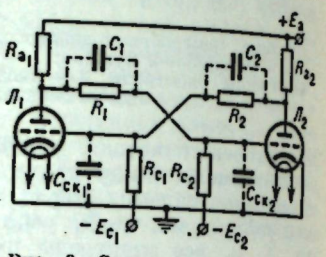


Рис. 3. Схема реостатного спускового устройства на электронных лампах с анодно-сеточными связями.

Длительность процессов опрокидывания, а следовательно, и участков нарастания и спада выходного напряжения, определяется входной емкостью нагрузки, мощностью усилителя (т. е. величиной R_a и крутизной хар-ки лампы) и величинами «паразитных» емкостей схемы (междуэлектродных емкостей лампы и емкостей монтажа). Влияние наибольшей из этих емкостей, емкости сетка-катод лампы

($C_{ск}$), частично компенсируется подключением параллельно сопротивлениям связи R_1 и R_2 т. н. «ускоряющих» емкостей C_1 и C_2, порядка 10—100 *пф*. Простые С. с. на триодах обеспечивают миним. длительности фронтов порядка 0,5 *мксек* и миним. длительности выходных импульсов порядка 1 *мксек*. Для получения большего быстродействия применяют пентоды с большой крутизной хар-ки, малыми междуэлектродными емкостями и корректирующими дросселями, усложняют схемы запуска выходных цепей и межкаскадных связей. Предельнодостижимые скорости опрокидывания ламповых С. с. — порядка десятков наносекунд, величины выходных перепадов — до неск. десятков *в*.

Изменением схем запуска можно варьировать функциональные св-ва С. с. В схеме рис. 4,*а* запуск может осуществляться как по

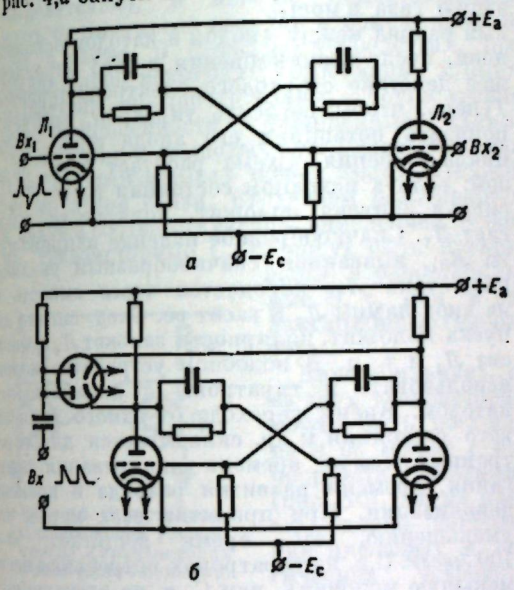


Рис. 4. Варианты схем запуска спусковых устройств.

сетке $Л_1$ (Bx_1), так и по сетке $Л_2$ (Bx_2). При запуске только по Bx_1 первый положит. импульс откроет $Л_1$, после чего схема перестанет реагировать на положит. импульсы и будет оставаться в данном состоянии до прихода первого отрицат. импульса. Отрицат. импульс перекинет схему и сделает ее нечувствит. к последующим отрицат. импульсам. Т. о., схема изменяет состояние синхронно с изменением полярности входного импульса.

Запуск схемы, рис. 4,*а*, по обоим входам (по сеткам ламп $Л_1$ и $Л_2$) изменяет состояние в зависимости от моментов прихода и полярности импульсов на обоих входах. Одна из наиболее распространенных — схема рис. 4,*б* для счета положит. импульсов. В ней поступление каждого очередного импульса на вход опрокидывает схему. Возможны и др. варианты схем запуска.

Симметрия прямой и обратной связей в ламповых С. с. не обязательна. Широко распространены триггерные схемы с катодной обратной связью, напряжение к-рой подается на сетку $Л_1$ с общего катодного сопротивления $R_к$ (рис. 5). Напряжение смещения E_c выбирается таким, чтобы при низком потенциале анода первой лампы ($Л_1$ открыта) напряжение на сетке $Л_2$ было достаточно для запирания ($Л_2$— закрыта). Величина $R_к$ выбирается так, чтобы, когда $Л_2$— открыта, падение напряжения на $R_к$ запирало $Л_1$. В принципе работа схемы с катодной связью не отличается от работы схемы с анодно-сеточными связями. При достаточном усилении схема способна к скачкам и имеет 2 устойчивых состояния равновесия. Ее достоинства: меньшее количество элементов и возможность снять выходное напряжение с низкоомной катодной нагрузки. При снятии выходного напряжения с анодной нагрузки $Л_2$ емкость цепей нагрузки не оказывает влияния на скорость опрокидывания схемы, как это имеет место в схеме с анодно-сеточными связями. В результате схемы с катодными связями имеют несколько лучшие хар-ки по быстродействию. В С. с., работающих как перекидные от импульсов одной полярности, напр. в делителях числа импульсов, схемы с катодной связью, в силу своей асимметрии, неудобны.

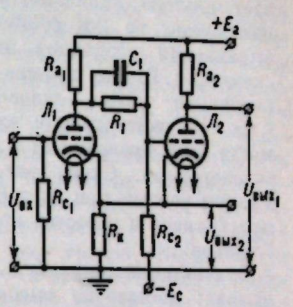


Рис. 5. Схема реостатного спускового устройства на лампах с катодной связью.

Замена в двухламповой С. с. реостатных связей на реактивные (чаще емкостные) существенно изменяет ее основные св-ва. При соответствующем выборе режима схемы рис. 6,*а* и *б* (и им подобные) имеют одно исходное устойчивое состояние, когда одна из ламп открыта, а вторая закрыта. Внешним пусковым импульсом схемы могут быть скачком переведены в др. состояние, к-рое, однако, не является устойчивым. Через время, определяемое постоянной разряда конденсатора связи C, схема также скачком вернется в исходное состояние. Схемы этого типа широко распространены в импульсной технике под назв.: «реактивный триггер», «кипп-реле», «ждущий мультивибратор», «заторможенный мультивибратор», «однополупериодный мультивибратор» и др. Сохраняя способность к скачку под внешним воздействием, схемы этого типа остаются в классе С. с. Скорость скачков в них зависит от тех же факторов, что и в реостатных С. с. Однако неустойчивость второго состояния определяет иные технич. применения: для формирования прямоугольных импульсов заданной длительности, как схемы пост. и регулируемой задержки, как широтно-импульсные и время-импульсные модуляторы и др.

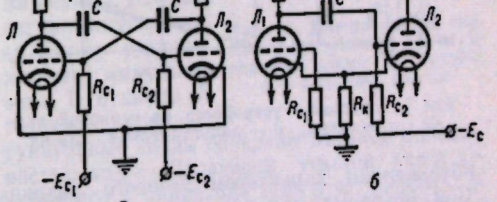


Рис. 6. Схема реактивных спусковых устройств на лампах: *а* — с анодно-сеточными связями; *б* — с катодной связью.

Возможны и иные решения реактивных С. с. на лампах. Реактивная С. с. на одной лампе-пентоде, наз. *фантастроном*, обеспечивает лучшую стабильность времени нахождения схемы во 2-м состоянии и линейность управления величиной этого времени, чем схемы рис. 6. Еще лучшие хар-ки имеет двухпентодная схема — *санатрон*. Реактивные С. с., соответствующим изменением режима, могут быть превращены в релаксационные автогенераторы. Схема рис. 6, *а*, работающая в таком режиме при $Ec_1 = Ec_2 = 0$, широко распространена и известна под назв. *мультивибратора*.

Основные достоинства С. с. на электронных лампах: достаточно высокое быстродействие и возможность в широких пределах изменять хар-ки (величину и форму входных запускающих напряжений, величину и длительности выходных). Основные недостатки С. с. на электронных лампах: сравнительно большие вес, габариты и сложность схем, а также необходимость в источниках анодного и накального питания при значит. потреблении мощности.

При отсутствии высоких требований по времени опрокидывания и необходимости иметь простую схему широко применяют С. с. на газонаполненных лампах. В простейшей С. с. с неоновой лампой (рис. 7, *а*) спусковые св-ва

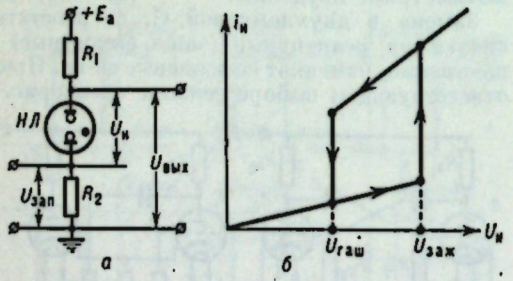


Рис. 7. Спусковое устройство на неоновой лампе: *а* — схема; *б* — вольтамперная хар-ка.

обусловлены характером газового разряда. При исходных напряжениях на электродах лампы $U_н$, меньших $U_{заж}$ (рис. 7, *б*), разряд несамостоятелен, ток через лампу мал и потенциал на выходе высок. При изменении входного напряжения, в момент достижения напряжением $U_н$ пороговой величины $U_{заж}$, в лампе лавинообразно развивается самостоят. разряд, ток скачком увеличивается, а выходной потенциал падает. Лампа «зажигается». Дальнейшее изменение входного напряжения и вместе с ним $U_н$ не вызывает резких изменений тока через лампу, пока $U_н$ не уменьшится до величины $U_{гаш}$. Переход этого порога приводит к лавинообразному прекращению самостоят. разряда. Ток скачком падает, а выходной потенциал поднимается. Лампа «гаснет». Для неоновой лампы $U_{заж} > U_{гаш}$ и вольтамперная хар-ка имеет гистерезисную форму, что лежит в основе использования схем типа рис. 7, *а* в качестве двустабильных С. с. Однако разница указанных напряжений для неоновых ламп сравнительно невелика и стабильность пороговых точек невысока, что затрудняет подбор режима работы. Кроме того, напряжение на выходе С. с. на неоновой лампе в обоих устойчивых состояниях зависит от входного и не остается пост. при изменении $U_{вх}$ в пределах до пороговых значений. Форма $U_{вых}$ в общем случае отличается от прямоугольной.

От указанных недостатков свободна С. с. на трехэлектродных неоновых лампах, наз. тиратронами с холодным катодом (рис. 8), в к-рых моментом зажигания управляют посредством сравнительно малых напряжений зажигания, подаваемых на вспомогат. (стартовый) электрод. Возбуждаемый при этом слабый разряд между стартовым электродом и катодом вызывает ионизацию газа и мощ-

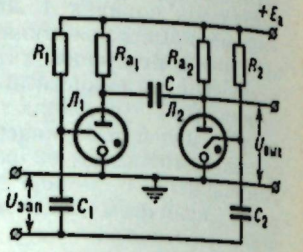


Рис. 8. Схема спускового устройства на тиратронах с холодным катодом.

ный разряд между анодом и катодом основной цепи, после возникновения к-рого управляющее действие стартового электрода теряется. Теперь, чтобы погасить тиратрон, требуется понизить потенциал его анода ниже потенциала гашения. Схема работает след. образом: если в исходном состоянии горит $Л_2$, то сигнал запуска положит. полярности зажигает $Л_1$. Скачкообразное падение напряжения на R_{a_1}, вызванное скачкообразным увеличением тока $Л_1$, передается через емкость C на анод лампы $Л_2$ и гасит ее. След. сигнал запуска положит. полярности зажжет $Л_2$ и погасит $Л_1$ и т. д. В подобном устройстве можно использовать и тиратроны с накаливаемым катодом. Время перехода от одного устойчивого состояния к др. складывается для тиратронных схем из: времени запаздывания зажигания, времени развития разряда и времени деионизации. При принятии всех мер к его уменьшению, это время достигает 50—100 *мксек*. С.с. на тиратронах потребляют неск. меньшую мощность, чем С. с. на электронных лампах. По весу и габаритам С. с. на тиратронах заметными преимуществами не обладают.

Применение транзисторов привело к многократному сокращению габаритов С. с. и потребляемой ими энергии, а также к увеличению их надежности. Одним из наиболее широко применяемых в совр. ЦВМ узлов является двустабильная С. с. на 2 транзисторах (рис. 9), по общим хар-кам и конфигурации аналогичная двустабильной С. с. на электронных лампах. Механизм переключения схемы в принципе подобен описанному для лампового варианта. Особенности проектирования и применения связаны с физикой процесса усиления в транзисторе. Зависимость основных хар-к транзистора от темп-ры требует более тщат. выбора режима и элементов схемы, обеспечивающих ее работоспособность. Скорость процесса опрокидывания и быстродействие С. с. на транзисторах, кроме факторов, указанных для ламповых, зависят также от степени насыщения проводящего транзистора или накопления неосновных носителей. При желании увеличить быстродействие необходимо принимать меры, препятствующие насыщению, напр. введение фиксирующих диодов, запуск через развязывающие транзисторы и включение в цепи прямой и обратной связи эмиттерных повторителей. При известных для данного типа транзистора граничной частоте f_{β_0} и коэфф. усиления по току β, макс. частота переключения триггера приближенно равна: $f_{макс} \cong f_{\beta_0}/\sqrt{\beta}$.

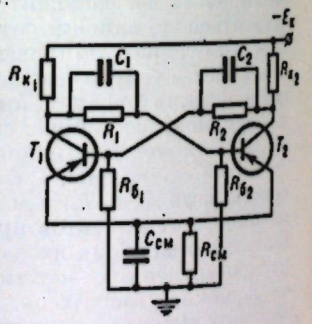


Рис. 9. Двустабильное спусковое устройство на 2 транзисторах (типовая схема).

Меры по увеличению быстродействия позволяют для транзисторных С. с. получить $f_{макс} \cong 10$—20 *Мгц*. Применяя в качестве С. с. ненасыщенный триггер, следует учитывать его высокую чувствительность к запуску, а следовательно, и низкую помехозащищенность от импульсов наводок и помех, возможных в схеме. В сложных устройствах, при сравнительно невысоких требованиях к быстродействию, предпочтительны, с точки зрения помехозащищенности, насыщенные схемы. Так же как и в ламповых С. с., двустабильная С. с. на транзисторах может иметь катодный тип обратной связи. Введением реактивности в связи и соответствующим изменением режима транзисторные С. с. могут быть превращены в одностабильные С. с. или в релаксационные генераторы.

Рис. 10. Двустабильное спусковое устройство на 2 транзисторах с непосредств. связями.

Двустабильная С. с. на двух транзисторах может быть построена и по «схеме с непосредств. связями» (рис. 10). Схема проста, однако построение цифровых и логических устройств на элементах с непосредств. связями обладает специфич. трудностями. При высоких требованиях к быстродействию, надежности работы в диапазоне темп-р и помехозащищенности обычные схемы предпочтительны.

Регенеративные св-ва точечного ПП усилителя позволяют, в принципе, построить двустабильную С. с. на одном точечном транзисторе, если его усиление по току эмиттер—коллектор > 1 (рис. 11, *а*). Режим и эле-

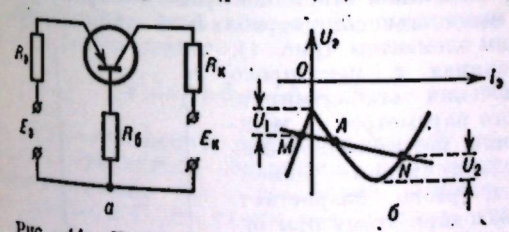


Рис. 11. Двустабильное спусковое устройство на одном транзисторе: *а* — схема; *б* — динамич. характеристика.

менты схемы выбираются таким образом, чтобы нагрузочная прямая пересекала кривую $U_э = f(i_э)$ в трех точках (рис. 11, *б*). Точки M и N пересечения участков этой кривой, соответствующих положит. сопротивлению, являются точками устойчивого состояния схемы. Точка A лежит на участке отрицат. сопротивления и является точкой неустойчивого со-

стояния. Пусть схема находится в низкопроводящей рабочей точке M («закрытое» состояние). Положит. запускающее напряжение, большее U_1, перебросит схему в «открытое» (ка N). Возврат схемы в закрытое состояние осуществляется подачей отрицат. импульса с амплитудой, большей чем U_2. Изменением режима и величин элементов можно уменьшать (для повышения чувствительности) или увеличивать (для повышения помехоустойчивости) пороговые величины U_1 и U_2. Возможна подача разнополярных запускающих импульсов и на базу триода. Несмотря на сравнит. простоту, С. с. на точечных триодах не получили широкого практич. применения из-за критичности рабочего режима, к-рый трудно обеспечить в условиях разброса хар-к транзисторов, изменения питающих напряжений и темп-ры окружающей среды.

Значительно более перспективны С. с. на туннельном диоде (рис. 12, *а*). Вольтамперная хар-ка туннельного диода (рис. 12, *б*) обладает участком, на к-ром диод представляет собой отрицат. сопротивление, что можно использовать для создания С. с. Пересечения нагрузочной прямой AE с вольтамперной хар-кой определяют две точки N и M возможных устойчивых состояний схемы. Входной сигнал запуска имеет форму разнополярных импульсов тока. В отличие от точечных триодов, туннельные диоды обладают высокой стабильностью хар-к. Падающий участок хар-к сохраняется в диапазоне темп-р от единиц °К до сотен °С. Туннельные диоды устойчивы к ядерным излучениям. Туннельный эффект не связан с ограниченным временем дрейфа неосновных носителей в ПП, в связи с чем возможна работа прибора на весьма высоких частотах. Время переброса С. с. на туннельных диодах может составлять единицы и доли наносекунды. Потери энергии в туннельных диодах незначительны. Применение туннельных диодов открывает перспективы создания электронных машин со скоростью работы, достигающей десятков миллионов операций в сек.

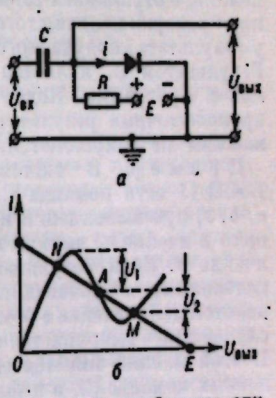


Рис. 12. Двустабильное спусковое устройство на туннельном диоде: *а* — схема; *б* — динамич. хар-ка.

Лит.: 1) Месерович Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953; 2) Гальперин Е. И., Суницкий Ю. Н., Полупроводниковые логические переключающие схемы, М., 1960; 3) Енютин В. В., Никулин С. М., Спусковые устройства, М.—Л., 1957. *Ю. В. Хомич.*

СРАВНЕНИЕ (comparison; comparaison; Vergleich) — 1) Поразрядная алгебро-логич. операция «отрицание равнозначности» (см. *Двоичная функция* и *Операция машинная*). В системах команд многих ЭЦМ предусматривают обычно спец. команду, по к-рой в АУ выполняется операция С. При выполнении команды, реализующей операцию С., обычно одновременно вырабатывается нек-рое значение спец. сигнала управления условным переходом в

зависимости от результата сравнения. Этот сигнал может быть равен 0, когда поразрядное сравнение дает 0 во всех разрядах результата С., и равен 1, если хотя бы в одном из них получается единица. При программировании С. применяется для выделения несовпадающих разрядов кодов, для определения поразрядного тождества двух кодов. Это, в частности, используется при реализации счетчиков циклов, для выбора кодов из таблицы и т. д. В нек-рых машинах, кроме команды, реализующей С., применяется ее модификация — «С. с остановом», при выполнении к-рой определ. значение управляющего сигнала (либо 0, либо 1) вызывает останов машины. С. с остановом применяется чаще всего в *испытательных программах*.

2) Группа операций, выполняемая в нек-рых ЭЦМ по команде, называемой командой С., и представляющая собой соединение операций сопоставления двух кодов между собой (либо поразрядным вычитанием, либо вычитанием модулей, либо отрицанием равнозначности) и операции проверки наличия того или иного признака у результата, получаемого при сопоставлении. Результатом С. является передача управления в программе. Коды, получающиеся как промежуточные результаты С., обычно в ЗУ машины не сохраняются.

Пример. В системе команд машины БЭСМ-II есть команда С., имеющая вид: *C*, *a*, *b*, *c*, при выполнении к-рой из числа, стоящего в ячейке *a*, вычитается число, стоящее в ячейке *b*. Если результат оказывается отрицательным, то производится переход к команде, стоящей в ячейке с номером *c*. В противном случае далее выполняется следующая команда. В этой машине имеется еще три команды, подобных команде С., в к-рых вместо вычитания выполняется: 1) вычитание модулей, 2) поразрядное отрицание равнозначности и 3) поразрядная равнозначность. *Г. А. Миронов.*

СРАВНИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (comparing device; dispositif comparateur; Vergleichsystem) —устройство, дающее первичный сигнал управления или сигнал ошибки на основании сравнения входного сигнала и сигнала главной обратной связи.

СРЕЗА ЧАСТОТА (frequency cut-off; fréquence de coupure; Schnittfrequenz) — частота, при к-рой амплитудная частотная хар-ка системы в разомкнутом состоянии равна единице. С. ч. применяется для оценки качества процесса регулирования наряду с такими частотными критериями качества, как полоса пропускания и показатель колебательности. Частотные критерии связаны с временны́ми. По С. ч. ω_c приближенно находят время переходного процесса T, при достаточных запасах устойчивости по фазе и амплитуде: $T=\frac{\pi}{\omega_c}$.

В. Г. Шолохов.

СТАБИЛИЗАТОР (stabilizer; stabilisateur; Konstanthalter) — устройство, с помощью к-рого автоматически поддерживается заданное соотношение между фактич. величиной стабилизируемого параметра и опорной или эталонной величиной. Существуют С. тока, угловой скорости, темп-ры, напряжения, направления движения, магнитного потока и др. параметров. Независимо от того, какова физич. природа стабилизируемого параметра, для поддержания той или иной его величины требуется определенная (различная в различных конкретных случаях) мощность. С. управляет мощностью, к-рую источник отдает процессам, определяющим величину стабилизируемого параметра. В большинстве случаев управление ведется изменением собств. потребления в одном из узлов, передающих энергию от источника. Описание же процессов в С. и в их отдельных узлах обычно в целях простоты и наглядности производится не через мощность, а непосредственно через стабилизируемый параметр.

Осн. виды С.— параметрич. С., к-рые по существу являются нелинейными ограничителями величины стабилизируемого параметра, и С. с обратной связью, к-рые в рабочем диапазоне изменения стабилизируемого параметра являются в подавляющем большинстве случаев линейными системами.

Наиболее прямая хар-ка качества работы С. — величина отклонения стабилизируемого параметра от заданного значения, допускаемая С. в рабочих условиях. Относит. величину отклонения часто наз. стабильностью параметра (по смыслу это как раз обратная величина — нестабильность). Различают долговрем. и кратковрем. стабильность. Под первой обычно понимают ср. величину отклонения за нек-рый продолжит. интервал времени, под второй — стабильность, определяемую мгновенными отклонениями величины стабилизируемого параметра. Обычно, если не сделано соответствующих оговорок, термином «стабильность» обозначают кратковрем. стабильность. Иногда наряду с приведенным выше понятием долговрем. стабильности вводится понятие «дрейф» стабилизируемого параметра, к-рым характеризуют скорость ухода стабилизируемого параметра от заданного значения в определ. интервале времени.

Требования к С. определяются конечной задачей, решаемой устройством, в к-рое он входит. Напр., стабильность тока накала электронных ламп может составлять всего 10^{-1}, в то время как у нек-рых электромагнитов стабильность тока должна быть не хуже 10^{-6}—10^{-7}. Завышение требований ведет к усложнению С. с неизбежным возрастанием его стоимости и снижением надежности.

Примеры параметрич. С.: газовый (и кремниевый) С. напряжения, железоводородный С. тока (барретер), центробежно-фрикционный С. угловой скорости и ряд др. Общая черта параметрич. С. — нелинейная зависимость между величиной стабилизируемого параметра x и мощностью P, потребляемой стабилизирующим элементом (рис. 1). Начиная с некоторого значения стабилизируемого параметра x_0, мощность, потребляемая стабилизирующим элементом, резко возрастает. Благодаря этому при огранич. мощности источника величина x не может существенно превышать x_0. Стабильность определяется наклоном хар-ки на рабочем участке. Упрощение, введенное в хар-ку рис. 1, состоит в том, что здесь зависимость $P(x)$ представлена как непрерывная. Большинство же параметрич. стабилизирующих элементов имеет разрывную хар-ку, что

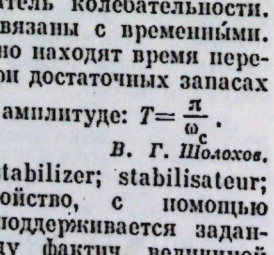


Рис. 1. Упрощенная энергетич. хар-ка стабилизирующего элемента параметрич. стабилизатора.

существенно при их эксплуатации. На рис. 2 дан приближ. вид вольтамперной хар-ки рабочего промежутка газового стабилизатора напряжения. Прямой и обратный ходы зависимости $i(u)$ различны. Полный цикл изменения $i(u)$ требует затраты некоторой работы, пропорциональной площади S. Разрыв хар-ки может стать причиной релаксац. колебаний стабилизируемого параметра.

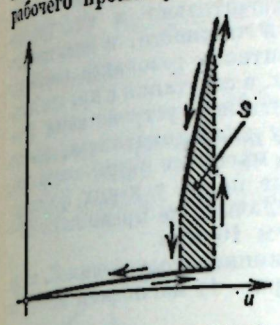


Рис. 2. Вольтамперная хар-ка рабочего промежутка газоразрядного стабилизатора напряжения.

На рис. 3 представлена функциональная схема С. с обратной связью. Энергия от источника поступает в рабочий процесс через управляемое звено. Количество подводимой к рабочему процессу энергии определяет величину стабилизируемого параметра x. Изменение x отсчитывается относительно опорной (эталонной) величины x_0. Разность $(x-x_0)$ усиливается усилителем и оказывает соответствующее воздействие на управляемое звено энергетич. тракта. Последнее при этом изменяет подачу энергии в рабочий процесс т. о., чтобы уменьшить разность $(x-x_0)$.

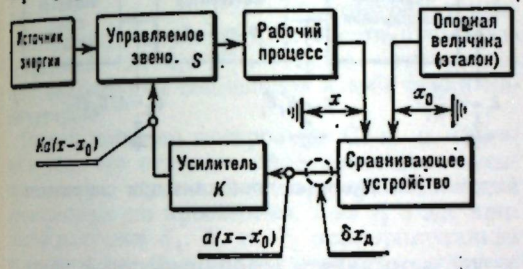


Рис. 3. Функцион. схема стабилизатора с обратной связью.

В рабочих условиях изменения x достаточно малы, что позволяет считать линейными все элементы функцион. схемы С. В частности, для этих условий коэфф. a, характеризующий работу сравнивающего устройства С. (рис. 3), и коэфф. усиления K могут считаться величинами постоянными.

Для С. с обратной связью имеет место следующее соотношение:

$$x=x_0+\delta_1 x-\delta_2 x, \qquad (1)$$

где $\delta_1 x$ — изменение стабилизируемого параметра, вызванное внешними факторами (возмущениями), $\delta_2 x$ — изменение, вызванное действием С. Из схемы рис. 3 видно, что воздействие на управляемое звено энергетич. тракта имеет величину $Ka\,(\delta_1 x-\delta_2 x)$. Принимая, что в пределах малых изменений существует линейная зависимость между воздействием на управляемое звено и соответствующим изменением x, характеризуемая пост. коэфф. S, найдем:

$$\delta_2 x=KaS\,(\delta_1 x-\delta_2 x), \qquad (2)$$

откуда

$$\delta_2 x=\frac{KaS}{1+KaS}\,\delta_1 x \qquad (3)$$

и, следовательно,

$$\delta x=\delta_1 x-\delta_2 x=\frac{1}{1+KaS}\,\delta_2 x. \qquad (4)$$

Соотношение (4) выражает осн. результат работы С. с обратной связью: действие внешних возмущений С. подавляет в $(1+KaS)$ раз. Следовательно, если

$$KaS\to\infty, \qquad (5)$$

то параметр x будет равен x_0 независимо от возмущения. Произведение KaS наз. коэфф. передачи разомкнутой петли (сравнивающее устройство, усилитель, управляемое звено).

Помимо внешних возмущений, вызывающих изменение x, в С. с обратной связью возможно внутр. возмущение (напр., тепловой дрейф усилителя управляемого звена). Эти внутр. возмущения могут быть приведены к эквивалентному сигналу $\delta x_д$ на входе усилителя (рис. 3). За счет $\delta x_д$ стабилизируемый параметр изменяется на величину

$$(\delta x)_{внутр}=\frac{KS}{1+KaS}\,\delta x_д, \qquad (6)$$

что должно быть учтено при расчете результирующей точности С.

Осн. соотношение (4) справедливо для статич. условий, когда изменения, происходящие в системе, настолько медленны, что запаздывания, неизбежно вносимые каждым звеном при передаче воздействия, можно считать пренебрежимо малыми. В С. необходимо учитывать инерцию (механическую, электрическую, тепловую) реальных звеньев системы стабилизации: звено передает воздействие не мгновенно, а с нек-рым запаздыванием. Если воздействие на входе является, напр., гармоническим, то на выходе звена также получается гармонич. процесс (если, как выше было отмечено, в пределах рабочих изменений x все звенья системы стабилизации могут считаться линейными). В реальных С. процессы на входе и выходе звена всегда смещены по фазе, кроме того, коэфф. передачи звена зависит от частоты передаваемого воздействия. Для гармонич. возмущения все параметры системы стабилизации, представленные на рис. 3, являются комплексными величинами:

$$\left.\begin{aligned} \dot a&=Ae^{j\psi_a}\\ \dot K&=Ke^{j\psi_k}\\ \dot S&=Se^{j\psi_s}\end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

При этом все величины A, K, S, ψ_a, ψ_s, ψ_k являются ф-циями частоты ω.

Считая внешнее возмущение $\delta_1 x$ гармоническим, приведем осн. соотношение (4) к виду:

$$\delta\dot x=\frac{1}{1-\dot a\dot K\dot S}\,\delta_1\dot x. \qquad (8)$$

Произведение $\dot a\dot K\dot S=\dot B$ наз. комплексным коэфф. передачи разомкнутой петли. Его поведение в диапазоне от $\omega=0$ до $\omega=\infty$ может, согласно критерию Найквиста, дать ответ на вопрос об устойчивости С. На рис. 4 изображена комплексная плоскость, где за начало отсчета принят вектор $\delta_1\dot x$. Геометрич. местом концов вектора $\dot B$ на этой плоскости может быть кривая *1* или к.-л. др. кривая, к-рая ни при каких значениях не захватывает точку $(+1;\ 0)$. Возможен др. случай (кривая *2*),

когда точка $(+1;0)$ оказывается внутри кривой. В этом случае одним из возможных значений произведения $\dot{a}\dot{K}\dot{S}$ является $+1$ и, как показывает ур-ние (8), $\delta\dot{x}$ может стать бесконечно большим. Хар-ка вида *2* (рис. 4) является хар-кой неустойчивого С. или же вообще всякой динамически замкнутой системы.

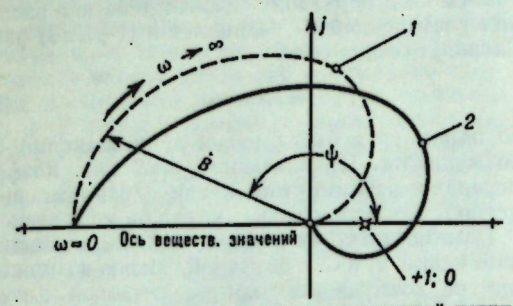


Рис. 4. Комплексные хар-ки разомкнутой петли стабилизатора с обратной связью.

Инерция звеньев системы стабилизации приводит к тому, что с возрастанием частоты величины соответствующих коэфф. уменьшаются. В результате С., хорошо работающие при медленных возмущениях, могут оказаться неудовлетворительными в случае быстрых (динамических) возмущений. При проектировании С. с обратной связью необходимо учитывать характер возможных возмущений. Обычно задается диапазон частот, внутри к-рых С. должен обеспечить необходимую стабильность. В ряде случаев динамич. св-ва С. более удобно характеризовать его переходной хар-кой.

Исследовательская работа в области С. идет в двух оси. направлениях: изыскание возможностей повышения кпд, улучшения статич. и динамич. хар-к, создание дешевых С. узкого назначения и исследование возможностей С., построенных на новых элементах. Особенно интенсивны исследования С. электрич. величин, построенных на основе ПП приборов.

Лит.: Хэммонд П. Х., Теория обратной связи и ее применения, пер. с англ., М., 1961; Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Эрглис К. Э., Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961; Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Декабрун Л. Л., Усилители и источники питания, ч. 1—2, М., 1961; Фельдбаум А. А., Введение в теорию нелинейных цепей, М., 1948; Додик С. Д., Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока, М., 1962; Атабеков Г. И., Гармонический анализ и операторный метод, М., 1956. *Л. Л. Декабрун.*

СТАБИЛИЗАТОР КОРОННОГО РАЗРЯДА (corona discharge stabilizer; stabilisateur de l'éffet couronne; Stabilisator der Koronaentladung) — см. *Стабилитрон коронного разряда.*

СТАБИЛИЗАТОР МАГНИТНОГО ПОТОКА (magnetic flux stabilizer; stabilisateur de flux magnétique; Stabilisator des Magnetstroms) (в иностр. лит-ре — стабилизатор) — устройство, служащее для подавления относительно быстрых флуктуаций магнитного потока электромагнитов и пост. магнитов. Применяется там, где необходима очень высокая стабильность магнитного потока на протяжении огранич. времени. При данных геометрич. размерах магнитной цепи стабилизация магнитного потока является одновременно стабилизацией напряженности магнитного поля или магнитной индукции в выбранном участке цепи. В наст. время С. м. п. применяются исключительно в спектроскопич. устройствах, в частности, в спектрометрах ядерного магнитного резонанса высокого разрешения. С. м. п. в сочетании с др. стабилизирующими и защитными устройствами (стабилизаторы тока у электромагнитов, защитные экраны у пост. магнитов и др.) позволяют получить магнитные поля, у к-рых флуктуации по относит. величине не превышают 10^{-5} в течение более чем 10 мин.

Известны два принципа построения С. м. п. В первом случае (рис. 1) магнитная цепь, по

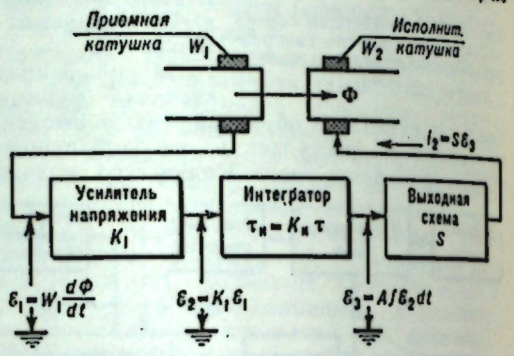


Рис. 1. Принцип стабилизации магнитного потока.

к-рой замыкается стабилизируемый поток Ф, охвачена приемной W_1 и исполнительной W_2 катушками. Эдс, наводимая в W_1 при флуктуациях Ф, пропорциональная производной от Ф, усиливается, интегрируется и управляет током i_2 в исполнит. катушке W_2. Предполагается, что интегрирование ведется с помощью интегрирующего усилителя с коэфф. усиления $K_и$, охваченного комплексной отрицат. обратной связью с постоянной времени τ, так, что результирующая постоянная времени интегрирующей схемы равна $\tau_и = K_и\tau$. Вся система является по существу разновидностью систем с отрицат. обратной связью. В данном случае петля обратной связи замкнута через стабилизируемый магнитный поток Ф. Если рассмотреть $\Phi_2' \sin\omega t$ — одну из гармонич. составляющих флуктуации потока Ф, то можно установить, что реакция на эту составляющую со стороны системы, представленной на рис. 1, заключается в создании противодействующего потока $\Phi_1'' \sin(\omega t+\psi) = -a_2 i_2$ (a_2 — коэфф. пропорциональности, определяемый геометрией и магнитными хар-ками магнитной цепи, а также величиной W_2). Результирующая флуктуация Ф будет, следовательно, иметь величину:

$$\Phi_1 = \Phi_1' \sin\omega t - \Phi_1'' \sin(\omega t+\psi), \qquad (1)$$

где

$$\Phi_1'' = \frac{\omega\tau_э\sqrt{1+\omega^2(\tau_э-\tau_и)^2}}{1+\omega^2(\tau_э+\tau_и)^2}, \qquad (2)$$

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{1}{\omega(\tau_э+\tau_и)}, \qquad (3)$$

$$\tau_э = S'K_1K_иM \qquad (4)$$

(M — коэфф. взаимоиндуктивности катушек W_1 и W_2).

Амплитудо-частотная хар-ка устройства приведена на рис. 2. Как видно из (2),

$$[\Phi_1'']_\infty = \frac{\tau_э(\tau_э-\tau_и)}{(\tau_э+\tau_и)^2}\Phi_2', \qquad (5)$$

При условии

$$\tau_э \gg \tau_и \qquad (6)$$

достигается практически полная компенсация флуктуаций Ф, т. к. при этом компенсирующий поток Φ_1'', созданный системой стабилизации, становится равным потоку возмущения Φ_1' и противоположным ему по фазе. Предварит. усиление эдс, получаемой на выходе приемной катушки W_1, ведется обычно с помощью фото-гальванометрич. усилителей (напр., выпускаемых отечеств. пром-стью усилителей Ф116/1 [1]). Часто эти усилители напряжения совмещают в себе ф-ции интеграторов.

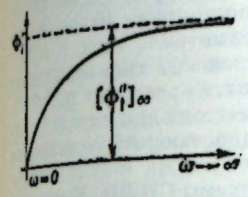


Рис. 2. Вид амплитудо-частотной хар-ки стабилизатора магнитного потока.

Второй принцип построения С. м. п. состоит в том, что отрицат. обратная связь замыкается через нуль-индикатор, сравнивающий производную по времени от тока i_2 с эдс приемной катушки $\mathcal{E}_1$. Т. к. $\mathcal{E}_1$ пропорциональна производной от Ф, а корректирующее действие системы на магнитный поток пропорционально i_2, сравнение $\mathcal{E}_1$ и $\frac{di_2}{dt}$ является по существу сравнением флуктуации и корректирующего действия, направленного на ее компенсацию. С. м. п. автоматически поддерживает с доступной для него точностью равенство этих величин. В выпускаемых серийно микровеберметрах Ф-18 этот принцип использован для измерения магнитного потока: ток i_2 протекает только через измерит. прибор, не оказывая корректирующего действия на величину Ф. В наст. время чаще используется первый принцип.

Обладая большой, но все же конечной постоянной времени, С.м. п. не может компенсировать сколь угодно медленные флуктуации Ф (дрейф магнитного потока). Компенсация дрейфа достигается с помощью стабилизаторов напряженности магнитного поля (к-рые в большинстве случаев строятся на основе явления ядерного магнитного резонанса).

С. м. п. используются для линейного изменения Ф во времени (магнитная развертка). Для этого в цепь приемной катушки вводится пост. эдс от постороннего источника.

Лит.: 1) ЯМР- и ЭПР-спектроскопия. (Радиоспектроскопия ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонанса), пер. с англ., М., 1964; 2) Хэммонд П. Х., Теория обратной связи и ее применения, пер. с англ., М., 1961; 3) Лёше А., Ядерная индукция, пер. с нем., М., 1963. *Л. Л. Декабрун.*

СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА С ПОДВИЖНЫМИ ОБМОТКАМИ (voltage and current stabilizer with moving coils; stabilisateur de tension et de courant avec bobines mobiles; Spannungs-und Strom-Konstanthalter mit beweglichen Spulen) — *стабилизатор*, основанный на изменении коэфф. трансформации спец. тр-ра путем автоматич. перемещения одной из его обмоток. Различают два типа: а) стабилизатор с автотрансформатором, имеющим подвижную короткозамкнутую обмотку (СК); б) стабилизатор электродинамический с подвижной силовой обмоткой (СЭ). СК применяются для стабилизации напряжения питания различных аппаратов и устройств, а также для стабилизации напряжения электросетей [1]. В СССР выпускаются СК мощностью до 400 *ква*. Погрешность стабильности их выходного напряжения при неизменной нагрузке и колебаниях входного напряжения ± 15% составляет ~ 0,5%. СЭ применяются для поддержания неизменным тока в цепях с перем. сопротивлением (напр., в автоматич. зарядных устройствах, в устройствах с последовательно включенными светильниками), а также в качестве стабилизаторов напряжения, питающих неизменную нагрузку. Мощность СЭ от 100 *ва* до 20 *ква*. Погрешность стабильности выходного напряжения при неизменном входном напряжении и изменении сопротивления цепи нагрузки на ±20% равна ~0,2%.

Для стабилизации выходного напряжения в СК используется ряд схем соединения первичных и вторичных обмоток [2]. При соединении по автотрансформаторной схеме входное напряжение перераспределяется между двумя первичными, встречно включенными обмотками, и при его изменении, благодаря перемещению подвижной короткозамкнутой обмотки, выходное напряжение поддерживается постоянным.

СК (рис. 1) состоит из блока управления *1*, автотрансформатора *2* с подвижной коротко-

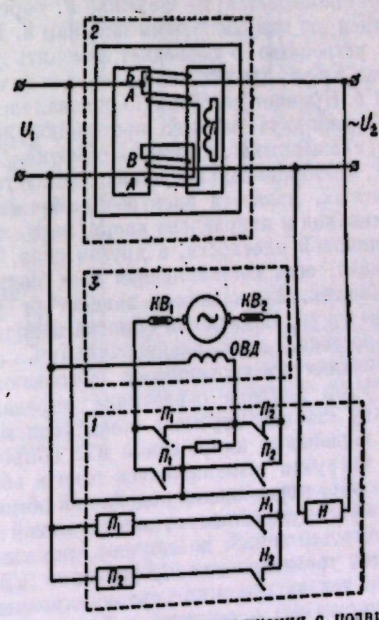


Рис. 1. Стабилизатор напряжения с подвижной короткозамкнутой обмоткой.

замкнутой обмоткой и электропривода *3*, служащего для перемещения обмотки. Обычно используется двигатель небольшой мощности, напр. 270 *ва* для СК в 100 *ква*. Осн. элементы блока управления: реле напряжения *Н*, контролирующее рабочее напряжение, два промежуточных реле $П_1$ и $П_2$, к-рые включают двигатель перемещения обмотки, концевые выключатели $КВ_1$ и $КВ_2$. При изменении входного напряжения создается цепь питания электродвигателя, и обмотка перемещается до тех пор, пока величина выходного напря-

жения не станет равной номинальному значению. Автотрансформатор *2* с броневым магнитопроводом имеет на ср. стержне одинаковые встречно включенные первичные обмотки *А*, согласно включенные вторичные обмотки *Б* и *В* и подвижную короткозамкнутую обмотку *П*. Первичные обмотки создают поток, замыкающийся через окно магнитопровода. Коэфф. мощности СК равен 0,8—0,9 при чисто активной нагрузке. Достоинства СК — отсутствие контактов, размыкаемых под нагрузкой; синусоидальная форма кривой выходного напряжения; высокий коэфф. стабилизации. Недостаток — большая инерционность. Расчет автотр-ров для СК приведен в [2].

Совр. СЭ (схематически изображенный на рис. 2) [3] состоит из броневого тр-ра с увели-

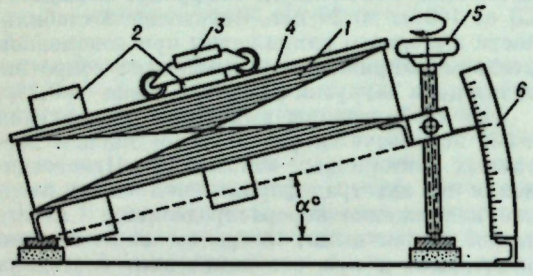


Рис. 2. Электродинамич. стабилизатор напряжения с подвижной силовой обмоткой.

ченной длиной стержня *1*, на к-ром помещены первичная и вторичная обмотки *2*. Одна из этих обмоток помещается на тележке *3*, передвигающейся по направляющим планкам *4*. Винтовое устройство *5* позволяет изменять угол наклона тр-ра; для отсчета этого угла служит шкала *6*. Принцип действия СЭ основан на взаимодействии двух взаимно противоположных сил, приложенных к подвижной обмотке. Одна из сил, пропорциональная произведению токов в обмотках, является электродинамич. силой отталкивания и направлена вверх, параллельно наклонной плоскости, а другая сила, скатывающая, есть составляющая веса подвижной обмотки. Ее величина зависит от угла наклона тр-ра. Подвижная обмотка находится в равновесии, если электродинамич. сила отталкивания уравновешивает скатывающую силу. Угол наклона сердечника определяет величину стабилизируемого тока. При изменении первичного напряжения или сопротивления нагрузки изменившиеся токи в обмотках вызовут перемещение подвижной обмотки, к-рая будет удаляться от неподвижной или приближаться к ней до тех пор, пока изменившееся реактивное сопротивление СЭ не изменит ток нагрузки до первонач. значения. Достоинства СЭ — отсутствие блока автоматич. управления и электропривода. Конструктивный недостаток — необходимость подвода тока к подвижной обмотке. Расчет СЭ приведен в [4—6].

Лит.: 1) Поярков К. М., Регулируемые трансформаторы и их эксплуатация, М.—Л., 1962; 2) Бамдас А. М., Беляев Б. В., Трансформаторы системы Е. Норриса для плавного регулирования напряжения, «Успехи рентгенотехники», 1938, вып. 1; 3) Дмоховский В. В., Стабилизация напряжения трансформатором постоянной силы тока, «Достижения в области рентгенотехники», 1934, № 1, 4; 4) Бамдас А. М., Серебрякова Е. Н., Регулируемый автотрансформатор с подвижной силовой обмоткой, «ИВУЗ. Электромеханика», 1959, № 8; 5) Лебедев В. К., О трансформаторе с подвижной обмоткой, в сб.: Труды по автоматической сварке под флюсом. АН УССР, сб. 5, 1949; 6) Нестеров Б. З., Некоторые особенности расчета однофазных стержневых трансформаторов с подвижными катушками, «ИВУЗ. Электромеханика», 1959, № 3.

А. М. Бамдас, Л. Э. Рогинская.

СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ (ferromagnetic voltage stabilizer; stabilisateur ferromagnétique de tension; ferromagnetischer Stabilisator der Spannung) — электромагнитный аппарат, основанный на использовании процессов при насыщении железных сердечников, служащий для преобразования нестабильного сетевого напряжения в напряжение, эффективная, или средняя, величина к-рого практически постоянна. Разделяются на стабилизаторы параметрич. типа (СНФП) и стабилизаторы компенсац. типа с подмагничиваемыми исполнит. органами (СНФК). В СССР изготовляются однофазные и трехфазные С. н. ф. мощностью от десятков *ва* до сотен *ква*.

На рис. 1 даны три схемы СНФП. У первого стабилизатора (рис. 1, *а*) на ср. стержне магнитопровода расположена первичная обмотка w_1, на правом (насыщенном) стержне — вторичная w_2, на левом стержне (магнитном шунте) — компенсац. обмотка $w_к$, соединенная встречно с w_2. Вследствие насыщения стержня поток $Ф_2$ мало меняется при изменении входного напряжения. В результате мало меняется и выходное напряжение. Незначительное его изменение компенсирует эдс, наводимую в обмотке $w_к$. В СНФП, изображенных на рис. 1, *б* и *в*, для компенсации служит часть витков обмотки w_1. В СНФП по

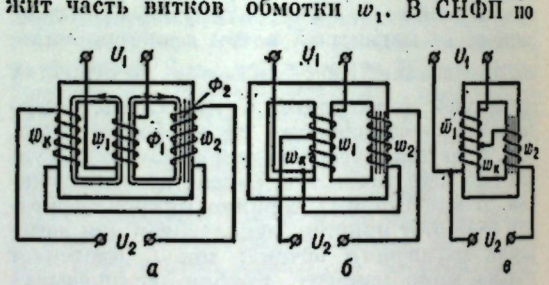


Рис. 1. Схемы ферромагнитных стабилизаторов напряжения параметрич. типа.

схеме рис. 1, *в* отсутствует шунтирующий стержень. Его роль выполняют значит. поля рассеяния. СНФП при колебаниях входного напряжения в пределах ±20% и неизменной нагрузке и частоте обеспечивает изменение выходного напряжения не более чем на ±0,3%. Кпд СНФП 40—60%, коэфф. мощности порядка 0,4. Выходное напряжение искажено. При колебаниях частоты питающей сети оно меняется практически прямо пропорционально. Технико-экономич. показатели СНФП (кпд; cos φ) значительно хуже, чем у *стабилизаторов напряжения феррорезонансных*.

Однофазные и трехфазные СНФК представляют собой, в сущности, *регулятор напряжения подмагничиваемый* (ПР), автоматически управляемый спецблоком (рис. 2). Он состоит из измерит. органа *1*, усилительного *2* и опорного *3*. Сигналы опорного и измерит. органов сравниваются и подаются в *2*, к-рый питает током обмотку управления ПР. В СНФК небольшой мощности опорный и выходной сигналы сравниваются в самом измерит. органе, поэтому в явном виде опорный орган отсутствует. В СНФК с большой точностью стаби-

лизации часто имеется дополнит. орган динамич. стабилизации (гибкая обратная связь), предназначенный для устранения паразитных автоколебаний в системе и повышения быстродействия стабилизатора. В СССР изготовляются СНФК, у к-рых выходное напряжение изменяется всего на десятые доли процента при изменении входного напряжения на ±15%, нагрузки — от хх до номинальной, коэфф. мощности нагрузки от 0,5 до 1, темп-ры от +60° до −30°, частоты питающей сети на ±2%.

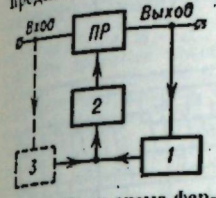


Рис. 2. Блок-схема ферромагнитного стабилизатора напряжения компенсац. типа.

На рис. 3 даны схемы двух типичных однофазных СНФК с подмагничиваемым тр-ром (рис. 3, *а*) и дросселем насыщения (рис. 3, *б*),

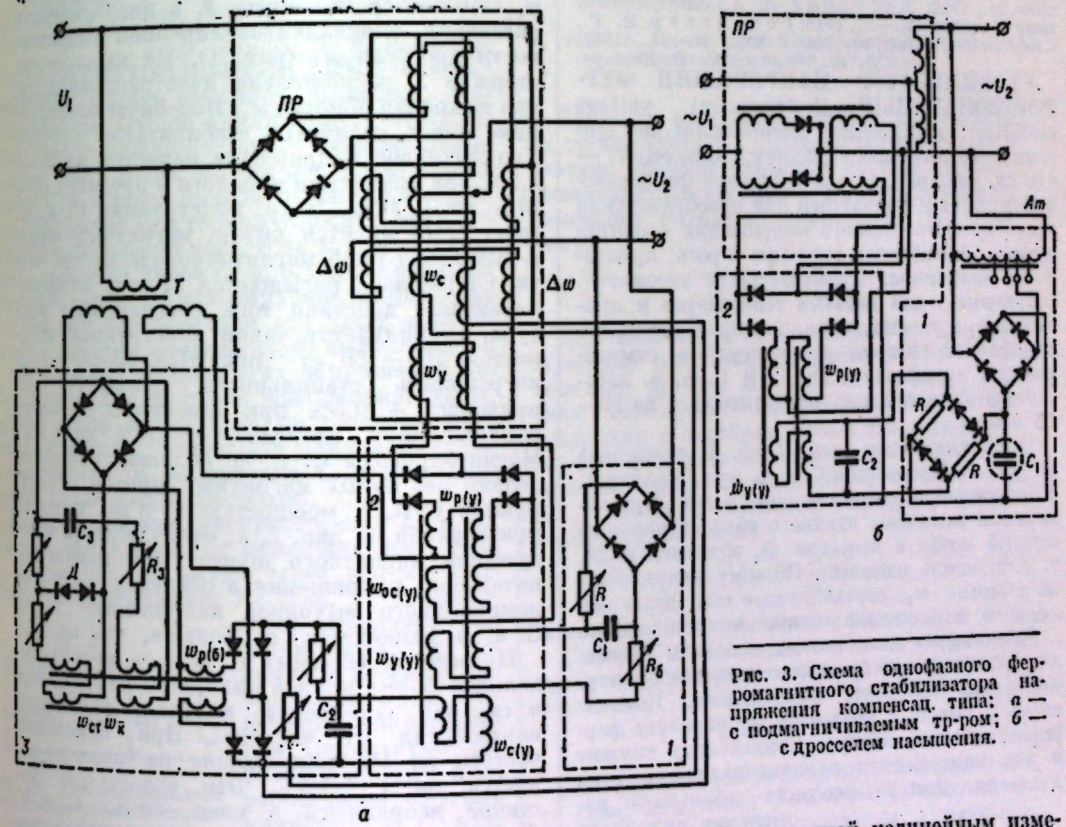


Рис. 3. Схема однофазного ферромагнитного стабилизатора напряжения компенсац. типа: *а* — с подмагничиваемым тр-ром; *б* — с дросселем насыщения.

а

используемые для стабилизации эффективного и, соответственно, ср. значения напряжения. Измерит. орган *1* (рис. 3, *а*) состоит из выпрямит. моста, конденсатора C_1 и сопротивлений R и R_6. Ток на выходе измерит. органа — ток в обмотке $w_{y(y)}$ — пропорционален эффективному значению выходного напряжения стабилизатора независимо от формы кривой. Опорный орган стабилизатора *3* — магнитно-стабилитронный. Он состоит из магнитного усилителя с обмотками управления $w_{ст}$ и $w_к$. Обмотка $w_{ст}$ питается неизменным током от стабилитрона. Вследствие этого мало меняется ток на выходе опорного органа (ток в обмотке $w_{c(y)}$). С помощью $w_к$ обеспечивается полная стабилизация этого тока, либо перекомпенсация или недокомпенсация. Усилит. орган *2* представляет собой магнитный усилитель с внутр. обратной связью, с обмотками управления $w_{y(y)}$ и смещения $w_{c(y)}$, включенными т. о., что их магнитодвижущие силы вычитаются. Выходной ток усилителя, протекающий по обмотке управления подмагничиваемого тр-ра w_y, пропорционален разности сигналов измерит. и опорного органов.

СНФК регулируются двумя способами: прямым и встречным. При прямом регулировании с ростом тока в обмотке w_y растет выходное напряжение СНФК. При встречном регулировании с ростом тока управления исполнит. органа уменьшается выходное напряжение. СНФК с прямым и встречным управлением различаются способами включения обмоток управления и смещения исполнит. и усилит. органов.

Блок управления СНФК (рис. 3, *б*) содержит измерит. мост со стабилитронами *1* и магнитный усилитель *2*. Выходной ток измерит. органа пропорционален разности между выходным напряжением и нек-рой эталонной величиной, обусловленной нелинейным измерит. мостом. Вследствие этого в блоке управления нет отдельного опорного органа.

Др. типы СНФК отличаются от описанных выше лишь элементами, входящими в тот или иной орган стабилизатора, напр., содержат ПП и ламповые триоды, насыщенные диоды, бареттеры, стабиливольты, варисторы, термисторы, феррорезонансные стабилизаторы, а в стабилизаторах большой мощности — каскадные магнитные усилители. Трехфазные СНФК бывают двух типов: с раздельной нофазной стабилизацией напряжения и с одноврем. стабилизацией всех трех фаз. Структура та же, что и однофазных.

Осн. исследования и разработки в области СНФК направлены на создание мощных и прецизионных стабилизаторов, на применение новых элементов в блоке управления (напр., датчиков Холла в качестве измерите-

лей эффективного значения напряжения, управляемых диодов в качестве усилит. органов и др.), повышение динамич. св-в стабилизатора (напр., применением быстродействующих магнитных усилителей), улучшение формы кривой выходного напряжения и уточнение методики расчета.

Лит.: Бамдас А. М., Шапиро С. В., Однофазные и трехфазные стабилизаторы напряжения с подмагничиваемыми автотрансформаторами, «ВЭ», 1961, № 9; Сергеенков Б. Н., Схемы и конструкции трехфазных бесконтактных стабилизаторов напряжения трансформаторного типа, там же, 1963, № 8; Бамдас А. М., Аркелов М. А., Шапиро С. В., Применение ТРПШ для однофазной выпрямительно-стабилизирующей установки с аккумуляторной батареей, «Тр. Горьковского политехн. ин-та», 1961, т. 17, вып. 2; Бамдас А. М., Сомов В. А., Шапиро С. В., Новые мощные пускостабилизаторы переменного тока, «ВЭ», 1959, № 9; Ивахненко А. Г., Петина Н. В., Стабилизаторы напряжения с комбинированным управлением, Киев, 1958; Петров В. В., Пионтковский Б. А., Стабилизаторы напряжения и тока, М., 1952; Бессонов Л. А., Электрические цепи со сталью, М.—Л., 1948; Гольдрсер И. Г., Стабилизаторы напряжения, 2 изд., М.—Л., 1957.

А. М. Бамдас, С. В. Шапиро.

СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЙ (ferroresonant voltage stabilizer; stabilisateur ferrorésonant de tension; Ferroresonanz-Spannungsstabilisator) — статич. аппарат, в к-ром явление феррорезонанса токов используется для преобразования нестабильного сетевого напряжения в напряжение, эффективная величина к-рого практически постоянна. Применяется в автоматич. установках, для питания телевизоров и приемников, в телемеханике, для преобразования однофазной системы напряжений в симметричную трехфазную. В СССР С. н. ф. изготовляются мощностью от десятков *ва* до 10—12 *ква*.

Принципиальная схема С. н. ф. приведена на рис. 1. Процессы в С. н. ф. весьма сложны. Упрощенное описание их дано ниже. При изменении величины входного напряжения магнитный поток в дросселе $Д_2$ меняется мало, т. к. дроссель насыщен. Поэтому напряжение на обмотке w_2, составляющее осн. долю выходного напряжения, также меняется мало.

Напряжение на обмотках ненасыщ. дросселя $Д_1$ изменяется практически прямо пропорционально входному напряжению. Конденсатор C вместе с дросселем $Д_2$ образует феррорезонансный контур. Конденсатор служит и для компенсации намагничивающего тока дросселя. Для компенсации небольшого изменения выходного напряжения, все же происходящего при изменении входного, служит обмотка $w_к$. Внутр. сопротивление С. н. ф. значительно меньше сопротивления номинальной нагрузки, поэтому его внешняя характеристика жесткая.

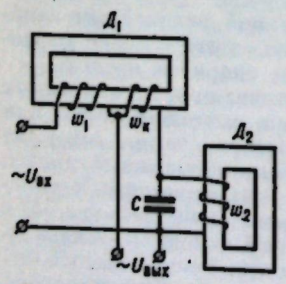


Рис. 1. Двухэлементный феррорезонансный стабилизатор напряжения: w_1 и $w_к$ обмотки ненасыщ. дросселя $Д_1$; w_2 — обмотка насыщ. дросселя $Д_2$.

Конструктивно С. н. ф. делятся на две группы: двухэлементные (рис. 1) и одноэлементные (рис. 2). Достоинство двухэлементного С. н. ф. — возможность применения стандартных магнитопроводов. Кпд двухэлементного С. н. ф. 0,7—0,8; cosφ при активной нагрузке 0,8 — 0,9; коэфф. стабилизации 25.

Одноэлементный С. н. ф. (рис. 2, *а*) имеет магнитопровод с внешним шунтом *3*, отделенным от осн. магнитной цепи воздушным зазором. Обмотки w_1 и $w_к$ расположены на ненасыщенном стержне *1*. Поток рассеяния обмотки w_1 замыкается по шунту *3*, а индуктивность рассеяния эквивалентна линейной индуктивности дросселя $Д_1$ (рис. 1). На насыщенном стержне *2* расположена автотрансформаторная выходная обмотка w_2. Подобную конструкцию имеет серийный стабилизатор СН-250. Его выходное напряжение меняется на 3,7—4,5% при изменении входного в пределах от—37% до + 10%. В др. конструкции С. н. ф. (рис. 2, *б*) имеется внутр. магнитный шунт, к-рый делит окно магнитопровода на две части. Стержень *2* насыщается за счет намагничивающего действия тока резонансного контура. Стабилизатор такой конструкции мощностью 100—750 *ва* типа ЭПА обеспечивает погрешность стабильности выходного напряжения ± 0,5% при изменении входного напряжения в пределах от—16% до +5%. Магнитопроводы С. н. ф. большой мощности делают без явных магнитных шунтов. Конструкция С. н. ф. мощностью 1—8 *ква* подобна приведенной на рис. 2, *а*; отличие лишь в отсутствии магнитного шунта. При изменении питающего напряжения в пределах ±20% от номинального выходное напряжение таких С. н. ф. изменяется не больше, чем на 2%.

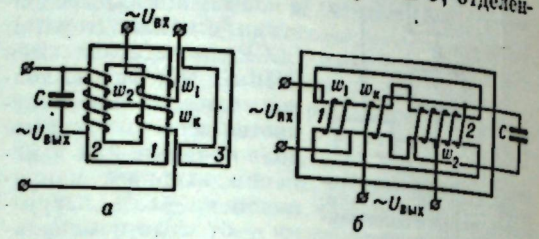


Рис. 2. Одноэлементные феррорезонансные стабилизаторы напряжения: *а* — с внешним шунтом; *б* — с внутр. шунтом.

Недостатки обычных С. н. ф. — несинусоидальная форма кривой выходного напряжения и сильная зависимость величины выходного напряжения от частоты. При изменении частоты на 1% напряжение на выходе меняется на 1,1—1,7%. Эти недостатки частично исправлены в спец. типах С. н. ф. Форма кривой улучшена в них путем создания резонансных *LC*-фильтров, настроенных на высшие гармоники. Известен С. н. ф., в выходном напряжении к-рого лишь 3% высших гармоник. Компенсация частотной зависимости производится путем включения последовательно с нагрузкой резонансного контура с резонансом токов или напряжений. Для уменьшения частотной зависимости предложен также С. н. ф. с обратной связью по выходному напряжению. Выходное напряжение такого стабилизатора меняется на ±0,25% при изменении частоты на 1,5%. Для улучшения параметров двухэлементного С. н. ф. предложено применить для насыщенного дросселя материал с прямоугольной кривой намагничивания. Разработки С. н. ф. ведутся в направлении создания простых легких, дешевых и надежных С. н. ф. с синусоидальной формой кривой выходного напряжения и частотной компенсацией.

Лит.: Богданов Д. И., Евдокимов Г. К., Феррорезонансные стабилизаторы, М.—Л., 1958; Гольдрсер И. Г., Стабилизаторы напряжения, 2 изд., М.—Л., 1957; Лифшиц С. Я., Феррорезонансные стабилизаторы напряжения, М.—Л., 1951; Мазель К. Б., Стабилизаторы напряжения и тока, М.—Л., 1955; Микшта Е. П., О принципе действия преобразователя однофазного напряжения в трехфазное с феррорезонансными стабилизаторами напряжения, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1962, № 5; Бамдас А. М., Беляев Б. В., Ростковская С. Е., Сравнение типов феррорезонансных стабилизаторов напряжения и расчет стабилизатора, «ВЭ», 1944, № 10; Лурье А. Г., Теория феррорезонансных стабилизаторов напряжения, М.—Л., 1958; Пивоваров С. П., К теории феррорезонансного стабилизатора напряжения, «АиТ», 1949, № 3; его же, Анализ феррорезонансного стабилизатора напряжения с компенсационным контуром, включенным последовательно с нагрузкой, «ВЭ», 1957, № 9; Богданов Д. И., Феррорезонансный стабилизатор напряжения на магнитном материале с прямоугольной характеристикой, «Э-во», 1961, № 7; Донской А. В., Ивенский Г. В., Фрумкин А. А., Мощные электромагнитные стабилизаторы напряжения, в сб.: Промышленное применение токов высокой частоты. Доклады Второй Ленингр. конференции, кн. 33, М.—Л., 1954.

А. М. Бамдас, Л. Э. Рогинская.

СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫЙ (voltage electronic stabilizer; stabilisateur de tension électronique; elektronischer Spannungstabilisator) — *стабилизатор*, в к-ром осн. ф-ции выполняют электронные лампы. С. н. э. могут быть постоянного и перем. тока, но обычно этот термин относят к стабилизаторам напряжения пост. тока. В основе функцион. схем всех видов С. н. э. лежит отрицат. обратная связь: стабилизируемое напряжение или нек-рая определенная его часть сравнивается с *опорным напряжением*, выполняющим ф-цию эталона; разность этих напряжений является сигналом на входе электронной схемы, работа к-рой направлена на сведение этой разницы к нулю. Однако эта функцион. схема в зависимости от назначения С. н. э. реализуется различными способами.

Наиболее широко распространены С. н. э., в к-рых напряжение от источника пост. тока U_1 передается на выход через нек-рое балластное сопротивление $R_б$ (рис. 1). Стабилизатор выполняет свои ф-ции, управляя величиной перепада напряжения $U_б$ на балластном сопротивлении. Существуют две разновидности С. н. э., работающие по этому принципу: а) С. н. э. последоват. типа, где ф-цию $R_б$ выполняет электронная лампа, и величина $U_б$ регулируется изменением потенциала сетки лампы по отношению к ее катоду; б) С. н. э. параллельного типа, где в качестве $R_б$ включено обычное сопротивление. Перепад напряжения на нем $U_б$ регулируется изменением величины тока, ответвляющегося в электронную лампу, включенную после $R_б$.

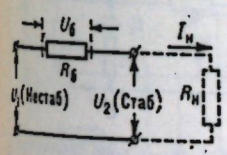


Рис. 1. Принципиальная схема электронного стабилизатора напряжения с балластным сопротивлением.

Более распространены С. н. э. последоват. типа (рис. 2). Нестабилизиров. напряжение U_1 получается от сети с помощью к.-л. нелинейного или электромеханич. выпрямителя, внутр. сопротивление к-рого $R_е$. Осн. хар-ки С. н. э. последоват. типа: а) коэфф. стабилизации

$$\gamma = \left|\frac{\frac{dU_2}{U_2}}{\frac{dU_1}{U_1}}\right|_{I_н=\text{const}} = \frac{U_1}{U_2}\frac{1}{1+\mu K\alpha} \approx \frac{U_1}{U_2}\frac{1}{\mu K\alpha}, \quad (1)$$

б) выходное сопротивление

$$R_{вых} = -\left[\frac{dU_2}{dI_н}\right]_{E=\text{const}} = \frac{U_1}{U_2}\frac{1}{1+\mu K\alpha}R_е + \frac{R_i}{1+SK\alpha R_i} \approx \frac{U_1}{U_2}\frac{R_е}{\mu K\alpha} + \frac{1}{SK\alpha}. \quad (2)$$

Здесь μ, S, R_i — соответственно статич. коэфф. усиления, крутизна и внутр. сопротивление балластной (проходной) лампы $Л_б$. Остальные величины ясны из рис. 2.

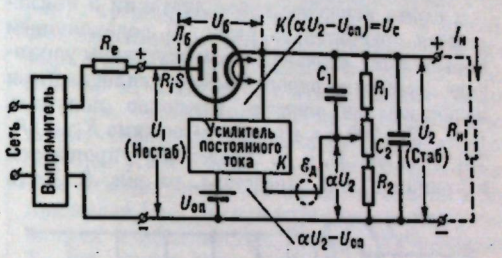


Рис. 2. Схема электронного стабилизатора напряжения последоват. типа.

