

Ю. Шульц

**ЭЛЕКТРО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА  
1000  
ПОНЯТИЙ  
ДЛЯ ПРАКТИКОВ**

---

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

---

Ю. Шульц

---

**ЭЛЕКТРО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА  
1000  
ПОНЯТИЙ  
для практиков**

---

**СПРАВОЧНИК**

Перевод с немецкого И.А. ДОМРИНА  
Под редакцией Е.И. СЫЧЕВА



МОСКВА  
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ  
1989

ББК 34.9  
Ш95  
УДК 621.317

Рецензент Е. И. Сычев

Редактор издательства Ю. Ф. Архипцев

Шульц Ю.

Ш95 Электроизмерительная техника: 1000 понятий для практиков: Справочник: Пер. с нем. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 288 с. ил.

ISBN 5-283-02473-3

Представляет собой совокупность основных понятий, терминов и определений, применяемых в электроизмерительной технике, построена по принципу технического словаря. Материал расположен в алфавитном порядке, включает пояснительные статьи и иллюстрации, дающие возможность достаточно полно и глубоко понять принципы действия, устройство, основные характеристики и правила эксплуатации техники электрических измерений.

Для инженерно-технических работников; может быть полезна студентам вузов, учащимся техникумов и профтехучилищ электротехнического профиля.

Ш 2202030000-399  
051(01)-89 271-89

ББК 34.9

SCHULTZ J.  
ELEKTRISCHE MEßTECHNIK  
1000 Begriffe für den Praktiker  
Berlin: Verlag Technik, 1986

ISBN 5-283-02473-3 (рус.)  
ISBN 3-341-00107-7 (нем.)

© Verlag Technik, 1986  
© Перевод на русский язык,  
Энергоатомиздат, 1989

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Настоящая книга представляет собой справочник по метрологии и измерительной технике, чем удачно отличается от отечественных справочников, в которых рассматриваются либо измерительные приборы, либо организационно-методические вопросы метрологического обеспечения народного хозяйства. Специалисту, имеющему дело с измерениями физических величин, часто необходимы сведения не только о средствах измерений, но и о способах обеспечения единства и точности измерений, о поверке и градуировке измерительных приборов, методах измерений и т. п. С таким большим объемом сведений по широкому кругу вопросов метрологии и измерительной техники можно познакомиться в предлагаемой читателю книге.

В справочнике приводятся краткие сведения о средствах измерений различных физических величин, но основное внимание уделено методам и средствам электрических измерений. Кроме того, излагаются материалы, касающиеся первичных и вторичных измерительных преобразователей, мер и измерительных приборов, измерительных систем. Краткие пояснения понятий и определений написаны хорошим инженерным языком в сжатой, но ясной форме. Они сопровождаются множеством иллюстраций в виде графиков, функциональных и конструктивных схем приборов, временных диаграмм протекающих в них процессов. Все это делает книгу хорошим справочным пособием, в котором методически тщательно отработано изложение основных понятий метрологии и измерительной техники. Чтение книги окажется полезным и начинающему метрологу, и опытному специалисту по определенному виду измерений, которому вдруг понадобились краткие сведения о другом виде измерений. Кроме того, ее можно рекомендовать в качестве справочного пособия инженеру и технику любой специальности, поскольку они в своей работе всегда встречаются с измерениями.

Справочник содержит около 1000 терминов, расположенных в алфавитном порядке. В тексте дается пояснение смысла каждого термина. Текст состоит из определения и поясняющей части. Определение представляет собой краткое изложение смысла термина. В поясняющей части приведены в виде текста и рисунков полезные для практика объяснения. Другие термины, содержащие информацию, которая может оказаться полезной для лучшего понимания, выделены курсивом.

*Доктор техн. наук Е. И. Сычев*

## А

**Авометр многопредельный** — разновидность конструкции измерительного механизма электростатического.

Конструкция механизма аналогична вращаемому конденсатору переменной емкости. Между двумя неподвижными изолированными друг от друга статорными пакетами размещены на вращаемой оси тонкие с прорезями пластины, так называемые иглы. Подвеска на растяжках, воздушный камерный успокоитель и твердотельный или световой указатель дополняют измерительный механизм (рис. 1). В зависимости от измерительных задач авометры многопредельные применяют в различных схемах подключения электрометра.

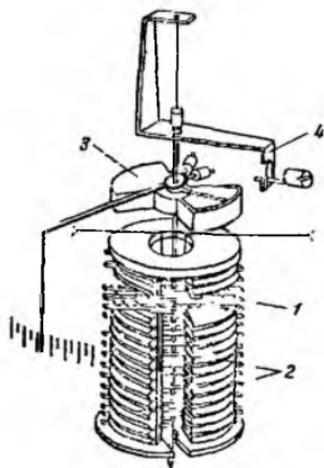


Рис. 1. Авометр многопредельный:

1 — подвижный орган с «иглами»; 2 — статорный пакет; 3 — успокоитель воздушный камерный; 4 — корректор нуля

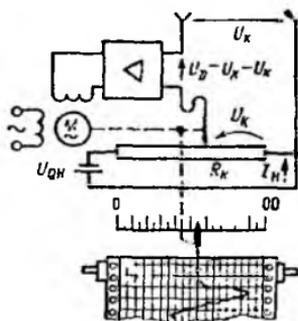


Рис. 2. Автокомпенсатор

**Автокомпенсатор** — самоуравновешивающийся компенсатор постоянного напряжения, основанный на потенциометрическом способе измерения.

Постоянный рабочий ток  $I_H$ , протекая через компенсирующий потенциометр  $R_K$ , создает на нем напряжение компенсации  $U_K$ . Это напряжение компенсации по отношению к измеряемому напряже-

нию  $U_x$  включено встречно. Остаточное напряжение  $U_D$  усиливается усилителем и подается на управляющую обмотку исполнительного электромотора, перемещающего ползунок потенциометра, связанного с устройством индикации или регистрации. В зависимости от полярности напряжения  $U_D$  мотор перемещает движок вправо или влево до тех пор, пока измеряемое и компенсирующее напряжения не сравняются ( $U_D=0$ ). Положение движка потенциометра указывает при этом значение измеряемого напряжения (рис. 2).

АМ — сокращенное обозначение амплитудной модуляции.

Амперметр многодиапазонный — амперметр с несколькими диапазонами измерения, которые путем ступенчатого переключения обеспечивают расширение диапазона измерения тока.

Простейшая схема с переключением отдельных шунтирующих сопротивлений (рис. 3, а) практически не используется. Переходное со-

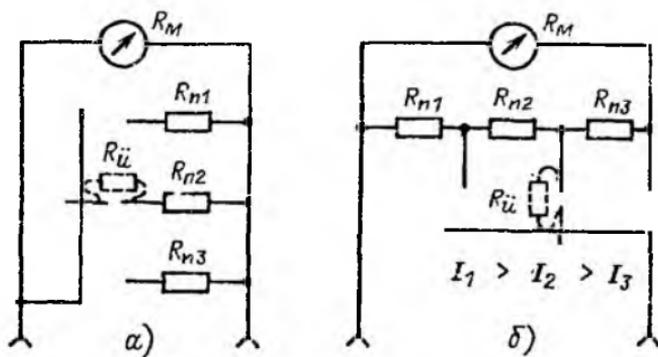


Рис. 3. Амперметр многодиапазонный:

а — простейшая схема (практически не используется); б — практически применяемая схема с шунтом Айртона

противление контакта  $R_{ш}$  оказывается последовательно включенным с низкоомным шунтом  $R_n$  и обуславливает погрешность измерений. На практике применяется в основном шунт Айртона (рис. 3, б), исключаящий влияние остаточного переходного сопротивления контактов. Амперметр многодиапазонный может использоваться самостоятельно или как составная часть комбинированного прибора.

Амперметр электромагнитной системы — прибор для измерения силы тока на основе измерительного механизма электромагнитной системы; применяется для измерения постоянного и эффективного значений силы переменного тока.

Для расширения диапазона измерений шунтирующие сопротивления непригодны; при измерениях на переменном токе оно достигается применением токового трансформатора. Возможность измерений в различных поддиапазонах обеспечивается выполнением нескольких выводов обмотки полесоздающей катушки. При этом изменяется распределение поля и, таким образом, для каждого поддиапазона требуется своя шкала.

Амперметр электромагнитной системы имеет большую перегрузочную способность, так как токовые перегрузки вызывают лишь на-

сышение сердечников. Характер шкалы (функционально квадратичский) может изменяться в широких пределах (вплоть до линейного) путем выбора соответствующих форм катушки и сердечников.

Так как полное сопротивление измерительного механизма увеличивается с ростом частоты, то применять амперметр электромагнитной системы целесообразно в определенном (относительно низком) частотном диапазоне. Прибор необходимо экранировать от внешних полей. По сравнению с магнитоэлектрическими измерительными механизмами энергопотребление амперметров электромагнитной системы значительно выше, поэтому они используются преимущественно в силовой электротехнике.

Амплитуда — максимальное значение синусоидальной переменной величины (рис. 4).

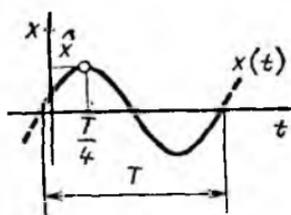


Рис. 4. Амплитуда

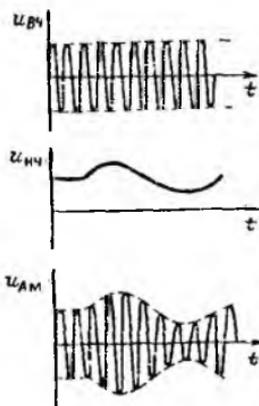


Рис. 5. Амплитудная модуляция

Амплитуда, как наибольшее из мгновенных значений *величины синусоидальной*, обозначается  $x$  или  $x_m$  (например,  $u$ ,  $u_m$ ). При величинах, близких к синусоидальным, говорят об амплитуде, зависящей от времени.

Амплитудная модуляция (АМ) — способ модуляции, при котором амплитуда колебаний изменяется во времени.

Изменение амплитуды высокочастотного колебания  $u_{ВЧ}$  (несущая частота) происходит в такт с низкочастотным колебанием  $u_{НЧ}$  (частота сигнала), содержащим передаваемую информацию (рис. 5). Наиболее важным параметром АМ является коэффициент модуляции. При АМ возникают колебания на боковых частотах. Верхняя боковая частота есть сумма высокой и низкой частот, нижняя боковая частота равна их разности. При АМ с низкочастотным сигналом, имеющим полосу частот выше и ниже несущей частоты, образуются верхняя и нижняя боковые полосы частот. АМ используется в измерительной технике для передачи измерительных сигналов. Амплитудно-модулированное колебание можно получить при помощи измерительного генератора.

Аналого-цифровое преобразование (см. Преобразование аналого-цифровое).

**Анализатор спектра** — прибор или совокупность схем для определения содержащихся в сигнале частотных составляющих. В отличие от метода качания (частоты) здесь не проводится анализ частотной характеристики, а устанавливается, какие частоты и с какими значениями амплитуды содержатся в данном сигнале.

**Аналоговый способ измерения** (см. Способ измерения аналоговый).

**Аналого-цифровой преобразователь** — функциональный блок измерительного устройства, осуществляющий преобразование аналоговой измеряемой величины в цифровой сигнал (см. *Преобразование аналого-цифровое*).

В АЦП аналоговая измеряемая величина представляется с помощью нормированных значений, отстоящих друг от друга на шаг дискретизации (см. *Приращение*), и выраженных числовым кодом.

В зависимости от принципа функционирования различают:

АЦП с преобразованием напряжения во времени интервал преобразователь использует пилообразное напряжение в качестве сравнивающего (опорного). Посредством *компаратора* сравнивается аналоговое измеряемое напряжение  $u_x$  с пилообразно нарастающим напряжением  $u_s$ , создаваемым *генератором пилообразного напряжения* (рис. 6, а). Как только пилообразное напряжение достигает опорного значения  $U_0$ , например значения, соответствующего нулю, импульсы, формируемые генератором импульсов с кварцевой стабилизацией частоты следования, начинают поступать через стробирующую схему на вход счетчика импульсов. В момент достижения пилообразным напряжением  $u_s$  значения измеряемого напряжения  $u_x$  стробирующая схема прекращает доступ импульсов к счетчику. Импульсы, прошедшие на счетчик в течение интервала времени, пока стробирующая схема была открыта, подсчитываются и их число индицируется (рис. 6, б).

Число импульсов  $N_i$  за время  $\Delta t$  соответствует значению измеряемого напряжения  $u_x$ :

$$N_i = Ku_x.$$

АЦП на основе шкального метода (преобразователи расстояния и угла). Измеряемая величина представляется отклонением (линейным или угловым). При помощи шаблонов с определенным (регулярным) размещением растровых отметок осуществляется квантование (см. *Датчик перемещений*). Выбирается шаблон с подходящей кодовой маской (см. *Преобразователь перемещение—код*) и с его помощью преобразуемое отклонение квантуется и кодируется. Сканирование может осуществляться магнитным способом при чередовании магнитных и немагнитных участков, а также оптическим или оптоэлектронным способами путем чередования прозрачных (или отражающих) и непрозрачных (или неотражающих) участков.

АЦП по методу двойного интегрирования. При двойном интегрировании измерение осуществляется за два временных такта. Сначала при помощи интегрирующего усилителя измеряемое напряжение преобразуется в пилообразное напряжение. На втором такте при помощи переключателя подключается отрицательное опорное напряжение. Оно разряжает интегрирующий конденсатор  $C$  (рис. 6, в). В течение первого такта  $t_i$  формируется пилообразное

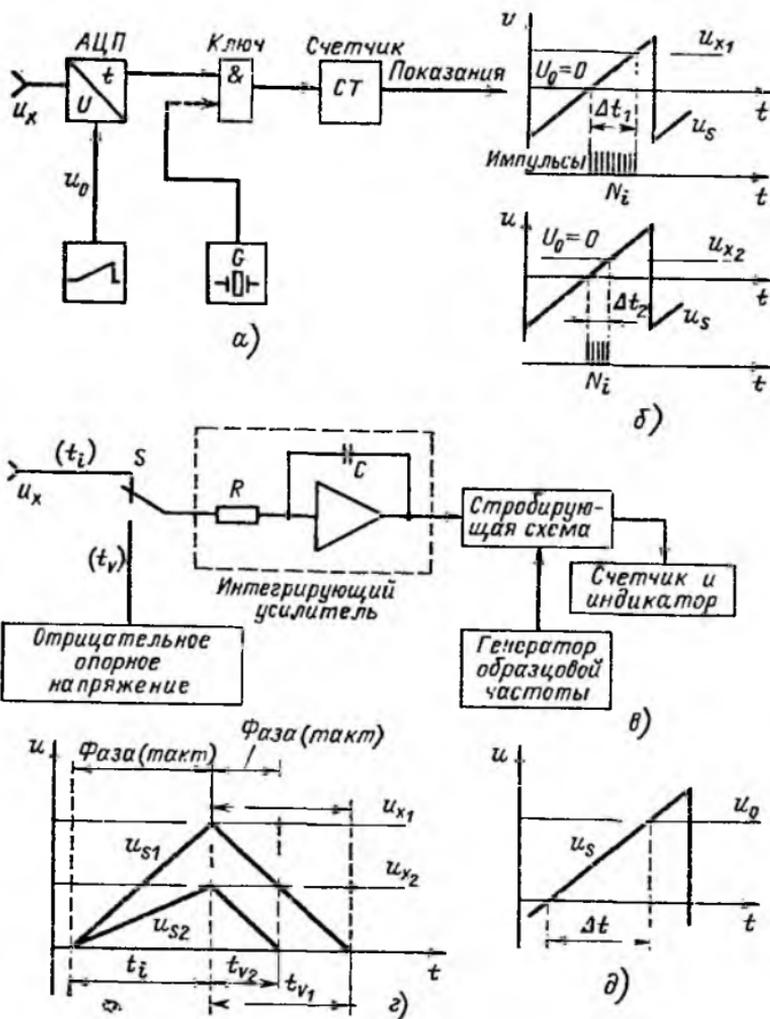


Рис. 6. Аналого-цифровой преобразователь:

а — структурная схема; б — временные диаграммы, поясняющие принцип работы; в — структурная схема АЦП по методу двойного интегрирования; г — временная диаграмма, поясняющая принцип действия АЦП по методу двойного интегрирования; д — изменение интервала времени при интегрировании измеряемого напряжения

напряжение  $u_{s1}$  или  $u_{s2}$ , крутизна которого зависит от измеряемого напряжения  $u_{x1}$  или  $u_{x2}$ . На втором такте  $t_v$  происходит разряд интегрирующего конденсатора  $C$  и измеряется время разряда  $t_{v1}$  или  $t_{v2}$ , которое зависит от значения измеряемого напряжения (рис. 6, г).

АЦП с двойным интегрированием отличаются хорошим подавлением помех. Постоянное время преобразования обуславливает возможность прямого подключения к вычислительному устройству.

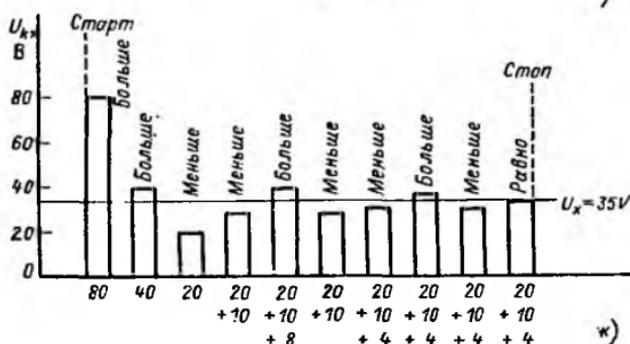
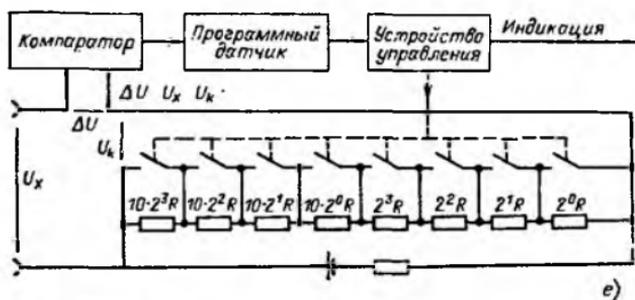


Рис. 6. Продолжение

е — принципиальная схема компаратора в АЦП компенсационного типа; ж — процесс получения значения измеряемого напряжения

АЦП по методу интегрирования. Обеспечивается аналого-цифровое преобразование посредством интегрирования измеряемого напряжения. пилообразное напряжение формируется (в отличие от АЦП с преобразованием напряжение — время) путем интегрирования измеряемого напряжения. Крутизна пилообразного напряжения  $u_s$  определяется значением измеряемого напряжения. При этом изменение измеряемого напряжения вызывает изменение крутизны пилообразного напряжения  $u_s$ , а следовательно, и смещение во времени точки пересечения «пилы» и опорного напряжения  $u_0$ . Вследствие этого изменяется интервал времени  $\Delta t$  (рис. 6, д). В качестве электронного интегратора применяется операционный усилитель. Достоинство этого метода заключается в помехоустойчивости процесса измерения.

На практике преимущественное распространение получили АЦП с двойным интегрированием.

АЦП по методу компенсации. Тип аналого-цифрового преобразования с использованием метода компенсации. Существуют два способа компенсации (см. Компенсатор постоянного напряжения). При использовании потенциометрического способа измеряемое аналоговое напряжение  $u_x$  сравнивается с высокостабильным компенсационным напряжением  $u_k$ , разделенным на ступени в соответствии с выбранным кодом (например, двоично-четвертичный). Управляющая логика путем электронного переключения сопротивле-

ний прецизионного делителя напряжения обеспечивает равенство измеряемого и компенсирующего напряжений, которое фиксируется *компаратором*. На этом измерение заканчивается (рис. 6, е). Значение выбранного кода, соответствующего набору подключенных сопротивлений, считывается и индицируется (рис. 6, ж).

Аппаратура измерительная — измерительное устройство, в отличие от *измерительной установки*, выполненное в виде переносного прибора и предназначенное для исследовательских целей.

АЦП — сокращенное обозначение *аналого-цифрового преобразователя*.

## Б

---

### Балансировка

1. Балансировка подвижной части измерительного механизма. Вследствие применения в большинстве случаев несимметричных указателей подвижная часть измерительного механизма в каждом возможном положении оказывается в неустойчивом равновесии относительно оси вращения. Это равновесие обеспечивается применением уравнивающих грузов (рис. 7) или других подходящих деталей (например, демпферного крыла).

2. Балансировка (см. Юстировка).



Рис. 7. Балансировка:

1 — указатель; 2 — ось измерительного механизма; 3 — уравнивающие или балансирующие грузики

## В

---

Вариация показаний — *погрешность средства измерений*. Вариация показаний есть разница показаний, которые получают при двух измерениях одного и того же значения измеряемой величины, первый раз — приближением снизу, второй раз — приближением сверху.

Вариометр — многозначная мера индуктивности для измерительных цепей (см. *Индуктивность измерительная*).

Вариометр состоит из двух катушек, одна из которых вращается в поле другой. Катушки могут быть соединены последовательно или параллельно, так что при поворачивании взаимная индуктивность изменяется в широких пределах.

Ваттметр (см. Измеритель мощности) — средство измерения мощности (рис. 8).

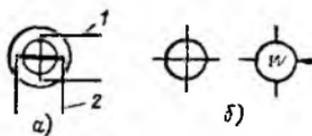
В основу большинства ваттметров положены электродинамические *измерительные механизмы*. Прецизионные ваттметры выполня-

ются неметаллическими; в щитовых и самопишущих приборах используются один или несколько (см. *Ваттметр многоэлементный*) экранированных измерительных механизмов.

Электродинамический измерительный механизм формирует показания как результат взаимодействия двух токов с учетом сдвига фаз между ними. Если через неподвижную катушку, выполненную из

Рис. 8. Ваттметр — измеритель мощности. Условные схемные обозначения:

*а* — конструктивное; *б* — упрощенное; 1 — цепь напряжения (подвижная катушка); 2 — токовая катушка (полесоздающая катушка)



толстого провода, протекает ток нагрузки (токовая цепь), а подвижная катушка (с дополнительным сопротивлением или без него) так подключена к цепи напряжения, что протекающий через катушку ток пропорционален этому напряжению, то показание прибора пропорционально активной мощности:  $\alpha \sim UI \cos \varphi$  (см. *Схема подключения ваттметра*). В специальных схемах электродинамические ваттметры можно применять и как *измерители реактивной мощности* и реже — для измерения полной мощности.

Перегрузка измерительного механизма может возникнуть еще на подходе указателя к конечному значению шкалы, так как показания зависят от коэффициента мощности. Полное использование измерительного диапазона допустимо лишь при  $\cos \varphi \geq 0,8$ . Расширение диапазона по току может быть обеспечено при помощи переключения катушек в цепи тока путем подключения шунтирующих сопротивлений или трансформатора напряжения. Добавочные сопротивления и трансформатор в цепи напряжения обеспечивают расширение диапазона по напряжению.

**Ваттметр многоэлементный** — измеритель мощности из двух или трех механически связанных измерительных механизмов.

Вращающие моменты измерительных механизмов, создаваемые измеряемой величиной, воздействуют на общую ось. Результирующий момент соответствует суммарной мощности, значение которой считывается по шкале. Прибор не имеет универсального применения и предназначен для определенного типа электрических цепей.

**Ваттметр с самокорректировкой** — ваттметр с корректирующей обмоткой, предназначенной для исключения погрешности, которая возникает в зависимости от *схемы подключения ваттметра* вследствие отбора прибором мощности из измеряемой цепи.

В приборе имеется вторая неподвижная токовая корректирующая катушка, через которую протекает ток из цепи напряжения  $I_{GV}$  (рис. 9), что позволяет скомпенсировать соответствующую составляющую магнитного поля. При отказе (отключении) самокоррекции вторую токовую катушку можно использовать для расширения диапазона измерений.

**Величина** (физическая величина) — характеристика (свойство) предмета, состояния или процесса, подлежащая измерению.

Каждая величина должна качественно описываться (тип, вид и т. д.) и количественно определяться (значение величины). К примеру, металлы имеют свойство создавать сопротивление электрическому току; сети электропитания характеризуются электрическим на-

пряжением. Их количественные характеристики могут быть измерены. Тип физической величины, особенно в формулах, обозначается буквенным символом, а значение величины как результат измерения обозначается численным значением с единицей измерения (рис. 10). Запись  $R=5,6$  кОм означает количественную характеристику свойства, характеризующего физическую величиной «сопротивление».

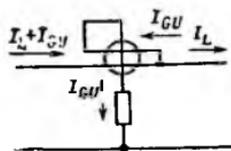


Рис. 9. Ваттметр с самокорректировкой

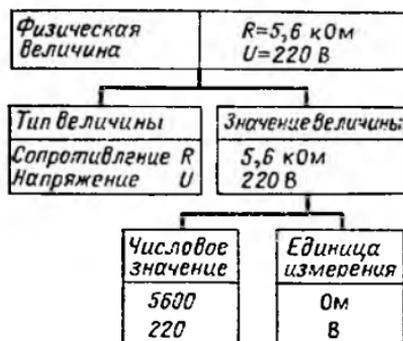


Рис. 10. Величина

Зависимость изучаемых параметров от времени характеризуют главным образом *постоянной и периодической величинами*. Описание двух однородных величин оценивают относительной величиной.

Величина влияющая — физическая величина, оказывающая влияние на результаты измерений. Влияющая величина не является объектом измерений, но она оказывает влияние на средство измерений, выражающееся в изменении его технических характеристик, вследствие чего показания прибора могут изменяться.

Влияющая величина (в отличие от помехи) является управляемой. Значения влияющих величин в пределах, устанавливаемых *нормальными условиями применения*, обуславливают *основную погрешность* средства измерений. *Дополнительная погрешность* возникает, когда влияющая величина принимает значения, выходящие за пределы нормальных условий.

Величина измеряемая — физическая величина, значение которой определяется посредством *измерений*.

Величина относительная — физическая или техническая величина, которая определяется через отношение двух величин.

Отношение двух однородных величин представляет собой безразмерную относительную величину, отличающуюся, однако, от обычного числа тем, что имеет признаки и свойства величины, например, *коэффициент усиления*, коэффициент полезного действия. Если в знаменателе стоит исходная (базовая) величина, то название относительной величины часто содержит прилагательное «приведенная» или «нормированная» (величина). Если относительная величина задана в виде логарифма, то говорят о логарифмической относительной величине, например, мера (единица) уровня. Относительная величина отклонения выходного значения обозначается преимущественно в следующих единицах: процент ( $1\% = 10^{-2}$ ), промилле ( $1\text{‰} = 10^{-3}$ ) или миллионная часть ( $1\text{ ppm} = 1\text{ млн}^{-1} = 10^{-6}$ ).

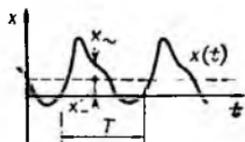
**Величина переменная** — динамическая величина, среднее значение которой равно нулю.

Переменная величина есть величина колебательная (в основном с периодическим изменением во времени). Ее среднее значение, определенное на большом интервале времени наблюдения (*значение постоянное*, постоянная составляющая), равно нулю. Иногда смешанную величину рассматривают как общий случай переменной величины, имеющей ненулевое среднее значение.

**Величина периодическая** — динамическая величина, изменение мгновенного значения которой имеет периодический характер.

Периодическую величину в общем случае можно математически описать равенством  $x(t) = x_0 + x_{\sim}(t)$ , где  $t$  — время;  $n$  — любое целое число. Периодическую величину можно представить в виде суммы (статической) *постоянной величины* (постоянной составляющей периодической величины  $x_0$ ) и (периодической) *переменной величины*, переменной составляющей  $x_{\sim}(t)$  (рис. 11):  $x(t) = x_0 + x_{\sim}(t)$ .

Рис. 11. Величина периодическая:  
 $x_0$  — постоянная составляющая;  $x_{\sim}$  —  
переменная составляющая;  $T$  — длительность периода



**Величина постоянная** — постоянный процесс. Величина (или процесс), мгновенные значения которой в течение периода наблюдения не изменяют свой знак. Статическая постоянная величина имеет постоянное во времени мгновенное значение  $x(t) = x_0 = \text{const}$  (например, постоянное напряжение или постоянный ток). Пульсирующая постоянная величина характеризуется изменением во времени мгновенного значения при неизменном знаке (например, выпрямленное переменное напряжение, пульсирующий постоянный ток). В общем случае постоянная величина обозначается добавлением к соответствующему символу горизонтального штриха, например,  $u_0$ ,  $i_0$ ,  $U_0$ ,  $I_0$ . В тех случаях, когда символ трактуется однозначно и путаница исключается, допускается использование в качестве обозначения постоянных величин заглавных букв без дополнительных индексов (например,  $J$  — переменный ток,  $I$  — постоянный ток).

**Величина промежуточная** — промежуточное значение, более широкая трактовка. Величина, в которую преобразовывается измеряемая или другая величина с целью дальнейшей обработки сигнала.

Величина промежуточная часто встречается в измерительной технике. Особенно наглядно она проявляется при электрическом измерении неэлектрических величин. Так, например, при измерении температуры с помощью термометра сопротивления и магнитоэлектрического измерительного механизма изменение температуры (измеряемая величина) преобразуют в изменение сопротивления, напряжения, тока (промежуточная величина).

**Величина синусоидальная** — синусоидальное колебание, прежнее название — гармоническое колебание. *Переменная величина*, мгновенное значение которой изменяется во времени по синусоидальному закону.

Чисто синусоидальную величину можно математически описать

в общем случае уравнением вида

$$x(t) = \hat{x} \sin(\omega t + \varphi) \text{ или } x(t) = \hat{x} \cos(\omega t + \varphi),$$

где  $\hat{x}$  — амплитуда синусоидальной величины;  $\omega$  — круговая частота и  $\varphi$  — (начальный) фазовый угол (рис. 12). Важными параметрами являются эффективное значение  $\tilde{x}$  ( $X_{\sim}$ ,  $X_{эф}$ ), средневыпрямленное значение  $\bar{x}$  и размах колебаний  $X_{pp}$  ( $X_{ss}$ ,  $\Delta x$ ). Многофазную синусоидальную величину образуют несколько однофазных синусоид равной частоты с различными амплитудами и начальными фазовыми углами. Величину, похожую на синусоидальную, но у которой изменяются

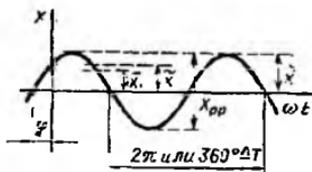


Рис. 12. Величина синусоидальная:

$\hat{x}$  — амплитуда;  $\tilde{x}$  — эффективное значение;  $\bar{x}$  — средневыпрямленное значение;  $X_{pp}$  — размах колебаний (значение от пика до пика);  $T$  — длительность периода;  $\varphi$  — начальный фазовый угол

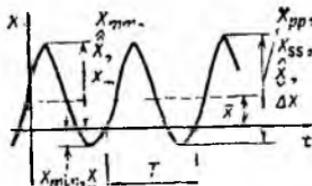


Рис. 13. Величина смешанная:

$\bar{x}$  — среднее значение;  $X_{mm}$  — амплитудное значение;  $X_{min}$  — наименьшее значение;  $X_{pp}$ ,  $X_{ss}$ ,  $\Delta x$  — размах колебаний или значение от пика до пика;  $T$  — длительность периода

амплитуда, круговая частота или/и начальный фазовый угол, называют квазисинусоидальной. К ним относятся, например, пульсирующие величины, модулированные синусоиды, экспоненциально нарастающие или спадающие синусоиды.

Величина смешанная — динамическая величина, мгновенное значение которой изменяется во времени как по размеру, так и по знаку (направлению).

Смешанная величина является обычной переменной величиной. Ее среднее значение за время наблюдения, иначе говоря, *постоянное значение* отлично от нуля. На эту постоянную составляющую наложено переменное колебание (рис. 13).

Наличие колебаний  $s$  (или  $k_{\sim}$ ) определяется отношением эффективного значения переменной составляющей  $X_{\sim}$  к эффективному значению смешанной величины  $X_{\sim}$ :  $s = X_{\sim} / X_{\sim}$ .

Отношение эффективного значения переменной составляющей  $X_{\sim}$  к постоянной составляющей смешанной величины  $\bar{x}$  называют пульсацией  $\omega$  (или коэффициентом пульсаций  $k_{\omega}$ ):  $\omega = X_{\sim} / \bar{x}$ . В электротехнике периодически изменяющиеся во времени напряжения и токи, содержащие постоянную составляющую, а также постоянное напряжение (ток) с наложенными колебаниями называют смешанными напряжениями или токами.

Величина числовая — физическая величина, измеряемая путем

*счета* и служащая для количественной характеристики множеств. При этом определяется количество единиц, содержащихся в данном множестве. Признаком числовой величины в словосочетаниях является слово «число» («количество»), например, число оборотов, число (количество) событий, число (количество) витков.

**Величины символ** — обозначение в математических выражениях.

**Величины тип** — качественная характеристика физической величины.

**Вентиль** — функциональная сборка с вентильной схемой.

**Вероятность доверительная** — вероятность появления отдельного значения, выраженная в процентах, среди большого числа измерений, лежащих внутри заданной области (диапазона) значений.

Пусть имеется *разброс* (множество, набор) из 1000 независимых отдельных значений (наблюдений) в области, ограниченной относительно среднего арифметического  $\bar{x}$  средним квадратическим отклонением  $\sigma$ , т. е. отрезок  $\bar{x} \pm 1\sigma$ . Тогда, полагая закон распределения нормальным (Гауссово распределение), 317 значений не попадают в эту область, при этом доверительная вероятность составляет  $P=68,3\%$ . Если расширить область до трехкратного значения среднего квадратического отклонения, т. е.  $\bar{x} \pm 3\sigma$ , лишь 3 значения не попадут в эту область, т. е.  $P=99,7\%$ .

В зависимости от требований выбирают одно из четырех заданных значений доверительной вероятности (см. *Доверительные границы*). В области технологического (производственного) контроля в промышленности предпочтительным является значение  $P=95\%$ , а в некоторых областях и значения  $P=99\%$ .

Наряду с понятием доверительной вероятности используется также и разность  $1-P$ , называемая *недоверительностью*.

**Вероятность реализации** (см. *Вероятность доверительная*).

**Взаимная индуктивность**

1. **Коэффициент взаимной индукции**. Если изменяющееся магнитное поле первой катушки (создаваемое током  $i_1$ ) полностью пронизывает вторую катушку то в ней возникает напряжение  $u_2 = M \frac{di_1}{dt}$ . Если во второй катушке течет ток  $i_2$ , то его поле индуцирует

в первой катушке напряжение  $u_1 = M \frac{di_2}{dt}$ . Коэффициент  $M$  называется взаимной индуктивностью. Если через  $L_1$  и  $L_2$  обозначить соответственно собственные индуктивности первой и второй катушек, то справедливо равенство  $M = \sqrt{L_1 L_2}$ . Если магнитные поля катушек пронизывают лишь часть витков друг друга, то в равенство должен быть введен коэффициент связи  $k$ :

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}.$$

2. **Конструкция из двух индуктивно связанных катушек**, взаимная индукция которых выражается коэффициентом взаимной индукции  $M$ , называется во многих случаях взаимной индуктивностью.

**Влияние** (см. *Погрешность дополнительная*).

**Влияние внешнего поля** — магнитное и/или электрическое поле как *влияющая величина*.

**Дополнительная погрешность**, возникающая у некоторых типов измерительных приборов при воздействии внешних полей, нормиру-

еся (устанавливается) в соответствующей нормативно-технической документации (ГОСТ, ТУ) и обозначается специальным *обозначением на шкале*.

**Влияние коэффициента мощности** — коэффициент мощности как *влияющая величина*.

Показание измерителя мощности (ваттметра) зависит от соотношения действующих в цепи активной и реактивной составляющих мощности. Поэтому на шкале прибора или в его технических условиях указывается номинальное значение этого соотношения. Диапазоны влияния дифференцированы по классам точности и в зависимости от характера нагрузки (индуктивной или емкостной) и установлены в стандартах.

**Влияние монтажа** — исключение дополнительной погрешности путем размещения щитовых измерительных приборов определенным образом, который регламентирован в технической документации.

С целью получения правильных для данного класса точности показаний на прибор наносится обозначение (например, *обозначение на шкале*) материала, из которого может быть изготовлен щит для размещения данного прибора. Обозначение конструктивных материалов для изготовления щита, предназначенного для размещения щитовых приборов, производится путем надписи на измерительном приборе.

При монтаже щитовых измерительных приборов принимают во внимание также *влияние пространственного расположения прибора и влияние внешнего поля*.

**Влияние напряжения** — электрическое напряжение как *влияющая величина*.

Различные измерительные приборы (особенно измерители сопротивления, коэффициента мощности и частоты) показывают правильные значения только при определенных (номинальных) значениях отношения напряжений или разности напряжений. При отклонении напряжений от номинальных могут возникнуть дополнительные погрешности, например, вследствие изменения вращающегося момента, нагрева или насыщения в металле. Возможность возникновения таких явлений в данном приборе указывается надписью на шкале (аналогично *влиянию температуры*) с указанием нормальных или номинальных условий.

**Влияние прогрева** — прогревание измерительного прибора из-за протекания измеряемого тока как *влияющая величина*.

Влияние прогрева определяется по разнице показаний, получаемых в результате включения на короткое (10 мин) и продолжительное (60 мин) время, при этом входная величина не должна превышать 80 % от конечного значения предела измерений. Понятие влияние прогрева не идентично понятию *влияние температуры*.

**Влияние пространственного расположения прибора** — пространственное расположение прибора как *влияющая величина*.

В зависимости от особенностей конструкции измерительного прибора ему предписывается определенное рабочее положение в пространстве. Например, плоскость шкалы должна быть приблизительно горизонтальной. Если на приборе отсутствует обозначение рабочего положения, то допускается его эксплуатация в любом положении. Обозначение конкретного рабочего положения (вертикальное, горизонтальное или наклонное) наносится на шкалу специальным символом (см. *Обозначение на шкале*). Допускается отклонение от предписанного положения в пределах  $\pm 5^\circ$ .

**Влияние температуры** — температура окружающей среды как влияющая величина. Чтобы обеспечить заданные классом точности пределы погрешности, необходимо эксплуатировать средство измерений в определенном диапазоне температур.

Нормальная температура устанавливается в стандартах; это значение принимают во внимание, если на данном средстве измерений отсутствуют какие-либо надписи. С помощью надписи на шкале устанавливаются другие значения или области значений. Значение или область, принимаемые за нормальные, в этом случае подчеркиваются. Так, например, надпись 20...25...30 °C означает, что диапазон нормальных значений составляет от 20 до 25 °C, а диапазон влияния температуры составляет от 10 до 20 °C и от 25 до 30 °C.

Диапазон влияния температуры не идентичен *диапазону рабочих температур*.

**Влияние формы сигнала** — форма измеряемого сигнала как влияющая величина. Если постоянная величина однозначно характеризуется одним значением, то параметры переменных величин (токов) зависят от формы сигнала, т. е. от характера изменения величины во времени.

Большинство электронизмерительных приборов с непосредственным отсчетом, с выпрямителем или без него, позволяют измерять эффективное значение только сигналов синусоидальной формы. Во многих случаях, например при смешении токов, при прохождении звуковых сигналов в измерительных цепях, содержащих катушки с сердечниками (дрессели), возникают искажения первоначально синусоидальной формы сигнала. При этом изменяется *коэффициент формы* и деления шкалы более не соответствуют измеряемым значениям. Если форма измеряемой переменной величины отличается от синусоидальной, то необходимо (особенно при использовании прибора выпрямительной системы) иметь в виду, что погрешность измерений может существенно превысить основную погрешность прибора.

**Влияние частоты** — частота изменения измеряемой величины как *вливающая величина*. Некоторые электронизмерительные средства могут использоваться только в определенном *диапазоне частот*. Для электронизмерительных приборов с непосредственным отсчетом допускаемое изменение частоты составляет от 45 до 65 Гц, если нет надписи, указывающей иной диапазон.

Значения или диапазоны значений частоты (аналогично *диапазону рабочих температур*) указываются на шкале.

**Внешнее поле** (см. Влияние внешнего поля).

**Волюмер** — прибор для измерения частоты способом сравнения частот.

В волюмере осуществляется наложение измеряемой частоты на колебания генератора с калиброванной и регулируемой частотами с помощью смесительного каскада. Разностная частота выделяется фильтром нижних частот и подается на индикатор. Равенство частот имеет место при нулевых или минимальных показаниях индикатора (рис. 14).