Принцип. возможности схемы, вытекающие из ур-ний (1) и (2), ограничиваются в первую очередь дрейфом усилителя сигнала ошибки. Эквивалентная эдс дрейфа $\mathcal{E}_д$ (рис. 2) вызовет изменение выходного напряжения на величину:

$$(\Delta U_2)_д \approx \frac{1}{\alpha}\mathcal{E}_д. \quad (3)$$

Для повышения точности С. н. э. в промежуточных усилителях предусматривается компенсация дрейфа. В наиболее ответств. случаях используют бездрейфовые усилители пост. тока с преобразованием входного сигнала или фотогальванометрич. усилители. Изменение опорного напряжения на величину $\Delta U_{оп}$ вызовет изменение выходного напряжения на величину

$$(\Delta U_2)_{оп} \approx \frac{1}{\alpha}\Delta U_{оп} \quad (4)$$

независимо от схемы усилителя.

Схема С. н. э., представленная на рис. 1, требует непроизводит. затраты мощности осн. источника

$$P_б = I_н U_б = I_н^2 R_б. \quad (5)$$

Для уменьшения этой мощности выпускаются спец. виды ламп с малым сопротивлением пост. току для использования в качестве проходных (6Н5С, 6С18С и др.). Однако кпд С. н. э. редко превышает 75%. Особенность С. н. э. — возможность плавной регулировки выходного напряжения U_2. Если коэфф. усиления промежуточного усилителя K достаточно велик, то

$$\alpha U_2 \approx U_{оп}$$

и, следовательно:

$$U_2 \approx \frac{U_{оп}}{\alpha}. \quad (6)$$

α легко изменяется с изменением соотношения R_1 и R_2 контрольного делителя (рис. 2). При необходимости регулировки U_2 в широких пределах производится ступенчатое переключение U_1. Для улучшения работы С. н. э. последоват. типа при ВЧ или импульсных нагрузках, при к-рых K может оказаться недостаточным, в схему вводится конденсатор

C_1, увеличивающий α с возрастанием частоты, и конденсатор C_2, шунтирующий выходное сопротивление стабилизатора.

В схеме рис. 2 управляющий сигнал на входе усилителя получается только за счет изменений выходного напряжения U_2. Принципиально возможно одновременно осуществлять контроль и входного напряжения U_1. При этом может быть получен стабилизатор с нулевым или даже отрицат. статизмом (когда при уменьшении U_1 возрастает U_2). Однако эти схемы неудобны в эксплуатации и применяются сравнительно редко. В подавляющем большинстве случаев в промежуточном усилителе достаточно одного каскада усиления (при использовании пентода возможно получить $K = 150—200$ и в «голодном» режиме $K \geqslant 500$). Тогда схема С. н. э. предельно упрощается и принимает вид, представл. на рис. 3. Если

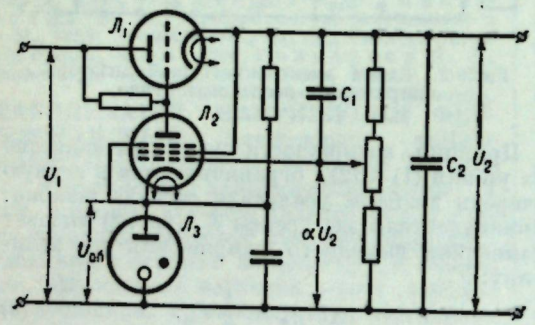


Рис. 3. Схема электронного стабилизатора напряжения с одним каскадом усиления в промежуточном усилителе.

необходимо получить на выходе такого стабилизатора достаточно малые напряжения ($<\sim 180$ *в*), то для питания усилит. каскада $Л_2$ и получения опорного напряжения необходимо предусмотреть отдельный источник.

Возможна стабилизация напряжения пост. тока посредством управления величиной перем. напряжения на входе выпрямителя. Такие системы экономичнее и допускают более широкий диапазон регулировки выходного напряжения. Однако получение больших мощностей (более ~ 10 *вт*) этим путем затруднительно. Как правило, на выпрямитель подается напряжение ВЧ (от единиц до сотен *кгц*), что облегчает фильтрацию выпрямл. тока. С. н. э. такого типа используются преимущественно для питания высоковольтных маломощных потребителей: фотоэлектронных умножителей, ионизац. камер, масс-спектрометров и др. На рис. 4 дана блок-схема одного из

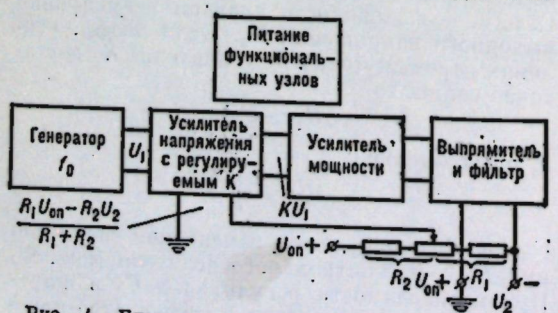


Рис. 4. Блок-схема стабилизатора напряжения пост. тока.

стабилизаторов такого вида, допускающего регулировку выходного напряжения в весьма широких пределах. Сигнал ошибки, снимаемый с контрольного делителя R_1, R_2, управляет величиной коэфф. усиления K усилителя напряжения (в качестве к-рого может быть использован пентод с перем. крутизной), изменяя тем самым напряжение на входе выпрямителя. Поскольку напряжение на входе усилителя всегда невелико, то:

$$U_2 \approx \frac{R_1}{R_2} U_{оп}. \qquad (7)$$

С. н. э. является динамически замкнутой системой (см. *Стабилизатор*), в к-рой возможно самовозбуждение, что необходимо учитывать при проектировании. С. н. э. интенсивно вытесняются *стабилизаторами полупроводниковыми* и сохраняются только благодаря тому, что при совр. технике ПП С. н. э. способны стабилизировать более высокие напряжения. Теория С. н. э. разработана достаточно подробно; улучшение их эксплуатац. хар-к идет гл. обр. за счет разработки новых, более эффективных электронных ламп.

Лит.: Декабрун Л. Л., *К*-стабилизаторы напряжения лабораторных выпрямителей, «Р-ка», 1955, т. 10, № 10. См. лит. также при ст. *Стабилизатор* и *Стабилизатор тока*. *Л. Л. Декабрун.*

СТАБИЛИЗАТОР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ (semiconductor voltage stabilizer; stabilisateur à semi-conducteur; Halbleiterstabilisator) — устройство на ПП элементах, предназнач. для стабилизации напряжения или тока (обычно постоянного). Термин «С. п.» относится гл. обр. к стабилизаторам напряжения, т. к. они нашли наибольшее применение. С. п. тока (см. *Стабилизатор тока*) имеют много общего с С. п. напряжения.

С. п. можно разделить (см. *Стабилизатор*) на параметрические на *стабилитронах кремниевых* и компенсационные транзисторные с обратной связью, в к-рых кремниевые стабилитроны используются в качестве источников *опорного напряжения*.

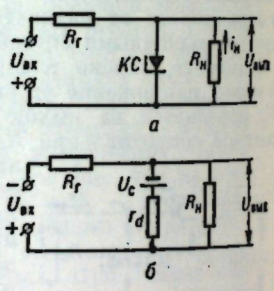


Рис. 1. а — Схема параметрич. ПП стабилизатора напряжения; б — эквивалентная схема стабилизатора.

Схема параметрич. С. п. дана на рис. 1, *а*. На эквивалентной схеме (рис. 1, *б*) стабилитрон представлен в виде батареи с эдс U_c. Если r_d — динамическое сопротивление стабилитрона, то *стабилизации коэффициент* схемы:

$$K = \left|\frac{dU_{вх}}{U_{вх}}\middle/\frac{dU_{вых}}{U_{вых}}\right|_{R_н=\text{const}} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}\left(1+\frac{R_г}{r_d}+\frac{R_г}{R_н}\right) \approx \frac{U_{вых}}{U_{вх}}\frac{R_г}{r_d}, \qquad (1)$$

а ее выходное сопротивление

$$R_{вых} = -\left|\frac{dU_{вых}}{di_н}\right|_{U_{вх}=\text{const}} = \frac{r_d R_г}{r_d + R_г} \approx r_d.$$

Для такого С. п., построенного на отечеств. стабилитронах, K примерно равно 50—200, а $R_{вых} = 10—20$ *ом*. Для компенсации температурного изменения напряжения стабилизации U_c целесообразно применять последоват. включение кремниевых стабилитронов в обратном и прямом направлениях.

Транзисторные компенсац. стабилизаторы могут строиться по схеме с последовательным или параллельным включением управляющего звена (регулирующего транзистора). Наибольшее распространение получили последоват. стабилизаторы. Для блок-схемы такого С. п. (рис. 2) при коэфф. усиления усилит.

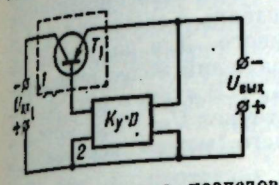


Рис. 2. Схема транзисторного компенсационного стабилизатора напряжения с последовательным включением регулирующего транзистора: *1* — управляющее звено (регулирующий транзистор); *2* — усилительное и сравнивающее звено.

звена $K_у$ (без учета влияния регулирующего транзистора), намного большем единицы, коэфф. стабилизации K_1 по изменению напряжения $U_{вх_1}$ и выходное сопротивление определяются по ф-лам:

$$K_1 = \frac{K_у n r_{k_1}}{R'_у}\frac{U_{вых}}{U_{вх_1}},$$

$$R_{вых} = \frac{r_{вх_1} + R'_у/\beta_1 + R'_у R_{в_1}/r_{k_1}}{K_у n},$$

где n — коэфф. передачи сравнивающего звена; $r_{вх_1}$ — параметр регулирующего транзистора, равный $r_{э_1} + r_{б_1}(1-\alpha_1)$; α_1, β_1 — коэфф. усиления регулирующего транзистора соответственно в схеме с общей базой и общим эмиттером; r_{k_1}, $r_{э_1}$, $r_{б_1}$ — параметры Т-образной эквивалентной схемы регулирующего транзистора; $R_{в_1}$, $R'_у$ — соответственно внутр. сопротивление источника $U_{вх_1}$ и выходное сопротивление усилит. звена.

Для наиболее распространенных схем С. п. (рис. 3) с однокаскадным усилит. звеном, где

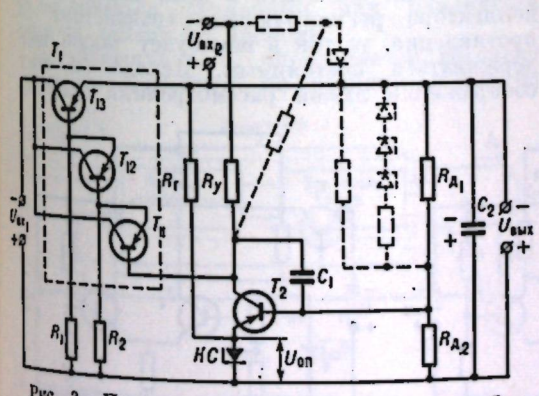


Рис. 3. Практич. схема транзисторного стабилизатора.

в качестве регулирующего транзистора T_1 использован тройной составной транзистор,

$$K_1 = \frac{n}{A}\frac{r_{k_1}}{r_{вх_2}}\frac{U_{вых}}{U_{вх_1}}; \qquad (2)$$

$$R_{вых} = \frac{A}{n} r_{вх_2}\left(\frac{r_{вх_1}}{R_у} + \frac{1}{\beta_1} + \frac{R_{в_1}}{r_{k_1}}\right), \qquad (3)$$

где $A = 1 + \frac{r_d}{r_{вх_2}} + \frac{R_д(1-n)n}{r_{вх_2}\beta_2}$; $n = \frac{R_{д_2}}{R_д}$; $R_д = R_{д_1} + R_{д_2}$. Индексы *1* и *2* относятся соответственно к параметрам составного регулирующего транзистора T_1 и усилит. транзистора T_2; $R_{д_1}$, $R_у$ — соответственно сопротивления делителя сравнивающего звена, нагрузки усилит. звена. β_1 и r_{k_1} тройного составного транзистора определяются по параметрам транзисторов T_{11}, T_{12}, T_{13} по ф-лам: $\beta_1 = \beta_{11}\beta_{12}\beta_{13}$; $1/r_{k_1} = 1/r_{k_{11}} + 1/r_{k_{12}}\beta_{11} + 1/r_{k_{13}}\beta_{11}\beta_{12}$.

Если использовать параметры транзисторов, определенные на перем. токе, то коэфф. стабилизации K_1 является одновременно коэфф. сглаживания пульсаций источника $U_{вх_1}$. Обычно K_1 больше 1000, а $R_{вых}$ намного меньше 1 *ом*. Большое влияние на выходное напряжение оказывает напряжение питания транзистора усилит. звена $U_{вх_2}$ (рис. 3). Для питания усилит. звена можно использовать и напряжение $U_{вх_1}$, но при этом существенно ухудшается стабильность. Коэфф. стабилизации K_2 по изменению напряжения $U_{вх_2}$ равен:

$$K_2 = \frac{n}{A}\frac{R_у}{r_{вх_2}}\frac{U_{вых}}{U_{вх_2}}. \qquad (4)$$

Он не может быть больше, чем

$$K_{2\,макс} = (25—30)\,U_{вых}\frac{n}{A}$$

(где $U_{вых}$ выражено в *в*), что на 1—2 порядка меньше K_1.

Существ. улучшение параметров С. п., представленного на рис. 3, можно получить, если для питания усилит. звена использовать параметрич. С. п. (рис. 1), включенный так, как это показано пунктиром на рис. 3. В этом случае K_2 увеличивается в K раз, где K — коэфф. стабилизации, определяемый по ф-ле (1). Конденсатор C_2 на выходе стабилизатора улучшает устойчивость и частотные хар-ки стабилизатора. Для повышения устойчивости используется также и фазосдвигающий конденсатор C_1. Для того чтобы составной транзистор работал нормально в условиях повыш. темп-р при уменьшении тока нагрузки до нуля, через транзисторы T_{12} и T_{11} посредством сопротивлений R_1 и R_2 пропускаются токи, величины к-рых должны быть больше макс. величин нулевого тока коллектора соответствующих транзисторов. Сопротивление $R_г$ дает возможность установить необходимый рабочий ток стабилитрона *КС*. Регулировку выходного напряжения в схеме (рис. 3) можно осуществлять включением в цепь делителя сравнивающего звена перем. сопротивления, ср. точка к-рого соединяется с базой транзистора T_2.

Большое влияние на выходное напряжение С. п. оказывает темп-ра. В схеме рис. 3 при увеличении темп-ры изменяется опорное напряжение (для широко используемых стабилитронов Д808 увеличивается примерно на 4 *мв*/°С) и уменьшается напряжение между базой и эмиттером транзистора T_2 (примерно на 2 *мв*/°С). Влияние остальных ПП элементов ослабляется цепью отрицат. обратной связи, и им можно пренебречь. При выборе достаточно низкоомного делителя можно пренебречь и влиянием нулевого тока коллектора транзистора T_2. При этом получается частичная температурная компенсация, и весь стабилизатор имеет положит. температурный коэфф. Для полной температурной компен-

сации целесообразно в верхнее плечо делителя (как это показано пунктиром на рис. 3) включить в прямом направлении p—n-переходы (германиевые или кремниевые диоды или стабилитроны) с отрицат. температурным коэфф. Для точной подгонки температурного коэфф. к величине, близкой к нулю, можно верхнее плечо делителя с термокомпенсирующими p—n-переходами зашунтировать сопротивлением (показано пунктиром), подбираемым при регулировке.

Температурный коэфф. схемы рис. 3 с термокомпенсирующими p—n-переходами (без шунтирующего сопротивления) определяется по ф-ле (в *мв*/°С):

$$\gamma = \frac{\gamma_{оп} - \gamma_{U_{б_2}}}{n} - N\gamma_{пр},$$

где $\gamma_{оп}$, $\gamma_{U_{б_2}}$, $\gamma_{пр}$ — соответственно абс. величины температурных коэфф. опорного напряжения (положит. знака), напряжения $U_{б_2}$ и прямого напряжения одного p—n-перехода; N — количество термокомпенсирующих p—n-переходов.

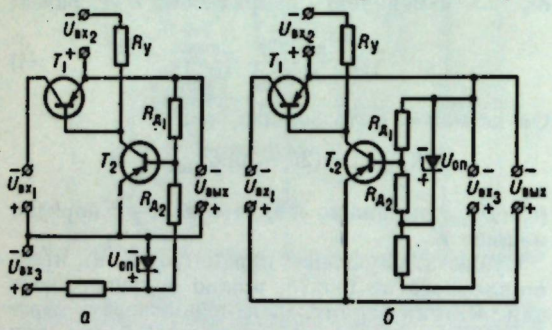


Рис. 4. Схемы транзисторных стабилизаторов:
$а$ — $U_{вых} \gtrless U_{оп}$, $б$ — $U_{вых} < U_{оп}$.

В стабилизаторах повыш. точности для уменьшения температурного дрейфа во времени целесообразно опорные стабилитроны, транзистор сравнивающего звена и термокомпенсирующие p—n-переходы разместить внутри общего футляра из хорошо проводящего материала (меди, алюминия). Сопротивления делителя должны изготовляться из манганина с мин. температурным коэфф.

С. п. по схеме рис. 3 с термокомпенсацией может быть использован в качестве мощного источника образцового напряжения со стабильностью нормальных элементов 3—2-го классов для питания датчиков, цифровых вольтметров обегающих систем, электронных потенциометров и т. д. Схема рис. 3 позволяет получать пост. напряжение, большее опорного напряжения кремниевых стабилитронов. Для получения меньших напряжений необходимо применять схемы с др. сравнивающими звеньями (рис. 4, *а*, *б*). Схема рис. 4,*а* позволяет получать напряжение как больше, так и меньше опорного (в зависимости от соотношения плеч делителя), а схема рис. 4, *б* — только меньше опорного. Для получения малых выходных напряжений более предпочтительна схема рис. 4,*б*. В схемах рис. 4 требуется дополнит. источник $U_{вх_2}$. При определ. условиях вместо него можно использовать и напряжение $U_{вх_2}$.

Если применять источники опорного напряжения, скомпенсированные по темп-ре, то для уменьшения влияния $\gamma_{U_{б_2}}$ можно использовать в качестве усилит. звена дифференц. схемы, приведенные на рис. 5. В этих схемах температурные изменения напряжения между базой и эмиттером транзисторов T_2, T_2' взаимно компенсируются. Схема рис. 5,*а* позволяет получать выходное напряжение только больше опорного, схема рис. 5,*б*—как больше, так и меньше опорного, схема рис. 5,*в* — только меньше опорного.

Для повышения кпд С. п. и уменьшения мощности рассеяния регулирующих транзисторов разработаны С. п., у к-рых регулирующие транзисторы, работая в режиме переключения, посылают в нагрузку мощность не непрерывно, а периодически. Для усреднения мощности используются реактивные элементы. При помощи обратной отрицат. связи можно менять время нахождения регулирующего транзистора в открытом и закрытом состоянии и поддерживать тем самым пост. напряжение на выходе.

В схемах рис. 3,4, 5 при пост. сопротивлении нагрузки поддерживается пост. ток эмиттера, равный приблизительно току коллектора, регулирующего транзистора. Следовательно, если включить в цепь эмиттера или коллектора регулирующего транзистора сопротивление, то ток в нем будет также поддерживаться постоянным. Исходя из этих соображений любой рассмотренный стабилизатор напряжения может быть преобразован в стабилизатор тока.

Схемная техника ПП стабилизаторов постоянно совершенствуется. Исследуются и разрабатываются стабилизаторы повыш. стабильности, стабилизаторы с улучшенными динамич. хар-ками, стабилизаторы с импульсным регулированием и т. д.

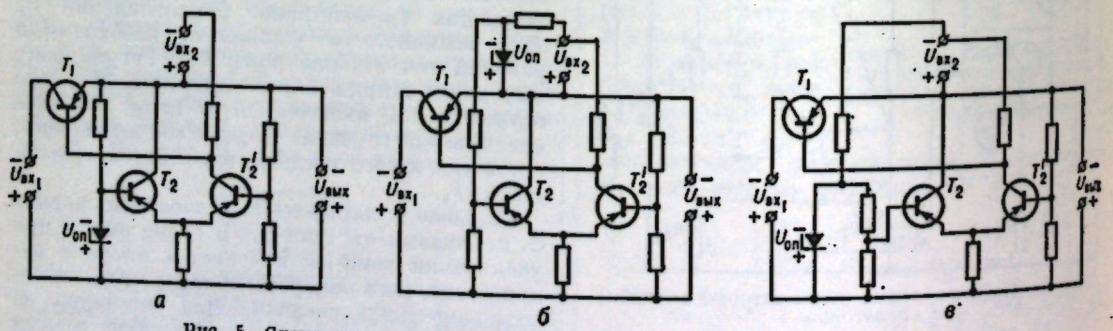


Рис. 5. Схема транзисторных стабилизаторов с дифференц. усилителями:
$а$ — $U_{вых} > U_{оп}$, $б$ — $U_{вых} \gtrless U_{оп}$, $в$ — $U_{вых} < U_{оп}$.

Лит.: Д о д и к С. Д., Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока, М., 1962; К а р п о в В. И., Полупроводниковые стабилизаторы напряжения, М.—Л., 1963; А л е к с а н д р и н В. И., Импульсные стабилизаторы напряжения на транзисторах, в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, вып. 7, М., 1961. *С. Д. Додик.*

СТАБИЛИЗАТОР ТОКА (current stabilizer; stabilisateur de courant; Stromstabilisator) — устройство, противодействующее влиянию внешних факторов, вызывающих отклонение стабилизируемого тока от заданного значения. Термин «С. т.» относится исключительно к стабилизаторам пост. тока. По своей функцион. схеме С. т. — усилитель с отрицат. обратной связью по току (рис.1): стабилизируемый ток $I_н$ протекает через контрольное сопротивление R_0; падение напряжения на нем $I_н R_0$ сравнивается с *опорным напряжением* $U_{оп}$. Разность напряжений является сигналом на входе усилит. схемы, к-рая стремится ее уменьшить. По своему назначению усилит. схема С. т. должна быть схемой с токовым выходом. Хар-кой такой схемы является ее крутизна $S_{стаб}$. Конструктивно в подавляющем большинстве случаев ее приходится разбивать на 2 узла: усилитель напряжения с коэфф. усиления K и усилитель тока с крутизной S. Следовательно

$$S_{стаб} = KS. \qquad (1)$$

В стационарном режиме С. т.

$$I_{н_0} = \frac{S_{стаб} U_{оп}}{1 + S_{стаб} R_0} = \frac{KS}{1 + KSR_0} U_{оп}. \qquad (2)$$

При достаточно глубокой отрицат. обратной связи, когда

$$\frac{1}{KSR_0} = \alpha \ll 1, \qquad (3)$$

ур-ние стационарного состояния примет вид:

$$I_{н_0} = \frac{1}{1+\alpha} \frac{U_{оп}}{R_0} \cong \frac{U_{оп}}{R_0}. \qquad (4)$$

В зависимости от назначения С. т. опорное напряжение $U_{оп}$ может быть постоянным, переключаться ступенями или изменяться по к.-л. закону во времени.

Устойчивость С. т. определяется, согласно критерию Найквиста, по реакции схемы на

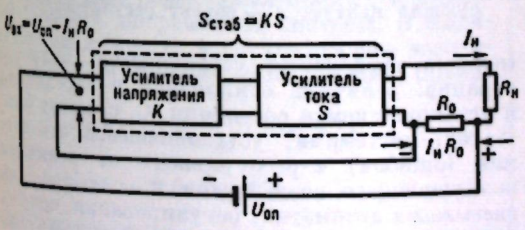


Рис. 1.

синусоидальное напряжение (см. *Стабилизатор*). В этом случае связь входной и выходной величин в схеме (рис. 1) имеет следующий вид:

$$\dot{I}_н = \frac{\dot{K}\dot{S}}{1 - \dot{K}\dot{S}R_0} \dot{U}_{оп}. \qquad (5)$$

Коэфф. передачи разомкнутой петли в данном случае $\dot{K}\dot{S}R_0$, а критич. точка на комплексной плоскости — точка с координатами $+1; 0$.

Если внешние факторы при разомкнутой петле обратной связи С. т. способны вызвать изменение $I_н$ на величину $\delta I_н$, то при замкнутой петле изменение $I_н$ за счет тех же факторов будет иметь величину:

$$\Delta I_н = \frac{1}{1 + R_0 S_{стаб}} \delta I_н. \qquad (6)$$

В мощных С. т. в качестве усилителя тока можно использовать электрич. машины (мотор-генераторы, электромашинные усилители). Однако при этом значительно труднее обеспечить устойчивость С. т., т. к. электрич. машины вносят запаздывание в передачу сигнала и, кроме того, в качестве усилителей тока они обладают очень узким рабочим диапазоном частот, не превышающим обычно неск. десятых долей периода в сек. В результате быстрые флуктуации стабилизируемого тока не подавляются петлей обратной связи С. т. Для их подавления вводят 2-й канал питания нагрузки — канал перем. тока, по к-рому энергия поступает только при возникновении флуктуаций, не подавляемых осн. петлей. На рис. 2 дана эквивалентная схема питания

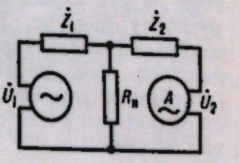


Рис. 2.

нагрузки для перем. тока. Здесь $\dot{U}_1$ — перем. напряжение, создаваемое осн. каналом питания, $\dot{Z}_1$ — эквивалентное сопротивление этого канала перем. току, $\dot{U}_2$ и $\dot{Z}_2$ — соответственно параметры вспомогат. канала. При условии

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{Z}_1} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{Z}_2}, \qquad (7)$$

перем. ток в нагрузке должен отсутствовать.

Трудности, связанные с использованием электрич. машин в схемах С. т., ограничили их применение случаями только сравнительно грубых схем ($\Delta I_н / I_н \geqslant 10^{-4}$), в к-рых нет необходимости вводить 2-й канал питания нагрузки. В прецизионных С. т., к-рые должны поддерживать $\Delta I_н / I_н \leqslant 10^{-5}$, все узлы строятся либо на электронных лампах, либо на транзисторах (иногда электрич. машины используют в качестве вращающихся выпрямителей). В случае С. т. на основе электронных ламп целесообразно, чтобы $I_н \leqslant$ (2—3) *а*. Необходимая мощность в нагрузке создается за счет надлежащего напряжения на ней, к-рое может достигать неск. *кв*. В С. т. на транзисторах целесообразно увеличивать $I_н$, снижая напряжение на нагрузке. Необходимые токи получаются с помощью многофазных (обычно шестифазных) ПП выпрямителей сетевого напряжения. При многофазном выпрямлении практически отпадает необходимость в сглаживании выпрямл. напряжения с помощью фильтров, к-рые при больших значениях тока получились бы весьма громоздкими. По-видимому, ПП С. т. будет принадлежать ведущее место. Изыскиваются методы повышения точности (снижения отношения $\Delta I_н$ к $I_н$), в частности в случае индуктивных нагрузок (ток питания высокостабильных электромагнитов).

Лит.: Д о д и к С. Д., Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока, М., 1962; Б о н ч-Б р у е в и ч А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Д е к а б р у н Л. Л., Усилители и источники питания, ч. 1—2, М., 1961. *Л. Л. Декабрун.*

СТАБИЛИЗАТОР ЧАСТОТЫ (frequency stabilizer; stabilisateur de fréquence; Frequenzstabilisator) — см. *Стабилизация частоты.*

СТАБИЛИЗАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ С УГОЛЬНЫМ СТОЛБОМ (electromagnetic carbon-pile stabilizer; stabilisateur électromagnétique à pile de charbon; elektromagnetischer Konstanthalter mit Kohlensäule) — см. *Регулятор угольный автоматический.*

СТАБИЛИЗАТОР ЭЛЕКТРОННЫЙ (electronic stabilizer; stabilisateur électronique; elektronischer Stabilisator) — см. *Стабилизатор напряжения электронный.*

СТАБИЛИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТ (stabilization factor; coéfficient de stabilisation; Stabilisierungskoeffizient) — коэффициент (обычно безразмерный), дающий количественную хар-ку эффективности работы стабилизатора по отношению к определ. дестабилизирующему фактору. В любом стабилизаторе величина стабилизируемого параметра y определяется неск. величинами $x_1, x_2, \ldots, x_n$, способными изменяться в процессе работы стабилизатора и тем самым вызывать изменение величины

$$y = f(x_1, x_2, \ldots, x_n). \qquad (1)$$

С. к. по отношению к x_i называют [1, 2, 3] величину

$$G_{x_i} = \frac{\frac{\partial y}{y}}{\frac{\partial x_i}{x_i}}. \qquad (2)$$

Иногда [1] С. к., выраженный соотношением (2), наз. относительным С. к., в отличие от абс. С. к., под к-рым понимают:

$$G'_{x_i} = \frac{\partial y}{\partial x_i}. \qquad (3)$$

В ряде работ [4, 5] под С. к. понимается величина, обратная (2):

$$\sigma_x = \frac{\frac{\partial x_i}{x_i}}{\frac{\partial y}{y}}. \qquad (4)$$

Последнее выражение более точно соответствует смыслу термина «С. к.»: при идеальной работе стабилизатора σ_x равна бесконечности. Однако в практике расчета, проектирования и теоретич. анализа работы стабилизирующих устройств весьма распространено использование С. к., выражаемого соотношением (2).

В нек-рых случаях (напр., [5]) подчеркивается комплексный характер С. к., что отражает зависимость этой величины от скорости изменения дестабилизирующих факторов. Принципиально такое определение С. к. более точно. Однако в подавляющем большинстве случаев полоса пропускания функцион. узлов стабилизатора значительно шире эффективного спектра дестабилизирующего фактора. Это дает право рассматривать все возможные изменения дестабилизирующего фактора как «медленные» и не учитывать комплексный характер С. к.

Определение С. к., даваемое соотношением (2) или (4), является общим: физич. природа дестабилизирующих факторов здесь может быть самой разнообразной. Такая широкая трактовка С. к. используется очень редко. В большинстве случаев величиной С. к. характеризуют эффективность стабилизатора по отношению к дестабилизирующему фактору той же физич. природы, что и стабилизируемый параметр. Так, напр., в стабилизаторах напряжения под С. к. понимают величину

$$G_u = \frac{\frac{\partial U_{вых}}{U_{вых}}}{\frac{\partial U_{вх}}{U_{вх}}}. \qquad (5)$$

Эффективность же этого стабилизатора по отношению к другому дестабилизирующему фактору — току нагрузки — характеризуют эффективным выходным сопротивлением стабилизатора $R_{вых}$, и т. д.

Поскольку часто трудно получить аналитич. зависимость (1), величина С. к. находится обработкой графиков. При этом в выражениях для С. к. фигурируют не дифференциалы, а конечные изменения (Δx, Δy и т. д.).

Лит.: 1) Додик С. Д., Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока, М., 1962; 2) Фельдбаум А. А., Введение в теорию нелинейных цепей, М., 1948; 3) Декабрун Л. Л., Усилители и источники питания, ч. 1—2, М., 1961; 4) Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; 5) Эрглис К. Э., Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961.

Л. Л. Декабрун.

СТАБИЛИЗАЦИИ СИСТЕМА (stabilization system; système de stabilisation; Stabilisierungssystem) — САР, предназначенная для поддержания пост. значения одной или неск. регулируемых координат при произвольно меняющихся внешних *возмущениях* $f(t)$. Управляющее воздействие остается все время постоянным $g(t) = \text{const}$ и, в частном случае, $g(t) \equiv 0$ (рис.). Основным требованием к С. с.

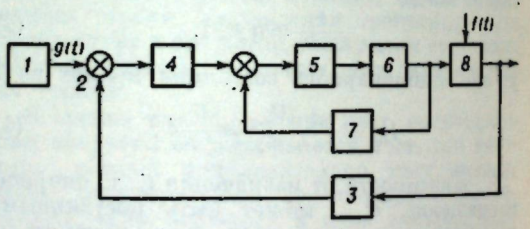


Схема системы стабилизации: *1* — задающее устройство; *2* — сравнивающий элемент; *3* — измерит. устройство; *4* — последоват. корректирующий контур; *5* — усилитель; *6* — исполнит. механизм; *7* — паралл. корректирующий контур; *8* — объект регулирования.

(помимо требования устойчивости) является огранич. величина отклонения в переходном и установившемся состоянии. С. с. могут быть статич. системами, установившееся отклонение (ошибка) к-рых зависит от величины возмущающего воздействия, и *астатическими системами* автоматич. регулирования, ошибка к-рых определяется зонами нечувствительности отдельных элементов. Для того чтобы система являлась астатической ν-го порядка по отношению к возмущающему воздействию, ее передаточная ф-ция $Y(s)$ по отношению к этому воздействию должна иметь нуль кратности ν при $s = 0$, т. е.

$$Y(s) = s^{\nu} Y(s); \qquad [Y_0(s)]_{s=0} \neq 0.$$

С увеличением порядка астатизма С. с. увеличиваются статич. и динамич. точности, но значительно снижается *устойчивости запас* системы. Как и любые САР, С. с. могут быть линейными и нелинейными, дискретными (импульсными) и непрерывными системами регулирования. С. с. находят широкое применение в пар. х-ве для регулирования производств. процессов, в аэро- и астронавигации, в машиностроении, электротехнике и электронике.

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

И. И. Пашаев.

СТАБИЛИЗАЦИЯ (stabilization; stabilisation; Stabilisierung) — изменение динамич. св-в САР с целью ликвидации неустойчивости системы, увеличения быстроты затухания переходного процесса, уменьшения значения установившейся погрешности и влияния внешних возмущений на регулируемую координату. С. осуществляется изменением параметров или структуры системы. Для обеспечения устойчивости системы простейшая С. может быть выполнена путем выбора малого коэфф. усиления устойчивой системы в разомкнутом состоянии, что ведет к уменьшению частоты среза и быстродействия системы и к увеличению ее статич. погрешности. Для С. системы и для увеличения ее быстродействия без знач. уменьшения коэфф. усиления в регулирующее воздействие вводится дополнит. сигнал, пропорциональный производной сигнала рассогласования:

$$y_g(t) = a_0 \varepsilon(t) + a_1 \frac{d\varepsilon(t)}{dt},$$

где $\varepsilon(t)$ — сигнал рассогласования; $y_g(t)$ — регулирующее воздействие, a_0, a_1 — пост. коэфф. Передаточная ф-ция такой системы в разомкнутом виде:

$$W_c(s) = a_1 (T_1 s + 1) W(s),$$

где $W(s)$ — передаточная ф-ция разомкнутой системы без С.; $W_c(s)$ — передаточная ф-ция разомкнутой системы со С., $T_1 = a_2/a_1$. Амплитудная фазовая хар-ка:

$$W_c(j\omega) = a_1 \sqrt{1 + (\omega T_1)^2}\, W(\omega) \times \exp\{-j[\varphi(\omega) - \operatorname{arctg} \omega T]\},$$

где

$$W(\omega) = \exp[-j\varphi(\omega)] = W(j\omega).$$

Введение производной в регулирующее воздействие уменьшает в системе запаздывание по фазе, тем самым способствует С., значительно ускоряет переходный процесс и уменьшает динамич. погрешность системы. В сложных системах для С. в регулирующее воздействие вводятся производные высших порядков:

$$y_g(t) = a_0 \varepsilon(t) + a_1 \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + a_2 \frac{d^2\varepsilon(t)}{dt^2} + \ldots + a_n \frac{d^n \varepsilon(t)}{dt^n}.$$

Передаточная ф-ция разомкнутой системы в этом случае будет

$$W_c(s) = \prod_{k=1}^{n} \frac{1}{T_k} (T_k s + 1) W(s),$$

где $T_k = -\frac{1}{q_k}$; q_k — корни ур-ния

$$a_0 + a_1 q + a_2 q^2 + \ldots + a_n q^n = 0.$$

Введение производных в регулирующее воздействие не изменяет статич. погрешности системы, однако для систем, подверженных действию ВЧ помех, ведет к увеличению амплитуды шума на выходе. Для уменьшения статич. ошибки и уменьшения влияния помех на регулируемую координату применяется С. с введением в регулирующее воздействие значения, пропорционального интегралу от сигнала ошибки:

$$y_g(t) = a_0 \varepsilon(t) + a_1 \int_0^t \varepsilon(t)\, dt.$$

Передаточная ф-ция системы в разомкнутом виде:

$$\frac{a_1 (T_2 s + 1)}{s} W(s),$$

где $T_2 = a_0/a_1$. При этом система становится астатической и установившаяся погрешность регулируемой координаты не превосходит величины зоны нечувствительности интегрирующего элемента. При изменении управляющего сигнала возникает динамич. погрешность, пропорциональная скорости его изменения. Динамич. погрешность может быть уменьшена применением двойного интегрального управления:

$$y_g(t) = a_0 \varepsilon(t) + a_1 \int_0^t \varepsilon(t)\, dt + a_2 \int_0^t \int_0^t \varepsilon(t)\, dt\, dt.$$

Введение в регулирующее воздействие значения сигнала ошибки, и тем более двойного интеграла, значительно ухудшает устойчивость системы. Поэтому должны быть приняты меры для достаточно сильной С. системы, как, напр., введение в регулирующее воздействие дополнительно одной или неск. производных сигнала ошибки:

$$y_g(t) = a_2 \int_0^t \int_0^t \varepsilon(t)\, dt^2 + a_1 \int_0^t \varepsilon(t)\, dt + a_0 \varepsilon(t) + a_1 \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \ldots + a_n \frac{d^n \varepsilon(t)}{dt^n}.$$

В тех случаях, когда необходимо уменьшить влияние внешних воздействий на систему, таких, как изменение мощности источников питания, толчки, резкие изменения нагрузки и т. д., С. производится по внешним воздействиям — в регулирующее воздействие вводятся производные и интегралы от возмущающего воздействия так, чтобы уменьшить его влияние на регулируемую координату. Дополнит. сигнал зависит только от внешнего воздействия и, следовательно, не влияет на устойчивость системы в целом. Задача С. нелинейных САР — обеспечить устойчивость или уменьшить амплитуды автоколебаний. Эффективным средством является введение производных в управляющее воздействие и коррекция линейной части системы для приближения точки пересечения амплитудной фазовой хар-ки линейной части с годографом адмитанса нелинейного элемента к началу координат.

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

И. И. Пашаев.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ИМПУЛЬСНАЯ (pulse stabilization; stabilisation à impulsions; Impulsstabilisierung) — стабилизация САР путем введения в нее дополнит. импульсных элементов или цепей, преобразующих непрерывный сигнал в последовательность импульсов, высота, длительность или фаза к-рых пропорциональны значениям входного сигнала в дискретные моменты времени. Для

С. и. могут быть использованы импульсные фильтры (соединения элементов запаздывания), вычислит. устройства (шифраторы и дешифраторы) либо целые импульсные системы, состоящие из импульсных или непрерывного действия элементов. С. и. системы меняет ее частотную хар-ку, причем, если период повторения импульсов $T<\pi/\omega_c$, где ω_c — частота среза непрерывной системы, то частотная хар-ка новой системы мало отличается от исходной; при $T>\pi/\omega_c$ разница может стать существенной и приводит к изменению запаса устойчивости системы. С. и. замкнутых систем может быть подразделена на *стабилизацию последовательную* и *стабилизацию параллельную*. При С. и. последовательной передаточная ф-ция разомкнутой системы

$$k_c^*(q,\ 0)=k_D^*(q,\ 0)\,k^*(q,\ 0),$$

где $k^*(q, 0)$ — передаточная ф-ция импульсной системы без стабилизации, $k_D^*(q,\ 0)$ — передаточная ф-ция импульсной стабилизирующей цепи. Передаточная ф-ция части системы, охваченной паралл. корректирующим звеном:

$$k_c^*(q,\ 0)=k^*(q,\ 0)+k_D^*(q,\ 0).$$

Годограф общей частотной хар-ки при последоват. С. и. равен произведению, а при параллельной С. и.— сумме годографов частотных хар-к системы без стабилизации и дополнит. импульсной цепи.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958.

И. И. Пашиев.

СТАБИЛИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНАЯ (continuous stabilization; stabilisation continue; kontinuierliche Stabilisierung) — стабилизация САР с введением дополнит. непрерывных корректирующих цепей. В зависимости от способа включения дополнит. цепей в систему, С. н. можно разделить на последовательную и параллельную. В первом случае непрерывная стабилизирующая цепь включается последовательно с элементами главной обратной связи (см. *Стабилизация последовательная*), что ведет к преобразованию сигнала ошибки и введению в закон регулирования дополнит. стабилизирующих сигналов (чаще всего производных и интегралов сигнала ошибки). Для импульсных систем последоват. включение непрерывных корректирующих устройств равносильно временно́му сдвигу и изменению формы последовательности импульсов, что ведет к увеличению запаса устойчивости и улучшению качества процессов регулирования. В случае *стабилизации параллельной* дополнит. непрерывная цепь включается параллельно импульсному элементу, импульсному элементу и участку непрерывной части системы, или параллельно элементам непрерывной части системы. Охват импульсного элемента обратной связью через элемент непрерывного действия приводит к изменению закона модуляции. Передаточная ф-ция такой системы, представляющей собой замкнутую цепь:

$$k_0^*(q,\ 0)=k_н/[1+k_D^*(q,\ 0)],$$

где $k_D^*(q, 0)= D\,[k_D(q)]$; D — дискретное преобразование Лапласа; $k_D(q)$ — передаточная ф-ция непрерывной цепи обратной связи, $k_н$ — передаточная ф-ция элемента непрерывного действия.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958.

И. И. Пашиев.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ (parallel stabilization; stabilisation parallèle; parallele Stabilisierung) — введение дополнит. местных обратных связей, охватывающих один или неск. элементов САР, для стабилизации и получения заданной *статической ошибки*. Особенность С. п.— изменение передаточной

Табл. к статье *Стабилизация параллельная*.

Передаточная ф-ция звена, охваченного обратной связью	Обратные связи		
	жесткая	запаздывающая	гибкая
$W_1(s)$	$W_c(s)=k_c$	$W_c(s)=\frac{k_c}{T_cs+1}$	$W_c(s)=\frac{k_cs}{T_cs+1}$
k_1s	$\frac{k_1s}{1+k_1k_cs}$	$\frac{k_1s(T_cs+1)}{(k_ck_1+T_c)s+1}$	$\frac{k_1s(T_cs+1)}{k_1k_cs^2+T_cs+1}$
$\frac{k_1}{s}$	$\frac{1}{k_c}\cdot\frac{1}{\left(\frac{s}{k_1k_c}+1\right)}$	$\frac{1}{k_c}\cdot\frac{T_cs+1}{\left(\frac{T_c}{k_1k_c}s^2+\frac{1}{k_1k_c}s+1\right)}$	$\frac{k_1}{k_1k_c+1}\cdot\frac{T_cs+1}{s\left(\frac{T_cs}{k_1k_c+1}+1\right)}$
$\frac{k_1}{T_1s+1}$	$\frac{k_1}{k_1k_c+1}\cdot\frac{1}{\left(\frac{T_1s}{k_1k_c}+1\right)}$	$\frac{k_1}{k_1k_c+1}\cdot\frac{T_cs+1}{\left(\frac{T_1T_cs^2}{k_1k_c+1}+\frac{(T_1+T_c)s}{k_1k_c+1}+1\right)}$	$\frac{k_1(T_cs+1)}{T_1T_cs^2+(T_1+T_c+k_1k_c)s+1}$
$\frac{k_1s}{T_1s+1}$	$\frac{k_1s}{(T_1+k_1k_c)s+1}$	$\frac{k_1s(T_cs+1)}{T_1T_cs^2+(T_1+T_c+k_1k_c)s+1}$	$\frac{k_1s(T_cs+1)}{(T_cT_1+k_1k_c)s^2+(T_1+T_c)s+1}$
k_1	$\frac{k_1}{1+k_1k_c}$	$\frac{k_1}{1+k_1k_c}\cdot\frac{T_cs+1}{\frac{T_cs}{1+k_1k_c}+1}$	$\frac{k_1(T_cs+1)}{(T_c+k_1k_c)s+1}$

ф-ции звеньев, охваченных обратной связью. Передаточная ф-ция системы со С. п.

$$W(s)=\frac{W_1(s)}{1+W_c(s)\,W_1(s)}\,W_2(s),$$

где $W_1(s)$ — передаточная ф-ция части системы, охваченной обратной связью, $W_2(s)$ — передаточная ф-ция части системы, не охваченной обратной связью, $W_c(s)$ — передаточная ф-ция элемента стабилизации. В общем случае:

$$W_c(s)=\frac{a_0+a_1s+\ldots+a_ps^p}{b_0+b_1s+\ldots+b_qs^q}=\frac{P(s)}{Q(s)}$$

[$P(s)$ и $Q(s)$ — преобразования Лапласа для величин на выходе и входе при нулевых начальных условиях]; если $a_0\neq0$ (жесткая или инерц. обратная связь), то такая связь уменьшает коэфф. усиления охваченного ею элемента, что ведет к увеличению статич. ошибки системы. При $a_0=0$ (гибкая обратная связь) сигнал на выходе стабилизирующего элемента содержит только производные входного сигнала и, следовательно, не влияет на коэфф. усиления системы. При соответствующем выборе обратной связи можно вводить в закон регулирования производные и интегралы от сигнала ошибки. Передаточные ф-ции простейших звеньев, охваченных жесткой, запаздывающей и гибкой обратными связями, даны в табл. (где s — оператор Лапласа, k_1, k_c, T_1, T_c — пост. коэфф., характеризующие параметры звеньев). Положит. местная обратная связь применяется для увеличения чувствительности элементов с малым коэфф. усиления, но ведет к повышению влияния нестабильностей элементов. Отрицат. обратная связь, применяемая значительно чаще, чем положительная, позволяет устранить нежелат. влияние нестабильностей и нелинейностей элементов САР на динамич. св-ва системы в целом и на качество регулирования.

И. И. Пашиев.

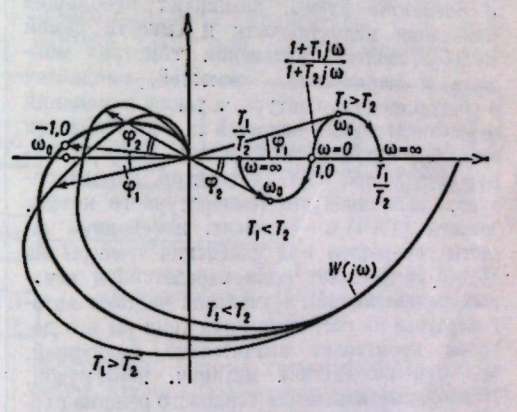
СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ (series stabilization; stabilisation série; Serienstabilisierung) — введение в *регулирования закон*, помимо сигнала, пропорционального ошибке, сигналов, пропорциональных последующим производным и интегралам по времени от ошибки. Сигнал ошибки преобразуется при этом с помощью спец. устройств, включаемых последовательно с объектом регулирования. Введение интегралов в закон регулирования повышает порядок астатизма системы, введение производных — позволяет изменить распределение нулей и полюсов передаточной ф-ции системы, т. е. обеспечить устойчивость и требуемое качество процесса регулирования.

Реализация на практике элемента с передаточной ф-цией $N(s)=\sum_{i=-l}^{k}n_i\,s^i$ (где s — оператор Лапласа; k — пост. величина; l — число интегралов; n_i — параметр закона регулирования) даже при малых значениях l и k представляет сложную технич. задачу. Более удобно использовать легко реализуемые пассивные стабилизирующие элементы, учитывая при расчете вносимые ими дополнит. преобразования сигнала ошибки.

Передаточная ф-ция разомкнутой системы с С. п.

$$W_c(s)=N(s)\,W(s),$$

где $W(s)$ — передаточная ф-ция разомкнутой системы без стабилизации. Для простейшего пассивного элемента передаточная ф-ция: $N(s)=\frac{1+T_1s}{1+T_2s}$, где T_1 и T_2 — постоянные времени, причем, если $T_1<T_2$, то имеем пассивный интегрирующий элемент, если $T_1>T_2$ — дифференцирующий. При С. п. таким пассивным элементом длина вектора амплитудной фазовой хар-ки системы изменяется в $\sqrt{\frac{1+(T_1\omega)^2}{1+(T_2\omega)^2}}$ раз (ω — частота), а аргумент изменяется на угол $\operatorname{arctg}\left[\frac{(T_1-T_2)\omega}{1+T_1T_2\omega}\right]$, для $T_1<T_2$ в сторону опережения, а для $T_1>T_2$ в сторону отставания. При соответствующем выборе величин T_1 и T_2 амплитудная фазовая хар-ка системы может быть деформирована так, что не будет охватывать точку [—1.0], и, следовательно, будет устойчивой (рис.), где $W(j\omega)$ — амплитудная фазовая хар-ка. Улучшение качества процессов регулирования с помощью пассивных элементов достигается только в определ. области частот, зависящей от параметров элементов. При $T_1>T_2$ достаточно точное введение производной в регулирующее воздействие будет только для частот, где величиной $T_2\omega$ можно пренебречь по сравнению с 1. Если $T_1<T_2$, то интеграл достаточно точно вводится в регулирующую величину для частот, где $T_2\omega\gg1$. Для С. п. используются и более сложные пассивные элементы (см. *Корректирующая цепь*). Недостаток последовательной стабилизации заключается в том, что наиболее часто применяемые пассивные стабилизирующие элементы значительно ослабляют сигнал ошибки, что ведет к необходимости введения в систему дополнит. усилителей мощности. Кроме того, при наличии в системе помех введение производных в закон регулирования понижает помехозащищенность системы.



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

И. И. Пашиев.

СТАБИЛИЗАЦИЯ УСИЛЕНИЯ [gain stabilization; stabilisation d'amplification (de gain); Verstärkungsstabilisierung)] — см. *Автоматическая регулировка усиления*.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ (frequency stabilization; stabilisation de fréquence; Frequenzstabilisierung) автогенераторов — методы поддержания постоянства частоты колебаний ламповых и ПП генераторов с самовозбуждением. Стабильность частоты автогенератора измеряется или как абс. величина ее отклонения Δf от номин.

значения f_0 (в *гц*) или, чаще, в относит. единицах $\Delta f/f_0$. Последняя без принятия спец. мер обычно не превышает 1×10^{-3} за длит. время (неск. часов). Частота колебаний, генерируемых автогенератором, определяется, в первую очередь, резонансной частотой его колебат. системы, т. е. величинами ее индуктивности и емкости. Помимо этого, она зависит также от типа лампы (ПП прибора) и от режима ее работы. Дестабилизирующие факторы воздействуют: 1) на индуктивность и емкость колебат. системы; 2) на режим работы лампы или ПП прибора. К 1-й группе относятся механич. деформации и сотрясения деталей монтажа — изменения рабочей темп-ры, давления и влажности воздуха; ко 2-й — нестабильности величин напряжений питания электронной лампы (ПП прибора). При воздействии механич. перегрузок (вибраций, ударов и линейных ускорений) появляются деформации деталей и элементов схемы, возникают небольшие изменения индуктивности и емкости самой колебат. системы, изменения геометрии монтажа и паразитных емкостей, входящих в общую емкость контура, а также изменения междуэлектродных емкостей за счет вибрации электродов лампы. Воздействие темп-ры окружающей среды на генератор характеризуется величиной его температурного коэфф. частоты (ТКЧ) α — относит. изменением частоты генератора при изменении темп-ры на 1° С ($5 \cdot 10^{-6}$—$5 \cdot 10^{-5}$ для передатчиков связных радиостанций). Изменения частоты автогенератора за счет изменения темп-ры его деталей происходит значительно медленней, чем при воздействии механич. перегрузок. Наибольшее изменение теплового режима схемы и связанное с ним изменение частоты происходит при прогреве схемы лампового автогенератора в течение первых 15—20 мин. (для ПП 30—40 сек.) после включения напряжений питания. Это изменение частоты наз. выбегом частоты. В ламповом генераторе стационарный тепловой режим устанавливается только спустя 1—2 часа после начала его работы. Величина ТКЧ автогенератора может быть рассчитана исходя из известных температурных коэфф. емкости (ТКЕ) и индуктивности (ТКИ) его колебат. системы, т. е. относит. изменений емкости и индуктивности при изменении их темп-ры на 1° С. ТКИ α_L обычно положителен $(7—20) \cdot 10^{-6}$; он зависит от материала каркаса и типа намотки. ТКЕ α_C может быть как положит., так и отрицат., в зависимости от природы диэлектрика конденсатора. ТКЧ контура $\alpha = -0{,}5\,(\alpha_L + \alpha_C)$. За счет подбора величины и знака α_C величина α может быть существенно уменьшена (термокомпенсация частоты автогенератора).

Колебания влажности и атм. давления приводят к изменению емкостей воздушных конденсаторов, входящих в схемы диапазонных автогенераторов, т. к. при этом изменяется диэлектрич. проницаемость воздуха. При неблагоприятных условиях это может привести до $5 \cdot 10^{-4}$.

Изменение режима работы лампы вследствие колебаний напряжений питания ее электродов приводит к изменениям фазового угла коэфф. обратной связи и средней крутизны лампы. Напр., изменение величины одного из напряжений на 20% приводит к относит. уходу частоты порядка $1 \cdot 10^{-4}$. На стабильность частоты автогенератора влияет также реакция последующих каскадов, т. е. сопротивление нагрузки. Каскад автогенератора (задающий генератор) обычно связывается с сеточной цепью усилит. каскада, к-рая и является его нагрузкой. Частота автогенератора меняется при колебаниях тока в цепи управляющей сетки лампы. Поэтому в качестве первого усилит. каскада должен быть применен буферный каскад, работающий без сеточных токов. В автогенераторах СВЧ (*Генератор магнетронный*, *Генератор клистронный* и др.) нагрузкой является *антенна*. Для передачи макс. мощности в антенну, связь антенны с контуром генератора делается сильной, благодаря чему все геометрич. изменения в ВЧ тракте (волноводах, коаксиальных линиях, а также в самой антенне) приводят к изменению величины эквивалентного сопротивления нагрузки, что, в свою очередь, ухудшает стабильность частоты.

Простейшим методом С. ч. является параметрич. С. ч., при к-рой в схему автогенератора включаются дополнит. элементы с подобранными параметрами, уменьшающие влияние темп-ры (термокомпенсация) и колебаний режима питания лампы (ПП прибора) на частоту колебаний, генерируемых схемой. При термокомпенсации в схеме генератора применяются, напр., спец. конденсаторы с тикондом в качестве диэлектрика; они обладают отрицат. ТКЕ и компенсируют ТКИ катушки индуктивности контура генератора. Иногда (особенно в ПП автогенераторах) применяется термостатирование всей схемы. Для уменьшения влияния колебаний напряжений питания в анодную и сеточную цепи лампы включаются большие активные сопротивления, стабилизирующие анодный и сеточный ее токи. Параметрич. С. ч. широко применяется в сравнительно простых широкодиапазонных автогенераторах и дает возможность обеспечить относит. стабильность частоты в пределах $(1—3) \cdot 10^{-4}$.

Для совр. передатчиков, гетеродинов, приемников, а также для эталонов частоты и времени требуется гораздо бо́льшая стабильность частоты (10^{-6}—10^{-9} за длит. время). В этих случаях применяется С. ч., основанная на использовании эталонных св-в *резонаторов кварцевых* (кварцевая С. ч.), *резонаторов объемных* или резонансного поглощения энергии электромагнитных волн в газах. Последние два вида С. ч. получили широкое распространение в диапазоне СВЧ.

Стабильность частоты автогенератора определяется, наряду с эталонностью параметров, добротностью его колебат. системы. В автогенераторах коэфф. усиления петли обратной связи — комплексная ф-ция $k = ke^{j\varphi}$, где $\varphi = \varphi_к + \varphi_{ос}$, $\varphi_к$ — фазовый сдвиг контура, а $\varphi_{ос}$ — фазовый сдвиг цепи обратной связи. Условия самовозбуждения автогенератора на требуемой частоте генерации выполняются при модуле коэфф. усиления k, большем или равном единице, и общем фазовом сдвиге φ, равном нулю, т. е. при $\varphi_к = -\varphi_{ос}$. Изменения любой из этих составляющих общего фазового сдвига вследствие изменения параметров соответствующего элемента схемы автогенератора приводят к уходу частоты его колебаний, т. к. баланс фаз $\varphi = 0$ имеет место уже на др. частоте. Стабильность частоты автогенератора высока, если в его схеме имеется к.-л. элемент (или *четырехполюсник* из элементов) с высокой крутизной фазовой хар-ки. В этом случае незначит. изменения частоты автогенератора вызывают большие изменения фазового сдвига, вносимые этим элементом, приводящие к значит. нарушению баланса фаз, необходимому для существования колебаний. Поэтому в таком автогенераторе могут иметь место только колебания с частотами, близкими к его рабочей частоте. Фазочувствит. элементом в схеме любого автогенератора является резонансный контур, у к-рого сдвиг фазы выходного напряжения относительно входного зависит от его частоты. Крутизна фазовой хар-ки резонансного контура зависит от его добротности и возрастает при увеличении последней. Поэтому колебат. контур с большей добротностью при прочих равных условиях обеспечивает бо́льшую стабильность частоты автогенератора.

Высокой добротностью обладают кварцевые резонаторы. Добротность кварцевого резонатора на 2—3 порядка выше добротности обычного колебат. контура. У кварцевых резонаторов, служащих для С. ч. автогенераторов, величина добротности достигает 100 — 200 тыс., а в отд. случаях (кварцевые часы и прецизионные эталоны частоты, применяемые в качестве первичных и вторичных стандартов частоты) — единиц и даже десятков млн. Ввиду малых размеров кварцевые резонаторы в составе схемы автогенератора сравнительно легко могут быть защищены от влияния внешних воздействий путем герметизации и термостатирования. В связи с тем, что собств. частота кварцевого резонатора определяется геометрич. размерами его пластины, кварцевая С. ч. может осуществляться только на одной фиксированной частоте. Для устранения этого недостатка и получения кварцевой С. ч. в диапазоне частот применяются интерполяционные схемы. Простейшая из них (рис. 1)

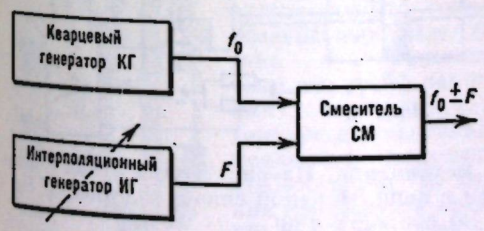


Рис. 1. Блок-схема интерполяционного генератора.

состоит из высокочастотного кварцевого генератора КГ, интерполяционного генератора ИГ и смесителя их частот СМ. Частота интерполяционного генератора F значительно меньше, чем частота кварцевого генератора f_0, и перестраивается в небольшом частотном диапазоне. Частоты обоих генераторов подаются на смеситель. На выходе смесителя возникают суммарная и разностная частоты обоих генераторов $f_0 \pm F$, одна из к-рых и выделяется резонансным контуром в анодной цепи смесителя. При перестройке частоты ИГ в заданных пределах в этих же пределах будет перестраиваться и выходная кварцованная частота. При соблюдении условия $f_0 \gg F$ стабильность частоты на выходе такого генератора мало отличается от стабильности частоты применённого в нем кварцевого генератора. В связи с тем, что резонансная частота кварцевого резонатора определяется геометрич. размерами и толщиной кварцевой пластинки, непосредственная кварцевая С. ч. применяется до частот порядка 13—15 *Мгц* на основной частоте кварца и до 150—200 *Мгц* на частоте ее гармоник. Более высокие частоты получают путем умножения частоты кварцевого генератора.

В диапазоне сантиметровых волн, кроме непосредственного умножения частоты кварцевого генератора, применяется С. ч. генераторов СВЧ при помощи фазовой автоподстройки частоты системой ФАП под частоту эталона, стабилизированного кварцем (рис. 2). Стабильность частоты в этом случае определяется стабильностью кварцевого эталона и достигает величины 10^{-6}—10^{-7}.

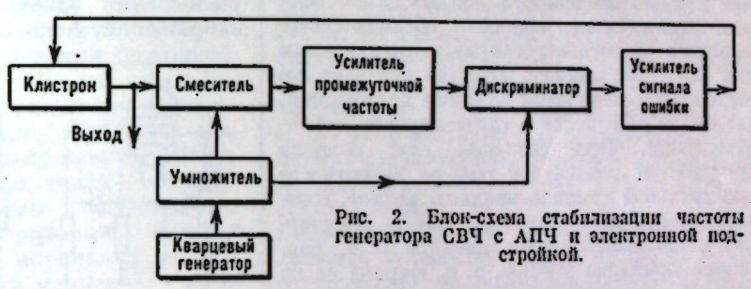


Рис. 2. Блок-схема стабилизации частоты генератора СВЧ с АПЧ и электронной подстройкой.

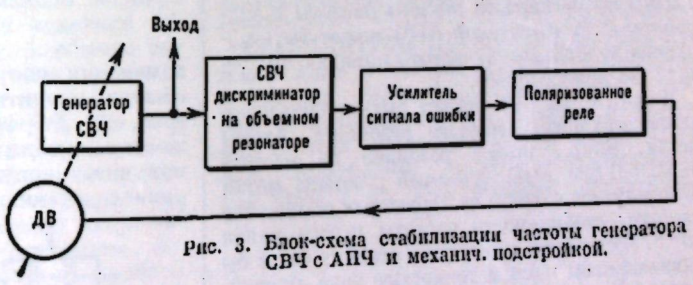


Рис. 3. Блок-схема стабилизации частоты генератора СВЧ с АПЧ и механич. подстройкой.

Управление частотой триодных и магнетронных генераторов осуществляется механич. способом подстройки (рис. 3). В этом случае управляющее напряжение рассогласования подается на поляризованное реле, переключающее направление вращения двигателя ДВ системы механич. перестройки частоты генератора. Механич. метод более инерционен, чем электрич., и обеспечивает значительно меньшую точность, хотя и позволяет получить больший предел регулировки частоты. Применение механич. С. ч. магнетронных генераторов дает возможность повысить стабильность их частоты до 10^{-4}—10^{-5}. Др. способом С. ч. автогенераторов СВЧ является применение спец. высокодобротных объемных резонаторов, связанных с колебат. системой генератора. Хотя колебат. система генератора СВЧ содержит объемный резонатор, он обладает сравнительно небольшой нагруж. добротностью из-за сильной связи с нагрузкой и для обеспечения условий самовозбуждения в схеме.

Спец. объемные резонаторы могут обладать добротностью порядка 50 тыс. и больше. Резонансная частота такого резонатора может быть сделана независимой от колебаний темп-ры и диэлектрич. постоянной воздуха путем применения спец. материалов и герметизации внутр. объема. При связывании такого объемного резонатора с колебат. системой автогенератора СВЧ добротность последней значительно возрастает, что и приводит к повышению стабильности частоты генератора примерно на один порядок. Для получения более высокой степени С. ч. объемный резонатор применяется в качестве пассивного эталона частоты в сочетании с системой АПЧ. Такой метод позволяет получить стабильность частоты автогенератора до 10^{-8} за небольшие промежутки времени. Долговременная стабильность частоты будет определяться эталонностью параметров резонатора.

В качестве высокодобротного эталонного резонатора могут служить спектральные линии поглощения молекул нек-рых газов. Первым таким газом, подробно обследованным методами радиоспектроскопии и примененным для С. ч., был аммиак. Этот газ обладает достаточно интенсивными линиями поглощения, частоты к-рых лежат в сантиметровом диапазоне волн. При давлении газа порядка 10^{-5} *ат* и комнатной темп-ре добротность спектральной линии аммиака на частоте, соответствующей длине волны ок. 1,27 *см*, получившей наибольшее применение для С. ч., равняется примерно 100 000, т. е. ширина ее по уровню половинной мощности составляет примерно 250 *кгц* на частоте порядка 24 *Ггц*. При применении объемного резонатора, заполненного аммиаком (газового элемента), в качестве пассивного эталона частоты в устройстве С. ч. с системой АПЧ может быть получена стабильность частоты порядка 10^{-6}—10^{-7} за длит. время.

Для С. ч. на СВЧ может быть использован также механизм атомного резонанса. Атомы цезия, напр., имеют резонанс на частоте 9192, 631 830 *Мгц*. Атомный резонанс цезия используется в одном из первичных стандартов частоты, стабильность частоты к-рого равна 10^{-11}. Интересно, что такому эталону были бы эквивалентны часы с точностью хода лучшей, чем 0,5 сек. за 300 лет. Устройство С. ч. представляет собой кварцевый генератор с умножителем частоты и системой АПЧ, эталоном для к-рой служит спец. лучевая трубка с источником атомов цезия, выполняющая роль резонатора с добротностью порядка 50×10^6 (см. также *Атомные эталоны частоты*, *Квантовая система*, *Молекулярная электроника*).

Лит.: Нейман М. С., Стабилизация частоты в радиотехнике, М., 1937; Штейн Н. И., Автогенераторы гармонических колебаний, М.—Л., 1961; Светлов П. В., Нилов В. И., Методы кварцевой стабилизации в диапазоне частот, Киев, 1961; Бычков С. И., Буренин Н. И., Сафаров Р. Т., Стабилизация частоты генераторов СВЧ, М., 1962.

Ю. Б. Любченко.

СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ (stabilizing circuit; chaîne stabilisante, chaîne de stabilisation; Stabilisierungskreis) — электрич. цепь, вводимая в систему или в устройство для обеспечения *устойчивости* или для поддержания заданного значения к.-л. параметра. С. ц. — различного рода обратные связи, с помощью к-рых достигается опережение по фазе, обеспечивающее устойчивую работу системы, а также цепи, в к-рые включены стабилитроны, бареттеры и др. Напр., усилители пост. тока, применяемые в электронных моделях, будут находиться в состоянии неконтролируемой генерации, если для нек-рого диапазона частот фазовый сдвиг, присущий передаточной ф-ции разомкнутой системы «усилитель — обратная связь», получит приращение более 180°. На рис. 1 приведен один каскад усилителя, в который введены дополнительные связи (конденсаторы C_1 и C_2, сопротивление R_1), позволяющие стабилизировать работу усилителя. В электронных и др. усилителях для повышения стабильности коэфф. усиления, т. е. уменьшения зависимости его от питающих напряжений, непостоянства параметров ламп,

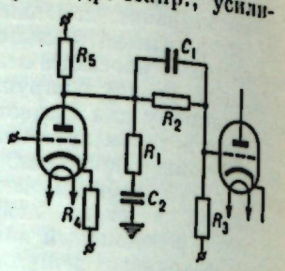


Рис. 1.

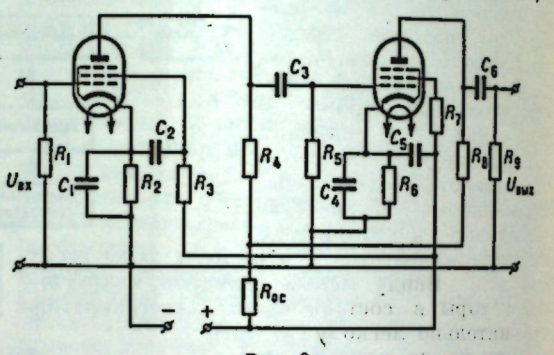


Рис. 2.

изменения сопротивлений нагрузок и т. д. обычно вводится отрицат. обратная связь (рис. 2). Обратные связи различных типов: жесткие, гибкие с контурами, позволяющими получить первую и вторую производные, широко применяются для стабилизации испол-

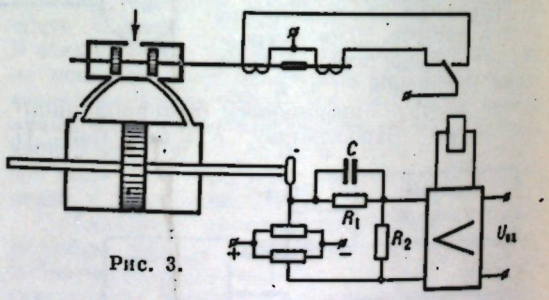


Рис. 3.

шит. механизмов. На рис. 3 дана схема с контуром в цепи обратной связи, создающим сигнал по скорости и по положению. На рис. 4. приведена схема стабилизации напряжения выпрямителей. С. ц. различных видов — параллельные (обратные связи) и последовательные (дифференцирующие контуры и др.) — широко используются в системах автоматич. управления для повышения качества процессов управления (см. *Корректирующая цепь*).

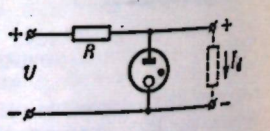


Рис. 4.

И. Н. Крутова.

СТАБИЛИТРОН КОРОННОГО РАЗРЯДА (coronotron, corona stabilitron; stabilitron à effet couronne; Koronaentladungsstabilitron) — двухэлектродный *ионный прибор* коронного разряда, предназнач. для стабилизации напряжений (от сотен *в* до десятков *кв* при токах от неск. *мка* до единиц *ма*). Работа С. к. р. основана на св-ве *коронного разряда* сохранять при определ. условиях приблизительно неизменным падение напряжения между электродами при изменении в нек-рых пределах протекающего через разрядный промежуток тока. Вольтамперная хар-ка С. к. р. дана на рис. 1.

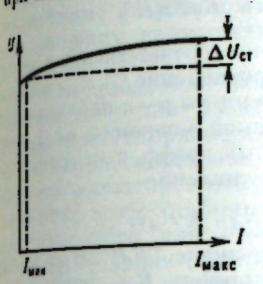


Рис. 1. Вольтамперная хар-ка стабилитрона коронного разряда.

В С. к. р. используется положит. коронный разряд, т. е. анодом является электрод с малым радиусом кривизны, около к-рого сосредоточен коронирующий (светящийся) слой газа. Коронный разряд с противоположной полярностью электродов (отрицат. коронный разряд) для стабилизации напряжения непригоден, т. к. уже при малых токах переходит в тлеющий разряд с низким и недостаточно стабильным падением напряжения. В коронирующем слое положит. коронного разряда происходят возбуждение и ионизация молекул газа электронами и образуется осн. часть заряж. частиц, создающих ток. В темной внешней области разряда электрич. поле недостаточно для возбуждения и ионизации молекул газа, и заряды переносятся в основном положит. ионами. Макс. ток С. к. р. обычно выбирается в 2—3 раза меньше тока перехода коронного разряда в искровой или тлеющий.

Осн. параметры С. к. р. те же, что и у *стабилитрона тлеющего разряда*, кроме того: время готовности (выбег $U_{ст}$), определяемое установлением напряжения стабилизации после включения прибора и представляющее собой ф-цию установления температурного режима электродов и газа под воздействием разрядного тока и окружающей темп-ры; дрейф напряжения стабилизации, характеризующий величину изменения напряжения стабилизации за короткий промежуток времени (20 час.) при номин. рабочем токе.

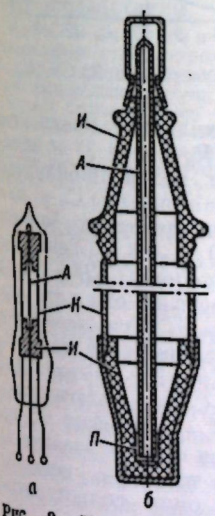


Рис. 2. Конструкции стабилитронов коронного разряда: *а* — сверхминиатюрный стеклянный; *б* — металлокерамический.

Обычно С. к. р. имеет цилиндрич. коаксиальную систему электродов (рис. 2). Анод *А* — стержень или цилиндр небольшого диаметра, катод *К* — цилиндр большого диаметра или же сам корпус прибора. Электроды крепятся с помощью пружинок *П* внутри изоляторов *И*, отделяющих их друг от друга и обеспечивающих точную аксиальную симметрию, или с помощью самих керамич. изоляторов. Материалами катода и анода служат никель, молибден и медь. Оформление — стеклянное и металлокерамическое. Наполняются С. к. р. водородом при давлениях от неск. *мм рт. ст.* до превышающих атмосферное.

С. к. р. используются в схемах питания фоновских трубок, электроннооптич. преобразователей и т. п. Тип С. к. р. и схема его включения выбираются из учета необходимой степени стабильности и величины выходного напряжения. Во многих случаях С. к. р. применяются в качестве опорных элементов в электронных стабилизаторах напряжения, обладающих наиболее высокой степенью стабильности. Однако такие схемы сложны и требуют специального отбора С. к. р. Использование С. к. р. как источника стабилизир. напряжения непосредственно на нагрузке дает более простые схемы, но и меньшую стабильность (рис. 3). В настоящее время выпускается 9 типов С. к. р. с напряжениями стабилизации $U_{стаб}$ от 400 до 30 000 *в*. Долговечность их рассчитана на 1000 час. В дальнейшем предполагается разработка С. к. р. на другие $U_{стаб}$ и несколько расширенный диапазон рабочих токов.

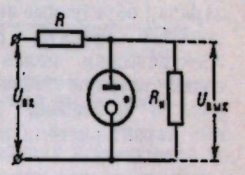


Рис. 3. Простейшая схема непосредств. стабилизации напряжения на нагрузке.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Губанова В. Г., Чистяков П. Н., Стабилизатор напряжения коронного разряда на 4000 *в* и ток 1000 *мка*, «Электроника», 1958, № 4, с. 67—75.

З. Д. Коваленко.

СТАБИЛИТРОН КРЕМНИЕВЫЙ (опорный диод) (silicon stabilitron; stabilitron à silicium; Siliziumstabilitron) — ПП прибор с нелинейной зависимостью напряжения от тока, изготовленный на основе *кремния*, включаемый в обратном направлении (рис. 1, *а*). При определ. напряжении

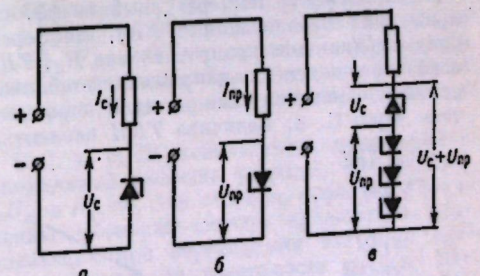


Рис. 1. Схемы включения кремниевых стабилитронов: *а* — в обратном; *б* — в прямом; *в* — комбинированно — в обратном и прямом направлениях.

начинается электрич. пробой, при к-ром малые изменения напряжения на зажимах С. к. вызывают большие изменения тока, протекающего через него. Если ограничить ток пробоя сопротивлением так, чтобы мощность, выделяемая в приборе, не приводила к необратимым в нем изменениям, то состояние пробоя может повторяться и продолжаться практически неогранич. время (до десятков тыс. час.). При включении С. к. в прямом направлении (рис. 1,*б*) они обладают

св-вами обычных кремниевых плоскостных диодов с неск. более крутой вольтамперной хар-кой.

Вольтамперная хар-ка С. к. в области пробоя при обратном включении используется для стабилизации напряжения; напряжение пробоя при этом наз. напряжением стабилизации U_c. У С. к. с U_c, меньшим 3—4 *в*, электрич. пробой возникает под влиянием эффекта Зинера (см. *Зинеровский пробой*). У С. к. с U_c, бо́льшим 7 *в*, изготовляемых из кремния с неск. бо́льшим уд. сопротивлением, главную роль при пробое играет не эффект Зинера, а эффект *ионизации ударной* в ПП, сопровождающийся лавинным умножением числа носителей заряда (пар электрон — дырка) под влиянием сильного электрич. поля [(2,5—5)10^5 *в/см*]. У С. к. с напряжением пробоя 3—7 *в* наблюдается ярко выраженное взаимодействие обоих механизмов пробоя, причем свободные носители заряда, образуемые за счет зинеровского эффекта, разгоняются электрическим полем и производят ударную ионизацию. На рис. 2 приведены вольтамперные характеристики ряда С. к. с

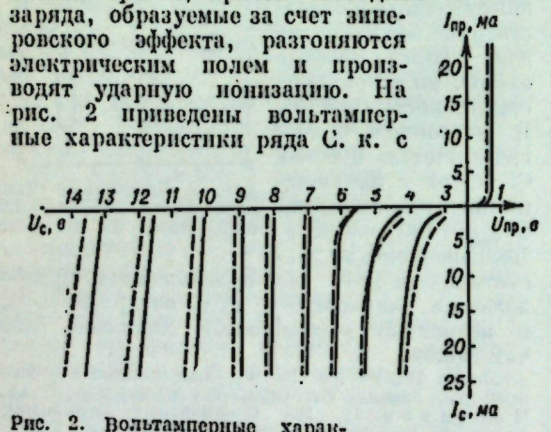


Рис. 2. Вольтамперные характеристики кремниевых стабилитронов при +20° (сплошные) и +60° (пунктирные).

U_c = 3—14 *в* при двух темп-рах окружающей среды. При прямом включении С. к. их хар-ки примерно одинаковы.

С. к. изготовляются методами сплавления (см. *Сплавный переход*) или *диффузии примесей*. Основные параметры С. к.: напряжение стабилизации U_c, температурный коэфф. напряжения стабилизации ($ТКИ$), дифференциальное (динамич.) сопротивление R_d. $ТКИ$ показывает изменение напряжения стабилизации при изменении темп-ры на 1°, при пост. токе через С. к. Величина $ТКИ$ зависит от

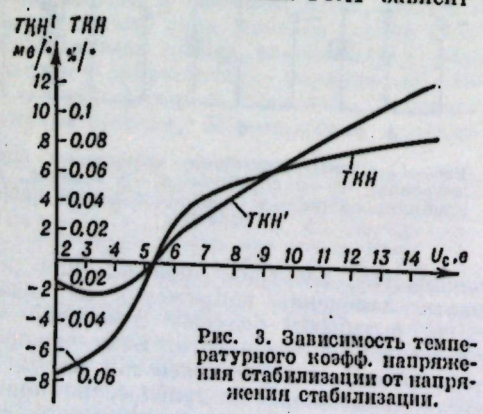


Рис. 3. Зависимость температурного коэфф. напряжения стабилизации от напряжения стабилизации.

U_c (рис. 3). Под дифференц. сопротивлением С. к. понимают отношение изменения напряжения к изменению тока $R_d = dU_c/dI_c$. Различают дифференц. сопротивление на перем. токе $R_{d\sim}$, характеризующее изменение напряжения стабилизации при быстрых изменениях тока стабилизации (при к-рых из-за тепловой инерции мало меняется тепловой режим и темп-ра p—n-перехода), и полное дифференц. сопротивление R_d, учитывающее дополнит. изменение напряжения стабилизации при медленных изменениях тока стабилизации, из-за изменения рассеиваемой мощности и темп-ры. Тепловая составляющая R_d определяется по ф-ле:

$$R_{dT} = U_c R_T ТКИ',$$

где R_{dT} и U_c выражены соответственно в *ом* и *в*; R_T — тепловое сопротивление С. к., показывающее изменение темп-ры p—n-перехода при изменении рассеиваемой мощности на 1 *мвт*; $ТКИ'$ — температурный коэфф. в *мв/град*. Полное динамич. сопротивление

$$R_d = R_{d\sim} + R_{dT}.$$

Знак R_{dT} зависит от знака $ТКИ'$. При малых значениях $ТКИ'$ влиянием R_{dT} можно пренебречь. Из-за тепловой инерции влияние R_{dT} проявляется не сразу, а через нек-рое время, необходимое для изменения темп-ры С. к. после изменения тока. Сопротивление $R_{d\sim}$ уменьшается при увеличении тока стабилизации. Кроме того, $R_{d\sim}$ и R_d, как и $ТКИ$, связаны определ. корреляц. связью с U_c (рис. 4).

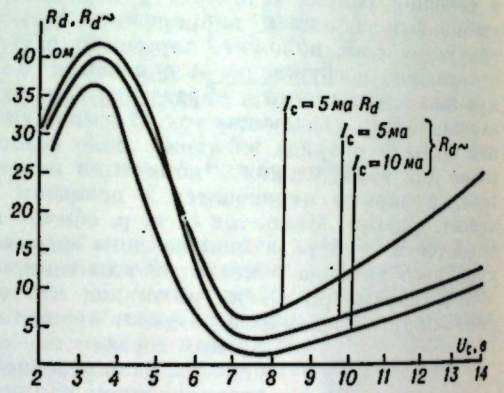


Рис. 4. Зависимости $R_d = f(U_c)$ и $R_{d\sim} = f(U_c)$.

Прямая ветвь С. к. является нелинейным сопротивлением вида R_u (рис. 2) и может быть использована для целей стабилизации напряжения. Прямое напряжение С. к. мало зависит от прямого тока и при токах, больших 1 *ма*, имеет величину 0,7—0,8 *в*. Темп-рный коэфф. прямого напряжения ($ТКИ_{пр}$) С. к. с любым U_c имеет всегда отрицат. знак и величину ок. 2 *мв/град*. При увеличении прямого тока от единиц до десятков *ма* $ТКИ_{пр}$ уменьшается примерно до 1,4 *мв/град*. Дифференц. сопротивление С. к., включенных в прямом направлении ($R_{d\,пр}$), зависит от прямого тока — уменьшается при его увеличении. При небольших прямых токах $I_{пр}$, когда еще не сказывается влияние омич. сопротивления контакта p—n-перехода,

$$R_{d\,пр} \simeq \frac{1}{\theta I_{пр}},$$

где θ = 20—25 1/*в*. Прямая ветвь кремниевых и германиевых диодов используется для создания стабилитронов на напряжения 0,3—1 *в*. Стабилитроны, изготовленные на основе прямой ветви диода, наз. стабисторами.

В связи с тем, что у С. к. с $U_c > 6$ *в* $ТКИ$, сравнительно с $ТКИ_{пр}$, имеет обратный знак, нашел широкое применение метод последоват. включения С. к. в обратном и прямом направлениях с целью температурной компенсации (рис. 1, *в*). При этом для подгонки суммарного температурного коэфф. к значениям, близким к нулю, через С. к., включенные в прямом направлении, можно пропускать дополнит. ток. Так, напр., для термокомпенсации одного С. к. с U_c=8—8,5 *в* требуется три С. к., включенные в прямом направлении. По такому принципу изготовляют особо стабильные С. к.

С. к. подразделяют на стабилитроны общего назначения — для работы в параметрич. стабилизаторах напряжения и в качестве источников опорного напряжения в схемах компенсац. стабилизаторов напряжения и тока малой точности; особо стабильные С. к. — источники эталонного или опорного напряжения в измерит. технике (потенциометрия, цифровые приборы и т.п.) и в высокоточных стабилизаторах напряжения и тока. Особо стабильные С. к., обычно имеющие низкие значения $ТКИ$ и высокую стабильность величины U_c во времени (приближаются к нормальным элементам 3—2-го класса) и от внешних воздействий, маломощны. С. к. общего назначения делятся на: маломощные (100—500 *мвт*); среднемощные (500 *мвт* — 3 *вт*); мощные (3—10 *вт*); сверхмощные (более 10 *вт*).

С. к. широко применяются также в схемах защиты приборов и блоков аппаратуры от перегрузок; в импульсной технике (в качестве ограничит. и формирующих элементов) и т. д. При использовании С. к. в качестве элементов стабилизаторов они имеют ряд преимуществ перед газоразрядными стабилитронами: могут быть изготовлены на диапазон напряжений от единиц до сотен *в* при рабочих токах от единиц *ма* до неск. *а*; не имеют падающего участка вольтамперной хар-ки; имеют малые габариты; более устойчивы к механич. воздействиям.

Лит.: Веденеев Г. М., Вершин В. Е., Кремниевые стабилитроны, М.—Л., 1961; Додик С. Д., Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока, М., 1962; Madigan J. R., Thermal characteristics of silicon diodes, «Electronic Industries», 1959, v. 18, № 12; 1960, v. 19, № 1; Enslein K., Characteristics of silicon junction diodes as precision voltage reference devices, «IRE Trans. Instrum.», 1957, v. 1—6, № 2, p. 105—18.

С. Д. Додик, А. С. Сущик.

СТАБИЛИТРОН ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

[glow-discharge stabilizing tube; tube stabilisateur à décharge lente (à lueurs); Glimmentladungsstabilitron] — двухэлектродный *ионный прибор* тлеющего разряда, напряжение на к-ром в рабочей области практически не зависит от тока. На рис. 1 дана часть хар-ки *тлеющего разряда*, пригодная для стабилизации напряжения. Наклон ее определяется дифференц. сопротивлением $R_д$; менее точно наклон определяется величиной $\Delta U_{ст}$, т. е. приростом напряжения при изменении тока от минимального до максимального.

С. т. р. используются в электрич. цепях как в режиме непосредств. стабилизации (НС), при к-ром ток через прибор может изменяться от $I_{мин}$ до $I_{макс}$, так и в режиме источника опорного напряжения (ОН) для электронных стабилизаторов напряжения, при котором ток С. т. р. поддерживается неизменным.

На рис. 2 дана электрич. схема включения С. т. р., являющаяся одновременно схемой НС. Коэфф. стабилизации схемы:

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{ст}} \cdot \frac{U_{ст}}{U_{вх}}. \qquad (1)$$

Очевидно, что при $R_б$=0 $K_{ст}$=1, т. е. стабилизации не будет. Т. о., $R_б$ в схеме не только выполняет общую задачу ограничения тока тлеющего разряда, но оно необходимо и для получения стабилизирующего эффекта. Из (1) следует, что $K_{ст}$ будет возрастать при уменьшении $\Delta U_{ст}$. Т. о., одним из требований к стабилитронам, работающим в режиме НС, является малый наклон хар-ки.

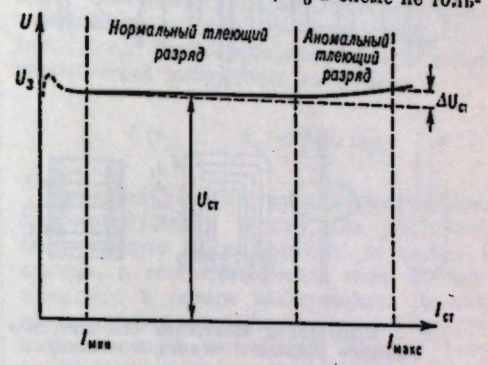


Рис. 1. Часть хар-ки тлеющего разряда, пригодная для стабилизации напряжения.

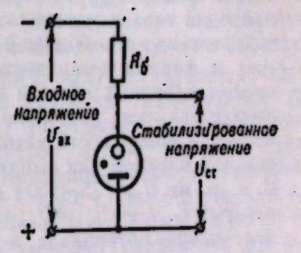


Рис. 2. Электрич. схема включения стабилитрона.

Любой С. т. р. может работать как в режиме НС, так и в режиме ОН. Однако для прецизионных электронных стабилизаторов нужны спец. С. т. р., удовлетворяющие повыш. требованиям, гл. из к-рых: очень высокая стабильность напряжения во времени (малый дрейф $U_{ст}$), очень малая и закономерная зависимость напряжения от окружающей темп-ры и отсутствие скачков напряжения на хар-ке.

В С. т. р. НС используются нормальный и аномальный тлеющие разряды, что снижает $\Delta U_{ст}$ и $R_д$, но, с др. стороны, приводит к появлению небольших скачков напряжения, возникающих при перемещении тлеющего свечения (пятна) по поверхности катода. Поверхность катода не является монокристаллической, и вследствие небольшого различия работ выхода отдельных ее участков будут отличаться и соответствующие величины норм. катодного падения потенциала $U_{кн}$. В С. т. р., работающих в режиме ОН, с целью устранения скачков напряжения используется только аномальный тлеющий разряд, при к-ром площадь свечения и его положение на катоде существенно не изменяются при изменении тока.

Стабилитроны НС рассчитываются на макс. ток не менее 30 *ма*, а нек-рые приборы даже до 250 *ма*. Стабилитроны ОН имеют макс. токи не более 10—15 *ма*. Снижение $R_д$ и увеличение макс. тока, важные для стабилитронов НС,

достигаются при конструкциях электродов, показанных на рис. 3, *а*, *б*, *в*. Локализация

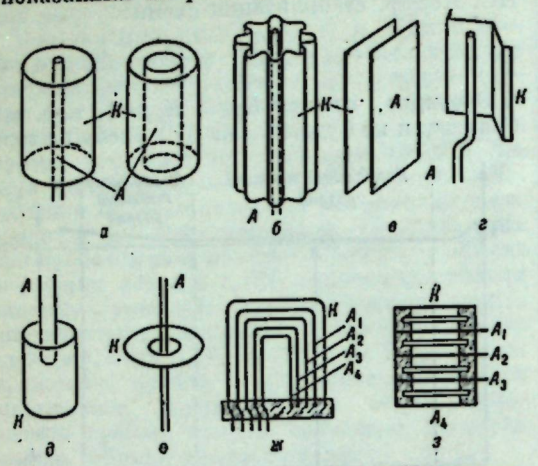


Рис. 3. Конструкции электродов стабилитронов тлеющего разряда: *А* — анод; *К* — катод.

тлеющего свечения, важная для стабилитронов ОН, получается при вогнутой (рис. 3, *г* и *д*) или выпуклой (рис. 3, *е*) поверхности катода.

$U_{ст}$ для большинства приборов приблизительно равно $U_{кн}$ и определяется гл. обр. природой газа и материалом поверхности катода, а также в небольшой степени давлением газа и формой поверхности катода. $U_{кн}$ для чистых инертных газов и их смесей с увеличением давления несколько уменьшается. Для вогнутой поверхности катода $U_{кн}$ и $U_{ст}$ ниже, чем для плоской или выпуклой. Выпускаются С. т. р. на $U_{ст}=75—150$ *в* с $\Delta U=2—4$ *в*. Для нек-рых С. т. р. $U_{ст}=U_{кн}+U_a$, где U_a — анодное падение потенциала, к-рое возникает при определенном критическом (для данного газа и его давления) расстоянии $d_{крит}$ между электродами. Для инертных газов $U_a=10—24$ *в*. Вследствие нек-рой нестабильности U_a в С.т.р. повыш. стабильности, в т. ч. в стабилитронах ОН, анодное падение U_a отсутствует.

Если в одном приборе объединить n промежутков с тлеющим разрядом, то можно получить стабилитрон-делитель напряжения с общим напряжением $U_{кн}n$ или $(U_{кн}+U_a)n$. Конструкции электродов таких С. т. р. показаны на рис. 3, *ж* и *з*. В высоковольтных С. т. р. непосредств. стабилизации с одним промежутком $U_{ст}$ увеличено во много раз за счет падения напряжения в положит. столбе. Выпускается С. т. р. с $U_{ст}=1000$ *в* с $\Delta U=70$ *в*.

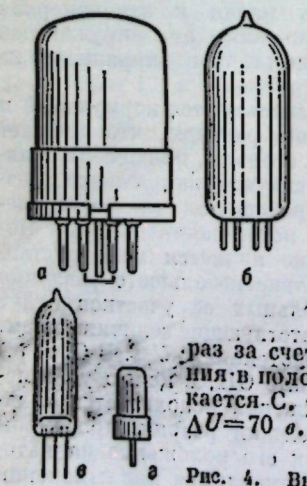


Рис. 4. Внешний вид различных стабилитронов тлеющего разряда: *а* — стеклянного; *б* — «пальчикового»; *в* — сверхминиатюрного; *г* — металлокерамического.

На рис. 4 дан внешний вид различных С.т. р. Колбы (оболочки) большинства С. т. р. стеклянные, однако в последние годы появились металлокерамич. приборы, имеющие керамич. основание и металлич. колбу, к-рая одновременно является катодом прибора. В др. варианте конструкции параллельно расположенные дисковые катод и анод соединяются кольцевой керамикой. Приборы, предназнач. для работы в тяжелых условиях (высокая окружающая темп-ра, большие механич. нагрузки) и собранные из молибденовых или титановых электродов и керамики, откачиваются, затем запаиваются одновременно с наполнением в атмосфере инертного газа (или смеси газов) высокой чистоты. Особенно распространены смеси He или Ne с небольшими (порядка 1%) примесями Ar или Kr. Примеси снижают потенциал возникновения разряда $U_з$ и сближают $U_з$ и $U_{ст}$, уменьшают реактивное сопротивление, снижают температурную зависимость $U_{ст}$ и повышают устойчивость тлеющего разряда при малых токах.

Катоды в С. т. р. НС изготовляются из слоев химически активных металлов Ba, K и редких земель на Ni и Fe, а также из чистых металлов Mo, Ni и Ti. В стабилитронах ОН используются катоды из чистого Mo. Особенность катодов, активированных Ba, K и редкими землями, — низкие значения $U_{кн}$. Наиболее стабильны параметры приборов при использовании тугоплавких металлов (Mo, Zr и др.), к-рые можно хорошо очистить в процессе изготовления С. т. р. Дальнейшее улучшение стабильности параметров достигается благодаря использованию монокристаллич. катодов. При этом также полностью исчезают скачки напряжения с изменением тока в области нормального тлеющего разряда. Описаны первые исследования С. т. р. с монокристаллич. катодам из Cu и Mo, к-рые дали хорошие результаты.

Совр. стабилитроны имеют следующие параметры: 1) напряжение стабилизации — указываются верхняя и нижняя границы области, в пределы к-рой должны укладываться хар-ки всех ламп данного типа; 2) напряжение возникновения (зажигания) тлеющего разряда $U_з$; 3) диапазон тока $I_{мин}—I_{макс}$; 4) наклон хар-ки (дифференц. сопротивление $R_д$); 5) медленное изменение $U_{ст}$ при работе стабилитрона с пост. величиной тока (дрейф $U_{ст}$); 6) температурный коэфф. k_T; для инертных газов он отрицательный; 7) долговечность; 8) габаритные размеры и вес; 9) вибрационная и ударная прочность. Предельные значения дрейфа $U_{ст}$ и k_T обычно указываются лишь для С. т. р. повыш. стабильности и ОН. Для них же указываются предельно допустимые значения скачков напряжения на хар-ке выбега напряжения $U_{ст}$, различия $U_{ст}$ от включения к включению, а также величина «гистерезиса» хар-ки. Чрезвычайно низкие величины дрейфа напряжения современных С. т. р. все более приближают их к стандартному источнику пост. напряжения (норм. элементу). Их значение то же, что и норм. элементов, но в то время как эдс последних ок. 1 *в*, а ток нагрузки не более нескольких *мка*, у стабилитронов ОН напряжение от 80 до 100 *в*, при токе неск. *ма*. Кроме того, С. т. р. выгодно отличаются от норм. элементов меньшими габаритами и весом, высокой вибрац. прочностью и удобством использования в электрич. схемах.

Лит.: Чистяков П. Н., Стабилизаторы напряжения с электрическим разрядом в газе (стабилитроны), в кн.: Успехи электровакуумной техники, М.—Л., 1956; его же, О нормальном катодном падении потенциала в инертных газах, «Сб. научн. работ. Моск. инж.-физ. ин-т», 1955, т. 9; Culp J., Koskos P., A ceramic-metal voltage reference tube, «IRE Trans. Electron Devices», 1957, v. ED—4, № 2, p. 144; Benson F. A., Rigg B., «Electronic Engng», 1961, v. 33, № 402, p. 524.

И. Н. Чистяков.

СТАБИЛЬНОСТЬ НУЛЯ (zero stability; stabilité du zéro; Nullpunktstabilität) — см. *Дрейф нулевого уровня.*

СТАБИЛЬНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ (semiconductor devices parameters stability; stabilité des paramètres d'appareils à semi-conducteurs; Stabilität der Parameter von Halbleitergeräten) — см. *Надежность полупроводниковых приборов.*

СТАРЕНИЕ элементов электронной аппаратуры (ageing; vieillissement; Alterung) — изменение параметров элементов электронной аппаратуры с течением времени. Как показывают эксплуатация и испытания, бо́льшая часть элементов электронной аппаратуры (электровакуумные и ПП приборы, сопротивления, конденсаторы, реле и др.) меняет свои параметры с течением времени. Так, напр., у ламп изменяются крутизна и ток эмиссии, у транзисторов — коэфф. усиления по пост. току и т. п. С. может иметь место как при работе, так и при хранении элементов. Большое влияние на С. оказывают окружающие условия (темп-ра, влажность, циклич. нагрузки и т. п.). Часто элементы перед установкой в аппаратуру подвергают искусственному С., чтобы предотвратить значит. изменение параметров аппаратуры в эксплуатации. Напр., искусств. С. транзисторов производят при номинальной электрич. нагрузке и повыш. темп-ре окружающей среды. Улучшение показателей элементов по С. в основном достигается улучшением технологии их изготовления.

Лит.: Астафьев А. В., Окружающая среда и надежность радиотехнической аппаратуры, М.—Л., 1959.

Е. Ю. Намиот.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ (statistical estimations; évaluations statistiques; statistische Bewertungen) — ф-ции результатов наблюдений нек-рой случайной величины (ф-ции выборочных значений). В научных исследованиях, в технике и произ-ве результаты экспериментов, испытаний или наблюдений могут носить двоякий характер. Они могут быть **детерминированы** в том смысле, что условия эксперимента полностью определяют его результат. Они могут быть **случайными**, т. е. изменяться от случая к случаю так, что при неизменном комплексе условий оказывается невозможным точно предсказать исход каждого отдельного эксперимента. Количеств. хар-кой экспериментов 2-го вида является случайная величина в том смысле, что возможные значения этой случайной величины (**генеральная совокупность**) и представляют те результаты, к-рые могут фиксироваться в последовательности экспериментов, осуществляемых при определ. комплексе условий.

Т. о., отдельный результат эксперимента есть выбор нек-рого значения из генеральной совокупности. Каждое значение, получающееся при выборе из генеральной совокупности, наз. **выборочным**, а совокупность выборочных значений — **выборкой**. Любую выборку, т. е. совокупность чисел $x_1, x_2, \ldots, x_n$, можно рассматривать как точку в n-мерном **пространстве выборок**. Пространство выборок содержит все возможные выборки заданного объема n, к-рые могут быть извлечены из генеральной совокупности. Если случайная величина (генеральная совокупность) характеризуется плотностью вероятностей $w(x)$ и если выбор происходит независимо, то совместная плотность вероятности выборки (ф-ция правдоподобия) $L(x_1, \ldots, x_n)$ равна произведению плотностей вероятностей выборочных значений

$$L(x_1, \ldots, x_n)=\prod_{i=1}^{n} w(x_i).$$

На практике интересуются св-вами генеральной совокупности потому, что результаты экспериментов могут меняться от случая к случаю, а необходимо знать св-ва явления, лежащего в основе эксперимента. Данные, накопленные в виде выборки, содержат нек-рую информацию о неизвестных хар-ках генеральной совокупности, и эта информация может быть использована для получения статистич. выводов относительно генеральной совокупности.

Многие задачи сводятся к получению статистич. выводов относительно генеральной совокупности, вид распределения w к-рой известен, но неизвестны параметры $\alpha_1, \ldots, \alpha_s$ этого распределения. Иначе говоря, необходимо найти такие ф-ции $\hat{\alpha}_i=g_i(x_1, \ldots, x_n)$ выборочных значений, к-рые являются наилучшими (в нек-ром смысле) точечными оценками неизвестных параметров ф-ции распределения $w(x; \alpha_1, \ldots, \alpha_n)$. Критериями качества точечных оценок служат **состоятельность, несмещенность и эффективность**. Состоятельность означает сходимость (по вероятности) оценки к оцениваемому параметру при неогранич. увеличении объема выборки. Ср. значение (по совокупности выборок заданного объема) несмещенной оценки равно величине оцениваемого параметра. Оценка эффективна, если ее среднеквадратичное отклонение от оцениваемого параметра не больше, чем среднеквадратичное отклонение для любой др. оценки.

Один из важнейших методов получения хороших оценок — т. н. метод максимального правдоподобия, заключается в том, чтобы для неизвестных параметров выбрать такие оценки, к-рые максимизируют ф-цию правдоподобия. Т. к. логарифм при положит. аргументах — монотонно возрастающая ф-ция, то процедуры максимизации ф-ции правдоподобия и ее логарифма совпадают. Более удобным обычно является определение максимума $\ln L$. Система ур-ний для определения оценок макс. правдоподобия имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_i}[\ln L(x_1, \ldots, x_n; \alpha_1, \ldots, \alpha_s)]=$$

$$=\sum_{j=1}^{n}\frac{\partial}{\partial \alpha_i}[\ln w(x_j; \alpha_1, \ldots, \alpha_s)]=0,$$

$$j=1, 2, \ldots, s.$$

Оценки макс. правдоподобия всегда состоятельны, а при большом объеме выборки имеют миним. дисперсию (асимптотически эффективны) и распределение вероятностей, близкое к нормальному.

Рассмотрим в качестве примера нормальную генеральную совокупность, распределение к-рой

$$w(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

определяется двумя параметрами: ср. значением a и дисперсией σ^2. Оценка макс. правдоподобия среднего равна

$$\hat{a}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i,$$

т. е. совпадает с выборочным средним. Эта оценка не только состоятельна, но также несмещенная и эффективная. Оценка макс. правдоподобия дисперсии равна

$$\hat{\sigma}^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\hat{a})^2,$$

т. е. совпадает с выборочной дисперсией. Это оценка смещенная, т. к. ср. значение для $\hat{\sigma}^2$ равно

$$m_1\{\hat{\sigma}^2\}=\sigma^2\left(1-\frac{1}{n}\right).$$

Однако при большом объеме выборки смещение мало (оценка асимптотически несмещенная).

Точечные оценки макс. правдоподобия никак не отражают тех потерь, к-рые могут возникать в связи с плохими оценками. Действительно, с каждой оценкой $\hat{\alpha}$ связана ошибка $\alpha-\hat{\alpha}$, меняющаяся от выборки к выборке. Для того, чтобы учесть это, часто вводят т. н. функции потерь. Выбор вида этих ф-ций в известной степени субъективен и зависит от конкретной ситуации. Иногда считают, что потери пропорциональны квадрату ошибки $(\alpha-\hat{\alpha})^2$. В др. случаях более обоснованной оказывается ф-ция потерь с ограниченной абс. ошибкой. Естественно, что величина потерь, как ф-ция выборочных значений, меняется от выборки к выборке. Представляет интерес величина, называемая риском, т. е. ср. значение потерь по всевозможным выборкам с учетом частот их появления $\varrho(\alpha)=$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}\dots\int_{-\infty}^{\infty}\Pi(\hat{\alpha},\alpha)\,L(x_1,\dots,x_n;\alpha)\,dx_1,\dots,dx_n,$$

где $\Pi(\hat{\alpha},\alpha)$ — ф-ция потерь. При заданной ф-ции потерь можно из условия минимального риска найти оценку неизвестного параметра, т. е. правило обработки выборочных значений. Для этого надо определить минимум функционала $\varrho(\alpha)$, зависящего от вида ф-ции $\hat{\alpha}=g(x_1,\dots,x_n)$.

Наряду с точечными оценками представляют интерес также интервальные оценки. Интервальная оценка параметра α генеральной совокупности определяет вероятность γ (коэфф. доверия) того, что при заданном объеме выборки оценка $\hat{\alpha}_\kappa(x_1,\dots,x_n)$ меньше оцениваемого параметра α и этот параметр меньше оценки $\hat{\alpha}_\beta(x_1,\dots,x_n)$, т. е.

$$P\{\hat{\alpha}_\kappa<\alpha<\hat{\alpha}_\beta\}=\gamma.$$

Оценки $\hat{\alpha}_\kappa$ и $\hat{\alpha}_\beta$ наз. соответственно нижним и верхним доверительными пределами, а интервал между ними — доверительным. Длина доверит. интервала определяет точность оценки. Приведенное соотношение устанавливает связь между точностью оценки, коэфф. доверия и объемом выборки. Часто доверит. пределы выбирают симметричными относительно точечной оценки по ф-лам:

$$\hat{\alpha}_\kappa=\hat{\alpha}-\varepsilon,\quad \hat{\alpha}_\beta=\hat{\alpha}+\varepsilon,$$

тогда

$$P\{\hat{\alpha}-\varepsilon<\alpha<\hat{\alpha}+\varepsilon\}=\gamma.$$

Если задана точность ε, то для состоятельных оценок $\hat{\alpha}$ коэфф. доверия γ приближается к единице по мере возрастания объема выборки. При заданном объеме выборки коэфф. доверия тем больше, чем шире доверит. интервал, т. е. чем меньше точность. Т. о., при заданном числе выборочных значений невозможно повысить коэфф. доверия, не уменьшая точности, или, наоборот, повысить точность, не уменьшая коэфф. доверия. Задача интервальной оценки состоит в определении в явном виде в каждом конкретном случае связи между коэфф. доверия γ, точностью ε и объемом выборки n, к-рая позволила бы по заданным двум величинам находить третью.

Рассмотрим в качестве примера задачу об интервальной оценке ср. значения a нормальной генеральной совокупности в предположении, что ее второй параметр — дисперсия σ^2, известен. Естественно, в качестве точечной оценки среднего взять выборочное среднее

$$\hat{\alpha}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i,$$

к-рое, как указывалось, является состоятельной, несмещенной и эффективной оценкой. В рассматриваемом случае оценка $\hat{a}$ — нормальная случайная величина с параметрами a и σ^2/n. Поэтому

$$P\{\hat{a}-\varepsilon<a<\hat{a}+\varepsilon\}=P\left\{\frac{|\hat{a}-a|}{\sqrt{\sigma^2/n}}<\varepsilon_\gamma\right\}=$$

$$=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\varepsilon_\gamma}^{\varepsilon_\gamma}e^{-x^2/2}dx,$$

где $\varepsilon_\gamma=\varepsilon\sqrt{n/\sigma^2}$. Вводя обозначение для интеграла

$$F(u)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{u}e^{-x^2/2}dx,$$

получаем ф-лу

$$2F(\varepsilon_\gamma)-1=\gamma,$$

устанавливающую искомую связь между объемом выборки, точностью и коэфф. доверия при оценке среднего нормальной генеральной совокупности, если дисперсия ее известна.

До сих пор предполагалось, что вид распределения генеральной совокупности известен с точностью до нек-рых параметров. Однако часто встречаются ситуации, в к-рых неизвестны не только параметры, но и самый вид распределения генеральной совокупности.

В таких ситуациях приходится вводить предположение о том, что ф-ция распределения вероятностей равна $F(x)$, затем по выборочным данным строить эмпирическое распределение $F_n^*(x)$ и выяснять, в какой мере оно согласуется с гипотетич. распределением $F(x)$. Для этого необходимо ввести количеств. меру соответствия гипотетич. и эмпирич. распределений, или, как говорят, критерий согласия. Этот критерий есть число, являющееся ф-цией эмпирич. и гипотетич. распределений, к-рое должно сравниваться с заранее установленным порогом (уровнем значимости). Если оно превосходит этот порог, то предположение о том, что $F(x)$ — распределение генеральной совокупности отклоняется; если же не превосходит — принимается.

Одним из распространенных является критерий согласия хи-квадрат. Согласно этому критерию, в качестве меры соответствия эмпирич. и гипотетич. распределений принимают величину

$$\varrho_n^2=\sum_{i=1}^{l}\frac{(\nu_i-np_i)^2}{np_i}.$$

Величины p_i и ν_i находятся следующим образом. Область, где определена ф-ция $F(x)$, разбивается на l неперекрывающихся интервалов Δ_i. Тогда p_i — площадь под кривой плотности $w(x)=F'(x)$ на интервале Δ_i, а ν_i — число выборочных значений, попадающих в этот интервал. При большом объеме выборки n распределение случайной величины ϱ_n независимо от вида $F(x)$ асимптотически приближается к т. н. χ^2-распределению. Если q — уровень значимости, определяемый из условия

$$P\{\chi^2>\chi_q^2\}=q,$$

и если q достаточно мало, то при большом объеме выборки практически невозможно получить значение ϱ_n^2, превышающее χ_q^2, если только гипотеза о виде распределения верна. Если же для наблюдаемой выборки $\varrho_n^2>\chi_q^2$, то говорят, что выборка обнаруживает значимое отклонение от гипотезы и ее необходимо отклонить по крайней мере до тех пор, пока не будут получены дополнит. данные.

Другим распространенным критерием является критерий согласия А. Н. Колмогорова. В качестве меры соответствия эмпирич. и гипотетич. распределений принимается величина

$$D_n=\max_{-\infty<x<\infty}|F_n^*(x)-F(x)|.$$

При большом n (объеме выборки) независимо от вида $F(x)$ имеет место асимптотич. соотношение

$$P\{D_n<\lambda/\sqrt{n}\}\sim P(\lambda)=$$

$$=1-2\sum_{k=1}^{\infty}(-1)^{k-1}e^{-2k^2\lambda^2},\quad \lambda>0.$$

Вычисление меры D_n в критерии А. Н. Колмогорова значительно проще, чем χ^2-критерия.

Лит.: Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В., Краткий курс математической статистики для технических приложений, М., 1959; Ван-дер-Варден Б. Л., Математическая статистика, пер. с нем., М., 1960; Крамер Г., Математические методы статистики, пер. с англ., М., 1948; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; Хальд А., Математическая статистика с техническими приложениями, пер. с англ., М., 1956.

Б. Р. Левин.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ (system statistical analysis; analyse statistique des systèmes; statistische Analyse von Systemen) — определение статистич. хар-к выходных величин систем по известным статистич. хар-кам входных величин и по известным хар-кам системы. Всякая система автоматич. управления работает под влиянием различных возмущений, причем на систему, наряду с известными полезными воздействиями, влияют различного рода помехи, к-рые, как правило, являются случайными ф-циями времени. Т. о., выходная величина — также случайная ф-ция. Кроме систематич. ошибки выходной величины, будет существовать также и случайное отклонение от заданного значения. В др. случаях, напр. в случае *следящей системы*, само полезное воздействие неизвестно, и его приходится описывать как случайную ф-цию времени. Т. к. выходная величина системы — случайная ф-ция, то для анализа точности системы приходится прибегать к методам теории случайных процессов.

Анализ линейных динамических систем.

Для того, чтобы по хар-кам входной величины x определить хар-ки выходной величины y, необходимо задать хар-ки самой системы. В общем виде произвольная динамич. система определяется нек-рым оператором A

$$y(t)=Ax(t). \qquad (1)$$

Существуют следующие способы задания зависимости выхода $y(t)$ линейной системы от входа $x(t)$: 1) при помощи дифференц. ур-ния системы

$$a_0(t)\,y^{(n)}(t)+a_1(t)\,y^{(n-1)}(t)+\dots$$
$$+a_{n-1}(t)\,y'(t)+a_n(t)\,y(t)=$$
$$=b_0(t)\,x^{(m)}(t)+\dots+b_{n-1}(t)\,x'(t)+$$
$$+b_m(t)\,x(t); \qquad (2)$$

2) при помощи импульсной переходной ф-ции $h(s,t)$

$$y(s)=\int_{s-T}^{s}h(s,\,t)\,x(t)\,dt, \qquad (3)$$

причем для линейных систем с пост. во времени параметрами $h(s,t)\equiv h(s-t)$; 3) для систем с неизменными во времени параметрами при помощи частотной хар-ки $\Phi(i\omega)$

$$y(t)=\int_{-\infty}^{\infty}\Phi(i\omega)\,P(\omega)\,e^{i\omega t}\,d\omega, \qquad (4)$$

причем

$$x(t)=\int_{-\infty}^{\infty}P(\omega)\,e^{i\omega t}\,d\omega. \qquad (5)$$

Часто статистич. анализ систем основан на знании только математич. ожидания и корреляц. ф-ции входного случайного процесса. Если $m_x(t)$ — математич. ожидание входного процесса величины $x(t)$, а $m_y(t)$ — математич.

ожидание выходного процесса, то между ними существует связь, записываемая с помощью ф-лы

$$m_y(t)=Am_x(t)+A\varphi(t), \qquad (6)$$

где $\varphi(t)$ — входное (аддитивное) неслучайное воздействие. Если система задана дифференц. ур-нием (2), то математич. ожидание выходной величины также определяется из дифференц. ур-ния

$$a_0(t)m_y^{(n)}(t)+\ldots+a_{n-1}(t)m_y'(t)+$$
$$+a_n(t)m_y(t)=b_0(t)[m_x^{(m)}+\varphi^{(m)}(t)]+\ldots$$
$$\ldots+b_m(t)[m_x(t)+\varphi(t)], \qquad (7)$$

причем произвольные постоянные определяются из нач. условий. Если задана импульсная переходная ф-ция системы (3), то $m_y(t)$ можно определять из ф-лы

$$m_y(t)=\int_{t_0}^{t}h(t,\tau)[m_x(\tau)+\varphi(\tau)]\,d\tau, \qquad (8)$$

где t_0— момент времени, когда в систему начал поступать входной процесс.

Кроме математич. ожидания выходного процесса, представляет интерес также его корреляц. ф-ции

$$B_y(t,t')=$$
$$=\int_{t_0}^{t}\int_{t_0}^{t'}h(t,\tau)h(t',\tau')B_x(\tau,\tau')\,d\tau\,d\tau', \qquad (9)$$

где $B_x(\tau,\tau')$ — корреляц. ф-ция входного процесса, $B_y(t,t')$ — корреляц. ф-ция выходного процесса. Если на систему с неизменными во времени параметрами действует стационарный случайный процесс, то случайный процесс на выходе системы также будет стационарным, а его корреляц. ф-ция равна

$$B_y(t-t')=$$
$$=\int_0^\infty\int_0^\infty h(s)h(s')B_x(t-t'+s-s')\,ds\,ds'. \qquad (10)$$

Если корреляц. ф-цию входного процесса представить в виде

$$B_x(\tau)=\int_{-\infty}^{\infty}F(\omega)e^{i\omega\tau}\,d\omega, \qquad (11)$$

то корреляц. ф-ция выходного процесса определяется из ф-лы

$$B_y(t-t')=\int_{-\infty}^{\infty}|\Phi(i\omega)|^2F(\omega)e^{i\omega(t-t')}\,d\omega, \qquad (12)$$

где $|\Phi(i\omega)|$ — модуль частотной хар-ки.

Значение дисперсии выходного процесса легко определяется из его корреляц. ф-ции. Для этого достаточно приравнять друг другу значения аргументов в корреляц. ф-ции. Из (9) следует, что

$$D_y(t)=\int_{-\infty}^{t}\int_{-\infty}^{t}h(t,\tau)h(t,\tau')B(\tau,\tau')\,d\tau\,d\tau', \qquad (13)$$

где $D_y(t)$ — дисперсия выходного процесса в момент времени t. Если параметры системы неизменны во времени и на ее выход поступает стационарный процесс, то дисперсия выходного процесса не зависит от времени и определяется по ф-ле:

$$D_y=\int_0^\infty\int_0^\infty h(s)h(s')B_x(s-s')\,ds\,ds' \qquad (14)$$

или

$$D_y=\int_{-\infty}^{\infty}|\Phi(i\omega)|^2F(\omega)\,d\omega. \qquad (15)$$

Анализ нелинейных динамических систем. При статистич. анализе таких систем часто приходится прибегать к приближ. методам. В нек-рых случаях возможно получение точных результатов. Математич. ожидание, корреляц. ф-ция и дисперсия случайных процессов на выходе нелинейных безынерц. элементов могут быть точно определены, если известен закон распределения входного случайного процесса. Пусть нелинейный элемент описывается ур-нием:

$$y(t)=\varphi[x(t)]. \qquad (16)$$

Тогда

$$m_y(t)=\int_{-\infty}^{\infty}\varphi(x)w_1(x,t)\,dx, \qquad (17)$$

$$B_y(t_1,t_2)=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\varphi(x_1)\times$$
$$\times\varphi(x_2)w_2(x_1,x_2,t_1,t_2)\,dx_1\,dx_2, \qquad (18)$$

$$D_y(t)=\int_{-\infty}^{\infty}[\varphi(x)-m_y(t)]^2w_1(x,t)\,dx, \qquad (19)$$

где $w_1(x,t)$ и $w_2(x_1,x_2,t_1,t_2)$ — одномерная и двумерная плотности вероятности входного случайного процесса. Хар-ки выходного процесса определяются также и в более общем случае, когда система описывается ур-нием вида

$$y(s)=\int_{-\infty}^{s}h(s,t)\varphi[x(t)]\,dt. \qquad (20)$$

Эта система представляет собой последоват. соединение нелинейного безынерц. элемента и инерц. линейной системы с импульсной переходной ф-цией $h(s,t)$.

Часто отклонения входной величины от ее математич. ожидания бывают настолько малы, что хар-ку системы можно считать приближенно линейной в нек-рой окрестности математич. ожидания. Для определения таких статистич. хар-к, как корреляц. ф-ция и дисперсия, пользуются методами, разработанными для линейных систем, хотя по отношению к неслучайным воздействиям систему может быть нельзя считать линейной.

Для того, чтобы применить методы, разработанные для линейных систем, нелинейную систему нужно линеаризовать в нек-рой окрестности неслучайного возмущения. Многие нелинейные системы описываются нелинейными дифференц. ур-ниями, напр. вида $y^{(n)}=f(t,y,y',\ldots,y^{(n-1)},x,x',\ldots,x^{(k)})$, (21) В этом случае линеаризация проводится с помощью разложения правой части (21) в ряд Тейлора относительно $x=m_x$ и $y=m_y$ при ограничении в нем членами первой степени. Линеаризованное ур-ние имеет вид

$$f^{(n)}=f(t,m_y,m_y',\ldots,m_y^{(n-1)},m_x,m_x',\ldots$$
$$\ldots,m_x^{(k)})+\sum_{p=0}^{n-1}\frac{\partial f}{\partial y^{(p)}}\Bigg|_{y^{(p)}=m_y^{(p)}}(y^{(p)}-m_y^{(p)})+$$
$$+\sum_{q=0}^{n-1}\frac{\partial f}{\partial x^{(q)}}\Bigg|_{x^{(q)}=m_x^{(q)}}(x^{(q)}-m_x^{(q)}). \qquad (22)$$

Математич. ожидание m_y выходной величины получается из дифференц. ур-ния

$$m_y^{(n)}=f(t,m_y,m_y',\ldots,m_y^{(n-1)},m_x,m_x',\ldots$$
$$\ldots,m_x^{(k)}). \qquad (23)$$

m_y, вычисленное из (23), подставляется в (22), и получается обычное дифференц. ур-ние линейной системы.

Этот метод линеаризации бывает неприменим в случае, если система содержит нелинейные элементы, не разлагаемые в ряд Тейлора, напр. имеющие разрыв хар-ки. В теории автоматич. управления подобные элементы (напр., реле) встречаются довольно часто. Для приближ. определения вероятностных хар-к величин на выходе таких систем разработан метод *линеаризации статистической*, основанной на замене нелинейных ф-ций такими линейными ф-циями, к-рые в определ. смысле статистически равноценны данным нелинейным ф-циям. Напр., нелинейная ф-ция

$$Y=\varphi(X) \qquad (24)$$

заменяется линейной ф-цией

$$Z=k_0m_x+k_1(X-m_x), \qquad (25)$$

где коэфф. k_0 и k_1 подбираются такими, чтобы случайные величины Z и Y имели одинаковые математич. ожидания и дисперсии. В др. случаях условие равенства математич. ожиданий и дисперсий заменяется условием минимума ср. квадратической ошибки от замены ф-ции φ линейной ф-цией Z.

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960.

Л. П. Сысоев.

СТАТИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ТЕОРИЯ (statistical decision theory; théorie des décisions statistiques; Theorie der statistischen Lösungen) — раздел математич. статистики, изучающий правила выбора решения в условиях неопределенности, т. е. в условиях, когда человек или автомат, выбирающий тот или иной образ действий, не располагает полной информацией. Подобная ситуация встречается во многих технич. задачах. Напр., при приемном контроле продукции необходимо по небольшой выборке принять одно из двух решений: забраковать или пропустить всю партию продукции. При испытании аппаратуры на надежность по огранич. числу отказов должно быть установлено ее соответствие или несоответствие заданным требованиям к ср. наработке на отказ, ср. долговечности или др. хар-кам надежности. С. р. т. успешно используется при исследовании методов *приема сигналов на фоне помех*. При этом возникают различные задачи: а) обнаружение полезного сигнала при наличии помех; в этом случае по результатам обработки принятого сигнала (он может быть либо только помехой, либо суммой полезного сигнала и помехи) необходимо решить, содержится ли полезный сигнал в принятом или нет; б) многоальтернативное обнаружение, т. е. выбор решения, о том, какой из совокупности возможных сигналов в действительности принят; в) *статистические оценки* неизвестных параметров или формы полезного сигнала, когда априори известно, что он послан и содержится в принятом.

При формулировке любой задачи С. р. т. необходимы следующие данные: 1) совокупность возможных состояний $s_0,\ldots,s_m$ (явлений природы, причины появления событий и т. п.) и априорное распределение вероятностей состояний p_k ($k=0,1,\ldots,m$); 2) совокупность возможных результатов наблюдений (выборочных значений) $x_1,\ldots,x_n$, зависящих от того, какое из упомянутых состояний в действительности имеет место и апостериорные (условные) распределения выборочных значений w_n ($x_1,\ldots,x_n|s_k$); 3) набор всевозможных решений $\gamma_1,\ldots,\gamma_m$; 4) правило выбора решения (стратегия по результатам наблюдений; 5) вид функции потерь, к-рая приписывает каждой комбинации s и γ определ. стоимость Π, учитывающую последствия выбора решения; 6) критерий качества правила выбора решения. Таким критерием часто служит среднее значение ф-ции потерь. Типичную задачу С. р. т. можно в общем виде сформулировать так: пусть заданы ф-ции распределения p_k и w_n ($x_1,\ldots,x_n|s_k$), набор возможных решений $\gamma_i(i=0,1,\ldots,r)$, ф-ция потерь и критерий качества. Требуется определить наилучшее в смысле принятого критерия правило использования результатов наблюдений для выбора решений.

Проиллюстрируем общие методы С. р. т. на примере двоичных решений, когда возможные решения могут быть только двух видов. К этому случаю относится указанная выше задача обнаружения сигнала на фоне помех. Итак, пусть известны априорные вероятности q состояния s_0 и $p=1-q$ состояния s_1 и апостериорные распределения выборочных значений w_n ($x_1,\ldots,x_n|s_0$) и w_n ($x_1,\ldots,x_n|s_1$). По результатам наблюдений могут быть выдвинуты две взаимно исключающие гипотезы: случайная выборка ($x_1,\ldots,x_n$) связана с состоянием s_0 (гипотеза H_0) или она связана с состоянием s_1 (гипотеза H_1). Соответственно возможны два решения: γ_0 принять гипотезу H_0, γ_1 — принять гипотезу H_1. После того как выбрано решение, возможна одна из следующих четырех ситуаций: 1) в действительности имеет место состояние s_0 и принято решение γ_0; 2) имеет место состояние s_0, но принято решение γ_1 (ошибка 1-го рода); 3) имеет место состояние s_1, но принято решение γ_0 (ошибка 2-го рода); 4) имеет место состояние s_1 и принято решение γ_1. С каждой из четырех перечисл. ситуаций можно связать численную величину потери Π_{00}, Π_{01}, Π_{10} и Π_{11} (для правильных решений потеря — это выигрыш, т. е. $\Pi_{00}<0$, $\Pi_{11}<0$, а для ошибоч-

ных решений $\Pi_{01}>0$, $\Pi_{10}>0$). Ср. значение потерь, взвешенных с вероятностью появления каждой из них, равно:

$$\varrho=\Pi_{00}P\{\gamma_0|s_0\}+\Pi_{01}P\{\gamma_1|s_0\}+\Pi_{10}P\{\gamma_0|s_1\}+\Pi_{11}P\{\gamma_1|s_1\}, \quad (1)$$

где $P\{\gamma_i|s_j\}$ — вероятность принятия решения γ_i, если имеет место состояние s_j $(i,j=0;\ 1)$. Величину ϱ наз. р и с к о м.

Установление правила выбора решения эквивалентно разделению n-мерного пространства выборок $(x_1,\ldots,x_n)$ на две области G_0 и G_1 т. о., что когда наблюдаемая выборка попадает в G_0, принимается решение γ_0, а когда она попадает в G_1, то принимается решение γ_1.

Вероятности правильных и ошибочных решений равны:

$$P\{\gamma_0|s_0\}=q(1-\alpha),\quad P(\gamma_1|s_0\}=q\alpha, \quad (2)$$

$$P\{\gamma_0|s_1\}=p\beta,\quad P\{\gamma_1|s_1\}=p(1-\beta), \quad (3)$$

где

$$\alpha=P\{x_1,\ \ldots,\ x_n)\in G_1|s_0\}=\int\limits_{G_1}\ldots\int w_n(x_1,\ \ldots,\ x_n|s_0)\,dx_1,\ldots,dx_n, \quad (4)$$

$$\beta=P\{(x_1,\ \ldots,\ x_n)\in G_0|s_1\}=\int\limits_{G_0}\ldots\int w_n(x_1,\ \ldots,\ x_n|s_1)\,dx_1,\ldots,dx_n, \quad (5)$$

условные вероятности ошибок 1-го и 2-го рода соответственно. Подставляя (2) и (3) в (1) и установив такое разделение пространства выборок на области G_0 и G_1, к-рое минимизирует функционал ϱ, находим следующее правило выбора решения по к р и т е р и ю м и н и м а л ь н о г о р и с к а (байесово правило):

$$(\gamma_1)\qquad l(x_1,\ \ldots,\ x_n)=\frac{w_n(x_1,\ \ldots,\ x_n|s_1)}{w_n(x_1,\ \ldots,\ x_n|s_0)}\geqslant\frac{q(\Pi_{01}-\Pi_{00})}{p(\Pi_{10}-\Pi_{11})}, \quad (6)$$

$$(\gamma_0)\quad l(x_1,\ \ldots,\ x_n)<\frac{q(\Pi_{01}-\Pi_{00})}{p(\Pi_{10}-\Pi_{11})}. \quad (6')$$

Ф-цию $l(x_1,\ldots,x_n)$ наз. о т н о ш е н и е м п р а в д о п о д о б и я.

Если $\Pi_{01}-\Pi_{00}=\Pi_{10}-\Pi_{11}$ или если одинаковы потери при ошибках 1-го и 2-го рода (для $\Pi_{00}=\Pi_{11}=0$), то правило решения:

$$(\gamma_1)\quad l(x_1,\ \ldots,\ x_n)\geqslant q/p, \quad (7)$$

$$(\gamma_0)\quad l(x_1,\ \ldots,\ x_n)<q/p \quad (7')$$

обеспечивает макс. частоту правильных решений в длинной серии повторных независимых наблюдений.

В ситуации, когда нет априорной информации о состояниях s_0 и s_1 и возникают трудности в задании величин потерь, полезным оказывается иногда установление правила выбора решения из условия минимума вероятности β при ограничении $\alpha\leqslant k$ (критерий Н е й м а н а — П и р с о н а). Этот критерий также приводит к правилу вида:

$$(\gamma_1)\quad l(x_1,\ \ldots,\ x_n)\geqslant c. \quad (8)$$

Итак, различные критерии качества приводят к единообразному правилу выбора решения: по наблюденной выборке $(x_1,\ldots,x_n)$ вычисляется отношение правдоподобия $l(x_1,\ldots,x_n)$ и принимается решение γ_1 или γ_0 в зависимости от того, превосходит или не превосходит получ. величина нек-рый фиксиров. уровень, установленный заранее в соответствии с заданным критерием. Неравенство (8) определяет точки, принадлежащие области G_1 пространства выборок.

Отличит. особенностью рассмотр. процедур принятия решения является заранее заданный объем выборки n. Существует др. подход, при к-ром объем выборки заранее не фиксируется, а решение о прекращении наблюдений (извлечении выборочных значений) выносится в зависимости от уже прошедшей части эксперимента. Т. о., наряду с γ_0 и γ_1 совокупность возможных решений дополняется решением γ_2 — продолжать наблюдения. Соответственно на каждой стадии эксперимента, приводящей к выборке объема n $(n=1,2,3\ldots)$, пространство выборок разбивается на три непересекающиеся области G_0, G_1 и G_2. Если выборка попадает в G_0 или G_1, то принимается решение γ_0 или γ_1 и наблюдения прекращаются. Но если выборка попадает в G_2, то принимается решение γ_2 и производится следующее $n+1$ наблюдение, после чего вновь используется указанное правило выбора решения. Эксперимент заканчивается на той выборке, на основании к-рой удается принять решение γ_0 или γ_1. В такой процедуре п о с л е д о в а т е л ь н о г о а н а л и з а объем выборки n, необходимый для принятия одного из этих двух решений, оказывается с л у ч а й н о й в е л и ч и н о й.

Естественно, что так же, как и при непоследоват. анализе, возможно бесчисл. множество способов разбиения пространства выборок, и необходим критерий, при помощи к-рого можно было бы сравнивать различные последовательные процедуры и выбирать наилучшие. Таким критерием обычно служит требование, чтобы при заданных вероятностях ошибок α и β было минимальным ср. значение объема выборки, приводящее к завершению последоват. анализа. При этом правило выбора решения сводится к сравнению отношения правдоподобия с д в у м я порогами c_1 и c_2:

$$(\gamma_0)\quad l(x_1,\ \ldots,\ x_n)\leqslant c_0, \quad (9)$$

$$(\gamma_1)\quad l(x_1,\ \ldots,\ x_n)\geqslant c_1, \quad (9')$$

$$(\gamma_2)\quad c_0<l(x_1,\ \ldots,\ x_n)<c_1, \quad (9'')$$

причем $c_0=\frac{\beta}{1-\alpha}$, $c_1=\frac{1-\beta}{\alpha}$.

Рассмотрим, напр., правило выбора решения о том, принадлежит ли наблюдаемая выборка к одной из двух нормальных генеральных совокупностей: с нулевым средним и дисперсией σ^2 (состояние s_0) или со средним a и дисперсией σ^2 (состояние s_1). В этом случае логарифм отношения правдоподобия имеет вид:

$$\ln l(x_1,\ \ldots,\ x_n)=\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{\sigma}-\frac{n}{2} \quad (10)$$

и, следовательно, любое правило решения при непоследоват. анализе сводится к сравнению $\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{\sigma}$ с одним порогом, а при последовательном — с двумя порогами. Поверхность, разделяющая пространство выборок, представляет г и п е р п л о с к о с т ь. Нетрудно в этом случае выписать в явном виде выражения условных вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода. Так, при одинаковых потерях $\Pi_{10}=\Pi_{01}$ $(\Pi_{00}=\Pi_{11}=0)$ и равновероятных состояниях $(p=q=1/2)$

$$\alpha=\beta=1-F\left(\frac{\sqrt{n}}{2}\right),$$

где $F(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_{-\infty}^{x}e^{-\frac{u^2}{2}}du$.

По мере увеличения объема выборки n вероятности ошибок приближаются к нулю.

Лит.: Б а ш а р и н о в А. Е., Ф л е й ш м а н Б. Ш., Методы статистического последовательного анализа и их радиотехнические приложения, М., 1962; В а л ь д А., Последовательный анализ, пер. с англ., М., 1960; Л е в и н Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; М и д д л т о н Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 2, М., 1962; Ч е р н о в Г., М о з е с Л., Элементарная теория статистических решений, пер. с англ., М., 1962; Л е м а н Э., Проверка статистических гипотез, пер. с англ., М., 1964.

Б. Р. Левин.

СТАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА (position error; erreur statique; statischer Fehler) — *установившаяся ошибка* в системе, на к-рую действует пост. управляющее или возмущающее воздействие. В линейной *астатической системе* С. о. отсутствует; в линейной статич. системе С. о. зависит от величины воздействия M и равна $\frac{M}{1+K}$, где K — *добротность* системы. В нелинейных системах С. о. может увеличиться за счет люфтов и зон нечувствительности.

Р. С. Рутман.

СТАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (static system; système statique; statisches System) — система, в к-рой при воздействии, стремящемся с течением времени к пост. величине, отклонение регулируемой координаты также стремится к пост. величине, зависящей от входного воздействия. САР может обладать статизмом по отношению к управляющему воздействию и по отношению к возмущающему воздействию.

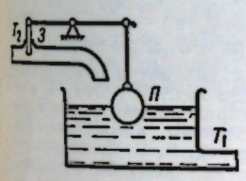


Рис. 1.

На рис. 1 приведена простейшая С. с. регулирования уровня жидкости. При изменении расхода жидкости через выходную трубу T_1 уровень жидкости понижается, изменяется положение поплавка $П$ и увеличивается открытие задвижки $З$, регулирующей приток жидкости по входной трубе T_2. Установившееся состояние наступит тогда, когда расход жидкости будет равен притоку, что соответствует нек-рому уровню, отличному от первоначального.

Графич. изображение зависимости установившегося значения координаты системы от пост. входного воздействия наз. *статической характеристикой* САР. На рис. 2 изображен ее возможный вид. При изменении входного воздействия от 0 до $f_{макс}$ регулируемая координата системы x изменяется от $x_{макс}$ до $x_{мин}$. Одно из значений x в этом интервале, например среднее арифметическое значение $x_0=(x_{макс}+x_{мин})/2$, принимается за номинальное значение регулируемой координаты, а величина $(x_{макс}-x_{мин})/x_0$ наз. коэфф. неравномерности или статизмом.



Рис. 2.

САР является статической по отношению к входному воздействию, если передаточная ф-ция ошибки в случае управляющего входного воздействия или передаточная ф-ция по отношению к возмущению в случае возмущающего входного воздействия обращаются в пост. величину при $s\to 0$ (s — оператор Лапласа). Одна и та же САР может быть статической по отношению к к.-л. возмущающему воздействию и астатической по отношению к управляющему воздействию, и наоборот.

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

С. Д. Земляков.

СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (steady state characteristic, transference; caractéristique statique; statische Charakteristik) — зависимость между выходной и входной величинами звена или системы в установившемся состоянии. С. х. линейного звена выражается линейной ф-цией вида:

$$x_{вых}=a+kx_{вх}; \quad (1)$$

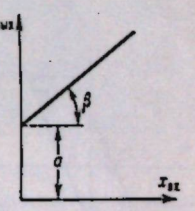


Рис. 1.

график ее дан на рис. 1, где $\beta=\operatorname{arctg} k$. Простейшим примером такого звена служит электрическая цепь с постоянным сопротивлением, для которой справедлив закон Ома:

$$U=ri. \quad (2)$$

Связь между выходной $i=x_{вых}$ и входной $U=x_{вх}$ координатами определяется из (2)

$$x_{вх}=rx_{вых}\quad\text{или}\quad x_{вых}=\frac{1}{r}x_{вх}. \quad (3)$$

Из сравнения ур-ний (1) и (3): $a=0$, $k=1/r$.