**Вольтметр** — средство измерений для определения электрического напряжения. При измерении напряжения вольтметр подключают параллельно измеряемому объекту. Он определяет разность потенциалов между клеммами.

В области малых и средних значений напряжений применяют соответствующие *измерительные механизмы* (например, магнитоэлек-

трический, электромагнитный, электростатический) с расширением диапазона измерения или без него. Измерительные механизмы, применяемые только для измерения постоянного напряжения, с помощью измерительного выпрямления оказываются пригодными и для изме-

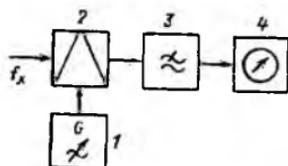


Рис. 14. Вольтмер:

1 — генератор; 2 — смесительный каскад; 3 — фильтр нижних частот; 4 — индикатор

рения переменного напряжения. Для измерения очень маленьких значений напряжения и для высокочастотных измерений напряжений применяют компенсаторы, электронные вольтметры, осциллографы (рис. 15, а). Подключение вольтметра означает образование параллельной измеряемому объекту дополнительной цепи тока, состоящей

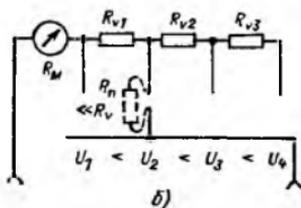
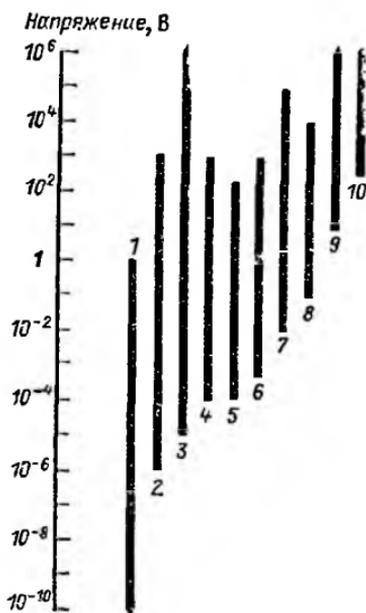


Рис. 15. Вольтмер:

а — ориентировочные значения диапазонов измерения; б — многодиапазонный вольтмер; 1 — гальванометр; 2 — электронный вольтметр; 3 — электростатический измерительный прибор; 4 — компенсатор; 5 — измерительный прибор магнитоэлектрической системы; 6 — осциллограф; 7 — измерительный прибор магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом; 8 — измерительный прибор электромагнитной системы; 9 — измерительный прибор с трансформаторами напряжения; 10 — канал радиотелескопических

из внутреннего сопротивления вольтметра. Вследствие этого возникает изменение измеряемого значения, представляющее собой систематическую погрешность, которую стремятся сделать как можно меньшей. Чтобы в процессе измерений вносить как можно меньше возмущения в измеряемую цепь и тем самым получать малую погрешность измерения, необходимо, чтобы в каждом случае (полное) сопротивление вольтметра было существенно больше (полного) сопро-

твления измеряемого объекта. Идеальный вольтметр, не оказывающий возмущающего воздействия на измеряемую цепь, должен обладать бесконечно большим сопротивлением или, скажем иначе, *собственное потребление мощности* (от измеряемого объекта) вольтметром должно быть нулевым.

**Вольтметр интегрирующий** — цифровой вольтметр, аналого-цифровой преобразователь которого работает по методу интегрирования.

**Вольтметр многодиапазонный** — вольтметр с несколькими диапазонами измерения, которые путем ступенчатого переключения обеспечивают *расширение диапазона измерения* напряжения.

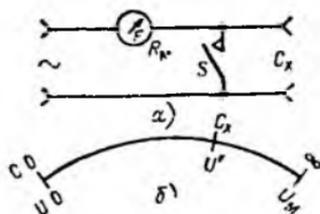
Последовательно с измерительным механизмом подключается цепочка добавочных сопротивлений (рис. 15, б). Переходным сопротивлением  $R_n$  контактов переключателя вследствие относительно больших значений добавочных сопротивлений можно пренебречь. Вольтметр многодиапазонный может использоваться самостоятельно или как составная часть *комбинированного прибора*.

**Вольтметр, отградуированный в единицах емкости**, — прибор с непосредственным отсчетом, предназначенный для измерения емкости.

Аналогично измерителю сопротивления с последовательным подключением в данном случае к измерителю переменного напряжения известной и постоянной частоты последовательно подключается конденсатор с неизвестной емкостью (рис. 16, а).

Рис. 16. Вольтметр, отградуированный в единицах емкости:

а — упрощенная схема подключения; б — изображение шкалы



Градуировочная характеристика (рис. 16, б), т. е. соответствие между индуцируемым значением напряжения  $U'$  и измеренным в данный момент значением подключенной емкости  $C_x$ , рассчитывается с учетом известных значений  $R_M$  и  $U_M$ :

$$C_x = \frac{1}{2\pi R_M} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{U_M}{U'}\right)^2 - 1}}$$

Эта схема, вполне пригодная для простых рабочих измерений, часто применяется в комбинированных приборах (тестерах).

**Вольтметр селективный** — разновидность вольтметра электронного.

В отличие от электронного вольтметра универсального и электронного вольтметра переменного напряжения вольтметр селективный позволяет проводить измерения очень маленького напряжения (микровольты) только в очень узком регулируемом диапазоне частот. Это достигается применением *селективных усилителей* и *смеси-*

тельных схем (аналогично высокоизбирательному радиоприемнику) (рис. 17).

Вольтметр селективный применяется для измерения параметров полей, напряжения помех, напряжения на антеннах и т. д.

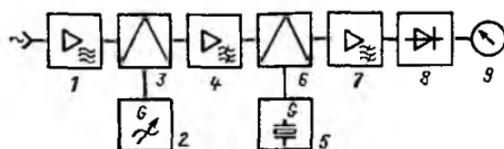


Рис. 17. Вольтметр селективный (структурная схема):

1 — входной измерительный усилитель; 2 — регулируемый генератор; 3 — первый смесительный каскад; 4 — первый усилитель промежуточной частоты; 5 — кварцевый генератор; 6 — второй смесительный каскад; 7 — второй усилитель промежуточной частоты; 8 — измерительный выпрямитель; 9 — индикатор

Вольтметр цифровой (см. Цифровой вольтметр).

Вольтметр электронный — (ранее ламповый вольтметр). Электронный прибор для измерения напряжения.

Вольтметр электронный представляет собой аналоговый или цифровой измерительный прибор, в состав которого кроме индикатора входят входной делитель напряжения, в некоторых случаях — измерительный выпрямитель и измерительный усилитель. Прежде схема измерительного усилителя выполнялась на лампах (ламповый вольтметр). В настоящее время исключительное применение нашли транзисторы и интегральные микросхемы.

В зависимости от функционирования схем в потоке сигналов, свойств и областей применения различают универсальные электронные вольтметры, электронные вольтметры постоянного напряжения, усилительные вольтметры переменного напряжения, селективные электронные вольтметры. Если индикация осуществляется в цифровой форме, то говорят о цифровом вольтметре.

Вольтметр электронный переменного напряжения — разновидность вольтметра электронного.

Вольтметр электронный переменного напряжения в отличие от вольтметра электронного универсального измеряет значения только переменного напряжения. Для измерения как можно меньших значений напряжения посредством усилителя осуществляется усиление измеряемого значения, затем выпрямление и индикация (рис. 18).

Вольтметр электронный постоянного напряжения — разновидность вольтметра электронного.

Вольтметр электронный постоянного тока служит для измерения постоянного напряжения и обладает высоким входным сопротивлением. Для усиления измеряемого сигнала (поза индикаторной) используются преимущественно дифференциальный или операционный усилитель, а также усилитель с вибропреобразователем.

Вольтметр электронный универсальный — тип конструкции электронного вольтметра.

В вольтметре электронном универсальном в отличие от электронного вольтметра переменного напряжения и селективного электронного вольтметра при измерении постоянных напряжений измеряемое значение усиливается усилителем постоянного напряжения и после

этого выводится на индикаторное устройство. При измерении переменных величин перед усилением происходит их выпрямление. Измерительный выпрямитель часто размещают в *измерительной головке* (рис. 19). Посредством высоковольтной измерительной головки осуществляются также измерения высоких напряжений.

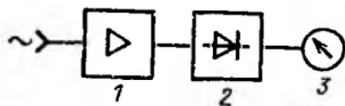


Рис. 18. Вольтметр электронный переменного напряжения:

1 — измерительный усилитель переменного напряжения; 2 — измерительный выпрямитель; 3 — индикатор

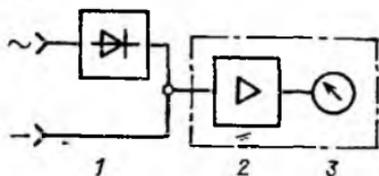


Рис. 19. Вольтметр электронный универсальный:

1 — измерительная головка с выпрямителем; 2 — измерительный усилитель постоянного напряжения; 3 — индикатор

*Диапазон частот, входное сопротивление и диапазон измерения напряжения* вольтметра универсального электронного очень велики, вследствие чего прибор имеет универсальное использование.

Вольтметр электромагнитной системы — прибор для измерения напряжения на основе *измерительного механизма* электромагнитной системы.

При помощи вольтметров электромагнитной системы можно измерять как постоянное напряжение, так и переменное без каких-либо дополнительных элементов. При измерениях на переменном токе измеряется эффективное значение напряжения. При этом показания можно считать в достаточной степени независимыми от формы переменного напряжения.

Наличие добавочных сопротивлений, которые определяют диапазон измерений, делает ток катушки измерительного механизма пропорциональным напряжению. Добавочное сопротивление во многих случаях применения щитовых измерительных приборов стабилизирует сопротивление катушки измерительного механизма, так как изготавливаются из материала с малым температурным коэффициентом, вследствие чего уменьшается температурная погрешность.

Индуктивное сопротивление полюсоздающей катушки является причиной дополнительной частотной погрешности, которая может быть скомпенсирована путем параллельного подключения конденсатора к добавочному сопротивлению. Для измерения высокого напряжения вольтметр электромагнитной системы подключается к измеряемой цепи через измерительный трансформатор напряжения. Приданном сердечником соответствующей формы можно отградуировать шкалу применительно к данной измерительной задаче.

Для защиты вольтметров электромагнитной системы от влияния внешних магнитных полей применяется экранирование. По сравнению с магнитоэлектрическими приборами вольтметры электромагнитной системы имеют значительно большее энергопотребление и поэтому используются преимущественно в силовой электротехнике.

Временная база (см. Коэффициент временной развертки).

Время нарастания — разность между двумя моментами времени,

в которые импульсная величина принимает наперед заданные мгновенные значения.

Когда форма импульса специально не регламентируется, то временем нарастания  $T_r$  называют время между значениями в 10 и 90 % амплитуды на нарастающем участке (рис. 20):  $T_r = t_{r,0,9} - t_{r,0,1}$ . Время спада  $T_f$  аналогично на спадающем участке:  $T_f = t_{f,0,1} - t_{f,0,9}$ .

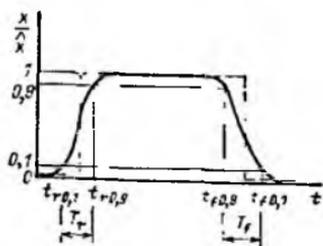


Рис. 20. Время нарастания

Время послесвечения — интервал времени, в течение которого первоначальная яркость осциллограммы снижается на установленное в процентах значение.

Максимальная яркость, достигаемая во время бомбардирования люминофора экраном электронами, т. е. во время флуоресценции, в последующий период фосфоресценции (послесвечения) уменьшается. Время, в течение которого первоначальная яркость уменьшается на 10 или на 1 %, называют временем послесвечения.

В зависимости от измерительных задач применяют люминофоры с различным временем послесвечения. Так, например, при малой частоте повторения сигнала большое время послесвечения уменьшает мигание экрана, а при регистрации осциллограммы фотоприставкой с синхронизацией затвора и запуска развертки целесообразно иметь малое время послесвечения.

Время послесвечения:

очень большое . . . . .	> 1 с
большое . . . . .	100 мс — 1 с
среднее . . . . .	1 — 100 мс
меньше среднего . . . . .	10 мкс — 1 мс
короткое . . . . .	1 — 10 мкс
очень короткое . . . . .	< 1 мкс

Время установления показаний

1. *Время, необходимое для успокоения показаний.* Условием плавных измерений является быстрое успокоение показаний.

*Демпфирующие устройства* в общем случае должны обеспечивать при измеряемой величине, не превышающей  $\frac{2}{3}$  (66 %) конечного значения шкалы, значение первого выброса не более 20 % от длины шкалы. Время успокоения как интервал времени между моментами включения и окончательного установления показаний в пределах  $\pm 1,5$  % от длины шкалы, не должно превышать 4 с. К некоторым измерительным приборам (например, измерителю коэффициента мощности, биметаллическим и вибрационным измерительным механизмам) такое требование не предъявляется.

2. *Продолжительность переколебаний.*

Входная емкость — емкость составляющая комплексного входного (полного) сопротивления.

Входная емкость измерительного прибора оказывает искажающее воздействие на значение (уменьшает) и форму измеряемого сигнала. Особенно существенным является нагрузочное влияние входной емкости на измеряемый объект на высоких частотах. Посред-

ством частотно-независимого (безреактивного) делителя напряжения, расположенного в выносной измерительной головке, входная емкость, включая емкость соединительных проводов, может быть в значительной степени снижена

Входная связь — связь между входным гнездом и последующими каскадами схемы преобразования внутри измерительного прибора.

Подача входного сигнала к схеме преобразования может иметь непосредственный характер (связь по постоянному току). При этом происходит передача как постоянной, так и переменной составляющих сигнала.

В противном случае (связь по переменному току) постоянная составляющая входного сигнала отделяется при помощи разделительного конденсатора (реже — при помощи трансформатора). При этом емкостное сопротивление обуславливает нижнюю граничную частоту (примерно между 0,5 и 10 Гц), что при измерении низкочастотных сигналов необходимо принимать во внимание.

У большинства осциллографов предусматривается дополнительная входная связь. Она используется при абсолютных измерениях для обеспечения нулевого потенциала (потенциала массы, корпуса) в качестве опорного значения. Вход предварительного усилителя разделен с входным гнездом и соединен с внутренним контуром заземления. Это позволяет изобразить на экране нулевую (опорную) линию.

Входное сопротивление — активная составляющая комплексного входного (полного) сопротивления.

Под входным сопротивлением понимают не зависящее от частоты активное сопротивление входной цепи электронного измерительного прибора или усилителя. Различают высокоомные и низкоомные входы. Низкоомные системы используются преимущественно в высокочастотной и импульсной технике, так как сигналы этой техники передаются при низких полных сопротивлениях. Высокоомная техника пригодна для решения универсальных измерительных задач. На высоких частотах необходимо учитывать емкость, шунтирующую (параллельно включенную) входное сопротивление.

Входное сопротивление комбинированного прибора — параметр, характеризующий сопротивление измерителя напряжения в комбинированном приборе\*.

Значения входного сопротивления комбинированных приборов соответствуют сопротивлениям вольтметров в расчете на 1 В. Входное сопротивление, Ом/В:

$$D = \frac{I}{I_M} = \frac{R_{GU}}{\text{Диапазон измерения напряжения}}$$

Чтобы получить значение внутреннего сопротивления прибора, следует значение входного сопротивления комбинированного прибора умножить на установленный диапазон измерений. Чем больше значение входного сопротивления комбинированного прибора, тем выше внутреннее сопротивление прибора и тем меньше ток вольтмет-

\* В технической документации на отечественные комбинированные приборы указывается либо входное сопротивление, Ом/В, либо наибольшее падение напряжения на внутреннем сопротивлении прибора (например, не более 0,4 В), либо потребляемый ток (например, не более 0,7 мА) — Прим. пер.

ра, т. е. тем меньше составляющая систематической погрешности, обусловленная влиянием измерительного прибора на измеряемую цепь.

На практике используются значения в диапазоне: 200 Ом/В ÷ 1 МОм/В.

Входной делитель напряжения — делитель напряжения, понижающий измеряемое напряжение на входе измерительного прибора до значения, пригодного для обработки последующими схемами преобразования.

Некоторые функциональные схемы (устройства), как, например, *измерительный усилитель*, могут работать только с относительно низкими входными напряжениями, поэтому во многих практических случаях высокие напряжения необходимо понизить. Чтобы обеспечить равномерный коэффициент деления в широком диапазоне частот, используют частотно-независимые (безреактивные) *делители напряжений*.

Входное полное сопротивление (импеданс) — полное сопротивление входной цепи электронного измерительного прибора.

Входное полное сопротивление измерительного прибора является нагрузкой (нагрузочным сопротивлением) для измеряемого объекта (измеряемой цепи). Оно состоит из параллельно соединенных *входного сопротивления* и *входной емкости*. На низких частотах нагрузкой на измеряемый объект можно пренебречь. С ростом частоты емкостное сопротивление уменьшается и определяет характер входного сопротивления.

Входная цепь синхронизации предназначена для подключения источника синхронизации.

Аналогично *входным цепям* осциллографа различают входы синхронизации по постоянному и по переменному напряжению. В цепях синхронизации по постоянному напряжению для синхронизации используются все компоненты постоянной составляющей вплоть до граничной частоты. Они используются при сигналах с низкой частотой повторения или при сигналах с малой скоростью изменения.

При построении входных цепей синхронизации по переменному напряжению различают широкополосную передачу и связь через фильтры верхних и нижних частот для подавления низкочастотной или высокочастотной составляющей сигнала синхронизации. Диапазон частот синхронизации должен соответствовать ширине полосы пропускания осциллографа. На высокой частоте снижается чувствительность синхронизации, что может быть исключено путем увеличения напряжения внешней синхронизации.

Выбор средств измерений — составная часть стратегии измерений.

Выбор средств измерений должен осуществляться с учетом технических, технологических и экономических аспектов. Целепоставленное проведение измерений, реализующее выбранную концепцию решения данной измерительной задачи, основывается на решении следующих вопросов и последующем выборе средств измерений.

Какие величины и параметры следует измерять, чтобы получить требуемый результат?

Какие из имеющихся измерительных приборов пригодны для измерения требуемых величин?

Имеют ли эти приборы как минимум необходимый диапазон измерений? (Верхняя граница диапазона должна в 1,5 раза превышать ожидаемый результат измерения).

Обеспечивают ли эти измерительные приборы требуемую *точность*?

Имеют ли эти приборы требуемую *чувствительность*?

В каких условиях (см. *Условия измерений*) будут проводиться измерения? Пригодны ли все средства измерений для работы в этих условиях?

Достаточно ли значение *сопротивления измерительного прибора* для того, чтобы систематическая погрешность не превысила допустимого значения? (Погрешается ли коррекция результата измерений?)

Имеют ли эти измерительные приборы требуемый *диапазон частот*?

Насколько оправдана выбранная организация измерений с экологической точки зрения? (Обеспечивается ли необходимая точность или максимально возможная?)

**Выпрямление** — преобразование переменной величины в постоянную.

Выпрямление осуществляется при помощи нелинейного сопротивления, обладающего односторонней проводимостью. Этим свойством обладают полупроводниковые диоды и тиристоры.

В средствах измерений, имеющих питание от сети, переменное напряжение сети преобразуется в постоянное, которое может быть как основным рабочим, так и вспомогательным. Демодуляция модулированных сигналов состоит в общем случае в выпрямлении (детектировании) модулированного по амплитуде напряжения несущей частоты и выделении, таким образом, модулирующего информационного сигнала. Выпрямление сигналов в измерительных целях называют *измерительным выпрямлением*.

Выпрямление двухполупериодное осуществляется с помощью электрической схемы для *измерительного выпрямления*.

В отличие от *выпрямления однополупериодного* здесь для измерения используются обе полуволны переменного напряжения. Существуют два варианта схемы: *схема двухтактная* (со средней точкой) и *схема Греча* (мостовая).

Выпрямление измерительное — выпрямление в измерительных целях.

Чтобы использовать преимущества измерительной техники постоянного тока для измерения переменного тока, измеряемый сигнал подвергается выпрямлению. При однополупериодном выпрямлении используется только одна полуволна, при двухполупериодном — обе. Для измерения и индикации различных параметров переменных величин используют различное положение рабочей точки на вольт-амперной характеристике выпрямительного элемента и различают выпрямление *типа А*, *типа В* и *типа С*.

Выпрямление импульсное (пиковое) — измерительное выпрямление (детектирование), применяемое при измерении пиковых значений переменных величин.

В основе импульсного выпрямления лежит принцип заряда/разряда конденсатора через диод (в режиме *С-выпрямления*) и измерительный механизм. Диод и индикатор могут быть соединены параллельно (рис. 21, а) или последовательно (рис. 21, б). Конденсатор заряжается через диод до пикового значения напряжения и разряжается через измерительный механизм. Постоянная времени разряда должна быть большой по сравнению с длительностью периода измеряемого напряжения (рис. 21, в).

Выпрямление квазиквадратическое — используется в специальной мостовой схеме соединения полупроводниковых диодов (см. *Схема Грейса*), обеспечивающей приблизительно квадратическую характеристику измерительного выпрямителя. Обеспечение квадратической характеристики выпрямительного элемента более выгодно при А-выпрямлении, что достигается более простой схемой.

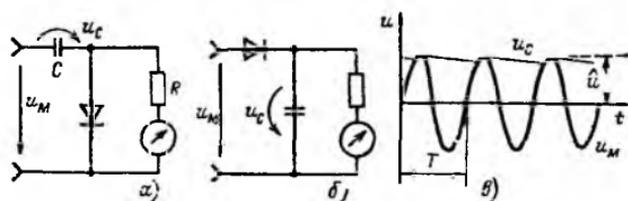


Рис. 21. Выпрямление импульсное:

*a* — параллельная схема; *b* — схема с последовательным соединением диода и устройства индикации; *в* — диаграмма напряжений;  $u_M$  — измеряемое напряжение;

$\hat{u}$  — амплитудное значение измеряемой величины;  $T$  — длительность периода измеряемого напряжения;  $u_C$  — зарядное напряжение на конденсаторе

Выпрямление однополупериодное используется в схеме для измерительного выпрямления.

При однополупериодном выпрямлении в отличие от двуполупериодного для измерения пропускается только одна полуволна переменного напряжения. Выпрямление осуществляется диодом, подключенным параллельно (рис. 22, *a*) или последовательно (рис. 22, *б*,

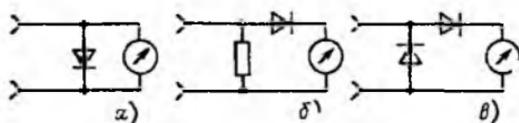


Рис. 22. Выпрямление однополупериодное

*в*) с измерительным устройством. Ток, протекающий через измерительный механизм, характеризуется *средневыпрямленным значением*. С учетом коэффициента формы шкала может быть отградуирована в эффективных значениях.

Выпрямление в режиме А (А-выпрямление) — режим работы при измерительном выпрямлении специальным положением рабочей точки (на вольт-амперной характеристике устройства выпрямления).

В отличие от В- и С-выпрямления при А-выпрямлении рабочая точка располагается в пределах полезной части вольт-амперной характеристики выпрямительного элемента (рис. 23).

Выпрямленный ток  $\Delta I$  как среднее значение тока в рабочей точке  $I_0$  с наложенным переменным составляющей и является мерой эффективного значения приложенного переменного напряжения.

При квадратической форме характеристики для указанного тока имеет место зависимость  $I = kU^2$  ( $k$  — постоянная характеристики). В этом случае говорят о квадратическом детектировании. При

применении специальных схем для А-выпрямления можно получить устройство квазиквадратического выпрямления.

Выпрямление в режиме В (В-выпрямление) — один из видов выпрямления переменной величины, характеризуемой определенным положением рабочей точки на вольт-амперной характеристике выпрямителя.

В отличие от других видов (А- и С-выпрямление) в данном случае рабочая точка располагается на характеристике в начале коор-

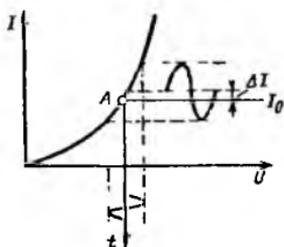


Рис. 23. А-выпрямление

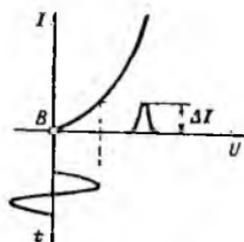


Рис. 24. В-выпрямление

динат (рис. 24). Ток покоя  $I_0$  при В-выпрямлении отсутствует. При синусоидальной форме переменного напряжения и квадратичной характеристике выходной ток выпрямителя пропорционален квадрату положительной полуволны  $I=0,5 kU^2$  ( $k$  — постоянная характеристики).

Выпрямление в режиме С (С-выпрямление) — способ выпрямления переменного тока, характеризуемый определенным положением рабочей точки на вольт-амперной характеристике выпрямляющего устройства.

В отличие от А- и В-выпрямления в данном случае используется положение рабочей точки вне области пропускания выпрямителя. В область пропускания попадают только пики положительных полуволн выпрямляемого переменного напряжения, если его амплитуда превышает порог срабатывания  $U_v$  (рис. 25). С-выпрямление используется для измерения максимальных значений тока и напряжения.

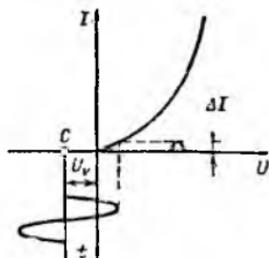


Рис. 25. С-выпрямление

Выравнивание потенциала — способ повышения эффективности иер защиты от поражения электрическим током.

Выравнивание потенциала позволяет предотвратить возникновение опасной разности потенциалов между различными металлическими системами питания в зданиях и транспортных средствах. С целью выравнивания потенциала все электрические проводящие трубопроводы, системы соединительных линий и каналов, а также металлические части конструкции, фундамента и защитных линий здания должны быть соединены в обязательном порядке с центральным пунктом.

Гальванометр — специальная форма измерительного механизма магнитоэлектрической системы.

Гальванометрами называют средства измерений малых токов и напряжений. Они применяются прежде всего в нулевых ветвях компенсаторов и измерительных мостов для индикации равновесия схемы (отсутствия тока) и имеют при этом в большинстве случаев шкалу без численных значений. Кроме того, они применяются также для непосредственной оценки значения измеряемой величины.

Высокая чувствительность (см. *Постоянный гальванометр*) обеспечивается ленточной (торсионной) подвеской миниатюрной, высокой, свободно намотанной подвижной катушки с как можно большим числом витков из тончайшей проволоки, т. е. катушки без несущей рамки. Для повышения механической прочности ее пропитывают лаком или синтетической смолой. Успокоение колебаний осуществляется самой же катушкой (см. *Самодемпфирование катушки*).

Основные формы конструктивного исполнения: *показывающий гальванометр, гальванометр со световым указателем, зеркальный гальванометр, баллистический гальванометр.*

Установленные классы точности на гальванометры не распространяются.

Гальванометр баллистический — специальная конструктивная форма гальванометра.

Гальванометр баллистический служит для измерения параметров импульсов тока и напряжения, например, при заряде и разряде конденсаторов. От обычных гальванометров он отличается тем, что масса и, следовательно, момент инерции подвижного органа существенно увеличены при помощи дополнительного груза.

Гальванометр вибрационный — высокочувствительный прибор для измерения переменных токов.

Гальванометр вибрационный содержит маленький постоянный магнит (так называемая игла), жестко связанный с зеркальцем (может быть заменяемым), подвешенный на двух ленточных растяжках (рис. 26). Если через обмотку токоизмерительной катушки пропускают переменный ток, то игла с зеркальцем

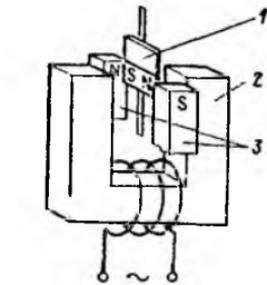


Рис. 26. Гальванометр вибрационный (схематично):

1 — игла с зеркальцем; 2 — контур магнитного возбуждения с токовой катушкой; 3 — контур магнитный противодействующий для настройки в резонанс

приходит в колебательное движение, которое путем проекции с помощью светового луча делают наблюдаемым.

Если в обесточенном состоянии световой луч образует на шкале штрих, то при наличии колебаний этот штрих преобразуется в световую полосу. Регулированием положения второго (постоянного или электро-) магнита, поле которого направлено перпендикулярно полю измеряемого тока, добиваются совпадения частоты собственных колебаний иглы с необходимой резонансной частотой.

Гальванометр зеркальный — гальванометр, отличающийся высо-

кой чувствительностью, ленточным подвесом или ленточными растяжками в качестве крепления подвижной части измерительного механизма и индикацией посредством светового указателя.

Для достижения большой длины светового указателя и, следовательно, высокой чувствительности в отличие от *гальванометра со световым указателем* в гальванометре измерительный механизм, источник света с их оптической и шкала размещаются отдельно друг от друга. Ток к свободно поворачивающейся катушке подводится через тонкие неупругие ленточки из благородных металлов или непосредственно через ленточные подвески. Установка (корректировка) нулевой отметки осуществляется с помощью поворачиваемой головки на верхнем конце ленточного подвеса.

Гальванометр зеркальный устанавливается с помощью ватерпаса и регулируемых винтов-ножек в горизонтальное положение. При транспортировании подвижный орган необходимо арретировать.

Гальванометр магнитоэлектрической системы (см. Гальванометр).

Гальванометр напряжения — измерительный механизм светолучевого (шлейфового) осциллографа с постоянным магнитом, предназначенный для регистрации формы напряжения.

Гальванометр показывающий — гальванометр относительно малой чувствительности с опорами на шпиль и индикацией на основе механического указателя.

Гальванометр показывающий используется главным образом как нуль-индикатор для небольших по габаритам измерительных мостов и компенсаторов при невысоких требованиях к чувствительности (например, ценой деления шкалы 1 мкА или 100 мкВ).

Гальванометр со световым указателем — гальванометр высокой чувствительности с механизмом на растяжках и индикацией посредством светового указателя.

В отличие от *зеркального гальванометра* здесь измерительный механизм совмещен в одном корпусе с зеркалом, источником света, оптической системой и шкалой.

Гальванометр стержневой — измерительный механизм осциллографического гальванометра на основе *измерительного механизма магнитоэлектрической системы*.

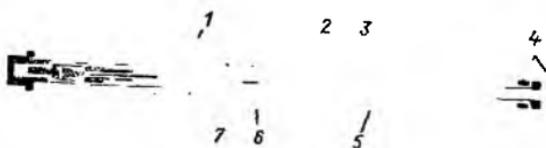


Рис. 27. Гальванометр стержневой:

1 — ленточная растяжка; 2 — миниатюрная катушка; 3 — корпус; 4 — соединительные контакты; 5 — пространство, заполняемое демпфирующей жидкостью; 6 — линза; 7 — миниатюрное зеркальце измерительного механизма

Подвижный орган стержневого гальванометра состоит из узкой длинной миниатюрной катушки, которая вместе с подвешенным к ней на двух ленточных растяжках зеркальцем запаяна в стеклянной трубке (рис. 27).

Демпфирование (успокоение) осуществляется индукционным или жидкостным способом. Устройство вставляется в просверленное от-

верстие общего для нескольких стержневых гальванометров постоянного магнита, так называемого блока гальванометров.

Вследствие чрезвычайно малых размеров становится возможным в одном *светолучевом осциллографе* в ограниченном объеме разместить несколько стержневых гальванометров и регистрировать различные измеряемые величины по отдельным каналам одновременно и независимо друг от друга.

Гальванометр тока — измерительный механизм светолучевого осциллографа с постоянным магнитом, предназначенный для регистрации формы тока.

Гальванометр электронный — измерительный прибор, нечувствительный к положению в пространстве и вибрации, имеющий высокочувствительный усилитель постоянного тока или напряжения. Применяется в приборах, предназначенных для жестких условий эксплуатации.

При наличии дополнительного *аналого-цифрового преобразователя* показания могут представляться в цифровой форме.

Гашение обратного хода луча — гашение светящейся точки на экране осциллографа во время обратного хода электронного луча.

Поскольку светящийся след при обратном ходе электронного луча мешал бы наблюдению осциллограммы, то в осциллографе предусмотрено его гашение. Яркость свечения при прямом ходе луча устанавливается таким образом, чтобы светящаяся точка была не видна, и лишь в течение времени нарастания пилообразного напряжения горизонтальной развертки ускоряющий электрод получает положительный потенциал, открывающий электронам путь к экрану (рис. 28).

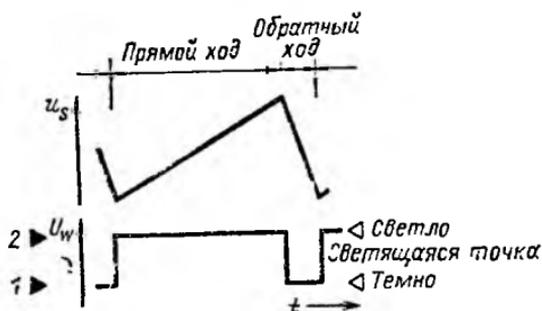


Рис. 28. Гашение обратного хода луча:

$U_S$  — пилообразное напряжение горизонтальной развертки;  $U_W$  — напряжение на цилиндрическом управляющем электроде; уровни постоянного напряжения, обеспечивающие яркость экрана:  $I$  — на время гашения обратного хода луча;  $2$  — при прямом ходе луча

При гашении обратного хода луча осциллограмма вычерчивается с необходимой яркостью. В течение времени спада пилообразного напряжения на ускоряющий электрод подается отрицательный потенциал, препятствующий попаданию электронного луча на экран. В режиме функциональной развертки гашение обратного хода луча не осуществляется.

Генератор — техническое устройство, создающее электроэнергию.

В силовой электротехнике генератором называют электрическую машину, предназначенную для выработки электроэнергии. Различают генераторы постоянного тока, переменного тока, трехфазного тока. В информационной технике (в радиотехнике) генераторы служат для формирования электрических колебаний различной частоты и формы. В измерительной технике они применяются как *измерительные генераторы*.

Генератор высокой частоты — измерительный генератор, выходной сигнал которого представляет собой колебания в основном синусоидальной формы высокой частоты.

В качестве частотозависимых элементов в схемах генераторов высокой частоты (ВЧ) используются преимущественно колебательные контуры и *кварцевые генераторы*. В схемах генераторов ВЧ обеспечивается возможность выбора характера выходного сигнала: модулированный сигнал по амплитуде (см. *Амплитудная модуляция*) или/и по частоте (см. *Частотная модуляция*) или немодулированный сигнал.

Генератор измерительный — прибор для создания электрических колебаний различной формы при определенных значениях мощности, напряжения или/и тока (генератор мощности, напряжения, тока).

В зависимости от того, встроен генератор в измерительный прибор или используется самостоятельно, различают внутренние генераторы и внешние. Соответственно генерируемой форме колебаний существуют *генераторы синусоидального напряжения* и *генераторы импульсные*. Широко распространены *генераторы сигналов прямоугольной формы* и *генераторы пилообразного напряжения*. Относительно диапазона частот различают *генераторы низкой частоты*, *генераторы высокой частоты*, *генераторы сверхвысокой частоты*, *генераторы шума*.

В измерительной технике генераторы измерительные применяются для исследования активных и пассивных четырехполюсников, для поиска неисправностей в качестве источника испытательного сигнала. Особенностью измерительных генераторов является возможность изменения в определенных диапазонах частоты и напряжения выходного сигнала, выходного сопротивления, типа модуляции выходного напряжения (у генераторов высокой частоты), и *коэффициента гармоник* (у генераторов низкой частоты).

Генератор импульсный — измерительный генератор, генерирующий выходной сигнал импульсной формы.

Название генератора зависит от формы импульсов выходного сигнала: *генератор сигналов прямоугольной формы*, *генератор пилообразного напряжения*. Кроме этих существуют генераторы, формирующие другие формы импульсных сигналов (напряжение треугольной, трапецидальной и других форм).

Генератор калибровки (калибратор) — генератор измерительный, при помощи которого осуществляется определение градуировочной характеристики средства измерений.

Генераторы калибровки, имеющие конструктивное исполнение в виде отдельных приборов, могут применяться с различными целями в соответствии с их выходными величинами. Внутренние (встроенные) генераторы калибровки выполняют строго определенные для данного прибора функции. Так, например, генератор калибровки осциллографа формирует с высокой точностью импульсное напряже-

ные прямоугольной формы с постоянной частотой следования импульсов, которое служит для контроля коэффициентов отклонения и развертки.

**Генератор кварцевый** — измерительный генератор с высокой стабильностью частоты, обеспечиваемой кварцевым резонатором (кварцевой стабилизацией).

Кварцевые генераторы находят применение в технике связи, в *цифровых вольтметрах*, универсальных счетчиках, а также в качестве тактовых генераторов в цифровой вычислительной технике.

**Генератор Мейснера** — генераторная схема для создания синусоидальных колебаний.

Генератор Мейснера представляет собой усилитель-четырепольник на базе электронной лампы, транзистора или интегральной микросхемы с четырехпольником образной связи в виде колебательного контура, связанного трансформаторной связью (рис. 29). Положительная обратная связь обеспечивается подачей части выходного сигнала (напряжения) на вход усилителя через трансформатор.

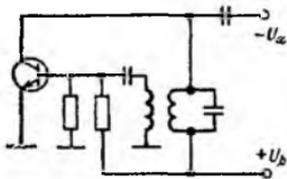


Рис. 29. Генератор Мейснера

**Генератор низкой частоты (НЧ)** — измерительный генератор, диапазон изменения частоты выходного сигнала которого лежит в области низких частот.

Генераторы НЧ классифицируют по форме выходного напряжения, например: *генератор синусоидального напряжения*, *генератор сигналов прямоугольной формы*, *генератор пилообразного напряжения*. В качестве источника сигнала в схеме генератора НЧ используются *RC-генераторы*, *астабильные мультивибраторы*, *блокинг-генераторы*.

**Генератор образцовый** — измерительный генератор с высокой точностью установки частоты и нормированными параметрами выходного сигнала (мощность, напряжение, ток), предназначенный для проведения *поверки* измерительных устройств. Высокая стабильность частоты обеспечивается применением кварцевого генератора.

**Генератор пилообразного напряжения** (также генератор развертки) — *измерительный генератор*, выходное напряжение которого имеет форму пилы.

Все способы создания пилообразного напряжения основываются на принципе линейного во времени заряда конденсатора и последующего быстрого его разряда.

Существуют следующие основные варианты:

используется лишь нижняя линейная часть кривой заряда, этот тип схемы носит название «интегратор Миллера»;

в течение заряда конденсатора напряжение заряда повышается, в этом случае говорят о способе синхронного зарядного напряжения, который применяется в усилительных схемах развертки;

конденсатор заряжается постоянным током, при этом в качестве источника постоянного тока используется генератор тока.

**Генератор сверхвысокой частоты** — измерительный генератор, формирующий немодулированные или модулированные синусоидальные сигналы частотой выше 300 МГц.

Для получения высоких частот применяют объемные резонато-

ры (колебательный контур с высокой добротностью как часть волновода) и специальные усилительные элементы СВЧ-техники.

Генератор сигналов прямоугольной формы — измерительный генератор, выходной сигнал которого имеет прямоугольную форму, а амплитуда, частота и длительность импульсов устанавливаются оператором.

Источником прямоугольного напряжения может быть синусоидальный генератор с последующим формированием импульсов или схема релаксационных колебаний, генерирующая несинусоидальное напряжение. В измерительной технике генератор сигналов прямоугольной формы служит источником сигналов для измерений и испытаний цифровых и аналоговых схем, позволяющий по степени искажения прямоугольной формы напряжения на выходе измеряемого объекта судить о его передаточных характеристиках (см. *Испытания с помощью прямоугольного импульса*).

Генератор синусоидального напряжения — измерительный генератор, выходной сигнал которого имеет синусоидальную форму.

Используется принцип положительной обратной связи, который реализуется комбинацией активного резистивного или функционального узла интегральной микросхемы в качестве усилительного четырехполюсника с четырехполюсником цепи обратной связи. В зависимости от типа четырехполюсника цепи обратной связи генератор синусоидального напряжения может работать либо как *LC*-генератор (с колебательным контуром, например, генератор Мейснера), либо как *RC*-генератор (с *RC*-фазовращательной цепочкой или делителем напряжения Вина). При использовании двух *LC*-генераторных каскадов желаемую частоту можно получить применяя смесительную схему (генератор биений).

Генератор телевизионной развертки — измерительный генератор специального применения для настройки и проверки цветных телевизионных приемников.

Генератор телевизионной развертки формирует калиброванный тестовый сигнал в СВЧ- или видеочастотном диапазоне. С помощью генератора телевизионной развертки на экране телевизора может быть создана испытательная таблица в виде сетки или шахматного поля.

Генератор Холла — измерительный прибор для определения индукции магнитного поля.

Измерение ЭДС Холла, пропорциональной магнитной индукции поля, при постоянном управляющем токе позволяет определить магнитную индукцию. При помощи добавочного сопротивления  $R_V$  устанавливается оптимальное значение управляющего тока, которое контролируется вольтметром через падение напряжения на резисторе  $R_N$  (рис. 30). При помощи переключателя этим же вольтметром (при достаточной его чувствительности) измеряется ЭДС Холла. При наличии двух прямоугольных, расположенных напротив друг друга датчиков Холла можно определить направление магнитного поля.

Генератор шума — измерительный генератор, формирующий шумовой сигнал. Шумы возникают в электрорадиоэлементах и переда-

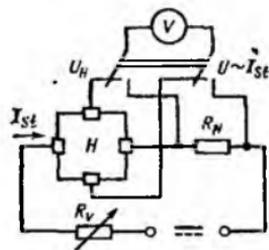


Рис. 30. Генератор Холла

ющих устройствах и оказывают искажающее воздействие на передаваемую информацию. Для измерения шума необходим образцовый сигнал генератора шума. Источником шума в генераторе шума является шумовой (шумящий) электровакуумный диод, работающий в режиме насыщения (реже используют резистор) и генерирующий шумовую мощность, постоянную в широком диапазоне частот (спектра). Уровень выходной мощности генератора шума регулируется и отображается на индикаторе.

**ГКМВ** — сокращенное наименование Генеральной конференции по мерам и весам. *Международная организация законодательной метрологии.*

**Головка измерительная (пробник)** — измерительный датчик как принадлежность электроизмерительных приборов.

Головка измерительная осуществляет восприятие измеряемой величины непосредственно на месте измерения и передачу ее к измерительному прибору посредством гибкого кабеля.

Пассивная измерительная головка состоит из делителя напряжения, измерительного выпрямителя и/или трансформатора. При использовании делительной головки следует принять во внимание необходимость согласования частотно-компенсированного *делителя напряжения* с измерительным прибором (в простейшем случае это делается с помощью испытательного прямоугольного импульса) (рис. 31, а). Высокочастотные измерительные головки имеют выпря-

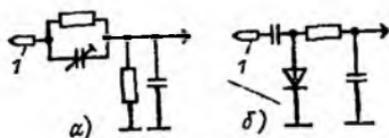


Рис. 31. Головка измерительная:

а — с делителем напряжения; б — выпрямительная; I — щуп

мительную схему с малыми емкостями и высоким развязывающим сопротивлением. Соединительный кабель подводит к прибору только постоянное напряжение (рис. 31, б).

Активная измерительная головка содержит активные радиоэлементы. Они увеличивают входное сопротивление при одновременном сохранении или повышении уровня сигнала. Активные измерительные головки требуют специального соединительного кабеля, обеспечивающего также электропитание измерительной головки. В большинстве случаев не следует использовать измерительную головку и кабель из комплектов разных приборов.

**Горизонтально отклоняющая система** — функциональная часть осциллографа, осуществляющая горизонтальное отклонение электронного луча.

В режиме *внешней развертки* горизонтально отклоняющая система работает аналогично вертикально отклоняющей системе.

В режиме *временной развертки* на вход оконечного усилителя канала горизонтального отклонения подключается внутренний стабилизированный *генератор пилообразного напряжения* (рис. 32). Пилообразное напряжение имеет постоянное во времени (за период) изменение амплитуды и обеспечивает перемещение электронного луча

с равномерной скоростью в горизонтальном направлении на экране.

Градирование грубое — точное — грубое градуирование (см. Тип делений).

Градирование многозначное (см. Способ расположения делений).

Градировка.

1. Нанесение делений на шкалу средства измерений.

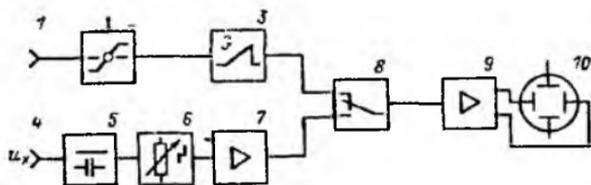


Рис. 32. Горизонтально отклоняющая система (структурная схема):

1 — вход внешней синхронизации; 2 — формирование синхросигнала; 3 — генератор пилообразного напряжения (блок горизонтального отклонения); 4 — X-вход горизонтально отклоняющего напряжения  $u_x$ ; 5 — входная согласующая цепь; 6 — входной делитель напряжения; 7 — предварительный усилитель канала горизонтального отклонения; 8 — переключатель режима работы; 9 — окончательный усилитель канала горизонтального отклонения; 10 — электропослужевая трубка

В процессе градуировки (тарировки) на шкалу наносятся деления в виде штрихов, точек и прочих знаков. Размер делений (положение меток относительно друг друга) устанавливается при определении градуировочной характеристики. Основные деления могут быть поделены на более мелкие.

2. Тарировка, калибрование.

Градировка двойная (см. Способ расположения делений) (шкалы).

Градировка, кратная 2 (см. Градуировочная характеристика).

Градировка однократная (см. Градуировочная характеристика).

Градировка односторонняя (см. Способ расположения делений).

Градировка равномерная (см. Способ расположения делений).

Градировочная отметка — метка на шкале, соответствующая определенному значению измеряемой величины.

Градировочные отметки могут быть выполнены различным образом. Метки на *аналоговой шкале* имеют вид штрихов, точек и др. (с числовыми значениями или без них). Градуировочные отметки *цифровых шкал* изображаются рядом дискретных чисел.

Градировочная характеристика — закон следования градуировочных отметок на *аналоговой шкале*.

В зависимости от значения каждого деления шкалы различают градуировку, кратную 1, 2 и 5.

При градуировке с основанием 1 цена деления шкалы равняется 1 или  $1 \times 10^n$ , где  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , каждая 5-я, 10-я или 20-я отметка шкалы может иметь численное значение (рис. 33). Если численное значение деления шкалы равняется, например, 0,2, 2 или 20, то говорят о градуировке с основанием 2. При этом каждая 5-я, 10-я или 25-я градуировочная отметка должна иметь численное значение (рис. 33, б).

Аналогично при цене деления, кратной 5, говорят о градуировке с основанием 5, причем каждая 4-я, 10-я или 20-я отметка шкалы имеет числовое значение (рис. 33, в). По отношению к линейности градуировочной характеристики различают линейные и нелнейные шкалы.

Граница перегрузки — допустимое значение, которое может принять измеряемая или влияющая величина, не вызывая необратимых изменений в измерительном приборе.

Следом за рабочим диапазоном и сверху, и снизу начинается область перегрузки, которая заканчивается границей перегрузки. Измерительный прибор может подвергаться воздействию перегрузочных значений, не превышающих границы перегрузки только в течение времени, не более установленного. По окончании воздействия такой перегрузки необратимые изменения параметров не возникают. Граница перегрузки задается значением, кратным конечному значению диапазона измерений, или в процентах от него. Граница перегрузки не превышает значения *предела прочности*.



Рис. 33. Градуировка шкалы:

а — однократная; б — число делений кратно 2; в — число делений кратно 5

Граница погрешности гарантированная — граница (предел) погрешности средства измерений.

Интервал значений, внутри которого должна находиться погрешность измеренного значения при условии применения средства измерений в установленных условиях эксплуатации. Гарантированные границы погрешности устанавливаются в стандартах на средства измерений или в технических условиях на данный прибор (изготовителем) (например, *классы точности*).

Границы доверительные — границы (сверху и снизу среднего значения), между которыми ожидается (находится) истинное значение.

*Среднее арифметическое значение*, определенное из  $n$  отдельных независимых значений (наблюдений), в общем случае не является истинным значением. Представляется возможным рассчитать доверительные границы, определяющие доверительный интервал среднего значения. С этой целью выбирается *доверительная вероятность*; систематическая погрешность исключается.

Границы доверительные характеризуют *недоуверительность результатов измерений*. Верхняя доверительная граница  $\bar{x} = \frac{t}{\sqrt{n}} s$ ; ниж-

няя доверительная граница  $\bar{x} = -\frac{t}{\sqrt{n}} s$ .

Значение среднего квадратического отклонения (СКО)  $s$  должно быть вычислено, значения  $t$  или  $t/\sqrt{n}$  находятся из табл. 1 в зависимости от количества независимых наблюдений и доверительной вероятности  $P$ .

Границы измерений (см. Интервал измерений).

Таблица 1. Значения для определения доверительных границ

Интервал	$\bar{x} \pm 1\sigma$		$\bar{x} \pm 1,96\sigma$		$\bar{x} \pm 2,58\sigma$		$\bar{x} \pm 3\sigma$	
	Доверительная вероятность Р, %		95		99		99,73	
Количество независимых наблюдений	$t$	$t/\sqrt{n}$	$t$	$t/\sqrt{n}$	$t$	$t/\sqrt{n}$	$t$	$t/\sqrt{n}$
	(2)	(1,8)	(1,3)	(12,7)	(9,0)	(61)	(45)	(235)
3	1,32	0,76	4,3	2,5	9,9	5,7	19,2	11,6
4	1,20	0,60	3,2	1,6	5,8	2,9	9,2	4,6
5	1,15	0,51	2,8	1,24	4,6	2,1	6,6	3,0
6	1,11	0,45	2,6	1,05	4,0	1,6	5,5	2,3
8	1,08	0,38	2,4	0,84	3,5	1,21	4,5	1,6
10	1,06	0,34	2,3	0,72	3,2	1,03	4,1	1,29
20	1,03	0,23	2,1	0,47	2,9	0,64	3,4	0,77
30	1,02	0,19	2,05	0,37	2,8	0,50	3,3	0,60
50	1,01	0,14	2,0	0,28	2,7	0,38	3,16	0,45
100	1,00	0,10	2,0	0,20	2,6	0,26	3,1	0,31
200	1,00	0,07	1,97	0,11	2,6	0,18	3,04	0,22
Св.зн. 200	1,00	0	(1,96) 2	0	2,58	0	3,0	0

Границы погрешности — границы допустимых отклонений от правильного показания или номинального значения.

Границы погрешности являются оценкой недостоверности измеренного значения или результата измерений. Они обуславливаются в первую очередь систематическими погрешностями и зависят от метрологических характеристик средств измерений.

Важными частными случаями являются гарантийные границы погрешности и границы погрешности, установленные (определенные) по результатам поверки (аттестации). Границы погрешности могут быть односторонними (со знаком + или -) или двусторонними ( $\pm$ ). Они должны включать в себя погрешности измерений.

Границы погрешности могут обозначаться двумя способами: чаще в виде значений, ограничивающих интервал, в котором должно находиться измеренное значение (например, границы погрешности, определенные при поверке, 10 Ом  $\pm$  1 Ом, где 10 Ом — номинальное значение; гарантийные границы погрешности средства измерений:  $\pm 0,2\%$  от конечного значения или класс точности 0,2) или указания граничных значений величины (например, наибольшее допускаемое значение 10,1 Ом, наименьшее допускаемое значение 9,9 Ом).

Графопостроитель (см. Прибор самопишущий координатный).

**Датчик** — чувствительный элемент или конструктивно объединенная группа чувствительных элементов.

Понятие «датчик» используется в тех случаях, когда восприятие измерительной информации предваряет процесс наблюдения. Во многих случаях оно характеризует высококачественный чувствительный элемент, выполняющий уже роль «органа чувств».

**Датчик перемещений** — преобразователь для измерения линейных и угловых перемещений.

**Датчик угловых перемещений** (рис. 34, а) состоит из источника света и вращающейся растровой шайбы. Растровая шайба представ-

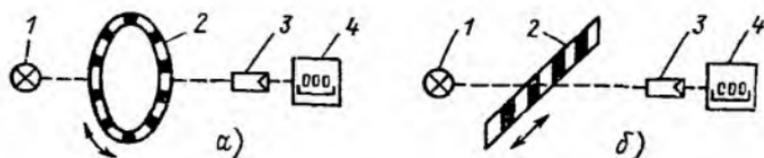


Рис. 34. Датчик перемещений с оптическим квантованием:

а — преобразователь угловых перемещений; б — преобразователь линейных перемещений; 1 — источник света; 2 — кодовая маска (диск или линейка); 3 — оптический приемник; 4 — устройство расшифровки и индикации

ляет собой кольцо из поочередно следующих прозрачных и непрозрачных участков (их может быть 400; 1000; 2000). Свет, прошедший через растровую шайбу, попадает на фотоприемник (например, фототранзистор), к которому подключен электронный счетчик. Каждое движение растровой шайбы преобразовывается в соответствующее количество световых импульсов.

**Датчик линейных перемещений** отличается лишь наличием растровой линейки вместо растровой шайбы (рис. 34, б).

Датчики перемещений позволяют проводить измерения с погрешностью не более 0,001 мм или 20''.

**Датчик тока** — магниточувствительный элемент для измерения тока.

Датчик тока основан на *эффекте Холла* и осуществляет бесконтактные, не возмущающие измеряемую цепь измерения или контроль постоянных и переменных токов. Токоведущий кабель охватывается открывающимся ферритовым сердечником или ферромагнитной спиралью, в воздушном зазоре которых размещен датчик Холла. На основе выходного напряжения этого датчика последующими обрабатывающими схемами форсируется аналоговый или цифровой выходной сигнал.

Датчик тока может иметь конструктивное исполнение аналогично *генератору Холла* или на основе *магниторезистора*.

**Датчик Холла** — первичный измерительный преобразователь для измерения значения и направления индукции магнитного поля.

В основе работы датчика Холла лежит *эффект Холла*. Датчик Холла может иметь конструкцию, аналогичную *генератору Холла*, или состоять только из одного *магниторезистора*.

Двойная коммутация (см. Схема подключения электрометра).  
 Двойное замыкание на корпус — дефект (неисправность) в силовых электроустановках.

Под двойным замыканием на корпус понимают образование электрической связи между токоведущим проводом и изолированными узлами (корпусом) электроустановки, имеющей место как минимум в двух изолированных друг от друга узлах.

Действительное значение (см. Значение действительное).

Деление шкалы — отрезок шкалы между двумя соседними градуировочными отметками на *аналоговой шкале*.

Деление шкалы используется как единица счета для выражения показаний. При этом принимается во внимание, что индикаторная метка (указатель), начиная от нулевой отметки, прошла соответствующее значению измеряемой величины — число делений шкалы. Результат «показание 18 делений или 48 дел.» означает, что указатель прошел 18 или 48 интервалов между градуировочными отметками, однако это не значит, что отметка, против которой остановился указатель, должна быть обозначена числом 18 или 48.

Измеренное значение определяется или путем умножения количества делений шкалы на *цену деления шкалы*, или умножением численного значения, считанного на шкале, на *постоянную шкалы* (табл. 2). Расстояние между градуировочными отметками (штрихами) есть длина деления шкалы.

Т а б л и ц а 2. Определение числа делений, цены деления и постоянной шкалы

Шкала	Показание (численное значение)	Число делений шкалы	Диапазон показаний	Цена деления шкалы	Постоянная шкалы	Измеренное значение
	18,0	18	0—6 мА	0,2 мА	0,2 мА	3,6 мА
	4,8	48	0—6 мА	0,1 мА	1,0 мА	4,8 мА
	6,4	—	0—1 А	—	0,1 А	0,64 А

Дискретность *цифровой шкалы* можно считать параметром, соответствующим делению шкалы.

Делитель напряжения входной (см. Входной делитель напряжения).

Делитель напряжения с частотной компенсацией — схема равномерного (пропорционального, линейного) деления напряжения в как можно большем диапазоне частот.

Все резистивные элементы (резисторы) обладают большими или

меньшими («паразитными») емкостями  $C_s$  (рис. 35), которые при повышенной частоте работают как низкоомные (шунтирующие) параллельно подключенные сопротивления. Поэтому независимо от частоты чисто омическим (активным) можно сделать только очень низкоомный делитель напряжения; при этом неисключенные паразитные

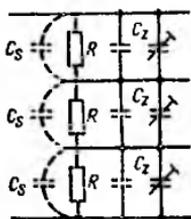


Рис. 35. Делитель напряжения с частотной компенсацией

емкости еще не оказывают влияния. Но так как в большинстве случаев необходимы не раз возможно более высокоомные делители напряжения, то параллельно резистивным плечам делителя включают конденсаторы  $C_z$  так, что низкочастотная часть спектра напряжения делится в соответствии с соотношением омических (активных) сопротивлений, а высокочастотная часть спектра — емкостями. В промежуточном диапазоне частот сопротивления и емкости должны работать так, чтобы обеспечивалось равномерное для всех частот деление напряжения. Подстройка (выравнивание) регулируемых конденсаторов осуществляется посредством испытания с помощью прямоугольного импульса.

**Делитель частоты** — функциональная схема, при помощи которой значения частоты входного сигнала делятся на целое число.

В качестве делителей частоты используются в основном схемы бистальных мультивибраторов, собранные на дискретных элементах или в интегральном исполнении. В измерительной технике делители частоты находят преимущественное использование в счетчиках импульсов и в импульсных генераторах. В генераторах синусоидального напряжения с кварцевой стабилизацией делители частоты применяются для получения значений частоты, кратных частоте кварцевого генератора.

#### Демпфирование (успокоение); затухание

1. Успокоение колебаний подвижной части измерительного механизма (*демпфирующее устройство, успокоитель*).

2. Обиходное название ослабления измерительного сигнала (*коэффициент усиления*).

**Демпфирующее устройство (успокоитель)** — конструктивный элемент измерительного механизма, предназначенный для успокоения колебаний подвижной части и обеспечивающий требуемое время успокоения.

Применяют как механические (*камерные*) успокоители, так и электрические (индукционные) успокоители.

**Детектор** — чувствительный элемент для измерений или регистрации излучения, полей или частиц.

**Децибел (дБ)** — относительная единица для измерения уровня (передачи).

**Диапазон влияния** — диапазон изменения влияющей величины, не влекущего за собой превышения погрешностью предельного значения. Диапазон влияния устанавливается в стандартах и технических условиях на средства измерений конкретного вида.

**Диапазон допустимых изменений условий эксплуатации** (см. Условия применения (эксплуатации)).

**Диапазон измерений** — диапазон значений измеряемой величины, для которых регламентированы характеристики погрешности.

Диапазон измерений задается через начальное и конечное значения (например, нижняя и верхняя границы измерений) или начальное значение и длину диапазона. В качестве конечного значения диапазона измерителей тока, напряжения, активной и реактивной мощности должны использоваться числа из ряда 1,2; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7,5; 8 или их десятичные кратные или доли значения. Диапазон измерений может охватывать весь *диапазон показаний* или часть его. У аналоговых шкал диапазон измерений в случае его отличия от диапазона показаний обозначается как рабочая часть шкалы и указывается точками на градуировочных отметках.

Протяженность диапазона измерений обозначается как интервал измерений. Средства измерений могут иметь несколько диапазонов измерений, в этом случае может указываться общий диапазон измерений. У средств измерений, осуществляющих количественный счет, например счетчиков электроэнергии, в качестве диапазона измерений указывается *диапазон нагрузки*.

Диапазон нагрузки — область значений нагрузки счетчика электроэнергии, для которых нормирована погрешность счетчика.

Диапазон нагрузки счетчика электроэнергии аналогичен диапазону измерения других средств измерений. Он задается нижним и верхним граничными значениями *нагрузки*. Во многих случаях вместо диапазона нагрузки указывается *граница перегрузки*.

Диапазон подавления — диапазон значений измеряемой величины, после которого измерительный прибор начинает давать показания.

Чтобы индцировать только часть диапазона измеряемых значений, в некоторых приборах предусматривают диапазон подавления (см. *Исключение нулевой точки*). Он может быть постоянным или иметь бесступенчатую регулировку.

Диапазон показаний — диапазон значений измеряемой величины, который может быть индцирован данным средством измерений.

Диапазон показаний не всегда соответствует *диапазону измерений*. У средств измерений, имеющих *аналоговые шкалы*, диапазон показаний в большинстве случаев идентичен *диапазону шкалы*. Измерительный прибор может иметь несколько отдельных блоков, каждый из которых позволяет измерять соответствующий поддиапазон измеряемой величины.

Диапазон рабочий (рабочая часть шкалы) — участок или сектор шкалы, в пределах которого показания прибора соответствуют его *классу точности*. У электронизмерительных приборов рабочий диапазон идентичен *диапазону измерений*.

Диапазон рабочих температур — температурный диапазон, в котором измерительные приборы и/или их составные части работают при постоянной нагрузке безаварийно.

В большинстве случаев диапазон рабочих температур не выходит за пределы  $-20 \div +40$  °С. Установленные для приборов и их составных частей классы точности должны обеспечиваться в пределах данного диапазона воздействий (см. *Влияние температуры*). Для отдельных групп измерительных приборов (например, регистрирующих приборов) диапазон рабочих температур может быть ограничен.

Диапазон частот (средства измерений) — область значений на шкале частот, при которых может применяться данное средство измерений.

Механические и электрические свойства конструктивных деталей и элементов схем измерительных приборов обуславливают их приме-

ние только при определенных частотах измеряемых переменных величин. Обобщенные диапазоны частот для различных средств измерений приведены на рис. 36. Точная информация для конкретных приборов приводится в инструкции по эксплуатации и техническом паспорте (формуляре).

Диапазон шкалы — диапазон делений аналоговой шкалы между начальным и конечным делениями шкалы.

В большинстве случаев диапазон шкалы идентичен *диапазону показаний*, однако не всегда соответствует *диапазону измерений*.

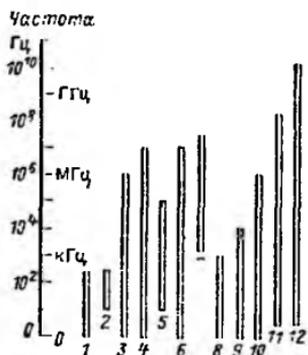


Рис. 36. Диапазон частот. Ориентировочные средние значения диапазонов частот средств измерений: 1 — измерительные приборы электромагнитной системы; 2 — трансформаторы тока и напряжения; 3 — измерительные приборы магнитоэлектрической системы с выпрямителями; 4 — тепловые измерительные приборы; 5 — компенсаторы переменного напряжения; 6 — усилительные (электронные) вольтметры; 7 — (высокочастотные) измерительные головки; 8 — самопишущие приборы; 9 — светолучевые осциллографы; 10 — осциллографы электронные с усилителями постоянного напряжения; 11 — осциллографы электронные с усилителями переменного напряжения; 12 — стробоскопические осциллографы

Диод люминесцентный (светодиод, светозлучающий диод). При определенных условиях *p-n* переход, работающий в прямом направлении, способен испускать световые кванты. При этом генерируется свет приблизительно одной длины волны (инфракрасный, красный, желтый или зеленый). В измерительной технике диоды люминесцентные используются главным образом как светозлучающие элементы мозаичных и сегментных *индикаторов*.

Дискретизация (см. Квантование).

Дисплей — цифровое устройство индикации.

В качестве дисплея используется комбинация электронных цифровых индикаторных элементов или экран электронно-лучевой трубки (устройство для отображения данных, монитор) для отображения буквенно-цифровой или графической информации.

Длина шкалы — длина аналоговой шкалы.

Длина шкалы есть расстояние между градуировочными отметками, соответствующими конечному и начальному значениям шкалы. Она измеряется вдоль опорной линии, проведенной (если ее на шкале нет, то мысленно представленной) через середину самых коротких штрихов отметок шкалы.

Длина шкалы указывается в единицах длины, реже в единицах угла. У самопишущих приборов длина шкалы соответствует ширине записи.

Длительность импульса — интервал времени, в течение которого мгновенное значение импульса существенно отличается от нуля.

Длительность импульса в каждом конкретном случае может определяться по-разному. Так, в качестве длительности импульса может быть выбран интервал времени, в течение которого мгновенное значение превосходит заданный или выбранный уровень (например,

10 % амплитудного значения). Если этот уровень составляет 50 % от амплитуды импульса, то говорят о длительности импульса на уровне 0,5. Допускается регламентировать длительность реального импульса через длительность равновеликого по площади или энергии прямоугольного импульса с равной амплитудой. Способ определения должен указываться вместе с измеренным значением.

**Длительность периода** (длительность колебания) — наименьший промежуток времени, по прошествии которого периодически изменяющаяся величина повторяет свои значения.

Величиной, обратной длительности периода, является частота.

**Добротность** (см. Коэффициент потерь).

**Добротность катушки** — мера потерь в катушке. Добротность катушки есть величина, обратная *коэффициенту потерь*.

**Дозирование** — разделение какого-либо множества на части как *метрологическая деятельность*.

При ручном или автоматически выполняемом дозировании непрерывный или состоящий из отдельных частей поток вещества разделяется при помощи измерительных приборов и дозирующих устройств по массе или объему. Результатом дозирования могут быть отдельные части множества или смесь с заданным составом. Целенаправленное смешивание (особенно в химии) иначе называют *шихтованием*.

**Допуск** — диапазон допускаемых действительных значений.

Допуск задается в виде максимально возможной или допускаемой абсолютной или (в процентах) относительной *погрешности*. Он является диапазоном между наибольшим и наименьшим возможными значениями.

**Дополнительное ускорение** — способ повышения яркости осциллограммы на экране *электронно-лучевой трубки*.

С помощью дополнительного электрода электроны после воздействия отклоняющей системы получают дополнительное ускорение и бомбардируют светящуюся поверхность экрана с большей скоростью, благодаря чему достигается значительное повышение яркости без существенного ухудшения коэффициентов отклонения. Ускоряющий электрод выполняется в виде резистивного покрытия или спирального сопротивления и располагается на внутренней поверхности электронно-лучевой трубки.

**Дрейф** — изменение опорного уровня при измерении (например, смещение нуля измерительного прибора) в течение длительного периода времени без внешних причин.

**Дрожание** — нестабильное во времени изображение (нежелательное колебание) осциллограммы или ее части в горизонтальном направлении. Причинами дрожания могут быть неточности в задержке запускающего или измеряемого сигнала или колебания между запускающим и развертывающим напряжениями.

## Е

**Единица измерений** — краткая форма термина единица измерения (физической) величины.

**Единица измерения** — установленный соглашением (международным) определенный размер физической величины, служащий для сравнения значений физической величины.

Необходимые единицы измерений установлены *международной*

*системой единиц (СИ)*. Единица измерений имеет числовое значение 1 и служит мерой физической величины при измерениях.

Приставки (милли, микро, кило, мега и др.) служат для образования дольных или кратных единиц измерения. Единицы измерений имеют свои сокращения и соответствующие обозначения (см. *Обозначения единиц измерения*). Стоящее вместе с числовым значением обозначение единицы измерения характеризует сущность физической величины; так, например, в обозначении «220 В» символ «В» свидетельствует, что измеряемой величиной является напряжение. Относительные величины и счетные величины имеют специальные единицы измерений.

**Емкость входная** (см. Входная емкость).

**Емкость катушки** — нежелательное свойство катушки.

Присоединительные клеммы катушки и ее отдельные витки образуют между собой емкости, которые не могут быть исключены, поэтому увеличение полного сопротивления катушки происходит непропорционально росту частоты.

В эквивалентных схемах замещения емкость катушки изображают в виде конденсатора  $C_v$ , параллельно соединенного с индуктивностью катушки. Он образует с идеальной индуктивностью колебательный контур, резонансная частота которого является собственной (резонансной) частотой катушки.

**ЕОКК** — Европейская организация по контролю качества.

### 3

**Заземление защитное** — способ защиты от поражения электрическим током.

Заземленное защитное заключается в том, что все изолированные металлические части устройств с помощью проводника соединяются с устройством заземления. При этом в случае поломки (пробой на корпус) ток возвращается к источнику напряжения, приводит к срабатыванию соответствующего устройства токовой защиты и поврежденное устройство отключается. Возврат тока к источнику напряжения (например, к нулевой точке трехфазной сети) осуществляется через грунт или по имеющимся системам трубопроводов. Эффективность защитного заземления устанавливается посредством *испытания заземления*.

**Зануление** — защитное мероприятие от поражения электрическим током.

В случае повреждения электроустановки, например при замыкании токоведущих частей на корпус, появляется опасность поражения электрическим током. При этом ток достигает (вследствие возросшего до опасного значения напряжения) такого значения, что выполняются *условия отключения*. С помощью предусмотренных в установке защитных устройств она отключается от сети.

Различают классическое и обесточенное зануление. В первом случае токоведущий нейтральный провод (в четырехпроводных цепях — точка соединения звезды, т. е. нулевая точка) выполняет роль нулевого провода. При обесточенном занулении нейтральный и нулевой провода проложены раздельно. Эффективность зануления определяется посредством *испытаний*.

**Запуск** (также *квантование*).

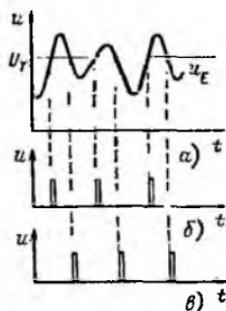
1. Процесс формирования выходного сигнала *схемы запуска* при

достижении на входе предварительно выбранного (установленного) состояния. Состояние входа задается *уровнем синхронизации (запуска и полярностью синхронизации (запуска)* (рис. 37).

С помощью регулятора уровня выбирается значение напряжения  $U_T$ . При совпадении (равенстве) входного (измеряемого) напряжения с уровнем синхронизации (запуска) формируется импульс с ко-

Рис. 37. Запуск. Формирование запускающих импульсов из измеряемого напряжения:

*a* — форма входного напряжения и уровень запуска  $U_T$ ; *б* — запускающие импульсы при положительной полярности запуска; *в* — запускающие импульсы при отрицательной полярности запуска



роткой длительностью (короткий импульс) на нарастающем либо на спадающем участке входного напряжения (положительная или отрицательная полярность синхронизации, запуска).

2. Жужжащая развертка осциллографа (стабилизация индикации). Обеспечение запуска в осциллографе означает установление постоянных временных и фазовых соотношений между измеряемым напряжением (сигнал в канале вертикального отклонения) и формируемым в приборе пилообразным напряжением временной развертки и, следовательно, получение «неподвижной» осциллограммы. Чтобы получить устойчивую стабильную осциллограмму, необходимо согласовать *источник синхронизации, вход синхронизации, уровень синхронизации и полярность синхронизации*. Следует учитывать *чувствительность синхронизации* и диапазон частот синхронизации осциллографа.

Защита от перегрузки — схема защиты комбинированных приборов от перегрузки и повреждений измерительного механизма из-за неправильного обслуживания и ошибочного подключения.

Современные измерительные приборы обеспечиваются быстродействующими условными предохранителями и/или электронными схемами защиты. Так, например, параллельно измерительному механизму могут подключаться два встречно включенных диода (рис. 38, *a*) или один стабилитрон (рис. 38, *б*). При нормальной работе падение напряжения на измерительном механизме настолько мало, что ток через диод отсутствует. При перегрузке напряжение на измерительном механизме возрастает а с ним и ток через диоды (экспоненциально). При этом срабатывает слаботочный предохранитель, разрывающий токовую цепь. Отключение токовой цепи может осуществляться с помощью реле, которое управляется через усилитель. Входной величиной усилителя является падение напряжения на сопротивлении, включенном последовательно с измерительным механизмом (рис. 38, *в*). При перегрузке возрастают ток и напряжение и происходит отключение прибора.

Значение величины — количественная характеристика физической величины.

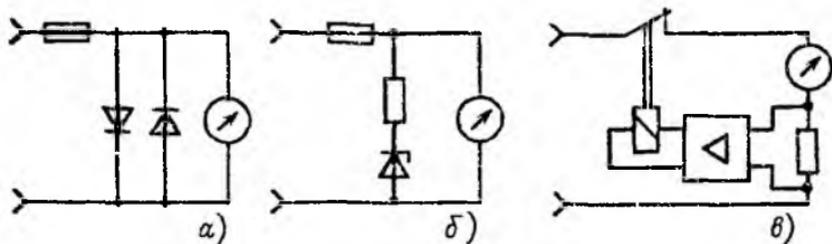


Рис. 38. Защита от перегрузки. Примеры схем:

а — схема с антипараллельными диодами; б — схема со стабилитроном; в — схема на реле с электронным управлением

Значение представляет собой измеряемое (измеренное) количество выраженные свойства, характеризующего данной величиной. Оно выражается произведением *численного значения* как характеристики количества и *единицы измерения* как характеристики типа величины, например, 5,6 кОм, 220 В. Если отмечается, что значение получено в результате измерений, то говорят об *измеренном значении*.

Значение в данный момент времени (см. Мгновенное значение).

Значение действительное — значение физической величины, определенное в конкретный момент времени при заданных условиях посредством *измерений*.

Значение измеренное — значение физической величины, определенное посредством показания средства измерений при единственном наблюдении (измерении).

Для любой физической величины измеренное значение записывается в виде произведения численного значения и единицы измерения:

Измеренное значение — численное значение × единица измерения, например, напряжение сети 220 В. Следует иметь в виду, что измеренное значение не во всех случаях может быть принято в качестве *результата измерения*. Так, при высоких требованиях к точности необходимо учитывать, что измеренное значение неидентично истинному значению измеряемой величины. Точное указание измеренного значения требует оценки *погрешности измерений*.

При работе с однодиапазонными приборами измеренное значение считывается непосредственно со шкалы. При измерениях многодиапазонными приборами на шкале считывается лишь численное значение, которое умножают на *постоянную шкалы* и получают измеренное значение. Зачастую измеренное значение называют измерительными данными (при многократных измерениях — результатами наблюдений).

Значение индицируемое (см. Значение измеренное).

Значение истинное — значение физической величины, которое могло бы быть получено при условии, что измерение осуществляется без погрешности.

Истинное значение есть понятие идеализированное. Оно не может быть определено экспериментально и поэтому в общем случае остается неизвестным. На практике используют правильное (действительное) значение.

Значение конечное — конечное значение диапазона измерений.

**Значение максимальное** (наибольшее значение) — наибольшее значение, которое может принимать *мгновенное значение* периодической величины.

Максимальное значение *смешанной* или *переменной величины* в общем случае обозначается в формулах символом  $X_{max}$  или  $\hat{X}$ . Обозначение максимального значения символом  $X_{max}$  со временем должно быть исключено, так как индекс «*max*» рекомендуется для наибольшего значения, которое не зависит от времени, например для наибольшего из возможных значений напряжения  $U_{max}$ . Часто допускается нечеткое обозначение *пикового значения* как амплитудного. При необходимости допускается *наименьшее значение* обозначать как специальное максимальное. Если речь идет о наблюдаемой переменной величине синусоидальной формы, то допускается максимальное значение обозначать как *амплитуду*.

**Значение мгновенное** (см. Мгновенное значение).

**Значение наименьшее** — наименьшее из мгновенных значений периодической величины.

Значение наименьшее есть отрицательное амплитудное значение (см. *Смешанная величина*). Оно обозначается  $X_{min}$  или  $\underset{V}{X}$  (например,  $U_{min}$ ,  $\underset{V}{U}$ ).

**Значение номинальное** — значение физической величины, характеризующее рабочую область *измеряемого объекта* или *средства измерения*.

Значение номинальное есть заданное значение (измеряемой) величины. Ранее номинальное значение обозначало также значение или область (интервал) значений одной или нескольких величин, характеризующих *условия применения эксплуатации* средств измерений. В некоторых случаях *диапазон измерения* также задается в виде номинального значения.

**Значение номинальное (заданное)** — значение, которое должна иметь физическая величина.

Номинальное значение радиоэлемента, т. е. воспроизводимое значение величины, указывается изготовителем (например, падпью). Значение номинальное в общем случае указывается без учета возможного разброса. Однако при необходимости во многих случаях дополнительно указываются неопределенность и погрешность (см. *Допуск*).

**Значение нормирующее** — значение, к которому относится погрешность средства измерений и/или добавочного устройства; устанавливается для определения (оценки) погрешности измерений.

Нормирующим значением называют то значение, по отношению к которому в процентах определяется *класс точности*. В качестве нормирующего значения преимущественно используются конечное значение диапазона измерения, длина шкалы, действительное или номинальное значения. Оно указывается в виде дополнительного символа с обозначением класса точности.

**Значение «от пика до пика»** (см. Размах колебаний).

**Значение пиковое** — амплитудное значение, имеющее место в течение очень короткого (по сравнению с длительностью периода) интервала времени.

**Значение постоянное** — усредненное по времени среднее арифметическое значение периодической величины.

Постоянное значение (в отличие от *эффективного значения*) есть

среднее значение периодической величины в течение одного периода  $T$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt.$$

Постоянное значение обозначается штрихом в виде индекса над буквенным символом или после него:  $\bar{x}$ ,  $x$  — или  $X$  —.

У постоянных величин мгновенное значение и постоянное значение совпадают. Смешанная величина имеет отличное от нуля постоянное значение, на которое как бы наложена переменная составляющая (рис. 39).

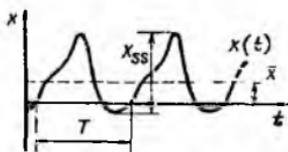


Рис. 39. Постоянное значение  $\bar{x}$  смешанной величины:

$X_{ss}$  — размах колебаний (значение от пика до пика);  $T$  — длительность периода

У переменных величин постоянное значение равно нулю. У синусоидальных величин это особенно четко видно, так как положительная и отрицательная полуволны имеют зеркально отраженную форму и расположены симметрично относительно оси времени. В этом случае говорят о *средневыпрямленном значении*.

**Значение правильное (действительное)** — значение физической величины, очень близкое к истинному значению.

Так как измерение без погрешности практически невозможно, то за истинное значение принимают правильное (действительное) значение, определенное с соответствующей поставленной цели и потребности погрешностью и числом разрядов (значащих цифр); его используют при вычислении погрешности.

Практически за правильное (действительное) значение принимают результат достаточно длинного ряда измерений, не содержащих систематической погрешности.

**Значение промежуточное** — значение величины промежуточной. Иногда встречается нечеткое название *промежуточной величины* — *промежуточное значение*.

**Значение средневывпрямленное** (см. Средневывпрямленное значение).

**Значение среднее арифметическое** (см. Среднее арифметическое значение).

**Значение среднее** (см. Среднее значение).

**Значение численное** — число, показывающее, как много единиц измерения содержится в наблюдаемой величине.

Значение численное, стоящее перед *единицей измерения*, является составной частью *значения величины*. Оно представляет собой отношение измеряемого значения к единице измерения и характеризует размер (количество) величины. Напряжение сети (220·В) имеет, например, численное значение 220. В зависимости от выбранной единицы измерения численное значение может быть различным (например, скорость транспортного средства 50 км/ч = 13,9 м/сек).

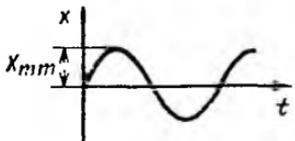
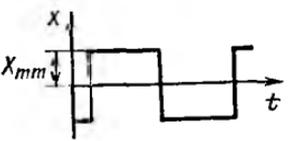
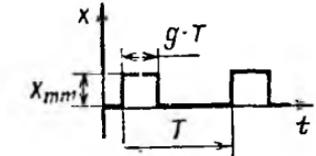
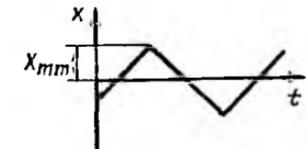
Значение эффективное — среднее квадратическое значение периодически изменяющейся величины.

Эффективное значение переменной во времени величины вызывает за один период своего изменения такой же эффект (например, тепловое воздействие тока или величина вращающего момента), как значение *постоянной величины*.

В общем случае эффективное значение определяется выражением

$$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt}$$

Таблица 3. Соотношение между эффективным и амплитудным значениями различных форм сигналов

Форма сигнала	Формулы для расчета
	$X_{\sim} = X_{mm} / \sqrt{2} \approx 0,71 X_{mm}$ $X_{mm} = \sqrt{2} X_{\sim} \approx 1,41 X_{\sim}$
	$X_{\sim} = X_{mm}$
	$X_{\sim} = \sqrt{g} X_{mm}$ $X_{mm} = X_{\sim} / \sqrt{g}$
	$X_{\sim} = X_{mm} / \sqrt{3} \approx 0,58 X_{mm}$ $X_{mm} = \sqrt{3} X_{\sim} \approx 1,73 X_{\sim}$

В математических выражениях (чтобы не путать с единицей измерения) эффективное значение какой-либо величины обозначается волнистой линией или индексом «эф». Для часто встречающихся в электротехнике форм сигналов имеют место соотношения между эффективным значением и *максимальным значением* (табл. 3).