Отношение выходной координаты линейного звена к входной в установившемся состоянии наз. коэфф. передачи или коэфф. усиления

$$k=x_{вых}/x_{вх}. \quad (4)$$

Как правило, линейная зависимость между выходной и входной координатами звена или системы существует лишь в определ. пределах. Обычно С. х. является нелинейной ф-цией. На рис. 2 даны нелинейные С. х. нек-рых звеньев. Хар-ки вида рис. 2,*а* свойственны звеньям с насыщением, напр. хар-ка намагничивания электрич. машины, представляющая зависимость между напряжением на якоре и током возбуждения при пост. скорости вращения. Аналитически кривая намагничивания может быть аппроксимирована с достаточной точностью степенным полиномом вида

$$U=Ai_b+Bi_b^3+Ci_b^5, \quad (5)$$

где коэфф. A, B и C определяются по трем точкам, выбранным на кривой намагничивания $(1, 2, 3)$. На рис. 2, *б* дана хар-ка звеньям с зоной нечувствительности, в к-рых выходная координата начинает изменяться после того, как входная достигнет величины a. Ур-ния этой хар-ки:

$$\begin{aligned} x_{вых}&=0 && \text{при } |x_{вх}|<a,\\ x_{вых}&=k(x_{вх}-a) && \text{при } x_{вх}>+a,\\ x_{вых}&=k(x_{вх}+a) && \text{при } x_{вх}<-a. \end{aligned} \quad (6)$$

На рис. 2, *в* дана хар-ка звена с сухим трением, к-рое приводит к появлению в С. х. гистерезисной петли. Ур-ния этой хар-ки:

$$x_{вых}=k(x_{вх}-a) \quad при \quad x'_{вых}>0,$$
$$x_{вых}=k(x_{вх}+a) \quad при \quad x'_{вых}<0, \qquad (7)$$
$$x_{вых}=\text{const} \quad при \quad |x_{вых}-kx_{вх}|<ka.$$

На рис. 2, *г* показана хар-ка релейного звена. Как только входная координата достигнет

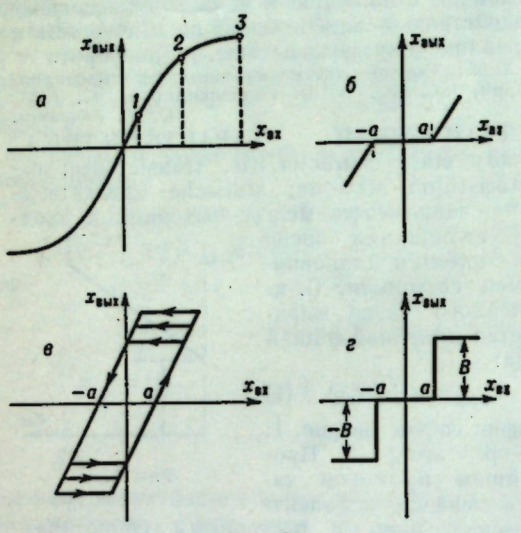


Рис. 2.

значения a, выходная координата изменяется скачком до пост. значения B. Ур-ния такого звена:

$$x_{вых}=0 \quad при \quad |x_{вх}|<a,$$
$$|x_{вых}|=B \quad при \quad |x_{вх}|>a. \qquad (8)$$

С. х. астатич. звеньев есть зависимость к.-л. производной выходной координаты от входной координаты в установившемся режиме. Напр., для гидравлич. серводвигателя С. х. является зависимость установившейся скорости перемещения поршня от отклонения золотника (рис. 3). С. х. линейной астатич. системы с одним интегрирующим звеном определяется ур-нием $\frac{dx_{вых}}{dt}=kx_{вх}$. С. х. разомкнутой системы регулирования, составленной из звеньев направленного действия, определяется по известным С. х. отдельных звеньев.

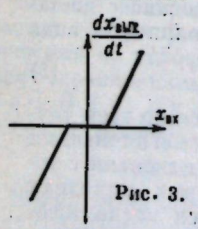


Рис. 3.

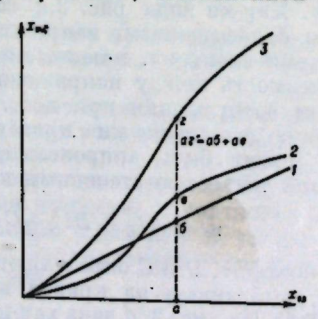


Рис. 4.

При параллельном соединении звеньев хар-ки каждого звена строятся в одном масштабе, и затем их ординаты суммируются (рис. 4, где *3* — результирующая характеристика). При последовательном соединении звеньев способ построения результирующей С. х. *4* для трех звеньев иллюстрируется на рис. 5.

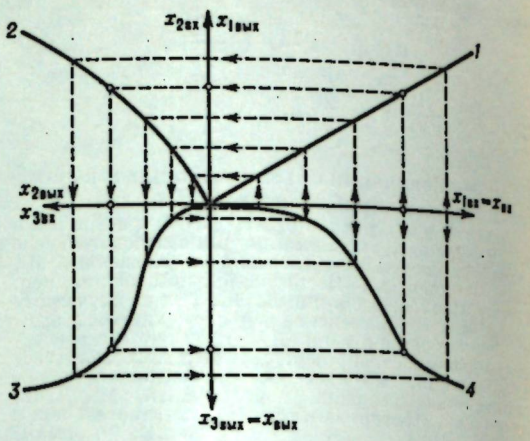


Рис. 5.

С. х. замкнутой системы регулирования связывает между собой значение регулируемой величины с возмущением, воздействующим на к.-л. звено системы. Для линейной статич. системы (рис. 6) она определяется в аналитич. форме:

$$x_{вых}=\frac{k_{kn}}{1+k}x_{вх}, \qquad (9)$$

где $k_{kn}=k_k k_{k+1},\ldots,k_n$ — коэффициент усиления цепи, на вход которой действует возмущение $x_{вх}$; $k=k_1,\ldots,k_n$ — общий коэффициент усиления разомкнутой системы.

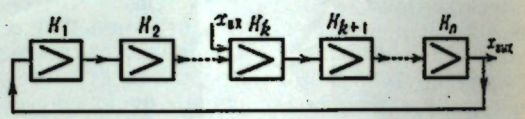


Рис. 6.

Лит.: Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Д. П. Петелин.

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП (electron valves steady state characteristics and parameters; caractéristiques statiques et paramètres des tubes électroniques; statische Charakteristiken und statische Parameter von Elektronenröhren) — зависимости токов от напряжений на электродах ламп и величины, устанавливающие связь между ними, при отсутствии нагрузочных сопротивлений.

Основные статические характеристики (СХ): а н о д н а я — зависимость анодного тока от напряжения на аноде при неизменных напряжениях др. электродов (рис. 1,2, 3); а н о д н о - с е т о ч н а я — зависимость анодного тока от напряжения на управляющей сетке при неизменных напряжениях др. электродов (рис. 4,5); с е т о ч н о - а н о д н а я — зависимость тока одной из сеток от напряжения анода (рис. 3); с е т о ч н а я — зависимость тока одной из сеток от напряжения этой же или др. сетки (рис. 4, 5). При построении СХ потенциал катода условно считается нулевым. Кроме того, встречаются др. типы СХ, напр. зависимость основных статич. параметров — S, R_i, μ — от тока анода, и др. Совокупность

СХ позволяет проводить все необходимые расчеты схем и режимов использования ламп, а также определить основные параметры.

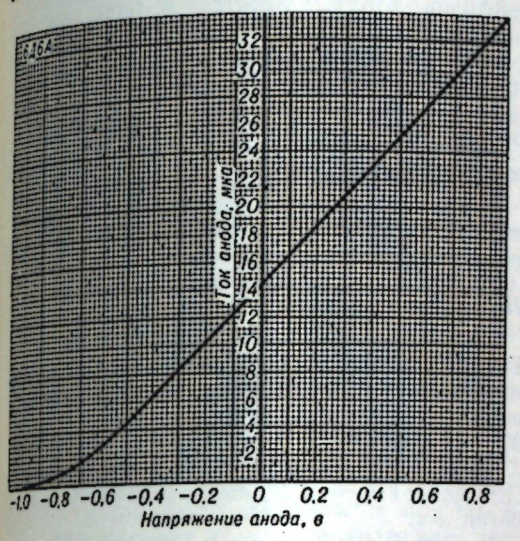


Рис. 1. Анодная хар-ка диода (напряжение накала 6,3 *в*).

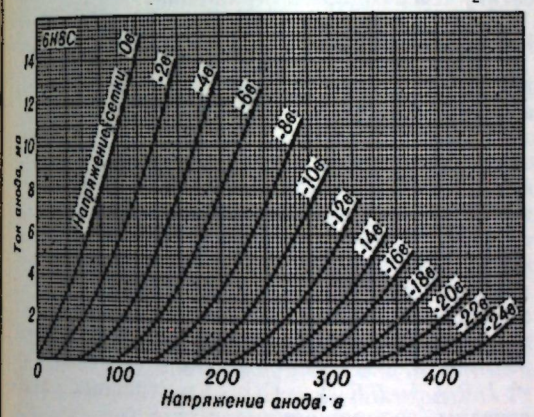


Рис. 2. Анодные хар-ки триода (напряжение накала 6,3 *в*).

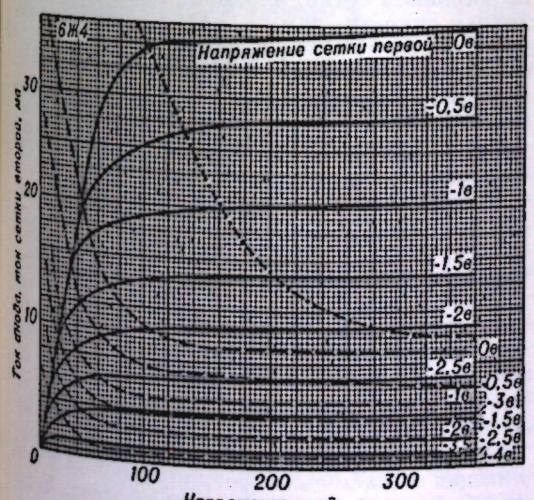


Рис. 3. Анодные и сеточно-анодные хар-ки пентода: сплошная линия — анодные; пунктирная — сеточно-анодные (по второй сетке); штрих-пунктирная — наибольшая допустимая мощность, рассеиваемая анодом; напряжение накала 6,3 *в*; напряжение второй сетки 150 *в*, третьей 0 *в*.

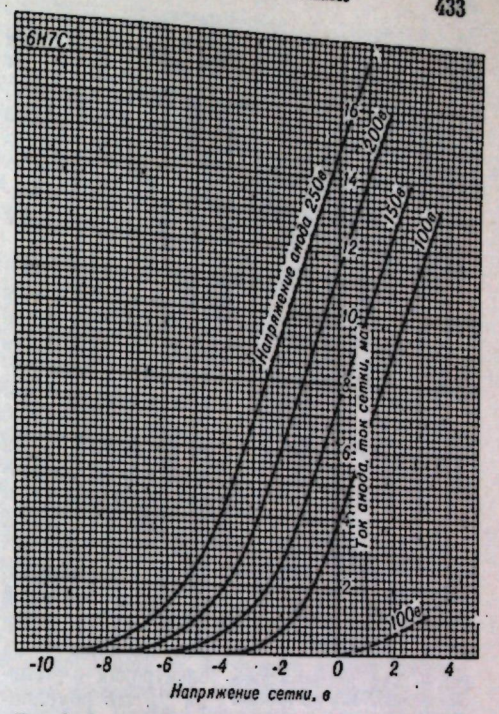


Рис. 4. Анодно-сеточные и сеточная хар-ки триода: сплошная линия — анодно-сеточные; пунктирная — сеточная; напряжение накала 6,3 *в*.

Идеальная анодная хар-ка диода (рис. 1) определяется законом: $I_a=gU_a^{3/2}$, где g — коэфф., зависящий от конструкции и размеров электродов. Отклонения реальных хар-к от этого закона на начальном участке обусловлены влиянием контактной разности потенциалов и начальными скоростями электронов; на восходящем участке — неравномерностью распределения темп-ры по катоду и влиянием падения потенциала вдоль катода; в области

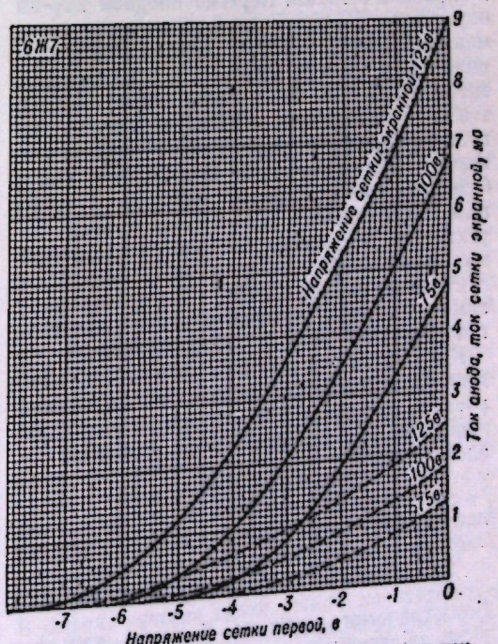


Рис. 5. Анодно-сеточные и сеточные хар-ки пентода: сплошная линия — анодно-сеточные; пунктирная — ток экранной сетки в зависимости от напряжения первой сетки; напряжение накала 6,3 *в*; напряжение анода 250 *в*; напряжение третьей сетки 0 *в*.

насыщения (для металлич. катодов) — эффектом Шоттки. Реальная анодная хар-ка диода хорошо описывается при отрицат. потенциале анода экспоненциальным законом, при небольших положит. значениях анодного потенциала —законом $^3/_2$, при больших потенциалах анода — отрезками прямых, ограниченных током насыщения или (для оксидных катодов) — макс. допустимым анодным током.

Ход анодных и анодно-сеточных хар-к триода также приближенно определяется законом $^3/_2$. В области положит. напряжений на сетке появляется сеточный ток (рис.6), и зависимость анодного тока от действующего потенциала отличается от закона $^3/_2$ (в этом случае по этому закону изменяется катодный ток). При больших отрицат. напряжениях сетки анодный ток пропорционален напряжениям на электродах в степени $^5/_2$, что обусловлено большой неравномерностью поля в промежутке сетка — катод (т. н. островковый эффект). Отклонения реальных анодных хар-к триода от идеальных вызваны теми же причинами, что и для диода. Важным св-вом анодно-сеточных хар-к является наличие участка почти линейного изменения анодного тока в зависимости от напряжения на управляющей сетке.

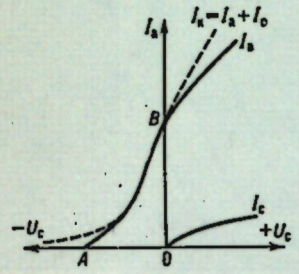


Рис. 6. Ход реальной анодно-сеточной хар-ки триода.

Вследствие малой проницаемости сеток, анодное напряжение пентода практически не влияет на величину катодного тока. Катодный ток пентода в основном определяется действием потенциала, создаваемого управляющей и экранной сетками. Перегиб анодной хар-ки обусловлен наличием двух различных режимов токораспределения. При малых напряжениях анода энергия электронов, пролетающих экранную сетку, оказывается недостаточной, чтобы достичь анода, и электроны возвращаются от анода к экранной сетке (режим возврата). При повышении напряжения анода большинство электронов достигает анода и только небольшая часть непосредственно перехватывается экранной сеткой (режим прямого перехвата).

Статические параметры (СП) электронных ламп. Для всех классов приемно-усилит. и генераторных ламп общими являются:

Крутизна характеристики, определяющая изменение анодного тока в зависимости от изменения напряжения на управляющей сетке при неизменных напряжениях др. электродов,

$$S=\partial I_a/\partial U_{c1}$$

или приближенно

$$S=(\Delta I_a/\Delta U_{c1})_{U_a=\text{const}},\quad [S]=ма/в.$$

Геометрически величина S равна тангенсу угла, образуемого касательной к анодно-сеточной хар-ке с осью абсцисс. Т. к. анодно-сеточная хар-ка не прямолинейна, то и крутизна S различна в различных точках. На линейном участке хар-ки крутизна триодов колеблется от 3 *ма/в*, напр. у 6Н1П, до 20—50 *ма/в* у 6С3П, 6С4П, 6С15П; у ВЧ пентодов 6Ж1Б, 6Ж1П, 6Ж5Б, 6Ж10Б, 6Ж10П и др. составляет 5—10 *ма/в*; у широкополосных пентодов 6Ж9Б, 6Ж9П, 6Ж11П, 6Ж21П, 6Ж22П достигает 20—30 *ма/в*; у ламп со вторичной эмиссией 6В1П, 6В2П, 6В3С статич. крутизна равна 30—50 *ма/в*. Крутизна хар-ки диодов определяется, как отношение приращения анодного тока к приращению анодного напряжения: $S_g=\frac{\Delta I_a}{\Delta U_a}$.

Внутреннее сопротивление лампы — сопротивление лампы перем. току

$$R_i=\frac{\partial U_a}{\partial I_a}\text{ или }R_i=\left(\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}\right)_{u_{c_1}=\text{const}},\quad [R_i]=ом.$$

Геометрически внутр. сопротивление равно котангенсу угла наклона анодной хар-ки к оси абсцисс. Для триодов оно составляет 0,3—110 *ком*, для НЧ пентодов 5—120 *ком*, а для ВЧ пентодов от 100—2500 *ком* и более. Для диодов $R_i=1/S_g$ имеет величину порядка сотен *ом*.

Коэффициент усиления, показывающий во сколько раз сильнее действует на анодный ток напряжение управляющей сетки, чем анодное напряжение:

$$\mu=|\partial U_a/\partial U_{c1}|\quad\text{или}\quad \mu=|\Delta U_a/\Delta U_{c1}|_{I_a=\text{const}}.$$

Коэфф. усиления триодов составляет 4—100, а пентодов 9000 и более раз.

Проницаемость электронной лампы, определяемая как отношение емкостей анод—катод и сетка—катод ($Д=C_{ак}/C_{ск}$) и показывающая, как уменьшается из-за экранирующего действия сеток электростатич. воздействие анода на катод. Проницаемость триода обратна коэфф. усиления $Д=1/\mu$. Для пентода $\mu\neq 1/D$, а активная выходная проводимость равна сумме электростатич. проводимости ($1/R_{iD}$) и проводимости токораспределения ($1/R_{ik}$) ($1/R_i=1/R_{iD}+1/R_{ik}$). СП электронных ламп связаны соотношением: $\mu=SR_i$.

В ряде случаев важную роль играют и др. СП, напр. коэфф. усиления $\mu_э$ и крутизна $S_э$ по экранной сетке, входная, проходная и выходная емкости лампы, коэфф. широкополосности $\gamma=\frac{S}{C_{вх}+C_{вых}}$ и ряд др.

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

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ (steady state analysis; calcul statique; statische Berechnung) — расчет, цель к-рого обеспечить требуемую точность работы системы в установившемся режиме. Первый этап С. р.— определение статич. хар-к, отдельных звеньев. Т. к. аналитич. выражения для статич. хар-к реальных звеньев с учетом нелинейностей часто оказываются сложными, хар-ки звеньев, как правило, задают графически. По хар-кам отдельных звеньев строится статич. хар-ка, определяющая зависимость регулируемой величины системы от *возмущающего воздействия*. Такие хар-ки строят для каждого возмущающего воздействия. Затем по известным величинам действующих на систему возмущений определяют отклонения регулируемой величины от заданного значения. Если эти отклонения

превышают заданную при расчете системы статич. точность, то производятся изменения в статич. хар-ках звеньев, в способе включения звеньев или добавляются новые звенья для получения требуемой величины статич. точности.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954. *О. И. Ларичев.*

СТАЦИОНАРНОЕ СЛУЧАЙНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (stationary random input; action stationaire aléatoire; stationäre zufällige Einwirkung) — *воздействие*, описываемое стационарной случайной ф-цией. См. *Случайное воздействие*.

СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ, стационарный процесс (stationary process; processus stationaire, régime stationaire; stationärer Prozeß),— режим, при к-ром состояние динамич. системы либо не изменяется во времени, либо периодически повторяется. С. р., как правило, наступает после нестационарного переходного процесса и предшествует ему. Признак С. р.— равновесное состояние системы: если на нее действуют возмущающие силы, то в каждый момент времени их действие, при С. р., уравновешивается силами сопротивления системы. Напр., если при нагревании к.-л. тела количество поступающего тепла равно количеству тепла, рассеиваемого телом, то темп-ра тела постоянна, что характеризует С. р. нагревания. В электрич. цепях С. р. возникает в результате воздействия пост. эдс $e=E=\text{const}$, либо периодич. эдс $e=E_m\sin(\omega t+\varphi)$ с неизменными величинами амплитуды E_m, частоты ω и начальной фазы φ колебаний и характеризуется постоянством: тока в цепи, амплитуды и частоты стационарных колебаний, сопротивления определ. участка цепи и т. п. С. р. может протекать и под воздействием любой периодич. эдс негармонич. характера с постоянными амплитудой E_m и периодом повторения T; в этом случае все процессы в электрич. цепи описываются ф-циями, представляющими собой разложение в ряд Фурье по гармоникам ω_k, кратным основной частоте $\omega_1=\frac{2\pi}{T}=\text{const}$. С. р. может быть даже случайный процесс при условии, что его вероятностные хар-ки не меняются с течением времени (см. *Вероятностный процесс*).

При строгом рассмотрении С. р. предполагается, что все процессы в цепи и действующие эдс существуют в интервале времени $-\infty<t<+\infty$. Несмотря на явное физич. несоответствие, такое представление вполне законно, т. к. в реальных электрич. цепях из-за наличия потерь переходные процессы затухают достаточно быстро, и в дальнейшем процессы в них мало отличаются от С. р. Величина промежутка времени, по истечении к-рого данное приближение допустимо, определяется как постоянной времени рассматриваемой цепи, так и требованиями к точности искомого решения. Медленно меняющиеся процессы часто можно рассматривать как С. р., если на протяжении промежутка времени, в течение к-рого рассматривается данный процесс, изменением характеризующих его параметров можно пренебречь. Такие процессы наз. квазистационарными. Условия, при к-рых процесс может считаться квазистационарным, зависят от конкретных условий каждой физич. задачи. Для большинства задач, связанных с теориями автоматич. регулирования и радиоэлектроники, к-рым в той или иной мере присущи переходные процессы, очень важно бывает оценить возможность их рассмотрения в квазистационарном приближении, т. к. это намного упрощает решение.

При исследовании С. р. в линейных электрич. цепях с пост. (сосредоточенными и распределенными) параметрами широко применяется символич. метод или метод комплексных амплитуд, при помощи к-рого линейные интегродифференц. ур-ния, описывающие процессы в цепи с сосредоточенными параметрами, сводятся к линейным алгебраич. ур-ниям; для систем с распределенными параметрами (длинных линий) ур-ния в частных производных переходят в обыкновенные дифференц. ур-ния. При рассмотрении С. р. в системах с перем. параметрами обычно приходят к дифференц. ур-ниям типа Матье и Хилла, для к-рых имеются хорошо разработанные методы решения. Для нелинейных систем решение многих задач встречает большие трудности, т. к. общего метода исследования нелинейных дифференц. ур-ний не существует. При исследовании С. р. в нелинейных системах применяются различные графоаналитич. и численные методы. Наиболее часто используются методы медленно меняющихся амплитуд и малого параметра. В большинстве задач теории автоматич. регулирования, теории колебаний и теории импульсных систем С. р. исследуются общими методами, в тесной связи с переходными процессами.

Лит.: Цыпкин Я. З., Переходные и установившиеся процессы в импульсных цепях, М.— Л., 1951; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960. *А. П. Шпаков.*

СТЕКЛЯННЫЙ ЛАЗЕР (glass laser; laser en verre; Glaslazer) — квантовый генератор света (см. *Лазер*), в к-ром рабочим веществом (активной средой) служит стекло. В С. л. используются стекла (силикатное стекло, бариевый крон гласс), легированные различными присадками (иттербием, гадолинием, гольмием, неодимом). Из-за отсутствия у стекла кристаллич. структуры св-ва С. л. отличаются от св-в др. лазеров на основе твердого тела с кристаллич. активной средой: пороговая мощность возбуждения у С. л. выше, а ширина излучаемых спектральных линий неск. больше. Излучение, генерируемое С. л., находится как в ультрафиолетовой (3125 Å в стекле с присадкой Gd^{3+}), так и в инфракрасной областях (~10600 Å в бариевом кронгласе с присадкой Nd^{3+}; ~10150 Å — в силикатном стекле с присадкой Yb^{3+}).

Отсутствие кристаллич. структуры позволяет использовать в С. л. такие геометрич. формы, как длинное волокно, спираль и др. Напр., на основе бариевого кронгласа с присадкой Nd^{3+} удалось построить лазер, у к-рого генерация света осуществляется в стеклянном волокне диаметром 0,3 *мм* и длиной 7,5 *см*. В оптич. системе связи стекла, легированные соответствующими присадками, могут служить основным материалом при создании активных линий передачи оптич. сигнала (длинные активные стеклянные волокна).

Лит.: Лазеры. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; «Труды Ин-та радиоинженеров» (США), рус. пер.,

1962, т. 50, № 10, с. 2113; «Phys. Rev. Letters», 1961, v. 7, № 12, p. 444; «Appl. Phys. Letters», 1962, v. 1, № 1, p. 25. *М. М. Горшков.*

СТЕПЕНЬ СВОБОДЫ (degree of freedom; degré de liberté; Freiheitsgrad) — независимое возможное движение механич. системы, выбираемое произвольно. Возможным движением системы наз. всякое элементарное перемещение ее точек, допускаемое в данный момент наложенными на систему связями. Пусть имеется система, состоящая из n материальных точек с s стационарными связями, выражающимися ур-ниями:

$$f_1(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n)=0;$$
$$f_2(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n)=0;$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$f_s(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n)=0.$$

Исходя из того, что при элементарных перемещениях координаты точек системы должны удовлетворять ур-ниям связи, можно получить s ур-ний с $3n$ переменными

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\delta x_1+\frac{\partial f_1}{\partial y_1}\delta y_1+\frac{\partial f_1}{\partial z_1}\delta z_1+\ldots+\\
&\quad+\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\delta x_n+\frac{\partial f_1}{\partial y_n}\delta y_n+\frac{\partial f_1}{\partial z_n}\delta z_n=0;\\
&\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\delta x_1+\frac{\partial f_2}{\partial y_1}\delta y_1+\frac{\partial f_2}{\partial z_1}\delta z_1+\ldots+\\
&\quad+\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\delta x_n+\frac{\partial f_2}{\partial y_n}\delta y_n+\frac{\partial f_2}{\partial z_n}\delta z_n=0;\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\frac{\partial f_s}{\partial x_1}\delta x_1+\frac{\partial f_s}{\partial y_1}\delta y_1+\frac{\partial f_s}{\partial z_1}\delta z_1+\ldots+\\
&\quad+\frac{\partial f_s}{\partial x_n}\delta x_n+\frac{\partial f_s}{\partial y_n}\delta y_n+\frac{\partial f_s}{\partial z_n}\delta z_n=0,
\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

где δx_i, δy_i, δz_i — возможные перемещения, удовлетворяющие ур-ниям (1), или вариации координат. Всякое возможное перемещение системы аналитически определяется значениями вариаций, удовлетворяющими этим ур-ниям. Из s ур-ний (1) s вариаций можно выразить через остальные $(3n-s)$ вариаций, поэтому только $(3n-s)$ вариаций являются независимыми и могут получать произвольные значения.

Число независимых вариаций $K=3n-s$ наз. числом С. с. данной системы. Напр., свободная материальная частица имеет три С. с.; частица, принужденная оставаться на данной поверхности, имеет две С. с.; свободное твердое тело, т. е. тело, не подчиненное никаким внешним связям, имеет шесть С. с.; неизменяемый отрезок обладает пятью С. с. и т. д.

Лит.: Воронков И. М., Курс теоретической механики, 10 изд., М., 1962; Голубева О. В., Теоретическая механика, М., 1961; Аппель П., Теоретическая механика, пер. с франц., т. 1—2, М., 1960. *Е. Ф. Самбурова.*

СТИРАНИЕ информации в ЦВМ (erasure of information; effacement de l'information; Löschen der Information) — приведение носителя информации ЗУ в исходное состояние. В большинстве случаев С. осуществляется записью нулевой информации по всему объему ЗУ или части его. С. может проводиться автоматически по программе или вручную с пульта управления. Предусматривается блокировка от случайного С. Время С. в основном определяется временем обращения к ЗУ, умноженным на число адресов, подвергающихся С. Практически С. осуществляется блокировкой цепей регенерации, записью нуля по стираемым участкам ЗУ, использованием размагничивания переменным магнитным полем. *А. В. Гусев.*

СТОХАСТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (stochastic programming; programmation stochastique; stochastisches Programmieren) — раздел *математического программирования*, изучающий методы решения задач управления и планирования в условиях неопределенности или при недостаточной информации. Планирующие организации далеко не всегда располагают всей необходимой информацией для планирования х-ва или управления произ-вом. Работа автоматич. устройств сопровождается непредвид. помехами, статистич. закономерности к-рых не всегда могут быть определены и учтены при вычислении управляющих воздействий. Т.о., в моделях математич. программирования, к исследованию к-рых сводятся задачи планирования и управления, многие параметры показателя качества и ограничений могут оказаться неопределенными или случайными. При этом в одних случаях опыт, статистика и исследование процессов, определяющих изменение исходных данных, позволяют устанавливать те или иные вероятностные хар-ки параметров задачи. В др. случаях нет оснований для каких бы то ни было суждений о статистич. закономерностях явлений, способных изменить предполагаемые значения параметров задачи. Ситуации, соответствующие 1-му случаю, наз. ситуациями, связанными с риском. Ситуации 2-го типа называются неопределенными.

С. п. разработано еще слабо. Изучение ситуаций, связанных с риском, продвинуто несколько дальше, чем исследование неопредел. ситуаций. В ряде случаев анализ задач управления в ситуациях, связанных с риском, сводится к решению задач *выпуклого программирования*. Следующий пример характерен для задач подобного рода.

Пусть требуется организовать снабжение центра нек-рым однородным продуктом, спрос на к-рый по различным причинам меняется от этапа к этапу. При этом к моменту планирования перевозок нет полной информации о потребностях центра на очередной этап. Проанализировав размеры потребления центра на предыдущих этапах и причины, определяющие возможные колебания спроса (b), можно составить ф-цию распределения спроса $g(b)$ на очередном этапе.

Пусть из j-того пункта произ-ва в центр направлено x_j тонн продукта, а общая поставка продукта в центр из всех n пунктов произ-ва равна y тонн; тогда

$$\sum_{j=1}^{n}x_j=y.\quad(1)$$

Неполная информация о потребности центра связана с дополнит. непроизводит. затратами, как в случае, когда потребность центра превышает поставки, так и в случае, когда в центр поставлен избыточный продукт. Затраты от неудовлетворения потребности центра могут быть вызваны, напр., необходимостью компенсации недостатка продукта другим, более дорогостоящим продуктом. Дополнит. расходы, определяемые превышением поставок над потребностью центра, вызываются, напр., необходимостью организации хранения или

перевозки продукта в др. районы, где в нем имеется потребность.

Пусть материальный ущерб от неудовлетворения потребности центра на единицу продукта равен μ_1 рублей, а дополнит. расходы, связанные с поставкой единицы продукта сверх потребности центра, равны μ_2 рублей. Математич. ожидание превышения потребности центра над реализов. поставками равно $\int_y^x(b-y)dg(b)$, а математич. ожидание количества продукта, поставленного сверх потребности центра, определяется выражением $\int_0^y(y-b)dg(b)$.

Т. о., общие затраты, связанные с неполной информацией о потребности центра, вычисляются по ф-ле:

$$\varphi(y)=\mu_1\int_y^{\infty}(b-y)\,dg(b)+\mu_2\int_0^y(y-b)dg(b).\quad(2)$$

Расходы на произ-во и перевозку продукта из всех пунктов в центр равны $\sum_{j=1}^{n}c_jx_j$, где c_j — стоимость произ-ва и перевозки единицы продукта из j-того пункта в центр. Суммарные затраты, требуемые для организации снабжения при неполной информации о потребностях центра,

$$R=\sum_{j=1}^{n}c_jx_j+\varphi(y).\quad(3)$$

Очевидно, что при любой ф-ции распределения $g(b)$ ф-ция $\varphi(y)$ выпукла книзу.

Задача планирования снабжения в условиях неопределенности сводится, т. о., к вычислению такой системы неотрицат. чисел $x_j(j=1, 2,\ldots, n)$ и y, чтобы суммарные затраты (3) были возможно меньше. При этом, естественно, должно выполняться условие (1). Кроме того, обычно x_j подчинены еще неравенствам вида $x_j\leqslant d_j(j=1,2,\ldots, n)$ и $\sum_{j=1}^{n}a_{ij}x_j\leqslant l_i$ $(i=1, 2, \ldots, m)$, фиксирующим ограничения по запасам продукта в разных пунктах и по возможностям транспортных средств, предоставленных для перевозки продуктов. Мы пришли к задаче выпуклого программирования.

Далеко не во всех случаях решение задачи С. п. приводит к однозначному выбору параметров управления. Обычно управление в условиях неопределенности сводится к выбору вероятностных правил поведения. В *игр теории* отсутствие полной информации о поведении противника приводит обычно не к чистой, а к смешанной стратегии. Точно так же и в С. п. недостаток информации о состояниях природы (о параметрах задачи) часто определяет не детерминированный выбор, а решение, содержащее случайный элемент, с вычисляемыми из задачи статистич. хар-ками.

Лит-ра по С. п.— ряд статей, посвященных частным задачам, и небольшое число общих работ, в к-рых делаются попытки связать постановку задачи С. п. с различными хар-ками информац. структуры исследуемой ситуации. Абстрактные построения, связанные с общими постановками задач С. п., в опубл. работах не приводят к сколько-нибудь содержат. выводам. Среди частных работ по С. п. должны быть отмечены исследования по стохастич. задачам *линейного программирования*, у к-рых параметры линейной формы и матрицы условий нормально распределены. Кроме того, изучены погрешности решения задач линейного программирования, возникающие вследствие того, что случайные составляющие вектора ограничений заменены своими ср. значениями.

Лит.: Madansky A., Inequalities for stochastic linear programming, «J.Mgmt. Sci.», 1960, № 6; Radner R., The linear team: an example of linear programming under uncertainty, Proc. of the second symposium in linear programming, 1955; Dantzig G.B., Linear programming under uncertainty, «J.Mgmt. Sci.», 1955, № 1, p. 197—206; Radner R., The application of linear programming to team decision problems, там же, 1959, № 5, p. 143—50; Charnes A. and Cooper W. W., Chance-constrained programming, там же, 1959, № 6, p. 73—80; Charnes A., Cooper W. W. and Symonds G. H., Cost horisons and certainty equivalents: an approach to stochastic programming of heating oil, там же, 1958, № 4, p. 235—63. *Д. Б. Юдин.*

СТРАТЕГИЯ (в теории игр) [strategy (in the theory of games); stratégie (dans la théorie des jeux); Strategie (in der Theorie der Spiele)] — совокупность правил, определяющих однозначный выбор хода в зависимости от ситуации, сложившейся в процессе игры. См. *Игр теория*.

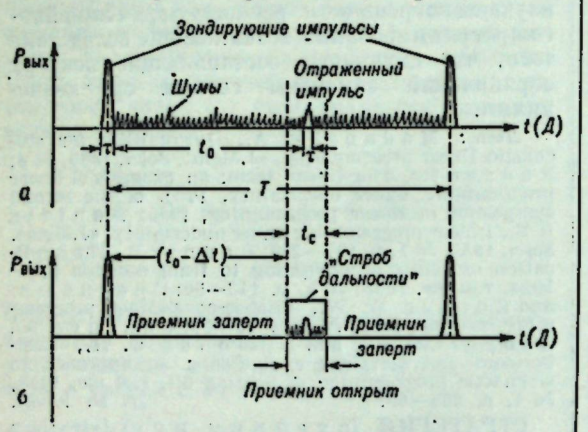
СТРОБИРОВАНИЕ (strobing; déclenchement périodique; Strobierung) — априорное или апостериорное выделение нек-рого интервала, в пределах к-рого разрешено принимать или обрабатывать сигналы. В радиотехнич. устройствах при приеме сигналов возникает необходимость выделения огранич. частотных, временны́х или пространственных интервалов для повышения вероятности обнаружения (или точности измерения) принятого или ожидаемого сигнала на фоне естеств. или искусств. помех и повышения, т. о., помехозащищенности приемного устройства. С. широко применяется, напр., в радиолокац. станциях сопровождения целей. В процессе непрерывного измерения координаты цели само значение координаты изменяется; поэтому системы С. выполняются, как правило, следящими. В радиолокац. станциях с импульсным методом измерения дальности основная координата — дальность, поэтому С. производится по дальности, т. е. С. определяет отрезок на оси дальности, в пределах к-рого радиолокац. приемник и индикатор измеряют дальности до цели в данный момент времени. В радиолокац. станциях, использующих эффект Доплера для определения скорости цели, С. производится по скорости, т. е. определяет отрезок на оси частот, в пределах к-рого нужно измерять скорости цели. С. по угловым координатам в системах сопровождения целей по углу ограничивает диапазон углов, в пределах которого нужно измерять угловое положение цели.

Напр., при импульсном методе определения дальности время прихода импульса, отраженного от цели,

$$t_0<\frac{2D}{c}<T,$$

где D — дальность до цели, c — скорость распространения радиоволн (скорость света) и T — период повторения зондирующих им-

пульсов. Если положение цели известно с точностью до t_c, то нет необходимости принимать отраженные сигналы в течение всего отрезка времени T. Достаточно «открыть» приемник неск. раньше момента прихода отраженного импульса и по окончании его действия снова «запереть» приемник (см. рис.). Т. о.,



Определение дальности импульсным методом: *а* — без стробирования; *б* — при стробировании.

«строб дальности» представляет собой импульс длительностью t_c, отпирающий приемник на время прихода отраженного импульса. Положение стробирующего импульса на временной оси определяется дальностью до цели, выбранной для сопровождения, и изменяется устройством типа *временно́й дискриминатор*. Уменьшение времени наблюдения уменьшает общий интегральный эффект действия помех, что повышает помехозащищенность приемника.

В радиолокац. станциях, определяющих скорость цели по доплеровскому изменению частоты, «стробом скорости» является узкополосный фильтр, полоса пропускания к-рого определяет возможный диапазон измерения скорости цели. Т. к. скорость цели в процессе сопровождения ее радиолокац. станцией изменяется, то положение частотной хар-ки узконолосного фильтра на оси частот также изменяется при помощи системы *автоматической подстройки частоты*. Полоса пропускания «строба скорости» определяет общую полосу пропускания всего приемного устройства; т. о. при данной плотности шумов на единицу полосы пропускания общая энергия шумов, выделяющихся на детекторе, определяется не полосой всего усилительного тракта, а узкой полосой пропускания «строба скорости», к-рая обычно не превышает 1000 *гц*.

Р. В. Фельдман.

СТРУЙНАЯ ТЕХНИКА (fluid jet control devices, pure fluid systems; technique utilisant des jets; Strahlentechnik) — новая отрасль пневмогидроавтоматики, характеризующаяся тем, что приборы не содержат механич. подвижных частей и строятся на

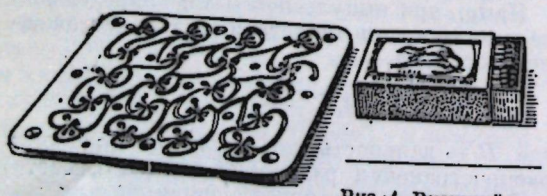


Рис. 1. Внешний вид штампованной пластины прибора струйной техники.

струйных и др. проточных элементах (см. *Проточный элемент*, *Струйный элемент*), а также тем, что приборы изготовляются способом печатных схем. По способу печатных схем функциональную часть узла прибора или прибора в целом изготовляют одним нажатием штампа, к-рым в плоской пластинке делается отпечаток элементов схемы (рис. 1). Такая пластина, будучи закрыта крышкой с отверстиями подвода и отвода рабочей среды, образует готовый прибор. Построение приборов С. т. может быть однослойным (рис. 2, *а*) и многослойным (рис. 2, *б*). Метод печатных схем

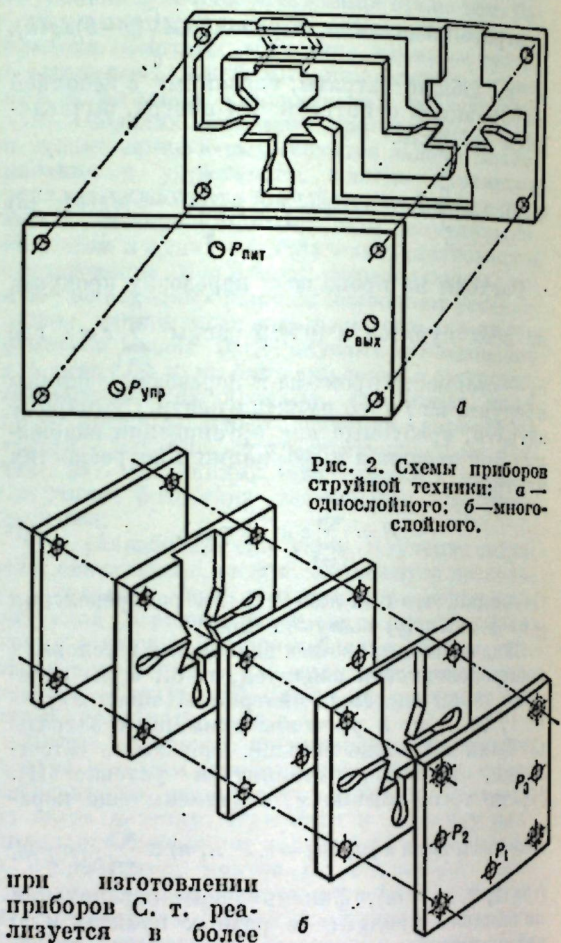


Рис. 2. Схемы приборов струйной техники: *а* — однослойного; *б*—многослойного.

при изготовлении приборов С. т. реализуется в более полной степени, чем в электронике. Способом, аналогичным типографскому способу печатания книг, получаются не только коммуникационные каналы, но и функциональные элементы, необходимые для реализации заданного алгоритма. Приборы С. т. изготовляют также путем прецизионного литья или методом фотохимического травления.

Приборы С.т. бывают аналоговыми и дискретными. Рабочей средой в этих приборах могут служить как воздух или газы (эта отрасль С. т. наз. «пневмоникой» — по аналогии с электроникой), так и жидкости. Преимущества приборов С. т.: 1) надежность в эксплуатации, определяемая отсутствием подвижных механич. частей; 2) высокое быстродействие — в сотни и тысячи раз большее, чем у существующих приборов пневмогидроавтоматики др. типов; 3) возможность работы приборов (при изготовлении их из соответствующих материалов) при высоких и низких темп-рах; 4) неподверженность радиационным воздействиям, и др. Стоимость изготовления приборов С. т. в десятки и сотни раз меньше, чем любых известных до сих пор приборов контроля и управления как пневмогидравлических, так и электронных. Благодаря возможности работы приборов с малыми затратами энергии в отд. элементах (давления порядка 0,01 *ати*, мощности менее 0,01 *вт*) эксплуатация приборов С. т. оказывается весьма экономичной.

На возможность использования струйных элементов в пневмоавтоматике указал Фернер [11]. Работы по созданию С. т. проведены в ин-те автоматики и телемеханики (ИАТ) [1], [2]. В ИАТ разработаны новые типы элементов (см. *Струйный элемент*) и построены на них различные типы приборов С. т.— пром. регуляторы, специализированные цифровые приборы, счетчики, дозаторы подачи штучных изделий и др. [10]. Основные идеи С. т. запатентованы ИАТ в ряде стран (см. [3, 4, 5, 6] и др.). Работы по С. т. широко ведутся сейчас как в СССР, так и за границей, в частности в США [7, 8, 9]. Вопросами, связанными с разработкой этой новой отрасли техники в США, занято большое количество организаций; к разработке приборов нового типа приступили как крупнейшие старые фирмы (Moor, IBM Corporation и др.), так и ряд фирм, созданных за последнее время специально для произ-ва приборов С. т. (Fluid Logic Incorporation, Bowles Eng. Corporation и др.).

Лит.: 1) Авторское свидетельство № 124720 с приоритетом от 13 апреля 1959 г.; 2) Авторское свидетельство № 124719 с приоритетом от 13 апреля 1959 г.; 3) Патент № 1264482, выданный во Франции ИАТ по заявке от 26 янв. 1960 г.; 4) Патент № 1243778, выданный во Франции ИАТ по заявке от 31 дек. 1959; 5) Патент № 1136518, выданный в ФРГ ИАТ по заявке от 14 сентября 1959 г.; 6) Патент № 913848, выданный в Англии ИАТ по заявке от 15 дек. 1959 г.; 7) Warren R. W., Fluid Pulse Convertor (Патент США № 3001698 с приоритетом от 5 октября 1960 г.); 8) Horton B. M., Negative Feedback Fluid Amplifier (Патент США № 3024805 с приоритетом от 20 мая 1960 г.); 9) Kompass E. J., The state of the art in fluid amplifiers, «Control Engng», 1963, v. 10, № 1; 10) «АиТ», 1963, № 8; 11) Ferner V., «Die Technik», 1954, Jg. 9, H. 6, S. 359.

Ю. В. Лучук.

СТРУЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (jet unit; élément à jet; Strahlenelement) — проточный элемент, в к-ром для выполнения заданных операций используются струйные течения. С. э.— основные элементы пневматич. и гидравлич. приборов *струйной техники*. Применяются в приборах непрерывного действия и в дискретных. В приборах непрерывного действия они выполняют операции усиления и сравнения сигналов. В простейшем усилителе (рис. 1,*а*) при отклонении струи, выходящей из сопла *1* с давлением питания $P_{пит}$ = const, малым давлением $P_{упр}$, подводимым к каналу управления *2*, на выходе элемента в канале *3* получается усиленный сигнал $P_{вых}$ (хар-ка *1* на рис. 1,*б*). При последоват. соединении неск. элементов этого типа увеличивается крутизна хар-ки $P_{вых} = f(P_{упр})$ (хар-ка *2* на рис. 1,*б*). При подведении к соплу вместо давления $P_{пит}$ давления P_1 и к каналу *2* давления P_2 (рис. 1,*в*) струйный элемент, при соответствующем выборе его хар-к, работает как элемент сравнения: давление $P_{вых}$ остается неизменным при изменении P_1 и P_2, если P_1 и P_2 меняются одинаково, т. к. $P_{вых}$ растет с увеличением P_1 и уменьшается с увеличением P_2.

С. э. начинают широко применяться и для построения пневматич. и гидравлич. приборов дискретного действия (логич. и др.). В струйном реле, действие к-рого основано на

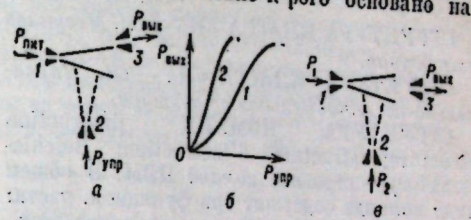


Рис. 1.

использовании отрыва пограничного слоя (рис. 2,*а*), $P_{вых}$ меняется скачком при плавном изменении $P_{упр}$ благодаря отрыву пограничного слоя от стенки обтекаемого профиля. Этот же элемент используется в качестве логич. элемента «не», а при наличии в нем двух каналов управления (рис. 2,*б*) — логич. элементов «и» или «или». С введением положит. обратной связи и при наличии дополнит. канала управления *4* (рис.2,*в*) данный элемент служит ячей-

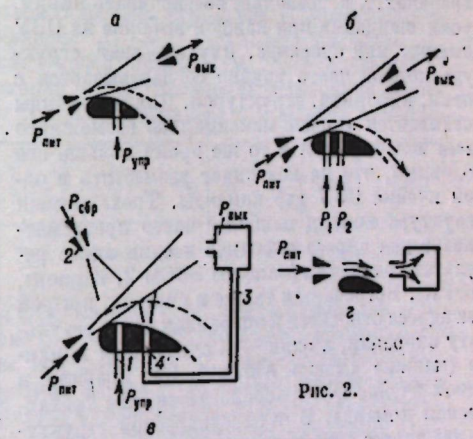


Рис. 2.

кой запоминания сигналов (*1*, *2* — каналы управления, *3* — канал обратной связи). С. э. могут быть и генераторами колебаний (рис. 2,*г*) и др.

В С. э. одни и те же операции могут выполняться различными способами, напр. для запоминания сигналов можно использовать св-ва пристеночных течений (рис. 2,*в*), но можно пользоваться и одними только процессами взаимодействия струй (рис. 3,*а*). По этой же схеме могут строиться элементы, выполняющие ф-ции реле и усилителей. С. э., выполняющие логич. операции «и» и «или», могут быть как активными, так и пассивными. Напр., операция «и» выполняется элементом, изображенным на рис. 3,*б*: в выходном канале *3* создается давление лишь тогда, когда поданы входные давления и по каналу *1* и по каналу *2*. Схема рис. 3,*в*, в отличие от предыдущей, имеет два дополнит. приемных канала *4* и

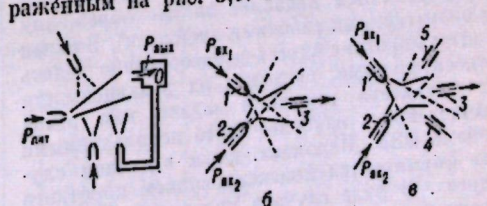


Рис. 3.

5, при снятии сигналов с объединенного выхода к-рых реализуется логич. операция «не равнозначно» и т. д.

Лит. см. при ст. *Струйная техника.*

А. М. Семикова.

СТРУКТУРА КЛАССА «Н» — см. *Мостовая структура.*

СТРУКТУРА КЛАССА «П» — см. *Параллельно-последовательная структура.*

СТРУКТУРА КОМАНД (instruction structure; structure d'instruction; Befehlsstruktur) — строение *команд* ЦВМ. В общем виде команда содержит три функцион. части: адресную A, операционную Q и служебную, или индексную, S, а также информационную часть D.

В а д р е с н о й части расположены адреса *операндов*, результатов операций или следующих команд. Многоадресные команды имеют два или более адреса. Двухадресная команда содержит либо два адреса операндов (один из них может являться адресом результата), либо адрес операнда (результата) и адрес следующей команды. Последний вариант удобен при оперативных ЗУ (ОЗУ) на магнитных барабанах, т. к. позволяет обеспечивать миним. время ожидания при каждой выборке из ОЗУ команды или операнда. Двухадресная структура команд часто трудно согласовывается с оптим. информац. структурой. Длина команды оказывается меньше максимально возможного *слова машинного* и в то же время больше его половины, что не позволяет разместить в одной ячейке ОЗУ две команды. Трехадресная структура команд наиболее часто предусматривает два адреса операнда и один адрес результата операции (машины БЭСМ-2, «Орион», НОРК). Встречается также и система, в к-рой два адреса относятся к операндам или к результату операции, а один — к следующей команде (машина «Дьюс», Англия). Как правило, в одной ячейке ОЗУ располагается одна трехадресная команда. В четырехадресной структуре два адреса относятся к операндам, третий — к результату операции, а четвертый — к следующей команде. Пятиадресные структуры (машина САПО, Чехословакия) предусматривают два адреса для указания следующей команды. Выбор того или иного адреса определяется спец. условиями, т. е. каждая команда является командой условного перехода.

Различают: 1) равномерные С. к., в к-рых все адреса имеют одинаковую длину и строение; 2) неравномерные С.к., к-рые предусматривают один или два адреса, охватывающие все ячейки и зоны ЗУ, и 3) короткие адреса, связанные с ограниченным объемом ОЗУ. Короткие адреса оперируют с теми участками ОЗУ, к к-рым осуществляются наиболее частые обращения (с оперативными рабочими ячейками). В связи с этим короткие адреса целесообразно делать относительными, связывая их в зависимости от характера решаемой задачи или этапа вычислений с наиболее часто используемыми зонами ОЗУ. Исполнит. адрес в данном случае формируется индексированием короткого адреса. В ряде случаев короткие адреса относят к спец. сверхбыстродействующим ОЗУ небольшой емкости, устраиваемым в машинах для повышения быстродействия. Неравномерные С. к. применяют для повышения эффективности использования адресной части команды, а в ряде случаев — и для повышения быстродействия машины (снижения времени дешифрации адресов, к-рые используются наиболее часто). Неравномерные С. к. наз. иногда 1,5-адресной, 2,5-адресной и т. д.

Одноадресная структура предусматривает в адресной части лишь один адрес, к-рый означает, в зависимости от кода операции или спец. признаков, адрес операнда, результата операции или адрес следующей команды (в командах перехода). Она удобно вписывается в разрядную сетку машины, позволяет существенно расширить логич. возможности команды при полной адресации ЗУ больших объемов (оказывается возможным вводить в команду большое число вспомогат. признаков), либо размещать в одной ячейке по две команды, повышая эффективность использования ОЗУ. Уменьшение количества адресов в команде повышает роль неявной адресации — адресации отдельных регистров (напр., регистра результата АУ), определяемой характером выполняемой операции. При этом получает широкое применение спец. размещение информации, позволяющее в сочетании с неявной адресацией свести к минимуму число обращений к ЗУ в процессе вычислений. В одноадресной С. к. эти возможности используются наиболее полно.

Предельным вариантом является безадресная (нульадресная) С. к., в к-рой вообще отсутствует адресная часть. Она бывает двух типов: 1) предусматривающая размещение операндов в самой команде и 2) использующая спец. расположение операндов в ОЗУ машины и выборку их из ОЗУ по заранее определ. порядку. Безадресные С. к. 1-го типа обеспечивают высокую производительность машины, поскольку исключают обращение к ОЗУ за операндом, но не позволяют использовать в полной мере разрядную сетку машины для представления обрабатываемой информации и в то же время ограничивают возможности управляющих частей команды. Оперируют всегда с короткими операндами. В случае небольших по объему программ и обширных информац. массивов такая безадресная С. к. малоэффективна. Применяется чаще всего в сочетании с др. структурами.

Безадресные С. к. 2-го типа максимально используют неявную адресацию операндов в сочетании с объединением их в группы. Команды в этом случае оказываются весьма компактными. В одной ячейке располагается неск. команд (машина В-5000, США).

О п е р а ц и о н н а я часть команды предназначена для размещения кода, определяющего характер выполняемой операции. В машине операц. часть воздействует на дешифратор операций, преобразующий код операции в систему управляющих сигналов, к-рые поступают на исполнит. элементы. Длина операц. части определяется набором операций в ЦВМ и для каждой машины, как правило, постоянна. Иногда она содержит отдельные группы разрядов для определения типа операции и для задания нек-рых частных особенностей выполняемой операции. В машине БЭСМ для выполнения вспомогат. ф-ции служит 6-й разряд. Напр., код 001000 определяет умножение двух чисел, а код 101000 — умножение чисел с блокировкой нормализации. В ряде машин наряду с указанием типа операции код операции выполняет также и ряд служебных ф-ций, напр. определяет модифицируемые адреса при групповых операциях (машина «Стрела»).

С л у ж е б н а я (индексная) часть команды содержит ряд признаков или вспомогат. кодов, обеспечивающих требуемый режим выполнения команды. Наиболее часто служебная часть содержит индексы модификации команды. В простейшем случае, при одном регистре модификации или жестком закреплении за каждым адресом своего регистра, таким индексом являются двоичные цифры (по одной цифре на каждый адрес), определяющие модифицируемость того или иного адреса (машина «Киев»). При широко развитой системе индексации индексами модификации являются многоразрядные коды, определяющие номер индексного регистра, выбираемого для модификации соответствующего адреса (машина «Стретч»). В случае сложной индексации служебная часть может содержать индекс 2-го порядка — номер регистра для модификации осн. индекса. Из др. служебных признаков можно отметить: признак структуры команды — код, определяющий тип С. к. при перем. структуре; признак реализуемости команды, задающий условия, при к-рых команда выполняется; признак остановки машины после выполнения команды; признак типа адресов (абсолютный или относительный) и т. д. Неск. обособленно по своему функцион. назначению выделен в служебной части контрольный код команды, служащий для аппаратурной проверки правильности передачи команды между устройствами и блоками машины. Иногда с помощью контрольного кода проверяют правильность функционирования программы решения задачи. В этом случае С. к. предусматривает размещение контрольного признака следующей команды.

И н ф о р м а ц и о н н а я часть содержит операнд, над к-рым производится операция. Наиболее развита в нек-рых безадресных структурах. В командах с явно выраженными адресами информац. часть встречается редко и имеет вспомогат. значение.

С увеличением адресности команд облегчается программирование и уменьшается объем программы, поскольку каждая команда в этом случае выполняет больше ф-ций. Производительность машин зависит от характера решаемой задачи и от способа организации вычислит. процесса. При выполнении независимых операций, когда операнды и результаты смежных операций между собой не связаны, многоадресные структуры обеспечивают большую скорость вычисления. Для выполнения каждой операции в этом случае требуется, напр., одна трехадресная команда с четырьмя обращениями к ОЗУ вместо трех одноадресных с шестью обращениями к ОЗУ. Взаимно связанные операции, когда результат предыдущей операции является операндом последующей, эффективней выполняются одноадресными или даже нульадресными командами. При многоадресных командах в этом случае появляются холостые обращения к ЗУ машины, что снижает скорость вычислений. Поэтому весьма перспективными являются переменные С. к., позволяющие для каждой задачи или даже для каждого этапа решения выбрать наиболее эффективную структуру. Требуемая С. к. может либо жестко устанавливаться перед решением задачи, либо меняться оперативно по спец. признакам в служебной части команды. К первому типу можно отнести перем. С. к. машины СЕАК, в к-рой предусмотрен переход простым переключением с трехадресной структуры на четырехадресную и наоборот. На рис. 1 дана трехадресная, а на рис. 2 — четырехадресная структуры команд машины СЕАК. В трехадресной структуре A_1, A_2, A_3 являются адресами 1-го операнда, 2-го операнда и результата операции; часть $/$ содержит признаки относит. адресов и номер управляющего счетчика команд; Q — код операции; ε — двоичная цифра, управляющая остановкой машины. Четырехадресная структура содержит адреса операндов A_1, A_2, результата операции A_3 и следующей команды A_4, код операции Q и разряд ε для управления остановкой машины. На рис. 3 показана оперативно изменяемая структура. Базовая С. к , реализуемая при признаке С.к., равном 00, содержит: шестиразрядный код операции Q; три шестиразрядных коротких адреса — A_1 (адрес 1-го операнда), A_2 (адрес 2-го операнда), A_3 (адрес результата), отнесенные к сверхбыстродействующему ОЗУ емкостью в 63 числа; три признака модификации — a_1, a_2, a_3, указывающие один из трех регистров модификации; признак структуры команды — *ПСК*; двухразрядный код γ, определяющий условия реализации команды, и трехразрядный контрольный код *КК*. При необходимости обращения к большому ОЗУ машины адреса A_1, A_2 воспринимаются в виде единого адреса $A_1 \cdot A_2$. Если выполняются взаимосвязанные операции, то в команде предусматривается блокировка обращения к ЗУ машины с неявной адресацией регистра результата *РР*. Система трансформации адресной части С. к. в зависимости от *ПСК* отражена в табл.

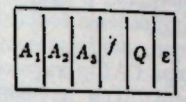


Рис. 1. Трехадресная структура.

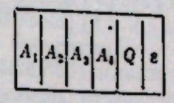


Рис. 2. Четырехадресная структура.

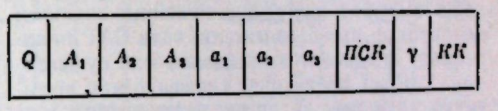


Рис. 3. Оперативно изменяемая структура.

ПСК	1-й операнд	2-й операнд	Результат	*ПСК*	1-й операнд	2-й операнд	Результат
00	A_1	A_2	A_3	12	$A_1 \cdot A_2$	*РР*	A_3
01	*РР*	A_2	A_3	21	*РР*	A_2	$A_1 \cdot A_2$
02	A_1	*РР*	A_3	31	*РР*	*РР*	$A_1 \cdot A_2$
10	$A_1 \cdot A_2$	A_3	*РР*	32	A_3	*РР*	$A_1 \cdot A_2$
20	A_3	$A_1 \cdot A_2$	*РР*	33	*РР*		

В машине «Гамма-60» переменная структура команд организуется неск. иначе. Число адресов в команде, так же как и длина команды, определяется количеством стандартных информац. частей — катэнов, из к-рых строится

каждая команда. В зависимости от количества и взаимного расположения катэпов команды могут быть одно-, двух- или трехадресные. Перспективными являются произвольные С. к., к-рые могут устанавливаться оператором перед решением задачи. Так, напр., в машине *AN|UYK-1* для каждой задачи или группы задач можно произвольно задавать оптимальную С. к., набор операций, длину слова и т. д. *И. А. Данильченко.*

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА (в регулировании) (block diagram; schema fonctionnel; Strukturschema) — схема, показывающая взаимосвязь составных частей САР и характеризующая ее динамич. св-ва. При изучении динамики процессов, происходящих в САР, в теории регулирования отвлекаются от конкретной физ. природы регулируемой величины и аппаратуры, а интересуются лишь матем. моделью процессов регулирования. Поэтому, в отличие от блок-схемы, С. с. состоит из звеньев, к-рые характеризуются передаточными ф-циями, одно устройство может быть представлено неск. звеньями и наоборот. С этой точки зрения любую САР можно представить состоящей из элементарных звеньев, число типов к-рых невелико.

С. с. любой САР, какой бы сложной она ни была, состоит из 4 типов структурных элементов: 1) структурных элементов направленного действия, представляющих линейные звенья и нелинейные преобразователи, если САР нелинейная; 2) элементов сравнения или сумматоров, в к-рых происходит сложение или вычитание сигналов; 3) точек разветвления или узлов, в к-рых путь распространения сигналов разветвляется на неск. путей, ведущих к различным точкам системы; 4) связей или линий С. с., указывающих направления распространения сигналов.

С. с. может быть преобразована к виду, наиболее удобному для исследования. Рассмотрим нек-рые основные правила преобразования С. с. Неск. последовательно соединенных элементов (рис. 1, *а*) с передаточными

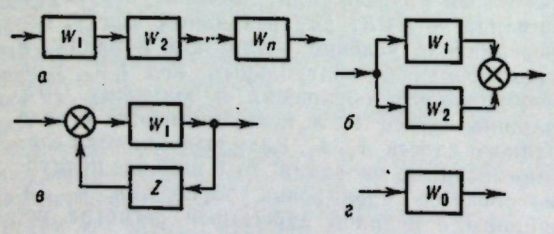


Рис. 1.

ф-циями $W_1, W_2, \ldots, W_n$ можно заменить одним элементом (рис. 1,*г*) с передаточной ф-цией $W_0 = \prod_{i=1}^{n} W_i$. Неск. параллельно соединенных элементов (рис. 1,*б*) можно заменить одним элементом (рис. 1,*г*) с передаточной ф-цией $W_0 = \sum_{i=1}^{n} W_i$. Элемент, охваченный обратной связью (рис. 1,*в*), можно заменить также одним элементом с передаточной ф-цией $W_0 = W_1/(1 + W_1 Z)$. Можно производить различные взаимные перестановки узлов и сумматоров (рис. 2). Знак равенства означает эквивалентность С. с. Неэквивалентные участки тракта заштрихованы. Как показано на рис. 2, *в* и *г*, перестановка узла через сумматор

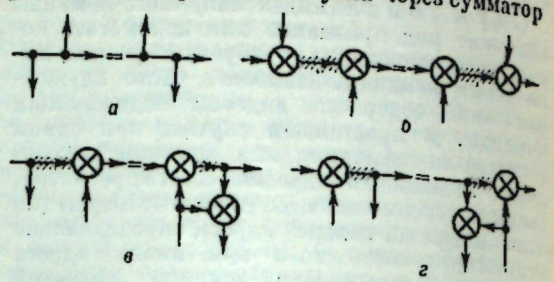


Рис. 2.

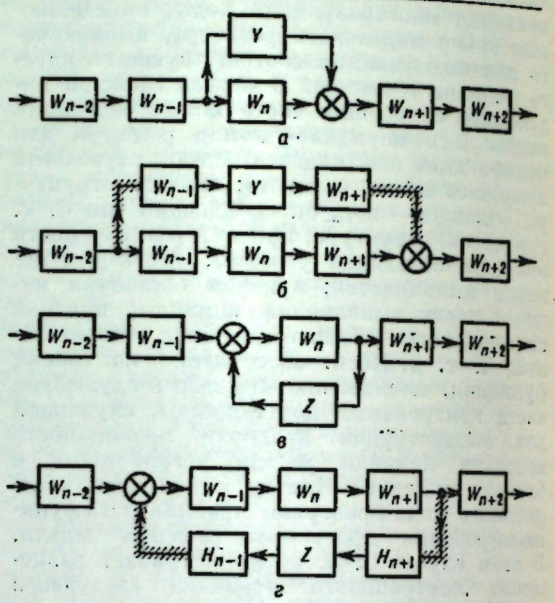


Рис. 3.

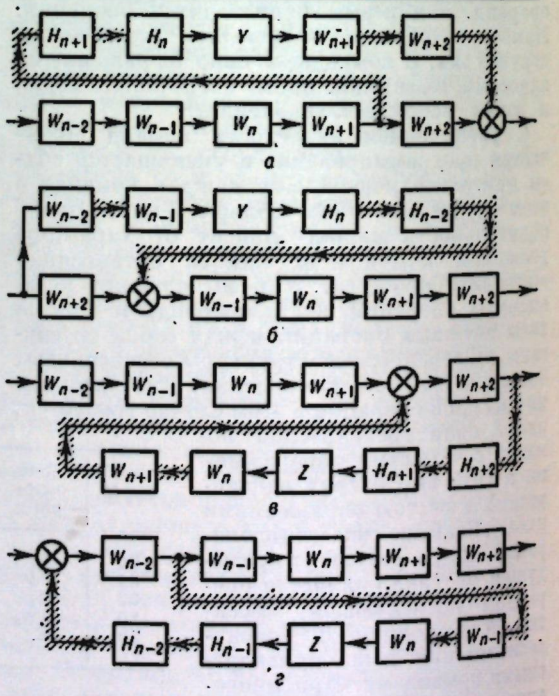
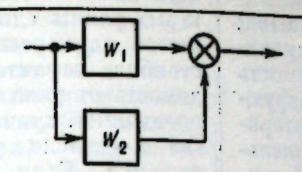
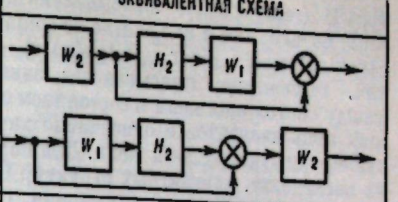
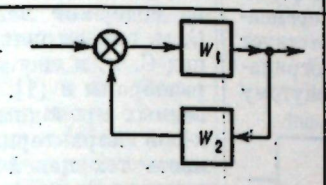
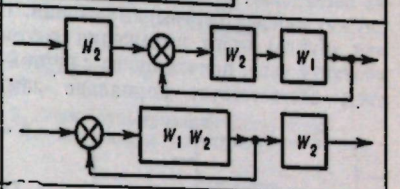
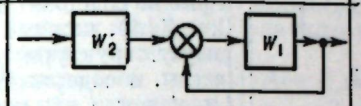
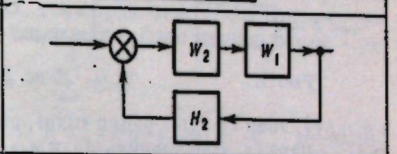
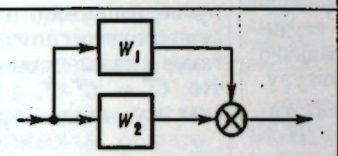
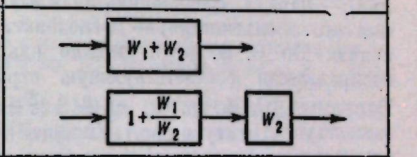
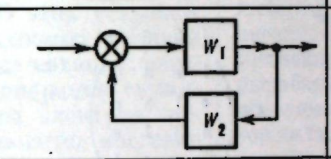
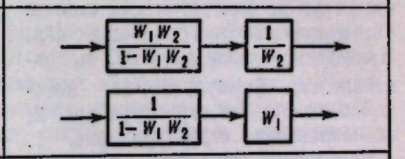
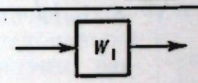
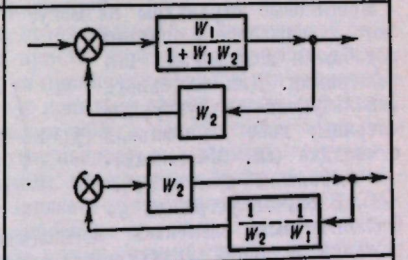
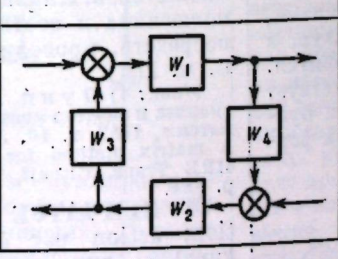
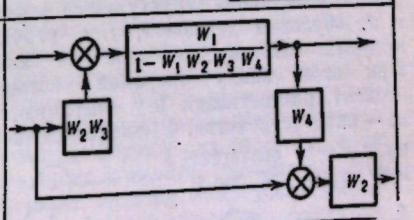


Рис. 4.