Зонд (шуп) — чувствительный элемент для подключения к измеряемому объекту в труднодоступных местах.

## И

**Измерение** — экспериментальная метрологическая деятельность, направленная на количественное определение значения физической величины.

При помощи соответствующих друг другу *методов и средств измерений* (например, линейки, амперметра) осуществляется сравнение измеряемой величины (например, длины, силы тока) с единицей измерения (например, метр, ампер). Результатом сравнения является относительное значение (число). Полученная количественная характеристика некоторого свойства измеряемого объекта с соответствующей единицей измерения (например, 0,74 м, 162 мА) принимается в качестве *измеренного значения* и является в простейшем случае *результатом измерения*.

При статических измерениях измеряемая величина принимается не зависящей от времени, т. е. неизменной по крайней мере в течение времени измерений (например, измерения постоянного тока, эффективного значения переменного напряжения). Целью динамических измерений является определение мгновенных значений физических величин или их изменения во времени (например, измерения при помощи осциллографа или самонапрягающего прибора). Во многих случаях измерения являются непременным условием проведения *испытаний*.

**Измерение активной мощности** — определение значения электрической *активной мощности*.

Косвенные методы измерения *активной мощности* предусматривают использование в цепях постоянного тока и однофазных двухпроводных цепях, проще говоря, в отдельных фазах трехфазной сети метода определения мощности через измерение тока и напряжения (при переменном токе) с дополнительным измерением коэффициента мощности, *метода трех вольтметров* или *метода трех амперметров*. В специальных схемах при косвенном измерении активной мощности используется также компенсатор или осциллограф.

Прямое измерение активной мощности обеспечивается всеми основными схемами измерения мощности; метод выбирается с учетом системы энергоснабжения. В симметрично нагруженных трехфазных сетях со средним проводом или без него преимущественно используется *метод одного ваттметра*. Если трехфазная сеть нагружена несимметрично, то наибольшую точность и наименьшие затраты обеспечивает *метод трех ваттметров*. В случае произвольно нагруженной трехфазной сети со средним проводом (см. *Схема Арона двойная*) или без него (см. *Схема Арона*) может быть использован также *метод двух ваттметров*. При измерении активной мощности в цепях постоянного тока следует принимать во внимание некоторые особенности (см. *Измерение мощности постоянного тока*).

**Измерение взаимной индуктивности** — определение значения взаимной индуктивности.

Измерение взаимной индуктивности может быть сведено к измерению собственных индуктивностей. Две индуктивно связанные катушки с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$  сначала соединяются последовательно и согласно, при этом их поля имеют общее направление. Эквивалентная индуктивность вычисляется согласно выражению

$$L_a = L_1 + L_2 + 2M = L_1 + L_2 + 2k\sqrt{L_1 L_2}.$$

В случае последовательного, но встречного включения катушки имеют противоположные направления намотки витков. При этом

$$L_b = L_1 + L_2 + 2M = L_1 + L_2 - 2k\sqrt{L_1 L_2}.$$

Конкретные значения  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_a$  и  $L_b$  определяются путем измерения собственных индуктивностей. После этого коэффициент взаимной индукции определяется по выражению

$$M_x = \frac{L_a - L_b}{4},$$

а коэффициент связи

$$k = \frac{1}{2} \frac{L_a - L_b}{L_1 L_2}.$$

Значения индуктивностей  $L_1$  и  $L_2$  должны быть примерно одинаковыми. Чем меньше разность  $L_a - L_b$ , т. е. когда  $M_x$  мал, тем большую погрешность дает данный способ.

Во многих случаях измерение взаимной индуктивности осуществляется измерительными мостами переменного тока (см. *Мост измерительный индуктивный*).

**Измерение времени осциллографическое** — определение временного интервала между двумя мгновенными значениями сигнала с помощью *осциллографа*.

Измеряемый сигнал в режиме временной развертки подают на У-вход, выбирают соответствующий тип входной связи и синхронизации, устанавливают удобные коэффициенты временной развертки и отклонения с тем, чтобы получить на экране как можно более крупную осциллограмму с необходимой яркостью и резкостью.

При определении численного значения интервала времени переключатель временного масштаба должен находиться в определенном (установленном) положении (например, с обозначением КАЛИБР или КАЛ.), а *растяжение* должно быть выключено (либо его коэффициент необходимо учесть в вычислениях).

Мгновенное значение, соответствующее началу измеряемого интервала времени, следует путем горизонтального смещения изображения совместить с удобной вертикальной растровой линией и определить расстояние до второго мгновенного значения, ограничивающего интересующий интервал (рис. 40).

Интервал времени определяют умножением расстояния  $X$  на коэффициент временной развертки  $K_t$ :

$$t = XK_t.$$

**Измерение емкости** — определение значения емкости конденсаторов или других устройств емкостного характера.

При измерении емкости должны соблюдаться общие условия, при условии измерения полных сопротивлений. Измерения должны про-

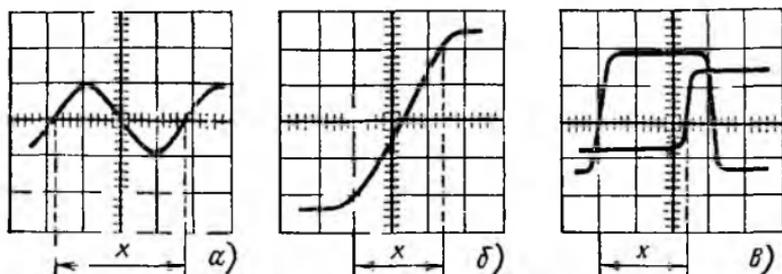


Рис. 40. Измерение времени осциллографическое. Примеры определения численных значений по осциллограмме:

*а* — определение длительности периода; *б* — определение времени нарастания; *в* — определение временного интервала между исходным и задержанным сигналами

водиться при заданном рабочем или измерительном напряжении. Следует помнить в виду, что при низком напряжении погрешностью из-за утечки по изоляции пренебрегают. Для измерения емкости необходимо измерительное напряжение синусоидальной формы с определенным значением рабочей частоты, так как наличие высших гармоник вследствие зависимости  $X_C = 1/\omega C$  приводит к сильному искажению формы тока.

При измерении параметров электролитических конденсаторов применяется постоянное напряжение смещения, значение которого должно быть больше амплитудного значения переменного измерительного напряжения.

Для косвенного измерения емкости могут быть использованы метод амперметра/вольтметра/частотомера или метод амперметра/вольтметра/частотомера/ваттметра, метод, основанный на сравнении зарядов конденсаторов, и (особенно при больших значениях емкости) метод, основанный на измерении постоянной времени разряда.

Для прямых измерений емкости используют вольтметр, отградуированный в единицах емкости, или прибор с электродинамическим логометрическим измерительным механизмом. Для измерения емкости широко используются емкостные измерительные мосты. Измерение емкости при помощи электродинамического логометра аналогично логометрическому омметру, в котором используется метод сравнения токов, для измерения емкости может быть использован электродинамический логометр с образцовым конденсатором  $C_x$  и питаемым от источника напряжения переменного тока.

**Измерение индуктивности** — определение значения собственной и/или взаимной индуктивности.

Во многих случаях измерением индуктивности называют процесс измерения собственной индуктивности. При необходимости следует различать измерение индуктивности и измерение взаимной индуктивности.

**Измерение коэффициента гармоник** — способ измерения коэффициента гармоник. Измерения проводятся преимущественно при помощи мостов измерительных нелинейных искажений.

**Измерение коэффициента модуляции** — измерительный метод для определения или контроля коэффициента модуляции при амплитудной модуляции.

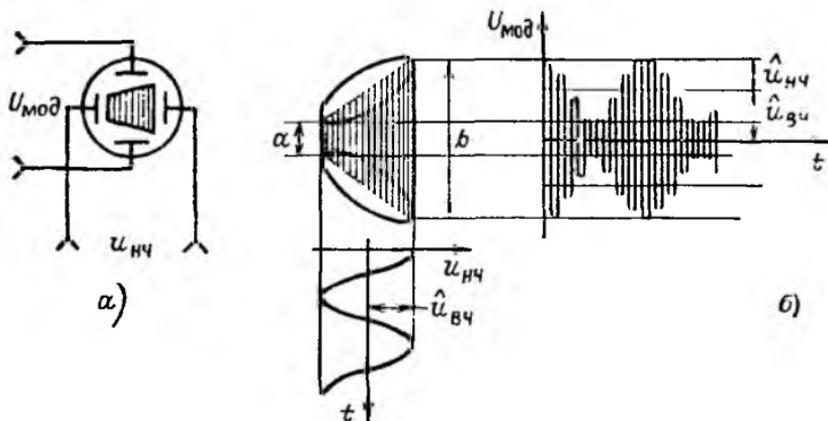


Рис. 41. Измерение коэффициента модуляции с помощью осциллографа:  
 а — схема измерения; б — изображение модуляционной трапеции

Измерение коэффициента модуляции осуществляется преимущественно с помощью осциллографа. Модулируемое высокочастотное напряжение ( $u_{\text{мод}}$ ) подается на Y-вход, а модулирующее низкочастотное напряжение ( $u_{\text{нч}}$ ) — на X-вход осциллографа (рис. 41, а). При этом на экране возникает так называемая модуляционная трапеция (рис. 41, б). Измеряя параметры этой трапеции, определяют коэффициент модуляции:

$$m = \frac{b - a}{b + a}.$$

Коэффициент модуляции можно измерить также с помощью измерительного механизма со скрещенными катушками, если в цепь каждой катушки включить пиковый детектор соответственно высокой и низкой частот.

Измерение коэффициента мощности — определение значения коэффициента мощности.

При неперiodическом контроле допускается проводить косвенное измерение коэффициента мощности методом трех вольтметров или методом трех амперметров. Коэффициент мощности вычисляется по результатам измерений тока, напряжения, частоты, мощности или измерений активной и реактивной мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\sim}}{U_{\sim} I_{\sim}} \quad \text{или} \quad \cos \varphi = \frac{P_{\sim}}{\sqrt{P^2 + Q^2}}.$$

Другим путем определения  $\cos \varphi$  является обработка показаний при измерении мощности методом двух ваттметров (см. схему Арона) с помощью диаграмм.

Прямое измерение коэффициента мощности и непрерывные показания получают главным образом с помощью электродинамического логометра, используемого в качестве измерителя коэффициента мощности. В цепях однофазного переменного тока и симметрично нагруженного трехфазного (в последних значении  $\cos \varphi$  во всех фазах оди-

наково) достаточно подключения измерителя коэффициента мощности. При этом показание прибора соответствует значению  $\cos \varphi$  в той фазе, в которую включена цепь тока прибора. При циклическом переключении всех разъемов тока и напряжения и при несимметричной нагрузке необходимо измерять  $\cos \varphi$  в каждой фазе отдельно.

**Измерение коэффициента потерь** — определение коэффициента потерь конденсаторов и катушек индуктивности.

Коэффициент потерь, или добротность как обратная величина, может быть вычислен через измеренные значения, полученные *методом измерения тока, напряжения, частоты, активной мощности*. Прямое измерение коэффициента потерь может быть осуществлено с помощью *емкостных или индуктивных измерительных мостов*. При всех способах измерений необходимо учитывать зависимость коэффициента потерь от частоты, рабочего напряжения и температуры.

**Измерение магнитных величин.** Магнитные величины тесно связаны с электрическими величинами, поэтому во многих случаях измерение магнитных величин осуществляется электрическими средствами измерений.

Измерение потока магнитной индукции осуществляется при помощи *флюксметра* (всербметра) или *преобразователя Холла*. Изображение гистерезисных характеристик может осуществляться при помощи осциллографа.

**Измерение мощности** — определение значения электрической мощности.

При измерении мощности следует учитывать существование различных составляющих мощности: различают *активную, реактивную и полную мощности*. К измерению мощности относят во многих случаях *измерение коэффициента мощности. Мощность искажений* может быть определена лишь путем вычислений. Число *ваттметров* и схема их соединения выбираются исходя из системы электроснабжения (табл. 4).

Электроинные ваттметры базируются главным образом на принципе генератора Холла или используют умножительные схемы, но вследствие высокой схемотехнической сложности до сих пор мало распространены.

**Измерение мощности постоянного тока** — определение электрической *активной мощности* в цепях постоянного тока.

Для измерения мощности постоянного тока косвенным методом в простейшем случае проводятся измерения тока и напряжения (см. *Определение мощности*). Для точного определения в особенности малых значений мощности может быть использован *компенсатор*. Для точного измерения мощности постоянного тока (как в случае *измерения активной мощности* переменного тока) используют *электродинамический ваттметр* с непосредственным его включением в схему ( $\cos \varphi = 1$ , так как  $\varphi = 0^\circ$ ). Расширение диапазона измерений осуществляется путем подключения шунтирующего и добавочного сопротивлений (рис. 42). В случае использования электродинамического измерительного механизма в цепях постоянного тока необходимо учитывать погрешность от гистерезиса, большую, чем в случае измерения на переменном токе.

В случае статического постоянного напряжения в качестве индикатора используется *измеритель тока, отградуированный в единицах мощности*.

**Измерение напряжения** — определение значения электрического напряжения.

Таблица 4 Измерение мощности в различных токовых цепях

Цепь тока	Измерение мощности		
	активной	реактивной	полной
Двухпроводная постоянного тока	6, 7, 8	—	—
Однофазная двухпроводная переменного тока	3, 4, 6, 8 и 13	9, 10	В каждом фазном проводе скомбинированы: 5 и 6; 6 с предварительным выпрямителем: 7, 8
Трехфазная четырехпроводная, нагруженная: симметрично несимметрично	2, 6 2, 12	1, 5, 9 1, 12	
Трехфазная трехпроводная, нагруженная симметрично несимметрично	2, 6 2, 11	5 11	

Обозначение методов измерения: 1, 2 — трех ваттметров; 3 — трех вольтметров; 4 — трех амперметров; 5, 6 — одного ваттметра; 7 — амперметром, отградуированным в единицах мощности; 8 — тока и напряжения; 9 — по схеме Гуммеля; 10 — ток, напряжение, частота, активная мощность; 11 — по схеме Арона; 12 — по схеме Арона двойной; 13 — коэффициента мощности.

При измерении напряжения определяется разность потенциалов между двумя точками токовой цепи путем подключения к этим точкам *вольтметра*, т. е. параллельным подключением к измеряемому объекту (рис. 43). Измерение напряжения на сопротивлении с известным значением часто используется как косвенный способ измерения тока.

При выборе вольтметра с возможно более высоким сопротивлением в первую очередь учитывают его пригодность к измерению по-

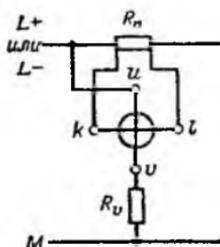


Рис. 42. Измерение мощности постоянного тока

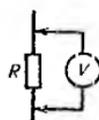


Рис. 43. Измерение напряжения

стоянных и/или переменных величин, диапазон и условия применения, а также погрешность измерений. При измерении постоянных напряжений и напряжений на низких частотах необходимо принимать во внимание, что измеряемый объект нагружается активным сопротивлением измерительного прибора. Необходимо обращать внимание на паразитные пульсации, а также гальванические и механические соединения. Частота измеряемого напряжения тоже является источником дополнительной погрешности. Активная нагрузка весьма незначительна при использовании электронных измерительных приборов с высоким входным сопротивлением. Емкость соединительных кабелей и входная емкость с ростом частоты образуют заметную емкостную нагрузку, которая может быть уменьшена использованием (высокочастотной) измерительной головки. Индуктивная нагрузка, имеющая место вследствие ненулевой индуктивности соединительных кабелей, может оказаться причиной частотных рассогласований и резонансных явлений; ее ограничивают, применяя короткие соединительные кабели. При измерениях, особенно на высоких частотах, необходимо исключить возможное образование паразитных связей по магнитному полю через близко расположенные металлические предметы или прикосновение руки (емкость руки) к высокочастотным токоведущим линиям. Подключение всех заземляющих проводов к одной точке исключает возможность образования индуктивных петель. Техника высоких частот является специальной областью и вследствие сложности не может быть здесь рассмотрена.

**Измерение напряжения осциллографическое** — определение мгновенного значения напряжения (или преобразованной в напряжение величины) с помощью *осциллографа*.

Измеряемое напряжение подключают к У-входу, выбирают соответствующую *входную цепь* и тип *синхронизации*, устанавливают нужные *коэффициенты развертки* и *вертикального отклонения* и получают осциллограмму при необходимой яркости экрана и фокусировке луча. Для количественных определений вершней усиления должен находиться в определенном (изготовителем) положении (обозначенным, например, CAL, CALI, или по-другому).

При относительном осциллографическом измерении напряжения отклонение относительно размаха колебаний (рис. 44, а) или интересующего момента времени (рис. 44, б) устанавливается при помощи *растра*.

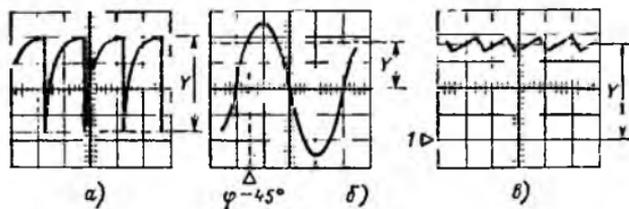


Рис. 44. Измерение напряжения осциллографическое. Примеры определения численных значений на осциллограмме:

а — определение размаха колебаний (значения \*от пика до пика\*); б — определение мгновенного значения при  $\varphi = 45^\circ$ ; в — определение постоянной составляющей напряжения (опорная линия *I*, соответствующая нулевому потенциалу, совмещена с первой снизу различной растровой линией)

При абсолютном осциллографическом измерении напряжения в качестве опорного используют потенциал массы. К усилению сигнала подводится этот относительный потенциал. Осциллографическая нулевая линия с помощью корректора вертикального смещения совмещается с (опорной) растровой линией. Затем осциллографируется измеряемый сигнал и определяется отклонение относительно опорной линии (рис. 44, в).

Значение напряжения получают в каждом случае умножением отклонения  $Y$  на коэффициент отклонения  $K_Y$ :  $u = YK_Y$ .

Измерение неэлектрических величин — способы измерения физических, механических, тепловых, временных и оптических величин при помощи электрических индикаторов. Эти способы возможны при условии, что измеряемая величина с помощью соответствующего чувствительного элемента может быть преобразована в пропорциональный электрический сигнал. Электрическими способами осуществляется измерение яркости света, измерение усилий, измерение температуры, измерение перемещений линейных и угловых.

Измерение освещенности — определение яркости освещенной поверхности.

Измерение освещенности является главным критерием при качественной оценке осветительных устройств. Для измерения освещенности используются специальные приборы *измерители освещенности* (люксметры). Данный метод получил широкое распространение благодаря тому, что применение простого переносного прибора позволяет объективно оценить освещенность рабочего места, выявить затемненные места, вызванные неправильным размещением оборудования и организацией рабочих мест, а также определить необходимое и достаточное количество точек измерений.

Измерение переменных величин — определение значения переменной величины (например, переменного тока или напряжения).

Для измерения *переменной величины* измерительный прибор выбирают с учетом характера и частотного диапазона измеряемой величины. Точное измерение переменной величины предполагает определение линейного и/или среднего квадратического значения или мгновенного значения, включая определение формы сигнала (изменение во времени мгновенных значений), частоты и фазового угла. Во многих случаях оказывается достаточно измерения *эффективного значения* или *размаха колебаний*.

При синусоидальной форме величины в низкочастотном диапазоне определяют преимущественно эффективное значение. Для этого могут быть использованы любые измерительные приборы с квадратичной шкалой: термические, электродинамические, электростатические и электромагнитные. Приборы с выпрямлением определяют *средневыпрямленное значение*. Шкала отградуирована с учетом синусоидальной формы величины (см. *Коэффициент формы*) так, что эффективное значение может быть считано непосредственно. Поэтому однотипные измерительные приборы (например, широко распространенные комбинированные приборы) индицируют несинусоидальные величины неправильно.

У несинусоидальных величин с помощью электронных измерительных приборов, в основном осциллографов, определяется размах колебаний (значение от пика до пика). Посредством *осциллографического измерения напряжения* удастся измерить также характерные мгновенные значения. Если имеет место изменение переменной величины на постоянную, то в этом случае необходимо поступить как при

измерении смешанных величин. У электроизмерительных приборов прямого действия и электронных приборов с симметричным входом допускается произвольный порядок подключения. Однако у большинства электронных приборов один из полюсов входной цепи соединяется с массой или с землей (несимметричный вход), что необходимо принимать во внимание при подключении к измеряемому объекту.

**Измерение перемещения** — определение изменения геометрических размеров (например, длины) путем преобразования в электрическую величину.

Для измерения малых перемещений используют омические (резистивные) чувствительные элементы. Для измерения толщины пленки и уровня (например, жидкости) пригодны емкостные чувствительные элементы. Универсальным чувствительным элементом длины (перемещения) является индуктивный чувствительный элемент. Цифровое измерение перемещения осуществляется с помощью аналогоцифрового преобразователя по методу кодовых масок.

**Измерение полной мощности** — определение электрической полной мощности.

Измерение *полной мощности* однофазного переменного и трехфазного тока осуществляется главным образом косвенным путем. При *определении мощности* через измерение тока и напряжения определяются их эффективные значения и вычисляется полная мощность.

Непосредственная индикация полной мощности может осуществляться одним *ваттметром* активной мощности в том случае, если фазовый сдвиг из измерений исключен. Для этого посредством выпрямительной схемы переменные токи преобразуются в пропорциональные постоянные токи и их произведение индицируется с помощью электродинамического измерительного механизма. Чтобы этот способ можно было применять и на высоких частотах и с малыми потерями, часто используются *измерительные усилители*.

При постоянном напряжении для измерения полной мощности может быть использован отградуированный в единицах мощности *амперметр*. Определение полной мощности возможно путем геометрического сложения измеренных значений *активной и реактивной мощности*:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

**Измерение полных сопротивлений** — измерение сопротивления на переменном токе.

Для измерения полных сопротивлений необходим источник переменного тока с (точно) известной или измеряемой постоянной или изменяющейся частотой. Высшие гармоники должны отсутствовать, так как вследствие частотной зависимости они могут внести потери (погрешности). Заземление одного из полюсов источника напряжения не является обязательным. Чем выше частота, на которой осуществляется измерение, тем важнее электростатическое и/или магнитное *экранирование*. Во многих случаях бывает достаточно измерения суммы полных сопротивлений. Это осуществляется преимущественно косвенным способом при определении сопротивления посредством измерения тока и напряжения. Отношение определенных эффективных значений тока  $I_{\sim}$  и напряжения  $U_{\sim}$  дает значение полного сопротивления  $Z$ :

$$Z = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}}.$$

В зависимости от характера полного сопротивления, т. е. преобладающей реактивной части, его значение может быть определено путем измерения емкости или измерения индуктивности.

**Измерение постоянной величины** — определение значения постоянной величины (например, постоянного тока или напряжения).

Статическая постоянная величина однозначно определяется значением и полярностью. Измеряется мгновенное значение, являющееся константой, и принимается за значение постоянной величины. При измерении таких величин необходимо обращать внимание на полярность подключения измерительного прибора.

Колеблющуюся (пульсирующую) постоянную величину можно представить (разложить) в виде суммы постоянной и переменной составляющих и обрабатывать, как при измерении смешанной величины. Если для измерения пульсирующей постоянной величины, т. е. содержащей переменную составляющую, применяется прибор, предназначенный для измерения постоянных величин, то его вход необходимо зашунтировать конденсатором (подключить параллельно ко входу).

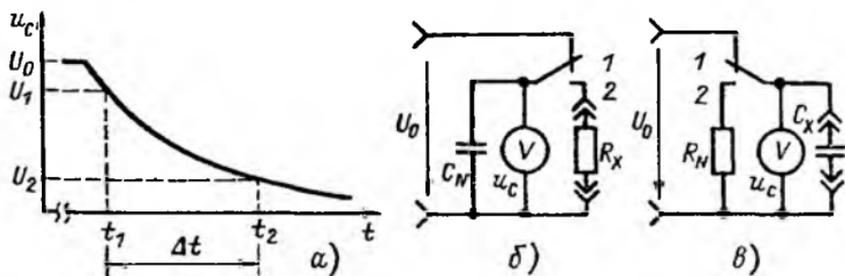


Рис. 45. Измерение постоянной времени разряда:

а — форма напряжения и измеряемые величины при разряде конденсатора; б — схема измерения сопротивления; в — схема измерения емкости; 1 — заряд; 2 — разряд

**Измерение постоянной времени разряда** — способ измерения сопротивления и емкости.

Напряжение на конденсаторе  $u_c$  при его разряде имеет экспоненциальную форму (рис. 45, а):

$$u_c = U_0 e^{-t/\tau}.$$

При этом продолжительность процесса разряда определяется емкостью конденсатора  $C$  и сопротивлением разряда (цепи разряда)  $R$ . Постоянная времени разряда  $\tau$  равна произведению этих величин, одна из которых должна быть известна, а другая может быть определена путем измерения напряжения и времени:

$$\tau = CR.$$

При измерении считываются два значения действующего напряжения  $U_1$  и  $U_2$  в момент времени  $t_1$  и  $t_2$ . При наличии образцового конденсатора  $C_N$  (рис. 45, б) сопротивление определяется выражением

$$R_x = - \frac{t_2 - t_1}{C_N (\ln U_2 - \ln U_1)}.$$

При наличии образцового сопротивления (с известным значением)  $R_x$  емкость определяется (рис. 45, в) выражением

$$C_x = -\frac{t_2 - t_1}{R_N (\ln U_2 - \ln U_1)}$$

В большинстве практических случаев бывает достаточно учитывать лишь разрядное сопротивление. Для точных измерений необходимо принимать во внимание *сопротивление измерительного прибора* и сопротивление потерь конденсатора.

**Измерение реактивной мощности** — определение электрической *реактивной мощности*.

Косвенное измерение мощности возможно путем последовательного измерения тока/напряжения/частоты/активной мощности. При прямом измерении реактивной мощности допускается во всех основных схемах подключения измерителей мощности применять *измеритель реактивной мощности*; методы должны выбираться исходя из системы токоснабжения. В измерителях мощности для однофазных сетей переменного тока с постоянной частотой используется *схема Гуммеля*. Она может применяться также и в симметричных трехфазных четырехпроводных сетях (системах), но при этом токовая цепь включается в фазный провод, а катушка напряжения — в цепь искусственной нулевой точки между фазным и средним проводами (включение на «чужие фазы»). В симметричных трехфазных сетях со средним проводом или без него используют метод измерения реактивной мощности одним ваттметром. При несимметричной нагрузке во всех трехфазных системах необходимо использовать *метод трех ваттметров*. В трехфазных трехпроводных системах главным образом применяют *метод двух ваттметров* (см. *Схема Арона*).

**Измерение реактивной мощности методом одного ваттметра** — метод непосредственного измерения *реактивной мощности* в симметрично нагруженной трехфазной сети с нулевым проводом и без него.

В трехфазной сети при симметричной нагрузке реактивная мощность во всех фазах одинакова. Поэтому возможно использование одного *ваттметра*, подключенного таким образом, что токовая цепь включается в одну фазу, а цепь напряжения подключается к двум другим (рис. 46). При этом обеспечивается необходимый для измерения реактивной мощности фазовый сдвиг, имеющий место в трехфазной сети, т. е. сдвиг фаз  $90^\circ$  между фазным и линейным напряжениями. Чтобы получить суммарную (общую) реактивную мощность трехфазной системы, необходимо показание прибора умножить на

$\sqrt{3}$ . Для проведения измерения используются схемы прямого, косвенного и полукосвенного подключения измерителя реактивной мощности (см. *Схема подключения ваттметра*).

**Измерение силы** — определение значений сил (усилий) и функционально связанных с ними величин; осуществляется путем ее преобразования в пропорциональное значение электрической величины, для чего преимущественно применяются *нашли пьезоэлектрические* и *тензометрические первичные измерительные преобразователи*.

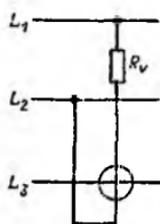


Рис. 46. Измерение реактивной мощности методом одного ваттметра

**Измерение смешанных величин** — определение значений параметров *смешанной величины* (например, смешанного тока, постоянного напряжения с наложенными колебаниями).

Для точного измерения смешанных величин необходимо указывать помимо среднего и/или среднего квадратического значения или мгновенного значения также форму сигнала (характер изменения мгновенного значения во времени), частоту и фазовый угол. Во многих случаях бывает достаточно измерения *постоянного значения*  $X_{\sim}$  (см. *Измерение постоянной величины*) и эффективного значения переменной составляющей  $X_{\sim}$  (см. *Измерение переменных величин*). Эффективное значение  $X_{\sim}$  смешанной величины может быть непосредственно определено измерительным прибором, показание которого связано с квадратом измеряемой величины (квадратичный характер шкалы). Его можно определить математически (вычислить):

$$X_{\sim} = \sqrt{X_{\sim}^2 + X_{\sim}^2}$$

Постоянную и переменную составляющие можно разделить посредством трансформатора без сердечника или конденсатора. С целью уменьшения погрешности измерения необходимо учитывать допустимое рабочее напряжение конденсатора, а емкость выбирать такой, чтобы падение напряжения на нем по сравнению с падением напряжения на измерительном приборе было пренебрежимо мало. При измерении отдельных составляющих диапазон измерения следует выбирать как для значения смешанной величины, так как амплитудное значение и тепловое воздействие тока определяются параметрами суммарного (смешанного) сигнала.

**Измерение собственной индуктивности** (во многих случаях просто измерение индуктивности) — определение значения собственной индуктивности катушек или индуктивно связанных устройств.

При измерении собственной индуктивности должны выполняться общие условия, как и при *измерении полных сопротивлений*. Желательно применять напряжение синусоидальной формы, однако это требование не является обязательным. При переходных процессах (при переключениях) в цепях, содержащих индуктивности, возникают импульсные (пиковые) напряжения, от воздействия которых должны быть защищены как обслуживающий персонал, так и измерительные приборы.

Индуктивность катушек как без сердечников, так и с сердечником с воздушным зазором почти не зависит от тока, т. е. является постоянной. Для однозначной характеристики (не зависящей от тока) индуктивности катушки с замкнутым сердечником в качестве измеряемого параметра используют измерительный ток или магнитный поток. Косвенное измерение собственной индуктивности осуществляется через *измерение тока, напряжения, частоты или измерение тока, напряжения, частоты, активной мощности*. Приборы со схемами, аналогичными омметру со скрещенными катушками, т. е. выполняющими сравнение переменных токов и содержащими образцовую индуктивность и *электродинамический логометр*, индцируют непосредственно измеренное значение. Для измерения собственной индуктивности широко применяются *индуктивные измерительные мосты*.

**Измерение сопротивления** — определение значения электрического сопротивления.

В простейшем случае сопротивление определяется косвенным способом через измерение тока и напряжения. При *компарировании*

токов или напряжений осуществляется сравнение этих величин на измеряемом объекте, в качестве которого берут измеряемое сопротивление. Наиболее точное измерение сопротивления осуществляется *измерительными мостами*.

Для прямого измерения сопротивления могут быть использованы измерительные механизмы, отградуированные в единицах сопротивления. Схемы этого типа применяются в большинстве комбинированных приборов. *Измерители сопротивления* со скрещенными катушками характеризуются независимостью в широких пределах от колебаний рабочего напряжения и предназначены для измерения сопротивления или преобразованных в сопротивлении электрических величин. Высокоомные сопротивления (например, при определении изолирующей способности) измеряют так называемыми тераомметрами на основе измерительных механизмов со скрещенными катушками, мостами или компараторами напряжения. В электронных приборах для измерения сопротивления, например в *цифровых омметрах*, используется один из названных способов с учетом конкретных специфических особенностей.

Определение сопротивлений на переменном токе осуществляется теми же способами, что и на постоянном, но приборами для измерения переменных величин (см. *Измерение полных сопротивлений*). Выбор конкретного способа измерений осуществляется с учетом значения (предполагаемого) измеряемого сопротивления (от единиц микроом у контактных переходных сопротивлений до тераом у сопротивлений изоляции), необходимой точности и экономических соображений (например, скорость или быстрдействие измерений и частота повторения измерений).

**Измерение сопротивления изоляции** — обязательное испытание электротехнических устройств после монтажа и в процессе эксплуатации при техническом обслуживании.

**Измерение изоляции** осуществляется для определения изолирующей способности. При напряжении сетевого питания до 440 В испытательное напряжение должно быть не менее 500 В, а при большем напряжении сети — не менее 1000 В.

Классическим прибором для измерения сопротивления изоляции является мегаомметр с ручным приводом (генератором). В новых приборах измерительное напряжение формируется при помощи преобразователя — *трансформера*.

**Измерение температуры** — количественная оценка температуры. При измерении температуры тепловая энергия передается путем контакта или через излучение, поэтому различают измерительные приборы двух типов: *контактные термометры* и *пирометры излучения*. Система единиц СИ устанавливает в качестве единицы измерения температуры кельвин (К) или градус Цельсия (°С).

**Измерение тока** — определение значения силы электрического тока.

Измерение тока может осуществляться прямым или косвенным способами. Для прямого измерения тока измеряемая цепь разрывается и в нее последовательно включается как можно более низкоомный *измеритель тока* (рис. 47, а).

Косвенный способ измерения тока заключается в *измерении напряжения* на сопротивлении, значение которого должно быть как можно точнее известно или определено. Это сопротивление принадлежит измеряемой цепи  $R$  (рис. 47, б) или является измерительным (образцовым) сопротивлением, дополнительно подключенным к изме-

ряемой цепи  $R_N$  (рис. 47, в). Сила тока рассчитывается по закону Ома соответственно

$$I = \frac{U}{R} \text{ или } I = \frac{U}{R_N}.$$

Необходимость измерения *постоянной и/или переменной величины*, область и условия применения, а также требуемая погрешность измерений определяют выбор метода и средств измерений в конкретном случае.

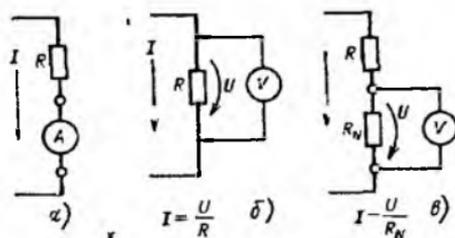


Рис. 47. Измерение тока:

*а* — прямое; *б* — косвенное посредством измерения напряжения на сопротивлении измеряемой токовой цепи  $R$ ; *в* — косвенное посредством измерения напряжения на дополнительно включенном образцовом сопротивлении  $R_N$

**Измерение угла (углового положения)** — разновидность измерения перемещения.

Измерение малых углов осуществляется омическими (резистивными) *чувствительными элементами*. Измерение больших углов осуществляется преимущественно цифровыми *датчиками перемещений* или аналоговыми *селесинами* и резольверами.

**Измерение уровня** — определение значения уровня. Посредством измерения уровня определяется электрическое состояние исследуемой схемы или передаточные свойства четырехполюсников (например, линии передачи).

Прямое измерение *уровня* осуществляется вольтметром (рис. 48, а). При этом сопротивления всех устройств, входящих в систему, должны быть учтены (например, волновое сопротивление  $Z$ ); при этом условии измеренное значение уровня по напряжению соответствует уровню по мощности. При измерениях к измеряемому объекту подключают генератор, внутреннее сопротивление которого соответствует входному сопротивлению измеряемого объекта. В качестве нагрузки берется сопротивление, равное по значению выходному сопротивлению измеряемого объекта. Для измерений выбирается высокоомный вольтметр.

Косвенное измерение уровня проводится методом сличения с образцовой (калиброванной) линией с помощью резистивной схемы, значения сопротивления которой должны иметь строго определенные значения (рис. 48, б). На практике подключение образцовой линии производят так, чтобы изменение ослабления в установленных каскадах уравнивалось измеряемым объектом. Образцовые линии конструируются на определенные значения волнового сопротивления. Оно

может отличаться от значения сопротивления измеряемого четырех- полюсника. Однако сопротивления нагрузки непременно должны быть согласованы с соответствующими волновыми сопротивлениями.

**Измерение фазового угла осциллографическое** — определение посредством осциллографа сдвига фазы  $\varphi$  между двумя равночастотными величинами, которые могут быть представлены напряжениями  $u_1 = u_1 \sin \omega t$  и  $u_2 = u_2 \sin(\omega t + \varphi)$ .

**Измерение фазового угла осциллографическое посредством двух- канального или двухлучевого осциллографа.** Двухканальный или

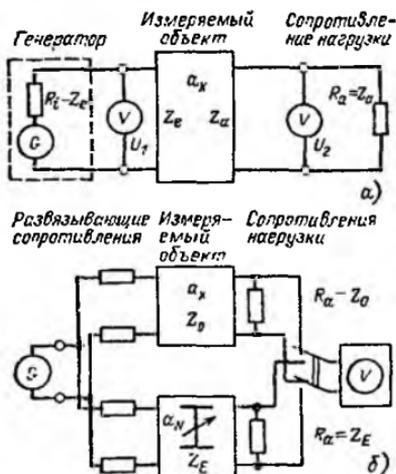


Рис. 48. Измерение уровня:

*а* — прямое определение уровня через измерение напряжения; *б* — компарирование с помощью образцового (калиброванного) провода

двухлучевой осциллограф позволяет воспроизвести на экране во временной области одновременно два напряжения  $u_1$  и  $u_2$ , сдвинутые относительно друг друга по фазе (рис. 49, *а*). Фазовый угол определяется отношением интервала между моментами прохождения через

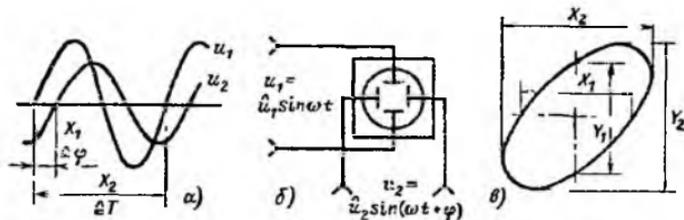


Рис. 49. Измерение фазового угла осциллографическое:

*а* — осциллограмма с определяющими параметрами для измерения фазового угла посредством двухканального или двухлучевого осциллографа; *б* — упрощенная схема измерения фазового угла посредством одноканального осциллографа; *в* — осциллограмма с определяющими параметрами для измерения фазового угла с помощью одноканального осциллографа

нуль измеряемых напряжений к интервалу, соответствующему длительности периода  $\varphi = \frac{X_1}{X_2} 360^\circ$ .

*Измерение фазового угла осциллографическое посредством одноканального осциллографа.* Оба напряжения  $u_1$  и  $u_2$ , сдвинутые относительно друг друга по фазе, подаются на входы  $Y$  и  $X$  осциллографа (рис. 49, б). На экране возникает фигура Лиссажу, так называемый фазовый эллипс. Измеряя его геометрические параметры, определяют фазовый угол:

$$\sin \varphi = \frac{X_1}{X_2} \quad \text{или} \quad \sin \varphi = \frac{Y_1}{Y_2} \quad \text{или} \quad \varphi = \arcsin \frac{X_1}{X_2} = \arcsin \frac{Y_1}{Y_2}.$$

**Измерение частоты** — определение числа периодов в секунду переменного напряжения или тока.

Для измерения частоты применяются *вибрационные измерительные механизмы, резонансный метод, метод сравнения частот, электронные счетчики, мосты для измерения частоты* и методы, основанные на измерении длины волны (рис. 50).

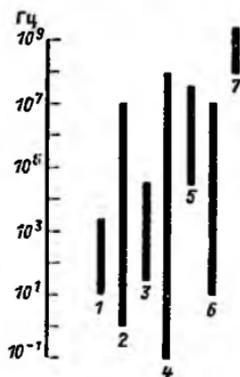


Рис. 50. Измерение частоты:

1 — измерительный механизм вибрационный; 2 — осциллограф; 3 — мост для измерения частоты; 4 — электронный частотомер; 5 — метод резонанса; 6 — метод сравнения частот; 7 — метод измерения длины волны

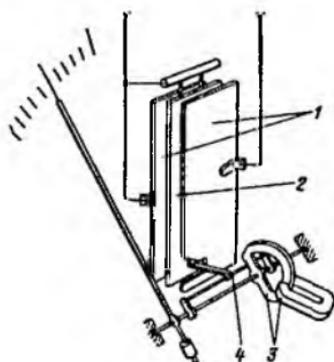


Рис. 51. Вольметр электростатический:

1 — неподвижные пластины; 2 — подвижная пластина; 3 — индукционное успокоение; 4 — система рычагов

**Измерение частоты осциллографическое** — определение частоты при помощи осциллографа.

Осциллографическое измерение частоты путем определения длительности периода, когда, подбирая коэффициент развертки, измеряют длительность периода  $T$  и вычисляют обратную величину  $f = 1/T$ .