и обратно требует для эквивалентности С. с. введения добавочных линий связи. Рис. 3 иллюстрирует условия переноса узлов и сумматоров через линейные звенья без нарушения эквивалентности преобразованной и исходной С. с. При переносе сумматора через звено по ходу сигнала или узла через звено — против хода сигнала, в добавочный тракт вводятся дублирующие звенья (схема 3,*б*, эквивалентная схеме 3,*а*). При переносе сумматора через звено против хода сигнала, или узла — по ходу сигнала, в добавочный тракт вводятся нейтрализующие звенья, обладающие инверсной передаточной ф-цией $H_i = 1/W_i$ (схема 3,*г*, эквивалентная схеме 3,*в*). На рис. 4 узлы и сумматоры перенесены на новые звенья прямого тракта. С. с. на рис. 4,*а*, *б* эквивалентны С. с. рис. 3,*а*, а С. с. на рис. 4,*в*, *г* эквивалентны С. с. рис. 3, *в*. Обходя любой контур по ходу сигнала, легко заметить, что исходное и нейтрализующее звенья, напр. звенья W_{n+2} и H_{n+2} (рис. 4,*в*), являются смежными и взаимно нейтрализуются, образуя единичный коэфф. передачи, тем самым становятся смежными в том же контуре звенья W_{n+1} и H_{n+1}, также нейтрализующиеся в единицу. Благодаря этому создается эквивалентность исходной и преобразованной схем на незаштрихованных участках. Приведенные выше правила преобразования С. с. для линейных систем с пост. параметрами можно распространить и на линейные системы с переменными параметрами. В табл. даются примеры преобразований С. с.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ	ИСХОДНАЯ СХЕМА	ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА
Перемещение линейного звена через ответвление прямой связи		
Перемещение линейного звена через ответвление обратной связи		
Введение внешнего линейного звена внутрь контура		
Исключение параллельной цепи путем введения дополнительного члена в линейное звено		
Исключение контура обратной связи путем введения дополнительного члена в линейное звено; это приводит к образованию новых полюсов		
Замена системы ее алгебраическим эквивалентом; введение контура обратной связи		
Упрощение контура с двумя сумматорами		

Лит.: Смит О. Дж. М., Автоматическое регулирование, пер. с англ., М., 1962; Кузовков Н. Т., Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах, 2 изд., М., 1960; Шаталов А. С., Структурные методы в теории управления и электроавтоматике, М.—Л., 1962; Солодов А. В., Линейные системы автоматического управления с переменными параметрами, М., 1962.

В. С. Косиков.

СТРУКТУРНАЯ ФОРМУЛА РЕЛЕЙНОЙ ЦЕПИ (relay circuit structural formula; formule de structure d'une chaîne de commutation; Strukturformel einer Relaiskette) — аналитич. выражение, описывающее зависимость между состоянием цепи и состоянием образующих цепь элементов и однозначно характеризующее структуру этой цепи. Для параллельно-последоват. контактных структур С. ф.р.ц. служат логич. (булевы) выражения. Переменная (буква) этого выражения соответствует контакту реле, причем буква с чертой-отрицанием соответствует нормально замкнутому

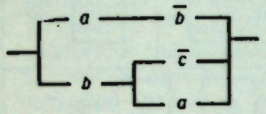


Рис. 1.

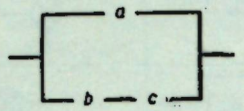


Рис. 2.

контакту, знак «+» (операция «или», дизъюнкция) — паралл. соединению, знак «·» (операция «и», конъюнкция) — последоват. соединению. По С. ф. р. ц. можно однозначно воспроизвести соответствующую структуру. Например, С. ф. р. ц. $a\bar{b} + b(\bar{c} + a)$ соответствует структура рис. 1. Упрощение структур при этом сводится к упрощению соответствующих ф-л. Приведенная выше С. ф. р. ц. эквивалентна формуле $a + b\bar{c}$, которой соответствует структура рис. 2, эквивалентная структуре рис. 1.

Мостиковые структуры не могут быть однозначно описаны подобными логическими выражениями. Для их записи используются структурные матрицы, либо специальная символика (см. *Многополюсное соединение релейных цепей*). В случае устройств на бесконтактных элементах логические выражения являются структурными формулами, т. н. «булевых деревьев», т. е. структур, в которых выходы элементов не ветвятся. При этом знаку операции соответствует элемент, реализующий эту операцию, а букве — вход устройства. Вышеприведенной формуле $a + b\bar{c}$ соответствует структура рис. 3.

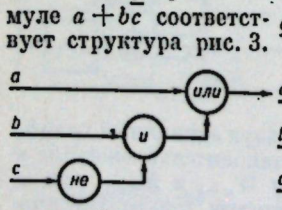


Рис. 3.

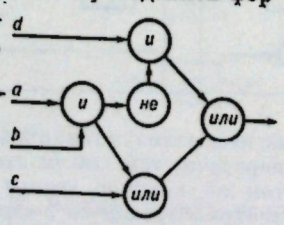


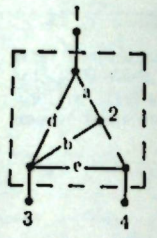
Рис. 4.

Устройство, в к-ром выходы нек-рых элементов ветвятся, не может быть однозначно описано логич. структурной ф-лой. Напр., устройство на рис. 4 содержит 5 элементов, однако логич. выражение $c + ab + a\bar{b}\cdot d$ для реализуемой им ф-ции содержит минимум 6 операций (два «или», три «и» и одно «не»).

В. М. Остиану.

СТРУКТУРНЫЕ МАТРИЦЫ (structural matrices; matrices de structure; Strukturmatrizen) — построенные над булевой алгеброй матрицы (т. е. матрицы, составленные из переменных булевой алгебры, см. *Алгебра логики*) $A\,n\times n$, элементы главной диагонали к-рых равны единице, а элементы a_{ij}, находящиеся на пересечении i-той строки и j-того столбца, характеризуют структурную проводимость от узла i к узлу j контактного многополюсника, причем $i=1, 2,..., n$; $j=1, 2,..., n$, где n — число узлов контактного многополюсника. Если контактный многополюсник не содержит вентильных элементов, то его С. м. симметрична, т. к. $a_{ij} = a_{ji}$. Действия над С. м. и ее теоретико-множественные св-ва разобраны в [1]. Различают С. м. непосредственных проводимостей C, каждый элемент c_{ij} к-рой характеризует структурную проводимость тех цепей между узлом i и узлом j, к-рые не содержат др. узлов, и характеристич. С. м. $\chi(A)$, каждый элемент χ_{ij} к-рой характеризует структурную проводимость всех цепей (в т. ч. и содержащих др. узлы) между узлом i и узлом j. В теории *релейных устройств* показывается, что между С. м. непосредств. проводимостей C и ее характеристич. С. м. $\chi(C)$ существует соотношение $\chi C = C^r$, где r — такое наименьшее целое положит. число, что $C^r = C^{r+1}$, а возведение в степень означает матричное произведение одинаковых со-

$$A = \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 1 & a & d & 0 \\ a & 1 & b & c \\ d & b & 1 & e \\ 0 & c & e & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$



$$\{\chi(A) = \begin{pmatrix} 1 & a+d(b+ce) & d+a(b+ce) & a(c+be)+d(e+bc) \\ a+d(b+ce) & 1 & b+ce+ad & c+e(b+ad) \\ d+a(b+ce) & b+ce+ad & 1 & e+c(b+ad) \\ a(c+be)+d(e+bc) & c+e(b+ad) & e+c(b+ad) & 1 \end{pmatrix}$$

множителей. На рис. приведены: пример многополюсника и соответствующие ему С. м. непосредств. проводимостей A и характеристич. С. м. $\chi(A)$.

Лит.: 1) Л у н ц А. Г., Алгебраические методы анализа и синтеза контактных схем, «ИАН СССР. Сер. матем.», 1952, т. 16, № 5, с. 405; 2) H o h n F. E., A matrix method for the design of relay circuits, «IRE Trans. Circuit Theory», 1955, v. CT-2, № 2, p. 154.

Ю. Л. Томфельд.

СТУПЕНЧАТОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (step action; action par échelons; stufenweise Wirkung) — типовое воздействие, применяющееся при анализе динамики САР. Примерами С. в. служат разрывы и замыкания цепи в электрич. схемах, сбросы и набросы нагрузки в системах регулирования скорости двигателей. С. в. простейшего вида дано на рис. 1 и 2. Оно равняется пост. величинам на интервалах времени $t<t_0$, $t>t_0$ и изменяется скачком в точке t_0. С. в., представленное на

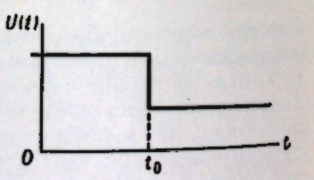


Рис. 1.

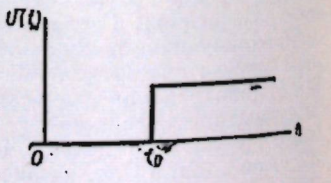


Рис. 2.

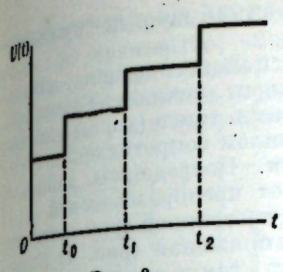


Рис. 3.

рис. 2 с точностью до пост. множителя, сдвига во времени и пост. слагаемого соответствует *единичному ступенчатому воздействию*. С. в. более сложного вида дано на рис. 3.

Л. П. Сысоев.

СУММАТОР (суммирующее устройство) (adder; sommateur; Addierer, Addierwerk)—устройство для образования суммы нескольких физич. величин в АВМ. В зависимости от физич. природы входных и выходных величин С. делятся на механич., электромеханич. и электрические. Применение механич. С. ограничивается случаями суммирования линейных (логарифмич. линейка) и угловых (суммирующий дифференциал) перемещений. Последний удобен при суммировании угловых перемещений, изменяющихся в широком диапазоне [1].

Электромеханич. С. используются для суммирования величин, измеряемых в территориально удаленных точках. В этих устройствах значения входных и выходных величин задаются и образуются в виде механич. перемещений, а при выполнении операции суммирования используются законы электрич. цепей. К электромеханич. С. относится мостовая схема, в к-рой при балансе моста значение сопротивления одного из плеч, пропорциональное углу поворота выходного вала системы, равно сумме сопротивлений, включенных в смежном плече мостовой схемы.

Рис. 1. Схема суммирования по току.

В основе электрич. схем суммирования используется два метода: суммирование по току и суммирование напряжений. В схеме суммирования по току (рис.1) входные напряжения E_i преобразуются в токи, протекающие через сопротивления z_i; выходное напряжение U образуется в результате падения напряжения от суммы токов на сопротивлении цепи нагрузки. В схеме суммирования напряжений (рис. 2) источники суммируемых напряжений соединяются последовательно. Наибольшее применение в схемах электронных АВМ получила схема суммирования токов, дополненная операц. усилителем (рис. 3) для повышения точности, увеличения амплитуды и мощности выходного сигнала, а также для обеспечения взаимной независимости входных напряжений. В схеме рис. 3 усилитель является нуль-органом, поддерживающим равенство тока в цепи обратной связи сумме токов во вход-

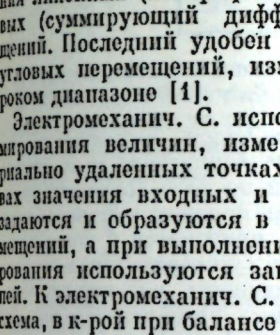


Рис. 2. Схема суммирования по напряжению.

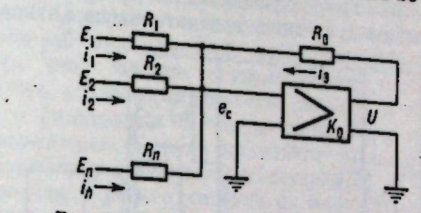


Рис. 3. Схема суммирования токов, дополненная операц. усилителем.

ных цепях усилителя так, чтобы напряжение на входе усилителя e_c было минимальным. При этом $U = -\sum_{i=1}^{n} E_i \frac{R_0}{R_i}$.

Лит.: 1) К о б р и н с к и й Н. Е., Математические машины непрерывного действия, М., 1954; 2) К о г а н Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, 2 изд., М., 1963.

И. М. Витенберг.

СУММИРОВАНИЕ ТЕЛЕИЗМЕРЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН (indications summation in telemetering; sommation des indications en télémesure; Summierung von Fernmessanzeigen) — применяются при ТИ суммарных мощностей, вырабатываемых электростанциями и энергообъединениями, суммарных расходов продуктов на газо-, нефтепромыслах и трубопроводах и др. показателей.

С. т. в. осуществляется: на передающей стороне, на пункте управления (диспетчерском пункте), на приемной стороне. На передающей стороне оно повышает эффективность информации, передаваемой по каналу связи, поскольку вместо индивидуальных величин передаются их суммы. Суммируемые величины должны линейно зависеть от измеряемых параметров; нулю измеряемого параметра должен соответствовать нуль суммируемой величины; постоянная суммирования (значение суммируемой величины, приходящееся на единицу измеряемого параметра) должна быть одинакова для всех слагаемых. С. т. в. производится суммированием как самих измеряемых величин, напр. магнитодвижущих сил (мдс) или механич. вращающих моментов, создаваемых ими, так и вспомогат. величин, напр. токов, напряжений, емкостей, сопротивлений, числа импульсов, цифровых кодов и т. д. Непосредств. суммирование токов во вторичных цепях тр-ров тока $T_1,..., T_n$ (рис. 1) применяется при

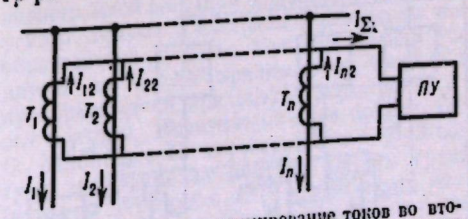


Рис. 1. Непосредств. суммирование токов во вторичных цепях тр-ров тока: ПУ — передающее устройство; I_1, ..., I_n — суммируемые токи.

сравнительно грубых измерениях, т. к. при отключении одной из цепей тр-р тока этой цепи питается со вторичной стороны др. тр-рами тока, входящими в схему суммирования, а это вызывает погрешность. Необходимо, чтобы

коэфф. трансформации всех тр-ров тока были бы равны, хотя в нек-рых случаях это выполнить не удается. Сложение мдс этим методом (рис. 2) не требует равенства коэфф. трансформации; следует лишь изменить число витков

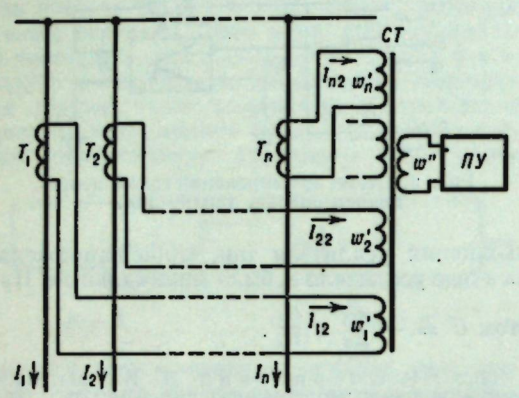


Рис. 2. Сложение мдс посредством суммирующего тр-ра: СТ — суммирующий тр-р; $w_1', \ldots, w_n'$ — первичные, w'' — вторичная обмотка тр-ра.

первичных обмоток тр-ра *СТ*. Однако иногда может возникнуть дополнит. погрешность из-за невозможности получить необходимое число витков на тр-ре для каждого слагаемого. При суммировании мдс, при отключении одной из суммируемых цепей также возникает погрешность, вызываемая намагничивающим током, потребляемым тр-ром тока отключенной цепи.

Суммирование мдс и токов приемлемо только при измерении суммарных мощностей генераторов, работающих на общую систему шин, или при измерении мощностей, потребляемых нагрузками, питаемыми от одной системы шин.

При суммировании мощностей цепей, не имеющих общих питающих шин, используется суммирование вращающих моментов. Ряд индукц. ваттметровых элементов воздействует на одну вращающую систему. Каждые два элемента создают момент, пропорциональный мощности данного слагаемого. Если мощность, приходящаяся на единицу вращающегося момента, у всех слагаемых одинакова, то суммарный момент, а следовательно и скорость вращения подвижной системы, будут пропорциональны суммарной измеряемой мощности. Погрешность суммирования в этом случае определяется тем, что при отключении к.-л. слагаемого пропадет не только

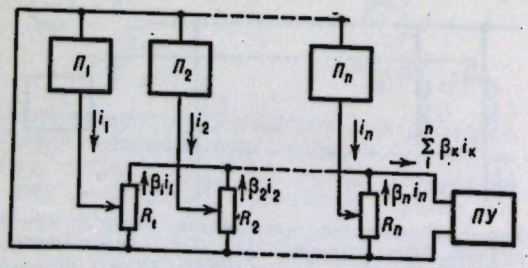


Рис. 3. Суммирование пост. или выпрямл. токов: $i_1, \ldots, i_n, i_k$ — токи; $\beta_1, \ldots, \beta_n, \beta_k$ — коэффициенты.

вращающий момент, создаваемый им, но и тормозной момент, создаваемый его обмотками напряжения. Число слагаемых при суммировании моментов обычно не превышает четырех.

Суммирование вспомогат. величин широко применяется в измерит. технике. Суммирование пост. или выпрямл. токов (рис.3) наиболее рационально при малом сопротивлении общей цепи суммирования. Посредством делителей $R_1, \ldots, R_n$ все токи от преобразователей $П_1, \ldots, П_n$ приводятся к постоянной суммирования.

Суммирование напряжений (рис. 4) применяется как при пост., так и при перем. токах.

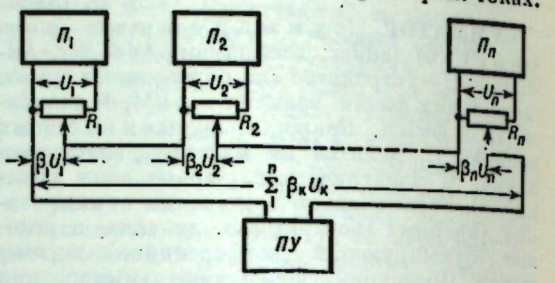


Рис. 4. Суммирование напряжений: $U_1, \ldots, U_n, U_k$ — напряжение; $R_1, \ldots, R_n$ — делители напряжения.

При суммировании перем. напряжений необходимо обеспечить совпадение всех суммируемых напряжений по фазе. Посредством делителей $R_1, \ldots, R_n$ напряжения от преобразователей $П_1, \ldots, П_n$ приводятся к постоянной суммирования. При суммировании напряжений дополнит. погрешность, вносимая в показания индивидуальных преобразователей, будет тем меньше, чем больше сопротивление общей цепи суммирования.

В нек-рых устройствах ТИ осуществляется суммирование емкостей конденсаторов перем. емкости $C_1, \ldots, C_n$ (рис. 5). Последние должны иметь линейную зависимость между емкостью и суммируемым параметром. Обычно ротор конденсатора соединяется с осью измерит. прибора. Конденсаторы всех преобразователей соединяются параллельно и подключаются к передающему устройству *ПУ* (*RC*-генератору). Частота на входе последнего зависит от величины суммарной мощности.

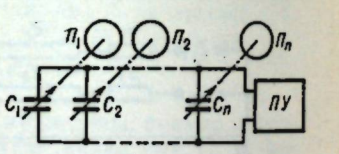


Рис. 5. Суммирование емкостей: $П_1, \ldots, П_n$ — измерит. приборы.

Суммирование импульсов применяется в счетно-импульсных и частотно-импульсных системах ТИ. Для правильного суммирования необходимо предотвратить совпадение («слияние») импульсов выбором параметров устройства т. о., чтобы вероятность совпадения импульсов была бы достаточно малой, или с «запасанием» импульсов, т. е. задержкой импульсов на время, пока осуществляется ввод в сумматор предыдущего импульса.

При использовании кодо-импульсных систем ТИ или при цифровой обработке сигналов аналоговых систем ТИ на пункте управления для суммирования, интегрирования и усреднения значений различных параметров за определ. интервал времени рационально использовать универсальные или спец. вычислит. устройства.

Лит.: Малов В. С., Телемеханика в энергетических системах, 2 изд., М.— Л., 1955; Казанский В. Е., Телеизмерение в энергосистемах, М.— Л., 1957.

А. М. Пшеничников.

СУММИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ (adding circuit; chaîne de sommation; Summationskette) — линейная электрич. цепь, используемая для суммирования величин, представленных электрич. токами i или напряжениями u. Различают пассивные и активные С. ц. Типовая схема пассивной С. ц. приведена на рис. 1. Здесь сила тока

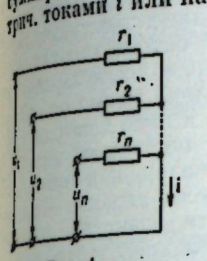


Рис. 1.

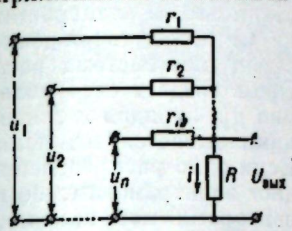


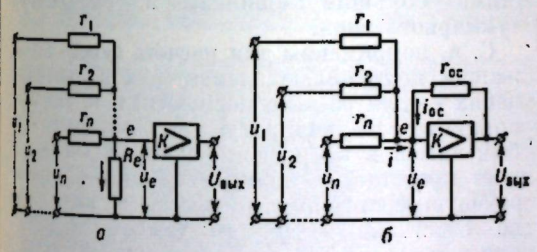
Рис. 2.

$$i=\frac{u_1}{r_1}+\frac{u_2}{r_2}+\ldots+\frac{u_n}{r_n}=\sum_{i=1}^{n}a_iu_i; \qquad a_i=\frac{1}{r_i},$$

т. е. взвешенной сумме входных напряжений. Если необходимо получить выходной сигнал в форме напряжения, то в цепь тока i необходимо ввести сопротивление R (рис.2). При этом выходное напряжение

$$U_{вых}=\sum_{i=1}^{n}b_iu_i-U_{вых}\sum_{i=1}^{n}b_i; \quad b_i=\frac{R}{r_i}, \quad (1)$$

т. е. возникает погрешность суммирования, к-рая растет с увеличением макс. амплитуды выходного сигнала. Эта погрешность может быть уменьшена до очень малых значений путем использования активных элементов — усилителей пост. тока.



а *б*

Рис. 3.

Принцип действия схемы активной С. ц. (рис. 3,*а*) основан на том, что потенциал «суммирующей» точки e

$$u_e=iR_e=\frac{1}{K}U_{вых}$$

может быть достаточно малым при достаточно больших значениях коэфф. усиления K усилителя. Работа схемы (рис. 3,*б*) описывается соотношением:

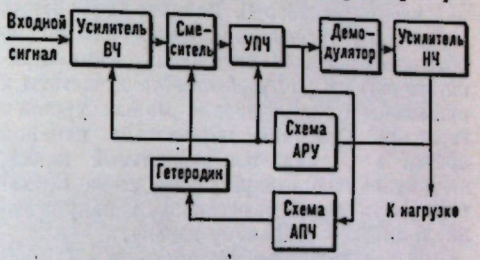
$$U_{вых}=\sum_{i=1}^{n}c_iu_i-\frac{U_{вых}}{K}\sum_{i=1}^{n}c_i; \quad c_i=\frac{r_{ос}}{r_i}. \quad (2)$$

Как видно из (2), при достаточно больших значениях K величина выходного напряжения мало зависит от его истинного значения и, следовательно, эта схема более стабильна.

Лит.: Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, 2 изд., М., 1963.

А. В. Шилейко.

СУПЕРГЕТЕРОДИН (superheterodyne; superhétérodyne; Superhet, Überlagerungsempfänger) — наиболее распространенный вид радиоприемного устройства, применяемый в диапазоне длинных, средних, коротких и ультракоротких волн. Основная особенность супергетеродинного метода приема радиосигналов — преобразование принимаемых сигналов к нек-рой пост. частоте, наз. промежуточной. На этой частоте осуществляется бо́льшая часть усиления принятого сигнала, а также его фильтрация. С. обычно состоит из: *преобразователя частоты* принятого сигнала, содержащего смеситель и гетеродин и переносящего спектр сигнала на промежуточную частоту; усилителя промежуточной частоты, усиливающего и фильтрующего принятый сигнал; демодулятора, извлекающего из принятого сигнала закон его модуляции (демодулятором может быть амплитудный либо частотный детектор); усилителя демодулированного сигнала, работающего на выходную нагрузку приемника (см. рис.). Часто перед преобразователем устанавливают усилитель ВЧ для усиления и селекции сигнала; его коэфф. усиления выбирается только с точки зрения обеспечения необходимого коэфф. шума приемного устройства и поэтому составляет малую часть общего усиления тракта. Кроме того, в состав С. входят различные схемы приемной автоматики: схема АРУ, поддерживающая пост. величину выходного уровня сигнала при всех изменениях его величины на входе приемного устройства; схема *автоматической подстройки частоты* гетеродина. Схемы реальных С. могут отличаться от приведенной на рис. отсутствием нек-рых ее составляющих, напр. усилителя ВЧ и схем приемной автоматики. Широкое распространение супергетеродинного метода радиоприема определяется рядом существенных технич. преимуществ С. перед приемниками прямого усиления: возможность получения стабильных св-в по избирательности и усилению в широком диапазоне принимаемых сигналов, простота настройки приемника и др. Эти преимущества реализуются вследствие того, что С. настраивается на выбранную частоту не перестройкой всех (или большинства) контуров усилит. тракта, а настройкой гетеродина преобразователя частоты. При применении усилителя на частоте принимаемого сигнала до преобразователя приходится перестраивать и его контуры. Практически при перестройке С. одной ручкой перестраивается 2—3 контура; остальные же контуры усилит. тракта (контуры усилителя ПЧ) имеют пост. настройку. Последнее позволяет строить эти контуры по весьма сложным схемам, обеспечивающим наилучшую избирательность при минимум. искажениях сигнала.



Преобразование частоты принятого сигнала к пост. для данного С. промежуточной частоте, наряду с преимуществами, к-рые оно дает, определяет один из существ. недостатков С.: возможность одновременного приема

посторонних сигналов, отличных по частоте от принимаемого; действительно, в преобразователе частоты сигналы промежуточной частоты $f_{пр}$ образуются вследствие сложения или вычитания частоты сигнала $f_с$ и его гармоник с частотой гетеродина $f_г$ и его гармониками. Следовательно, С. принимает все сигналы, частота к-рых

$$f_с = \frac{f_{пр} \mp f_г \cdot m}{\mp n},$$

где n и m — номера гармоник сигнала и гетеродина. Поэтому в С. существуют паразитные каналы приема сигналов: «зеркальный канал» — прием сигналов, отстоящих на удвоенную промежуточную частоту от основного сигнала; прием на гармониках гетеродина сигналов, отстоящих от гармоники гетеродина на промежуточную частоту; прием сигналов, равных или близких по частоте к промежуточной частоте данного С. Влияние паразитных каналов в современных С. ослабляется до необходимых пределов введением селекции принятого сигнала до преобразователя частоты и применением гетеродинов с малым уровнем гармоник. Основным паразитным каналом приема в С. является зеркальный канал, поэтому обычно избирательные св-ва С. характеризуются как по основному каналу приема, так и по зеркальному каналу.

Для увеличения избирательности в С. (гл. обр. спец. связных и радиолокационных) применяется многократное преобразование частоты, при к-ром первая промежуточная частота выбирается из условия обеспечения избирательности по зеркальному каналу, а значение последующих промежуточных частот выбирается с точки зрения оптим. осуществления избирательности по паразитным сигналам, близким по частоте к принимаемому сигналу.

Лит.: Сифоров В. И., Радиоприемники сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1957; Гуткин Л. С., Преобразование сверхвысоких частот и детектирование, М.— Л., 1953; Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, М., 1949; Харкевич А. А., Основы радиотехники, М., 1963; Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С., Радиоприемные устройства, 2 изд., М., 1959.

И. М. Мошкунов.

СУПЕРИКОНОСКОП [supericonoscope; supericonoscope; Fernschaufnahmeröhre (nach dem Superikonoskop-Prinzip)] (иконоскоп с переносом изображения) — передающая телевиз. трубка, в к-рой изображение проецируется на фотокатод и переносится излучаемыми им электронами на 2-й электрод, подвергаемый развертке электронным лучом. С. примерно в 10 раз чувствительнее иконоскопа. См. *Передающая телевизионная трубка.*

СУПЕРОРТИКОН [superorthicon; image-orthicon; Fernschaufnahmeröhre (nach dem Superorthykon-Prinzip)]—передающая телевиз. трубка (усовершенствованный *ортикон*), в к-рой применяется развертывающий луч с малой скоростью электронов (как в ортиконе) и изображение переносится с фотокатода на развертываемый электрод (как в супериконоскопе). Обычно в С. помещается также электронный умножитель, усиливающий ток сигнала. С. более чем в 1000 раз чувствительнее иконоскопа — обеспечивает нормальную передачу изображения при освещенности 5—10 *лк*. См. *Передающая телевизионная трубка.*

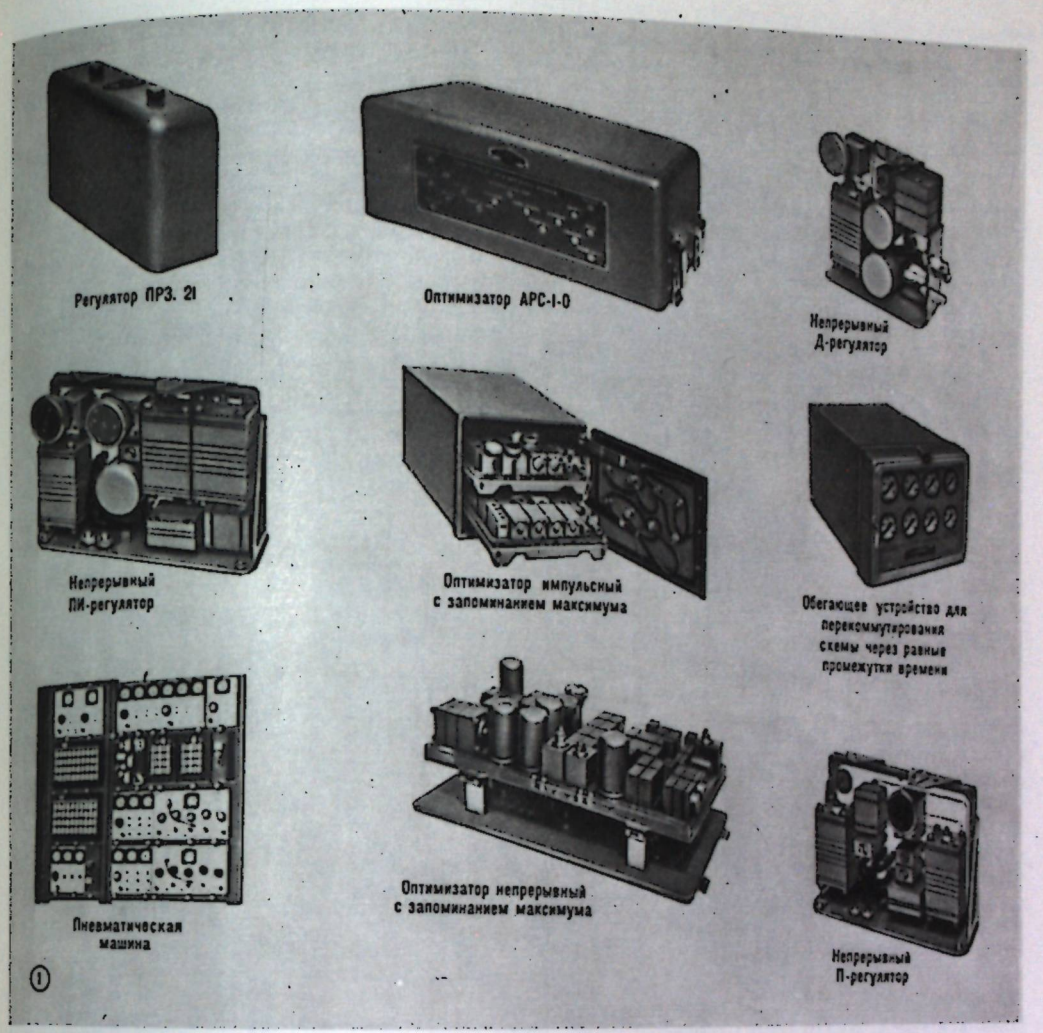
СУПЕРПОЗИЦИИ ПРИНЦИП, принцип наложения (superposition principle; principe de superposition; Superpositionsprinzip),— частный случай выражения единого физич. закона о независимости действия сил. В электростатике и электродинамике С. п. — утверждение о том, что каждый заряд или система распределения зарядов и токов создает свое поле независимо от действия др. зарядов и токов, и поле одного заряда накладывается на поля остальных зарядов. Если одно распределение зарядов и токов создает электромагнитное поле, характеризуемое векторами напряженности электрич. и магнитного полей E_1 и H_1, а др. распределение создает поле, характеризуемое векторами E_2 и H_2, то общее поле будет характеризоваться геометрич. суммой $E=E_1+E_2$ и $H=H_1+H_1$. В электротехнике С. п. наз. методом наложения и применяется при расчете линейных электрич. цепей (в т. ч. с перем. параметрами). Если в разветвленной, т. н. многократно замкнутой электрич. цепи действуют неск. эдс, то токи и падения напряжений в любой ветви цепи могут быть найдены путем наложения частичных токов, возникающих в ней под действием каждой из эдс в отдельности, при равенстве нулю остальных эдс, но с учетом внутр. сопротивлений источников эдс. Ток в любом участке цепи находится как алгебраич. сумма частичных токов с учетом их направления. Метод обладает существенным недостатком, ограничивающим его применение: частичные токи, текущие в к.-л. ветви в противоположных направлениях, могут быть во много раз больше результирующего тока, поэтому даже небольшая (в %) ошибка в определении частичных токов приведет к недопустимо большим ошибкам в определении суммарного тока.

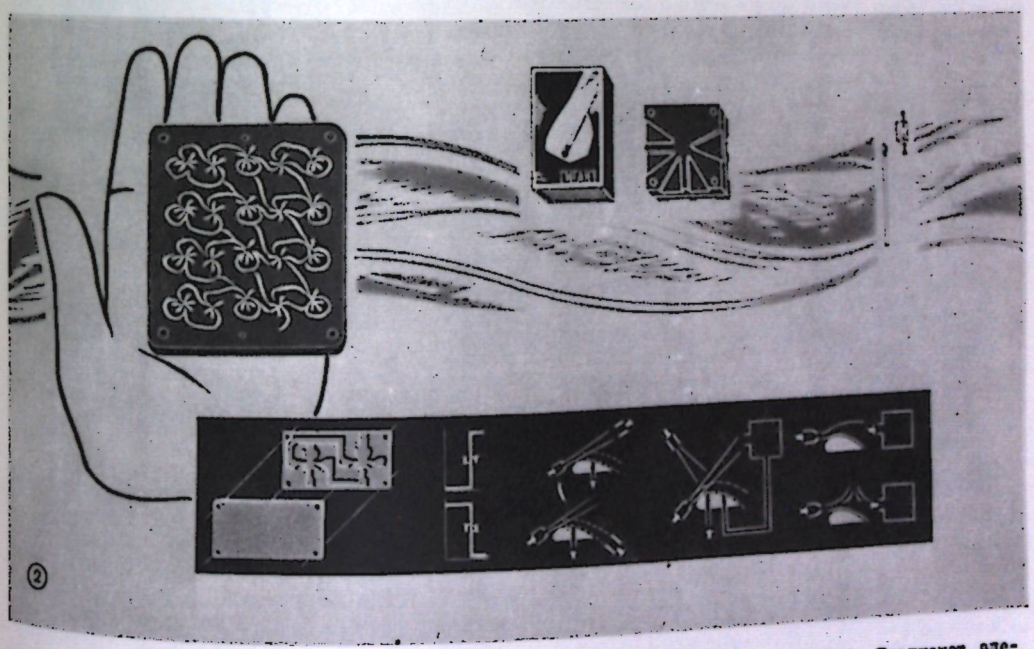
С. п. неприменим для расчота цепей, содержащих нелинейные элементы, а в линейных цепях — для расчета мощности, т. к. она пропорциональна квадрату эдс. С. п. имеет особый смысл в квантовой механике. Он позволяет представить волновую ф-цию ψ, описывающую состояние процесса, в виде ряда по собственным ф-циям: $\psi=C_1\psi_1+C_2\psi_2+\ldots$ или как «суперпозицию состояний» $\psi_1, \psi_2, \ldots$. Коэфф. суперпозиции $C_1, C_2, \ldots$ являются «амплитудами вероятности» соответствующих состояний, т. е. квадраты их модулей $|C_1|^2, |C_2|^2, \ldots$ суть вероятности того, что любая физич. величина A имеет в состоянии ψ значение A_1, соответствующее состоянию ψ_1, значение A_2, соответствующее состоянию ψ_2, и т. д. Границы применения С. п. в квантовой механике неизвестны, поэтому его считают точным.

Лит.: Мансуров Н. Н., Попов В. С., Теоретическая электротехника, 7 изд., М.—Л., 1958; Соколов А. А., Введение в квантовую электродинамику, М., 1958.

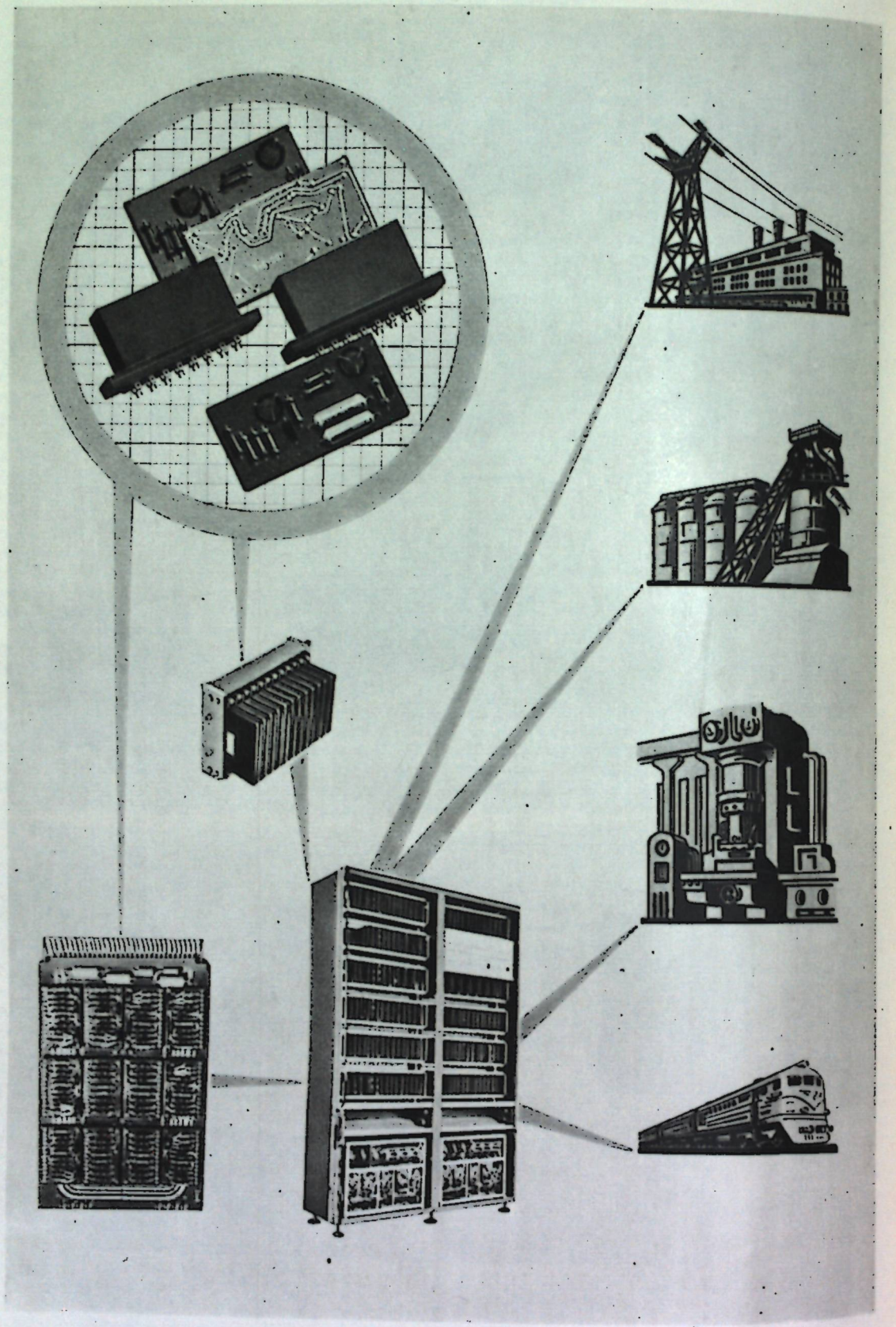
А. П. Шпаков.

СУШКА (drying; séchage; Trocknen) — тепловой процесс, имеющий целью удаление влаги из материалов. С. в производственных сушильных установках (сушилках) — один из основных технологич. процессов в пром-сти, с. х-ве и строительстве. Применяются С.: конвективная, контактная, в электрич. поле ВЧ, радиационная (ИК излучением), в вакууме (сублимацией), а также комбинированные способы — радиационно-конвективная, контактно-конвективная, токами ВЧ в сочетании с радиационной и т. д. Наиболее распространена конвективная С.; в последние годы





1. Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). Реализует элементный принцип построения систем пневмоавтоматики и пневматических вычислительных устройств. Элементный принцип позволяет исключить этап трудоемкого конструирования при создании новых приборов и значительно сократить их стоимость и сроки разработки. УСЭППА позволяет автоматизировать процессы, ранее не поддававшиеся автоматизации. Применяется при автоматизации во многих отраслях промышленности. Разработана в Институте автоматики и телемеханики (технической кибернетики) (Ленинская премия, 1964). 2. К статьям Струйная техника, Струйный элемент.



Общесоюзная система транзисторных логических и функциональных элементов для схем промышленной автоматики. Содержит 14 элементов, позволяет строить бесконтактные системы автоматического управления, телемеханики и др. дискретные устройства, работающие на частотах до 5 кгц. Обеспечивает повышение надежности и оперативности, уменьшает стоимость аппаратуры. Система разработана в Институте автоматики и телемеханики (технической кибернетики) совместно с ВНИИ «Электропривод». Основные элементы системы ряд лет безотказно работают в промышленных условиях; производятся серийно.

для интенсификации процесса используется теплоноситель с высокой темп-рой для зернистых материалов — в «кипящем слое» и во взвешенном состоянии, а для жидкостей — в распыленном состоянии. Сушильные установки по режиму работы делятся на сушилки периодич. и непрерывного действия. Как объекты регулирования их можно подразделить по динамич. св-вам на 2 группы: с большой инерционностью и малоинерционные. Инерционность С. можно характеризовать постоянной времени процесса, равной времени, в течение к-рого избыточное влагосодержание сушимого материала уменьшается на 63%. В обычных конвективных сушилках 1-й группы запаздывание в температурном канале теплоносителя составляет минуты, а постоянная времени объекта — десятки минут. К малоинерционным относятся установки для С. токами ВЧ, в кипящем слое, для контактной С. тонких листовых материалов и т. д., в к-рых С. длится от неск. сек. до неск. мин.

Сущность процесса С.: испарение влаги с поверхности материала; перенос тепла и перемещение влаги внутри материала. Ход С. описывается:

а) кривой С., характеризующей изменение средней влажности W материала во времени (рис. 1,*а*); б) температурной кривой С., описывающей изменение темп-ры θ материала в ходе С. (рис. 1,*б*). На этих кривых можно выделить: *1* — начальный период прогрева; *2* — период пост. скорости С.; *3* — период падающей скорости С. Длительность С. τ_c — интервал времени, необходимый для понижения влагосодержания материала с начального значения $W_н$ до конечного $W_{кон}$; обычно $W_{кон} > W_р$, где $W_р$ — равновесное влагосодержание.

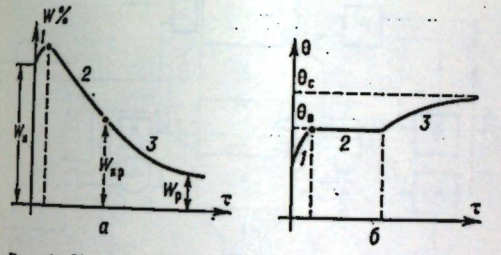


Рис. 1. Кривые: *а* — сушки; *б* — температурная; $W_н$, $W_{кр}$, $W_р$ — нач., критич. и равновесная влажности материала; τ — время; θ_c, $\theta_в$ — темп-ра сухого и увлажненного материала; *1, 2, 3* — периоды нач. прогрева, пост. и убывающей скорости сушки.

Задача автоматич. управления С. — проведение процесса в оптимальном режиме, т. е. при макс. производительности сушильной установки и макс. экономичности С. Специфич. для С. требование — улучшение качества и получение необходимых «технологич.» св-в материала: структурно-механич. (малая усадка, отсутствие трещин), биохимич. (содержание витаминов и вкус пищевых продуктов, всхожесть семенного зерна) и др. САР сушильных установок можно разделить по регулируемым величинам на САР параметров сушильного агента и САР параметров сушимого материала.

Действие наиболее часто применяемых САР параметров сушильного агента сводится к автоматич. регулированию (большей частью стабилизирующему) темп-ры и влажности, а иногда и др. параметров агента С. В САР конвективной камерной сушилки периодич. действия (рис. 2) режим С. задается значениями темп-ры t_0 и относит. влажности воздуха φ_0, к-рые необходимо поддерживать постоянными на всем протяжении С., длительность к-рой τ_c также задана заранее. Кроме того, стабилизируется и скорость воздуха. Регулятор температуры *РТ* воздействует с помощью регулирующего органа *РОТ* на подачу теплоносителя в подогреватели воздуха, а регулятор влажности *РВ* посредством регулирующего органа *РОВ* изменяет кратность циркуляции воздуха или управляет работой увлажнит. устройства. Величины t и φ регулируются по 2 раздельным контурам.

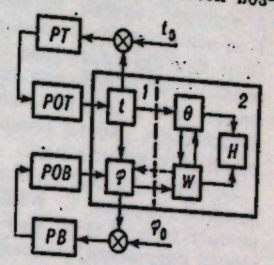


Рис. 2. Схема автоматич. регулирования темп-ры и влажности воздуха в конвективной сушилке: *1* — воздух; *2* — сушимый материал.

Рассмотренная схема имеет ряд недостатков, характерных для метода в целом. Реальный объект регулирования состоит из 2 емкостей: воздуха в сушильном пространстве и сушимого материала — объекта всего процесса. Состояние материала в ходе сушки характеризуется, по меньшей мере, 3 параметрами: темп-рой материала θ, его влажностью W и технологич. показателями H. Система регулирования замкнута по параметрам t и φ, лишь косвенно связанным с параметрами материала. Информация о величинах θ, W и H не передается автоматич. регуляторам. В реальных условиях действуют возмущения (колебания $W_{нач}$, состава, физич. св-в, формы и поступления материала и др.), к-рые не могут быть полностью компенсированы регуляторами параметров воздуха. В таких системах часто наблюдается недосушка или пересушка материала и ухудшение его качества в результате С.; параметры режимов С. приходится устанавливать весьма осторожно, с запасами, что препятствует интенсификации процесса. В другом варианте рассматриваемого метода, предложенном для конвективных сушилок, регулируемой величиной является темп-ра воздуха с коррекцией по отклонению его относит. влажности.

В САР параметров материала регулируемой величиной является темп-ра θ или влажность W сушимого материала. Метод регулирования темп-ры θ имеет 2 модификации. 1) Терморегулятор — главный регулятор процесса, управляющий основными регулирующими воздействиями. Напр., в схеме регулирования темп-ры при ВЧ сушке (рис.3) датчиком служит термопара *4*, вводимая в толщу материала, нагреваемого в рабочем конденсаторе *6*. Регулятор

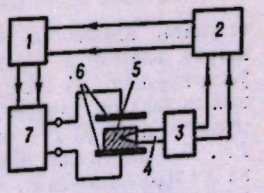


Рис. 3. Схема автоматич. регулирования сушки токами ВЧ: *1* — блок питания генератора; *2* — регулятор темп-ры (автоматич. потенциометр); *3* — фильтр; *4* — термопара; *5* — сушимый материал; *6* — рабочий конденсатор; *7* — генератор ВЧ.

темп-ры воздействует на блок питания и изменяет напряжение на рабочем конденсаторе, т. е. величину уд. мощности, выделяемой в единице объема нагреваемого материала. При этом темп-ра материала стабилизируется (или изменяется по заданному закону), независимо от изменения его электрич. и др. физич. св-в в ходе С. Основной недостаток — возможность работы генератора ВЧ только в режимах с низким кпд.

2) Метод основан на том, что в период падающей скорости С. темп-ра материала возрастает (рис. 1,*б*) и, при достижении равновесной влажности, становится равной темп-ре окружающей среды. Основной частью прибора, фиксирующего окончание С., являются два термометрич. датчика любого типа, один из к-рых измеряет темп-ру материала, второй — темп-ру сушильного агента. Устройство, измеряющее разность обеих темп-р, дает сигнал о завершении С., когда эта разность становится равной нулю или приближается к нулю на заданную величину. Для конвективной С. используется батарея из термопар по дифференц. схеме: горячие спаи измеряют темп-ру окружающего воздуха, холодные спаи — темп-ру поверхности материала. При контактной С. бумажного полотна влажность бумаги оценивается по разности темп-р поверхности сушильного цилиндра и полотна бумаги на определенном расстоянии от цилиндра.

Более совершенны системы, в к-рых регулируемой величиной является влажность материала, а главным регулятором процесса сушки — автоматич. влагомер. Такой метод широко применяется при контактной С. бумажного полотна и текстильных тканей на сушильных барабанах (рис. 4). Электронный

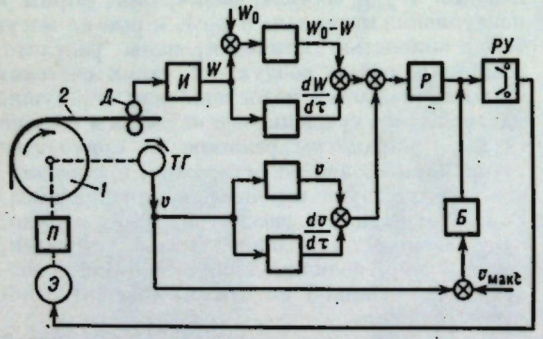


Рис. 4. Схема автоматич. регулирования контактной сушки текстильных тканей: *1* — сушильный барабан; *2* — ткань; τ — время.

регулятор влажности состоит из кондуктометрич. влагомера — роликового датчика *Д*, установленного на выходе ткани из сушильных цилиндров, измерит. схемы *И* и регулирующего прибора *Р* с релейным устройством *РУ*. Регулирующие импульсы воздействуют на электродвигатель *Э*, изменяющий скорость привода *П* сушильной машины. Регулирование осуществляется по отклонению влажности W от заданной величины W_0 и по производной $dW/d\tau$. Обратная связь по скорости движения ткани v осуществляется тахогенератором *ТГ*. Наряду с сигналом, пропорц. скорости v (жесткая обратная связь), в регулятор вводится через дифференцирующее устройство сигнал, пропорц. производной от скорости по времени (гибкая обратная связь). Блокировочное устройство *Б*, связанное с выходом тахогенератора, выключает регулятор при остановке машины и ограничивает скорость v заданным макс. значением.

Задача улучшения качества регулирования С. решается проще применением регулятора с дополнит. импульсом. Основной датчик измеряет влажность материала, выходящего из сушилки. Дополнит. импульс поступает от аналогичного датчика, установленного в промежуточной точке сушильного аппарата и измеряющего влажность материала в этой точке.

Наименее эффективно использование автоматич. влагомера в сушилках периодич. действия для фиксации достижения материалом заданного конечного значения влажности, т. к. в этом случае влагомер не влияет на процесс С. Автоматич. влагомер может управлять длительностью С. или подачей влажного материала (в установках непрерывного действия). При этом независимые стабилизирующие регуляторы поддерживают постоянными основные параметры сушильного агента. Такие системы позволяют получить сухой продукт с заданной влажностью и заданными технологическими св-вами, но не обеспечивают интенсификации процесса С.

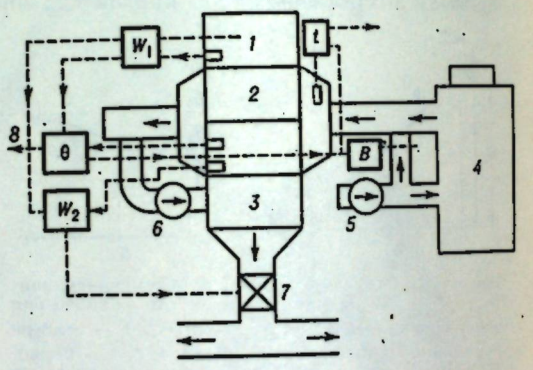


Рис. 5. Схема автоматич. регулирования для шахтной зерносушилки: *1, 2, 3* — загрузочная, сушильная и охладит. камеры; *4* — воздухоподогреватель (*В*—заслонка); *5—6*—вентиляторы основной и охладительной камер; *7* — разгрузочное устройство; *8* — к вентилю, регулирующему подачу топлива.

В более совершенных системах автоматич. влагомер изменяет параметры сушильного агента (каскадное регулирование), являясь ведущим регулятором по отношению к подчиненным регуляторам параметров сушильного агента. В такой системе регулирования шахтной зерносушилки (рис. 5) автоматич. влагомер W_1 измеряет нач. влажность зерна, поступающего на сушку, и изменяет задание автоматич. регулятора θ темп-ры зерна в сушильной камере и влагомера W_2, измеряющего влажность зерна на выходе из сушилки. θ и W_2 регулируются автоматически в двух самостоят. контурах воздействием на подачу топлива в горелку (θ) и на разгрузочное устройство, т. е. на длительность сушки (W_2). Значение темп-р зерна θ и теплоносителя t задаются на основе программ $\theta(W_1)$, $t(W_1)$ и $W_2(W_1)$, позволяющих установить для каждого значения W_1 макс. допустимые значения θ и t. Т. о., ситема обеспечивает необходимые св-ва материала (семенного зерна), весьма чувствительного к режиму С., и в то же время интенсифицирует С. до пределов, допустимых по состоянию сушимого материала.

Наиболее эффективное решение задачи оптимизации процесса С. дают самонастраивающиеся системы. К 1-й группе относятся вычислительные машины, осуществляющие управление с оптимизацией на основе заданного логико-математич. алгоритма путем решения системы ур-ний, описывающих процесс. Такой способ применен в произ-ве зеленого байхового чая для автоматизации фиксационного аппарата (рис. 6), в к-ром происходит пропарка и С. зеленого чайного листа. Для управления процессом используется упрощенное ур-ние, основанное на обычном ур-нии теплового баланса. Информация о текущих значениях переменных, входящих в ур-ние, поступает в аналоговое вычислит. устройство от датчиков, установленных на входе и выходе фиксационного аппарата. Постоянные коэфф. ур-ния задаются вручную с помощью блока коэффициентов. Решение ур-ния определяет значения регулирующих воздействий — количества нагретого воздуха, поступающего в аппарат, или изменения толщины слоя зеленого листа на его входе, необходимых для получения конечной влажности полупродукта, оптимальной с точки зрения качества чая, а также последующих технологич. операций.

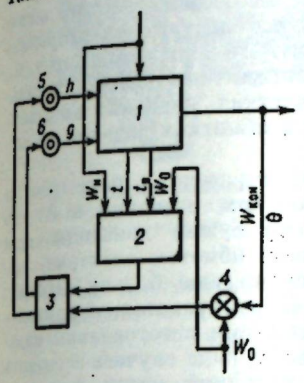


Рис. 6. Блок-схема системы автоматич. управления фиксационным аппаратом: *1* — фиксационный аппарат; *2* — вычислит. машина; *3*, *4* — преобразующее и задающее устройства; *5*, *6* — исполнит. элементы для количества нагретого воздуха g и толщины слоя h; W_0, $W_н$, $W_{кон}$ — заданная, начальная и конечная влажности чая; θ — выходная темп-ра чая; t, $t_в$ — темп-ра воздуха, нагретого и отработавшего.

Ко 2-й группе относятся системы автоматич. оптимизации (САО), основанные на автоматич. поиске экстремума критерия качества процесса путем проб и оценки их результатов. Для процессов С. критерием качества в большинстве случаев может служить интенсивность С.: оптимален тот режим, к-рый обеспечивает макс. производительность сушильной установки. При этом в качестве ограничений задают показатели качества материала и энергетич. показатели. Такой метод обеспечивает наряду с макс. интенсификацией сушки получение необходимых технологич. св-в материала и экономичность процесса. На рис. 7 приведена схема САО С. зернистых материалов в кипящем слое. Критерием качества служит производительность сушилки — количество влаги, удаленной в единицу времени: $Q=\Delta W \cdot G_2$, где ΔW — разность влагосодержаний материала на входе и выходе сушилки $\Delta W=W_1-W_2$; G_2 — весовой расход материала на выходе сушилки. Экстремальный регулятор *Р* непрерывно воздействует на две переменные: скорость v воздуха в продуваемом слое материала и расход G_1 материала, поступающего на сушку. Кроме того, предусмотрены ограничения: а) макс. допустимой темп-ры t сушимого материала, б) влажности W_2 материала на выходе из сушилки. Коммутатор *К* подключает регулятор поочередно к каналам регулирования: *а* — скорости воздуха v; *б* — расхода материала G_1. При этом регулирующий орган соответствующей величины перемещается на один шаг. Регулятор *Р* определяет величины: dQ/dv и dQ/dG_1; знак соответствующей производной задает направление следующего шага регулирующего воздействия. Если производные положительны, *Р* увеличивает v до заданного максимума и G_1 — до вступления в действие ограничения по W_2. Для ограничения служат 2 независимых контура. В первом из них ограничитель *Т* темп-ры материала воздействует на подачу пара и подогреватель воздуха, во втором влагомер W_2 ограничивает подачу материала G_1. В описанной схеме можно ускорить поиск, применяя двухканальный оптимизатор; существуют и др. методы поиска экстремума. Если стабилизировать скорость воздуха v=const, то оптимизирующий регулятор при сохранении того же критерия качества воздействует только на подачу материала и можно применить значительно более простой одноканальный регулятор без переключающего устройства.

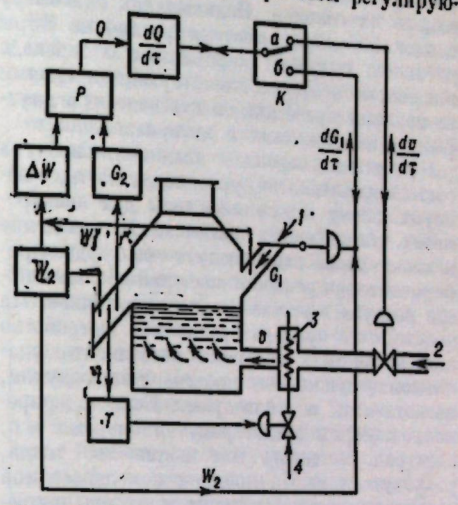


Рис. 7. Система автоматич. оптимизации для сушки в кипящем слое: *1* — материал; *2* — воздух; *3* — подогреватель; *4* — пар.

Основной областью применения САО будут высокопроизводит. сушильные установки, основанные на интенсивных способах С., в к-рых имеется большое количество управляемых и неуправляемых переменных.

Технич. средствами автоматизации сушильных установок являются общепромышл. приборы для управления и регулирования темп-ры и влажности воздуха и сушимых материалов, исполнит. механизмы и т. д. Для наиболее совершенных систем управления сушкой — САР параметров сушимого материала и САО необходимы, кроме того, нек-рые специфич. датчики и измерит. устройства для получения информации о качеств. показателях и состоянии сушимого материала и их изменениях в ходе процесса, об энергетич. показателях С. и о величинах, характеризующих критерий качества процесса. Для контроля механич. напряжений в материале в процессе С. разработан тензометрич. измеритель усадки капиллярно-пористых материалов. Градиентомер влажности древесины представляет собой кондуктометрич. электровлагомер с набором

10 игольчатых датчиков, вводимых в древесину на различную глубину. Металлич. стержни игольчатых электродов покрыты электрич. изоляцией, и токоведущими являются только их головки. Подключая к влагомеру с помощью переключателя различные пáры датчиков, получают информацию о перепаде влажности между соответствующими слоями по толщине древесины, и косвенно — о внутренних напряжениях в материале.

Измеритель перепада влажности воздуха состоит из автоматич. уравновеш. моста, в измерит. схему к-рого включены два электролитич. подогревных датчика. Перемещение движка уравновешивающего реохорда пропорционально разности значений абс. влажности воздуха в местах установки датчиков. На основе этого прибора предложено устройство для автоматич. контроля веса влаги, удаляемой из сушильного пространства воздухом, нагнетаемым вентилятором. Если одновременно измерять ваттметром, тепломером и т. п. электрич. мощность или количество тепла, расходуемые на С., можно с помощью одной из известных схем деления получить непрерывную информацию о затратах электрич. энергии или тепла на единицу веса удаляемой влаги.

Для измерения скорости С., т. е. изменения влажности материала в единицу времени, можно использовать автоматич. электровлагомеры с дифференцирующим устройством. Однако в ряде случаев, особенно при медленном изменении влажности, дифференцирование W является сложной задачей. Для измерения $dW/d\tau$ было предложено дифференцирующее устройство непрерывного действия, состоящее из безынерционного (кондуктометрич. или емкостного) измерителя влажности материала и 2 последоват. звеньев: апериодич. и чистого запаздывания. Последние представляют собой электрич. гигрометрич. датчик, измеряющий влажность воздуха, находящегося в гигротермич. равновесии с материалом; величину запаздывания можно изменять в широких пределах, изменяя толщину слоя воздуха. Описанное дифференцирующее устройство можно использовать также для получения форсирующих сигналов в обычных регуляторах влажности материала.

Лит.: Автоматизация процессов сушки в промышленности и сельском хозяйстве. Сб. ст. под ред. М. А. Берлинера, М., 1963; Лыков А. В., Тепло- и массообмен в процессах сушки, М.— Л., 1956; Лебедев П. Д., Расчет и проектирование сушильных установок, М.— Л., 1963; Смирнов С. М., Автоматизация сушильных установок легкой промышленности, М., 1962; Берлинер М. А., Автоматизация процессов сушки, «МиАП», 1961, № 10; его же, Автоматическая оптимизация процессов сушки, там же, 1962, № 4; его же, Электрические методы и приборы для измерения и регулирования влажности, М.—Л., 1960. *М. А. Берлинер.*

СУШКА ИНДУКЦИОННАЯ лакокрасочных покрытий (lacquer coatings drying by induction heating; séchage à induction des revetements vernis ou peints; Induktionstrocknung von Lackfarbenüberzügen) — технологич. процесс, при к-ром тепло, необходимое для удаления летучих фракций из лакокрасочных покрытий, полимеризации лаков и др. химич. реакций, а также для нагрева самих изделий, развивается в металле обрабатываемых объектов под воздействием перем. электромагнитного поля, создаваемого индуктором. Тепло от нагретого металла благодаря теплопроводности передается слою лакокрасочного покрытия или изоляции обмотки, пропитанной лаком. Потоки тепла и влаги при С. и., в отличие от конвекционного способа *сушки*, направлены от внутренних слоев высушиваемой пленки лака или краски к наружным, чем обеспечиваются благоприятные условия для интенсификации процесса сушки. При сушке изоляции обмоток электрич. машин изделия следует ориентировать относительно магнитного поля индуктора т. о., чтобы индуктированные токи возникали только в стальных участках изделий; вызывать возникновение эдс в обмотках изделий не желательно.

Время сушки лакокрасочных покрытий на тонкостенных стальных изделиях в 20—25 раз меньше времени сушки конвекционным способом; при сушке обмоток электрич. машин выигрыш времени еще больше. Время, затрачиваемое на С. и., сравнимо с длительностью др. операций при изготовлении изделий, что позволило в ряде случаев включить операцию сушки в общий поток произ-ва. Темп-ра С. и. лакокрасочных покрытий на металлич. изделиях выше темп-ры, допускаемой при конвекц. сушке. Макс. темп-ра сушки изоляции обмоток электрич. машин, пропитанной лаками, определяется темп-рой, к-рую выдерживает изоляция без снижения ее качества.