Осциллографическое измерение частоты осуществляется на основе *сравнения частот* посредством фигур Лиссажу.

**Измерение числа оборотов** — определение угловой скорости вращающихся тел.

Измерение числа оборотов осуществляется механическими *центробежными тахометрами*, электрическими *тахометрами на вихревых*

токах или тахогенераторами, электронными счетчиками импульсов или оптическими стробоскопами.

Измерение энергии (см. *Энергии измерение*).

### Измерение яркости

1. Обиходное (распространенное в разговорной речи) название процесса *измерения освещенности*.

2. Определение яркости источника света или освещаемой поверхности. Прямое измерение яркости осуществляется при помощи *измерителя яркости*. Возможен косвенный способ, при котором яркость определяется как отношение измеряемой силы света к отражающей (освещаемой) поверхности.

**Измерения динамические** — измерения, проводимые с целью определения мгновенных значений физических величин и их изменения во времени, например измерения при помощи регистрирующих приборов или осциллографов.

**Измерения статические** — измерения физических величин, постоянных во времени или в течение измерений, например измерение постоянного тока, измерение эффективного значения переменного напряжения комбинированным прибором

**Измеритель анодного напряжения электростатический** — разновидность конструкции электростатического *измерительного механизма*.

Между двумя неподвижными пластинами расположена подвешенная на двух тонких металлических лентах третья подвижная пластина, соединенная проводником с одной из неподвижных пластин (рис. 51). Связанные друг с другом пластины заряжаются одноименно, вследствие чего отталкиваются, в то время как вторая неподвижная пластина, имеющая заряд противоположного знака, притягивает подвижную пластину. Очень маленькие отклонения усиливаются с помощью системы рычагов и индицируются стрелочным указателем. Применяется индукционный успокоитель. Специальные конструкции этого механизма используются для измерения высоких напряжений с очень малой погрешностью.

**Измеритель коэффициента мощности** — средство измерений с непосредственным отсчетом значений *коэффициента мощности*.

Показания электродинамического логометрического измерительного механизма зависят от разности двух вращающих моментов, создаваемых током в цепи тока и токами, протекающими по обеим цепям напряжения. В одной из скрещенных катушек (рис. 52, а) ток совпадает по фазе с напряжением, а в другой — должен отставать от

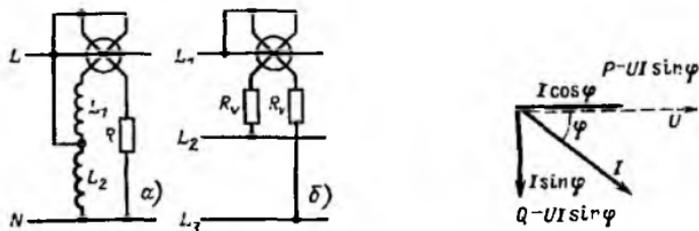


Рис. 52. Измеритель реактивной мощности:

Измерение коэффициента мощности электродинамическим логометром: а — однофазная цепь переменного тока (двухпроводная цепь); б — трехфазная трехпроводная цепь. Составляющие тока, обуславливающие активную и реактивную составляющие мощности

напряжения на  $90^\circ$ . Это достигается путем включения в цепь этой катушки частотно-независимых элементов, аналогичных *схеме Гуммеля*, или при трехфазном токе — подключением на замененное фазное напряжение (см. *Измеритель реактивной мощности*).

Подключение измерителя коэффициента мощности к измеряемой цепи осуществляется либо непосредственно, либо (что чаще) через измерительный трансформатор. Измерители коэффициента мощности конструируют таким образом, чтобы возможные колебания (нестабильность) тока и напряжения не влияли на показания. В механизме отсутствует устройство возврата указателя в исходное положение, поэтому в выключенном состоянии указатель может занимать произвольное положение.

**Измеритель мощности** (см. *Ваттметр*).

**Измеритель нуля** — измерительный прибор, у которого нулевая отметка расположена в центре шкалы. С помощью этого прибора индицируют разнополярные, т. е. положительные и отрицательные измеряемые значения. Он используется также в качестве *нуль-индикатора*.

**Измеритель освещенности** — измерительный прибор для измерения освещенности (люксметр).

Прибор имеет светочувствительную ячейку (фотоэлемент), с помощью которой падающий свет преобразуется в электрический ток или напряжение. Полученный сигнал усиливается и подается на аналоговый индикатор, отградуированный в единицах освещенности (люкс). Необходимое согласование показаний прибора со спектральной чувствительностью человеческого глаз достигается при помощи фильтра. Правильная оценка наклонно падающего света (косинусная коррекция) обеспечивается специальной насадкой, имеющей форму полусферы (рис. 53). Выбор подходящего измерительного механизма, связанного с усилителем, обеспечивает линейность показаний в широком диапазоне. Диапазон измерений составляет от 10 до  $10^3$  лк, число поддиапазонов может быть от 1 до 5.

**Измеритель реактивной мощности** — средство измерения реактивной мощности.

Электродинамические *ваттметры* вследствие наличия в цепи напряжения последовательно включенного активного сопротивления воспринимают активную составляющую измеряемого тока и индицируют активную мощность  $P = UI \cos \varphi$ . В измерителе реактивной мощности используется реактивная составляющая тока  $I \sin \varphi$  (рис. 52). Чтобы электродинамические измерительные механизмы можно было использовать для измерения реактивной мощности, искусственно создается фазовый сдвиг в  $90^\circ$  между током, протекающим через подвижную катушку, и соответствующим напряжением нагрузки  $\sin \varphi = \cos(90^\circ - \varphi)$ . Необходимый фазовый сдвиг  $90^\circ$  может быть получен путем введения реактивных сопротивлений в цепь напряжения (см. *Схема Гуммеля*).

В трехфазных измерителях реактивной мощности могут использоваться естественные фазовые сдвиги между фазами сети. Цепь напряжения прибора подключается к линейным напряжениям при сое-

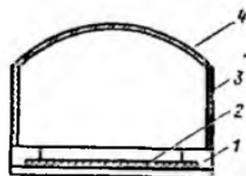


Рис. 53. Измеритель освещенности:

1 — опора; 2 — фотоэлемент;  
3 — тубус; 4 — полусфера

динении нагрузки звездой с фазовым сдвигом в  $90^\circ$  (см. *Измерение реактивной мощности методом одного ваттметра*).

**Измеритель сопротивления** (измерительный прибор, омметр). Прибор для прямых измерений сопротивлений.

**Измеритель сопротивления с параллельным подключением** — параллельный омметр. *Измерительный механизм* для измерения сопротивления, отградуированный в единицах сопротивления.

Относительно низкоомные сопротивления при измерении измерительным механизмом могут подключаться параллельно к источнику напряжения (рис. 54, а). Перед каждым измерением необходимо

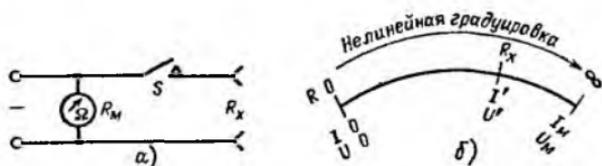


Рис. 54. Измеритель сопротивления с параллельным подключением: а — упрощенная схема; б — изображение шкалы

проводить юстировку; при разомкнутых входных клеммах (ключ  $S$  разомкнут,  $R = \infty$ ) контролируется и при необходимости регулируется отклонение указателя ( $U_M$ ). Суммарный ток течет через измерительный механизм.

При подключении измеряемого объекта ключ  $S$  замыкают и в схеме происходит деление тока, показание уменьшается. При короткозамкнутых клеммах ( $R_x = 0$ ) указатель остается в положении механического нуля. Градуировочная характеристика, т. е. соответствие индицируемого значения напряжения  $U'$  измеряемому значению сопротивления  $R_x$ , рассчитывается по результатам измерений ( $R_M, U_M$ ):

$$R_x = \frac{R_M}{\frac{U_M}{U'} - 1}.$$

Существует шкала с большой нелинейностью, у которой нулевая отметка расположена с левой стороны (рис. 54, б).

Сопротивление измерительного прибора определяет поддиапазон измерений; он может изменяться путем параллельного или последовательного подключения добавочных сопротивлений (см. *Расширение диапазона измерений*). Относительно высокоомные сопротивления измеряют измерителем сопротивления с последовательным подключением измеряемого объекта.

**Измеритель сопротивления с последовательным подключением** — последовательный омметр. *Измерительный механизм* для измерения сопротивления, отградуированный в единицах сопротивления.

Для измерения относительно высокоомных сопротивлений последние подключаются к измерительному механизму последовательно с источником напряжения (рис. 55, а). Перед каждым измерением необходимо провести юстировку, т. е. при короткозамкнутых клеммах

(ключ  $S$  замкнут,  $R_x=0$ ) контролируют и при необходимости регулируют полное отклонение указателя ( $I_M$  или  $U_M$ ).

После размыкания ключа измеряемый объект  $R_x$  оказывается подключенным к измерительному механизму с внутренним сопротивлением  $R_M$  последовательно с источником напряжения; ток в цепи оказывается мал. При разомкнутых клеммах ( $R_x=\infty$ ) ток отсутствует и указатель находится в положении механического нуля. Гра-

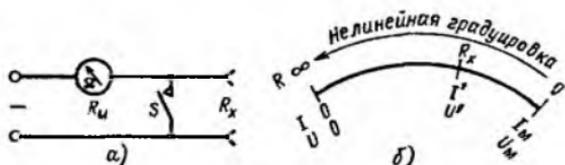


Рис. 55. Измеритель сопротивления с последовательным подключением:

*a* — упрощенная схема; *б* — изображение шкалы

дуировочная характеристика, т. е. соответствие индицируемого значения тока или напряжения ( $I'$  или  $U'$ ) измеряемому значению, сопротивления  $R_x$  рассчитываются по результатам измерений ( $R_M$ ,  $I_M$  или  $U_M$ ):

$$R_x = R_M \left( \frac{I_M}{I'} - 1 \right) \text{ или } R_x = R_M \left( \frac{U_M}{U'} - 1 \right).$$

Существует характеризующая данный вариант схемы шкала с большой нелинейностью, у которой нулевая отметка расположена с правой стороны (рис. 55, б).

Диапазон измерений определяется внутренним сопротивлением прибора и может изменяться путем параллельного или последовательного подключения добавочных сопротивлений (см. *Расширение диапазона измерений*) Измеритель сопротивления с последовательным подключением часто используется в комбинированных приборах.

Для измерения относительно низкоомных сопротивлений выгодно применять *измеритель сопротивления с параллельным подключением*.

**Измеритель тока** — средство измерения для определения силы электрического тока.

Измеритель тока подключается последовательно в измеряемую цепь (испосредственно) или через *трансформатор тока*. В мкА- и мА-диапазонах применяют *измерительные механизмы* (например, магнитоэлектрический, электромагнитный с подвижным магнитом или с подвижной рамкой). Для измерения больших токов осуществляют расширение диапазона измерений косвенным способом и с помощью измерителя тока с усилителем (например, цифровые амперметры) можно измерять токи вплоть до 1 нА. Для измерения переменных токов приборами, предназначенными для постоянных величин, преимущественно проводят измерительное выпрямление (рис. 56).

Подключение измерителя тока означает включение *сопротивления измерительного прибора* в токовую (измеряемую) цепь, что вызывает изменение измеряемой величины и, следовательно, *систематическую погрешность*, которую желательно получить как можно мень-

ше. Измеряемую цепь можно считать с достаточной точностью неискаженной в том случае, если полное сопротивление измерительного прибора будет существенно меньше (полюго) сопротивления цепи, в которой проводятся измерения. Идеальный, не влияющий на измеряемую цепь измеритель тока должен обладать нулевым сопротивлением *в.ц.* скажем иначе, его *собственной потреблением* мощности от измеряемой цепи должно быть нулевым.

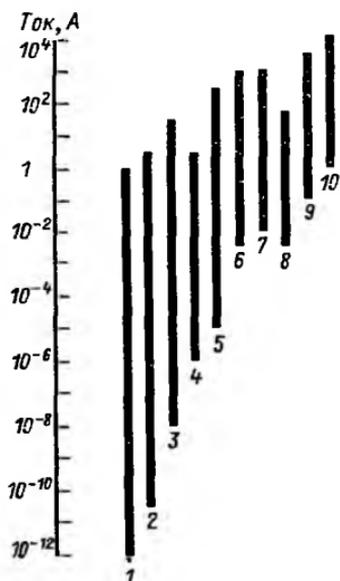


Рис. 56. Измеритель тока. Ориентировочные значения диапазонов измерений:

1 — косвенное измерение тока с помощью чувствительных показывающих или электродных вольтметров; 2 — гальванометр; 3 — измерительные приборы магнитоэлектрической системы; 4 — автоматические компенсаторы; 5 — тепловые измерительные приборы; 6 — измерительные механизмы электромагнитной и магнитоэлектрической систем; 7 — измерительные приборы с термопреобразователями; 8 — измерительные приборы биметаллические; 9 — измерительные приборы с токовыми датчиками; 10 — измерительные приборы с трансформаторами тока

**Измеритель тока, отградуированный в единицах мощности** — условно применяемый прибор для прямых измерений активной или полной мощности.

При постоянном напряжении шкала измерителя тока может быть отградуирована прямо в единицах мощности; на постоянном и переменном токе при чисто активной (омической) нагрузке активная мощность  $P$  оказывается пропорциональной току  $I$ , при переменном токе и произвольной нагрузке имеет место пропорциональность между полной мощностью и током  $I$ .

**Измеритель универсальный** (универсальный измерительный прибор); *прибор комбинированный*.

**Измеритель яркости** — прибор для измерения яркости.

В качестве измерителей яркости используются в основном *измерители освещенности* с дополнительными устройствами. В отличие от измерителя освещенности здесь не требуется косинусная коррекция. Для измерения яркости отражающая или освещаемая поверхность должна отображаться на фотоприемнике. Дополнительное устройство состоит из нескольких диафрагм и линз (рис. 57).

**Измерительная аппаратура** (см. Аппаратура измерительная).

**Измерительная информация** — специализированное сообщение, получаемое посредством измерений об измеряемом объекте и об измерительном процессе.

**Измерительная система** — совокупность приборов и средств сбора, преобразования, передачи, обработки и запоминания измерительной информации.

Важнейшими составными частями измерительной системы являются *цепь измерения* и *микроЭВМ*; связь между функциональными устройствами осуществляется через соответствующий *интерфейс*

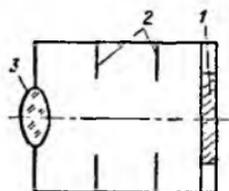


Рис. 57. Измеритель яркости:

1 — приемник; 2 — диафрагма; 3 — линза

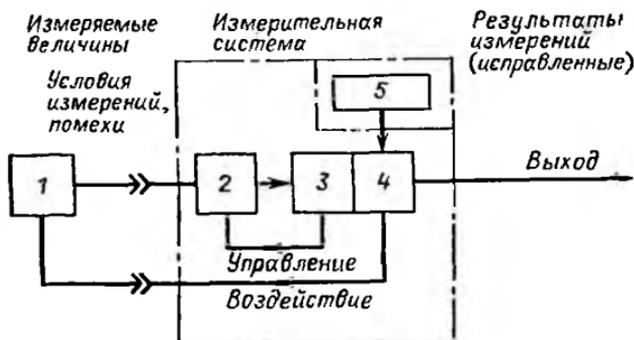


Рис. 58. Измерительная система с микро-ЭВМ и программным управлением:

1 — измеряемый объект; 2 — цепь измерения; 3 — интерфейс; 4 — микроЭВМ; 5 — программа измерений

(рис. 58). К измерительной системе подводятся измеряемые величины от измеряемого объекта и заданные по условиям измерений параметры и величины (помехи). Эта информация обрабатывается измерительной системой с помощью программного обеспечения и выдается как результат измерений. В процессе обработки информации при помощи специальных команд можно изменить функциональные связи блоков внутри измерительной системы, имитируя влияние измеряемого объекта.

**Измерительная техника** — практическая, прикладная область метрологии.

Главными задачами измерительной техники являются: проведение и оценка измерений, использование способов и применение средств измерений в различных практических областях. В зависимости от области и способа использования, если не принимать во внимание приборы повседневного пользования, такие, как часы, весы, термометры, измерительную технику делят на две группы: *рабочую* (производственную) измерительную технику и *прецизионную* (лабо-

раторную) измерительную технику. В обиходной речи понятием «измерительная техника» объединяют любые теоретические и практические проблемы, связанные с измерениями в широком смысле.

**Измерительная техника лабораторная** — измерительная техника, предназначенная для эксплуатации в лабораторных условиях.

В зависимости от измерительных задач, способов измерений и требований к точности лабораторную измерительную технику можно разделить на *измерительную технику рабочую* и образцовую (прецизионную).

**Измерительная техника прецизионная** — экспериментальная (уникальная) *измерительная техника*, удовлетворяющая наивысшим требованиям к точности измерений.

Измерительная техника прецизионная служит преимущественно исследовательским целям, например для определения значения физических констант с максимальной точностью или для разработки способов воспроизведения единиц измерений. Однако отдельные средства прецизионной измерительной техники используются так же, как *рабочая измерительная техника* для особо точных измерений.

**Измерительная техника рабочая** — средства измерений в широком смысле слова, используемые в процессе производства.

Рабочая измерительная техника дает информацию (результаты измерений, контроля, испытаний), которая используется в процессе изготовления и контроля продукции. Помимо процесса изготовления и связанных с ним других операций рабочая измерительная техника используется при контроле качества продукции, подведении итогов, учете и документировании, охране окружающей среды. Рабочая измерительная техника необходима также для технического обслуживания оборудования. С помощью рабочей измерительной техники ведутся непрерывные или периодически повторяемые измерения. Требования к точности, как правило, ниже тех, что предъявляются к *прецизионной измерительной технике*.

**Измерительная техника технологическая** (см. Измерительная техника рабочая).

**Измерительный механизм** — комбинация составных частей, результатом взаимодействия которых являются вращающий момент или перемещение, значения которых зависят от значения измеряемой величины.

Измерительный механизм является электромеханическим преобразователем, осуществляющим преобразование электрической величины в наглядное аналоговое показание. Измеряемая величина непосредственно воздействует на измерительную цепь и этим воздействием обуславливает изменение положения подвижного органа. На магнитном воздействии электрического тока основаны *магнитоэлектрический, электромагнитный, индукционный, вибрационный и электродинамический измерительные механизмы*. Тепловое воздействие электрического тока используют *биметаллический и тепловой измерительные механизмы*. На взаимодействии заряженных электродов, находящихся под напряжением, основан принцип измерения электростатического измерительного механизма. Тип измерительного механизма указывается обозначением на шкале прибора.

К числу основных составных частей измерительного механизма помимо *подвижного органа* с его *опорами, индикаторной меткой* (в общем случае *указатели*) устройств для создания моментов успокоения и противодействия относятся также неподвижные элементы конструкции и *шкала*. Измерительный механизм, объединенный с допол-

нительными элементами и помещенный в собственный корпус, называют *измерительным прибором*.

**Измерительный механизм биметаллический** — измерительный механизм с биметаллической спиралью, которая нагревается протекающим по ней током и соответственно деформируется, чем и обеспечивает показание.

Биметаллическую спираль образуют две полоски из металлов с различными коэффициентами линейного расширения, соединенные вместе своими плоскостями и скрученные в спираль. В конструкции измерительного механизма используются две такие жестко закрепленные спиральные пружины с взаимно противоположным направлением действия. Через токоподводящую медную полоску, в отличие от пружины не обладающую упругой силой, подается ток, который, протекая через биметаллическую спираль, нагревает ее и вызывает деформацию. При этом начинает действовать соответствующий крутящий момент относительно оси измерительного механизма. Другая биметаллическая спираль воздействию тока не подвергается, а служит для коррекции крутящего момента при колебаниях температуры окружающей среды. С целью уменьшения теплообмена эта корректирующая спираль защищена от первой экранирующей шайбой. Наличие демпфирующего элемента необязательно. Установка нуля осуществляется простым поворотом оси измерительного механизма (рис. 59).

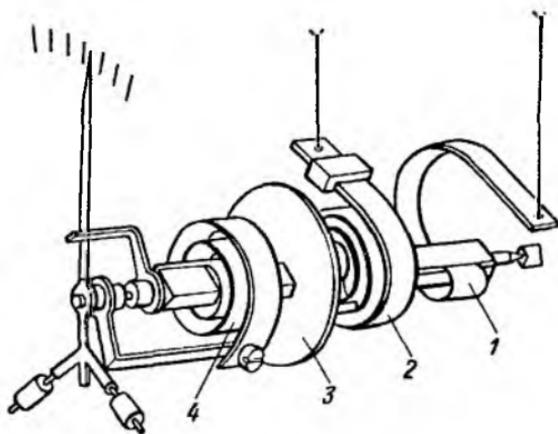


Рис. 59. Измерительный механизм биметаллический:

1 — безмоментная медная лента, обеспечивающая токоподвод; 2 — биметаллическая пружина с током; 3 — теплозащитная шайба; 4 — биметаллическая пружина без тока

#### Общие свойства:

биметаллический измерительный механизм используется для грубых измерений тока и напряжения;

установление показаний происходит медленно, время успокоения составляет около 10 мин, вследствие этого кратковременные импульсы тока вызывают лишь незначительное отклонение стрелки; при переменном токе индицируется среднее значение; для индикации

кратковременных изменений тока во многих случаях биметаллический измерительный механизм объединяют с измерительным механизмом электромагнитной системы;

вращающий момент, возникающий в биметаллическом измерительном механизме, в 1000 раз больше, чем в других измерительных механизмах, поэтому он может использоваться совместно с вторичными индикаторами или более точными контактными устройствами.

**Измерительный механизм вибрационный** (частотомер резонансный, вибрационный) — *измерительный механизм* на основе колебательного органа (стальной язычок), колебания которого с частотой резонанса обеспечиваются электромагнитным способом.

Основу конструкции составляют несколько стальных язычков, разнесенных на некоторый угол, подобно гребенке, различная частота собственных колебаний которых обеспечивается варьированием их длины или массы. При возбуждении переменным полем с помощью электромагнита и совпадении частоты собственных колебаний какого-либо язычка с частотой переменной силы притяжения возникает явление резонанса, выражающееся в увеличении амплитуды колебаний. Путем подмагничивания полем постоянного магнита или подавлением одной полуволны с помощью выпрямителя обеспечивается равенство частоты изменения силы притяжения частоте измеряемого напряжения (или удвоенному значению). Соседние язычки также колеблются более или менее синхронно с резонирующим, чем обеспечивается возможность считывания промежуточных значений.

Существуют два основных типа конструкции: *частотомер резонансный* по Фраму и частотомер резонансный по Хартману-Кемпфу. Общие свойства: измерительный механизм — вибрационный и служит для измерения промышленных частот в относительно узком диапазоне. Показания частоты можно считать не зависящими от формы тока, температуры и колебаний напряжения в широком диапазоне воздействий. При напряжении свыше 100 В вибрационный измерительный механизм используется с добавочными сопротивлением.

**Измерительный механизм динамометрический** (см. *Измерительный механизм электродинамический*).

**Измерительный механизм дифференциальный** — измерительный механизм с несколькими обмотками, питаемыми различными токами. При этом воздействие магнитных полей на показывающее устройство оказывается взаимноисключающим; таким образом, индицируется разность токов, которая и определяет значение измеряемой величины.

**Измерительный механизм индукционной системы** (см. *Измерительный прибор индукционной системы*).

**Измерительный механизм индукционный с бегущим полем** (см. *Счетчик индукционный*).

**Измерительный механизм индукционный** — измерительный механизм, имеющий неподвижную катушку с током и подвижный плоский проводник, отклонение которого обуславливается индуцируемыми в нем токами.

Существуют два типа конструкции:

индукционный измерительный механизм с вращающимся полем (см. *Измерительный прибор индукционной системы*) имеет катушку в виде замкнутого контура, внутри которого находится барабан, в котором наводятся вихревые токи;

индукционный механизм с бегущим полем (см. *Счетчик индукционный*) имеет диск, вращающийся между полюсами катушек.

Токи возбуждения создают вращающееся или бегущее поле, ко-

торое приводит в движение подвижный орган. В плоском проводнике индуцируются напряжения (ЭДС), возникают вихревые токи и появляется вращающий момент.

Общие свойства: угол отклонения и, следовательно, показания зависят от частоты, силы токов, протекающих по катушке, и фазового сдвига между ними.

**Измерительный механизм магнитоэлектрический** — измерительный механизм магнитоэлектрической системы. *Измерительный механизм магнитоэлектрический с внутрирамочным магнитом.*

**Измерительный механизм магнитоэлектрический с внутрирамочным магнитом** — разновидность конструкции магнитоэлектрического измерительного механизма, особенностью которой является расположение подвижной катушки между постоянным магнитом, находящимся внутри нее, и внешним магнитопроводом из магнитомягкого железа (рис. 60).

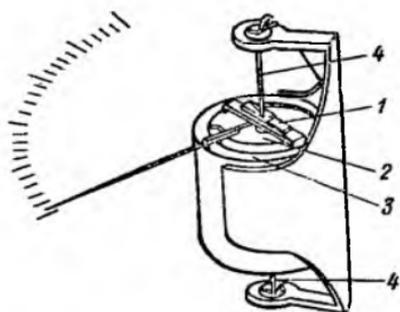


Рис. 60. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы с внутрирамочным магнитом:

1 — подвижная катушка (рамка); 2 — внутрирамочный магнит; 3 — магнитомягкий магнитопровод; 4 — ленточные растяжки, выполняющие функции опор, возвратного устройства и токоподвода к подвижной катушке

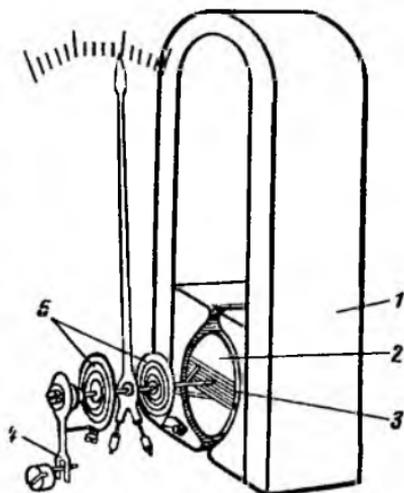


Рис. 61. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы с внешним магнитом:

1 — внешний магнит; 2 — сердечник из магнитомягкого железа; 3 — вращающаяся катушка (рамка); 4 — корректор нуля; 5 — спиральные пружины, выполняющие функции возвратного устройства и токоподвода к рамке

Внутрирамочный магнит с магнитопроводом отличается лучшим по сравнению с внешним магнитом использованием магнитного материала. Эта конструкция позволяет создавать легкие измерительные механизмы с малыми габаритными размерами. Настройка осуществляется посредством изменения потока при осевом перемещении магнитопровода. Магнитная индукция в воздушном зазоре зависит от угла приблизительно по синусoidalному закону; применением полюсных наконечников добиваются необходимой однородности радиального поля.

**Измерительный механизм магнитоэлектрической системы с внеш-**

ним магнитом — конструктивное исполнение измерительного механизма магнитоэлектрической системы, отличительной особенностью которой является расположение подвижной прямоугольной катушки (рамки) в однородном магнитном поле в зазоре между специальной насадкой внешнего магнита и цилиндрическим якорем (сердечником).

Насадка и якорь изготавливаются из магнитомягкого железа (рис. 61). Внешние магниты создают в воздушном зазоре сильное магнитное поле высокой однородности. Их можно сравнить с *шунтом магнитным*.

Вследствие рассеяния полезный поток в воздушном зазоре оказывается меньше создаваемого постоянным магнитом полного потока. Недостатком такого механизма является большой расход магнитных материалов.

Измерительный механизм магнитоэлектрической системы — измерительный механизм, состоящий из неподвижного постоянного магнита и подвижной катушки с током, движение (угол поворота) которой обусловлено взаимодействием магнитных полей катушки и постоянного магнита.

По конструкции магнитной системы механизмы с подвижной рамкой (катушкой) можно разделить на измерительные механизмы магнитоэлектрической системы с *внешним и внутренним магнитами*.

Прямоугольная поворачивающаяся катушка (рамка) располагается либо между внешним магнитом и цилиндрическим сердечником из магнитомягкого материала, либо между внутриврачочным магнитом и магнитопроводом из магнитомягкого материала, который выполняет роль возвращающего органа. В обеих конструкциях вращение подвижной части измерительного механизма обеспечивается ленточными растяжками или осевыми кернами. Измеряемый ток подводится к обмотке катушки (рамки) через две спиральные пружины с противоположным направлением закручивания, создающие противодействующий момент. Колебания указателя демпфируются воздушным успокоителем. Установка указателя на нулевую отметку шкалы может быть подкорректирована при помощи внешнего корректора, выведенного под шлиц. Постоянный магнит должен создавать как можно больший и долговременной стабильности магнитный поток в воздушном зазоре, для чего необходимо применять магнитные материалы с высокой коэрцитивной силой, прошедшие искусственное старение. Такие марки стали отличаются высокой твердостью и хрупкостью. Поэтому применяются магниты простых форм совместно с магнитопроводом из магнитомягкой стали. Магнитное поле в воздушном зазоре может быть изменено путем подключения магнитного *шунта*.

**Общие свойства:**

измерительный механизм магнитоэлектрической системы отличается простотой конструкции и высокой чувствительностью; прямо пропорциональная зависимость между измеряемым током и показаниями обуславливает линейность шкалы; ничтожная потребляемая мощность является другой причиной распространённости измерительного механизма магнитоэлектрической системы;

без дополнительных элементов измерительный механизм магнитоэлектрической системы применяется для измерения только постоянных токов и напряжений; вращающий момент и, следовательно, направление отклонения указателя изменяют вместе с током свое направление, поэтому нулевая отметка может располагаться в середине шкалы; подключение выпрямителей или термопреобразователей к из-

мерительному механизму магнитоэлектрической системы обеспечивает возможность измерения на переменном токе вплоть до высоких частот;

влияние внешних магнитных полей вследствие сильного собственного магнитного поля мало; влияние температуры на сопротивление подвижной катушки (рамки) и на жесткость пружины измерительного механизма компенсируется в большей степени самостоятельно; остаток может быть уменьшен путем последовательного и параллельного подключения сопротивлений (см. *Схема Свинберна*).

На основе измерительного механизма магнитоэлектрической системы созданы приборы специального назначения — это *гальванометры*, приборы со скрещенными катушками (см. *Логометры*), гальванометры шлейфовых (светолучевых) осциллографов (см. *Измерительный механизм светолучевого осциллографа. Измерительный механизм осциллографического гальванометра*).

**Измеритель сопротивления (омметр) магнитоэлектрической системы** — прибор для измерения сопротивления на основе магнитоэлектрического измерительного механизма (см. *Измерительный механизм, отградуированный в единицах сопротивления — омах*).

**Измерительный механизм на основе рабочего органа из магнитомягкого железа** (см. *Измерительный механизм электромагнитной системы*).

**Измерительный механизм осциллографического гальванометра** — специальная конструкция *измерительного механизма магнитоэлектрической системы*.

Миниатюрная катушка (рамка), имеющая маленькое зеркальце, перемещается в воздушном зазоре постоянного магнита синхронно с протекающим переменным током и обуславливает регистрацию в *светолучевых осциллографах*. Современное исполнение этого механизма представляет собой *стержневой гальванометр*.

**Измерительный механизм, отградуированный в единицах сопротивления** — измеритель сопротивления, омметр. Показывающий прибор для измерения *сопротивления*.

Измеряемое сопротивление  $R_x$  и измерительный механизм подключаются последовательно (омметр с последовательным подключением) или параллельно (омметр с параллельным подключением) к источнику постоянного напряжения. Индицируемый ток является мерой измеряемого сопротивления. При этом шкала прибора градуируется в единицах сопротивления. Для измерения сопротивления применяется в основном *магнитоэлектрический измерительный механизм*; возможны и другие типы измерительных механизмов.

Обе схемы подключения характеризуются зависимостью от напряжения питания. Поэтому перед каждым измерением необходимо контролировать начальное положение указателя. Корректировка положения указателя у последовательных омметров осуществляется регулировкой положения (установкой) магнитного шунта, а у комбинированных приборов — последовательным или параллельным подключением регулируемого сопротивления. Измерение нелинейных сопротивлений, значения которых зависят от тока или напряжения, с помощью данных омметров не представляется возможным.

**Измерительный механизм светолучевого осциллографа** — специальная конструкция *измерительного механизма магнитоэлектрической системы*, применяемая в *светолучевых осциллографах*.

В воздушном зазоре сильного постоянного магнита располагается металлическая петля с укрепленным на ней посредине маленьким

зеркальцем. При протекании по петле электрического тока возникают электродинамические силы, втягивающие один из проводников петли внутрь зазора магнита и выталкивающие другой. Вследствие этого в движение приходит и зеркальце, положение которого в каждый момент времени соответствует мгновенному значению протекающего тока или преобразованной в ток величины (рис. 62). В данном ме-

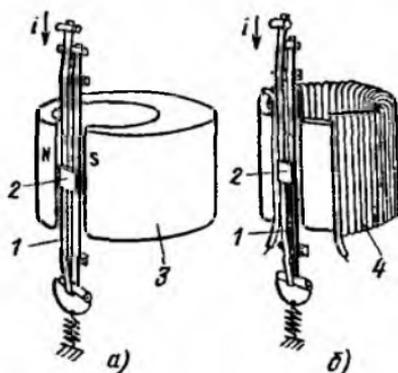


Рис. 62. Измерительный механизм светового осциллографа (изображение схематичное):

*а* — с постоянным магнитом для регистрации тока и напряжения; *б* — с электромагнитом для регистрации мощности; 1 — металлическая (токовая) петля; 2 — зеркальце измерительного механизма; 3 — постоянный магнит; 4 — электромагнит

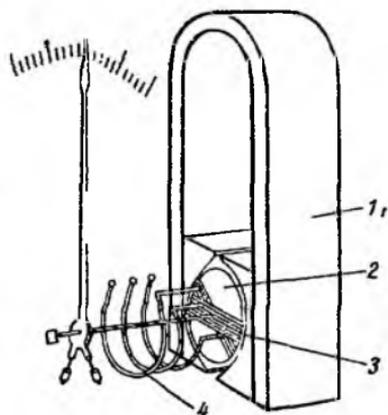


Рис. 63. Измерительный механизм со скрещенными катушками (логометр) с внешним магнитом:

1 — внешний магнит с полюсными наконечниками; 2 — магнитомягкий сердечник; 3 — скрещенные катушки; 4 — безмоментные металлические ленточные токоподводы

ханизме используется жидкостный успокоитель, представляющий собой емкость с силиконовым маслом.

В гальванометрах для измерения и регистрации формы тока и напряжения, а также преобразованных в ток или напряжение величины используется поле постоянного магнита. Если использовать электромагнит, то становится возможным измерять и регистрировать изменение мощности во времени.

**Измерительный механизм со скрещенными катушками (логометр)** (измеритель отношений магнитоэлектрической системы) — механизм магнитоэлектрической системы для измерения отношения величин.

Данный механизм отличается от традиционного измерительного механизма магнитоэлектрической системы наличием двух (вместо одной) жестко связанных друг с другом скрещенных катушек. Питание катушек током осуществляется через мягкие неупругие металлические ленточки. Измерительный механизм со скрещенными катушками не имеет механической установки пуля; во многих случаях для установки указателя на нулевую отметку шкалы используют дополнительный магнит.

В воздушном зазоре распределение магнитного поля неравномер-

но. В механизме с внешним магнитом (рис. 63) воздушный зазор между магнитом и сердечником, начиная от середины, в обе стороны сужается; магнитный поток увеличивается в равной степени. В механизме с внутренним магнитом при равномерном воздушном зазоре используется естественная неоднородность магнитного поля в сердечнике.

При протекании тока через катушки на одной из них возникает левый вращающий момент, на другой — правый. Оба момента взаимно компенсируются, если токи, протекающие по катушкам, одинаковы. Если же в одной из катушек ток оказывается слабее, чем в другой, то механизм поворачивается так, что катушка со слабым током располагается в той части воздушного зазора, где поле сильнее, а катушка с большим током — там, где поле слабее.

Общее свойство: измерительный механизм со скрещенными катушками является *логометрическим измерительным механизмом*, измеряющим отношение двух величин. Он показывает независимо от абсолютных значений измеряемого напряжения и силы токов  $I_1$  и  $I_2$  только их отношение  $I_1/I_2$ . Поэтому данный механизм применяют для измерения отношений двух токов или напряжений либо для измерения отношения напряжения и тока, т. е. для измерения сопротивления (см. *Омметр логометрический*), а также для измерения неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в ток, напряжение или сопротивление.

**Измерительный механизм с плоской катушкой** — устаревшая, ныне почти не применяемая разновидность конструкции *измерительного механизма электромагнитной системы*.

**Измерительный механизм с подвижным (вращающимся) магнитом** (магнитоэлектрический измерительный механизм с подвижным магнитом) — *измерительный механизм* с подвижным постоянным магнитом, отклонение которого обусловлено взаимодействием магнита с полем неподвижной катушки с током.

Основой измерительного механизма является тонкий диск из магнитного материала с высокой коэрцитивной силой. Вектор намагниченности диска имеет диаметрально направленное направление, диск вращается во внутренней полости неподвижной катушки, через которую протекает измеряемый ток. Второй магнитный диск, так называемый направляющий магнит, служит возвращающим органом, он ориентирован и закреплен таким образом, что указатель стоит против нулевой отметки в том случае, когда в отсутствие тока в катушке разноименные полюса направляющего и подвижного магнитов располагаются друг против друга (рис. 64).

При пропускании тока по катушке подвижный магнит занимает положение, соответствующее направлению вектора результирующего магнитного поля, которое получается путем векторного сложения поля направляющего магнита и катушки. Так как направляющий магнит неподвижен и создает постоянное магнитное поле, то положение подвижного магнита, а следовательно, и показания прибора, зависят только от поля катушки, т. е. от измеряемого тока. Изменение поля направляющего магнита (например, с помощью магнитного шунта) влечет за собой изменение чувствительности измерительного механизма. Изменение направления поля направляющего магнита (например, путем его поворота) делает возможным установку нуля, а также подавление областей в начальной или конечной части шкалы.

Общие свойства:

измерительный механизм с подвижным магнитом характеризует-

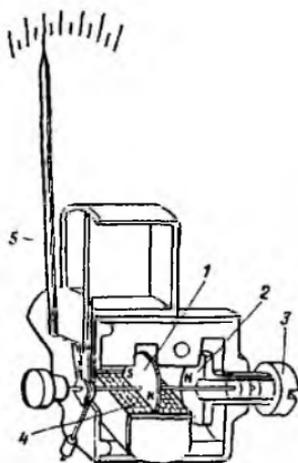


Рис. 64. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом:

1 — подвижный магнит; 2 — направляющий магнит; 3 — устройство коррекции направляющего магнита; 4 — неподвижная катушка; 5 — успокоитель воздушный камерный

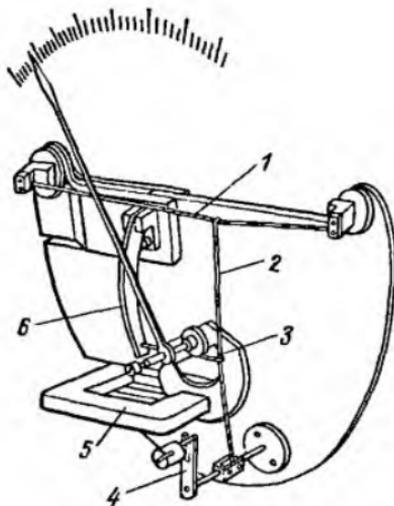


Рис. 65. Измерительный механизм тепловой:

1 — нагреваемая нить; 2 — проводочный мостик; 3 — проводочная растяжка; 4 — корректор нуля; 5 — индукционный успокоитель; 6 — плоская пружина

ся высокой устойчивостью к ударам, тряске, перегрузкам, отличается низкой стоимостью; без дополнительных элементов он способен измерять только постоянное напряжение и ток;

направление движения указателя определяется направлением измеряемого тока; нулевая отметка шкалы может располагаться как в середине шкалы, так и на краю.

**Измерительный механизм суммирующий** — измерительный механизм с несколькими обмотками, питаемыми различными токами, воздействия которых на отклонение указателя имеют одинаковые направления так, что индикатор показывает значение суммы токов.

**Измерительный механизм тепловой** — измерительный механизм, функционирующий на основе прямого или косвенного нагревания током проводника, удлинение которого обеспечивает показание.

Нагреваемая измеряемым током нить удлиняется. Ее удлинение через плоскую пружину и обесточенный так называемый проводочный мостик передается на ось указателя, вызывая его отклонение. Путем натяжения или ослабления проводочного мостика вводится коррекция нуля (рис. 65). Удлинение нити приблизительно пропорционально подводимой мощности, а следовательно, при постоянном сопротивлении нити оказывается пропорциональным квадрату измеряемого тока.

**Общие свойства:**

тепловой измерительный механизм применяется для измерения постоянного и эффективного значения переменного тока в широком частотном диапазоне вплоть до очень высоких частот;

в настоящее время он используется только в некоторых специальных областях;

в большинстве случаев он вытеснен более точными и устойчивыми к перегрузкам электромагнитными и магнитоэлектрическими механизмами в совокупности с термопреобразователями.

**Измерительный механизм термоэлектрический** — измерительный механизм, показания которого зависят от теплового воздействия электрического тока.

Так как количество тепла, выделяемое током на данном сопротивлении в единицу времени, определяется квадратом силы тока (закон Джоуля), то показания термоэлектрического измерительного механизма не зависят от направления, формы, частоты и рода тока (постоянный или переменный).

Основными разновидностями конструкции термоэлектрического измерительного механизма являются *измерительный механизм тепловой* и *измерительный механизм биметаллический*. Комбинацию измерительного механизма постоянного тока с *термопреобразователем* также называют во многих случаях термоэлектрическим измерительным механизмом.

**Измерительный механизм ферродинамический** (см. Измерительный механизм электродинамический с замкнутым магнитопроводом).

**Измерительный механизм электродинамический** — измерительный механизм, использующий электродинамическое взаимодействие двух катушек с током, одна из которых подвижная, а другая неподвижная

Неподвижная катушка создает магнитное поле, силовое воздействие которого на подвижную (вращающуюся) катушку используется для индикации измеряемого значения. В зависимости от того, замыкается ли рабочий поток по магнитному сердечнику или по воздуху, различают две основные конструктивные разновидности: *измерительный механизм с замкнутым магнитопроводом* и *измерительный механизм без магнита*. Обе катушки создают магнитное поле. Вследствие их переменного взаимодействия возникает вращающий момент, обуславливающий показание, пропорциональное обоим токам.

**Общие свойства:**

измерительный механизм электродинамический пригоден для измерения постоянных и переменных токов и мощности, причем фазовый сдвиг между токами катушек  $I_1$  и  $I_2$  необходимо принимать во внимание, поэтому главное применение данный механизм нашел в *ваттметрах*;

зависимостью показания ( $\alpha \sim I_1 I_2 \cos \varphi$ ) от частоты, формы измеряемого тока и окружающей температуры в широком диапазоне значений можно пренебречь;

если электродинамический измерительный механизм с замкнутым магнитопроводом хорошо экранирован от внешних магнитных полей, то их влияние на механизм без магнита является причиной возникновения погрешности; уменьшить их влияние можно с помощью *экранирования* или *астатизирования*.

Специальными формами электродинамического измерительного механизма являются *шлейф измерительный мощности* и *электродинамический логометр*

**Измерительный механизм электродинамический без магнита** — разновидность конструкции *электродинамического измерительного механизма*, в которой рабочий магнитный поток замыкается по воздуху.

Измерительный механизм не содержит (за исключением внешнего экрана) никаких ферромагнитных материалов, поэтому не возникает погрешностей от остаточной намагниченности, гистерезиса или вихревых токов. Элементы конструкции, например узлы крепления, выполняются часто из керамики. Внутри неподвижной плоской рабочей катушки расположена подвижная катушка. При пропускании через обе катушки токов возникает вращающий момент, вызывающий по показанию. Спиральные пружины обеспечивают токоподвод к подвижной катушке и создают необходимый механический уравновешивающий (возвращающий) момент. Успокоение осуществляется при помощи воздушного камерного демпфера (рис. 66).

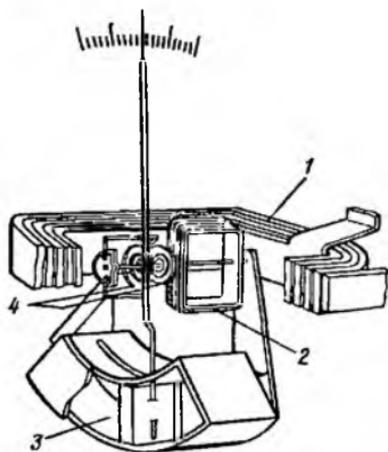


Рис. 66. Измерительный механизм электродинамический без магнита:

1 — неподвижная полесоздающая катушка; 2 — подвижная катушка (рамка); 3 — успокоитель воздушный камерный; 4 — спиральные пружины, выполняющие функции возвратного устройства и токоподвода к рамке

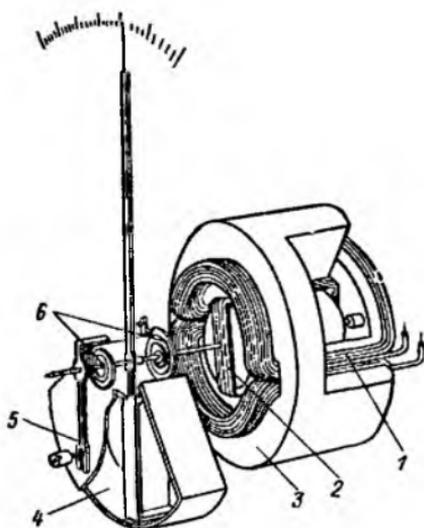


Рис. 67. Измерительный механизм электродинамический с замкнутым магнитопроводом:

1 — неподвижная полесоздающая катушка; 2 — подвижная катушка (рамка); 3 — магнитопровод; 4 — успокоитель воздушный камерный; 5 — корректор нуля; 6 — спиральные пружины, выполняющие функции возвратного устройства и токоподвода к рамке

Немагнитные измерительные механизмы применяются в прецизионных приборах для измерения мощности.

Измерительный механизм электродинамический с замкнутым магнитопроводом (ферродинамический измерительный механизм) — одна из разновидностей электродинамического измерительного механизма, в которой большая часть рабочего потока концентрируется магнитом (магнитопроводом).

Катушка, создающая рабочее поле, располагается на магнитном сердечнике (магнитопроводе). Это является основой мощного, прочного измерительного механизма с большим вращающим моментом.

Подвижная катушка поворачивается вокруг своего магнитного сердечника, который, как и магнитопровод, набран из отдельных пластин. Наборная конструкция обеспечивает при измерении переменного тока малые потери на вихревые токи в сердечнике (рис. 67). Спиральные пружины обеспечивают токоподвод к подвижной катушке и создают механический противодействующий момент. Успокоение осуществляется воздушным или индукционным способом.

Данный механизм применяется в настоящее время только в *ватт-метрах* на переменном токе. Для измерения постоянных величин малоприменимы вследствие наличия остаточной намагниченности сердечника (явление гистерезиса).

**Измерительный механизм электромагнитной системы (электромагнитный измерительный механизм)** — измерительный механизм с подвижной металлической частью, которая приводится в движение магнитным полем, создаваемым неподвижной катушкой с током.

В измерительном механизме с круглой катушкой (плоские катушки ныне редко используются) в ее внутренней цилиндрической полости, т. е. в магнитном поле катушки, расположены два сердечника из магнитомягкой стали: один неподвижный, второй — вращающийся на общей с указателем оси. Протекающий через катушку измеряемый ток создает магнитное поле, однаково намагничивающее оба сердечника, вследствие чего они отталкиваются друг от друга. Если направление тока изменится, то изменится и направление магнитного поля, а вместе с ним и вектор намагниченности обоев сердечников, но силы отталкивания сохраняются. Таким образом, направление вращающего момента не зависит от направления тока, что делает возможным измерение как постоянного, так и переменного тока. Противодействующий момент создается спиральной пружиной (рис. 68). Колебания указателя демфируются воздушным или индукционным успокоителем. Квадратичный характер шкалы может быть в достаточной степени линеаризован путем выбора соответствующих форм катушки и сердечников, а также их взаимным расположением.

**Общие свойства:**

измерительный механизм электромагнитной системы прост, надежен в эксплуатации, не имеет токоподвода к подвижному органу,

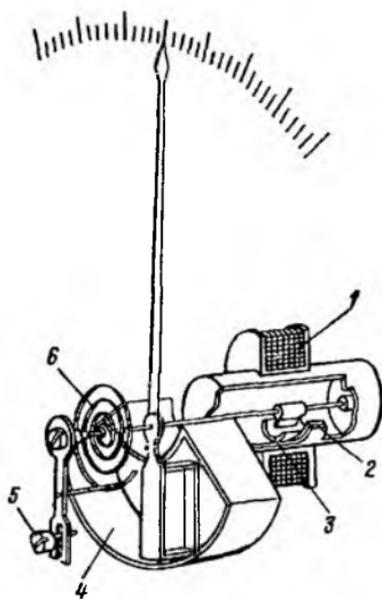


Рис. 68. Измерительный механизм электромагнитной системы:

- 1 — неподвижная катушка; 2 — неподвижный магнитомягкий сердечник; 3 — подвижный магнитомягкий сердечник;
- 4 — успокоитель воздушный камерный;
- 5 — корректор нуля; 6 — возвратная пружина

устойчив к механическим и электрическим воздействиям, может использоваться для измерения напряжения и силы постоянного и действующего значения переменного тока; диапазон измерения (без применения расширения диапазона) достаточно широк (до 60 А и 600 В);

расширение диапазона измеряемых напряжений обеспечивается подключением добавочных сопротивлений; расширение диапазона измеряемых токов достигается отключением части витков катушки (а не подключением шунтов!); при измерении высоких переменных напряжений и токов используются *измерительные трансформаторы тока или напряжения*;

вследствие высокого энергопотребления (см. *Собственное потребление мощности*) по сравнению с магнитоэлектрическим измерительный механизм электромагнитной системы используется преимущественно в силовой электротехнике;

влияние внешних магнитных полей ослабляется *экранированием* или астагизированием, добавочные резисторы могут частично компенсировать влияние температуры на сопротивление катушки.

**Измерительный механизм электромагнитной системы с круглой катушкой** — разновидность конструкции измерительного механизма электромагнитной системы.

**Измерительный механизм электростатический (электрометр)** — *измерительный механизм*, образованный неподвижной и подвижной металлическими частями, взаимодействующими посредством сил электростатического поля.

Основными конструктивными разновидностями электростатических измерительных механизмов являются *измеритель анодного напряжения, многокамерный электрометр и многопредельный авометр*.

Принцип действия всех конструкций аналогичен. Гальванически связанные элементы — в большинстве случаев это часть неподвижной конструкции и подвижный орган — получают одноименный заряд, вследствие чего отталкиваются, тогда как другие элементы этих конструкций заряжаются равномерно и притягиваются. Отклонение механически связанного с подвижным органом указателя пропорционально квадрату приложенного напряжения. Путем принятия специальных конструктивных мер, например подбором определенной формы электродов, удается обеспечить почти линейный характер шкалы.

**Общие свойства:**

измерительный механизм электростатический является единственным механизмом, принцип действия которого основан на воздействии электрического напряжения, он допускает измерение как постоянных, так и переменных напряжений;

показания не зависят в широком диапазоне от изменения частоты и формы измеряемого напряжения;

изменения окружающей температуры и внешние магнитные поля не являются помехами для измерений; экранирование электростатических мешающих полей необходимо;

измерительный механизм электростатический обладает исключительно малым собственным потреблением энергии и очень высоким внутренним сопротивлением.

**Измерительный прибор выпрямительной системы** — измерительный прибор, образованный комбинацией *измерительного механизма*, предназначенного для измерения постоянной величины, с выпрямительным устройством, вследствие чего становится возможным также

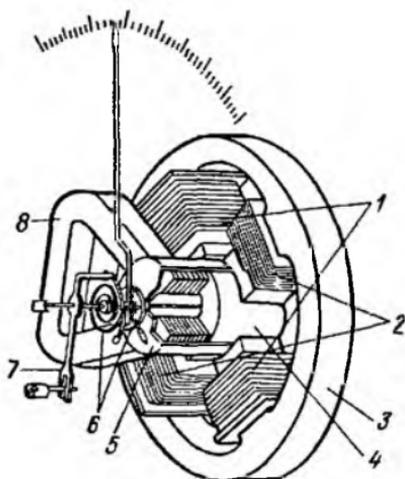
измерение переменных величин. Выпрямительными называют иногда комбинированные измерительные приборы.

**Измерительный прибор индукционной системы** — разновидность конструкции *индукционного измерительного механизма*.

Основу измерительного прибора индукционной системы составляет магнитопровод с двумя парами внутренних взаимно перпендикулярных полюсов, на которых расположены обмотки. Полюса как бы охватывают вращающийся алюминиевый цилиндр (рис. 69). Через катушки пропускается ток возбуждения. Вследствие пространственного положения соседних катушек под углом  $90^\circ$  друг к другу

Рис. 69. Измерительный прибор индукционной системы:

1 — пара токовых катушек; 2 — пара катушек напряжения; 3 — магнитопровод с внутренними полюсами; 4 — неподвижный сердечник; 5 — вращающийся алюминиевый цилиндр; 6 — бестоковые возвратные пружины; 7 — корректор нуля; 8 — постоянный магнит для индукционного успокоения



имеет место фазовый сдвиг в  $90^\circ$  между токами в этих катушках, что является причиной возникновения вращающегося электромагнитного поля. Это поле, пронизывая алюминиевый цилиндр, индуцирует в нем напряжение и вихревые токи, что вызывает возникновение вращающегося момента. С помощью спиральных бестоковых пружин создается противодействующий момент и обеспечивается пропорциональность измеряемой величины отклонению подвижного органа.

Сравнительно большой вращающий момент позволяет использовать индукционный механизм в самопишущих приборах. Кроме того, индукционный измерительный механизм используется для построения указателя направления вращающегося поля, синхроскопа, частотомера. Зависимость показаний от колебаний частоты тока возбуждения и температуры окружающей среды ограничивает область применения этих приборов.

**Измерительный прибор рабочий** — средство измерений, предназначенное для эксплуатации в производственных условиях. Часто рабочими называют приборы, имеющие *класс точности* I и более.

**Измеряемый объект** — объект, одна или несколько характеристик (измеряемых величин) которого определяются посредством измерений.

**Изоляция защитная** — способ защиты от поражения электрическим током.

Изоляция защитная обеспечивается улучшенной или усиленной изоляцией токоведущих частей электротехнических устройств от частей, к которым возможно прикосновение человека. Предпочтительным является по возможности полное изолирующее покрытие, футляры, кожухи и т. д. Изоляция защитная не нуждается в защитном проводе. Ее эффективность устанавливается на основе *испытаний защитной изоляции*.

**Импеданс** (см. Входное полное сопротивление).

**Импульс** — динамическая величина произвольной формы, мгновенное значение которой отлично от нуля в течение ограниченного интервала времени.

Под формой импульса понимают зависимость импульсной величины от времени. Широко применяются следующие формы импульсов: прямоугольная, трапециевидная, треугольная (например, импульс пилообразного напряжения), функция Дирака (дельта-импульс), косинусоидальная, колоколообразная. Различают однополярные и двухполярные импульсы. Полярность (знак) мгновенного значения однополярных импульсов не изменяется в течение длительности импульсов. У двухполярных импульсов имеет место изменение полярности; постоянная составляющая этих импульсов равна нулю.

Важными параметрами импульса являются его амплитуда (высота импульса в установившемся режиме)  $\Delta$  и *длительность импульса*  $\tau$  (рис. 70). При контроле импульса прямоугольной формы определя-

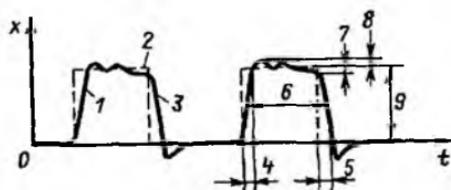


Рис. 70. Импульс. Последовательность импульсов прямоугольной формы:

1 — передний фронт; 2 — вершина импульса; 3 — задний фронт; 4 — время нарастания (длительность переднего фронта); 5 — время спада; 6 — длительность импульса; 7 — спад вершины; 8 — переколебания; 9 — амплитуда импульса

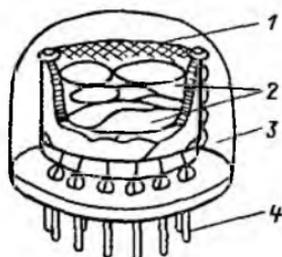


Рис. 71. Индикаторный элемент электровакуумный:

1 — аноды в форме символов; 2 — катоды; 3 — стеклянная колба; 4 — цокольные ножки

ются его количественные характеристики (параметры): *время нарастания* (длительность фронта), *время спада* (постоянная спада), *спад вершины*, *величина выброса* (см. *Переколебание*).

Множественно повторяющиеся одинаковые импульсы называют *последовательностью импульсов*.

**Индикатор** — прибор или вещество, с помощью которого определяется наличие какой-либо величины в определенном диапазоне значений.

Индикатор не предназначен для точных измерений. Числовые отметки его шкалы имеют характер порядковых или интервальных величины (см. *Шкала*). Специальным типом индикатора является *нуль-индикатор*, предназначенный для уравнивания компенсационных измерительных схем.

Индикаторный элемент электровакуумный — конструктивный элемент для электрооптической *цифровой индикации*.

Индикация в вакууме осуществляется при помощи ламп тлеющего разряда, имеющих несколько катодов, выполненных в форме цифр и символов, и общий анод (рис. 71). В зависимости от требуемого символа напряжение прикладывается между анодом и соответствующим катодом. Напряжение должно быть достаточным, чтобы вызвать свечение катода.

Индикация цифровая — показания средства измерений в форме цифровой последовательности.

Цифровая индикация осуществляется с помощью цифровых шкал, выдающих числовое значение измеряемой величины. Кроме того, может индицироваться дополнительная информация: десятичная запятая, единица измерения, полярность (буквенно-цифровая индикация). Точность отсчета может быть повышена путем увеличения (в разумных пределах) количества индицируемых разрядов.

Индуктивность измерительная — мера индуктивности, предназначенная для использования в измерительных цепях.

Индуктивность измерительная должна иметь высокое постоянство номинального значения и малые *потери*. Индуктивность измерительная представляет собой цилиндрическую одно- или многосекционную катушку, обмотка которой выполняется низкочастотным одножильным проводом на мраморном или керамическом каркасе. Поперечное сечение обмотки делается приблизительно квадратной формы. Индуктивности с большими номинальными значениями выполняются на пластинчатых сердечниках из железистых сплавов с высокой проницаемостью или на керамических ферритовых сердечниках. Дроссели, применяемые в измерительных цепях, также имеют пластинчатые стальные сердечники, ширина воздушных зазоров которых в некоторых конструкциях может регулироваться с целью изменения значения индуктивности.

Многозначная мера индуктивности (магазин) получается путем переключения нескольких выводов однозначных мер или при помощи *вариометра*. Индуктивность измерительную непременно экрануют. Если индуктивность измерительная применяется как образцовая, то она должна быть аттестована.

Индуктор с ручным приводом — источник напряжения в приборах для измерения сопротивления изоляции. В приборах для измерения сопротивления изоляции (мегаомметрах) и испытаний изоляционной способности в качестве источника измерительного и испытательного напряжений используются генераторы с ручным приводом. Значения напряжений контролируются по шкале измерительного прибора, градуированной в вольтах. Другая шкала этого же прибора, градуированная в единицах сопротивления, обеспечивает отсчет измеренного значения сопротивления изоляции. В качестве измерительного прибора может быть использован *логометрический омметр* (для измерения больших сопротивлений).

Интервал измерений — протяженность диапазона измерений.

Интервал измерений определяется разностью конечного и начального значений диапазона измерений. Во многих случаях эти значе-

ния называют верхней и нижней границами измерения и используют для определения интервала измерений. При естественном нуле (нижняя граница измерений равна 0) указываемая верхняя граница измерений совпадает с интервалом измерений.

**Интервал шкалы** (см. Аналоговая шкала).

**Интерфейс** — элемент связи, схема согласования.

Для обеспечения сопряжения двух или нескольких составных частей системы с одинаковыми или различными входными и выходными величинами используются интерфейсные схемы. Этим обеспечивается электрическая, логическая, конструктивная и функциональная совместимость соединяемых частей.

**Исключение нулевой точки** — исключение нулевой точки измерительного прибора.

В некоторых случаях бывает целесообразно исключить начальную часть шкалы и тем самым повысить точность считывания (но не точность измерения). Исключение нулевой точки применяется, например, при измерении малых изменений больших абсолютных значений измеряемых величин. Нулевая точка может совпадать с начальным значением шкалы или быть вне диапазона показаний, при этом индикация измеряемой величины начинается лишь с ее определенного значения.

Исключение нулевой точки может быть достигнуто предварительной механической корректировкой (изменением положения корректора нуля) или противоположным (по знаку) включением постоянной электрической величины. Во многих случаях к измерительному механизму последовательно подключается Z-диод, благодаря чему ток в измерительном механизме, а следовательно, и индикация измеряемого значения появляются лишь по достижении пробивного напряжения на диоде.

**Исправление измеренного значения** (см. Коррекция).

**Испытание под нагрузкой** — один из обязательных видов испытаний электротехнической аппаратуры, цель которого — убедиться в отсутствии опасности поражения электротоком.

В процессе испытаний под нагрузкой убеждаются в эффективности способов и мер защиты. Для этого проводятся необходимые измерения или испытываются на срабатывание соответствующие защитные устройства.

**Испытание электрической цепи на разрыв** — обязательное мероприятие, которое проводится при вводе в эксплуатацию и проверке электротехнических устройств и установок, имеющих защитный провод. Осуществляется при помощи пробников.

**Испытания** — метрологическая деятельность с целью определения, удовлетворяет ли испытываемый объект (измерительный прибор, устройство) предъявляемым требованиям, установленным в стандартах или ожидаемым в процессе разработки.

Испытания всегда связаны с разработкой. В процессе испытаний проводится субъективная оценка (контроль, внешний осмотр) и объективный контроль посредством испытательных средств.

Результатом субъективного контроля являются качественные выводы, например: «объект горячий (перегрет)». Напротив, объективная оценка (собственно испытания) дает обоснованные результаты об удовлетворении определенным требованиям, например *контроль мер защиты* от поражения электрическим током.

При качественном контроле измерения не проводятся, а прове-

ряются внешние признаки работоспособности. При количественном контроле посредством измерений устанавливается значение физической величины или параметра и его соответствие заданному интервалу, определенному например, заданными границами погрешности или допускаемыми границами.

Специальным видом испытаний является *калибрование*.

**Испытания (контроль) аварийного отключения** — состоят из внешнего осмотра и контроля функционирования.

Контроль гальванического (электрического) отключения от сети и контроль изолированности всех проводов друг от друга, включая защитные провода, осуществляются путем визуального осмотра. Кроме того, контролируется подключение к линии питания (сети) лишь одного потребителя. Контроль выравнивания потенциала и присоединения защитного провода проводится в тех случаях, когда к линии передачи энергии подключены несколько потребителей. При этом посредством контроля функционирования убеждаются в наличии соединения защитного провода со всеми потребителями. При *двойном замыкании на корпус* рабочая токовая цепь должна самостоятельно отключаться.

**Испытания первичные** — обязательные испытания защитных устройств против опасных электрических токов (от поражения электрическим током). Первичные испытания должны проводиться после монтажа электротехнических устройств, перед вводом их в эксплуатацию.

**Испытания приемо-сдаточные** — организационные мероприятия по обеспечению эксплуатационной надежности электротехнических устройств.

Испытания приемо-сдаточные проводятся непосредственно перед вводом в эксплуатацию электротехнических устройств. Они содержат, как минимум, *контроль мер защиты* от поражения электрическим током, *измерение сопротивления изоляции* и контроль выполнения требований нормативно-технических документов (ГОСТов) к конструкции устройства. Особенности приемо-сдаточных испытаний для специальных электротехнических устройств, например для обязательно контролируемых электротехнических устройств, установлены в соответствующих стандартах.

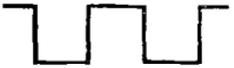
**Испытания с помощью прямоугольного импульса** — качественный контроль коэффициента передачи четырехполюсников.

Импульс прямоугольной формы представляет собой смесь синусоидальных колебаний различных частот (основной частоты и нечетных гармоник). Если подать их на вход четырехполюсника (например, усилителя), то на выходе основная и высшие гармоники будут получены с большими или меньшими искажениями. По искажениям формы импульса, которые определяются путем осциллографического измерения напряжения, можно приблизительно оценить уровень частотных и фазовых искажений четырехполюсника в данном диапазоне частот (табл. 5).

Если прямоугольный импульс имеет форму, близкую к идеальной, то на выходе исследуемого устройства посредством *осциллографического измерения времени* определяется длительность фронта  $T_r$ , которая связана с полосой частот  $B$  (высшая граничная частота  $f_0$ ) эмпирической зависимостью

$$B \approx \frac{0,35}{T_r}.$$

Таблица 5. Испытание свойств передачи четырехполосников с помощью прямоугольных импульсов

Форма импульсов на входе и на выходе	Характеристика выходных импульсов	Передачные свойства
	<p>Искажения формы отсутствуют; крутые нарастания (фронты) и спад (время нарастания и спад близко к 0);</p>	<p>Большая полоса пропускания с низкой нижней и высокой верхней граничными частотами; амплитудная погрешность отсутствует (линейная частотная характеристика)</p>
	<p>Точные (четкие) углы</p>	<p>Фазовая погрешность отсутствует (постоянное время прохождения, линейная фазовая характеристика)</p>
	<p>Искаженные фронты; наклонные (заваленные) нарастание и спад (большие времена нарастания и спада); закругленные углы</p>	<p>Пониженная верхняя граничная частота, т. е. неточная передача высоких частот (зачастую вследствие параллельных и внутрисхемных емкостей)</p>
	<p>Спад плоской вершины (наклонная вершина импульса); относительно крутые нарастание и спад</p>	<p>Повышенная нижняя граничная частота, т. е. неточная передача низких частот и постоянной составляющей (зачастую вследствие связей конденсаторов)</p>
	<p>Переколебания (вслед за нарастанием и/или спадом возникают затухающие колебания)</p> <p>Названные выше упрощенные и обособленные искажения во многих случаях возникают одновременно</p>	<p>Система передачи содержит (паразитные) колебательные контуры</p>

Примечание. Форма импульсов на входе показана прерывистой линией, а на выходе — сплошной

**Испытания электрические** — обязательное (установленное в стандартах) определение работоспособности электротехнических устройств и контроль выполнения соответствующих стандартов.

Составной частью электрических испытаний являются *контроль мер защиты* от поражения электрическим током и измерение изоляции.

**Испытатель напряжения** — однополюсный испытательный прибор для индикации (обнаружения) напряжения сети.

Испытатель напряжения состоит из последовательно соединенных лампы накаливания и высокоомного сопротивления. Недостаток прибора в том, что он индицирует также напряжение помеховых проводов. В коммерческих целях этот прибор применять нельзя.

**Источник синхронизации** — источник напряжения, используемого для *синхронизации*, запуска.

При выборе источника синхронизации различают главным образом внешнюю и внутреннюю синхронизацию. При внутренней синхронизации напряжение синхронизации формируется внутри осциллографа, т. е. исследуемый измерительный сигнал сам осуществляет синхронизацию. У двулучевых осциллографов для этого используется селекция каналов, чем обеспечивается возможность получения необходимых временных соотношений, изображаемых функцией. Если сигнал синхронизации подводится к осциллографу через гнездо извне, то говорят о внешней синхронизации. Для этого может использоваться сам измеряемый сигнал или специальный сигнал. В качестве источника синхронизации может быть выбрано напряжение сети (синхронизация от сети). Кроме того, у некоторых осциллографов имеется источник синхронизации, предназначенный для специального применения, например ТВ-синхронизация. Характер *входной цепи синхронизации* определяется источником синхронизации.

**Источник шума образцовый** — генератор шума, генерирующий шумовой сигнал с определенными характеристиками.

## К

**Калибрование** — специальный вид испытаний.

При помощи калибрования устанавливается, находятся ли в заданных границах характеристики испытываемого объекта, например форма, длина, угол изделия (детали). Для этого используются стандартные образцы формы или меры физических величин, с помощью которых устанавливается пригодность испытываемого изделия к применению, а также знак ошибки (больше или меньше нормы), но значение отклонения при калибровании определить нельзя.

**Качание (частоты)** — способ измерения для прямого получения *частотной характеристики* четырехполюсника на осциллографе.

Данный способ заключается в пропускании через измеряемый объект (четыреполюсник) измерительного напряжения с периодически повторяющимся изменением частоты, формируемого генератором посредством *частотной модуляции* его выходного напряжения. Изменением частоты измерительного напряжения управляют с помощью пилообразного напряжения (развертки) осциллографа. Получаемое при этом на выходе исследуемого четырехполюсника изменение амплитуды изображается в виде графика на осциллографе (рис. 72).

Преимущественное использование данного способ нашел при исследовании частотных характеристик колебательных контуров, по-

ловых фильтров, RC-четырёхполюсников (цепочек) и усилительных каскадов. На осциллограмме могут воспроизводиться частотные (временные) метки, так как на экране осциллографа отсутствует частотный (временной) масштаб для абсолютных измерений. Изменение девиации частоты модулированных по частоте колебаний позволяет растягивать кривую на экране.

**Квант измерений (шаг измерений)** (см. Приращение).

**Квантование** — разделение измерительной информации на некоторое количество одинаковых по значению ступеней (приращений).

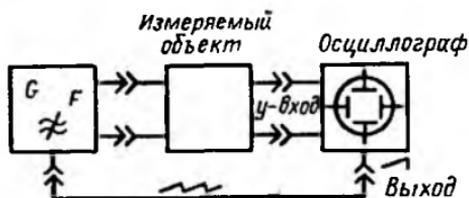


Рис. 72. Качание (частоты)

В процессе квантования каждому значению из некоторого бесконечного множества значений аналоговой величины ставится в соответствие одно дискретное значение (из конечного множества значений). При этом возникает погрешность квантования. Эта погрешность не превосходит ступени квантования и будет тем меньше, чем больше число ступеней используется при квантовании.

**ККЕ** — сокращенное наименование консультативного комитета по электричеству. *Международная организация по измерениям.*

**Класс**

1. Совокупность однородных элементов, имеющих как минимум одно общее свойство (см. *Классификация*).

2. Крайняя форма *класса точности*.

**Класс погрешности** (см. *Класс точности*).

**Классификация, классифицирование** — разделение (приборов) по определенным признакам на заданные или выбранные классы, как вид *метрологической деятельности*.

При проведении классификации образуются группы однородных элементов, имеющих хотя бы одно общее свойство, и устанавливается (определяется) функция распределения элементов внутри данного класса, например разделение комплектующих элементов по значениям общего параметра, средств измерений — по классам точности или измеренных значений (результатов наблюдений) — по отклонению от среднего значения.

При разделении разнородных элементов одного множества говорят о *сортировке*.

**Класс точности** (степень точности, класс погрешности или, коротко, класс) — количественная оценка гарантированных *границ погрешности* средства измерений.

Класс точности характеризует погрешность средства измерений (см. *Относительная погрешность*), косвенно связан с погрешностью измерений, осуществляемых данным средством (прибором). Установлены единые для всех стран значения классов точности (табл. 6) и их обозначения (см. *Обозначение класса точности*) на шкалах приборов. Значения классов точности определяются с использованием нормирующего значения, например, конечное значение диапазона измерения, длина шкалы, истинное (действительное) значение.

Класс (например, 1) характеризует гарантированные границы

**Т а б л и ц а 6. Международные значения классов точности**

Измерительные приборы	Классы точности	
	измерительного прибора	используемой принадлежности
Образцовые и точные	0,05	0,02
	0,1	0,05
	0,2	0,1
	(0,3)	0,1
	0,5	0,2
Рабочие	1	0,5
	1,5	0,5
	2,5	1
	(4)	1
	5	1

погрешности в процентах ( $\pm 1\%$ , например, от конечного значения диапазона 100 В, т. е.  $\pm 1$  В) в нормальных условиях эксплуатации (например, при нормальной температуре 23 °С). Если влияющая величина изменится в пределах рабочего диапазона (например, 10 °С... 23 °С... 30 °С), то изменение показаний не должно выходить за пределы класса точности  $\pm 1\%$  (т. е.  $\pm 1$  В)\*.

**Клеймение** — нанесение на средство измерений специального клейма, свидетельствующего по результатам поверки о пригодности прибора к эксплуатации

Клеймение осуществляется государственной (ведомственной) поверочной лабораторией после проведения обязательной периодической поверки путем нанесения специального клейма и/или выдачи свидетельства. Клеймение подтверждает, что погрешность средства измерений не превышает установленных границ, отсутствуют какие-либо повреждения конструкции и средство измерений пригодно к эксплуатации. Действие клейма сохраняется в течение межповерочного интервала и возобновляется только по результатам очередной поверки.

**Клещи измерительные коэффициента мощности** (см. Измеритель коэффициента мощности).

**Клещи токоизмерительные** (см. Прибор измерительный в виде клещей).

\* Согласно ГОСТ 8.401-80 классы точности устанавливаются по характеристикам допускаемой основной (!) погрешности, т. е. погрешности средства измерений в нормальных условиях.

Дополнительная погрешность, т. е. погрешность средства измерений, возникающая вследствие изменения влияющих величин в диапазоне рабочих условий эксплуатации, нормируется дольным или кратным значением от допускаемой основной погрешности. Таким образом, если класс точности прибора G, а дополнительная погрешность не превышает, например, половины предела основной погрешности, то в рабочих условиях эксплуатации погрешность измерения следует оценивать величиной  $G \pm 0,5G$ , т. е. погрешность измерения может превысить значение класса точности. — *Прим. пер.*

**Клещи токотрансформаторные** — специальная переносная конструкция трансформатора тока.

Клещи токотрансформаторные представляют собой разъемный стальной сердечник (рис. 73), имеющий форму клещей. Токоведущий провод с измеряемым током, выполняющий при измерениях роль первичной обмотки, пропускают внутрь клещевидного сердечника. Наличие разрыва в магнитопроводе обуславливает ограниченную точ-

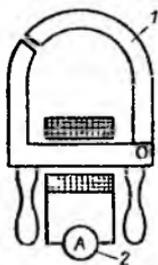


Рис. 73. Клещи токотрансформаторные:

1 — трансформатор тока в виде клещей; 2 — амперметр

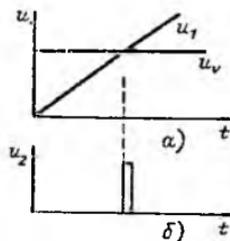


Рис. 74. Компаратор. Принцип действия:

а — входные напряжения; б — выходной сигнал при совпадении  $u_1$  и  $u_2$

ность измерения клещей токотрансформаторных. Достоинством клещей является возможность измерений тока без разрыва измеряемой цепи.

**Кодирование** — преобразование (аналоговой) измерительной информации в цифровой *измерительный сигнал*.

При кодировании каждому значению, которое вследствие квантования может принимать только определенные дискретные значения, ставится в соответствие комбинация информативного параметра (*измерительного сигнала*). Код, соответствующий каждому квантованному значению, формируется по определенному закону. В измерительной технике используются преимущественно двуполярные сигналы, последовательность которых образует кодовое слово.

**Колебания** (величина колебаний) (см. Размах колебаний).

**Компаратор** — устройство для сравнения напряжений.

На вход компаратора подают входное напряжение  $u_1$  и напряжение сравнения (опорное напряжение)  $u_2$ . Они сравниваются друг с другом (рис. 74, а). В момент равенства сравниваемых напряжений формируется выходной сигнал  $u_2$  (рис. 74, б).

Для построения схемы могут использоваться диоды, транзисторы и интегральные микросхемы. Часто в качестве компаратора используют операционный усилитель. В измерительной технике компараторы наиболее широко применяются в *аналого-цифровых преобразователях*.

**Компаратор напряжений** (см. Компаратор).

**Компарирование напряжений** — измерение сопротивления методом сравнения.

Данный метод заключается в сравнении падений напряжений, вызываемых постоянным током на измеряемом объекте и на образцовом сопротивлении, значение которого точно известно.

С этой целью неизвестное сопротивление  $R_x$  и образцовое сопротивление  $R_N$  соединяются последовательно, так что через них протекает один и тот же постоянный ток (рис. 75, а).

Измеряя высокоомным вольтметром  $R_{GV} > (10^2 + 10^4) R_x$  или компенсатором напряжения  $U_x$  и  $U_N$ , определяют  $R_x$ :

$$R_x = \frac{U_x}{U_N} R_N.$$

Если в качестве образцового используется регулируемое с мелким шагом измерительное сопротивление, например магазин сопротивлений, и  $R_N$  имеет тот же порядок, что и  $R_x$ , то, изменяя значение

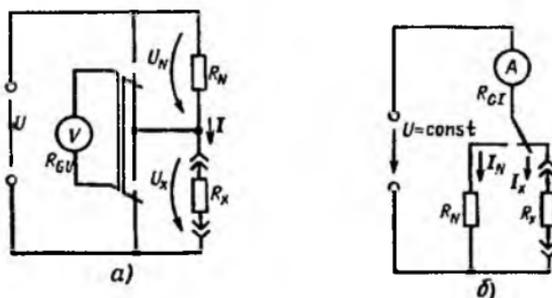


Рис. 75. Компарирование:  
а — напряжений; б — токов

$R_N$ , можно добиться равенства  $U_x = U_N$ . При этом оба сопротивления также оказываются одинаковыми ( $R_x = R_N$ ) и значение  $R_x$  можно прочесть непосредственно на шкале образцового сопротивления. Этот схемный принцип, но в виде *компарирования*, разработан и применяется в различных вариантах.

**Компарирование токов** — способ уравнивания при измерении сопротивления.

При данном способе уравниваются токи, обусловленные постоянным напряжением и протекающие через измеряемый объект и образцовое сопротивление с точно известным значением (рис. 75, б). Для этого неизвестное сопротивление  $R_x$  и образцовое  $R_N$  поочередно подключаются к постоянному напряжению и измеряются соответствующие токи  $I_x$  и  $I_N$ :

$$R_x = \left[ \frac{I_N}{I_x} (R_N + R_{GI}) \right] - R_{GI}.$$

Если выполняется общее требование к амперметру, т. е. внутреннее сопротивление измерителя токов  $R_{GI}$  меньше, чем  $R_x$  и  $R_N$ , то справедливо:

$$R_x \approx \frac{I_N}{I_x} R_N.$$

Если образцовое сопротивление выполнено в виде изменяемого малыми ступенями измерительного сопротивления, например магазина сопротивлений, того же порядка, что и величина  $R_x$ , то изменяя зна-

чения  $R_N$ , можно добиться равенства показаний при обоих положениях переключателя, т. е.  $I_x = I_N$ . Тогда равны и оба сопротивления  $(R_x - R_N)$  и значение  $R_x$  может быть прочитано непосредственно на шкале образцового сопротивления.

Этот принцип распространяется также и на *компарирование напряжений* и применяется во многих вариантах.

Компенсатор — измерительный прибор, основанный на методе компенсации. В зависимости от характера измеряемых величин различают *компенсаторы постоянного напряжения* и *компенсаторы переменного напряжения*. При данном способе измеряемый объект почти не нагружается; в уравновешенном состоянии в измерительной цепи ток отсутствует, т. е. она не потребляет мощности (см. *Собственное потребление мощности*). Таким образом, в процессе измерения измеряемая цепь не потребляет энергии от измеряемого объекта и не оказывает на него искажающего измеряемую величину воздействия, чем обеспечивается высокая точность измерений. На результат измерения оказывают влияние только напряжения и сопротивления. Так как в схемах компенсатора используются высокоточные *нормальные элементы* и *измерительные сопротивления*, а также отсутствует потребление мощности от измеряемого объекта, то на основе компенсатора удается создавать наиболее высокоточные электроизмерительные устройства.

Процесс уравнивания и измерения автоматизирован (см. *Компенсатор самоуравновешивающийся*).