Индукторы питают перем. током с частотой от 50 *гц* до радиочастот. С. и. применяют в произ-ве цельнометаллич. вагонов, консервной жести, фар автомобилей, радиодеталей, фурнитуры в обувной пром-сти, пропитанных обмоток роторов и статоров электрич. машин и др. В зависимости от массовости произ-ва и типа

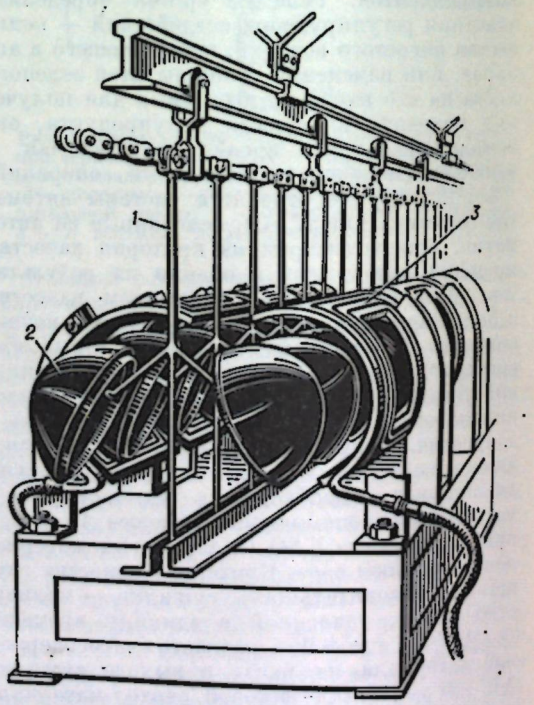


Рис. 1. Конвейерное устройство для сушки окрашенных оправ фар: *1* — подвеска; *2* — подвергаемая сушке оправа; *3* — индуктор.

продукции, индукц. устройства для сушки лакокрасочных покрытий могут быть конвейерного или камерного типа. В конвейерных устройствах наиболее выгодны индукторы щелевого типа, примеры конструкции к-рых представлены на рис. 1 и 2. В камерных устройствах и нек-рых роторных агрегатах применяют

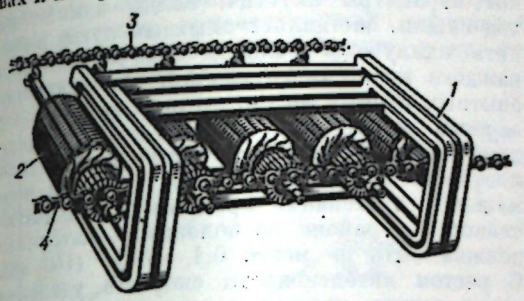


Рис. 2. Схема взаимного расположения индуктора *1* и подвергаемых сушке обмоток якорей *2*, перемещаемых с помощью цепей *3* и *4* конвейера.

обычные многовитковые индукторы. Лаковое покрытие на металлич. ленте сушат с помощью индуктора, создающего поперечное магнитное поле.

Лит.: Мушкин Г. Н., Сушка током промышленной частоты лакокрасочных покрытий, в кн.: Промышленное применение токов высокой частоты. Доклады Второй Ленинградской конференции, М.—Л., 1954; Дорофеева Н. И., Аманн Н. Н., Сушка окрашенных деталей фар при индукционном нагреве, «Автомобильная промышленность», 1959, № 9; Дорофеева Н. И., Сушка изоляции обмоток якорей индукционным методом, там же, № 10. *Н. И. Дорофеева.*

СУШКА МАТЕРИАЛОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ (dielectric drying; séchage diélectrique des matériaux; dielektrisches Trocknen von Werkstoffen) — сушка в электрич. поле ВЧ. Различают 2 основных способа сушки с применением ВЧ нагрева: 1) непосредств. испарение влаги внутри материала и выход ее в виде пара, 2) испарение с поверхности материала при перемещении влаги в жидкой фазе из внутр. частей материала к наружным. При 1-м способе скорость испарения влаги во всем объеме материала зависит от темп-ры и давления в диэлектрике. Электрич. поле, создавая внутр. источники тепла, быстро повышает темп-ру до 100°С и выше и значительно ускоряет процесс сушки. Однако испарение влаги внутри диэлектрика при помощи ВЧ энергии для сушки дешевых материалов, напр. древесины, экономически не выгодно. Расход электроэнергии составляет 1,5—5 *квт-ч* на 1 *кг* испаренной влаги. ВЧ нагрев может быть рентабельным лишь при сушке дорогостоящих материалов. Напр., в случае применения ВЧ сушки латексной губки для сидений автомобилей, самолетов и др. расход электроэнергии составляет 1,75 *квт-ч* на 1 *кг* влаги, но эти затраты составляют всего 0,3—0,4% стоимости губки. ВЧ сушка увеличивает сопротивление губки старению, позволяет организовать поточное произ-во, время сушки сокращается на 90%. При сушке древесины целесообразнее комбинированный конвективно-высокочастотный метод. Комбинированный метод применяется также для сушки искусств. волокна, слюдымиканита, текстильного полотна и др. материалов.

При 2-м способе сушки источники тепла, создаваемые электрич. полем ВЧ, повышают темп-ру и давление внутри материала и увеличивают скорость перемещения влаги из внутр. слоев к поверхности. Но материал нагревается до темп-ры менее 100°С. Влага в жидкой фазе движется от области с более высокой темп-рой к местам с меньшей темп-рой и влажностью, в то время как при конвективной и радиационной сушках темп-ра на поверхности материала выше, чем внутри, и градиенты темп-ры и давления препятствуют сушке. ВЧ нагрев часто комбинируется с конвективной или радиац. сушкой, когда ВЧ энергия затрачивается только на создание необходимого градиента темп-ры. Наибольшее распространение получил этот способ для сушки литейных стержней. Т. к. начальное содержание влаги в стержнях незначительно, обычно не более 6%, то оказывается рентабельной и сушка только токами ВЧ. Затраты энергии при ВЧ сушке могут быть больше, чем при конвективной, однако время сушки сокращается с 6—8 час. до неск. десятков мин., а иногда продолжается менее 10 мин. Производительность установок в зависимости от начальной влажности и вида связующего материала составляет от 10 до 20 *кг* стержней в час на 1 *квт* мощности ВЧ генератора. Равномерность сушки позволяет применять более дешевые связующие материалы; устраняется возможность перегрева стержней, т. к. после испарения влаги резко падает мощность внутр. источников тепла, и уменьшается брак. В результате стоимость ВЧ сушки меньше, чем конвективной. Установки могут быть конвейерного типа, что при высокой скорости сушки дает возможность организовать поточную линию. ВЧ или комбинированный метод применяется также при сушке книжных переплетов, химич. порошков, пищевых продуктов, табака, фотографич. материалов и др. При сушке керамич. массы и аналогичных диэлектриков во избежание местных перегревов и для выравнивания влажности может применяться импульсная сушка, при к-рой генератор ВЧ включается и выключается периодически. Если скорость сушки при атм. давлении слишком низка, т. к. в материале нельзя допускать высоких темп-р, то применяют ВЧ сушку в вакууме (напр., сушка зерна).

При сушке в диапазоне частот 5—30 *Мгц* ВЧ сушильные установки обычно состоят из 2 основных частей: стандартного генератора для *диэлектрического нагрева* и сушильной камеры. Для диэлектрич. нагрева, и в частности сушки, могут применяться отечественные типовые генераторы ЛГД-3Б, ЛГД-32, ЛГД-62 и др. Конструкция сушильной камеры и электродов рабочего конденсатора зависит от выбранного метода сушки (ВЧ или комбинированная) и вида нагреваемого материала или изделия. Напр., при конвейерной сушке поливинилхлоридовой порошковой смолы хлопчатобумажная лента, на к-рой находится порошок, проходит между плоскими электродами 2 рабочих конденсаторов, обеспечивающих равномерный нагрев (рис. 1). При вакуумной сушке сыпучих материалов в кварцевой трубе равномерность нагрева достигается спец. форой электродов (рис. 2). При сушке литейных

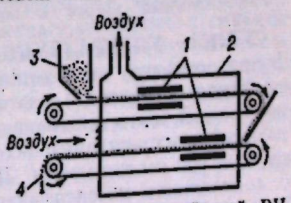


Рис. 1. Схема конвейерной ВЧ сушилки: *1* — электроды; *2* — камера; *3* — влажный порошок; *4* — сухой порошок.

стержней сложной конфигурации для устранения неравномерности нагрева регулируют величину воздушного зазора между верхней плоской пластиной конденсатора и нагреваемым изделием, применяют спец. вкладыши из материала с диэлектрич. проницаемостью, близкой к диэлектрич. проницаемости изделия, или из металла, изготовляют электроды сложной формы (как и при вакуумной сушке) или многопозиционные рабочие конденсаторы с плоскими электродами (рис. 3). При нагреве в диапазоне частот более 30 *Мгц* ВЧ генератор

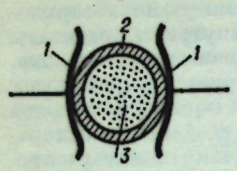


Рис. 2. Рабочий конденсатор при вакуумной сушке: *1* — электроды; *2* — кварцевая труба; *3* — высушиваемый материал.

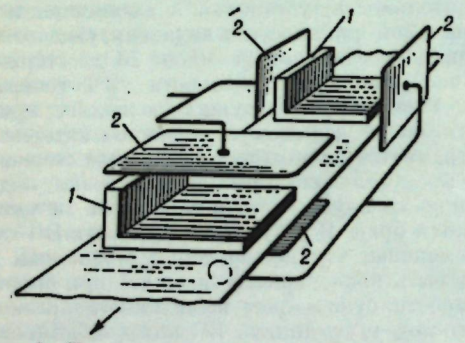


Рис. 3. Двухпозиционный рабочий конденсатор; *1* — нагреваемое изделие; *2* — электроды.

и сушильная камера могут быть объединены конструктивно, как, напр., в установке для сушки литейных стержней типа УДН-А3. Для ВЧ сушки в диапазоне сантиметровых волн применяют волноводы и объемные резонаторы (см. *Диэлектрический нагрев в волноводе*).

Лит.: Нетушил А. В. [и др.], Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников, 2 изд., М.— Л., 1959; Брицын Н. Л., Нагрев в электрическом поле высокой частоты, 2 изд., М.— Л., 1957; Лебедев П. Д., Расчет и проектирование сушильных установок, М.— Л., 1963; Нетушил А. В., Жуховицкий Б. Я., Кудин В. Н., Высокочастотный нагрев в электрическом поле, М., 1961.

Б. Я. Жуховицкий.

СУШКА УЛЬТРАЗВУКОВАЯ (ultrasonic drying; séchage ultra-sonique; Ultraschalltrocknung) — удаление влаги из материала под воздействием интенсивных акустич. колебаний, распространяющихся в газовой среде, в к-рой он находится. Первые сообщения о возможности интенсификации сушки с помощью УЗ колебаний появились в 40-х гг. 20 в., а первые успешные опыты по сушке (хлопчатобумажного волокна) акустич. методом были проделаны в Венгрии в 1955. Но еще не создано сколько-нибудь удовлетворит. теории, объясняющей физику процесса воздействия акустич. энергии, в результате к-рого влага, связанная с материалом, удаляется из последнего. Существующие гипотезы о поверхностном съеме влаги вследствие турбулизации газового потока и об увеличении влагопроводности под влиянием упругих колебаний среды еще не проверены экспериментально. Вполне вероятно, что оба эти механизма имеют место при С. у. материала, причем преобладающая роль того или др. зависит от типа материала и от характера связи влаги с ним.

Вопрос об оптимальных режимах технологич. процесса С. у. остается невыясненным. Отсутствие ясного представления о том, какие параметры акустич. волны влияют на ход сушки, заставляет опытным путем выявлять наилучшие условия озвучивания для каждого конкретного случая. На основании опытных данных можно считать, что наиболее важным параметром акустич. волны, влияющим на процесс, является интенсивность (или плотность звуковой энергии). Так, для нормального протекания процесса сушки интенсивность в районе расположения материала должна быть не менее 0,1 *вт/см²* (150 *дб*). С ростом интенсивности скорость удаления влаги растет, поэтому в сушилках рекомендуется создавать уровни 156—160 *дб*. Частота облучения, по-видимому, играет меньшую роль, хотя наилучшие результаты получены в верхней части звукового диапазона. Высокие УЗ частоты из-за повышенного затухания менее эффективны. Для успешной сушки материала акустич. методом необходимо, чтобы энергия волны воздействовала на каждую частицу обрабатываемой массы, поэтому применение С. у. целесообразно при небольшой толщине слоя (не более 4—5 *см*); следует отдавать предпочтение таким вариантам сушилок, в к-рых масса находится значит. время во взвешенном состоянии (аппараты с «кипящим» слоем, с распылением материала) или интенсивно перемешивается (напр., в барабанном типе сушилки рис. 1). В зависимости

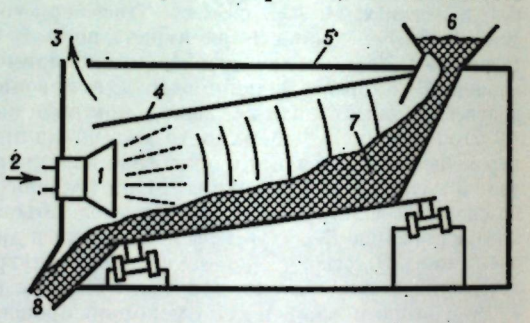


Рис. 1. Схема акустич. сушилки барабанного типа: *1* — источник звука (сирена); *2* — сжатый воздух; *3* — выброс воздуха; *4* — вращающийся барабан; *5* — наружный неподвижный барабан (кожух); *6* — загрузочный бункер; *7* — обрабатываемый материал; *8* — разгрузочный бункер.

от выбранного варианта сушилки, устройства для С. у. могут различаться способом перемещения материала, удаления влаги и т. п.: общим является наличие в сушильных аппаратах источника звуковой энергии. Необходимая мощность излучателя определяется производительностью установки и ее конфигурацией. В крупногабаритных сушилках более равномерное озвучивание материала можно получить, применяя неск. источников звука, в качестве к-рых применяют *ультразвуковые свистки* или *ультразвуковые сирены*, обеспечивающие удобное получение дешевой акустич. энергии. После удаления влаги из материала, последний транспортируется из сушилки, для чего воздух подают специально или используют воздух от сирены. Применение акустич. энергии позволяет ускорить процесс сушки в неск. раз, но основное достоинство метода С. у. заключается в возможности сушки материалов при сравнительно низких темп-рах, т. к. ускоряющее действие упру-

гих колебаний на процесс удаления влаги не связано с повышением темп-ры материала. С. у. может быть использована в технологии произ-ва легкоокисляющихся, термочувствит., а также трудносохнущих материалов в пищевой, химич., фармацевтич. и др. отраслях пром-сти (рис. 2).

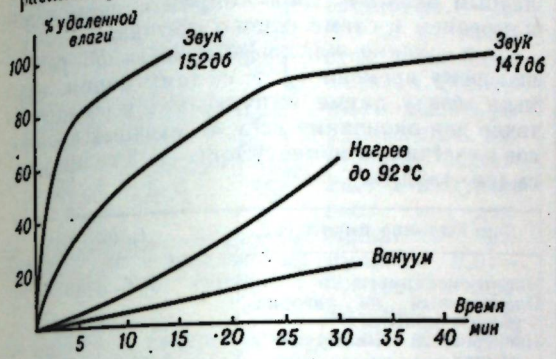


Рис. 2. Кривые процесса сушки силикагеля различными методами.

Применение метода С. у. ограничивается сравнительно высокой стоимостью акустич. энергии (в основном, из-за низкого кпд аэродинамич. излучателей, используемых для создания интенсивных звуковых полей в газовой среде). Метод рентабелен лишь для сравнительно узкого круга трудносохнущих, дорогостоящих и др. специфич. материалов. Весьма вероятно, что метод С. у. найдет распространение в комбинации с каким-либо др. методом сушки.

Лит.: Boucher R. M. G., «Ultrasonic News», 1959, v. 3, № 2, p. 8—9, 14—16; Greguss P., там же, 1961, v. 5, № 3, p. 7—11.

Ю. Я. Борисов.

СЧЕТА СХЕМА (counting circuit; circuit de calcul; Zählschaltung) — математич. описание решения задачи, являющееся исходным заданием для *программирования*. Осн. требование, предъявляемое ко всякой С. с.,— полнота и исчерпывающая точность описания решения задачи; характерная черта С. с.— ее независимость от способа реализации решения (одна и та же С. с. может быть реализована на различных ЦВМ или человеком при помощи карандаша и бумаги).

Конкретизация процесса выполнения С. с. применительно к данной ЦВМ осуществляется в процессе программирования. При этом могут возникать следующие задачи: 1) выделение циклов в алгоритме решения задачи; 2) *распределение памяти*; 3) организация циклов и организация выборки и записи информации в соответствии с распределением памяти. Решение этих задач приводит к построению расширенного алгоритма по исходному заданию, т. е. к построению схемы программы по заданной С. с.; 4) изложение расширенного алгоритма на языке ЦВМ, т. е. построение программы по схеме программы.

Само по себе понятие С. с. как исходного задания для программирования не предполагает никакого формального языка. Однако любой способ *автоматизации программирования* может быть основан только на формальном языке. Для человека, составляющего С. с., удобно описывать решение задачи в привычных терминах (напр., на родном языке и языке ф-л). В связи с этим обычно выбирают неск-рое компромиссное решение: формальный язык, по возможности близкий к человеческому. Намечается тенденция все большего приближения языка С. с. к человеч. языку как путем выбора соответствующей формы записи, так и путем расширения числа понятий, входящих в язык.

Первый язык С. с. был предложен сов. ученым А. А. Ляпуновым в 1953 и получил назв. операторной схемы. С. с. на этом языке представляется в виде последовательности арифметич. и логич. операторов (см. *Оператор стандартний*) знаков $\prod$, Γ, $\lfloor$ и операторных скобок $\{,\}$. Знак $\Gamma(\lfloor)$ ставится после логич. оператора и указывает, к какому оператору следует перейти, если этот логический оказался истинным (ложным). Номер оператора, к к-рому следует перейти, пишется около горизонт. черты. Знак $\prod$ задает циклич. выполнение следующего за ним оператора или группы операторов, заключенной в операторные скобки. Напр., $\prod_{i=1}^{n} A_{20}$ означает, что оператор A_{20} должен быть выполнен n раз при $i=1, 2, \ldots, n$, а $\prod_{j=k}^{x_j<0}\{A_{15}P_{16}\lfloor A_{17}A_{18}\}$ означает, что заключенная в скобки последовательность должна выполняться при $j=k, k+1, \ldots$ до тех пор, пока $x_j<0$. Причем каждый раз, если P_{16} истинно, то должны выполняться A_{15}, A_{17} и A_{18}, в противном случае — только A_{15} и A_{18}.

Созданный в 1960 алгоритмич. язык Алгол-60 (см. *Алгол*) принципиально отличается от операторной схемы только введением понятия процедуры, являющегося обобщением понятия *подпрограммы стандартной*. Однако по форме этот язык гораздо ближе к человеч. языку, чем операторная схема. В частности, два приведенных выше примера на языке Алгол-60 запишутся так: «для $i:=1$ шаг 1 до n выполнить A_{20}; для $j:=k, j+1$ пока $x_j<0$ выполнить начало A_{15}; если P_{16}, то A_{17}; A_{18} конец».

Как операторная схема, так и Алгол-60 предполагают явное задание последовательности выполнения операторов, а значит и явное задание циклов. Следовательно, 1-ю задачу должен решать сам человек. Это обстоятельство облегчает автоматич. программирование, но сужает возможность оптимизации получаемой при этом программы, к-рая нередко должна быть связана с изменением порядка выполнения операторов; напр., схему $\prod_{i=1}^{n} b_i=f_1(a_i)\prod_{i=1}^{n} c_i=f_2(b_i)$ следовало бы реализовать как $\prod_{i=1}^{n}\{b_i=f_1(a_i)c_i=f_2(b_i)\}$, что приведет к экономии памяти и уменьшению времени работы машины. Кроме того, в больших задачах для человека оказывается затруднительным выделить все циклы и строго определить весь порядок счета. Часто может оказаться значительно более простым и удобным описать решение задачи не как процесс, а как совокупность математич. соотношений — ф-л, к-рые должны быть подсчитаны. В связи с этим интересен еще один язык С. с.— параметрич. запись. Он состоит из ф-л, наборов значений индексов, при к-рых эти ф-лы должны быть посчитаны, и логич. условий, к-рые определяют правомерность счета по ф-лам, написанным с учетом этих условий.

Ф-лы могут быть выписаны, вообще говоря, не в том порядке, в к-ром должны вестись вычисления, и не для всех значений индексов каждая ф-ла может быть подсчитана сразу. Напр., по записи:

$$x_i = f_1(y_i) \quad i = 1, 2, \ldots, n$$
$$y_i = f_2(x_{i-1}) \quad i = 1, 2, \ldots, n$$

при заданном x_0 вычисления должны производиться в следующем порядке: $y_1, x_1, y_2, x_2, \ldots$ Порядок счета по ф-лам задается следующим правилом. По нек-рой ф-ле на данном этапе выполнения параметрич. записи можно считать для такой совокупности значений индексов, что соответствующие им аргументы этой ф-лы либо имеются среди входной информации, либо уже вычислены. Разумеется, что при этом каждый раз должно быть выполнено логич. условие, соответствующее рассматриваемой ф-ле. Очевидно, что приведенное выше правило задает порядок выполнения действий неоднозначно. На каждом этапе счета может оказаться возможным выполнение сразу неск. ф-л, и, с точки зрения результатов счета, безразлично, в каком порядке их выполнить. Это даст возможность каждый раз выбирать порядок счета, оптимальный для той ЦВМ, для к-рой составляется программа по данной параметрич. записи. Серьезные трудности, встающие при автоматич. составлении программы по параметрич. записи, задерживают ее внедрение.

Лит.: Ляпунов А. А., О логических схемах программ, в сб.: Проблемы кибернетики, в.1, М., 1958; Бэкус Дж. В. [и др.], Сообщение об алгоритмическом языке АЛГОЛ-60, «ЖВМ и МФ», 1961, т. 1, № 2; Задыхайло И. Б., Организация циклического процесса счета по параметрической записи специального вида, там же, 1963, т. 3, № 2; Любимский Э. З., Вопросы автоматизации программирования, «ВАН СССР», 1960, № 8. *Э. З. Любимский.*

СЧЕТЧИК ИМПУЛЬСОВ (pulse counter; compteur d'impulsions; Impulszähler) — устройство для отсчета и запоминания количества электрич. импульсов, пришедших на его вход за нек-рый интервал времени. С. и. применяются: а) в автоконтроле, напр., для счета числа изделий, для отсчета числа оборотов; б) в измерит. технике, напр., как частотомеры, как счетчики числа частиц радиоизлучений; в) в автоматич. управлении и вычислит. технике как датчики интервалов времени, как декодирующие элементы или в качестве узлов различных синхронизирующих и УУ. Как все запоминающие устройства, С. и. имеют огранич. емкость, величина к-рой, как правило, не обусловлена типом счетчика и достигается применением нужного количества однотипных узлов.

Различают два режима работы С. и.: 1) в качестве измерит. устройства, обеспечивающего снятие (чтение) показаний в любой нужный момент; 2) в качестве делителя частоты импульсов, т. е. устройства, на выходе к-рого появляется сигнал по прошествии определ. числа K импульсов на входе. Число K в этом случае наз. коэфф. пересчета. Делители частоты импульсов наз. в измерит. и вычислит. технике также пересчетными схемами, а в автоматике иногда —реле счета импульсов. Нередко С. и. используется одновременно в обоих режимах. Отсчет и регистрация числа импульсов могут выполняться в различных системах счисления; обычно используются двоичная и десятичная системы.

Помимо обычных накопит. С. и., в ряде случаев применяются реверсивные счетчики. Реверсивный С. и. позволяет не только суммировать импульсы, поступающие на его вход, но и вычитать их из содержимого счетчика. Реверсирование достигается либо подачей импульсов на вход счетчиков по двум различным каналам, либо определ. рода переключением в схеме самого счетчика.

С. и. можно классифицировать по разрешающему времени $t_р$, т. е. тому миним. времени между двумя импульсами, к-рое достаточно для окончания всех переходных процессов в счетчике к моменту прихода 2-го импульса (см. табл.).

Тип счетчика импульсов	$t_р$ (сек.)
Электромеханический . . .	0,1—0,03
Электронный на газоразрядных приборах	10^{-4}—$5\cdot10^{-5}$
Электронный на вакуумных лампах	$5\cdot10^{-6}$—10^{-6}
Электронный на ПП приборах (в зависимости от типов транзисторов) . . .	от 10^{-6} до 10^{-7}

Не рекомендуется применять С. и. с существенно меньшим разрешающим временем, чем это требуется по условиям их работы. Это обусловлено не только соображениями стоимости и сложности устройств, но также и тем, что более скоростные С. и. обычно оказываются менее помехоустойчивыми.

Электромеханический С. и.— разновидность *реле электромагнитного*, якорь к-рого приводит в движение храповик. На

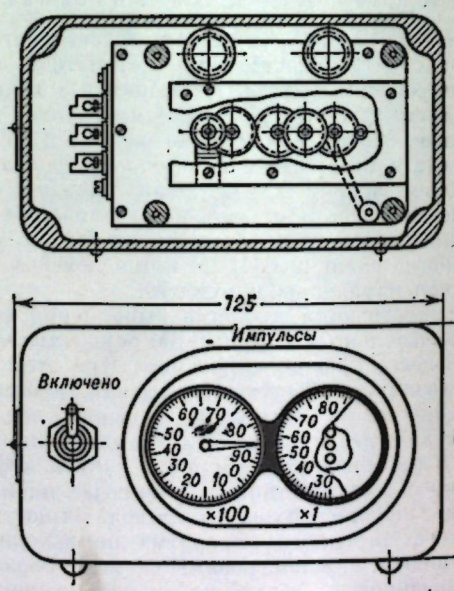


Рис. 1. Электромагнитный счетчик импульсов.

рис. 1 дан один из распространенных С. и. такого типа. Ось храповика связана со счетным механизмом. При протекании импульса тока через обмотку электромагнита храповик перемещается на один зуб и показания счетного механизма увеличиваются на единицу. На рис. 2 приведена схема С. и., работающего во 2-м режиме. Заданное число отсчитываемых импульсов устанавливают переключателем $П_1$. При каждом импульсе замыкается цепь катушки шагового искателя

$ШИ_1$ и он передвигает свои щетки на один контакт. После поступления заданного числа импульсов замыкается цепь реле $РП$, к-рое замыкает цепь катушки $ШИ_1$, возвращающую схему в исходное состояние. Часто С. и. является *искатель шаговый*. Требуемая мощность управляющих импульсов составляет в импульсе неск. *вт*, длительность импульсов 0,01—0,1 сек. Электромеханич. С. и. для работы в реверсивном режиме имеет два храповика и два приводных электромагнита.

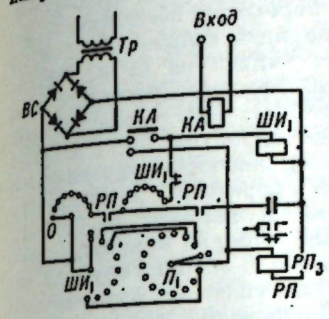


Рис. 2. Схема реле счета импульсов РСИ-1: *ВС* — выпрямитель; *Тр* — тр-р, *КА* — контакт.

Электронные С. и. на газоразрядных приборах отличаются простотой и надежностью. Возможность визуальной индикации содержимого счетчиков позволяет использовать их одновременно в 1-м и 2-м режимах. Счетчик на *декатронах* удобен в работе благодаря индикации содержимого в десятичной системе. Последовательным соединением N декатронов может быть получен счетчик с коэфф. пересчета $K=10^N$. Реверс счета достигается простой коммутацией электродов декатронов.

С. и. на тиратронах с холодным катодом потребляют малую мощность; напр., счетчик, выполненный на МТХ-90 и состоящий из семи двоичных ячеек ($K=128$),— порядка 0,1 *вт* (аналогичный счетчик на вакуумных лампах — 20—30 *вт*). Двоичный счетчик состоит из N ячеек, каждая из к-рых содержит два тиратрона и имеет два устойчивых состояния. Под воздействием каждого положит. (стартового) импульса ячейка переходит из одного состояния в другое (рис. 3). Пусть к моменту прихода стартового импульса тиратрон T_1 зажжен (проводит ток), а T_2 погашен (не проводит ток). При этом потенциалы на анодах тиратронов равны $U_{a_1}=40$—50 *в*, $U_{a_2}\approx E_a=200$ *в*, а напряжение на конденсаторе C $U_{c_0}=U_{a_2}-U_{a_1}$. Отрицат. импульс, поданный на вход схемы, не изменит режима, поскольку анодный ток горящего тиратрона не зависит в весьма широких пределах от изменения потенциала управляющего электрода. Положит. стартовый импульс вызовет зажигание T_2, и потенциал на его аноде U_{a_2} упадет до 40—50 *в*. Поскольку напряжение на емкости не может измениться мгновенно, потенциал $U_{a_1}=U_{a_2}-U_{c_0}$ становится в первый момент после зажигания T_2 отрицательным и T_1 гасится. После этого начинается процесс перезаряда конденсатора C с постоянной времени $\tau=CR_a$, к-рая выбирается в неск. раз большей, чем время деионизации в тиратронах. По окончании перезаряда конденсатора C ячейка готова к восприятию следующего стартового импульса, к-рый возвращает ее в исходное состояние вышеописанным образом. При этом на аноде T_2 возникает положит. перепад напряжения, к-рый играет роль стартового импульса для следующей ячейки. Амплитуда стартовых импульсов 20—30 *в*, длительность порядка 10 *мксек*. Для каждой ячейки исходное состояние (T_2 погашен) обозначают «0», а противоположное состояние (T_2 зажжен) «1». Состояние первой (от входа счетчика) ячейки соответствует значению младшего разряда двоичного кода—2^0, n-й ячейки—2^{n-1}, последней N-й ячейки — 2^{N-1}. Показания счетчика, т. е. совокупность состояний всех ячеек, обозначают в двоичном коде число импульсов, прошедших на его вход к данному моменту. Перед началом отсчета все ячейки устанавливаются в «0» положит. импульсом, поданным на шину «Сброс». Стартовый импульс поступает на данную ячейку с выхода предыдущей ячейки при переходе последней из «1» в «0». После поступления на вход счетчика 2^N импульсов все ячейки переходят в «0», и с входа последней ячейки (через дифференцирующую RC-цепочку) снимается импульс, являющийся сигналом переполнения счетчика и удовлетворяющий коэфф. пересчета $K=2^N$. Между K и емкостью счетчика P существует соотношение $P=K-1$, справедливое для всех счетчиков, у к-рых выходным сигналом во 2-м режиме служит сигнал переполнения. Для реверсирования счетчика достаточно переключить выходы ячеек с анодов T_2 на аноды T_1.

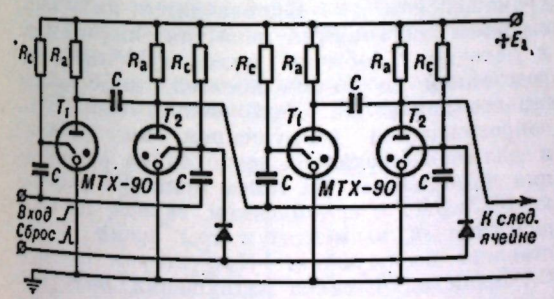


Рис. 3. Схема счетчика импульсов, состоящего из двух двоичных ячеек на тиратронах с холодным катодом.

Электронные С. и. на вакуумных лампах и ПП триодах аналогичны вышеописанному и состоят из двоичных ячеек, называемых счетными триггерами или триггерами со счетным входом. Примеры двух схем счетных

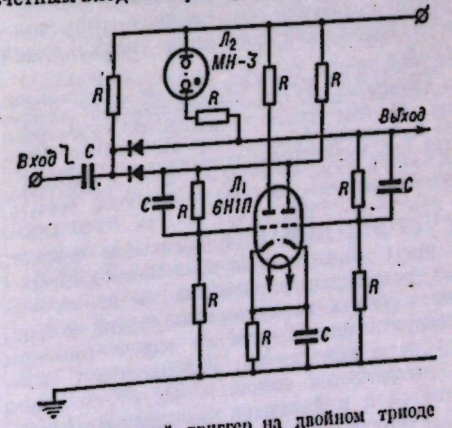


Рис. 4. Счетный триггер на двойном триоде с запуском через диоды.

триггеров показаны на рис. 4 и 5. Триггеры соединяются между собой через дифференцирующие RC-цепочки и диоды, необходимые для выделения из перепадов напряжения на соответствующих анодах (коллекторах)

стартовых импульсов нужной полярности. Стартовые импульсы униполярные и могут быть как положительными, так и отрицательными в зависимости от схемы триггера

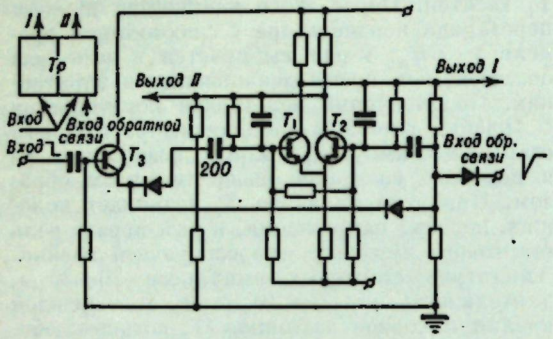


Рис. 5. Счетный триггер на ПП триодах с высокой скоростью счета.

и схемы его запуска. С. и. на вакуумных лампах и транзисторах предназначены преимущественно для работы во 2-м режиме, поскольку индикация содержимого счетчиков затруднена (особенно в схемах на транзисторах ввиду малого напряжения питания) и требует введения спец. дополнит. элементов ($Л_2$, рис. 4).

Для получения $K \neq 2^N$ используют триггерные счетчики с обратными связями или же кольцевые пересчетные схемы. Последние, однако, неудобны тем, что требуют большого числа триггеров (равного K). За счет обратных связей можно получить любую величину $K \leqslant 2^N$. По цепям обратной связи с одной из последних ячеек на предыдущие подается сигнал, действие к-рого эквивалентно действию на входе счетчика l импульсов, где $l = 2^N - K$.

В двоичных счетчиках изменение показаний на единицу нередко сопровождается одновременным изменением состояния неск. (в пределе — всех) ячеек. При сбое даже в одной ячейке это может привести к большой ошибке в показаниях. Поэтому, когда требуется особо высокая надежность, применяют счетчики [3, 4], работающие в спец. кодах (напр., коде Грея — см. *Кодирование в телемеханике*), к-рые отличаются тем, что изменение показаний на единицу сопровождается изменением состояния только одной ячейки.

Лит.: 1) Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; 2) Липкин В. М., Декатроны и их применение, М.—Л., 1960; 3) «Экспресс-информация. Сер. вычислительная техника», 1957, вып. 48; 4) Hirsch C. J., Hallden F. C., «IRE Trans. Electronic Comput.», 1957, v. EC-6, № 2, p. 108—19.

А. Я. Бирюков.

СЧЕТЧИК КОМАНД (instructions counter; compteur d'instructions; Kommandozähler) — блок устройства управления вычислит. машины с естеств. порядком выполнения команд, обеспечивающий выработку адреса команды в процессе вычислений. Разрядность С. к.— m, определяется емкостью ЗУ—N, в к-ром хранятся и выбираются команды; $m = \log_p N$, где p — основание системы счисления, принятой в машине.

С. к. работает в режиме единичного пересчета или в режиме произвольных переходов. В режиме единичного пересчета С. к. увеличивает свое содержимое на единицу в каждом такте работы машины. В машине без совмещения этапов произ-ва операции и выборки команды пересчет, как правило, совершается в начале каждого такта, а при совмещении этих этапов — после выборки предыдущей команды. Режим переходов обеспечивает изменение естеств. порядка выполнения команд и предусматривает запись на С. к. адреса, указанного в спец. команде (условного или безусловного перехода). При осуществлении условного перехода адрес на С. к. записывается через систему вентилей, управляемых сигналом условия перехода. Возвращение от второго режима к первому происходит автоматически после выборки команды, адрес к-рой был записан на С. к. Фиксируемый на С. к. код адреса поступает на адресный дешифратор, вырабатывающий группу сигналов обращения в заданную ячейку и обеспечивающий запись выбранной команды на соответствующий регистр. В машинах, содержащих спец. накопители СП, имеется два или более С. к. (машина «Стрела»). Один служит для выборки адресов осн. программ, расположенных в оперативном ЗУ и размещен в центральном УУ; остальные С. к. вырабатывают адреса команд подпрограмм и располагаются в блоке местного управления соответствующего устройства. Нек-рые машины содержат неск. С. к., относящихся к одним и тем же ЗУ. Эти С. к. используются для просчета различных участков программы с возможностью автоматич. возврата к ранее выполнявшемуся участку (машина ТХ-2). В машинах, обеспечивающих параллельное выполнение программ (мультипрограммное управление), содержится, как правило, неск. С. к. Однако при временном разделении работы УУ по реализации нескольких программ можно обойтись и одним С. к., запоминая его содержимое при переходе к новой программе в ячейке ЗУ машины. При реализации параллельного выполнения программ с помощью нескольких УУ, каждое из них имеет по крайней мере один С. к.

П. А. Данильченко.

СЧИТЫВАНИЕ (чтение) (reading; lecture; Lesen) — определение информации, хранящейся в ЗУ. Производится либо приведением состояния носителя информации к исходному (обычно нулевому), либо определением состояния носителя информации без его изменения. При первом способе С. сопровождается разрушением информации, и для многократного С. необходима регенерация информации. На таком принципе работают ЗУ с ЭЛТ с накоплением заряда на конденсаторных элементах и др.; время С. составляет неск. *мксек*. При втором способе С., происходящем без разрушения информации, сокращается время С. благодаря отсутствию регенерации. Физич. процесс определения состояния носителя информации без его изменения проходит значительно быстрее — доли *мксек* (см. *Считывание информации неразрушающее*).

Для С. характерно наличие слабых полезных сигналов на фоне помех, иногда в неск. раз превосходящих по амплитуде полезные сигналы. Поэтому при С. широко используют радиотехнич. способы селекции полезных сигналов и борьбы с помехами (интегрирование, временна́я и амплитудная селекция, компенсация помех и др.). С. является составной частью большинства машинных операций, а иногда и самостоят. операцией. Так, процесс

выполнения трехадресной команды содержит три С.: первого числа, второго числа и следующей команды. Процессы С. в ЗУ усовершенствуются в направлении уменьшения времени С., разработки новых способов С. без разрушения информации, одновременного С. по неск. адресам в одном ЗУ.

А. В. Гусев.

СЧИТЫВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕЕ (nondestructive reading; lecture non-destructive; nicht zerstörendes Lesen) — считывание информации из *запоминающегося устройства*, не сопровождающееся ее стиранием и допускающее многократное считывание одной и той же информации без принятия спец. мер по ее сохранению (перезапись, восстановление). С. и. н. органически присуще многим типам долговременных ЗУ (магнитные ленты и барабаны, перфоленты, перфокарты и т. п.) и нек-рым типам ферромагнитных ЗУ. В ЗУ на ЭЛТ и в динамич. ЗУ на линиях задержки считывание информации сопровождается ее разрушением. Если нужно, чтобы только что считанная информация сохранилась в ЗУ для использования в будущем, то предусматривают спец. методы ее перезаписи. Т. к. восстановление считанной информации или ее перезапись требуют дополнит. аппаратуры и влекут за собой удлинение времени обращения к ЗУ, стремятся создать методы хранения информации, допускающие С. и. н. Использование С. и. н., сокращая объем аппаратуры, повышает также надежность системы. Среди множества типов оперативных ЗУ св-вом С. и. н. обладают в осн. лишь ферромагнитные ЗУ, в к-рых для запоминания используются особенности гистерезисной петли.

Наиболее известны следующие методы С.и.н. в ферромагнитных ЗУ: 1) использование взаимодействия непараллельных токов, в частности считывание поперечным полем; 2) считывание очень короткими импульсами, основанное на явлениях вязкости; 3) радиочастотное считывание токами ВЧ радиотехнич. диапазона; 4) считывание методом «частичного запроса», основанное на перераспределении магнитного потока в сложном магнитопроводе.

С. и. н. методом поперечного поля поясняется диаграммами рис. 1. Зафиксированная

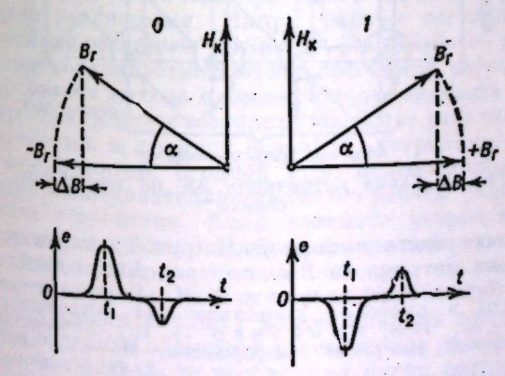


Рис. 1. Принцип считывания информации поперечным полем.

в магнитном сердечнике информация определяется направлением вектора остаточной индукции B_r. Если в процессе запроса приложить внешнее магнитное поле с напряженностью $H_к$, перпендикулярной B_r, то вектор B_r поворачивается на нек-рый угол α в направлении $H_к$ (поперечного поля), сохраняя, благодаря прямоугольности петли гистерезиса материала, свою абс. величину. После прекращения действия поперечного поля, если интенсивность последнего не слишком велика, вектор B_r возвращается в состояние, близкое к исходному, т. е. зафиксированная в элементе информация сохраняется. При изменении во время запроса горизонт. составляющей вектора индукции на величину ΔB в обмотке считывания наводится эдс: при повороте вектора в момент t_1 — одного знака и при возврате его в нач. положение в момент t_2 — противоположного знака. Знак приращения ΔB зависит от направления B_r, и, т. о., распознавание считанного кода (0 или 1) определяется полярностью импульса эдс считывания.

Одна из наиболее удачных конструкций элемента с С. и. н. поперечным полем — биакс (рис. 2) — ферритовый параллелепипед с двумя сквозными отверстиями круглого или квадратного сечения, оси к-рых взаимно-перпендикулярны. Описанные в *лит.* элементы имеют размеры ок. 1,27×1,27×2,1 *мм*, при отверстиях 0,5×0,5 *мм* и толщине внешних стенок и перемычки между отверстиями 0,375 *мм*.

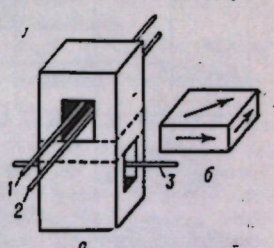


Рис. 2. Биакс: *а* — конструкция; *б* — ориентация магнитного потока в перемычке между отверстиями.

Одно из отверстий (предположим верхнее) служит для запоминания информации. Через это отверстие проходят проводники записи *1* и считывания *2*, через нижнее — провод *3*, по к-рому при считывании информации пропускаются т. н. опросные или считывающие импульсы тока. Осн. процессы С. и. н. в биаксе происходят в перемычке между отверстиями; здесь имеет место поворот вектора остаточной индукции под воздействием опросных импульсов, в результате чего в проводе *2* индуктируются импульсы эдс считывания. Время, затрачиваемое на считывание информации из биакса,— ок. 0,2 *мксек*. Как показали эксперименты, такой элемент может быть опрошен сотни миллионов раз без заметного изменения величины сигнала считывания. Тактовая частота ЗУ на биаксах может достигать 10 *Мгц*, причем не наблюдается существ. нагрева элементов. Биаксы, изготовленные из феррита с точкой Кюри 180°С, работали нормально при темп-ре окружающей среды до 125°С. Биаксы неск. измененной конструкции (без стенки между отверстиями) могут работать и в качестве элементов логич. схем. Использование взаимодействия непараллельных токов для обеспечения эффекта С. и. н. характерно также и для перспективных ЗУ на ферромагнитных пленках.

Др. способ С. и. н. состоит в воздействии на сердечник импульсами магнитного поля настолько малой длительности, что даже при амплитуде их, значительно превышающей коэрцитивную силу, не происходит необратимых изменений остаточной намагниченности сердечника. На этом принципе, обусловленном явлениями вязкости и упругого смещения

стенок доменов, было построено на ленточных магнитных сердечниках экспериментальное ЗУ с совпадением токов, работавшее со временем полного цикла обращения 0,2—0,3 *мксек*.

В основе метода С. и. н. токами ВЧ лежит нелинейность хар-ки $B=f(H)$, благодаря чему при возбуждении сердечника колебаниями одной или неск. частот в обмотке считывания индуктируются высшие гармоники или комбинац. частоты, фаза к-рых зависит от записанной в элементе информации. Графики, иллюстрирующие С. и. н. импульсами ВЧ, даны на рис. 3. Т. к. петля гистерезиса материала симметрична относительно осей координат, то характер зависимости $\varphi=f(i)$ для верхнего и нижнего перегибов петли гистерезиса одинаков. Однако если эта ф-ция для верхней части петли (запись *1*) имеет вид $\varphi_1=f(i)$, то для нижней части петли (запись 0) она характеризуется инвертированием знака аргумента и значения ф-ции $\varphi_0=-f(-i)$. Можно аналитически показать, что при возбуждении сердечника синусоидальными колебаниями с частотами f_1 и f_2 фазы индуктированных в обмотке считывания комбинац. колебаний разностной частоты f_1-f_2 будут отличаться по фазе на π при считывании 0 и 1. Включая на выходе фазочувствит. элемент, напр. параметрон, можно успешно осуществлять распознавание считанной информации. Чтобы за время действия полупериода перем. тока того или др. направления не происходило необратимое перемагничивание сердечника, возбуждение необходимо осуществлять токами ВЧ — порядка нескольких *Мгц* и более. Блок-схема матрицы ЗУ с радиочастотным С. и. н. дана на рис. 4. Возбуждение шин *1* совпадающими радиочастотными импульсами с частотами f_1 и f_2 производится соответственно через адресные дешифраторы *2* и *3*. Обмотка считывания выведена на резонансный усилитель *4*, к-рый выделяет разностную частоту f_1-f_2 и отфильтровывает частоты возбуждения f_1 и f_2, их гармоники и суммарную частоту f_1+f_2. На выходе фазового детектора *5* получается сигнал, соответствующий считываемой информации.

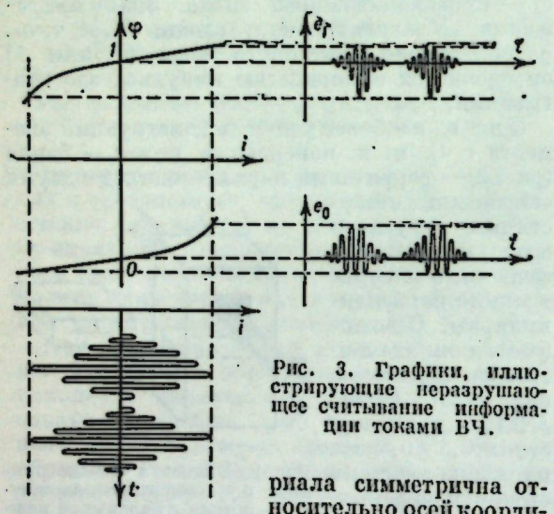


Рис. 3. Графики, иллюстрирующие неразрушающее считывание информации токами ВЧ.

Т. к. все неизбранные сердечники, пронизанные возбужденными шинами, возбуждаются только одной частотой f_1 или f_2, то в них не возникает комбинац. частота $f_c=f_1-f_2$. Поэтому, как бы ни была велика по амплитуде возбуждаемая в обмотке считывания эдс помехи с частотой f_1 или f_2, она при достаточно хороших фильтрующих св-вах

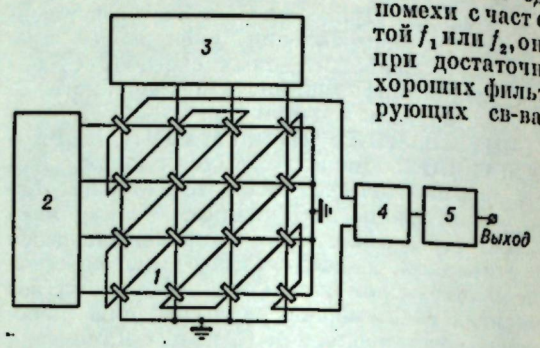


Рис. 4. Блок-схема матрицы с совпадением токов с радиочастотным считыванием.

резонансного усилителя *4* может быть полностью отсеяна, что обусловливает высокую помехоустойчивость схемы. Наряду с применением в ЗУ с совпадением токов двухчастотного считывания можно построить ЗУ с непосредств. выборкой, в к-рых осуществляется считывание одной ВЧ f, а на выходе выделяется вторая гармоника этой частоты $2f$, фаза к-рой зависит от состояния запоминающего элемента (0 или 1). Применение различных вариантов радиочастотного С. и. н. практически оправдывается в машинах, работающих на радиоимпульсах, напр. в машинах на параметронах.

С. и. н. методом «частичного запроса» осуществляется в спец. элементах с перераспределением магнитного потока — *трансфлюксорах*. На трансфлюксорах могут строиться ЗУ с С. и. н., как по методу совпадения токов, так и

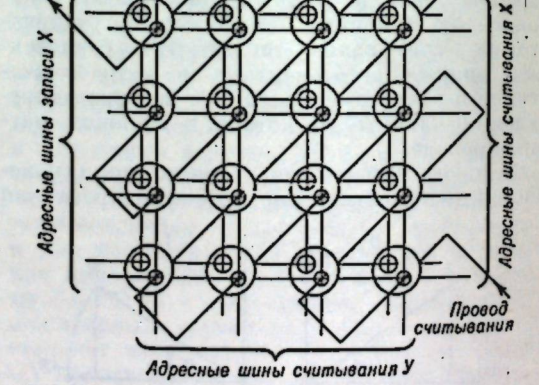


Рис. 5. Схема матричного ЗУ на трансфлюксорах.

с непосредств. выборкой. На рис. 5 дана, напр., схема матричного ЗУ на трансфлюксорах.

Лит.: Заволокина З. И., Магнитные элементы в цифровых вычислительных устройствах, М.— Л., 1958; Крайзмер Л. П., Устройства хранения дискретной информации, М.— Л., 1961.

Л. П. Крайзмер.

СЧИТЫВАНИЯ ВРЕМЯ (acces time; durée de lecture; Ablesezeit, Lesezeit) — часть полного цикла обращения к *запоминающему устройству*, затрачиваемая непосредственно на вывод во внешнюю цепь содержимого избранной группы запоминающих ячеек этого устройства.

А. В. Шилейко.

Т

ТАБЛИЦА ВКЛЮЧЕНИЙ (switching table; tableau des enclenchements; Schalttafel) — символическая в виде таблицы запись условий работы многотактного релейного устройства с указанием последовательности действия элементов схемы во времени. Т. в. представляет собой прямоугольную таблицу, в каждой строке к-рой указывается состояние к.-л. одного воспринимающего, промежуточного или исполнит. релейного элемента (состояние исполнит. органов этого элемента) в тех или иных тактах работы релейного устройства, причем для каждого такта отводится один столбец таблицы. Очередность следования тактов в Т. в. соответствует действит. очередности смены тактов релейного устройства. В каждом столбце Т. в. каким-либо образом отмечаются состояния всех релейных элементов и выходов релейного устройства, соответствующие данному такту работы релейного устройства, при этом рабочее состояние релейного элемента и выхода отмечается различными способами — против соответствующего релейного элемента или выхода релейного устройства ставится единица, или черта, или крест и т. д.; для нерабочего (спокойного) состояния соответствующая клетка (образованная пересечением строки и столбца) остается незаполненной. Часто для наглядности условные обозначения рабочих состояний различных релейных элементов делают различными. Напр., рабочее состояние воспринимающего элемента (или рабочее состояние входа) отмечают жирной чертой, рабочее состояние выхода промежуточного элемента — крестом, рабочее состояние исполнит. релейных элементов и выходов релейного устройства — тонкой чертой. В одной Т. в. можно записать одну последовательность тактов работы релейного устройства. Если релейное устройство реализует неск. последовательностей тактов работы (напр., различные последовательности тактов при различных последовательностях поступления входных воздействий на приемные релейные элементы или на входы релейного устройства), то необходимо иметь соответствующее число Т. в., каждая из к-рых будет описывать работу релейного устройства при какой-то одной последовательности тактов. В Т. в. часто обозначают особым образом неустойчивые и устойчивые состояния релейных элементов, состояние удержания релейного элемента в рабочем или нерабочем состоянии за счет замедления на отпускание и срабатывание и др. возможные режимы его работы. Это наиболее наглядно отражает условия работы релейного устройства и облегчает дальнейший процесс синтеза схемы.

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.— Л., 1950; Рогинский В. Н., Построение релейных схем управления, М.—Л., 1964.

В. Г. Лозарев.

ТАБЛИЦА ОБЪЕКТНО-ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ (plant characteristic table; table des caractéristique des objet; Tafel der Objektcharakteristik) — форма хранения информации в ЗУ, приспособленная для решения информац. задач. Под информац. задачей при этом понимается задача, алгоритм решения к-рой известен, а исходные данные (сведения, сообщаемые задающим задачу) неполны, т. е. после формализации нек-рые исходные данные оказываются представленными не в виде высказываний, а в виде предикатов.

Пример информац. задачи: «определить время, прошедшее с 10 час. сегодняшнего утра до настоящего момента». Алгоритм решения этой задачи можно описать ф-лой: $t=t_2-t_1$, а условие — в виде одного высказывания: «t_1=10 час. 00 мин.» и одного предиката: «t_2— настоящий момент». Для решения информац. задачи нужно из к.-л. источника получить значения предметных переменных, обращающих предикаты условия информац. задачи в истинные высказывания, после чего применить алгоритм решения. В привед. примере источником могут служить часы. В ряде информац. систем источником является запас информации, сосредоточенной в нек-ром хранилище. Таким хранилищем могут быть Т. о.-х.

Т. о.-х. представляют собой совокупность прямоугольной матрицы и т. н. шапки объектов и шапки хар-к. Шапка объектов — перечень назв. объектов нулевого ранга, каждому из к-рых соответствует определенная строка матрицы, и объектов старших рангов, для к-рых объекты младших рангов — частные случаи. При этом говорят, что объект имеет ранг j, если среди своих частных случаев он содержит хотя бы один объект $(j-1)$-го ранга. Напр., если объектами нулевого ранга являются типы автомашин: «Волга», «Москвич», «Запорожец», ГАЗ-51А, МАЗ-200, ГАЗ-53Ф, то объектами 1-го ранга могут быть «легковая автомашина», «грузовая автомашина», объектом 2-го ранга — «автомашина», объектом 3-го ранга — «транспортное сред-

ство». В шапке объектов каждое назв. объекта сопровождается дополнит. информацией, в к-рой указаны: а) ранг объекта; б) номер строки матрицы, если объект имеет нулевой ранг; в) номер (в данной шапке) объекта, к-рый является для данного объекта ближайшим старшим по рангу; г) номера (в данной шапке) объектов, к-рые входят в данный объект как ближайшие младшие по рангу. Т. о., в шапке объектов, кроме назв. объектов и их рангов, указаны классификац. связи между объектами и их связи с матрицей. Шапка хар-к построена аналогичным образом, с той разницей, что хар-кам нулевого ранга соответствуют не номера строк, а номера столбцов матрицы. Хар-ками вышеперечисл. объектов (автомашин) могут быть цвет, мощность двигателя, количество пассажирских мест, емкость бензобака, грузоподъемность, тип радиоприемника и т. п. В матрице на пересечении строк и столбцов записаны значения хар-к. Возможно, что нек-рые хар-ки не свойственны или не имеют смысла для к.-л. объектов (напр., тип радиоприемника для МАЗ-200, на к-ром радиоприемник не устанавливается). В этом случае на соответствующем месте в матрице ставится спец. код, обозначающий «не имеет смысла». Хар-ки наз. формализованными, если для записи их значений установлены однозначные правила. В противном случае хар-ки наз. неформализованными (напр., если их значения записаны без к.-л. спец. правил на естеств. языке).

Т. о.-х. разработаны для применения в информац. системах, автоматизированных с помощью ЭЦМ. Возможности таких систем возрастают, если хар-ки формализованы. Частный случай Т. о.-х. — т. н. логич. информац. таблица, в к-рой хар-ки выбраны так, что их значениями являются слова «да» и «нет». Напр., вместо ранее указанной хар-ки «цвет» можно ввести ряд хар-к: «имеет зеленый цвет», «имеет красный цвет», «имеет черный цвет» и т. д. При таком выборе хар-к все они формализованы. Однако объем таблиц становится значительно больше, чем в вышеописанных Т. о.-х.

Выбор сведений из Т. о.-х. сводится к прямому или обратному поиску, либо представляет собой их сочетание. При прямом поиске: 1) заданное назв. объекта находится в шапке объектов; 2) определяется совокупность объектов нулевого ранга, входящих в данный объект; 3) заданное назв. хар-ки находится в шапке хар-к; 4) определяется совокупность хар-к нулевого ранга, входящих в данную хар-ку; 5) из матрицы выбираются значения хар-к, стоящие на пересечениях строк и столбцов, отвечающих определенным таким способом объектам и хар-кам нулевого ранга. Результатом прямого поиска является нек-рое множество значений хар-к, а исходными данными для него — назв. объекта и назв. хар-ки. При обратном поиске: 1) в шапке хар-к находится заданная совокупность хар-к нулевого ранга (могут быть заданы назв. одной или неск. хар-к ненулевого ранга); 2) производится просмотр столбцов матрицы, отвечающих указанным хар-кам нулевого ранга, и проверка выполнения к.-л. заданного условия для значений хар-к, стоящих в одной и той же строке этих столбцов. Каждый раз, когда условие выполняется, фиксируется номер строки; 3) определяются объекты нулевого ранга соответствующие найденным номерам строк. Если к.-л. группа объектов нулевого ранга из числа полученных полностью исчерпывает нек-рый объект более высокого ранга, то она заменяется этим объектом. Результатом обратного поиска является нек-рое множество объектов, а исходными данными для него — совокупность назв. хар-к нулевого ранга и условие, к-рому должны удовлетворять значения этих хар-к. В принципе возможен обратный поиск, к-рый получается из описанного путем обмена ролями объектов и хар-к.

Пусть M — множество элементов μ, полученных в результате прямого или обратного поиска. Над M можно выполнять различные операции, из к-рых простейшими являются: 1) суммирование элементов (если они имеют количеств. смысл); 2) перечисление элементов (выбор подмножества всех попарно-различных); 3) счет попарно-различных элементов, входящих в M; 4) проверка заданного условия $P(\mu)$, т. е. определение (в виде ответа «да» или «нет») значения истинности высказывания $E\mu P(\mu)$. С помощью прямого и обратного поиска и перечисл. простейших операций над результатами поиска по Т. о.-х. можно получать ответы на широкий класс вопросов. Напр., если U — объект нулевого ранга, а q — хар-ка, значения к-рой имеют количеств. смысл, то с помощью прямого поиска и операции суммирования можно ответить на вопрос: «сколько q имеет U?»; если U — объект ненулевого ранга, то с помощью прямого поиска и операции проверки условия $\mu = r$ можно получить ответ на любой вопрос, эквивалентный по смыслу вопросу: «существуют ли U, для к-рых хар-ка q имеет значение r?»; с помощью обратного поиска и операции перечисления получается ответ на вопрос: «для каких объектов значение хар-ки q равно r?» и т. п.

Структура Т. о.-х. позволяет изменять в матрице значения хар-к, а также включать в состав Т. о.-х. новые объекты и хар-ки. Это делает Т. о.-х. удобными для применения в динамич. информац. системах, предназнач. для работы с изменяющейся (оперативной) информацией. Такие информац. системы будут важной составной частью разрабатываемых систем автоматизиров. управления отраслями нар. х-ва.

Н. А. Кришицкий.

ТАБЛИЦА ПЕРЕХОДОВ (transition table, flow table; tableau des transferts; Übergangstabelle) — таблица, задающая зависимость состояния релейного устройства (*конечного автомата* или вероятностного автомата) в настоящий момент от состояния устройства в предыдущий момент и входа в настоящий момент. Примером может служить Т. п. синхронного троичного кольцевого счетчика:

	x_1	x_2
y_1	y_1	y_2
y_2	y_2	y_3
y_3	y_3	y_1

где x_1, x_2 — входные воздействия, y_1, y_2, y_3 — состояния устройства. Из этой таблицы видно, что если устройство находится в состоянии y_1, то под действием входной комбинации x_1 оно останется в этом состоянии, под действием x_2 — перейдет в состояние y_2. Под состоянием устройства в Т. п. обычно понимается

комбинация состояний *промежуточных элементов релейного устройства*, однако может пониматься и полное состояние, т. е. комбинация состояний *воспринимающих элементов релейного устройства* и промежуточных элементов. Т. п. обычно содержит лишь абстрактные обозначения состояний. Путем приписывания абстрактным состояниям двоичных чисел от Т. п. переходят к *таблице состояний*, из к-рой в дальнейшем получают конкретную структуру устройства (см. *Синтез релейных устройств*). Вместе с Т. п. всегда задается таблица выходов, к-рая, напр., для троичного счетчика имеет след. вид:

	x_1	x_2
y_1	z_1	z_1
y_2	z_1	z_2
y_3	z_2	z_1

где z_1, z_2 соответствуют комбинациям выходных элементов. Часто эти две таблицы совмещают в одну.

Существуют различные способы записи Т. п. Для асинхронных устройств, в к-рых важно подчеркнуть наличие устойчивых состояний, наиболее употребительной является форма Т. п., предложенная Хаффменом (подробно см. [2], а также *Синтез релейных устройств*). Часто используется запись Т. п. в виде квадратной матрицы, где на пересечении i-той строки и j-того столбца стоят все входы, к-рые переводят устройство из состояния y_i в состояние y_j. Для нашего примера матрица имеет вид:

	y_1	y_2	y_3
y_1	x_1	x_2	0
y_2	0	x_1	x_2
y_3	x_2	0	x_1

Вместо одной такой матрицы иногда используется n матриц, по одной для каждого из n входов. Это особенно удобно для задания вероятностных автоматов. В этом случае на пересечении i-той строки и j-того столбца матрицы для входа x_k стоит вероятность P_{ijk}, с к-рой автомат, находящийся в состоянии y_i, под действием входа x_k перейдет в состояние y_j.

Лит.: 1) Глушков В. М., Синтез цифровых автоматов, М., 1962; 2) Колдуэлл С. Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962.

О. П. Кузнецов.

ТАБЛИЦА СОСТОЯНИЙ релейного устройства (combination table; tableau des états; Zustandstabelle) — таблица, задающая зависимость состояний каждого выходного (исполнительного) и промежуточного релейного элемента в настоящий или последующий момент от состояний входных (воспринимающих) элементов в настоящий момент и состояний промежуточных элементов в тот же момент или в предыдущий момент. В случае, когда устройство не содержит промежуточных элементов, т. е. является однотактным (см. *Релейное устройство однотактное*), Т. с. задает зависимость состояний выходных элементов от состояний входных элементов, иными словами, каждой букве *входного алфавита* ставит в соответствие букву *выходного алфавита*.

Если элементы устройства являются двухпозиционными, то состояния устройства выражаются комбинациями нулей и единиц, т. е. двоичными числами; в этом случае Т. с. ставит в соответствие двоичным числам, выражающим состояния входных и промежуточных элементов в момент $t-1$ или t, двоичные числа, выражающие состояния промежуточных выходных элементов в момент t или $t+1$. Примером Т. с. для одиотактного устройства может служить табл. 1, выражающая условия работы симметричного устройства с тремя входами A, B, C, одним выходом Y и рабочим числом 2.

Таблица 1

$A(t)$	$B(t)$	$C(t)$	$Y(t)$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Примером Т. с. для многотактного устройства служит табл. 2*а*, полученная из матрицы состояний (табл. 2*б*), описывающая работу асинхронного двоичного счетчика с одним входом A, двумя промежуточными элементами Y_1, Y_2 и одним выходом Z.

Таблица 2*а*

$A_1(t)$	$Y_1(t)$	$Y_2(t)$	$Y_1(t+1)$	$Y_2(t+1)$	$Z(t+1)$
0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	0	1

Таблица 2*б*

$Y_1(t)$	$Y_2(t)$	$A(t)$	
		0	1
0	0	00,0	01,0
0	1	11,0	01,0
1	1	11,0	10,1
1	0	00,0	10,1

В клетках этой таблицы записаны состояния $Y_1(t+1)$, $Y_2(t+1)$ и (после запятой) $Z(t+1)$. Одной и той же Т. с. могут соответствовать различные структуры. Табл. 1, напр., задает логич. ф-цию $Y(a, b, c) = \bar{a}bc + a\bar{b}c + ab\bar{c} = a(b\bar{c} + \bar{b}c) + \bar{a}bc = b(\bar{a}c + a\bar{c}) + a\bar{b}c$. Каждому из трех выражений соответствует определенная структура, однако все они выполняют преобразование, заданное табл. 1, и с этой точки зрения эквивалентны. В случае, когда в условиях работы имеются безразличные или неиспользуемые состояния, Т. с. либо содержит прочерки в соответствующих строках правой половины таблицы, либо (в случае, когда состояние безразлично для всех выходных и промежуточных элементов) вовсе не содержит соответствующей строки.

О. П. Кузнецов.

ТАБЛИЧНОЕ ЗАДАНИЕ ФУНКЦИИ (tabular definition of functions; fixation tabulaire des fonctions; tabellierte Funktionsaufgabe) — способ задания ф-ции

$$y=F(x_1, x_2, \ldots, x_n), \qquad (1)$$

при к-ром она изображается множеством числовых наборов

$$(x_1^{i_1}, x_2^{i_2}, \ldots, x_n^{i_n}, y^{i_1, i_2, \ldots, i_n}); \qquad (2)$$

в каждом из этих наборов первые n чисел — значения аргументов $x_1, x_2, \ldots, x_n$, а последнее — соответствующее значение ф-ции y. Совокупность вышеуказанных наборов, размещенная в ЗУ так, что по заданным значениям аргументов $x_1, x_2, \ldots, x_n$ легко найти отвечающее им значение ф-ции y, наз. т а б л и ц е й. Для нахождения по таблице значения ф-ции следует произвести, в общем случае, две операции: выбор из таблицы и интерполяцию. Последняя необходима тогда, когда заданная система значений аргументов $x_1, x_2, \ldots, x_n$ не совпадает ни с одной, непосредственно включенной в таблицу. При этом из табл. производят выбор значений ф-ции, отвечающих системам значений аргументов, «соседним» с заданной, и по ним приближенно вычисляют искомое значение ф-ции с помощью одной из известных интерполяц. ф-л.

Способ размещения таблиц в ЗУ зависит как от количества наборов (2) и их размерности n, так и от особенностей самого ЗУ и ожидаемого процесса эксплуатации таблиц. Однако при любом способе размещения значения каждого аргумента, включаемые в таблицу, упорядочивают (напр., по их возрастанию), что облегчает выбор из таблиц. Если в качестве ЗУ используются листы бумаги, то таблицу представляют: а) при $n=1$ в виде двух строк чисел, «выравненных» по вертикали,

$$x_1^1, x_1^2, x_1^3, \ldots, x_1^m$$
$$y^1, y^2, y^3, \ldots, y^m;$$

б) при $n=2$ в виде т. н. таблицы о двух входах, в к-рой значения одного аргумента расположены в виде строки, значения другого — в виде столбца, а значение ф-ции, если оно задано для данной пары значений аргументов x_1 и x_2, записано на месте пересечения соответствующей строки столбца:

$$x_2^1\ x_2^2\ x_2^3\ \ldots\ x_2^{m_2}$$
$$x_1^1\ y^{1,1}\ y^{1,2}\ y^{1,3}\ \ldots\ y^{1,m_2}$$
$$x_1^2\ y^{2,1}\ y^{2,2}\ y^{2,3}\ \ldots\ y^{2,m_2}$$
$$x_1^3\ y^{3,1}\ y^{3,2}\ y^{3,3}\ \ldots\ y^{3,m_2}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$x_1^{m_1}\ y^{m_1,1}\ y^{m_1,2}\ y^{m_1,3}\ \ldots\ y^{m_1m_2};$$

в) при $n=3$ в виде тетрадн таблиц о двух входах, в к-рой каждый лист помечен значением 3-го аргумента; г) при $n=4$ в виде комплекта тетрадей таблиц о двух входах, в к-ром каждая тетрадь помечена значением 4-го аргумента. Т. з. ф. при $n>4$ редко применяется на практике в виде таблиц, составленных на бумаге.

Т. з. ф. часто используется при решении задач на ЭВМ. Таблицы, размещаемые в ЗУ ЭВМ, делят на малые, размещаемые в оперативном ЗУ (ОЗУ), и большие, размещаемые во внешних ЗУ (ВЗУ). Такая классификация условна, т. к. для одной и той же ф-ции [даже для одной и той же совокупности наборов (2)] таблица может быть либо большой, либо малой в зависимости от характера задачи, при решении к-рой она используется, от объема ОЗУ машины и даже от квалификации программиста (для ускорения выбора из таблицы следует стремиться задать ф-цию в виде малой таблицы).

При размещении таблиц в ЗУ ЭВМ значения каждого аргумента располагают в виде упорядоченного массива. Выбор из таблицы заключается в том, что в таких массивах находят заданные значения аргументов (или значения, «соседние» с заданными), а затем по номерам ячеек, хранящих значения этих аргументов, или по др. признакам, к-рые могут быть, напр., записаны в тех же ячейках, что и значения аргументов, находят адреса ячеек, хранящих соответствующие значения ф-ции. При этом принцип выбора из табл. не зависит от значения величины n. В нек-рых случаях структура табл. может быть упрощена исключением из нее одного или неск. массивов значений аргументов.

Малая таблица наз. регулярной относительно аргумента x_j, если существует и известна монотонно возрастающая (вместе с x_j) ф-ция $\beta_j(x_j)$, удовлетворяющая условию

$$\beta_j(x_j^{i^*_j})=i^*_j. \qquad (3)$$

Ф-ция β_j наз. хар-кой входа в таблицу по аргументу x_j и дает возможность по любому заданному значению x_j найти номер i_j^* табличного значения аргумента $x_j^{i_j^*}$ такого, что

$$x_j^{i_j^*}\leqslant x_j\leqslant x_j^{i_j^*+1}. \qquad (4)$$

Величина i_j^*, равная

$$i_j^*=E[\beta_j(x_j)], \qquad (5)$$

где $E[z]$ означает целую часть числа z, позволяет непосредственно определить адрес ячейки, содержащей искомое (или «соседнее» с искомым) значение ф-ции. В таком случае из ОЗУ можно исключить массив значений аргумента x_j.

П р и м е р. В случае ф-ции трех переменных

$$y=f(x_1, x_2, x_3),$$

таблица значений к-рой регулярна относительно всех трех аргументов, табличные значения y^{i_1, i_2, i_3} этой ф-ции можно упорядочить по возрастанию величины

$$\nu(i_1, i_2, i_3)=m_2m_3(i_1-1)+m_3(i_2-1)(i_3-1)$$

и разместить в ОЗУ так, чтобы адресом значения y^{i_1, i_2, i_3} (номером ячейки, хранящей эту величину) было

$$b(i_1, i_2, i_3)=b_0+\nu(i_1, i_2, i_3), \qquad (6)$$

где b_0 — адрес первой ячейки массива значений ф-ции. При этом m_1, m_2 и m_3 означают соответственно количество табличных значений аргументов x_1, x_2 и x_3. Для получения $f(x_1, x_2, x_3)$ или «соседнего» с ним значения ф-ции достаточно определить

$$i_1^*=E[\beta_1(x_1)];\ i_2^*=E[\beta_2(x_2)];\ i_3^*=E[\beta_3(x_3)],$$

а затем, подставив в (6) значения i_1^*, i_2^* и i_3^*, по адресу b (i_1^*, i_2^*, i_3^*) выбрать величину $y^{i_1^*, i_2^*, i_3^*}$. Важный частный случай регулярности таблицы относительно аргумента x_j — случай пост. шага аргумента x_j, в к-ром

$$x_j^{i_j}=x_j^0+i_jh_j\quad (h_j=\text{const}),$$

и, следовательно,

$$\beta_j(x_j)=\frac{x_j-x_j^0}{h_j}.$$

Если для аргумента x_j не известна вышеупомянутая ф-ция $\beta_j(x_j)$, то говорят, что таблица нерегулярна относительно x_j.

Разработано много приемов выбора значений ф-ции из таблицы, нерегулярной относительно одного или неск. своих аргументов. Простейшим является с п о с о б п е р е б о р а, при к-ром заданное значение аргумента x_j подвергается последовательным сравнениям с табличными значениями этого аргумента путем проверки неравенств

$$x_j^1\leqslant x_j$$
$$x_j^2\leqslant x_j$$
$$\ldots$$

Этот процесс продолжают до тех пор, пока не встретится первый раз табличное значение $x_j^{i_j+1}$, не удовлетворяющее неравенству

$$x_j^{i_j^*+1}\leqslant x_j.$$

Т. о. определяют величину i_j^*, к-рая используется для выбора табличного значения ф-ции. Способ перебора требует большого расхода машинного времени и поэтому в чистом виде применяется редко, несмотря на свою простоту.

С п о с о б м н о г о с т е п е н н о г о п е р е б о р а заключается в том, что массив значений аргумента x_j разбивают на k приблизительно равных по «длине» подмассивов и, выбрав первые табличные значения каждого из этих подмассивов, применяют к ним описанный выше способ перебора. При этом находят подмассив, содержащий искомое табличное значение аргумента. К нему снова применяют описанный процесс и так до тех пор, пока не получат достаточно малый подмассив, состоящий меньше, чем из $2k$ табличных значений аргумента. В последнем подмассиве обычным перебором находят $x_j^{i_j^*+1}$, а следовательно, и величину i_j^*. Наиболее удобен способ многостепенного перебора при $k=2$ (в этом случае его наз. с п о с о б о м д е л е н и я п о п о л а м).

При использовании с п о с о б а и н т е р п о л и р о в а н и я весь массив табличных значений аргумента x_j делят на два подмассива, «длины» к-рых относятся приблизительно как $x_j-x_j^1/x_j^m-x_j$. Заданное значение аргумента x_j сравнивают с пограничными табличными значениями и определяют, в каком из полученных подмассивов следует искать $x_j^{i_j^*}$, удовлетворяющее условию (4). Применительно к этому подмассиву повторяют описанный процесс и так до тех пор, пока не будет найдено искомое i_j^*. Способ оправдывает себя, если табличные значения аргумента x_j распределены по закону, близкому к равномерному.

Довольно удобен с п о с о б р е г у л я р н ы х р а з д е л и т е л е й, при к-ром массив табличных значений аргумента x_j заранее делят на части с помощью регулярной последовательности, для к-рой известна характеристич. ф-ция $\beta_j(x_j)$. Числа, входящие в эту последовательность (они не обязательно должны быть табличными значениями аргумента), наз. разделителями. С помощью заданного x_j по ф-ле (5) находят разделитель, «правее» которого (и «левее» следующего за ним разделителя) лежит искомое табличное значение $x_j^{i_j^*}$, а затем производят обычный перебор табличных значений, заключенных между двумя вышеупомянутыми разделителями.

Следует указать с п о с о б с к о л ь з я щ е г о н а ч а л а (и л и к о н ц а) т а б л и ц ы. Для определенности рассмотрим способ скользящего начала таблицы. Он применяется в том случае, когда заранее известно, что из таблицы будут выбирать значения ф-ции для монотонно возрастающих значений аргумента x_j. При этом способе величину $x_j^{i_j^*+1}$ определяют обычным перебором, но при каждом последующем обращении к таблице поиск нового i_j^* начинают не с начала массива табличных значений x_j, а с последнего, уже выбранного табличного значения аргумента. Если значения аргумента x_j, для к-рых выбираются из таблицы значения ф-ции, образуют монотонно убывающую последовательность, то скользящим должен быть конец таблицы.

Выбор значений ф-ции из таблицы упрощается в случае т. н. п о ч т и - р е г у л я р н о й т а б л и ц ы относительно аргумента x_j, когда известна монотонно возрастающая ф-ция $\beta_j(x_j)$, удовлетворяющая условию

$$|\beta_j(x_j^{i_j})-i_j|\leqslant k,$$

где k — положит. целое число, значительно меньшее числа m_j табличных значений аргумента x_j. Число k принято называть модулем нерегулярности. Выбор из таблицы, имеющей малый модуль нерегулярности, удобно осуществлять путем вычисления величины

$$\varkappa=E[\beta_j(x_j)]$$

и перебора среди табличных значений аргумента x_j с номерами ячеек, заключенными в интервале $(\varkappa-k,\ \varkappa+k)$. В тех случаях, когда $\beta_j(x_j^{i_j})-i_j$ сохраняет, кроме того, пост. знак, этот интервал уменьшается до $(\varkappa,\ \varkappa+k)$ при отрицат. знаке и до $(\varkappa-k,\ \varkappa)$ при положит. знаке.

При использовании Т. з. ф. для решения задач на ЭВМ тот или иной способ выбора из таблицы представляют в виде подпрограммы, к-рую включают в состав программы решения задачи. По ходу решения большие таблицы переносят по частям из ВЗУ в ОЗУ. Та часть большой таблицы, к-рая находится в ОЗУ, ничем не отличается от малой таблицы. Поэтому большая таблица строится как комплект малых таблиц. Разбивка большой таблицы на малые должна производиться

т. о., чтобы количество считываний из ВЗУ в ОЗУ при решении задачи было по возможности минимальным (ибо это количество гл. обр. определяет расход машинного времени). При разбивке большой таблицы должны учитываться характер и частота ожидаемых обращений к таблице. После того как такая разбивка произведена, следует разместить полученные малые таблицы в ВЗУ так, чтобы в процессе их вызова избежать больших «холостых пробегов» накопителя (напр., при использовании ВЗУ на магнитной ленте). Если большая таблица T разбита на малые $T_1, T_2, \ldots, T_s$, каждая из к-рых должна быть записана в отдельной зоне магнитной ленты, и если известна матрица переходов

$$\begin{pmatrix} p_{1,1}, & p_{1,2}, & \ldots, & p_{1,s} \\ p_{2,1}, & p_{2,2}, & \ldots, & p_{2,s} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ p_{s,1}, & p_{s,2}, & \ldots, & p_{s,s} \end{pmatrix},$$

где p_{ij} — вероятность (безусловная) перехода от малой таблицы T_i к малой табл. T_j, то размещение малых таблиц на ленте можно произвести т. н. способом наибольших связей. Связью группы малых таблиц с одной малой таблицей назовем сумму вероятностей перехода от малых таблиц группы к этой малой таблице и от этой малой таблицы к малым таблицам, входящим в группу (предполагается, что группа может сводиться также к единственной малой таблице). Выберем две малые таблицы (принимая одну из малых таблиц за группу), к-рые наиболее связаны между собой. Пусть это будут T_k и T_l. Если $P_{kl} \geqslant P_{lk}$, то присвоим малой таблице T_k зону магнитной ленты с номером ν (номер пока остается неопределенным), а T_l — зону с номером $\nu+1$ (в противном случае — наоборот). Выберем малую таблицу, наиболее связанную с уже выбранной группой малых таблиц, и ей присвоим зону с номером либо на 1 меньшим, либо на 1 большим, чем уже использованные номера. Дальнейший процесс присвоения малым таблицам зон магнитной ленты осуществляется следующим образом: если уже использованы номера зон $\nu-\alpha, \nu-\alpha+1, \ldots, \nu, \nu+1, \ldots, \nu+\beta$, то вычисляют значение величины

$$\sum P_{m,j} |m'-j'+1| + \sum P_{j,m} |j'-m'+1|$$

для двух случаев, когда: 1) m равно номеру отдельной малой таблицы, $m'=(\nu-\alpha-1)$, j' пробегает номера зон от $\nu-\alpha$ до $\nu+\beta$, j пробегает номера малых таблиц, уже размещенных в указанных зонах, и 2) когда m' равно номеру зоны $\nu-\alpha$, m равно номеру малой таблицы, размещенной в этой зоне, j' пробегает номера зон от $(\nu-\alpha+1)$ до $(\nu+\beta+1)$ и j пробегает номера малых таблиц, размещенных в указанных зонах.

Если первое значение упомянутой величины не превосходит второго, то вновь присоединяемой малой таблице должна быть присвоена зона с номером $\nu-\alpha-1$ (в противном случае — с номером $\nu+\beta+1$). Этот процесс продолжают до тех пор, пока всем малым таблицам не будут поставлены в соответствие номера зон магнитной ленты, к-рым придают конкретное значение, выбирая ν так, чтобы самый малый из использованных номеров зон стал равным 1. При размещении малых таблиц описанным способом математич. ожидание времени подвода любой малой таблицы к читающей головке будет минимальным.

Если после деления элементов каждой строки матрицы переходов на их сумму получается новая матрица, все строки к-рой одинаковы и имеют вид

$$p_1, p_2, \ldots, p_l, \ldots, p_s,$$

то обращения к малым таблицам независимы, p_l является вероятностью обращения к малой таблице T_l и алгоритм распределения малых таблиц упрощается. Ту малую таблицу, вероятность обращения к к-рой наибольшая, записывают в ср. зоне магнитной ленты, а остальные — в порядке убывания их вероятностей размещают попеременно слева и справа (размещение «горбом»).

Если последовательность обращений к малым таблицам заранее известна (детерминирована), то размещение малых таблиц может быть получено методом наибольших связей, для чего по этой последовательности обращений должна быть построена матрица переходов.

Лит.: Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961.

Н. А. Криницкий.

ТАБСОЛ (tabsol; tabsol; Tabsol)—табличный способ программирования сложных управляющих систем, а также процессов переработки информации. По сравнению со словесным описанием, способом блок-схем и способом логич. ур-ний, Т. обладает рядом преимуществ, заключающихся в наглядности, компактности, простоте подготовки таблиц и обращения с ними. В таблице для описания алгоритмов

A_1	A_2	...	A_n	B_1	B_2	...	B_m
a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	b_{11}	b_{12}	...	b_{1m}
a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	b_{21}	b_{22}	...	b_{2m}
...	...	...	...	...	...	...	...
a_{s1}	a_{s2}	...	a_{sn}	b_{s1}	b_{s2}	...	b_{sm}

в общем случае верхняя строка содержит заголовки соответствующих колонок, левая половина — исходные данные, правая — ответы решения. Каждая строка таблицы дает отдельный вариант решения. Число колонок в правой и левой половинах и число строк могут быть произвольными. Один алгоритм может описываться неск. таблицами, к-рые в этом случае образуют систему, имеют общую нумерацию и допускают отсылки друг к другу.

Таблицы могут быть двухзначными и многозначными. В двухзначных таблицах в клетках могут стоять либо двухзначные величины (да или нет), либо пропуск (пусто), а содержание соответствующего условия или ответа полностью определяется заголовком соответствующей колонки. В многозначных таблицах величины в клетках могут иметь неск. значений. Пропуск в клетке означает, что данное условие не должно приниматься в расчет при выработке решения по данной строке (по этому варианту).

Работа с табличными алгоритмами происходит следующим образом. Таблицы составляются заранее в процессе разработки алгоритма. Рассматриваются все возможные варианты значений исходных параметров (состояний или аргументов), и для каждой совокупности значений, образующих одну строку (один вариант), указываются в правой половине таблицы соответствующие ответы. Составленные таблицы могут использоваться для быстрого нахождения решений при различных вариантах исходных данных во время ручной работы или в качестве табличных алгоритмов при программировании подобных задач для ЦВМ.

Решения по таблице находят путем просмотра строк сверху вниз и сравнения заданных значений исходных условий с табличными. Критериями сравнения может быть не только равенство, но и др. отношения (больше, меньше, нахождение в определ. пределах и др.). Критерии проверки указываются либо в заголовке колонки (если критерий общий для всей колонки), либо в самой клетке, перед значением условия. Искомое решение находится в той строке, для к-рой выполняются все критерии проверки для всех условий (параметров), указанных в этой строке. Т. о., проверка параметров в одной строке таблицы реализует логич. операцию «и». Используя комбинации проверок неск. строк, можно с помощью таблиц осуществить операции «и», «или» и «нет». При построении таблиц бывают случаи, когда неск. вариантам исходных данных соответствуют различные решения, а всем остальным возможным сочетаниям исходных данных — одно и то же решение. В этих случаях, чтобы исключить ненужное повторение строк, применяется спец. запись в последней строке таблицы «для всех», к-рая означает, что если решение для данного варианта исходных параметров не было найдено до настоящей строки, то должно быть взято решение этой строки, независимо от значений исходных параметров. Ответы — решения в таблицах — могут быть самого различного характера (но обязательно однозначные). В общем случае все типы ответов можно разделить на 3 группы: а) определение значения величины по ф-ле, указанной в заголовке, и присвоение этого значения величине, приведенной в данной клетке ответа; б) определение значения величины по ф-ле, метка к-рой (или сама ф-ла) указана в клетке, и присвоение этого значения величине, приведенной в заголовке; в) переход к поиску нового решения при помощи таблицы, метка к-рой указана в данной клетке. Последний тип ответов позволяет строить итерац. процессы нахождения решений. Если к.-л. ф-ция (колонка ответов) не имеет значения для данной строки, то в соответствующей клетке вместо ответа ставится пробел, к-рый означает, что ответа нет.

Каждая таблица должна иметь заголовок и описание. В заголовке указываются: метка (номер) таблицы и ее размеры (количество колонок параметров и ответов и количество строк). Описание содержит перечень всех символов, используемых в данной таблице, а также все ф-лы (арифметические или логические), к к-рым производятся отсылки в таблице. После каждой таблицы обязательно пишется указание, определяющее, куда нужно перейти, если не найдено решение. Отсутствие решения (или перехода к др. таблице) свидетельствует о наличии ошибки, допущенной либо при составлении таблицы, либо при ее просмотре; при этом отсылка может идти к повторному просмотру таблицы или к спец. программе анализа ошибок. В конце таблицы могут даваться дополнит. указания (о вводе и выводе данных и др.). После всех указаний ставится: «конец таблицы № ...». Для всех таблиц, относящихся к одной задаче, устанавливается единая система нумерации. При решении задач на ЦВМ алгоритмы, заданные описанным табличным способом, переводятся в рабочие программы машин при помощи спец. программирующих программ. Достоинство Т.— возможность составления табличных алгоритмов специалистами, не связанными с ЦВМ, с последующим автоматич. программированием этих алгоритмов. Т. к. сам процесс составления табличных алгоритмов в силу своей простоты и жесткой логич. последовательности действий обеспечивает возможность детальной проверки исходных алгоритмов, то выявление всех логич. несоответствий и исправление алгоритмов может быть произведено сразу же на стадии составления таблиц до перехода к машинным программам.

А. П. Китов.

ТАБУЛЯГРАММА (tablegram; diagramme de tabulation; Tafelaufzeichnung) — законченный отчетный документ решаемой задачи, выписанный на *табуляторе* или на многоразрядном (70—140 разрядов) *печатающем устройстве* ЭВМ. За один рабочий цикл печатающего устройства на Т. переносится в виде горизонт. строки содержание информации с одной перфокарты или из одной зоны ЗУ ЭВМ с записью признаков, индексов, текстового или цифрового содержания. Строки записываются отдельными числовыми или текстовыми колонками, заголовками и т. п. При операциях сложения и вычитания итоги наносятся обычно в конце колонок данной группы признаков. При умножении, делении и др. вычислит. операциях сомножители и результаты вычисления записываются в виде одной горизонт. строки. На Т. возможна запись также графиков; для этого в каждом разряде по спец. программе, введенной в ЭВМ, печатаются отдельные символы. Т. может выписываться либо на рулонах чистой бумаги, либо на типографски отпечатанных формулярах в виде бумажных рулонов или фальцованных (сложенных гармошкой) стопок, либо на отдельных формулярах и чеках. Для того чтобы обеспечить точную построчную подачу Т. кареткой печатающего механизма, края бумажной ленты иногда перфорируются.

В машинах для экономич. расчетов запись Т. на печатающем устройстве производится в различных режимах подачи бумаги: 1) обычная Т., когда каждая строка записывается с одинаковым (1—2) интервалом, а итоги — с увеличенным (2—3) интервалом. Подача бумаги производится простым шаговым перемещением; 2) однострочная запись в Т., когда после записи одной строки дается прогон бумаги на несколько (от 3 до 30) интервалов (выписка чеков заданной формы); 3) выписка Т. с прогоном бумаги на заданное количество интервалов (от 3 до 30) после записи итогов (выписка учетных листков заработной платы по нарядам, для выдачи их рабочим); 4) выписка Т. с прогоном до заданной длины (до 100 интервалов) формуляра, когда нужны строки в формах определ. длины независимо от количества записываемых строк данной группы признаков. При заполнении всей формы целиком бумагу прогоняют до первой строки новой формы, в случае частичного заполнения одной формы также переходят на первую

строку следующей формы (выписка счетов, накладных и т. п.); 5) выписка Т. со строкоограничением, т. е. полная построчная запись на формы заданной длины (до 100 интервалов) с переходом на первую строку следующей формы (выписка на листы, к-рые затем брошюруются). Управление подачей бумаги Т. в указанных режимах производится от спец. механизма — интервального автомата, на к-ром предварительно устанавливается программа подачи Т., либо от программы, устанавливаемой на ЭВМ.

Лит.: Рязанкин В. Н., Кононлев В. В., Добецкий Л. Ю., Советские счетно-аналитические машины, М., 1957; Евдокимов И. С., Евстигнеев Г. П., Крнушин В. Н., Цифровые вычислительные машины, 3 изд., М., 1961.
В. Н. Рязанкин.

ТАБУЛЯТОР (tabulator; tabulateur; Tabulator, Tabelliermaschine) — счетно-перфорационная машина, автоматически записывающая числа с перфокарт, вычисляющая итоги по групповым признакам перфокарт и записывающая их на табуляграмму. На Т. производится сложение, вычитание и вычисление остатков (сальдо), а также выписываются *табуляграммы*. В Т. автоматизированы не только вычислит. операции, но и контроль признаков, запись результатов вычислений и др. Наиболее совершенные модели Т. позволяют производить умножение и деление чисел. Т. выпускаются для обработки как цифровой (напр., Т-5М), так и текстовой информации (т. н. алфавитно-цифровые Т., напр. ТА80-1).

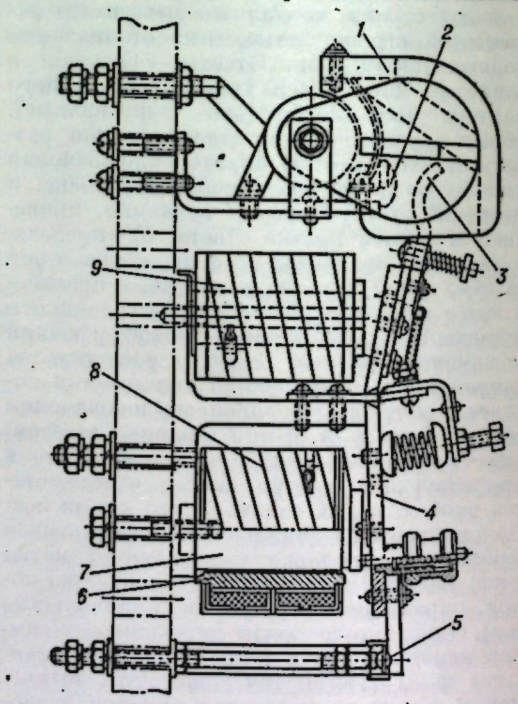
В состав Т. входят: устройства ввода информации с перфокарт (механизмы подачи); АУ — десятичные счетчики, к-рые одновременно являются и ЗУ машины; выходные устройства — многоразрядное печатающее устройство и итоговый перфоратор; УУ — электрич. цепи управления операциями.

Информация с перфокарт вводится широкой стороной с одноврем. считыванием 45 или 80 колонок. Она вводится параллельно в разряды счетчиков (общей емкостью 88 разрядов Т-5М или 120 разрядов ТА80-1) и в печатающее устройство (емкостью 83 разряда Т-5М или 96 разрядов ТА80-1). Скорость ввода перфокарт и число отпечатанных строк — до 150 в мин. За каждый картоход производится одна операция сложения или вычитания чисел, считанных с одной перфокарты, итоги накапливаются на разрядах счетчика. Промежуточные ходы (без карт) используются для вычислений и записи итогов, накопленных на счетчиках. Умножение и деление на этих машинах производятся медленно. Для повышения скорости к Т. присоединяются электронные вычислит. приставки ЭУП или ЭВП. С их помощью умножение и деление шестиразрядных чисел производятся также за один картоход. Решаемые на Т. задачи программируются на коммутац. досках посредством соединения гнезд гибкими шнурами. В электронных Т. устройства ввода и вывода информации — электромеханические, АУ и ЗУ — электронные. Задачи для электронных Т. программируются как набором на коммутац. досках, так и посредством ввода программы в ЗУ машины. Электронные Т. отличаются от ЭВМ наличием развитых входных устройств на перфокартах 1—5 шт. и алфавитно-цифровых печатающих устройств емкостью в 96—128 разрядов. Их оперативное ЗУ, обычно небольшой емкости (400—2048 десяти-, двенадцатиразрядных десятичных чисел), предназначено для хранения программы, исходных чисел, промежуточных результатов и признаков.

Для упрощения конструкции электронные Т. строятся обычно последовательного или последовательно-параллельного действия с фиксированной запятой и свободной разрядностью чисел и команд. Они имеют относительно невысокое быстродействие (500—5000 операций в сек.). Их особенность — наличие развитого схемного контроля правильности ввода и вывода информации, что устраняет необходимость двукратного прогона больших массивов перфокарт. К электронным Т. относятся сов. машина АТЭ80-1, зарубежные «Сперри-Ренд-1004», ИБМ-1401, «Булл» серия 10 и др.

Лит.: Рязанкин В. Н., Евстигнеев Г. П., Тресвятский Н. Н., Вычислительные машины, ч. 1, М., 1957; Рязанкин В. Н., Кононлев В. В., Добецкий Л. Ю., Советские счетно-аналитические машины, М., 1957; Евдокимов И. С., Евстигнеев Г. П., Крнушин В. Н., Цифровые вычислительные машины, 3 изд., М., 1961.
В. Н. Рязанкин.

ТАЙМТАКТОР (time-cycling device; commutateur horaire séquentiel, chronorelais séquentiel; Zeitgeber, Taktgeber) — контактор, имеющий регулируемую выдержку времени срабатывания. Т. совмещает в себе ф-ции *реле времени* и *контактора*. Выдержка времени создается или при помощи механич. замедляющего устройства (демпфера, анкерного механизма и т. п.), связывающего привод с контактами, или электромагнитным способом.



Контактор с выдержкой времени с нормально открытыми гл. контактами: *1* — дугогасит. камера; *2* — неподвижный гл. контакт; *3* — подвижной гл. контакт; *4* — якорь; *5* — блок-контакт; *6* — медная гильза; *7* — сердечник; *8* — удерживающая катушка; *9* — втягивающая катушка.

Применяется в качестве контактора ускорения для замыкания ступеней сопротивления при пуске электродвигателей.

В Т. пост. тока с электромагнитной задержкой (рис.), помимо основного (втягивающего)

электромагнита, производящего включение Т., имеется дополнит. (удерживающий) электромагнит, снабженный короткозамкнутым витком (гильзой). Включение втягивающего электромагнита может произойти только после того, как отпустит предварительно находившийся под напряжением удерживающий электромагнит. Отпускание удерживающего электромагнита после снятия питания с его катушки происходит (вследствие вихревых токов в гильзе) с определ. выдержкой времени, величину к-рой можно регулировать натяжением противодействующей пружины и немагнитными прокладками в рабочем зазоре.

Лит.: Бабиков М. А., Электрические аппараты, ч. 2, М.— Л., 1956, § 5—5.
Е. Л. Львов.

ТАЙПОТРОН (typotron; typotron; Zeichengeber) — знаковая электронолучевая трубка с запоминанием изображаемой информации. Производит запись на экране букв, цифр и др. знаков с помощью электронного луча, поперечному сечению к-рого придается форма изображаемого знака (при пропускании луча через спец. металлич. матрицу с набором необходимых знаков в виде отверстий требуемой формы, рис.). Луч направляется в место расположения нужного знака с помощью электростатич. адресной системы. Сформированный пучок проходит через фокусирующую катушку *4* и компенсирующие пластины *5*, возвращающие луч на ось трубки, во вторую отклоняющую адресную систему, определяющую место воспроизведения знака на экране трубки. Управляющие коды на адресные системы обычно поступают от ЭВМ в двоичном коде и преобразуются в схемах управления трубки. Осн. отличие Т. от др. знаковых ЭЛТ — присутствие спец. системы, позволяющей запоминать записанный сигнал сколь угодно длит. время.

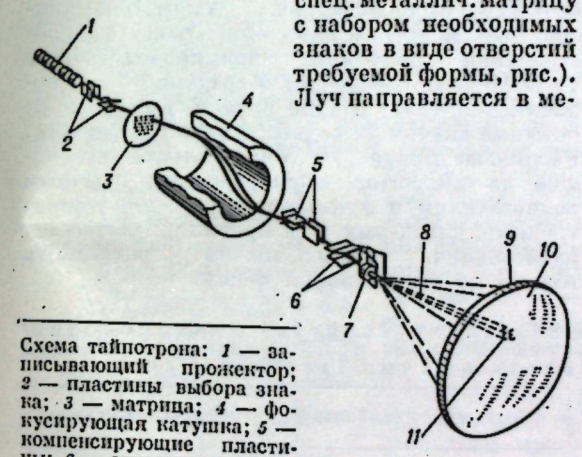


Схема тайпотрона: *1* — записывающий прожектор; *2* — пластины выбора знака; *3* — матрица; *4* — фокусирующая катушка; *5* — компенсирующие пластины; *6* — отклоняющие пластины; *7* — воспроизводящий прожектор; *8* — сформированный записывающий луч; *9* — накопительная мишень; *10* — экран; *11* — записанный знак.

Работает Т. следующим образом: электроны знакового луча бомбардируют поверхность мишени, представляющей собой мелкоструктурную сетку, располож. параллельно экрану и покрытую слоем диэлектрика. При коэфф. вторичной эмиссии, большем единицы, облученное место мишени заряжается положительно, образуя потенц. рельеф в форме записанного знака. В Т. имеется воспроизводящий прожектор *7*, к-рый медленными электронами облучает всю мишень. Потенциалы электродов выбираются такими, что тормозящее поле мишени не пропускает электроны сквозь диэлектрик. В местах записанных знаков электроны проходят сквозь ячейки сетки и под действием ускоряющего поля попадают на экран, образуя изображение знака. При необходимости знак может быть стерт изменением напряжения на одном из электродов. Ср. время записи одного знака для одного из образцов Т.— ок. 40 *мксек*, стирание осуществляется за время порядка 50 *мсек*, диаметр рабочей части экрана 100 *мм*, количество знаков в матрице 64.

Воспроизводимое изображение знаков на экране Т. характеризуется высоким уровнем яркости, позволяющим наблюдать их при внешнем освещении. Хорошая четкость знаков, большая скорость изображения создают удобства для использования Т. в качестве выходных устройств совместно с ЭВМ.

Лит.: Соловейчик И. Е., Анищенко П. М., Знаковая индикация... (Краткий обзор работ, опубл. в заруб. печати в период 1947 — июль 1958 гг.), М., 1959; Smith H. M., The typotron, «IRE Convent. Rec.», 1955, v. 3, pt. 4, p. 129.
В. П. Исаев.

ТАКТ РАБОТЫ МАШИНЫ (machine operating cycle; cadence de travail d'une machine; Maschinenarbeitstakt) — временной интервал, в течение к-рого вычислит. машина осуществляет набор действий, необходимых для выполнения определ. команды. Т. р. м. задается последовательностью управляющих сигналов, характерных для каждой команды. Весь вычислит. процесс распадается на циклично повторяющиеся Т. р. м., к-рые, как правило, неразрываемы во времени. В простейшем случае в течение одного Т. р. м. выполняется одна команда (извлекается код команды, выбираются операнды, осуществляется арифметич. или логич. операция и записывается результат). Если в ЭВМ возможно совмещать отдельные действия, то в одном Т. р. м. осуществляются, кроме выполнения очередной команды, и нек-рые подготовит. действия для след. команды (напр., выборка след. команды). В сложных системах за один Т. р. м. могут обрабатываться одновременно неск. команд.

Различают пост. и перем. Т. р. м. В первом случае длина Т. р. м. одинакова для всех команд (операций) и равна максимально возможному времени для принятого набора операций. Машины с пост. Т. р. м. логически просты и удобны в эксплуатации. Однако в них при выполнении операций с временем, меньшим максимально возможного, часть такта не используется. В машинах с перем. тактом предусматривается изменение длины такта и состава сигналов в нем в зависимости от типа выполняемой операции и вида участвующих операндов. Различают переменный Т. р. м., ступенчатый и плавающий. Ступенчатый Т. р. м. предполагает наличие ряда Т. р. м., характерных для различных наборов машинных операций. Внутри каждого набора Т. р. м. остается постоянным. Структура Т. р. м. при этом устанавливается УУ в зависимости от типа операции. Временная шкала различных Т. р. м. рассчитывается в процессе проектирования машины. В машинах с плавающим Т. р. м. его длина лимитируется фактически необходимым временем для выполнения операции. Момент завершения операции фиксируется спец. схемами, к-рые определяют окончание текущего Т. р. м. Плавающий Т. р. м. обеспечивает макс. производительность машины, однако требует дополнит. затрат оборудования для определения момента завершения операции.

Различают сквозной, или общий, Т. р. м. для всех устройств машины и автономный Т. р. м. Сквозной Т. р. м. формируется центральным УУ и регламентирует работу всех устройств. Все частные такты работы отдельных блоков или устройств жестко привязаны к общему Т. р. м. и являются его частью. В случае автономных Т. р. м. каждое устройство формирует свой рабочий такт, к-рый отражает специфику работы данного устройства. Смежные устройства связаны друг с другом с помощью запросных и оповещающих сигналов, определяющих необходимость использования устройства и его готовность к работе. Наиболее часто применяется в системах с независимой и параллельной работой агрегатов.

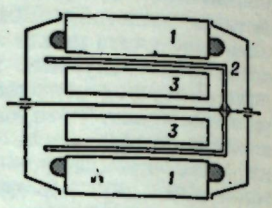
В машинах с микропрограммным управлением для выполнения каждой операции формируется свой Т. р. м. Каждый Т. р. м., связанный с выполнением той или иной макрооперации, расчленяется на совокупность микротактов по соответствующим микрооперациям. Структура Т. р. м. определяется при этом набором управляющих сигналов, выдаваемых из программной запоминающей матрицы. Каждой микрооперации отвечает своя микропрограмма выдачи управляющих сигналов, поступающих непосредственно на исполнит. элементы.

И. А. Данильченко.

ТАКТ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА (relay device operation cycle; période de fonctionnement d'un dispositif à relais; Arbeitstakt der Relaisanordnung) — интервал между двумя соседними изменениями состояний релейного устройства. В *релейном устройстве синхронном* такты задаются извне генератором синхронизирующих импульсов, играющим роль «часов». В этом случае длительности тактов равны. В *релейном устройстве асинхронном* Т. р. р. у. определяется изменением входных воздействий или внутр. состояний устройства; длительности различных Т. р. р. у. произвольны. Однако для правильного функционирования устройства необходимо, чтобы длительность Т. р. р. у. была не меньше времени макс. задержки внутренних элементов устройства.

О. П. Кузнецов.

ТАХОГЕНЕРАТОР (tachometer generator; générateur tachymétrique; Tachodynamo, Tachogenerator) — электрич. генератор, применяемый для измерения скорости вращения вала машины или механизма. Действие Т. основано на пропорциональности эдс генератора и угловой скорости вращения при пост. значении потока возбуждения. Эдс Т. (вернее напряжение) измеряется вольтметром, к-рый часто градуируется непосредственно в *об/мин*. Т. может быть постоянного (обычно с постоянными магнитами) и переменного тока (синхронный и асинхронный). Наиболее совершенен асинхронный Т. с полым немагнитным ротором без обмотки (см. рис.). Одна из обмоток статора, расположенных под углом 90°, питается перем. током, ко второй, выходной, присоединяется вольтметр. При вращении ротора в нем возникает эдс, создающая переменный магнитный поток, индуктирующий в выходной обмотке эдс, пропорциональную скорости вращения ротора.



Схематич. разрез тахогенератора: *1* — статор; *2* — ротор; *3*—внутренний статор.

ТВЕРДАЯ СХЕМА (solid state circuit; circuit rigide; feste Schaltung) — монолитный блок из ПП с неоднородной структурой, выполняющий ф-ции, аналогичные ф-циям схем с электровакуумными приборами. Твердыми они наз. потому, что основаны на физич. свойствах твердого тела. Т. с. могут быть построены и на др. материалах (ферромагнитных, ферроэлектрич., электролюминисцентных и др.), однако наибольшее распространение получили полупроводниковые Т. с. Первые сообщения о создании Т. с. появились в 1957; с 1960 начали выпускаться опытные партии Т. с. различного назначения. Различают 2 вида Т. с.: интегральные, состоящие из элементов, эквивалентных обычным радиодеталям, и функциональные, или молекулярные, для к-рых, как правило, эквивалент радиотехнич. схемы можно представить только по выполняемой ф-ции.

Некоторые физические свойства полупроводников, используемые для получения отдельных элементов и целых твердых схем

Функция участка твердой схемы	Физическое свойство	Количеств. хар-ки
Сопротивление	а) Сопротивление объема ПП между двумя контактами	До 5000 *ом*, хар-ки зависят от темп-ры
	б) Сопротивление поверхности полупроводника между двумя поверхностными контактами	До 5000 *ом*, хар-ки более стабильны
	в) Ток утечки $p-n$-перехода при обратном напряжении смещения	До 500 *ком*
Емкость	а) Емкость $p-n$-перехода при обратном напряжении смещения	При низком напряжении до 10^5 *пф/см²*, при высоком напряжении до 10^4 *пф/см²*. Емкость зависит от величины напряжения
	б) Окисление поверхности кремния с последующей металлизацией электродов	До 10^4 *пф/см²*. Емкость не зависит от темп-ры
Индуктивность	Задержка носителей заряда при распространении в зоне с высоким сопротивлением $p-n$-перехода	
Нелинейные элементы	Свойство $p-n$- перехода (диод)	Вольтамперные хар-ки в широком диапазоне токов и напряжений
Активные элементы	Усилит. св-ва комбинации двух $p-n$-переходов (транзистор)	Широкий диапазон рабочих токов, напряжений и частот

Интегральные Т. с. представляют собой ПП пластинку, в к-рой за счет соответствующей обработки отд. участкам приданы св-ва сопротивления, емкости, индуктивности (см. табл.). На рис. 1 схематически изображены нек-рые элементы интегральных Т. с. и их эквивалентные электрич. схемы.

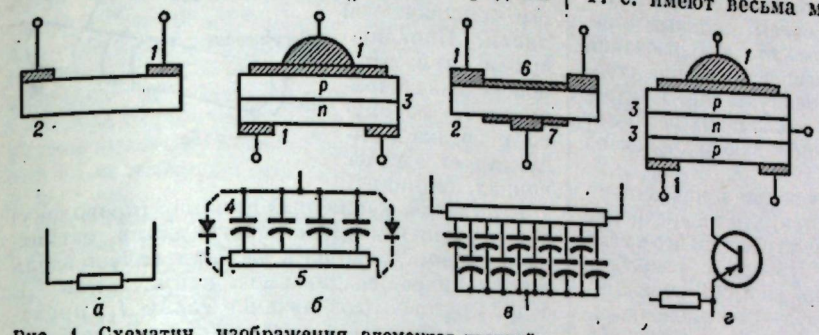


Рис. 1. Схематич. изображения элементов твердой схемы (сверху) и их эквивалентные схемы (внизу): *а* — сопротивление; *б* — емкость; *в* — сопротивление и емкость; *г* — комбинированная схема; *1* — металлич. невыпрямляющий контакт; *2* — *ПП* с почти собственной проводимостью *n*- или *p*-типа; *3* — *p*—*n*-переход; *4* — распределенная емкость перехода; *5* — сопротивление низкоомного материала или материала *n*-типа; *6*—резистивная пленка; *7* — проводящая пленка.

Функциональные Т. с. выполняются путем воздействия на внутр. структуру монокристалла ПП. Примером функциональной Т. с. является преобразователь перем. тока в пост. (рис. 2, *а*). В отличие от обычной схемы выпрямителя (рис. 2, *б*), данный узел состоит из 3 участков: резистивного, являющегося подогревателем, в к-ром энергия перем. тока преобразуется в тепловую; термоэлектрич., где тепловая энергия преобразуется в электрич. за счет эффекта Зеебека; изоляционного, тепловая инерционность к-рого выполняет роль, аналогичную сглаживающему фильтру. Функциональные Т. с. следует рассматривать не как обычные элементы схем (наподобие транзисторов и т. п.), а как отд. узлы схемы, выполняющие ф-ции усиления, генерирования и др. При изготовлении Т. с. используется многократная обработка ПП методами диффузии, окисления, напыления с маскировкой отд. участков, термокомпрессии, УЗ обработки, травления и др., обычно применяемыми в произ-ве ПП приборов. Появился также новый метод изготовления Т. с.— выращивание из расплавленного ПП тонких лент дендритных кристаллов; при этом Т. с. получают непосредственно в процессе их выращивания. Весьма прогрессивным является также метод электронно-микроскопич. формирования, использующий электронный микроскоп в сочетании с механич. манипуляторами и молекулярно-лучевым травлением, позволяющий получать компоненты размерами порядка микрона.

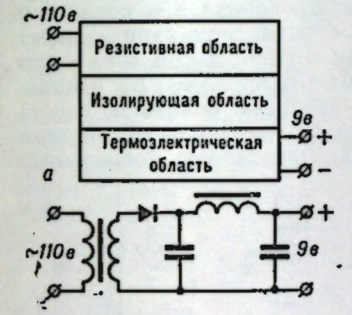


Рис. 2. Схематич. чертеж преобразователя переменного тока в постоянный: *а* — твердая схема; *б* — схема обычной конструкции.

Производство Т. с. требует высокой точности и тщат. контроля их качества на всех этапах производств. процесса, что можно обеспечить при условии его макс. автоматизации. Т. с. имеют весьма малые размеры, поэтому при создании систем из Т. с. возникает проблема такого способа их соединения, при к-ром соединительные элементы занимали бы меньше места, чем сами Т. с. Один из методов соединения Т. с. показан на рис. 3. Расположение же Т. с. в одной плоскости дает наименьшую экономию объема. Для отдельных Т. с. достижима плотность входящих в нее элементов до 2—3 тыс. на 1 *см²*. В случае же объединения Т. с. в блоки при наличии схемных соединений эта плотность снижается на 1—2 порядка. Увеличение плотности монтажа Т. с. при объединении их в субсистемы может быть достигнуто в результате размещения большого числа схем на одной подложке или при использовании светочувствит. материалов, позволяющих осуществлять соединения между элементами схемы воздействием слабого луча света. Ряд ПП материалов, наряду с фотопроводимостью, обладает способностью излучать свет, что дает возможность создания электроннооптич. устройств, в первую очередь быстродействующих вычислит. машин.

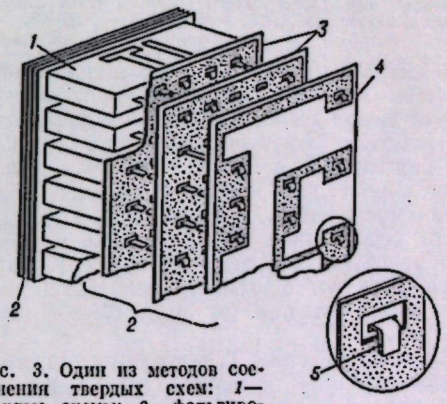


Рис. 3. Один из методов соединения твердых схем: *1*— твердые схемы; *2*— фольгированные тефлоновые платы; *3* — платы, подающие напряжение; *4* — плата для вывода сигнальных цепей; *5* — приваренный к плате вывод от твердой схемы.

Параметры Т. с. существенно зависят от темп-ры, поэтому требуются спец. меры для отведения выделяемого в них тепла и введения элементов температурной компенсации. Первое достигается увеличением отношения площади Т. с. к объему, второе — использованием отрицат. обратной связи и температурнозависимых сопротивлений. Т. с. наиболее широко могут быть применены в устройствах, состоящих из однотипных каскадов (в вычислит. устройствах и аппаратуре автоматич. регулирования). Испытания Т. с. показывают, что интенсивность отказов Т. с., содержащей 20 элементов, составляет 0,05% на 1000 часов работы, предполагается снижение интенсивности отказов до 0,0001% на 1000 часов работы. Высокая надежность

Т. с. объясняется отсутствием отд. компонентов схемы, внутрисхемных соединений, а также защищенностью всех элементов от воздействия окружающей среды. Важным преимуществом, ожидаемым от использования Т. с., является существенное снижение стоимости аппаратуры и ее эксплуатации. Предполагается, что в течение ближайших неск. лет Т. с. станут дешевле существующих схем из отд. компонентов.

Создание Т. с. находится еще в нач. стадии развития, однако ожидается, что их внедрение произойдет значительно быстрее, чем это имело место с транзисторами. Наряду с разработкой Т. с. создаются и др. системы *микроминиатюризации* (микромодульные, пленочные). Это будет означать качественно новый подход к решению целого комплекса сложнейших вопросов радиоэлектроники.

Лит.: Поллок (Pollock L.), Гаттеридж (Gutteridge R.), Новейшие методы конструирования в области линейной микроэлектроники, «Электроника», рус. пер., 1962, т. 35, № 41; Вольфф М. (Wolff M. F.), Успехи в области микроминиатюризации, там же, 1963, т. 36, № 7; Гальперин Е. И., Микроминиатюризация электронной аппаратуры, в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, вып. 10, М., 1963; Microelectronics moving fast, «Electronics», 1960, v. 33, № 7, p. 36—37.

Е. И. Гальперин, В. В. Мокряков.

ТВИСТОР (twistor; twistor; mémoire matricielle, Twistor) — магнитострикц. элемент, к-рый может быть использован в различных устройствах автоматики и вычислит. техники как элемент памяти, логики и всевозможных коммутаций. В первонач. конструктивном оформлении Т., разработанном в 1957 [1], была использована предварительно скрученная проволока из ферромагнитного материала, вследствие чего описываемый элемент и получил назв. «твистор» (от англ. twist — скручивать).

Принцип действия Т. основан на том, что в ферромагнитном материале под действием механич. напряжений магнитные св-ва по различным направлениям становятся неодинаковыми. Напр., направление легкого намагничивания (наибольшей магнитной проницаемости) совпадает с направлением наибольшего сжатия (или растяжения) материала. Если механич. напряжение (p_x) остается меньше нек-рой критич. величины (p_{kp}), то изменение магнитной проницаемости, обусловленное механич. напряжением, может быть выражено как:

$$\Delta\mu/\mu = kp_x,$$

где k — коэфф. магнитострикции, величина и знак к-рого определяются магнитным материалом (напр., Ni имеет отрицат. коэфф. магнитострикции, а Fe — положительный).

В предварительно скрученном магнитном цилиндре (проволоке) направление наиболее легкого намагничивания (т. е. наибольшей μ) будет располагаться по винтовой линии — геликонде, ось к-рой совмещена с осью проволоки. При воздействии на такой скрученный цилиндр (проволоку) аксиального перем. магнитного поля на концах цилиндра появляется эдс (эффект Видемана). Величина этой эдс довольно значительна и во много раз больше той эдс, к-рая могла бы появиться за счет паразитных связей между цилиндром (проволокой) и намагничивающей обмоткой w (рис. 1).

Возникновение эдс объясняется тем, что намагничивание скрученного цилиндра происходит не вдоль оси, а по винтовой линии. Появляющаяся при этом поперечная составляющая магнитного потока и индуктирует эдс на концах цилиндра.

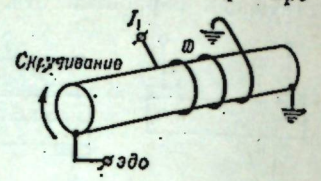


Рис. 1.

Если же на магнитный цилиндр (проволоку) одновременно воздействовать двумя магнитными полями, одно из к-рых направлено вдоль оси цилиндра (создаваемое, напр., током I_1), а др. круговое (создаваемое током I_2, проходящим по цилиндру), то намагничивание будет происходить по геликоиде (рис. 2). При этом возникают механич. напряжения, вызывающие скручивание цилиндра вокруг его оси (т. н. обратный эффект Видемана).

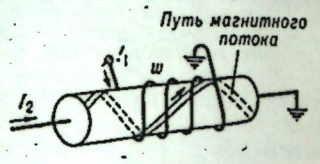


Рис. 2.

На основе этих эффектов было разработано неск. типов Т. для различных применений. Конструктивно Т. изготовляются как на предварительно скрученной, так и на нескрученной магнитной проволоке. В последнем случае спиральное намагничивание имеет место при одноврем. прохождении тока через обмотку и магнитную проволоку. На использовании этого св-ва была основана работа одного из типов элементов памяти. В этом устройстве (рис. 3) при записи информации ток в обмотке всегда имеет одно и то же направление, а ток в проволоке — различное направление для записи нуля и единицы. Благодаря этому проволока намагничивается либо по правовинтовой, либо по левовинтовой спирали. При считывании информации через обмотку пропускается ток достаточной величины в направлении, противоположном току записи. В этом случае спиральное намагничивание магнитной проволоки заменяется аксиальным, в результате чего на концах магнитной проволоки (являющейся обмоткой считывания) индуктируется эдс той или иной полярности, определяемой ранее записанной информацией.

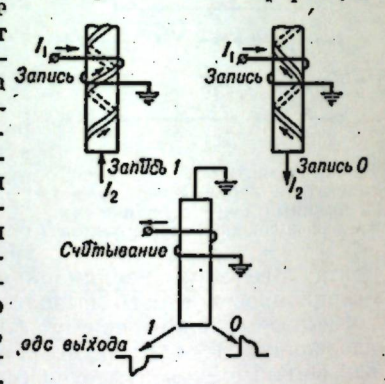


Рис. 3. Схемы элемента памяти на твисторе.

В существующих конструкциях Т. используется магнитная проволока, изготовленная из никеля диаметром 0,075 *мм*, из 4-79 молибденового пермаллоя диаметром 0,025 *мм*, из пермивара диаметром 0,125 *мм*. Время перемагничивания Т. зависит от материала и диаметра магнитной проволоки. Так, для проволоки $d = 0{,}025$ *мм* из 4-79 молибденового пермаллоя время перемагничивания равно

$0{,}2\cdot10^{-6}$ сек.; для проволоки $d = 0{,}125$ *мм* из пермивара время перемагничивания $20\cdot10^{-6}$ сек. Величины токов для одного из типов Т. следующие: ток записи информации для обмотки 2,3 *а*, для магнитной проволоки 0,13 *а*. Ток считывания создавал величину магнитодвижущей силы, равную 6 *ав*. При считывании единицы на концах магнитной проволоки индуктировалась эдс, равная 3,5 *мв*, при длительности импульса порядка $2\cdot10^{-6}$ *сек*.

Достоинства Т.— относит. дешевизна, быстродействие и работа в широком диапазоне темп-р (от —100° С до +100° С). Недостатки — малая величина сигнала считывания (порядка неск. *мв*) и большие величины рабочих токов записи и считывания.

Лит.: 1) Bobeck A. H., A new storage element suitable for large-sized memory arrays — the twistor, «Bell System Techn. J.», 1957, v. 36, № 6, p. 1319—1340.

Г. Д. Козлов.

ТЕЗА́УРУС (Thesaurus, от греч. θησαυρός — сокровище) — словарь, отражающий семантич. связи между словами данного языка. Обычно Т. состоит из двух частей: совокупности рубрик и ключа. Каждая рубрика имеет заглавное слово и содержит все слова, непосредственно связанные по смыслу с заглавным словом. Это могут быть все слова, имеющие с данным почти одинаковое значение, или, кроме того, все слова с более широким и более узким значениями, или слова, входящие в типичные сочетания с заглавным словом. Ключ — это список всех слов в алфавитном порядке с указанием номеров рубрик, в к-рые слова входят. Типичными примерами таких Т. являются описанные в [1,2]. Т. всегда можно теоретически рассматривать заданным в канонич. форме, предполагающей, что в каждой рубрике указаны все смысловые связи (рассматриваемого в данном Т. типа) заглавного слова. Однако для экономии места часто бывает удобней давать в рубрике ссылки на целые рубрики.

Т. широко применяются при *машинном переводе*, информац. поиске и др. видах автоматич. обработки информации. С помощью Т. для каждого слова переводимого текста определяются рубрики, в к-рые оно входит. Сравнивая наборы рубрик, в к-рые входят слова данной фразы или связного отрывка текста, можно определить значения слов в этом контексте (разрешить смысловую омонимию) и найти систему смысловых связей, реализуемых в данном отрывке [3]. Набор рубрик, соответствующих данному слову, можно рассматривать как совокупность его семантич. факторов.

Обычный Т. содержит порядка 1000 рубрик. Количество рубрик, в к-рые входит данное слово, лежит обычно в пределах десятка. Для задач машинного перевода существенно уменьшение количества используемых рубрик. Важно иметь возможность строить Т. автоматически по системе текстов. Для этого необходимо формально определять смысловые связи слов, по их вхождениям в различные контексты [4,5].

Чем шире исходный Т., тем, естественно, сложнее анализ текста с его помощью. В каждом связном отрывке текста реализуется лишь относительно небольшое количество смысловых связей (смысловая непрерывность текста). Поэтому можно получить выигрыш во времени анализа, автоматически приспосабливая Т. к каждому отрывку текста, т. е. отбрасывая из осн. Т. связи, несущественные для данного отрывка [5]. Однако при этом на преобразование Т. тратится дополнит. время. Т. о., суммарное время на анализ текста данного объема не может быть меньше нек-рой константы, зависящей от сложности анализируемого языка и производительности анализирующего автомата.

Бывает целесообразно рассматривать и более общее понятие Т. как списка объектов, предикатов и связей между ними в определ. семантич. системе. Результат анализа текста можно интерпретировать тогда как преобразование Т. под действием данного текста, а количеств. хар-ки такого преобразования рассматривать как семантич. меру информации, содержащейся в данном тексте относительно данного Т. [6]. Два текста синонимичны относительно данного Т., если они преобразуют его одинаковым способом.

Лит.: 1) Maquet Ch., Dictionnaire analogique. Répertoire moderne des mots par les idées, des idées par les mots, P., [1961]; 2) Roget's International thesaurus, 3 ed., N. Y., 1962; 3) Арапов М. В., Применение метода тезаурусов к машинному переводу. [Обзор зарубежной литературы], «ВИНИТИ. Научно-техническая информация», 1962, № 11; 4) его же, Некоторые принципы построения словаря типа «тезаурус», там же, 1964, № 4; 5) Шрейдер Ю. А., Машинный перевод на основе смыслового кодирования текстов, там же, 1963, № 1; 6) его же, О количественных характеристиках семантической информации, там же, № 10.

Ю. А. Шрейдер.

ТЕКУЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ (фактическое) (actual value; valeur courante, valeur réelle; Istwert der Regelgrösse) — значение к.-л. величины, изменяющееся со временем. Математически Т. з. записывается в виде ф-ции, числовое значение к-рой определяется заданием числового значения времени. Т. з. могут быть изменяющиеся во времени величины координат регулируемого объекта или регулятора, изменяющиеся со временем коэфф. дифференц. ур-ния, описывающего к.-л. процесс или поведение объекта, и т. п. Т. з. величины, рассматриваемое в определ. момент времени как фиксированное значение, наз. мгновенным значением данной величины. Текущее состояние объекта или процесса определяется Т. з. координат, характеризующими состояние объекта или ход процесса.

В. И. Попов.

ТЕЛЕАВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (tele-control system; système télé-automatique; fernautomatisches System) — разновидность автоматич. системы, в к-рой объекты управления и управляющие устройства расположены на расстоянии, требующем применения методов и средств *телемеханики*.

В Т. с. функции оператора (диспетчера) полностью или частично выполняются автоматически действующим управляющим устройством. Последнее производит автоматич. контроль параметров объектов управления, определяющих технологич. режим; вычисляет частные и общие суммы параметров по объектам и сводные показатели, характеризующие работу системы в целом; выполняет логич. и матем. операции по моделированию технологич. процесса и выработке управляющих оптимизирующих воздействий; задает режим исполнит. органам на объектах и т. п. Существ. особенностью Т. с. является автоматический обмен информацией контроля и управления между разнесенными объектами и управляющими устройствами. Т. с. часто

осуществляется простым сочленением тех. средств телемеханики и автоматич. управления. Так при автоматизации диспетчерских пунктов системы телемеханики снабжаются управляющими и контролирующими устройствами и при этом диспетчер освобождается от утомит. однообразных операций опроса контролируемых объектов, передачи повседневных, повторяющихся команд для выполнения ординарных технологич. операций, однотипных вычислений и т. п. Информация представляется в удобном для диспетчера виде, широко используется автоматич. регистрация данных в цифровой форме. Это позволяет диспетчеру сосредоточить внимание на решении задач оптимизации производства в целом, анализировать работу отдельных звеньев, разрабатывать долгосрочные прогнозы и решать задачи управления, трудно поддающиеся алгоритмизации. С развитием и совершенствованием Т. с. бо́льшая часть и этих ф-ций передается управляющей вычислит. машине (УВМ). Необходимость такого перехода обусловлена увеличением количества информации, необходимой для управления сложным производств. процессом. Это привело к изменению не только объема информации, но и ее характера. Наряду с передачей оперативной информации, возникла необходимость в передаче производственно-статистич. информации. Кроме передачи команд управления двухпозиц. объектами потребовалось передавать команды в форме цифровых кодов, напр. уставки для регуляторов. Применение общего телемеханич. устройства для передачи непрерывной (ТИ) и дискретной (ТУ и ТС) информации позволяет повысить эффективность использования канала связи и аппаратуры, что дает существ. экономический эффект, особенно при большом объеме передаваемой информации и больших расстояниях между объектами и пунктом управления.

Т. с. могут быть построены для работы по уплотненным и выделенным линиям связи. При уплотненных линиях связи часто используются многоканальные кодово-импульсные системы ТИ, с возможностью замены любого канала ТИ на передачу сигналов о состоянии двухпозиц. объектов или производственно-статистич. кодовой информации. Такие системы обладают высокой помехоустойчивостью. Для промпредприятий с выделенными линиями связи сравнительно небольшой длины (порядка неск. *км*) часто используются более простые средства передачи информации, напр. короткопериодные время-импульсные устройства ТИ совместно с циклич. устройствами ТУ и ТС. При этом передача непрерывной информации производится в аналоговой форме с преобразованием в цифровую форму на пункте управления с помощью общего кодирующего устройства.

Устройство для определения и сигнализации отклонений параметров от заданных величин, устройства регистрации отклонений, цифровой и аналоговой индикации, цифровой периодич. регистрации, регистрации информации на перфолентах или перфокартах, ввода и вывода телемеханич. информации для УВМ обычно выполняются в виде отдельных блоков, пригодных для работы как при выделенных, так и при уплотненных линиях связи, что позволяет более гибко и экономично разрабатывать Т. с. различного назначения. При этом устройства обработки могут иметь два режима: а) несинхронный режим съема информации с выхода приемных устройств, при к-ром скорость обработки информации существенно выше скорости ее передачи по линии связи и б) синхронный режим, обеспечивающий последоват. съем информации с каждого устройства. Первый режим целесообразен при работе по уплотненным каналам связи, когда существенны ограничения по скорости передачи, второй — для систем с выделенными линиями связи.

Ввод информации в вычислит. машину (ВМ) обычно осуществляется по ее команде, либо циклически. В последнем случае возможен ввод информации без указания адреса в специально отведенные для каждого сообщения ячейки памяти ВМ. Более гибким и надежным является ввод информации в ВМ с указанием адреса. Кроме адреса, в ряде случаев необходимо вводить в ВМ и время поступления информации. В Т. с. особое значение приобретают контроль правильности принятой информации и защита от поступления неправильной информации.

Вывод команд из УВМ осуществляется посредством спец. устройства передачи кодов. Последнее обеспечивает распределение команд, выдаваемых УВМ по заданным адресам (направлениям), а также запоминает команды на время их передачи и обработки на объекте управления. Особое значение при передаче кодовых команд УВМ приобретают вопросы надежности и помехоустойчивости систем телепередачи.

Т. с. могут быть одноступенчатыми — с одним пунктом управления, осуществляющим сбор и переработку информации, и многоступенчатыми (иерархическими)—с рядом узловых пунктов управления различного ранга. С увеличением количества объектов управления и их неоднородности увеличивается и оптим. число пунктов управления. Узловые пункты управления низшей ступени наиболее многочисленны; они связываются с тяготеющими к ним объектами, а также узловыми пунктами управления след., более высокой ступени. Возможна также непосредств. связь между узловыми пунктами одной ступени. На каждом узловом пункте управления выполняются ф-ции локального и центр. характера. К первым относится выработка управляющих воздействий для объектов, обслуживаемых данным пунктом в результате переработки информации, поступающей с этих объектов или с др. пунктов управления. К ф-циям центр. характера относится передача информации транзитом от нижестоящих к вышестоящим пунктам управления или с частичной переработкой информации (выборочное суммирование, передача сводных показателей и др.). Из-за недостаточной надежности каналов связи в Т. с. требуется большая автономность всех нижестоящих пунктов управления и устройств местной автоматики, по сравнению с локальной системой автоматич. управления.

Лит.: Ильин В. А., Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, М.—Л., 1963; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.—Л., 1961; Гуд Г. Х., Макол Р. Э., Системотехника. Введение в проектирование больших систем, пер. с англ., М. 1962., *В. А. Ильин, А. Г. Мамиконов, А. М. Пшеничников.*

ТЕЛЕВИДЕНИЕ ПРИКЛАДНОЕ (closed-circuit television; television en circuit fermé; angewandtes Fernsehen) — телевидение, применяемое в различных отраслях пром-сти, науки и техники с целью повышения производительности и безопасности труда, облегчения его условий, расширения возможностей научных исследований, повышения эффективности обучения, введения автоматизации, замены оператора на визуальных контрольных операциях и др. Т. п. может быть разбито на два крупных раздела: визуальные системы и системы телевизионной автоматики.

1. На выходе *визуальных систем* Т. п. получается изображение передаваемого объекта, наблюдаемое глазом человека; для этого используются передающие телевизионные трубки. Если на мишень трубки спроецировать изображение передаваемого предмета и вычерчивать электронным лучом прямоугольный растр на мишени, то, в результате происходящих при этом физич. процессов (см. *Передающая телевизионная трубка*) возникает электрич. сигнал (видеосигнал), несущий в себе полную информацию об изображении. После соответствующего усиления и обработки видеосигнал подается на видеоприемное устройство (ВПУ). Здесь видеосигнал модулирует ток электронного луча *приемной телевизионной трубки*, к-рый вычерчивает растр на ее экране синхронно и синфазно с лучом передающей трубки, в результате чего получается обратное преобразование видеосигнала в изображение передаваемого предмета. Получению изображения способствует присущая глазу инерционность восприятия.

Типовая скелетная схема визуальной системы Т. п. приведена на рис. 1. Передающая

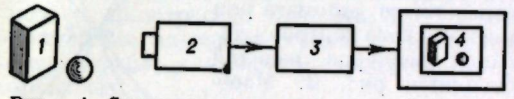


Рис. 1. Скелетная схема визуальной системы прикладного телевидения: *1* — объект; *2* — передающая камера; *3* — блок канала, *4* — видеоприемное устройство.

камера *2* служит для получения оптич. изображения передаваемого объекта *1*, преобразования его в видеосигнал и усиления видеосигнала с последующей передачей по линии связи в блок канала. В состав передающей камеры обычно входят след. элементы: оптич. устройство, узел передающей трубки, предварит. усилитель и цепи гашения луча передающей трубки. Оптич. устройство в простейшем случае представляет собой объектив, с помощью к-рого на светочувствит. слое экрана передающей трубки получается изображение объекта передачи; обычно используются объективы с фокусным расстоянием от 10 до 1000 *мм*, углом зрения от 2° до 60° и относит. отверстием от 1 : 0,8. При необходимости, вместо одного объектива применяется сложное оптич. устройство, позволяющее дистанционно производить смену неск. объективов, их диафрагмирование и фокусировку.

Узел передающей трубки предназначен для преобразования светового изображения объекта передачи в видеосигнал и включает в себя передающую трубку и фокусирующую и отклоняющую систему (ФОС). Передающая трубка вырабатывает видеосигнал, пропорционал. количеству световой энергии, приходящейся на отд. участки изображения. Передающая трубка — важнейший элемент систем Т. п., определяющий, в основном, качество телевизионной передачи изображения. В Т. п., как правило, используются передающие трубки типа видикон и суперортикон. Основные достоинства видикона, благодаря к-рым этот тип трубки используется в подавляющем большинстве установок Т. п.,—сравнительно высокая чувствит., простота эксплуатации и малые размеры; его недостаток — нек-рая инерционность изображения, затрудняющая передачу быстропередвигающихся предметов. Суперортикон — самая чувствит. из всех существующих передающих трубок. Однако он значительно больше видикона, сложнее его в управлении и стоит дороже. ФОС служит для фокусировки электронного луча трубки, а также для отклонения его в горизонтальном (по строкам) и в вертикальном (по кадрам) направлениях. ФОС обычно имеет вид полого цилиндра, состоящего из ряда катушек, в к-рый помещается передающая трубка.

Предварит. усилитель служит для первичного усиления видеосигнала, поступающего от передающей трубки. От предварит. усилителя, как и от др. видеоусилителей, необходимо получить видеосигнал с равномерным усилением в полосе частот от 50—1500 *гц* до 6—7 *мгц*. Лишь в этом случае передаваемое изображение будет достаточно хорошо соответствовать оригиналу. Выходной каскад предварительного усилителя обычно выполняется по схеме катодного повторителя с целью высококачеств. передачи видеосигнала на большие расстояния по коаксиальному кабелю.

Цепи гашения служат для запирания электронного луча на обратном ходу развертки по строкам и по кадрам, во избежание помех изображению. С этой целью в камере из строчных и кадровых импульсов вырабатываются П-образные импульсы отрицат. полярности, к-рые подаются на управляющий электрод во время возврата луча в исходное положение.

Блок канала усиливает видеосигнал, формирует его до полного телевизионного сигнала и генерирует синхронизирующие сигналы и пилообразные токи для развертки луча передающей трубки. Кроме того, в блоке канала вырабатываются напряжения, необходимые для питания камеры. В состав блока канала обычно входят след. элементы: видеоусилитель, синхрогенератор, передающее развертывающее устройство и узел питания.

В видеоусилителе, кроме дальнейшего усиления видеосигнала, производится также его формирование, к-рое заключается в след.: 1) в видеосигнал замешиваются гасящие сигналы приемной трубки, к-рые запирают электронный луч приемной трубки на обратном ходу; 2) в видеосигнал замешиваются синхронизирующие сигналы, к-рые в дальнейшем выделяются и используются для синхронизации разверток на приемной стороне. Видеосигнал с замешанными гасящими и синхронизирующими сигналами приемной трубки наз. полным телевизионным сигналом.