Компенсатор Линдека — Роте — компенсатор постоянного напряжения, основанный на измерении тока.

С измеряемым напряжением сравнивается падение напряжения на образцовом резисторе (сопротивлении), которое может варьироваться путем изменения вспомогательного тока при помощи потенциометра (рис. 76). Нулевое положение указателя гальванометра сви-

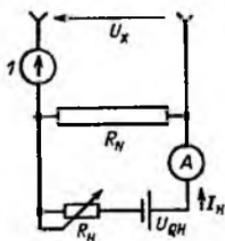


Рис. 76. Компенсатор Линдека—Роте:

$U_x$  — измеряемое напряжение;  $R_N$  — образцовое сопротивление;  $R_П$  — регулируемое сопротивление;  $I_N$  — вспомогательный ток;  $Г$  — гальванометр в качестве нуль-индикатора

детельствует о достижении компенсации; при этом  $U_x = I_N R_N$ . Так как величина  $R_N$  постоянна, то значение вспомогательного тока, индицируемое амперметром, является непосредственной мерой искомого напряжения:  $U_x \sim I_N$ .

Компенсатор переменного напряжения — компенсатор, позволяющий проводить измерения переменного напряжения с очень высокой точностью с учетом фазы или без нее.

Если необходимо определить только значение переменного напряжения, т. е. фазовое положение не имеет значения, то измерения осуществляют после соответствующего преобразования, например, термопреобразователем, посредством *компенсатора постоянного напряжения* (см. *Компенсатор Румфа*).

Измерение переменного напряжения с учетом фазы предполагает, что в каждый момент времени напряжение компенсации  $u_K$  должно быть равно неизвестному напряжению и иметь противоположную фазу, т. е. равные амплитуду, частоту и сдвиг фазы на  $180^\circ$  (см. *Компенсатор по Ларсену*).

Компенсатор по Ларсену — компенсатор переменного напряжения, учитывающий фазу измеряемого напряжения.

Неизвестное напряжение  $u_x$  в каждый момент времени должно быть равно по значению и противоположно по знаку компенсирующему напряжению  $u_K$ , т. е. должны быть одинаковыми амплитуда и частота, а сдвиг по фазе должен быть равным  $180^\circ$  (рис. 77, а).

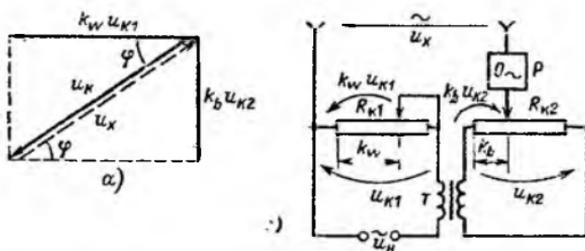


Рис. 77. Компенсатор по Ларсену:

а — компенсация переменного напряжения; б — измерительная схема

Равенство амплитуд, как и в компенсаторе постоянного напряжения, может обеспечиваться при помощи делителя напряжения. Равенство частот обеспечивается использованием для обоих напряжений идентичных источников; гальваническая развязка обеспечивается разделительным трансформатором. Сдвиг по фазе создается соответствующим элементом цепи (например, трансформатором) или отградуированным фазовращателем.

У компенсаторов по Ларсену компенсирующее напряжение представляет собой композицию двух отдельных компонент, отличающихся друг от друга по фазе на  $90^\circ$ . Путем изменения значений отдельных компонент напряжения обеспечивается регулирование напряжения компенсации по значению и фазе (рис. 77, б). Для определения состояния компенсации применяется *нуль-индикатор переменного тока (P)*.

При передаче сигнала с малым рассеянием и коэффициентом передачи, равным 1, вторичное напряжение оказывается сдвинутым по фазе относительно первичного тока на  $90^\circ$ . Оба напряжения  $u_{K1}$  и  $u_{K2}$  на обоих потенциометрах  $R_{K1}$  и  $R_{K2}$  равны по значению, а по фазе отличаются друг от друга на  $90^\circ$ .

Изменением положения движка потенциометра  $R_{K1}$  (падением напряжения на участке  $k_w$ ) добиваются компенсации вещественной составляющей искомого напряжения; компенсация реактивной составляющей обеспечивается значением падения напряжения  $u_{K2}$  на участке  $k_b$  потенциометра  $R_{K2}$ . Падения напряжений на сопротивлениях участков потенциометров  $k_w u_{K1}$  и  $k_b u_{K2}$  путем геометрического сложения образуют напряжение  $u_K$ , которое компенсирует измеряемое напряжение  $u_x$ .

Так как  $|u_{k1}| = |u_{k2}|$ , то справедливо

$$u_x = u_K \sqrt{k_{\omega}^2 + k_b^2}; \quad \text{игр} = \frac{k_b}{k_{\omega}}.$$

Компенсатор по Поггендорфу — компенсатор постоянного напряжения, основанный на потенциометрическом принципе.

В режиме уравнивания в положении переключателя 1 посредством гальванометра  $P$  осуществляется сравнение напряжения нормального элемента  $E_N$  с падением напряжения на образцовом сопротивлении  $R_N$ . Если гальванометр показывает нуль (что обеспечивается подбором  $R_N$ ), то справедливо  $E_N = I_H R_N$ .

Так как  $E_N$  и  $R_N$  — величины постоянные и известные, то и  $I_H$  также постоянная и известная величина (рис. 78).

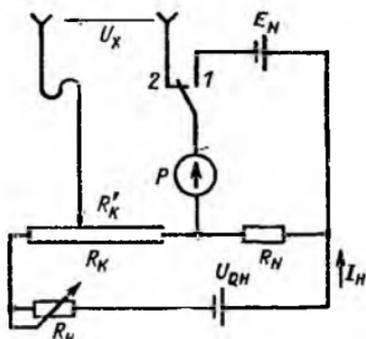


Рис. 78. Компенсатор по Поггендорфу

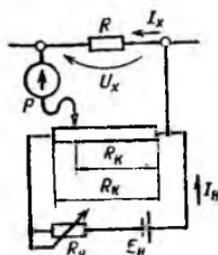


Рис. 79. Компенсатор постоянного напряжения

В режиме измерения переключатель переводится в положение 2, подключая к схеме измеряемое напряжение  $U_x$ , которое сравнивается с падением напряжения на  $R'_K$ , создаваемым вспомогательным током  $I_H$  на части компенсационного сопротивления (измерительного потенциометра). Если  $R'_K$  обеспечивает нулевое положение указателя гальванометра, то справедливо

$$U_x = I_H R'_K = \frac{E_N}{R_N} R'_K.$$

Так как вспомогательный ток  $I_H$  есть величина постоянная, то значение  $R'_K$ , т. е. положение движка потенциометра, есть мера искомого напряжения:  $U_x \sim R'_K$ . Для обеспечения необходимой стабильности сопротивления в цепи вспомогательного тока применяются специальные схемы (см. Компенсатор по Фойснеру с двойными декадами).

Компенсатор постоянного напряжения — вольтметр по методу компенсации, обладающий вследствие этого высокой точностью измерения постоянного напряжения, а следовательно, и косвенного определения тока, сопротивления и мощности.

Принципиальная схема представлена на рис. 79. Вспомогательный ток  $I_H$ , который создается источником напряжения  $E_N$  и регулируется

мым сопротивлением  $R_H$ , протекает через компенсационное сопротивление  $R_K$  и создает на нем падение напряжения.

**Измерение напряжения.** Измеряемое напряжение  $U_x$  подключается к части  $R'_K$  компенсационного сопротивления. При этом ползунок реостата устанавливается так, чтобы гальванометр  $P$  показывал нуль. Значение измеряемого напряжения будет равно падению напряжения на части  $R'_K$  компенсационного сопротивления, вызванному вспомогательным током  $I_H$ :

$$U_x = I_H R'_K.$$

**Измерение тока.** Измеряемый ток пропускается через измерительный резистор (на схеме  $R=R_N$ ), значение которого по возможности выбирается кратным 10. Соответствующее падение напряжения  $U_x$  на  $R_N$  определяется описанным выше способом компенсации; ток вычисляется по формуле

$$I_x = \frac{U_x}{R_N} = \frac{I_H R'_K}{R_N}.$$

**Измерение сопротивления и мощности.** Сопротивление (на рис. 79  $R=R_x$ ) и мощность определяются по результатам последовательных измерений напряжения  $U_x$  и тока  $I_x$ . При этом  $R_x = U_x/I_x$ . Для установления напряжения компенсации  $U_K = I_H R'_K$  существуют два основных способа:

варьирование (изменение) вспомогательного тока при постоянном компенсационном сопротивлении — способ измерения тока (основная схема данного типа *компенсатор Лундека — Роте*);

варьирование значением компенсационного сопротивления при постоянном вспомогательном токе — потенциметрический способ (основная схема данного типа *компенсатор по Поггендорфу*).

Традиционные (обычные) компенсаторы постоянного тока имеют диапазон измерения напряжения от 0 до 2 В. Для измерения более высоких напряжений используются прецизионные многоступенчатые делители напряжений, у которых значения коэффициентов деления ступеней кратны 10.

Компенсатор по Фойснеру с двойными декадами — компенсатор постоянного напряжения, работающий по принципу потенциметра.

Процесс измерения аналогичен схеме *компенсатора по Поггендорфу*. При выставлении напряжения компенсации результирующее сопротивление вспомогательного контура, а следовательно, и установленное значение тока  $I_H$  не должны изменяться. Чтобы добиться этого, декады 10,1 и 0,1 компенсирующего сопротивления  $R_K$  подключаются последовательно с добавочными сопротивлениями  $R_E$ . Указанные сопротивления построены таким образом, что при подключении некоторого сопротивления к  $R_K$  такое же сопротивление от  $R_E$  отключается и наоборот (рис. 80), т. е.  $R_K + R_E = \text{const}$ .

Компенсатор Румфа — компенсатор переменного напряжения, предназначенный для измерения переменного напряжения без учета начального фазового сдвига.

Измерение переменного тока или напряжения этим прибором сводится к компенсации постоянного напряжения. Роль преобразующего элемента для косвенной компенсации выполняет *термопреобразователь*. Через нагревательный элемент термопреобразователя  $B_1$  пропускается измеряемый переменный ток, а через нагревательный

элемент термопреобразователя  $B_2$  — вспомогательный постоянный ток (рис. 81).

Для точных измерений необходимо обеспечить одинаковую чувствительность обоих термопреобразователей (например, с помощью  $R_p$ ). Термозлементы (термопары) обоих прямо или косвенно нагреваемых термопреобразователей подключаются и подстраиваются относительно друг друга таким образом, чтобы их термоЭДС взаимно

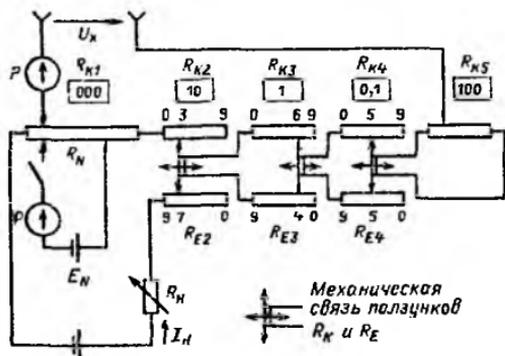


Рис. 80. Компенсатор по Фойснеру:

$R_K$  — сопротивление основной компенсации;  $R_E$  — ограничивающие сопротивления;  $E_H$  — источник вспомогательного напряжения;  $I_H$  — вспомогательный ток;  $R_M$  — резистор установки вспомогательного тока;  $R_N$  — сопротивление вспомогательного компенсатора;  $E_N$  — нормальный элемент;  $P$  — гальванометр в качестве нуль-индикатора

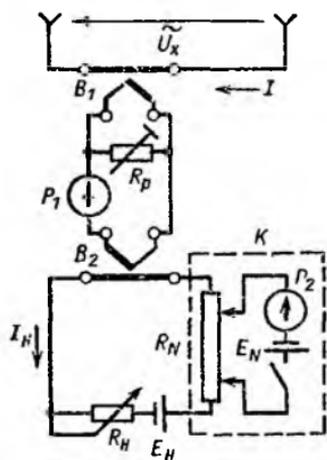


Рис. 81. Компенсатор Румица

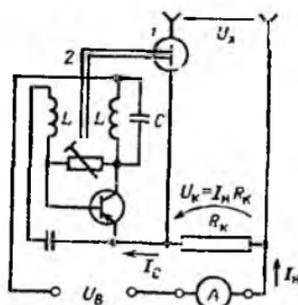


Рис. 82. Компенсатор с генератором:  
 $I$  — гальванометр; 2 — экранирующий флажок;  
 $I_C$  — ток коллектора;  $I_H$  — вспомогательный ток;  
 $U_K$  — компенсирующее напряжение;  
 $U_x$  — измеряемое напряжение

компенсировались. Так как одинаковые значения постоянного тока и эффективное значение переменного тока (независимо от формы) на одинаковых сопротивлениях нагревательных элементов выделяют одинаковую мощность, то эффективное значение переменного напряжения или тока может быть определено посредством компенсатора постоянного напряжения с нормальным элементом ( $K$ ).

Компенсатор с генератором — самоуравновешивающийся компенсатор постоянного напряжения, основанный на способе измерения тока.

К указателю гальванометра прикреплен экранирующий флажок, являющийся регулирующим элементом в  $LC$ -цепи обратной связи транзисторного генератора. При изменении измеряемого тока вместе с указателем гальванометра в движение приходит флажок, обуславливающий изменение напряжения генератора, тока коллектора и, следовательно, индицируемого или регистрируемого вспомогательного тока ( $I_{II} = I_C$ ). При этом изменяется компенсирующее напряжение до тех пор, пока не сравняется с измеряемым напряжением (рис. 82).

Компенсатор самоуравновешивающийся — компенсатор с автоматическим процессом уравновешивания.

Чтобы метод компенсации сделать пригодным для измерительной техники, применяемой в производственных условиях, в приборах, основанных на этом методе, для достижения равенства измеряемого и компенсирующего напряжений используется регулирующая схема (например, автокомпенсатор, компенсатор с генератором).

Компенсация магнитного поля Земли — конструктивный способ устранения влияния внешнего постоянного магнитного поля на измерительный прибор.

Компенсограф (см. Прибор самопишущий компенсационного типа).

Комплект для измерения мощности — совокупность средств измерений и измерительных принадлежностей для автономного измерения мощности.

Комплект для измерения мощности предназначен для частых измерений в производственных условиях на различных участках. Он содержит требуемые средства измерений, необходимые принадлежности и устройства подключения. Выполненные в данном комплекте некоторые общие участки измерительных схем и переключатели позволяют обеспечить согласование с различными типами электросетей токов и напряжений и получить выигрыш во времени при измерении различных значений электрической мощности.

Конденсатор дифференциальный — тип конструкции емкостного первичного измерительного преобразователя.

Конденсатор дифференциальный состоит из трех пластин 1, 2, 3. Положение пластины 2 относительно пластин 1 и 3 регулируется (на рис. 83 показано стрелкой). При симметричном относительно пластин 1 и 3 положении пластины 2 имеет место равенство  $C_{12} = C_{32}$ . Во всех других случаях справедливо  $C_{12} \pm \Delta C = C_{32} \mp \Delta C$ .

Конечное значение шкалы — градуировочная отметка шкалы, соответствующая наибольшему считываемому значению измеряемой величины.

Конечное значение шкалы — это последняя градуировочная отметка на шкале (вспомогательные отметки не учитываются). Конечное значение шкалы не всегда идентично конечному значению диапазона измерений (см. Аналоговая шкала).

Контроль безопасного напряжения — одна из необходимых опе-

раций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Контроль безвасного напряжения осуществляется путем *внешнего осмотра* и измерения сопротивления изоляции. При внешнем осмотре проверяется правильность выбора трансформатора и штекерного разъема для цепей с *безопасным напряжением*. Кроме того, проверяется состояние проводов. Измерением сопротивления изоляции при испытательном напряжении не менее 250 В устанавливается отсутствие связи проводников с землей.

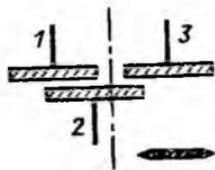


Рис. 83. Конденсатор дифференциальный

Контроль выравнивания потенциалов — составная часть контроля мер защиты от поражения электрическим током.

Контроль выравнивания потенциалов осуществляется *внешним осмотром*. При этом необходимо проверить полноту и выполнение *выравнивания потенциалов* на соответствие стандарту.

Контроль зануления — одна из необходимых операций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Для этого проводится *внешний осмотр*, включающий контроль защитного провода, его линейных размеров, пролегания соединительных элементов, правильности выбора и способа подключения. Определение эффективности *зануления* осуществляется путем вычислений или измерений. Следует убедиться в выполнении *условия отключения*. Если эффективность определяется расчетным способом, то кроме длины защитного провода контролируется также его пролегание.

Контроль защитного заземления — одна из необходимых операций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Обязательный *внешний осмотр* заключается в проверке состояния соединенных заземляемых выводов устройств с заземляющей шиной, а также контроль самой шины и защитного провода, особенно их расположения, размеров и состояния. Далее необходимо путем измерения сопротивления заземления убедиться в выполнении *условия отключения*. Необходимо проверить общее соединение защитного провода.

Контроль защитного контакта штекерного соединения — одна из необходимых операций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Проводимый для этого *внешний осмотр* охватывает контроль защитного провода, особенно его правильного подключения, и контроль штекерного разъема. В процессе *контроля функционирования* убеждаются в том, что защитный контакт штекерного разъема электрически изолирован от рабочей цепи тока. Далее устанавливается эффективность защитных мер по отношению к стационарной штекерной розетке и наличие прочного контакта соединяемых элементов разъема.

Контроль защитной изоляции — одна из необходимых операций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Контроль защитной изоляции осуществляется путем *внешнего осмотра* соответствующих элементов электротехнических установок. Контролируется безукоризненное состояние внешнего вида технологической установки. Далее проверяется отсутствие подключения ка-

ких-либо защитных проводов и визуальная различимость обозначающего защитную изоляцию символа



Контроль мер защиты от поражения электрическим током — установленный (предусмотренный) стандартами контроль эффективности мер защиты от поражения электрическим током.

Так как этот контроль (испытания) связан с безопасностью и здоровьем людей, то необходимость его проведения устанавливается государственными стандартами и он осуществляется после монтажа с определенной периодичностью, при техническом обслуживании (после ремонта) и при модернизации электротехнических устройств.

В процессе испытаний люди и подопытные животные не должны подвергаться опасности. Результаты должны заноситься в протокол. К проведению испытаний допускаются только соответствующие специалисты. Испытания состоят из испытаний защитной изоляции, испытаний, аварийного отключения, контроля завулнения, контроля безопасного напряжения, испытаний схемы автоматического отключения, контроля защитного заземления, контроля системы защитных проводов, испытания схемы выключения аварийного потенциала.

Контроль системы защитных проводов — одна из необходимых операций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Проводимый с этой целью *внешний осмотр* состоит из контроля изоляции рабочих цепей и точки нулевого потенциала, контроля выравнивания потенциалов, проверки отключения защитного провода от других цепей и проверки приложенных устройств контроля изоляции и сигнализации о неисправностях.

В процессе контроля функционирования устанавливается наличие электрической связи корпуса испытываемого электротехнического устройства с системой выравнивания потенциалов. При контроле изоляции сигнализация о повреждении имитируется при помощи *испытательного сопротивления* (резистора). Если при работе системы защитных проводов контроль изоляции не предусмотрен, то создаются условия отключения и устройство должно самостоятельно отключаться.

Контроль тока утечки схем защиты — одна из необходимых операций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Используемый для этого *внешний осмотр* состоит из проверки правильности выбора и способа подключения схемы защиты, контроля незамедлительного срабатывания при включении испытательного устройства, а также проверки состояния заземления. Контроль функционирования (работоспособности) осуществляется посредством приложения и измерения аварийного потенциала.

Контроль устройств заземления (контроль заземления) — одна из необходимых операций при контроле мер защиты от поражения электрическим током.

Контроль устройств заземления требуется проводить в процессе *первичных испытаний* вновь разработанных устройств и затем при периодических испытаниях. Эта операция состоит из *внешнего осмотра* и измерения сопротивления заземления. Основное внимание при внешнем осмотре уделяется контролю размеров, тщательности соеди-

динения заземлителя с заземляющей шиной и ее обозначения. При периодических испытаниях вышеуказанные операции проводятся на выборочной партии изделий.

**Концепция сменных блоков** — техническая концепция, на основе которой осуществляется модульное конструирование измерительных приборов.

В основе концепции сменных блоков лежит объединение различных и/или однотипных сменных функциональных блоков и устройств питания в специальном каркасе или корпусе. Путем простой взаимозаменяемости создаются универсальные и специальные измерительные места. Среди сменных модулей различают главным образом измерительные блоки (стрелочные, цифровые или осциллографические индикаторные блоки с обработкой информации или без нее), генераторные блоки (генераторы синусоидальных, импульсных сигналов, временных меток) и дополнительные блоки и блоки питания (усилители, фильтры, блоки питания). При модульном конструировании важную роль играет *совместимость*.

**Корпус** — защитный кожух измерительного прибора.

Корпус защищает и экранирует измерительный механизм, элементы конструкции и электрической схемы прибора, а также препятствует случайному касанию оператором токоведущих частей прибора. Форма и габаритные размеры корпуса обуславливаются целями назначения. Корпус из листовой стали обеспечивает прочность и экранирование от мешающих полей. Для защиты от возможного напряжения при пробое на корпус последний должен соединяться с контуром заземления. Корпус из термореактивных пластмасс отличается малой массой и исключает возможность возникновения напряжения на корпусе. Для специальных условий применения корпус изготавливается в брызго-, влагонепроницаемом и ударопрочном исполнении, повышенной безопасности (например, взрывобезопасные), возможно применение дополнительных капсул, выдерживающих большое давление. Габаритные размеры и конструктивная масса корпуса устанавливаются в соответствующей нормативно-технической документации.

**Коррекция (поправка)** — исправление результата измерений.

Коррекция осуществляется путем суммирования численных значений результата измерений и абсолютной погрешности  $\Delta X$ , взятой с обратным знаком,  $B = -\Delta X$ . Корректирующая поправка  $B$  к измеренному или действительному значению  $X'$  позволяет получить истинное значение величины:

$$X = X' + B.$$

**Корректор нуля** — устройство для регулировки нулевого положения указателя.

Конструкция *указателя* должна допускать регулировку нулевого положения в ограниченном, установленном в стандартах диапазоне в районе нулевой отметки шкалы.

У измерительных механизмов, размещенных на оси (имеющих ось), это достигается посредством усиления или ослабления натяжения возвратной пружины с помощью эксцентрика (рис. 84).

У измерительных механизмов на ленточных растяжках передвигаются узлы крепления растяжек.

У измерительных механизмов различных систем существуют специальные способы, например: у *измерительного механизма электромагнитной системы* с вращающимся магнитом — поворот возврат-

ного магнита или у измерительного механизма теплового — натяжение или ослабление проволочного мостика.

Коррекция погрешности (см. Коррекция).

Коррекция по закону косинуса (см. Измеритель освещенности).

Коэффициент активности (см. Коэффициент мощности).

Коэффициент амплитуды — отношение амплитудного значения к эффективному значению переменной величины.

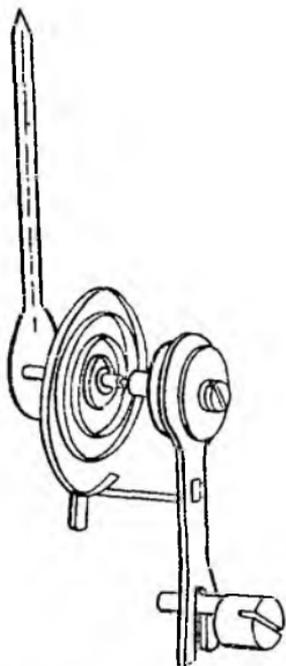


Рис. 84. Корректор нуля

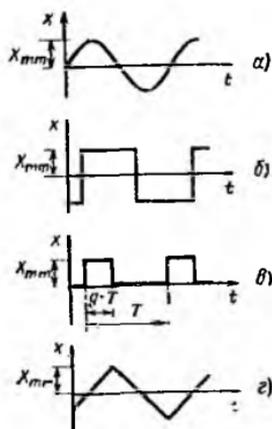


Рис. 85. Коэффициенты амплитуды для часто встречающихся форм сигналов

$a - k_s = \sqrt{2} \approx 1,41$ ;  $б - k_s = 1$ ;  $в - k_s = 1/g$ ;

$г - k_s = \sqrt{3} \approx 1,73$

Коэффициент амплитуды выражается отношением амплитудного значения  $X_{mm}$  к эффективному значению  $\tilde{x}$ :

$$k_s = \frac{X_{mm}}{\tilde{x}},$$

например, для напряжения  $k_{su} = \frac{\hat{u}}{U_{\sim}}$ . Для часто встречающихся в электротехнике форм электрических сигналов получены постоянные коэффициенты амплитуды (рис. 85).

Коэффициент взаимной индукции (см. Взаимная индуктивность).

Коэффициент временной развертки (временная база, временной масштаб) — параметр осциллографа.

Коэффициент временной развертки  $k_t$  показывает, за какое время светящаяся точка на экране смещается в горизонтальном направлении на единицу длины или длину деления шкалы, вычисляется по формуле  $k_t = l/X$  и выражается, например, в мс/см, мкс/дел.

Коэффициент временной развертки является обратной величиной скорости отклонения. Электронный луч, а значит, и светящаяся точка перемещаются в режиме временной развертки с помощью пилообразного горизонтального отклоняющего напряжения с равномерной скоростью слева направо по экрану. Таким образом, единица длины в горизонтальном направлении соответствует определенному интервалу времени. Коэффициент временной развертки указывается на передней панели осциллографа или буквенно-цифровыми символами на экране. Он справедлив лишь для определенного положения переключателя коэффициента временной развертки и при выключенном растяжении. При осциллографическом измерении времени умножением коэффициента временной развертки на измеренное на экране расстояние  $X$  между интересующими точками осциллограммы определяют соответствующий интервал времени.

Коэффициент гармоник (нереконструируемые термины: клир-фактор, коэффициент нелинейных искажений) — количественная оценка нелинейных искажений сигнала.

Нелинейные искажения вносятся любым четырехполюсником, на вход которого подается синусоидальный сигнал, и проявляются в искажении формы выходного сигнала. Несинусоидальные сигналы, кроме колебаний основной частоты (основной гармоники), содержат колебания других частот, высшие гармоники (см. Частота).

Под коэффициентом гармоник понимают отношение эффективного значения всех высших гармоник к общему эффективному значению сигнала, включая основную гармонику, в процентах:

$$k = \frac{\text{Эффективное значение высших гармоник}}{\text{Эффективное значение переменной величины}} \cdot 100\%$$

Пусть  $U_1$  — эффективное значение первой (основной) гармоники;  $U_2$  — эффективное значение второй гармоники и т. д., тогда коэффициент гармоник по напряжению рассчитывается по выражению

$$k_U = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U} = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U}$$

Коэффициент гармоник по току определяется аналогично:

$$k_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 \dots}}{I} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I}$$

Для измерения коэффициента гармоник служит мост измерительный нелинейных искажений

Коэффициент модуляции — параметр амплитудной модуляции.

Коэффициент модуляции есть отношение амплитуды низкочастотного излучения  $\hat{u}_{НЧ}$  к амплитуде высокочастотного (несущего) напряжения  $\hat{u}_{ВЧ}$ :

$$m = \frac{\text{Амплитуда низкочастотного сигнала}}{\text{Средняя амплитуда высокочастотного сигнала}} =$$

$$= \frac{\Lambda_{\text{НЧ}}}{\Lambda_{\text{ВЧ}}} 100\%.$$

Так как  $\Lambda_{\text{ВЧ}} > \Lambda_{\text{НЧ}}$ , то значение глубины модуляции всегда меньше 1. В основном коэффициент модуляции указывается в %. Измерение коэффициента модуляции осуществляется преимущественно с помощью осциллографа.

**Коэффициент мощности** (см. Влияние коэффициента мощности) — отношение активной составляющей мощности к полной мощности (см. *Мощность*).

Коэффициент мощности характеризует ту часть *полной мощности*, которая обусловлена активной составляющей (см. *Активная мощность*):

$$\lambda = \frac{\text{Активная мощность}}{\text{Полная мощность}} = \frac{P_{\sim}}{S}.$$

При синусоидальной форме величин в однофазных цепях переменного тока и трехфазных с симметричной нагрузкой в качестве коэффициента мощности принимают значение косинуса угла сдвига фаз между фазным током и фазным напряжением  $\lambda = \cos \varphi$ . В несимметрично нагруженных трехфазных цепях коэффициент мощности тоже называют  $\cos \varphi$ , однако здесь он лишен геометрического смысла.

С технико-экономической точки зрения потребители энергии с помощью компенсирующих схем должны принимать меры к тому, чтобы в электрических сетях между генератором и нагрузкой имело место как можно меньшее колебание реактивной мощности, т. е. коэффициент мощности должен иметь как можно более близкое к 1 значение (табл. 7).

Т а б л и ц а 7. Значения коэффициента мощности в зависимости от характера нагрузки

Характер нагрузки	Фазовый угол $\varphi$	Коэффициент мощности $\cos \varphi$
Последовательное активное сопротивление	$0^\circ$	1
Последовательное реактивное сопротивление	$90^\circ$	0
Индуктивная	$90^\circ > \varphi > 0^\circ$	$0 < \cos \varphi < 1$
Емкостная	$-90^\circ < \varphi < 0^\circ$	$\cos \varphi < 0$

Не следует путать коэффициент мощности с коэффициентом полезного действия, который определяется как отношение выходной мощности к входной.

**Коэффициент нелинейных искажений** (см. Коэффициент гармоник).

**Коэффициент отклонения (фактор отклонения)** — параметр осциллографа.

Коэффициент отклонения показывает, какое напряжение необходимо подать на вход осциллографа ( $u_x$  или  $u_y$ ), чтобы светящаяся точка на экране отклонилась на единицу длины или на один raster, дел.

Коэффициент вертикального отклонения

$$K_y = \frac{u_y}{Y}, \text{ например, в } \frac{\text{В}}{\text{мм}}, \frac{\text{В}}{\text{дел}}.$$

Коэффициент горизонтального отклонения

$$K_x = \frac{u_x}{X}, \text{ например, в } \frac{\text{В}}{\text{мм}}; \frac{\text{В}}{\text{дел}}.$$

Коэффициент отклонения представляет собой величину, обратную чувствительности к отклонению. Он указывается для выбранного (определенного) изготовителем положения амплитудно-усилительного верньера на переключателе положений делителя входного напряжения, расположенного на передней панели, или путем буквенно-цифровой индикации на экране. Значение измеряемого напряжения при осциллографическом измерении напряжения определяется путем перемножения коэффициента отклонения с значением отклонения на экране светящейся точки.

**Коэффициент передачи** (см. Коэффициент усиления).

**Коэффициент потерь** — отношение активной мощности к реактивной у технических электродиаэлементов.

Коэффициент *потерь* является характеристикой потерь в конденсаторах и катушках (индуктивностях). Он выражается тангенсом угла потерь, который определяется на векторной диаграмме, построенной с помощью эквивалентной схемы замещения. В общем случае справедливо

$$d = \operatorname{tg} \delta = \frac{P}{Q} = \left| \frac{R}{X} \right|.$$

Математическое выражение для коэффициента потерь в конкретном случае зависит от выбранной эквивалентной схемы замещения (см. *Схема замещения*). Коэффициент потерь зависит от типа диэлектрика или ферромагнитного материала, от значения и частоты рабочего напряжения, от температуры. Он определяется при измерении потерь. Во многих случаях задается обратная величина коэффициента потерь, именуемая добротностью.

Коэффициент потерь нельзя путать с коэффициентом мощности.

**Коэффициент реактивности** — отношение реактивной мощности к полной (см. *Мощность*).

**Коэффициент связи** (см. Взаимная индуктивность).

**Коэффициент усиления** (иначе степень усилителя или коэффициент передачи; упрощенная разговорная форма — усиление) — ко-

личественный параметр усилительного каскада или многокаскадного усилителя.

Коэффициент усиления есть отношение значения выходной величины к значению входной величины передаточного звена (рис. 86). На практике в качестве коэффициента усиления чаще используют отношение напряжений (коэффициент усиления по напряжению)

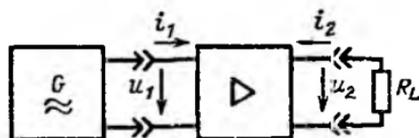


Рис. 86. Коэффициент усиления

$v_u = u_2/u_1$ , однако применяется и коэффициент усиления по току

$v_i = i_2/i_1$  или коэффициент усиления по мощности  $v_p = \frac{u_2 i_2}{u_1 i_1} = \frac{P_2}{P_1}$ .

Коэффициент усиления задается в виде безразмерного числа или в единицах передачи, дБ (см. *Уровень передачи*). Если  $v < 1$ , то речь идет об ослаблении (в разговорной речи употребляется также термин «подавление»).

Коэффициент формы — отношение эффективного значения к среднев्यпрямленному значению переменной величины.

Пусть  $\tilde{x}$  — эффективное значение,  $|\tilde{x}|$  — среднев्यпрямленное значение (среднее значение). Тогда коэффициент формы определяется отношением

$$k_f = \frac{\tilde{x}}{|\tilde{x}|}.$$

Для синусоидальных величин (например, тока или напряжения синусоидальной формы) справедливо  $k_f = \pi/(2\sqrt{2}) = 1,11$ . Это значение коэффициента формы учитывается при градуировке шкалы показывающих измерительных приборов переменных величин. Для измерения переменных величин несинусоидальной формы эти шкалы непригодны.

Коэффициент формы сигнала, форма которого отличается от синусоидальной, может быть определен при одновременном измерении этого сигнала электромагнитным и выпрямительным приборами. При этом

$$k_f = 1,11 \frac{\text{Показание электромагнитного прибора}}{\text{Показание выпрямительного прибора}}.$$

Коэффициент шума — параметр канала передачи, выражаемый отношением мощности сигнала к мощности шума.

В измерительной технике коэффициент шума может быть определен с помощью генератора шума, создающего определенный уровень шума, и измерительного генератора в качестве источника напряжения сигнала. В большинстве случаев значение параметра указывается в децибелах.

Кратные и дольные (единицы) десятичные (см. Присапка к наименованию единиц измерений).

Крепление подвижной части с помощью ленточных растяжек — разновидность опоры подвижной части электроизмерительного механизма, отличающаяся отсутствием трения.

Подвижный орган измерительного механизма с обеих сторон подвешивается на ленточных растяжках из бронзы или платиновых сплавов. Растяжкам придается форма пружины. Часто они выполняют роль

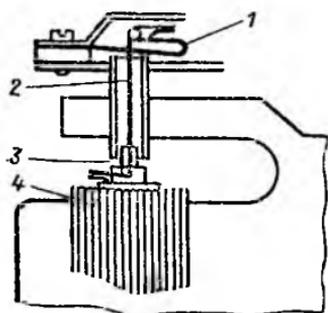


Рис. 87. Крепление на ленточных растяжках:

1 — ленточная пружина; 2 — ленточная растяжка; 3 — амортизатор; 4 — подвижный орган (например, подвижная катушка)

токоподводов к подвижному органу и, работая на кручение, создают возвращающий момент (см. *Устройство возвратное*). Ограничитель препятствует чрезмерному отклонению и удлинению растяжки (рис. 87). Одностороннее крепление на ленточной растяжке называется *ленточной подвеской*.

## Л

**Лампа катодно-излучающая** (см. *Электронно-лучевая трубка*).

**Лампа с экраном** (см. *Электронно-лучевая трубка*).

**Ламповый вольтметр** — устаревшее название электронного вольтметра.

**Линия задержки** — функциональная схема временной задержки электрического сигнала.

Время задержки в диапазоне от единиц наносекунд до единиц микросекунд обеспечивается главным образом с помощью задерживающих цепей, а в диапазоне от единиц микросекунд до единиц миллисекунд — преимущественно специальными трансформирующими элементами.

Задерживающая цепочка представляет собой четырехполосник, образованный последовательно соединенными индуктивностями и параллельно соединенными емкостями. Значения параметров элементов (емкости и индуктивности) определяют время задержки. Задерживающая цепочка может быть реализована также отрезком кабеля (распределенные индуктивности и емкости). Трансформирующий элемент имеет на входе пьезоэлектрический элемент, преобразующий электрические колебания в механические (ультразвуковые). На выходе осуществляется обратное преобразование. Механические колебания (волны) распространяются в меди с меньшей, чем электрические, скоростью. Время задержки определяется длиной элемента.

**Логометр** — измерительный механизм, индицирующий отношение двух электрических величин.

Логометрическая конструкция может быть создана на базе известных измерительных механизмов. Преимущественное использование получила конструкция со скрещенными катушками, через которые пропускаются токи, представляющие те величины, отношение которых должно быть индигировано (измерено) (например, измерительный механизм со скрещенными катушками, электродинамический логометр).

**Логометр магнитоэлектрический** (см. Измерительный механизм со скрещенными катушками — логометр).

**Логометр электродинамический** — измеритель отношений двух величин на базе электродинамического измерительного механизма.

Для построения отношения интересующих величин в электродинамических логометрах используются либо вращающаяся катушка со скрещенными обмотками, либо перекрестное поле двух неподвижных катушек. В зависимости от схемы различаются области применения: измеритель коэффициента мощности, измеритель емкости или измеритель индуктивности.

**Логометр электродинамический со скрещенными катушками.** При помощи неподвижной катушки (рис. 88, а) создается неоднородное

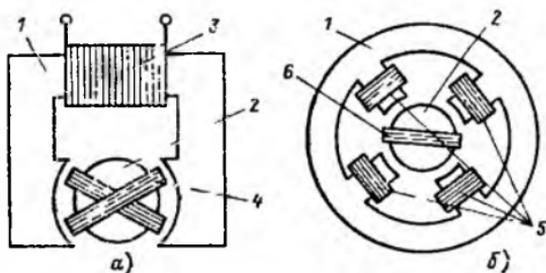


Рис. 88 Измерительный механизм логометрической электродинамической системы (изображение схематическое):

а — со скрещенными катушками; б — со скрещенными полями; 1 — магнитопровод; 2 — магнитомягкий сердечник; 3 — полюс создающая катушка; 4 — подвижные скрещенные катушки; 5 — пары неподвижных катушек, создающих скрещенные поля; 6 — обмотка подвижной катушки (рамка)

поле, в котором размещается крестообразная катушка. Измеряемые токи подводятся к обеим частям (обмоткам) этой вращающейся катушки через безмоментные пружины. Вращающие моменты, создаваемые обмотками токами, направлены встречно. При этом вращающаяся катушка занимает в неоднородном поле стационарной катушки такое положение, при котором оба вращающих момента становятся равными по значению. Вследствие этого показание, как и в случае измерительного механизма со скрещенными катушками (магнитоэлектрический логометр), зависит от отношения обмоток и сдвига фаз между ними.

**Логометр электродинамический с перекрестным полем.** По сравнению с логометром со скрещенными катушками здесь роли катушек меняются (рис. 88, б). Имеются две пары неподвижных катушек, образующих цепь напряжения и создающих встречно направленные поля и соответствующие им вращающие моменты. Подвижная катушка имеет только одну обмотку, служащую токовой цепью.

Магазин сопротивлений декадный (магазин сопротивлений с рычажными или поворотными переключателями декал) — многозначная прецизионная мера сопротивлений, предназначенная для измерительных целей (см. *Сопротивление образцовое*).

При помощи переключателей 10 одинаковых сопротивлений объединяются в декаду (рис. 89). Каждое из этих сопротивлений имеет

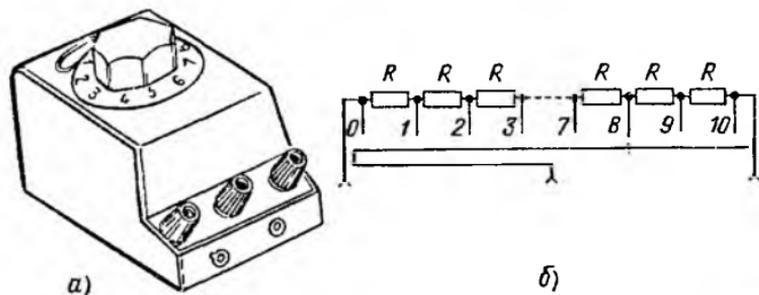


Рис. 89. Магазин сопротивлений декадный. Сопротивление с поворотным переключателем:  
а — внешний вид; б — схема

электрический экран. Все экраны имеют электрическое соединение с заземляющей клеммой. Часто несколько декал сопротивлений, значения которых образуют последовательность чисел десятичного ряда (например, кратные 10 — 1000; 100; 10; 1; 0,1 Ом), объединяются в одном корпусе. В процессе эксплуатации необходимо следить, чтобы рабочий ток не превышал допустимое значение, так как перегрузка может привести к долговременному изменению значения сопротивления.