Синхрогенератор задает такт работы всей телевизионной установки. В нем вырабатываются импульсы для синхронизации передающих разверток по строкам и по кадрам, гасящие импульсы для электронного луча передаю-

щей и приемной трубок, импульсы для синхронизации разверток на приемной стороне. В широко распространенных системах Т. п., и в частности в СССР, синхрогенератор обычно обеспечивает получение т. н. чересстрочного разложения изображения на 625 строк при 25 кадрах в секунду. Благодаря такому способу разложения, мелькание изображения при 25 кадрах в сек. становится незаметным, а ширина полосы видеотракта без заметного ухудшения четкости изображения может быть снижена в 2 раза, что дает значит. упрощение всей системы.

Передающие развертывающие устройства предназначены для формирования пилообразных колебаний тока строчной и кадровой частоты. Пилообразные токи, проходя по обмоткам ФОС, расположенным под углом 90° друг к другу, создают пилообразные магнитные поля, совместное действие к-рых заставляет электронный луч передающей трубки непрерывно вычерчивать растр на ее светочувствит. слое. Узел питания обеспечивает камеры и др. аппаратуру электрич. напряжениями и токами. Обычно пост. напряжения, подаваемые в цепи усиления видеосигнала и разверток, имеют электронную стабилизацию.

Видеоприемное устройство (ВПУ) предназначается для создания видимого изображения передаваемого объекта. ВПУ обычно включает следующие элементы: видеоусилитель, узел приемной трубки, частотно-амплитудный фильтр, приемные развертывающие устройства, узел питания. Видеоусилитель усиливает видеосигнал до значения, необходимого для обеспечения норм. работы приемной трубки, т. е. 20—40 *в*. Узел приемной трубки состоит из приемной трубки и ФОС. На экране приемной трубки с помощью электронного луча, обегающего в пределах растра слой, светящийся под воздействием луча, создается видимое изображение передаваемого объекта. Работа ФОС приемной трубки аналогична работе уже описанной ФОС передающей трубки.

Частотно-амплитудный фильтр предназначен для выделения из полного телевизионного сигнала импульсов синхронизации по строкам и по кадрам с последующей подачей их к цепям приемных развертывающих устройств. Приемные развертывающие устройства выполняют для приемной трубки те же ф-ции, что и передающие развертывающие устройства для передающих трубок. Узел питания обеспечивает ВПУ необходимыми напряжениями.

Камера соединяется с блоком канала спец. камерным кабелем, в к-ром имеются коаксиальные пары, рассчитанные на передачу видеосигнала и импульсов строчной развертки, а также обычные жилы для подачи питания.

Установки Т. п. могут собираться по более сложным скелетным схемам, чем схема рис. 1 (см. *Телевидение промышленное*).

2. Телевизионной автоматикой наз. отрасль автоматики, в к-рой первичная информация вырабатывается с помощью *телевизионных датчиков*, преобразующих видимое изображение контролируемого предмета в видеосигнал по определ. закону. Телевизионный автомат — органич. синтез телевизионного и счетно-решающего или индикаторного устройств. Блок-схема телевизионного автомата приведена на рис. 2 и не отличается по существу от принятых блок-схем автоматич. устройств. В простых случаях сигнал от телевизионного датчика может поступать непосредственно на командное или даже на исполнит. устройство. Для контрольного автомата

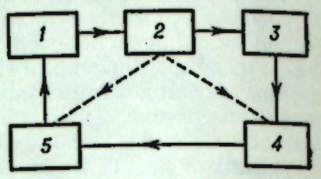


Рис. 2. Блок-схема телевизионного автомата: *1* — объект контроля; *2* — телевизионный датчик; *3* — логич. устройство; *4* — командное устройство; *5* — исполнит. или индикаторное устройство.

связь между исполнит. устройством и объектом контроля не нужна. Телевизионная автоматика — молодая отрасль телевизионной техники, существует всего неск. лет. Основные ее направления: а) бесконтактные автоматич. высокоточные измерения линейных и плоскостных размеров предметов; б) автоматич. подсчет предметов, находящихся в поле наблюдения, и анализ их размеров; в) бесконтактный автоматич. скоростной контроль контуров изделий с большой точностью; г) автоматич. обнаружение изменений на объекте наблюдения; д) опознавание образов.

При контроле линейных размеров предметов обычно измеряется длительность П-образных видеоимпульсов, возникающих при пересечении изображения предмета электронным лучом. С целью повышения точности контроля и облегчения ввода данных в ЦВМ в эти импульсы замешивают маркерные сигналы, число к-рых определяет в заданном масштабе линейный размер предмета. Работа телевизионного автомата для высокоточного контроля линейных размеров изделий поясняется рис. 3. Изображение контролируемого предмета проецируется на торцы светопроводов волоконной оптики, размещенные в один ряд. Обратные торцы светопроводов, расположенные в виде прямоугольного растра, проецируются на мишень передающей трубки. При сканировании мишени электронный луч передающей трубки окажется промодулированным

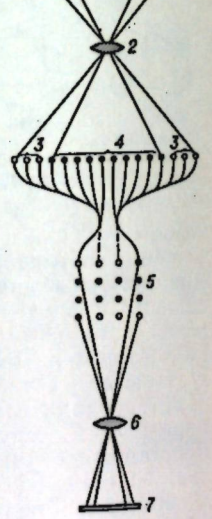


Рис. 3. Принципиальная схема измерения размеров с помощью волоконной оптики и прикладного телевидения: *1* — контролируемый объект; *2* — первый объектив; *3* — засвеченные торцы волокон; *4* — незасвеченные торцы волокон; *5* — преобразованные торцы волокон; *6* — второй объектив; *7* — мишень передающей трубки.

изображениями светлых торцов светопроводов. Возникающие при этом в видеосигнале импульсы подсчитываются счетчиком, показания к-рого дают значение размера изделия и являются командными сигналами для управления процессом. Поскольку необходимая разрешающая способность трубки, полоса частот усилителя и скорость счета во столько раз меньше, во сколько раз сторона растра меньше длины первичного ряда

светопроводов, точность измерения этим способом может достигать сотых долей процента. Телевизионные автоматы такого рода найдут широкое применение для контроля размеров горячего проката, поковок, диаметра тонких проволок и т. д.

Для автоматич. измерения площади изделий производится суммирование длительностей всех видеоимпульсов, полученных при пересечении изображения изделия. Такие системы могут найти применение для быстрого определения площадей выкроек, шкурок ценных мехов, для определения веса металлич. изделий сложной формы и др.; точность контроля составляет 3—5%.

Автоматич. подсчет числа объектов, находящихся в поле наблюдения, может производиться различными способами, но наиболее точным способом, обеспечивающим получение погрешности счета объектов не более 1—2%, является способ, в к-ром используется разность между числом импульсов, полученных при всех пересечениях изображения объектов электронным лучом за время одного кадра, и числом импульсов, полученных от схемы совпадения, на один вход к-рой подается видеосигнал от данной строки, а на второй вход — видеосигнал от последующей строки. Схема совпадения выдает сигнал только в том случае, когда сигналы от обеих смежных строк проходят по контролируемому объекту. Полученная разность, независимо от формы и размера одновременно подсчитываемых объектов, будет всегда равна числу объектов. Одновременно может производиться автоматич. дифференциация размеров объектов. Автоматич. счетчики числа объектов найдут самое широкое применение при контроле микрочастиц в цементной, абразивной, керамич. и др. отраслях пром-сти, при подсчете форменных элементов крови, в порошковой металлургии, химическом, красильном и др. произ-вах.

Скоростной автоматич. контроль контуров изделий осуществляется большим числом способов. Напр. с помощью системы бегущего телевизионного луча, к-рый, пересекая изображение допусковых линий и изображение края контролируемого изделия, создает видеоимпульсы, по числу к-рых можно судить о годности изделия или о браке по верхнему или нижнему пределу. Более точные результаты могут быть получены при использовании раздвоенного бегущего луча, причем, один луч пересекает изображение эталона, а др.— контролируемого изделия; возникновение разности обоих видеосигналов является сигналом о наличии брака. Точность работы автоматов контроля формы достигает неск. микрон. Наиболее широкое применение они найдут в машиностроительной пром-сти при высокоточном контроле изделий сложной формы: шестерен, резьбы болтов, колец шарикоподшипников и др.

Система автоматич. обнаружения изменений на объекте, в случае контроля локализованных точек объектов, выполняется с помощью стробирующих импульсов, наводимых на места ожидаемых изменений и подачи опорных напряжений к каждому выделенному видеосигналу; в случае изменения освещенности в этих местах, начинает работать пороговая схема, что приводит к срабатыванию сигнализации. При необходимости обнаружения изменений в любой точке объекта могут использоваться системы с задержкой сигнала, осуществляемой наиболее просто с помощью вакуумных приборов — видикона или потенциалоскопа. Может использоваться также запись на магнитную ленту, фото- и кинорегистрация. Рассматриваемые системы найдут применение в охране помещений, при необходимости предотвращения аварийных ситуаций, при контроле правильности положения деталей на конвейере и др.

Системы опознавания образов позволяют обнаружить предметы заданной формы среди предметов произвольной формы. Эти системы могут строиться по различным принципам: опознание предметов по форме соответствующих им видеосигналов или путем сравнения полученных признаков сигналов с признаками, хранящимися в памяти счетно-решающего устройства. Принципы опознавания образов находятся сейчас в стадии разработки. При успешном решении указанных задач, опознавание образов, совместно с вышеупомянутыми разработками, позволит устранить большую часть препятствий, стоящих на пути освобождения человека от утомительных визуальных контрольных операций, и позволит создать наиболее универсальные и оперативные машины— «видящие» автоматы.

Лит.: Халфин А. М., Основы телевизионной техники, М., 1955; Вихман В. С., Применение телевизионно-вычислительной техники в автоматическом контроле размеров, «ИТ», 1962, № 11; Полонник В. С., Цуккерман И. И., Телевизионная автоматика, «Техника кино и телевидения», 1961, № 6; Полонник В.С., Телевизионные методы измерения размеров предметов, там же, 1962, № 11; его же, Прикладное телевидение, М.—Л., 1962; Купревич И. Ф., Телевизионная техника в астрономии, М.— Л., 1958; Рабинович В. А., Телевизионные методы и устройства автоматического управления блюмингов, «Техника кино и телевидения», 1963, № 1; Аксенов Б. Н., Кузьмин Б. А., Опыт применения цветного телевидения для передачи изображений хирургических операций, «Вестник хирургии», 1959, т. 82, № 4; Федин Л. А., Агроскин Л. С., Телевизионный микроскоп — пример применения физических методов исследования в биологии, «Биофизика», 1959, т. 4, вып. 4; Харкевич А. А., Опознавание образов, «Р-ка», 1959, т. 14, № 5; Loos F., Schmidt H., Industrielles Fernsehen, Lpz., 1960; Zworykin V. K., Rambergе E. G., Flory L. E., Television in science and industry, N.Y.— L., [1958]. *В. С. Полонник.*

ТЕЛЕВИДЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ (industrial television; télévision industrielle; industrielles Fernsehen) — телевидение, предназнач. для использования в пром-сти с целью повышения производительности труда и обеспечения его безопасности, облегчения управления произ-вом. Для выполнения указанных ф-ций используют пром. телевизионные установки (ПТУ). Характерными особенностями ПТУ являются, кроме общего упрощения схемной части (см. *Телевидение прикладное*), помещение камер в спец. кожухи, приспособленные для их защиты при работе в особо тяжелых физико-климатич. условиях, наличие дистанционно управляемых устройств для фокусировки, смены и диафрагмирования объективов, поворота и наклона камеры, большие расстояния между камерой и пультом управления, возможность коммутации большого числа камер.

Самая простая схема ПТУ (рис. 1, *а*), состоит только из передающей камеры и видеоприемного устройства (ВПУ), в нек-рых случаях заменяемого обычным телевизором. На рис. 1, *б* приведена блок-схема наиболее

распространенной ПТУ, содержащей блок канала, обеспечивающий возможность выноса камеры на большое расстояние и получения

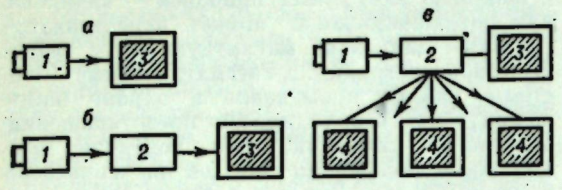


Рис. 1. Блок-схемы одноканальных пром. телевизионных установок: *1* — передающая камера; *2* — блок канала; *3* — видеоприемное устройство; *4* — телевизор.

изображения высокого качества. В схеме рис. 1, *в* предусмотрено подключение, кроме ВПУ, неск. телевизоров, к-рые могут быть отнесены на расстояние до 1,5 *км*. Рассмотренные одноканальные ПТУ дают возможность наблюдать только один объект. Для одно-

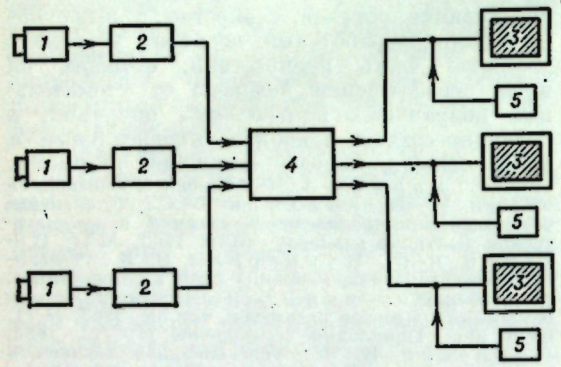


Рис. 2. Блок-схема многоканальной пром: телевизионной установки: *1* — передающая камера; *2* — блок канала; *3* — видеоприемное устройство; *4* — блок коммутации; *5* — коммутатор.

временного наблюдения за неск. объектами применяют многоканальные установки, к-рые в простейшем случае создаются путем использования неск. одноканальных установок любого типа. Блок-схема более сложной многоканальной установки приведена на рис. 2. Здесь видеосигналы от трех (или больше) камер, пройдя через блоки каналов, поступают на блок коммутации. Из этого блока видеосигнал непосредственно или после преобразования в радиосигнал подается соответственно к ВПУ или телевизорам для просмотра изображения. Выбор объекта производится в каждой точке наблюдения при помощи коммутаторов. Преимущество этой установки в том, что она позволяет неск. операторам независимо друг от друга одновременно наблюдать одно или неск. разных изображений.

Важную роль телевидение призвано сыграть при диспетчеризации произ-ва. Телевизионные установки для диспетчеров обеспечивают круглосуточное поочередное наблюдение различных производственных участков, технологич. процессов, ситуации на территории и др. Изображение появляется в минимально короткое время после включения

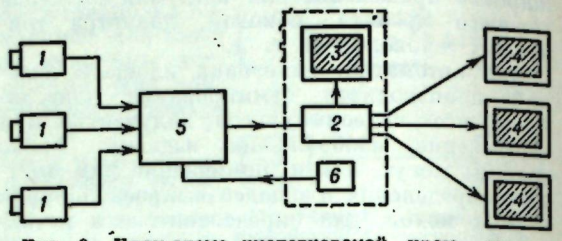


Рис. 3. Блок-схема диспетчерской пром. телевизионной установки: *1* — передающая камера; *2* — блок канала; *3* — видеоприемное устройство; *4* — телевизор; *5* — блок коммутации; *6* — коммутатор.

соответствующей камеры. На рис. 3 приведена блок-схема диспетчерской установки. При нажатии кнопки коммутатора в блоке коммутации происходит включение всех цепей питания и управления, связанных с блоком канала, на выбранную камеру, в результате чего на экране ВПУ возникает изображение объекта. При нажатии др. кнопки указанные цепи переключаются на др. камеру и наблюдается новое изображение. Таким путем диспетчер может поочередно просматривать большое число объектов (до неск. десятков). При необходимости, наблюдаемое им изображение может быть передано на неск. телевизоров. К достоинствам установки этого типа относится ее сравнительно низкая стоимость, т. к. в большом количестве используются только камеры (по числу наблюдаемых объектов), а остальное оборудование представлено в одном комплекте. Конечно, возможны и др. варианты диспетчерских установок, к-рые вызываются конкретными требованиями работы. Напр., путем постепенного наращивания коммутац. устройств можно создать диспетчерскую установку даже на неск. сотен контрольных точек.

Параметр	ПТУ-ОМ1	ПТУ-2М	ПТУ-101
Тип применяемой трубки	Видикон		Суперортикон
Необходимая освещенность на объекте (*лк*)	250	250	25
Четкость изображения по горизонтали/вертикали (линий)	450/300	500/450	500/500
Нелинейность разверток (%, не более)	15	15	20
Напряжение питания (*в*)	от 220+5%	до 220—10%	—
Частота сети (*гц*)	50 ± 1		50 ± 1
Потребляемая мощность (*ва*)	300	390	1000
Предельное расстояние (*м*):			
от камеры до пульта управления	200	1000	1000
от пульта управления до контрольной точки	—	1500	1500
Операции дистанц. управления оптикой	Фокусировка, диафрагмирование		
	—	смена 2-х объективов	—
Наличие поворотных устройств камеры	Нет	Есть	Есть
Климатич. режим работы камеры	—20°—+50° С; относит. влажность 95%		С водоохлаждаемым кожухом до +150° С
Габариты камеры (*мм*)	150×150×225		Диаметр от 160 до 200, длина от 630 до 650
Вес камеры (*кг*)	4,5—8,0		15—18,5

Основные технич. параметры одноканальных советских ПТУ приведены в таблице. На базе ПТУ-2М выпускается диспетчерская установка на 5 камер (ПТУ-4). На базе ПТУ-101 выпускаются установки на 6 камер (ПТУ-102) и на 12 камер (ПТУ-103). Кроме того, выпускается аппаратура во взрывобезопасном оформлении типа ПТУ-105, для подводного наблюдения типа АПТ-2П и еще неск. специализированных установок.

В металлургии Т. п. используется для контроля разливки стали в изложницы и вакуумной разливки стали, контроля загрузки нагреват. печей, работы полосового стана горячей прокатки и мощного ковочного пресса, для выбора наиболее рационального места резки раскаленных слябов и др. В горной и угольной пром-сти Т. п. применяется для управления работой экскаваторов, драглайнов, перегрузочных мостов и др. мощных механизмов, контроля за грузоподъемными машинами и клетями в рудничных шахтах и т. д. В энергетике посредством Т. п. наблюдают за уровнем воды в водомерных колонках, состоянием и конфигурацией факелов в топках паровых котлов, дымом, выходящим из труб топок. На ж.-д. транспорте Т. п. применяется для обозрения станционных путей, списывания номеров товарных вагонов, контроля за ходовой частью вагонов, охраны ж.-д. переездов и т. д. В машиностроении Т. п. особенно полезно при нивелировочных работах на сборке станелей, для управления продольно-фрезерными станками с неск. фрезерными и строгальными суппортами, при многостаночном обслуживании и др. В атомной технике Т. п. используется для контроля электромагнитного разделения изотопов, осмотра технологич. каналов атомных реакторов, микроскопич. анализа радиоактивных материалов. Для контроля работы механич. и, особенно, электромеханич. манипуляторов большие преимущества имеет стереоскопич. телевидение. Т. п. используется также для наблюдения под водой, связи конструкторского бюро с произ-вом, борьбы с лесными пожарами, для контроля работы строит. кранов, в банковском деле, для управления уличным движением, контроля полетов и при испытаниях самолетов, для технич. обучения и др.

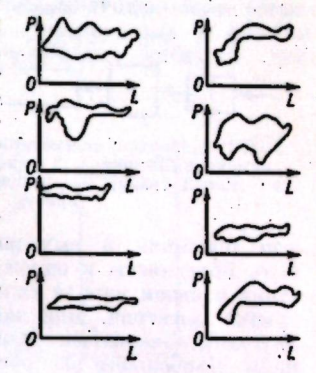
Лит.: Полоник В. С., Прикладное телевидение, М.— Л., 1962; Системы промышленного телевидения. Сб. ст., под ред. С. И. Зеленского и К. В. Михалкова, М.— Л., 1962; Вершинский Н. В., Подводное телевидение, М., 1960; Полоник В. С., Промышленные телевизионные установки ПТУ-ОМ1, ПТУ-2М, ПТУ-4, «Бюлл. техн.-экон. информации», 1959, № 4 (Филиал ВИНИТИ); Семенов А. В., Уманский А. А., Телевидение на железнодорожном транспорте, «Автоматика, телемеханика, связь», 1957, № 3; Сперанский Б. А., О применении телевизионных установок в котельных цехах электростанций, «ИВУЗ. Энергетика», 1958, № 8.

В. С. Полоник.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ДАТЧИК (television transducer; capteur de télévision; Bildfunkgeber) — оптико-телевизионное устройство, преобразующее световое изображение наблюдаемого объекта в электрич. сигнал (видеосигнал), содержащий в себе информацию, необходимую для определения состояния объекта с заданной точностью и в форме, пригодной для дальнейшей обработки.

В. С. Полоник.

ТЕЛЕДИНАМОМЕТРИРОВАНИЕ (teledynamometry; télémesure dynamométrique; dynamometrische Fernmessungen) — воспроизведение или регистрация динамограммы, напр. глубинно-насосной нефтяной скважины. По горизонт. оси динамограммы, представляющей замкнутую кривую, откладывается ход L возвратно-поступательно движущихся стальных штанг, к-рые связаны с плунжером глубинного насоса в скважине, а по вертикальной оси — усилие P в этих штангах (рис.). По форме динамограммы можно определить степень наполнения глубинного насоса, обнаружить пропуски в его верхнем и нижнем клапанах, оценить дебит скважины, обнаружить удары и повреждения в системе и выяснить ряд др. вопросов, определяющих технологич. режим работы глубинно-насосной скважины. Т. осуществляется с помощью



Динамограммы.

датчика хода (ДХ), датчика усилий (ДУ), установленных на каждой скважине, и динамоскопа — на диспетчерском пункте. ДХ представляет собой, напр., вращающийся тр-р, ротор к-рого повторяет движения вала балансира станка-качалки, а выходное напряжение линейно зависит от угла поворота этого вала, приблизительно пропорционального ходу штанг.

ДУ, напр. дифференц. трансформаторный датчик, измеряет деформации верхней полки балансира станка-качалки, приблизительно пропорциональные усилиям в штангах. Сигналы от ДХ и ДУ подаются через усилители соответственно на горизонтальные и вертик. управляющие пластины ЭЛТ динамоскопа, воспроизводя на ее экране динамограмму скважины. Иногда в системах Т. применяют: отметчики крайних положений (вместо ДХ), двухкоординатные компенсац. генераторы (наряду с ЭЛТ); осуществляются и др. конструкции.

Лит.: Белов И. Г., Практические основы динамометрирования, Баку, 1947; Шишкин О. П., Крикун З. Н., Телемеханика на нефтяных промыслах Грозного, [Грозный], 1961; Абрукин А. Л., Хирных Л. А., Телемеханизация добычи нефти, М., 1962.

О. П. Шишкин.

ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ, телеметрия (telemetering; télémesure, mesure a distance; Fernmessung),— область *телемеханики*, охватывающая теорию и тех. средства передачи на расстояние величин контролируемых параметров. При Т. контролируемая величина преобразуется в сигнал, приспособленный для передачи по каналу связи. Сигнал выбирается таким, чтобы его искажения при передаче по каналу связи, из-за воздействия помех и изменения параметров канала, были достаточно малыми. Совокупность тех. средств, необходимых для осуществления Т., наз. телеизмерит. системой, к-рая включает в себя датчик контролируемой величины, передатчик, канал связи, приемник и выходной регистрирующий или показывающий прибор (рис. 1). Датчик осуществляет функцион. преобразование контролируемой величины в промежуточный параметр, обычно электрич. ток, напряжение, активное или реактивное

сопротивление (индуктивность, емкость, взаимоиндуктивность). Передатчик ТИ вырабатывает сигнал, приспособленный для передачи по каналу связи, модулированный промежуточным параметром, подаваемым с выхода датчика. Сигнал передается по каналу связи и поступает на вход приемника. Последний осуществляет демодуляцию сигнала, а выходной прибор воспроизводит значение телеизмеряемой величины. Датчик и передатчик

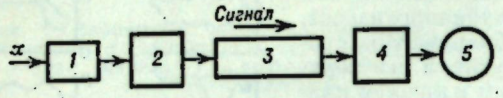


Рис. 1. Блок-схема телеизмерит. системы: *x*—контролируемая величина; *1* —датчик; *2* —передатчик; *3* — канал связи; *4* — приемник; *5* — выходной прибор.

или приемник и выходной прибор могут быть объединены в одном блоке. В соответствии с видом канала связи, для Т. используются электрич. или неэлектрич. (оптич., акустич., пневматич. или гидравлич.) сигналы. Наибольшее распространение получили системы ТИ с электрич. сигналами. По характеру сигнала системы ТИ разделяется на две группы: системы интенсивности и системы с модулиров. и кодовыми сигналами. В системах ТИ первой группы в качестве сигнала используются ток или напряжение в линии связи, *телеизмерительные системы интенсивности* применяются только при коротких проводных линиях связи (физических), т. к. при протяж. линиях связи погрешности, вызванные нестабильностью постоянных передачи, недопустимо возрастают и одновременно затрудняется уплотнение линий связи. В системах второй группы сигналы образуются путем *модуляции* импульсов по продолжительности, фазе или частоте следования, или модуляции по частоте или фазе синусоид. колебаний (рис. 2). К этой же группе относятся системы с кодовыми (дискретными) сигналами. Системы с модулиров. и кодовыми сигналами более приспособлены для работы по протяженным линиям связи с нестабильными параметрами передачи, в том числе по уплотненным линиям. Эти системы могут быть с временно́й импульсной модуляцией (*модуляцией широтной импульсной* и модуляцией фазовой импульсной) и системы с частотной модуляцией (*модуляцией частотной импульсной* и модуляцией по частоте перем. тока). В таких системах передатчик представляет собой модулирующее, а приемник — демодулирующее устройство. Выходным прибором обычно служит стрелочный или регистрирующий электроизмерит. прибор.

В системах с кодовыми сигналами, наз. кодоимпульсными, передатчик осуществляет операции *квантования* (перехода от непрерывного ряда значений входного параметра к конечному числу значений, отличающихся друг от друга на дискретную величину — шаг квантования). Квантованные значения параметра преобразуются в определ. кодовые комбинации, передаваемые через канал связи. Кодовые комбинации составляются из импульсов, различающихся по выбранному параметру модуляции: амплитуде, длительности, фазе или частоте заполняющих несущих колебаний. Иногда передача кодов осуществляется по способу наличия или отсутствия импульса в фиксиров. момент времени. Приемник выполняет ф-ции декодирования сигналов. В кодоимпульсных системах ТИ выходной прибор обычно представляет собой дискретное

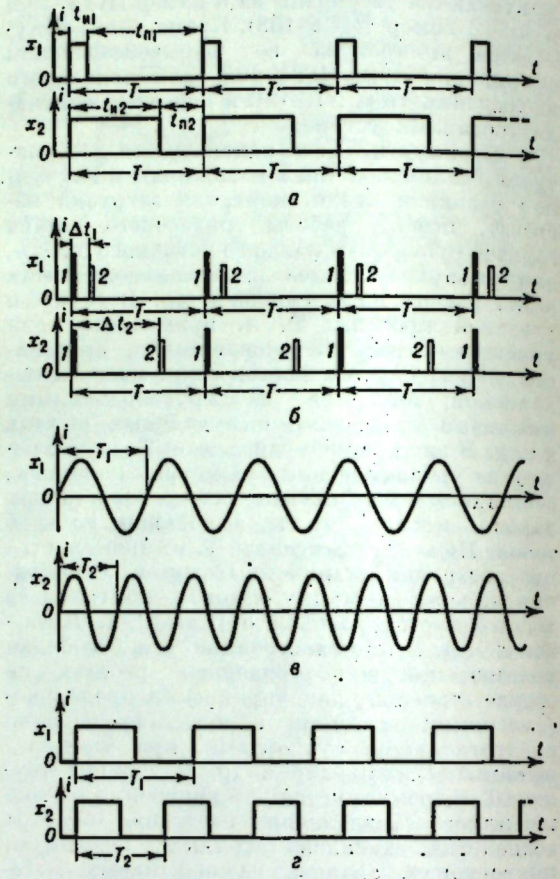


Рис. 2. Сигналы телеизмерит. систем с различными видами модуляции: *а* — широтной импульсной; *б* — фазовой импульсной; *в* — частотной; *г* — частотной импульсной.

индикаторное или печатающее устройство, воспроизводящее результат Т. в цифровой форме. При этом приемник непосредственно управляет включением индикаторов или срабатыванием цифропечатающих устройств. Иногда результат Т. воспроизводится в аналоговой форме с помощью электроизмерит. прибора. В этом случае приемник дополняется преобразователем кода в аналоговую электрич. величину — ток или напряжение.

Цифровое воспроизведение показаний применяется и в системах ТИ с временно́й и частотной модуляцией. В приемнике при этом осуществляется квантование модулированных сигналов и преобразование в цифровой код. На выходе включается цифровой индикатор и цифропечатающее устройство. Каналы связи для систем ТИ с модулированными и кодовыми сигналами в большинстве случаев образуются путем частотного уплотнения линий связи. Поскольку для передачи сигналов ТИ, как правило, требуется узкая полоса частот (от неск. десятков *гц* до 300 *гц*), часто осуществляется выделение каналов ТИ путем вторичного частотного уплотнения каналов телефонной связи. При этом в полосе рабочих частот 300—3400 *гц* организуется до 16 вторичных каналов ТИ.

Системы ТИ выполняются одноканальными и многоканальными. В первом случае

система рассчитывается на передачу значений одного контролируемого параметра, во втором — обслуживает группу контролируемых параметров. В *телеизмерительных системах многоканальных* осуществляется частотное или временно́е разделение сигналов. При частотном разделении сигналов полоса частот, выделенная для Т. в канале связи, разделяется с помощью частотных фильтров на неск. узких полос (по числу контролируемых параметров). При временно́м разделении сигналы, относящиеся к разным контролируемым параметрам, передаются поочередно (циклически) в заданной последовательности.

Особенно интенсивное развитие телеизмерит. техники началось после 1945 в связи с ростом потребности в средствах ТИ и успехами в области радиоэлектроники. На смену электромеханич. телеизмерит. приборам пришли электронные устройства, к-рые используются, в частности, для исследований верхних слоев атмосферы и космич. пространства с помощью ракет и искусств. спутников Земли, а также для испытаний самолетов и ракет. Т. широко применяется в энергетич. системах для передачи показаний с электростанций и трансформаторных подстанций на диспетчерские пункты; на нефтяных и газовых промыслах; на магистральных газо- и нефтепроводах; в энергохозяйстве крупных пром. предприятий, в коммунальном хозяйстве городов (в водопроводных и газовых сетях), а также в ирригац. системах. С помощью радиотелеизмерит. систем осуществляется передача информации с автоматич. метеорологич. станций, расположенных в труднодоступных местах.

Важнейшими проблемами теории Т. являются: точность, охватывающая вопросы стабильного преобразования в звеньях системы ТИ; быстродействие; помехоустойчивость, включающая выбор рациональных методов передачи, в том числе параметров сигнала, способов приема и преобразования сигналов, исходя из расширения области устойчивой работы системы ТИ с заданной точностью при действии помех; структурная и аппаратурная надежности; эффективность передачи Т.— увеличение количества информации, передаваемой системой ТИ при заданных параметрах канала связи. Перечисл. показатели Т. взаимосвязаны и должны рассматриваться комплексно.

Лит.: Жданов Г. М., Телеизмерение, ч. 1—2, М.—Л., 1952—53; Фремке А. В., Телеизмерения, М.—Л., 1958; Николь с М. Х., Раух Л. Л., Радиотелеметрия, пер. с англ., М., 1958; Малов В. С., Телемеханика, М.—Л., 1960; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.—Л., 1961.

В. С. Малов.

ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ ОШИБКА (telemetering error; erreur de télémesure; Fernmeßfehler) — см. *Погрешность телеизмерения.*

ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА (telemetering system; système de télémesure; Fernmeßsystem) — совокупность технич. средств для передачи на расстояние информации о результатах измерения: датчик контролируемой величины, передатчик, канал связи, приемник и выходной регистрирующий или показывающий прибор.

ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНАЯ (telemetering pulse-position system; système de télémesure par déplacement d'impulsions dans le temps; Zeit-Impuls-Fernmeßsystem) — разновидность систем ТИ, в к-рой передаваемый параметр является ф-цией временно́й хар-ки импульсов. По характеру импульсного сигнала различают модификации Т. с. в.-и. с широтной импульсной *модуляцией* (ШИМ) и фазовой импульсной модуляцией (ФИМ). При ШИМ в зависимости от измеряемой величины изменяется продолжительность (ширина) импульса, а при ФИМ — положение короткого импульса относительно фиксированного момента времени (фаза); диаграммы широтно-импульсных и фазо-импульсных модулированных сигналов даны на рис. 1.

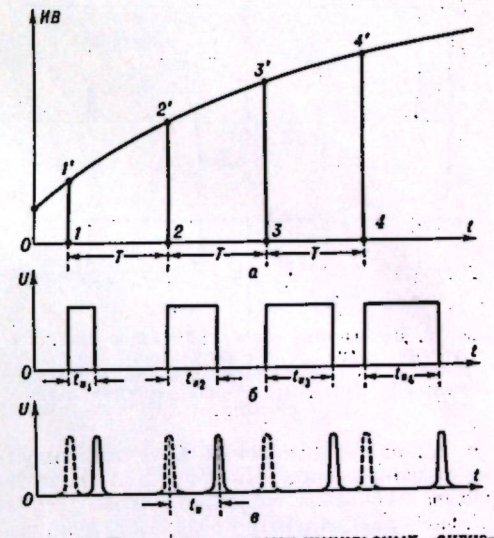


Рис. 1. Диаграммы время-импульсных сигналов: *а* — широтно-импульсная модуляция (*ИВ* — измеряемая величина, *t* — время, *T* — период); *б* и *в* — фазо-импульсная модуляция (*U* — напряжение, $t_н$ — длительность импульса).

Одним из основных источников погрешности телепередачи в Т. с. в.-и. является искажение фронтов импульсов при прохождении по каналу связи с огранич. полосой частот. Для уменьшения относит. погрешности увеличивают период повторения импульсов и девиацию импульсов (изменение продолжительности импульсов при ШИМ или величину смещения импульса при ФИМ). В пром-сти преимущественно используются Т. с. в.-и. длиннопериодные с периодом повторения импульсов от 1 до 30 сек.; короткопериодные (менее 1 сек.) системы применяются реже.

Наиболее распространены след. способы преобразования измеряемой величины во время-импульсный сигнал: 1) Преобразование угла поворота подвижной части первичного измерит. прибора с помощью вращающегося с пост. скоростью профилиров. диска (барабана), приводимого во вращение синхронным двигателем. Профиль диска выбирается т. о., что длительность импульса пропорциональна измеряемой величине. Развитием этой конструкции являются преобразователи с бесконтактным устройством (фотоэлектрическим или индукционным). 2) Преобразование напряжения, пропорционального измеряемой величине, в длительность импульса по методу развертывающего преобразования (рис. 2). Принцип преобразования поясняет диаграмма. Напряжение с выхода датчика $U_д$ сравнивается с периодически изменяющимся компен-

сирующим напряжением $U_к$. В результате устанавливается функциональная зависимость промежутка времени $t_и$ от напряжения $U_д$

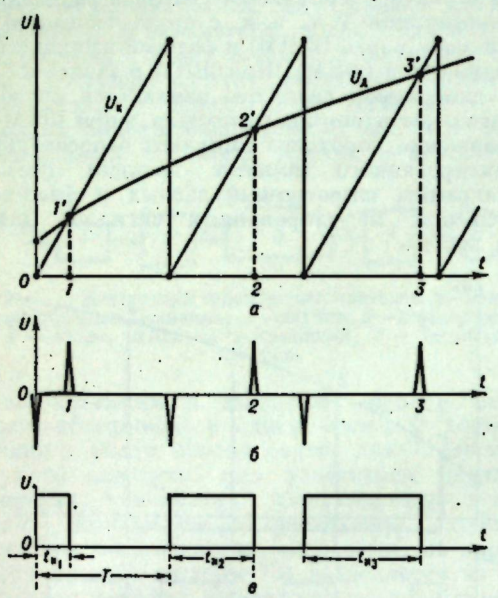


Рис. 2. Диаграммы, иллюстрирующие принцип развертывающего время-импульсного преобразования: *а* — процесс преобразования; *б* — фазо-импульсные сигналы; *в* — широтно-импульсные сигналы.

(при линейном измерении $U_к$ — зависимость пропорциональная). На рис. 3 в качестве примера показана принципиальная схема т. н. экспоненциального преобразователя, реализующего принцип развертывающего преобразования, и диаграммы, поясняющие его действие. Здесь для формирования компенсирующего напряжения $U_к$ используется цепь зарядки конденсатора C через сопротивление R. При включении этой цепи контактом реле p напряжение на конденсаторе $U_к$ начинает возрастать по закону:

$$U_к \simeq U\,[1-\exp(-t/RC)].$$

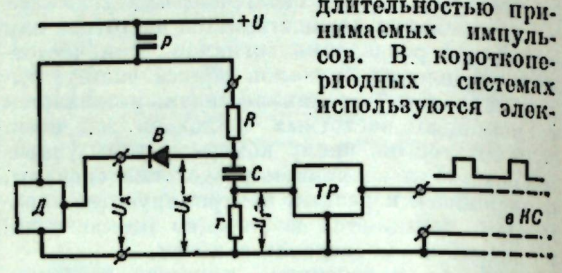
Этот процесс продолжается до тех пор, пока $U_к$ не достигнет величины $U_д$. В момент, когда $U_к=U_д$, открывается диод B и дальнейшее изменение $U_к$ прекращается (рис. 3, *а*). В процессе зарядки конденсатора C на сопротивление r ($r \ll R$) происходит падение напряжения $U_г$:

$$U_г \simeq U\,\frac{r}{R}\exp(-t/RC).$$

С момента, когда $U_к=U_д$, зарядный ток, а следовательно, и $U_г$, становятся равными нулю (рис. 3, *б*). Длительность импульса $t_и$ напряжения $U_г$ при этом составляет:

$$t_и \simeq RC \ln\frac{U}{U-U_д}.$$

При $t_и \ll RC$ зависимость $t_и=\varphi(U_д)$ близка к линейной. С помощью триггера TP импульс напряжения $U_г$ преобразуется в импульсы прямоугольной формы, поступающие в канал связи (рис. 3, *в*). Преобразование широтно-модулированных сигналов в модулированные по фазе производится путем их дифференцирования (рис. 3, *г*). Приемником в длинно-периодных Т. с. в.-и. служат электромеханич. измерители длительности импульса. В таких приемниках стрелка указателя перемещается с помощью синхронного электродвигателя, причем величина перемещения определяется длительностью принимаемых импульсов. В короткопериодных системах используются элек-



трич. приемники, в к-рых среднее значение тока, измеряемого выходным прибором — миллиамперметром, пропорционально отношению длительности импульса к периоду следования $t_и/T$. При приеме фазо-импульсных сигналов последние предварительно преобразуются в широтно-модулированные.

Принцип приемника с цифровым воспроизведением показаний поясняет блок-схема рис. 4. Генератор *ГИ* вырабатывает короткие импульсы, частота следования к-рых значительно выше частоты следования импульсов сигнала. Принимаемые из канала связи импульсы сигнала формируются в устройстве *ФИС* и управляют ключом K. Ключ открыт в течение времени $t_и$. При этом импульсы генератора *ГИ* с частотой f поступают на вход пересчетной схемы *ПС*. Число импульсов, сосчитанных пересчетной схемой, пропорционально $t_и$. Числовой код, фиксируемый *ПС*, на время периода T запоминается триггерной памятью *ТП*. С помощью дешифратора *ДК* код переводится в десятичную форму и воспроизводится цифровым индикатором *ЦИ* (см. *Воспроизведение телеизмеряемой величины*).

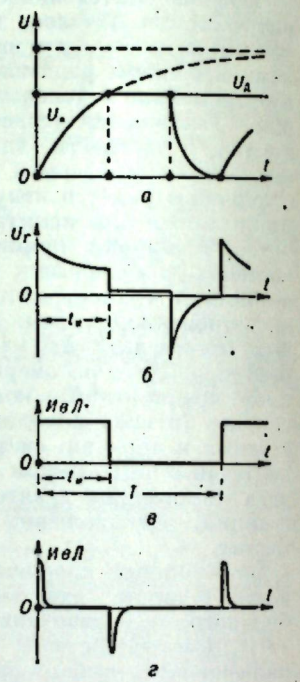


Рис. 3. Принципиальная схема и диаграммы (*а*—*г*) экспоненциального время-импульсного преобразователя: *Д* — датчик; *КС* — канал связи; *И* в *Л* — импульсы в линии.

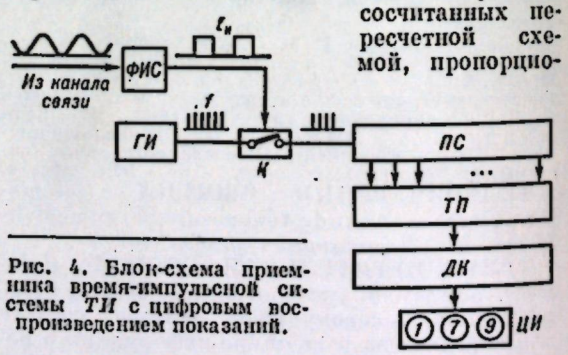


Рис. 4. Блок-схема приемника время-импульсной системы *ТИ* с цифровым воспроизведением показаний.

Лит.: Жданов Г. М., Телеизмерение, ч. 1—2, М.— Л., 1952—53; Фремке А. В., Телеизмерения, М.— Л., 1958; 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.

В. С. Малов.

ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИНТЕНСИВНОСТИ (intensity telemetering system; système de télémesure d'intensité; Intensität-Fernmeßsystem) — система ТИ, в к-рой измеряемая величина передается по каналу связи различной интенсивностью электрич. тока или напряжения. В первом случае измеряемой величиной, как правило, является пост. ток, во втором — измеряемая величина преобразуется в эдс или напряжение пост. тока, подаваемые в линию связи и измеряемые на приемной стороне прибором с малым потреблением энергии.

Устройства Т. с. и. выполняются небалансными или некомпенсационными и балансными или компенсационными. В первых измеряемый параметр преобразуется в изменение тока (напряжения) посредством изменения активного сопротивления, индуктивности, емкости, взаимной индуктивности электрич. цепи или путем трансформации. При балансном преобразовании автоматически поддерживается заданная зависимость между током в линии связи и измеряемым параметром. Последняя осуществляется с помощью регулирующих устройств, к-рые могут быть выполнены с астатич. и со статич. регулированием.

Для передачи информации при ТИ методом интенсивности используются преимущественно кабельные линии связи, у к-рых практически отсутствует проводимость изоляции (утечка), в то время как у воздушных линий она может достигать значит. величины и изменяться в зависимости от метеорологич. условий.

В системах тока и напряжения в качестве передающего устройства используется датчик с электрич. выходом.

В токовых небалансных системах для исключения погрешности от изменения сопротивления линии связи последовательно с последней включается балластное сопротивление, величина к-рого значительно больше сопротивления линии связи. Большее распространение получили токовые небалансные устройства выпрямит. и индукционно-выпрямит. систем ТИ. Первые используются для измерения токов и напряжений, вторые — мощности, давления, уровня.

В балансных токовых системах осуществляется непрерывное сравнение параметров (механических или электрических), создаваемых измеряемой величиной и током, протекающим в линии связи. В этих системах ток в линии связи в широких пределах не зависит от сопротивления последней, от изменения напряжения питания, а также от нестабильности нек-рых хар-к преобразователей. Примером балансной токовой системы является *телеизмерительная система токоуравновешенная*.

Из систем напряжения практически используются лишь потенциометрич. (нулевые) системы. В последних на приемной стороне к линии связи подключается автоматич. потенциометр, орган сравнения к-рого контролирует отсутствие тока в линии связи. При этом, если пренебречь проводимостью утечки изоляции линии связи, то напряжение, подключаемое автопотенциометром на приемной стороне линии связи, должно совпадать с напряжением на передающей стороне. В нулевых системах изменение сопротивления линии связи при достаточной чувствительности *нуль-органа* не вносит дополнит. погрешности, однако так же, как и в др. устройствах Т. с. и., возникают погрешности от изменения утечки изоляции линии связи.

Лит.: Жданов Г. М., Телеизмерение, ч. 1—2, М.— Л., 1952—53; Фремке А. В., Телеизмерения, М.— Л., 1958; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.— Л., 1961.

А. М. Пшеничников.

ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОДО-ИМПУЛЬСНАЯ (telemetering pulse-code system; système de télémesure par impulsions codifiées; Code-Impuls-Fernmeßsystem) — телеизмерительная система, в к-рой применяется код с предварит. *квантованием* измеряемой величины для передачи ее значений по каналу связи. В отличие от систем с непрерывными (аналоговыми) сигналами, Т. с. к.-и. принадлежит к классу систем ТИ с дискретными сигналами. Основным узлом передающего устройства Т. с. к.-и. является *преобразователь входной непрерывной величины в код*. Код может передаваться по каналу связи как последовательно (с временным разделением элементов сигнала), так и параллельно (с частотным разделением). Приемное устройство преобразует принятый сигнал либо в аналоговую форму, к-рый воспроизводится с помощью стрелочного указывающего и аналогового регистрирующего приборов, либо в цифровую, к-рый воспроизводится с помощью цифрового указателя или регистратора (см. *Воспроизведение телеизмеряемой величины*). При этом цифровое воспроизведение органически сочетается с дискретной формой передачи сигналов: не требуется применения цифро-аналоговых преобразователей сигнала, исключаются погрешности приемного устройства. В Т. с. к.-и. с аналоговым воспроизведением показаний, как правило, используется двоичный код, а в Т. с. к.-и. с цифровым воспроизведением показаний — двоично-десятичный код, более удобный для управления десятичным цифровым индикатором. Реже используется для этой цели единично-десятичный код, являющийся менее экономичным.

Т. с. к.-и. обладает высокой помехоустойчивостью, т. к. только сильные помехи, создающие ложные импульсы во время передачи интервалов между импульсами или подавляющие импульс настолько, что он воспринимается как интервал, способны вызвать ошибки в приеме. Вероятность таких ошибок может быть резко уменьшена применением спец. помехозащищенных кодов, исключающих ошибки воспроизведения в тех случаях, когда общее число искажений элементов одной кодовой посылки не превышает определ. числа (в простейшем помехозащищенном коде обнаруживается искажение одного элемента).

Т. с. к.-и. обладает большими возможностями повышения точности, т. к. канал связи и приемное устройство не вносят погрешностей. При одинаковой ширине канала связи и одинаковой точности Т. с. к.-и. позволяет передать в единицу времени большее число отсчетов, чем любая аналоговая

система ТИ. Преимущество Т. с. к.-и. по быстродействию тем больше, чем выше точность, при к-рой сравниваются различные системы. Это преимущество ощутимо сказывается при многоканальном исполнении систем ТИ с временны́м разделением.

Т. с. к.-и. имеют сравнительно большую аппаратурную сложность. С развитием бесконтактной импульсной техники этот недостаток становится все менее существенным, особенно при многоканальном исполнении Т. с. к.-и. Многоканальные Т. с. к.-и. находят широкое применение в энергетике, прежде всего для передачи данных на центр. диспетчерские пункты крупных энергетич. объединений, а также на магистральных газо- и нефтепроводах.

Лит.: Николь с М. Х., Раух Л. Л., Радиотелеметрия, пер. с англ., М., 1958; Куперш мидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.— Л., 1961. *Я. А. Куперштейн.*

ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МНОГОКАНАЛЬНАЯ (multichannel telemetering system; système de télémesure à canaux multiples; Vielkanalfernmeßsystem) — система ТИ, осуществляющая передачу по одному общему каналу связи значений неск. измеряемых величин. Различают Т. с. м. с частотным и временны́м разделением каналов. В первом случае для сигнала каждой измеряемой величины выделяется определенная своя полоса частот. В канале связи сигналы передаются одновременно; на приемном конце сигналы вновь разделяются по частоте с помощью фильтров. При временно́м разделении сигналы передаются последовательно во времени. Для этого применяется синхронное переключение входов и выходов на передающей и приемной стороне с помощью распределителей (коммутаторов). Ниже даны упрощенные блок-схемы обеих Т. с. м. и диаграммы, поясняющие принцип разделения сигналов.

При частотном разделении (рис. 1, *а*) в передающем устройстве сигналы от датчиков ТИ модулируют колебания различающихся частот, вырабатываемые генераторами. Полосовые фильтры ограничивают частотный спектр модулированных колебаний, поступающих в линию связи. Модулированные колебания всех каналов смешиваются и усиливаются. В приемном устройстве усиленный сигнал поступает на входы полосовых фильтров с такой же полосой пропускания, какую имеют фильтры передающего устройства. Выделенные сигналы демодулируются и поступают на выходные приборы.

Рис. 1. Блок-схема и частотная диаграмма многоканальной системы ТИ с частотным разделением каналов: *Г* — генератор несущих колебаний; *Д* — датчик; *М* — модулятор; *Ф* — полосовой фильтр; *ГУ* — групповой усилитель; *ДМ* — демодулятор; *ВП* — выходной прибор.

При временно́м разделении (рис. 2, *а*) в передающем устройстве входы датчиков поочередно подключаются распределителем к общему модулятору. Переключения распределителя происходят под действием управляющих импульсов, вырабатываемых генератором. В приемном устройстве сигналы демодулируются и коммутируются по выходным приборам. Распределителем K_2 управляет генератор $ГИ_{II}$, синхронизированный с $ГИ_I$. Для синхронизации в начале цикла переключений посылается синхронизирующий импульс длительностью t_c, отличающийся от канальных импульсов (рис. 2, *б*). Эта схема является одной из возможных Т. с. м. с временны́м разделением. Применяются Т. с. м., в к-рых в передающем устройстве коммутируются не выходы датчиков, а сигналы с индивидуальных модуляторов. Используются распределители как электромеханич. типа, так и электронные. Первые обычно выполняются в виде переключателей с непрерывно вращающимися щетками. Недостаток таких распределителей — огранич. срок службы, из-за износа контактов и щеток. Электронные распределители выполняются либо в виде «ключей» на электронных лампах или ПП приборах, управляемых распределителем импульсов, либо в виде спец. приборов — электроннолучевых коммутаторов.

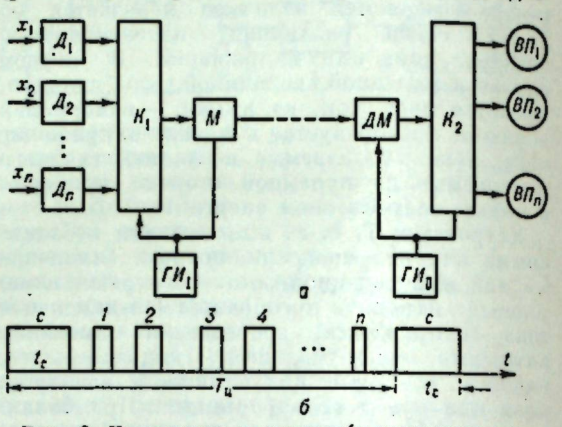


Рис. 2. Блок-схема и временна́я диаграмма многоканальной системы ТИ с временны́м разделением каналов: *К* — коммутатор (распределитель); *ГИ* — генератор импульсов; *с* — синхронизирующий импульс; *1*, *2*, *3*, ..., *n* — канальные импульсы.

Выбор основных хар-к многоканальных систем производится, исходя из условий точного воспроизведения измеряемой величины, как ф-ции времени, и ограничения взаимного влияния каналов. При частотном разделении ширина полосы пропускания фильтра должна быть согласована с макс. частотой F_m, содержащейся в спектре измеряемой величины, она не должна быть меньше $2F_m$. Фильтры не обладают св-вами идеального выделения определ. полосы частот, и за пределами полосы прозрачности затухание имеет конечную величину, возрастая по мере удаления от частоты среза. Поэтому для ограничения взаимного влияния каналов рабочие полосы соседних каналов должны быть разделены достаточно большим защитным интервалом $\Delta f_з$ (рис. 1, *б*). При выборе частот необходимо учитывать возможность перекрестных искажений, к-рые возникают при одноврем. прохождении сигналов с неск. частотами через нелинейные элементы. Для уменьшения влияния перекрестных искажений шкала несущих частот выбирается т. о., чтобы комбинац. частоты, амплитуды к-рых соизмеримы с амплитудами сигналов, лежали вне полос пропускания фильтров.

При временно́м разделении длительность цикла измерения $T_ц$ (время повторения сигналов) должна быть выбрана, исходя из теоремы Котельникова: $T_ц \leqslant \frac{1}{2F_m}$. Следует иметь в виду, что это условие не применимо, если отсчет измеряемой величины производится по каждому отдельному сигналу, принятому в одном цикле, или если время, отводимое на отсчет, соизмеримо с $T_ц$. В таких случаях время цикла должно быть уменьшено в неск. раз. Вследствие огранич. полосы частот, пропускаемых линией связи, искажается форма импульсов сигнала. В результате растянутый задний фронт предыдущего импульса перекрывается передним фронтом последующего и возникает взаимное влияние каналов. Для ограничения взаимного влияния каналов импульсы сигналов разделяются временны́м защитным интервалом.

В Т. с. м. применяется передача по каналам как модулированных, так и кодовых сигналов. В тех случаях, когда сигналы Т. с. м. передаются по ВЧ каналу, применяется вторичная *модуляция* (напр., АИМ-ЧМ).

Т. с. м. получили наиболее широкое применение в радиотелеизмерении для передачи информации с самолетов, ракет и искусств. спутников Земли. Используются также в пром. системах, осуществляющих передачу информации по проводным линиям связи. При этом наряду с системами, в к-рых все измеряемые величины сосредоточены в одном пункте, выполнены также Т. с. м. с объектами измерения, рассредоточенными в неск. пунктах, соединенных общей линией связи.

Лит.: Изюмов Н. М., Импульсные системы многоканальной радиосвязи, М., 1947; Николь с М. Х., Раух Л. Л., Радиотелеметрия, пер. с англ., М., 1958; Куперш мидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.— Л., 1961; Барсуков Ф. И., Максимов М. В., Радиотелеметрия, М., 1962. *В. С. Малов.*

ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ТОКОУРАВНОВЕШЕННАЯ (balanced-current telemetry system; système de télémesure à compensation de courant; Fernmeßsystem mit eingeprägtem Strom) — балансная (компенсационная) *телеизмерительная система интенсивности* с отрицат. обратной связью по току, в к-рой автоматически поддерживается заданная зависимость между током на выходе линии связи и измеряемой величиной. В таких системах осуществляется сравнение моментов (усилий), создаваемых чувствит. элементом и компенсац. устройством (его момент определяется выходным током в линии связи) или сравнение вспомогат. электрич. параметра, пропорционального измеряемой величине, с аналогичным параметром, величина к-рого определяется током в линии связи. Наибольшее распространение получили Т. с. т., выполненные по статич. схеме регулирования. В таких системах момент $M_{изм}$, создаваемый чувствит. элементом, и момент компенсац. устройства $M_к$ находятся в след. соотношении: $M_{изм}=M_к$ (1—0,01 δ%), где δ% — статизм системы. Если $M_{изм}$ пропорционален измеряемому параметру $M_{изм}=k_1x$, а $M_к$ пропорционален току выхода $M_к=k_2i$, где k_1 и k_2 — коэфф., то выходной ток i и измеряемая величина x связываются зависимостью: $i=\frac{k_1}{k_2}(1-0{,}01δ\%)x$. Т. о., ток выхода пропорционален измеряемому параметру и при малых значениях статизма практически не зависит от изменения в широких пределах сопротивления цепи линии связи, колебаний напряжения питания и хар-к элементов схемы. Компенсац. момент, пропорциональный току, создается магнитоэлектрич. измерит. механизмом. Регулирование тока осуществляется с помощью устройства, реагирующего на малые перемещения чувствит. элемента, что повышает точность последнего.

В Т. с. т. сравнительно просто можно осуществлять простейшие матем. преобразования (извлечение квадратного корня и др.). Для этого используются компенсац. устройства с нелинейной зависимостью $M_к$ от тока i, напр. при измерении расхода жидкости или газа с помощью сужающего отверстия и чувствит. элемента, реагирующего на перепад давлений, момент $M_{изм}$, развиваемый чувствит. элементом, пропорционален квадрату расхода $M_{изм}=k_1Q^2$. Для получения линейной зависимости между выходным током и расходом компенсац. момент $M_к$ создается ферродинамич. измерит. механизмом, у к-рого $M_к=k_2i^2$. Поэтому ток выхода пропорционален измеряемому расходу: $i=\sqrt{k_1/k_2}\,Q\,\sqrt{1-0{,}01δ\%}$. Путем использования нелинейных элементов в цепи отрицат. обратной связи можно осуществить и др. функцион. преобразования. В качестве нелинейных элементов при этом напр., используются диодные функцион. преобразователи. Т. с. т. используются также в качестве датчиков систем автоматич. контроля и регулирования.

ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ЧАСТОТНАЯ (frequency-type telemetry system; système de télémesure fréquentiel; Frequenz-fernmeßsystem) — разновидность систем ТИ, в к-рой величина передаваемого параметра есть ф-ция частоты. Т. с. ч. подразделяются на системы с частотной импульсной модуляцией и частотные системы перем. тока. В первом случае сигнал имеет вид последовательности импульсов, в к-рой величина передаваемого параметра определяет частоту следования импульсов. Во втором случае сигна

имеет вид синусоид. колебаний, модулированных по частоте.

Передающее устройство системы с частотной импульсной модуляцией представляет собой управляемый генератор импульсов; частота следования импульсов изменяется в заданных пределах в зависимости от измеряемой величины. Сигнал, после прохождения по каналу связи, поступает на вход приемника, в к-ром частота следования импульсов преобразуется или в непрерывный электрич. параметр (обычно — ток), измеряемый выходным прибором, или воспроизводится в цифровой форме (см. *Воспроизведение телеизмеряемой величины*). Частота следования импульсов обычно не превышает 10—20 *гц*.

В первых конструкциях передающих устройств и телеизмерит. систем с частотной импульсной модуляцией генератором импульсов служил вращающийся измерит. механизм (на основе индукц. счетчика электроэнергии) с контактным прерывателем. Скорость вращения измерит. механизма и частота импульсов тока в канале связи была ф-цией измеряемой величины. Затем передающие устройства были усовершенствованы — контактный прерыватель заменен бесконтактным. В них используется генератор импульсов, управляемый пост. током, подаваемым с датчика. Широко применяются небалансные и балансные передающие устройства. В схеме на рис. 1 генератором импульсов служит мультивибратор на транзисторах (T_1 и T_2) с реактивной катушкой (K), имеющей сердечник из ферромагнитного материала с прямоугольной петлей гистерезиса. Такой мультивибратор при наличии питающего напряжения (в данном случае оно поступает от датчика $Д$ через эмиттерный повторитель $ЭП$) работает в режиме периодич. перемагничивания сердечника катушки. Частота перемагничивания пропорциональна питающему напряжению, т. е. мультивибратор является преобразователем напряжения в частоту. Снимаемые с катушки импульсы формируются триггером ($ТР$) и поступают в канал связи ($КС$).

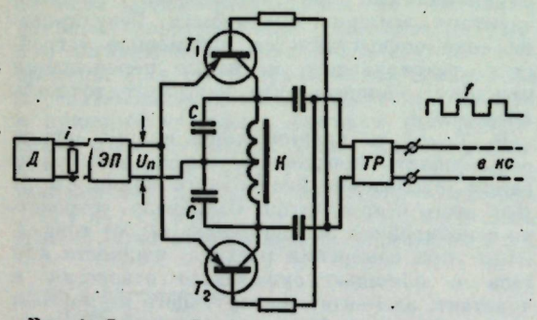


Рис. 1. Схема небалансного передающего устройства системы с частотной импульсной модуляцией.

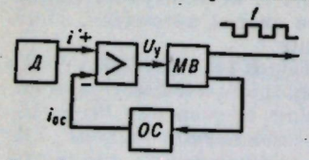


Рис. 2. Блок-схема балансного передающего устройства системы с частотной импульсной модуляцией.

В балансном передающем устройстве (рис. 2) для стабилизации зависимости частоты следования импульсов от выходного тока датчика с помощью частотомерной схемы вводится отрицат. обратная связь. Управляемым генератором импульсов служит мультивибратор ($МВ$); частота f вырабатываемых им импульсов, поступающих в канал связи, пропорциональна управляющему напряжению U_y, создаваемому усиленной разностью токов выхода датчика i и обратной связи $i_{ос}$. Последний линейно связан с частотой следования импульсов f. При этом коэфф. передачи частотомерной схемы имеет высокую стабильность ($\frac{i_{ос}}{f} = \text{const}$). Т. о., в балансном передающем устройстве осуществляется непрерывное слежение за соответствием f и i и уменьшаются погрешности, возникающие за счет нестабильности мультивибратора и усилителя.

Приемниками в системах с частотной импульсной модуляцией обычно служат преобразователи частоты в ток с дозирующим накопителем энергии. Принцип их действия основан на том, что при приходе очередного импульса в цепь выходного прибора поступает определ. количество электричества, запасенное накопителем энергии; ср. значение тока пропорционально частоте следования импульсов. Наибольшее распространение получили конденсаторные приемники. При срабатывании и отпускании реле ($р$) такого приемника (рис. 3), под воздействием импульсов из канала связи, попеременно один из конденсаторов C заряжается, а др. разряжается через сопротивление R. Импульсы зарядного тока протекают по цепи выходного прибора $ВП$. При этом среднее значение тока пропорционально заряду, накопленному конденсатором, и частоте f: $I_{ср} \simeq 2CUf$, где U — напряжение. Зависимость имеет приближенный характер и справедлива до определ. высшей частоты, т. к. при дальнейшем ее увеличении конденсатор не успевает заряжаться и разряжаться. Иногда для улучшения динамич. режима выходного прибора последний подключается к конденсаторному приемнику через сглаживающий фильтр. Применяются также приемники с др. видами дозирующих элементов. В них осуществляется бесконтактное управление дозирующим элементом с помощью электронной схемы.

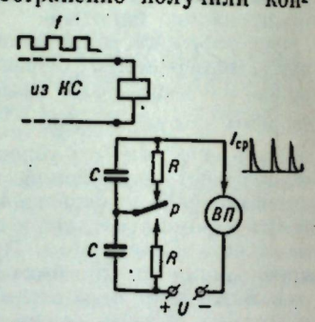


Рис. 3. Схема конденсаторного приемника системы с частотной импульсной модуляцией.

Передающее устройство Т. с. ч. перем. тока представляет собой генератор напряжения синусоид. формы с частотным модулятором, управляемым сигналом датчика измеряемой величины. Модулированные по частоте колебания передаются по каналу связи на приемный пункт. В приемном устройстве производятся демодуляция сигнала и воспроизведение показаний выходным прибором в аналоговой или цифровой форме. Частота колебаний в Т. с. ч. перем. тока обычно составляет десятки, сотни или тысячи *гц*. В таких системах используются как небалансные, так и балансные передающие устройства. В небалансном передающем устройстве сигнал датчика непосредственно управляет

модулятором, к-рый изменяет частоту генератора синусоид. колебаний. В балансном передающем устройстве осуществляется обратная связь по частоте сигнала. Принцип действия такого балансного передающего устройства сходен с рассмотренным для передающего устройства с частотной импульсной модуляцией. В передающих устройствах Т. с. ч. перем. тока используются электронные *LC*- или *RC*-генераторы. В качестве простейшего модулятора применяется емкостный или индуктивный датчик, механически связанный с первичным измерит. прибором ($ПИП$); датчик служит элементом настройки генератора (рис. 4, *а*). Используются также модуляторы, управляемые пост. током или напряжением. Примером может служить дроссель насыщения $ДН$, индуктивность L к-рого изменяется током управления i_y, поступающего от датчика D (рис. 4, *б*). Приемник при аналоговом воспроизведении представляет собой преобразователь частоты в пост. ток; на выходе включается миллиамперметр. Применяются приемники с дозирующими накопителями энергии, подобные используемым в телеизмерит. системах с частотной импульсной модуляцией; управление дозирующими элементами бесконтактное. Применяются также балансные приемники с настраиваемым частотным детектором $ЧД$, с элементом настройки $ЭН$ и усилителем (рис. 5). Напряжение на выходе $ЧД$ пропорционально разности между частотой сигнала и частотой настройки. Это напряжение усиливается, а ток выхода измеряется $ВП$. Одновременно ток выхода воздействует на $ЭН$, осуществляя обратную связь. В результате ток в цепи $ВП$ связывается линейной зависимостью с частотой сигнала. Наличие обратной связи сводит к минимуму погрешность от нестабильности усилителя.

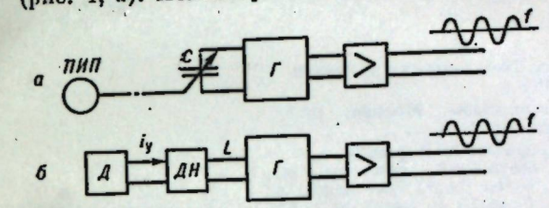


Рис. 4. Блок-схемы небалансных передающих устройств частотных телеизмерит. систем перем. тока: *а* — с емкостным датчиком; *б* — с дросселем насыщения, управляемым сигналом пост. тока.

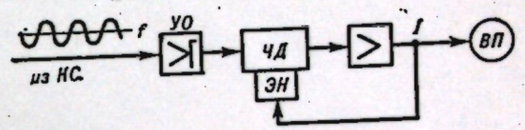


Рис. 5. Блок-схема балансного приемника частотных телеизмерит. систем перем. тока: *УО* — усилитель-ограничитель.

Лит.: Фремке А. В., Телеизмерения, М.—Л., 1958; Малов В. С., Телемеханика в энергетических системах, М.—Л., 1955; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.—Л., 1961.

В. С. Малов.

Автоматизация производства и промышленная электроника. В 4 тт. Гл. ред. А. И. Берг и В. А. Трапезников. т. 3, М., «Советская энциклопедия», 1964.
(Энциклопедия современной техники. Энциклопедии. Словари. Справочники).
т. 3. Погрешность решения—Телеизмерительная система частотная. 1964. 487 с. с илл., 6 л. илл.

Слано в набор 11/III 1963 г. Том подписан к печати 29/VII 1964 г.

Издательство «Советская энциклопедия». Москва, Ж-28. Покровский бульвар, д. 8.

Т-09021. Формат 70×108¹/₁₆. Объем 30,5 физ. п. л.; 41,79 усл. п. л. +6 вкл. (1,02), всего 42,81 усл. печ. л., уч.-изд. л. 73,09 + вкл. 1,28, всего 74,37 уч.-издат. л. Тираж 57000 экз. Цена тома 2 р. 70 к. Заказ № 1405. Печать с матриц, изготовленных в Первой Образцовой типографии им. А. А. Жданова.

Московская типография № 2 «Главполиграфпрома» Государственного комитета Совета Министров СССР по печати, Москва, Проспект Мира, 105. Заказ № 3465.