**Магниторезистор** — резистор, сопротивление которого зависит от магнитного поля.

Магниторезистор изготавливается из специальных полупроводниковых материалов, электрическое сопротивление которых зависит от значения и направления внешнего магнитного поля (см. *Эффект Холла*). На основе магниторезистора строятся датчики Холла, позволяющие определить значения и направление магнитного поля.

**Масштаб времени** (см. Коэффициент временной развертки).

**МБМВ** — сокращенное наименование Международного бюро мер и весов (см. *Международная конвенция по измерениям*).

**Мгновенное значение** — значение изменяющейся во времени величины в определенный момент времени.

Мгновенное значение периодической величины  $x=f(t)$  или просто  $x(t)$  может быть определено для любого момента времени, например,  $x=x_1$  для  $t=t_1$  (рис. 90).

Мгновенное значение обозначается маленькими буквами. Таково, например, буквенное обозначение мгновенного значения переменного напряжения  $u(t)$  или  $u_{\sim}(t)$ . Аргумент  $t$  может быть опущен, если обозначение временной зависимости маленькой буквой не имеет двусмысленного толкования, например,  $u$  или  $u_{\sim}$ .

**Международная конвенция по измерениям** — соглашение о введении метрических единиц измерений.

Международная конвенция по измерениям была заключена в 1875 г. семнадцатью государствами; сегодня она насчитывает около 50 членов.

Международный комитет по мерам и весам (МКМВ) раз в 6 лет проводит генеральные конференции (ГКМВ). На этих конференциях обсуждаются проблемы внедрения *Международной системы единиц* (СИ), вырабатываются рекомендации по дальнейшему развитию метрологии и совершенствованию единства измерений. Конференция подчеркивает фундаментальные научные работы Международного бюро по мерам и весам (МБМВ). Значительное число комитетов, например, Консультативный комитет по электричеству (ККЭ), поддерживают работу МКМВ.

Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), основанная в Париже в 1955 г., разрабатывает наиболее общие основы законодательных актов поверки, эксплуатации и контроля за средствами измерений, а также унификации способов измерений.

Международная система единиц (сокращенно СИ) — законодательный акт, устанавливающий обязательные к применению *единицы измерений*.

Международная система единиц — это рекомендованная XI Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) в 1960 г. для всех стран система физических единиц измерений *величин*. Система СИ базируется на семи основных единицах. Из них образуются производные единицы. Некоторые, не относящиеся к СИ единицы также допущены к применению. В настоящее время по всему миру другие единицы измерений упраздняются или уже упразднены.

-мер — часто употребляемое краткое обозначение измерительного прибора или устройства, следующие за названием (единицы измерения) измеряемой физической величины (например, частотомер). Такого рода словосочетания следует использовать только в тех случаях, когда невозможно их неоднозначное толкование.

**Мера.**

1. Как образцовое средство измерений (см. *Мера измерительная*).

2. Обиходное наименование *единицы измерений*.

**Мера емкости** (измерительный конденсатор) — мера емкости, предназначенная для измерительных целей.

Мера емкости должна обладать высокой стабильностью номинального значения и малыми *потерями*. Образцовые конденсаторы (меры емкости) представляют собой экранированные воздушные конденсаторы практически без потерь ( $\lg \delta_e \approx 10^{-5}$ ), образованные металлическими пластинами простой формы или цилиндрами, разделенными высокоомным изолятором. Конденсаторы, предназначенные для измерительных целей, имеют высокоомный твердый диэлектрик. Высоковольтные измерительные конденсаторы состоят из металлизированных керамических или слюдяных пластин, роль диэлектрика выполняет воздух или сжатый газ (азот или углекислый газ под давлением 1,5 МПа).

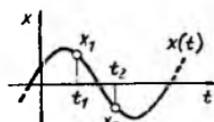


Рис. 90. Мгновенное значение

Декады емкостей образуются параллельным соединением отдельных измерительных конденсаторов, при этом переключатели обеспечивают их подключение в различных сочетаниях. Меры емкости, применяемые в качестве образцовых, должны быть аттестованы.

**Мера измерительная (мера)** — средство измерений, воспроизводящее определенное значение или ряд значений физической величины.

Различают меры однозначные (например, образцовая катушка сопротивления, нормальный элемент, гиря) и меры многозначные (например, магазин сопротивлений, магазин емкостей). Показателем меры как средства измерений является ее номинальное значение. Меры могут применяться в качестве *эталона*.

**Место измерения** — место (точка в электрической схеме), на котором определяется измеряемое значение.

На месте измерения размещается чувствительный элемент для измерения данной физической величины. Измеряемая величина используется для непосредственной индикации или преобразуется в соответствующий измерительный сигнал для последующей обработки. Остальные приборы и узлы (блоки) измерительного устройства, кроме измерительного преобразователя, могут располагаться в другом месте.

**Метка** — краткая форма индикаторной метки.

**Метка индикаторная (указатель, метка)** — часть устройства индикации.

Метка индикаторная может представлять собой материальный или световой указатель, светящуюся точку, риску, уровень жидкости, разметку в смотровом отверстии. В процессе измерения метка индикаторная и *шкала* или *растр* занимают определенное положение относительно друг друга. При этом безразлично, перемещается метка индикаторная относительно шкалы или наоборот.

Установление показания может происходить непрерывно или дискретно. Положение метки индикаторной относительно *градуировочных отметок* определяет показание измерительного прибора.

**Метод амперметра-вольтметра** — метод косвенного измерения сопротивления на постоянном или переменном токе и мощности.

При одновременном подключении измерителей тока и напряжения в измеряемой цепи возникает систематическая погрешность вследствие конечных значений сопротивления приборов. В зависимости от искомых величин, соотношения сопротивлений измерительного прибора и измеряемого объекта применяют *схемы правильного включения амперметра или вольтметра*.

**Метод амперметра/вольтметра/частотомера** — метод косвенного измерения параметров конденсаторов и катушек без сердечника, обладающих малыми потерями.

Для определения величины полного сопротивления достаточно измерить ток и напряжение. Зная или измерив частоту измерительного напряжения (тока), можно определить емкость или индуктивность. В зависимости от соотношения значений полного сопротивления и сопротивлений измерительных приборов применяют *схемы правильного включения амперметра или вольтметра*. Если требуется измерить *потери конденсаторов* или катушек с сердечником, то следует использовать *метод амперметра/вольтметра/частотомера/ваттметра*.

**Определение емкости конденсаторов с малыми потерями (рис. 91, а).** При измерении на переменном токе получают эффективные

значения  $U_{\sim}$ ,  $I_{\sim}$  и частоту  $f$ , а емкость конденсатора определяют

$$C_x = \frac{I_{\sim}}{2\pi f U_{\sim}}.$$

*Определение индуктивности катушки без сердечника* (рис. 91, б). При измерении на постоянном токе определяют только активное сопротивление катушки  $R$ , путем измерения напряжения  $U_{-}$  и тока  $I_{-}$  и последующего вычисления

$$R_w = \frac{U_{-}}{I_{-}}.$$

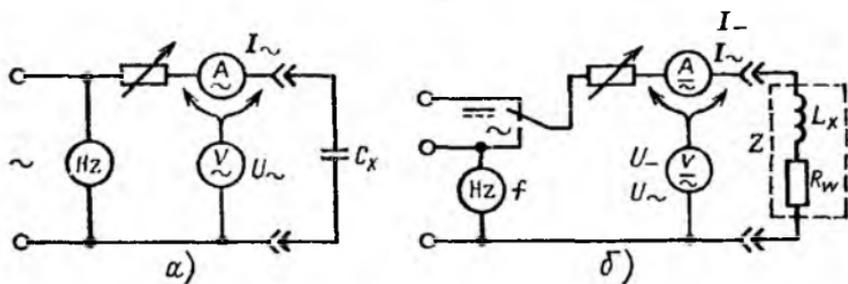


Рис. 91. Измерение ток/напряжение/частота. Схемы измерения:  
а — емкости конденсаторов с малыми потерями; б — индуктивности катушек без сердечников

После переключения и измерений на переменном токе определяется полное сопротивление, значение которого рассчитывается по результатам измерения эффективных значений тока и напряжения:

$$Z = \frac{U_{\sim}}{I_{\sim}}.$$

Используя значение частоты, по результатам приведенных измерений вычисляют индуктивность:

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U_{\sim}}{I_{\sim}}\right)^2 - \left(\frac{U_{-}}{I_{\sim}}\right)^2}.$$

**Метод амперметра/вольтметра/частотометра/ваттметра** — метод косвенных измерений параметров конденсаторов с потерями, катушек с сердечниками, реактивной мощности и коэффициента мощности.

Если требуется провести измерения с учетом *потерь конденсаторов* и катушек с сердечником, то помимо измерения тока, напряжения, частоты следует определить активную мощность. При определении реактивного сопротивления должна быть известна или измерена частота рабочего переменного напряжения.

С помощью данной схемы посредством измерения полной и активной мощности обеспечивается определение непосредственно связанных с мощностью величин.

Измерение параметров теллических (с потерями) конденсаторов (рис. 92, а).

$$C_x = \frac{1}{2\pi f} \frac{1}{\sqrt{U^2 - \left(\frac{P}{I}\right)^2}}; \quad R'_v = \frac{P}{I^2}.$$

Измерение параметров катушек с (стальными) сердечниками (рис. 92, б)

$$L_x = \frac{1}{2\pi f I} \sqrt{U^2 - PR_w}; \quad R_x = \frac{P}{I^2}.$$

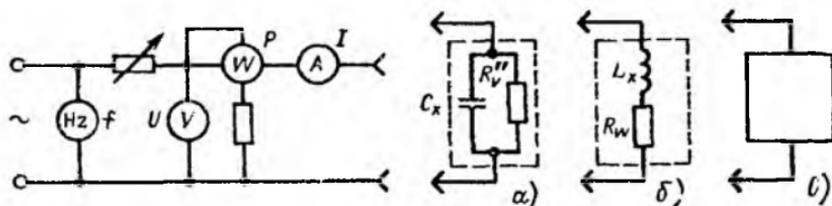


Рис. 92. Измерение ток/напряжение/частота/активная мощность. Схемы измерения с подключаемыми измеряемыми объектами для определения:

а — емкости; б — индуктивности; в — реактивной мощности и коэффициента мощности

Измерение реактивной мощности (рис. 92, в)

$$Q = \sqrt{(UI)^2 - P^2}.$$

Измерение коэффициента мощности

$$\lambda \text{ или } \cos \varphi = \frac{P}{UI}.$$

Метод двойного интегрирования (см. Аналого-цифровой преобразователь по методу двойного интегрирования).

Метод двух ваттметров — метод измерения активной и реактивной мощности.

Метод двух ваттметров в произвольно нагруженных трехфазных трехпроводных цепях (см. Схема Арона). Метод двух ваттметров в произвольно нагруженных трехфазных четырехпроводных цепях (см. Схема Арона двойная).

Метод дополнения (измерительный) — относительный метод измерения, при котором измеряемая величина дополняется (складывается) аналогичной величиной с известным значением так, что их сумма достигает заданного известного значения.

Метод замещения (измерительный) — относительный метод измерения, при котором измеряемая величина заменяется величиной с известным значением.

После первого измерения измеряемая величина или измеряемый объект заменяется величиной с известным значением или образцовой

мерой и измерение повторяется. Результат измерения рассчитывается с использованием обоих полученных при измерениях значений.

**Метод измерений** — совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Метод измерений представляет собой обязательный (установленный в стандартах) порядок действий, определяющий данный тип измерений независимо от *принципа измерения*. Он указывает наиболее общие, основополагающие правила и требования к проведению измерений. При этом не имеют значения конкретные измеряемые величины, условия и особенности измерений. Методы измерений разделяются главным образом на два класса: прямые и косвенные.

Прямые методы измерений предполагают непосредственное определение искомого значения измеряемой величины (например, определение силы тока при помощи амперметра).

Косвенные методы измерений предусматривают измерение иных физических величин, а результат измерения вычисляется по полученным данным на основе известной математической зависимости между этими величинами, например определение сопротивления как отношения значений напряжения и тока. Эти методы применяются прежде всего в тех случаях, когда искомая величина недоступна, или не существует подходящего прямого метода, или применение прямого метода невыгодно по экономическим соображениям.

Так как все прямые и косвенные методы измерений сравнивают измеряемую величину с известной величиной той же физической природы, то их называют также методами сравнения или относительным.

Метод измерения дифференциальный — прямой метод измерения, в основе которого лежит измерение разности между измеряемой величиной и другой, аналогичной ей по физической природе, значение которой точно известно и незначительно отличается от значения измеряемой величины.

К дифференциальным методам измерения относятся *метод компенсации, метод нулевой и метод совпадения*.

Метод измерения компенсационный — метод измерения дифференциальный, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной, равной по значению, но противоположной по знаку (фазе) величиной.

Метод измерения компенсационный применяется во многих областях физики, в электронизмерительной технике применяется модификация этого метода, получившая название *метод компенсации* или *слежения*.

Метод измерения, основанный на повторяющихся комбинациях (см. Метод совокупных измерений).

Метод измерения реактивной мощности тремя ваттметрами — метод для непосредственного измерения реактивной мощности в симметрично или несимметрично нагруженных трехфазных четырехпроводных цепях.

Три электродинамические *измерителя мощности* (ваттметра) подсоединяются к сети таким образом, чтобы цепи тока и напряжения располагались на разных проводах (рис. 93). При этом необходимо (см. *Измеритель реактивной мощности*), чтобы напряжение между фазами (линейное) отличалось от напряжения между фазой и нейтралью на  $90^\circ$  (см. *Измерение реактивной мощности одного ваттметра*). Так как напряжение между фазами в  $\sqrt{3}$  раз больше соответствующего напряжения между фазой и нейтралью, то для суммар-

ной реактивной мощности справедливо

$$Q_{3\sim} = (Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3}) \sqrt{3}.$$

Если значения добавочных сопротивлений увеличены в  $\sqrt{3}$  раз по сравнению с измерением активной мощности, то прибор будет показывать значения реактивной мощности непосредственно. Суммирование отдельных слагаемых осуществляется математическим или механическим способом.

При напряжении свыше 220 В непосредственное подключение измерителя реактивной мощности заменяется косвенным, ибо между катушками измерительных механизмов появляется линейное напряжение.

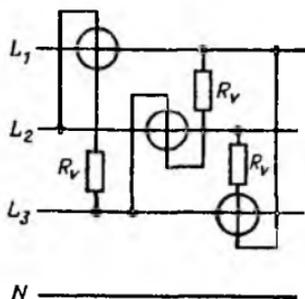


Рис. 93. Метод измерения реактивной мощности тремя ваттметрами

личии на нуль-индикатор одинаково; при этом неизвестное значение равно измеренному (с учетом погрешности нуль-индикатора).

**Метод непосредственной оценки** — прямой метод измерений, при котором значение измеряемой величины определяется непосредственно по устройству индикации измерительного прибора.

Значение измеряемой величины непосредственно или посредством промежуточной величины преобразуется в отклонение указателя индикатора. Для измерения в общем случае не требуется энергии извне. Вследствие отбора энергии от объекта измерений имеет место обратное воздействие измерительного прибора на объект измерений.

**Метод одного ваттметра** — метод непосредственного измерения активной мощности.

Метод одного ваттметра применяется для:

измерения мощности в двухпроводных цепях постоянного тока (см. *Измерение мощности постоянного тока*);

измерения активной мощности в однофазных цепях переменного тока (ваттметр включается в двухпроводную цепь по одной из основных схем включения ваттметра);

измерения активной мощности в симметрично нагруженных трехфазных трех- и четырехпроводных системах.

При симметричной нагрузке мощности в фазах одинаковы. Поэтому достаточно измерить мощность в какой-либо одной фазе (рис. 91, и) и умножить результат. Иногда умножение на 3 осуществляется

**Метод измерения тока.**

1. *Метод уравновешивания.*

2. *Метод уравновешивания в компенсаторах постоянного напряжения.*

**Метод компенсации** — метод, позволяющий проводить измерения с минимальным потреблением энергии.

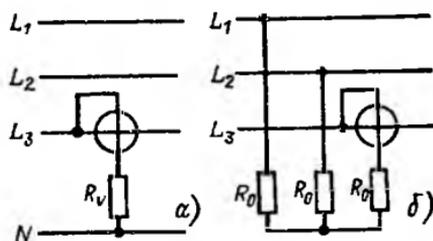
Компенсация означает исключение, равноточную замену. Физический смысл данного способа измерения состоит в том, что измеряемое, неизвестное значение физической величины, например напряжения, компенсируется значением этой же физической величины, определенным путем последовательного приближения (см. *Компенсатор*). Компенсация обеспечена, когда воздействие обеих величин на нуль-индикатор одинаково; при этом неизвестное значение равно измеренному (с учетом погрешности нуль-индикатора).

путем соответствующей градуировки шкалы. В трехпроводных системах для подключения цепи излучения ваттметра при помощи добавочных сопротивлений  $R$ , создается искусственная нулевая точка (рис. 94, б) (см. *Схема создания искусственной нулевой точки*).

**Метод относительный (измерений)** — метод измерений (прямой), позволяющий определить значение измеряемой величины через от-

Рис. 94. Метод одного ваттметра. Измерение активной мощности в симметрично нагруженных сетях:

а — трехфазная четырехпроводная сеть; б — трехфазная трехпроводная сеть



поение этой величины и некоторой однородной величины с известным значением.

Среди относительных методов измерений различают *метод замещения, метод дополнения, метод перестановки*.

**Метод перестановки (измерительный)** — метод измерений относительный, заключающийся в сравнении измеряемой и замещающей величин, их перестановке и новом сравнении.

При реализации метода перестановки проводятся два измерения. Сначала, как при методе замещения, осуществляется сравнение измеряемой величины с мерой. Затем измеряемая величина и величина сравнения (образцовая) переставляются. Результатом измерения является среднее арифметическое обоих измеренных значений. Метод перестановки служит, например, для обнаружения систематической погрешности.

**Метод приращений** (см. Способ счета).

**Метод совокупных измерений** — метод измерений, при котором известные значения однородных величин получают из результатов измерений различных комбинаций этих величин путем соответствующих вычислений.

**Метод совпадения** — метод измерений дифференциальный, при котором измеряется разность между измеряемой и опорной величинами, для чего используется совпадение штрихов делений шкал или периодических сигналов. На методе совпадения основано измерение интервалов времени путем сравнения с сигналом точного времени или использование нонуса.

**Метод сравнения** (см. Метод измерений).

**Метод сравнения частот** — один из методов измерения частоты. Данный метод заключается в сравнении неизвестной частоты с известной, высокостабильной и перестраиваемой (регулируемой, устанавливаемой). При сравнении возникают разностные частоты. Сравнимые частоты равны, когда разностная частота обращается в нуль.

Методы сравнения частот находят применение в *волномерах* и при расфигурке *фигур Лиссажу* при осциллографическом *сравнении частот*.

Метод стробоскопический — метод измерений и контроля быстропротекающих и очень коротких импульсных периодических сигналов

Стробоскопический метод состоит в дискретном считывании мгновенных значений измеряемого сигнала. При этом полученные отсчеты заносятся в память и в дальнейшем используются для индикации на экране или подвергаются обработке. При последовательном методе дискретизации входного сигнала отсчеты считываются поочередно через равные интервалы. Если моменты считывания значений сигнала выбираются случайным образом и некоторым методом обеспечивается взаимно однозначное соответствие изображения и входного сигнала, то говорят о стробоскопическом методе с произвольной выборкой.

Если за время изменения сигнала (длительность периода) получено много отсчетов, так что длительность изображения соответствует длительности сигнала, то речь идет о стробоскопическом методе в реальном времени.

Метод стробоскопический с трансформацией временного масштаба отличается тем, что за один период изменения входного сигнала берется только один отсчет; воспроизведение отсчетов производится

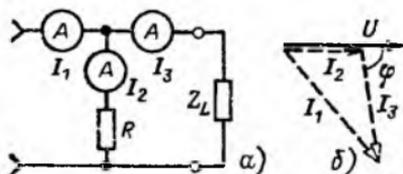


Рис. 95. Метод трех амперметров для косвенного измерения активной мощности:

а — схема измерения; б — векторная диаграмма

в ином (по сравнению с измеряемым сигналом) масштабе времени (см. *Стробоскопический осциллограф с последовательным считыванием*).

Метод трех амперметров — метод косвенного измерения активной мощности, а также измерения коэффициента мощности преимущественно на высоких частотах или при очень малых значениях мощности.

Параллельно нагрузке с полным сопротивлением  $Z$  подключается омический (безреактивный) резистор  $R$  с известным значением сопротивления (рис. 95, а). Следует использовать амперметры возможно более высокого класса точности с очень малым собственным потреблением мощности. Сопротивление  $R$  выбирается из условия, чтобы  $I_2 \approx I_3$ . Ток  $I_2$ , текущий через сопротивление  $R$ , совпадает по фазе с напряжением  $U$ ; путем геометрического сложения  $I_1 = I_2 + I_3$  (рис. 95, б), учитывая, что  $I_2 = U/R$ , по закону косинуса имеем

$$P = \frac{R}{2} (I_1^2 - I_2^2 - I_3^2) \quad \text{и} \quad \cos \varphi = \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2I_2 I_3}.$$

Собственное потребление мощности амперметра, измеряющего  $I_3$ , измеряется и должно исключаться из результата.

Метод трех ваттметров — метод непосредственного измерения активной мощности в симметрично и несимметрично нагруженных трехфазных сетях с нулевым проводом или без него.

Общая активная мощность трехфазной сети равняется сумме мощностей трех фаз:

$$P_{3\sim} = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3} = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3.$$

Их точное определение осуществляется путем одновременного измерения мощности в каждой фазе с помощью трех отдельных *ваттметров* или одного *многодиапазонного ваттметра*. При этом возможно непосредственное, полукосвенное или косвенное подключение ватт-

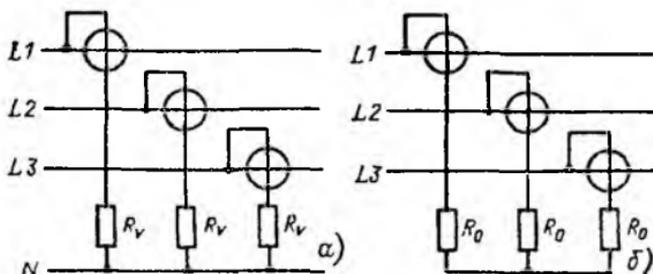


Рис. 96. Метод трех ваттметров. Измерение активной мощности в произвольно нагруженных сетях:

*а* — трехфазная четырехпроводная сеть; *б* — трехфазная трехпроводная сеть

метров. В четырехпроводных системах цепи напряжения подключаются (в данном случае через добавочные сопротивления) к нулевому проводу (рис. 96, *а*). В трехпроводных системах три цепи напряжения присоединяются нулевыми точками сопротивлений  $R_0$  к искусственной нулевой точке (рис. 96, *б*) (см. *Схема создания искусственной нулевой точки*).

Метод трех вольтметров — метод косвенного измерения активной мощности, а также измерения коэффициента мощности преимущественно на высоких частотах или при очень малых значениях мощности.

К нагрузке с полным сопротивлением  $Z$  подключается омический (безреактивный) резистор  $R$  с известным значением сопротивления (рис. 97, *а*). Чтобы как можно точнее определить напряжения  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$ , необходим вольтметр с высоким входным сопротивлением, а также выполнение условия  $R \approx Z$ ; тогда возможно поочередно измерение указанных напряжений.

Ток  $I$  совпадает по фазе с напряжением  $U_2$  путем геометрического сложения  $U_1 = U_2 + U_3$  (рис. 97, *б*), учитывая, что  $U_2 = IR$ , по закону косинуса имеем

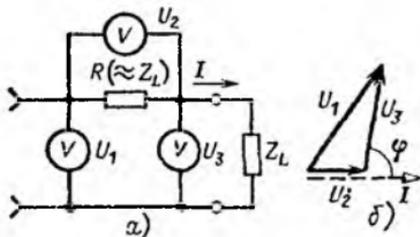


Рис. 97. Метод трех вольтметров для косвенного измерения активной мощности:

*а* — схема измерения; *б* — векторная диаграмма

$$P = \frac{1}{2R} (U_1^2 - U_2^2 - U_3^2) \text{ и } \cos \varphi = \frac{U_1^2 - U_2^2 - U_3^2}{2U_2 U_3}.$$

Собственное потребление мощности вольтметра, измеряющего  $U_3$ , игнорируется и должно исключаться из результата.

**Метод уравнивания** (нулевой метод) — дифференциальный метод измерения, при котором обеспечивается нулевая разность между измеряемой величиной  $c$  величиной  $s$  известным значением.

Метод уравнивания применяется, например, в *компенсаторах* и *измерительных мостах*. Модификация этого метода под названием «метод следящего уравнивания» применяется в автоматизированных приборах.

**-метр** — широко распространенное краткое наименование измерительных приборов и устройств, в транскрипции которых перед этим корнем указывается наименование единицы измерения, например вольтметр, ваттметр.

**Метрология** — наука об измерениях (теоретическая метрология/теория измерений), о технике средств измерений и их применении (измерительная техника/измерительная практика) и об организационных и юридических средствах достижения единства измерений (законодательная метрология).

**Метрологическая деятельность** — основные приемы и способы измерительной практики.

Наряду с проведением собственно измерений важными аспектами метрологической деятельности являются проведение *испытаний* и определение количественных характеристик множеств (см. Счет). С ними тесно связаны такие операции, как *калибрование*, *градуировка*, *юстировка*. Измерительная техника обеспечивает такие процедуры, как *классифицирование*, *сортирование* и *дозирование*. Проверка средств измерений, являющаяся задачей государственной метрологической службы, представляет собой основную форму метрологической деятельности.

**Метрология законодательная** — юридическая, организационная и экономическая область метрологии.

**Метрология теоретическая** — теоретическая область метрологии.

**Метрология теоретическая** состоит из теоретических взглядов на метрологические операции, средства измерений и их свойства, способы получения результатов измерений и их использование, вычисление погрешности и т. д.

**Механизм счетный** — механический цифропоказывающий прибор.

В счетном механизме цифры располагаются на счетных роликах, имеющих механический привод, который обеспечивает как прямой, так и обратный счет. Электромеханические счетные механизмы воспринимают электрические импульсы, которые управляют движением счетных роликов или перемещающихся табличек. Механизмы счетные имеют ограниченную скорость счета.

**МикроЭВМ** — функционально-техническое единство микропроцессора, устройств памяти, управления, ввода/вывода и периферийных устройств, являющееся ядром современного поколения средств измерений. МикроЭВМ образует «интеллект» *измерительной системы*. Ее использование ведет к упрощению процессов измерения и обслуживания, повышению быстродействия и точности измерений. Главной целью применения микроЭВМ является автоматизация рутинных операций измерительного процесса, освобождение от них человека-оператора: подготовка, проведение измерений, представление резуль-

тата измерений непосредственно или после обработки. МикроЭВМ обеспечивает самодиагностику и самокалибровку измерительной системы, запоминание измеренных и граничных значений, обработку измерительной информации, корректировку погрешности и другие операции.

**МКМВ** — сокращенное наименование Международного комитета мер и весов (Международная организация по измерениям).

**МКГИ** — сокращенное наименование международной конференции по техническим измерениям.

**Модуляционная трапеция** (см. Измерение коэффициента модуляции).

**Модуляция амплитудная** (см. Амплитудная модуляция).

**Z-модуляция** — высшее управление яркостью осциллографа.

Через специальный Z-вход осциллографа подается напряжение на *ускоряющий электрод* электронно-лучевой трубки, изменение которого управляет яркостью свечения экрана. Во многих случаях яркость свечения временных меток при этом диафрагмирует.

**МОЗМ** — сокращенное обозначение — международная организация законодательной метрологии.

**Монтаж** (см. Влияние монтажа).

**Мост для измерения взаимной индуктивности** — измерительный мост переменного тока для определения взаимной индуктивности.

Полный мост для измерения взаимной индуктивности является частотно-зависимым. После уравновешивания моста справедливы равенства:

$$M_x = (R_1 R_4 - R_2 R_3) C_2 \text{ и } M_x = \frac{1}{R_2 + R_4} \left( L_1 R_4 + \frac{R_3}{\omega^2 C_2} \right).$$

Если  $R_3=0$ , то равенства упрощаются:

$$M_x = R_1 R_4 C_2 \text{ и } M_x = \frac{L_1 R_4}{R_2 + R_4}.$$

При данном варианте частотно-зависимой схемы сопротивления  $R_4$  делают постоянным и уравновешивают мост варьированием  $R_1$  и  $R_2$  или  $C_2$ . При этом должно соблюдаться неравенство  $L_1 > M$ , в противном случае обе обмотки следует поменять местами или увеличить  $L_1$  подключением дополнительной индуктивности с известным значением. Чтобы исключить влияние паразитной емкости относительно земли, используется вспомогательная цепь (на рис. 98 изображена пунктиром).

**Мост для измерения параметров цепей ( $R, L, C$ )** — измерительный прибор, представляющий собой совокупность различных типов измерительных мостов полных сопротивлений и предназначенный для измерения активного сопротивления  $R$ , индуктивности  $L$  и емкости  $C$  и соответствующих потерь, например, *измерительный мост Максвелла* — *Вина*.

**Мост для измерения частоты** — мост измерительный переменного тока для измерения частоты.

В мостах переменного тока для измерения частоты в качестве рабочего используется напряжение измеряемой частоты. Процесс измерения заключается в подборе отдельных элементов мостовой схемы. Уравновешивание достигается при условии равенства значений измеряемой и собственной частоты моста.

В основном используются две схемы: *мост измерительный Вина — Робинсона* и *мост измерительный резонансного типа*.

*Мост измерительный* — мостовая схема для измерения электрических и преобразуемых в электрические неэлектрических величин.

*Мост измерительный* представляет собой четыре в общем случае комплексных сопротивления  $Z$  или комбинации сопротивлений, обра-

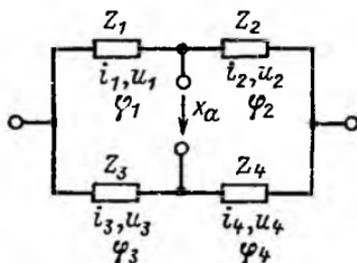
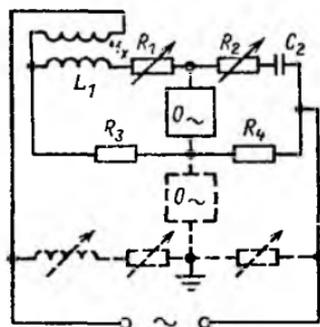


Рис. 98. Мост для измерения взаимной индуктивности

Рис. 99. Мост измерительный

зующих замкнутую цепь; выводы выполняются так, что схема превращается в параллельное соединение двух делителей напряжения (рис. 99). На схему подается напряжение (рабочее или измеряемое). На отводах делителей напряжения возникает выходной сигнал  $x_a$ .

Выходной сигнал может либо нулицироваться (см. *Мост отклонения*), либо путем уравнивания схемы «обнуляться» (см. *Измерительный мост уравниваемый*). В зависимости от способа уравнивания различают мосты измерительные на основе магазина сопротивлений и *мосты измерительные реохордные*. В зависимости от

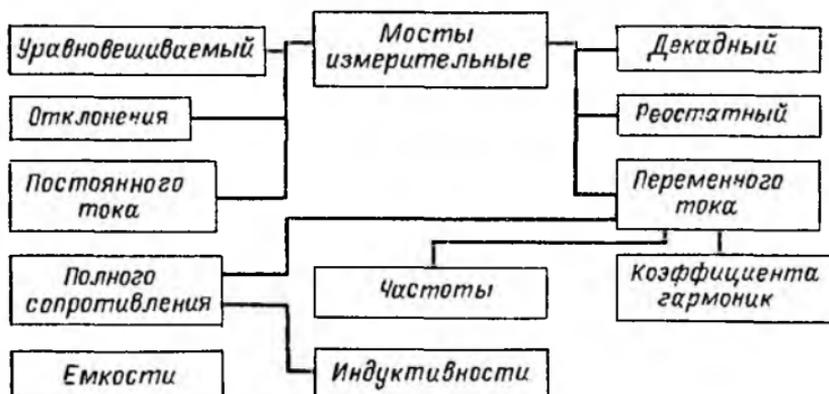


Рис. 100. Мосты измерительные. Классификация

типа рабочего напряжения различают мосты измерительные постоянного и переменного тока (рис. 100). Погрешности измерительного моста определяется чувствительностью схемы, т. е. изменением выходного сигнала при малом изменении полного сопротивления схемы, чувствительностью показывающих или индикаторных приборов, погрешностью установки сопротивлений и погрешностью установки значения рабочего напряжения.

Мост измерительный Вина — мост измерительный переменного тока для измерения емкости и коэффициента потерь конденсаторов.

Схема измерительного моста Вина представляет собой последовательное соединение измеряемого объекта ( $C_x$  с  $\text{tg } \delta_c$ ) со схемой сравнения, копирующей схему замещения, и параллельное к ним присоединение делителя напряжения из двух активных сопротивлений  $R_3$  и  $R_4$ .

В соответствии со схемой замещения измеряемого объекта схема сравнения представляет собой последовательную (рис. 101, а) или

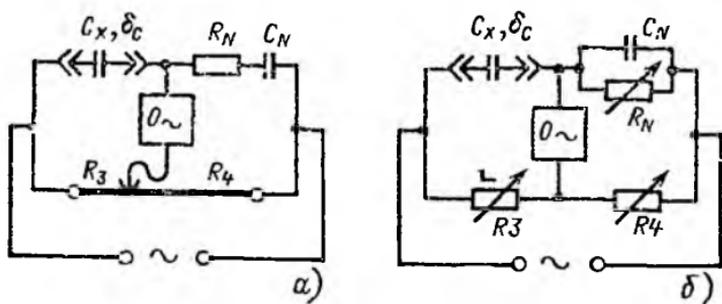


Рис. 101. Мост измерительный Вина для измерения емкости:  
а — с последовательной компенсацией потерь; б — с параллельной компенсацией потерь

параллельную (рис. 101. б) цепочку образцової емкости  $C_x$  с малыми или пренебрежимыми потерями и фазовыравнивающим сопротивлением  $R_N$ . В обеих схемах независимо от частоты определяется емкость и сопротивление потерь конденсатора:

$$C_x = \frac{R_4}{R_3} C_N; \quad R_v = \frac{R_3}{R_4} R_N.$$

Зная частоту рабочего напряжения, получают коэффициенты потерь для последовательной схемы замещения

$$\text{tg } \delta_c = \omega C_N R_N,$$

для параллельной схемы замещения

$$\text{tg } \delta_c = \frac{1}{\omega C_N R_N}.$$

В рабочих приборах омический (активный) делитель напряжения может быть выполнен в виде реохорда или потенциометра (рис. 101, а). Более высокие требования к точности обеспечиваются тем, что одно сопротивление делают постоянным (или декадно пере-

ключаемым), а другое — прецизионным с мелкоступенчатой регулировкой (рис. 101, б). Для измерения емкости электролитических конденсаторов можно использовать измерительную схему, изображенную на рис. 101, а. Постоянное напряжение прикладывается к конденсатору либо последовательно с переменным напряжением, либо через высокоомное добавочное сопротивление параллельно нуль-индикатору. Нуль-индикатор должен быть развязан от напряжения поляризации последовательным конденсатором.

**Мост измерительный Вина — Робинсона** (см. Мост измерительный переменного тока для измерения частоты).

Одна ветвь этого моста для измерения сопротивления состоит из так называемого делителя напряжения Вина, т. е. последовательного соединения сопротивления  $R_1$ , конденсатора  $C_1$  с параллельной цепочкой из сопротивления  $R_2$  и конденсатора  $C_2$ . Вторая ветвь моста образована активными сопротивлениями  $R_3$  и  $R_4$  (рис. 102).

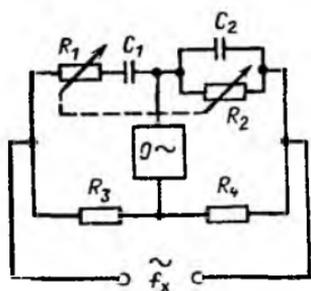


Рис. 102. Мост измерительный Вина—Робинсона

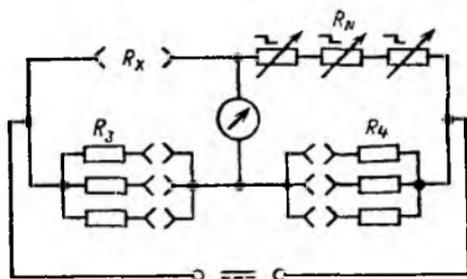


Рис. 103. Мост измерительный декадный

Общие условия равновесия имеют вид

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} \text{ и } \omega^2 R_1 R_2 C_1 C_2 = 1.$$

Диапазон измерения определяется элементами схемы, значения которых на практике выбирают исходя из условий

$$R_1 = R_2 = R; \quad R_3 = 2R_4; \quad C_1 = C_2 = C.$$

Частота, при которой достигается равновесие моста, определяется выражением

$$f_x = \frac{1}{2\pi RC}.$$

**Мост измерительный двойной** (см. Мост измерительный Томсона)

**Мост измерительный декадный** — измерительный мост, у которого отношения плеч имеют неизменные значения, а для уравнивания моста применяется образцовое сопротивление, регулируемое малыми ступенями.

У моста измерительного декадного (в отличие от реостатного

моста) отношение плеч  $b=R_3/R_4$  во время измерений постоянно. Изменение диапазона измерений осуществляется варьированием старших декад. Уравновешивание моста осуществляется регулировкой  $R_x$  до тех пор, пока индикатор не покажет нуль (рис. 103).

Во многих случаях образцовое сопротивление выполняется в виде декад сопротивлений, из которых с учетом отношения плеч моста значение неизвестного сопротивления  $R_x$  считается в цифровой форме:  $R_x=bR_N$ .

**Мост измерительный емкостный** — мост измерительный полных сопротивлений для измерения емкости

Мосты измерительные емкостные конструируют таким образом, что они используются исключительно для измерения емкости и коэффициента потерь конденсаторов и других устройств емкостного характера. В качестве мостов измерительных емкостных используются в основном *мост измерительный Вина* и *мост измерительный Шеринга*

**Мост измерительный индуктивный** — измерительный мост полных сопротивлений для измерения индуктивности.

Различные типы мостов измерительных индуктивных применяются для измерения собственной индуктивности и добротности катушек и индуктивно связанных цепей, а также для измерения взаимной индуктивности и коэффициента связи соответствующих цепей. Наибольшее распространение получил *мост измерительный Максвелла*.

**Мост измерительный Максвелла** — мост измерительный переменного тока, предназначенный для измерения индуктивности и добротности катушек, а также взаимной индуктивности преимущественно на низких и средних частотах.

При измерении индуктивности и добротности измеряемый объект (катушка с индуктивностью  $L_x$  и сопротивлением потерь  $R_w$ )

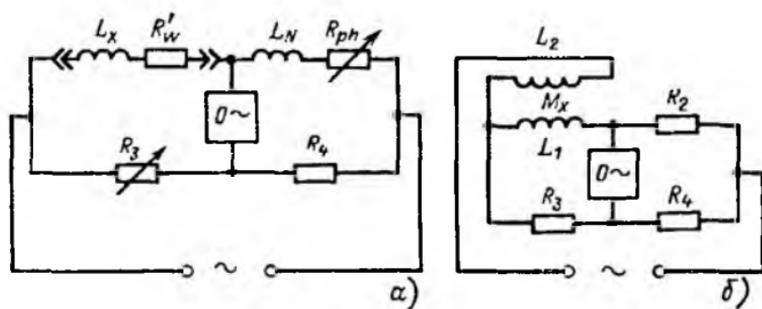


Рис. 104. Мост измерительный Максвелла:

*а* — мост для измерения индуктивности катушек; *б* — мост для измерения взаимной индуктивности

сравнивается с образцовой индуктивностью  $I_x$ , сопротивление потерь которой  $R_{ph}$  должно быть известно и которая должна иметь возможность перестраиваться для уравновешивания схемы по фазе. Результирующее равновесие обеспечивается при помощи активного делителя напряжения, выполненного в виде проволочного потенциометра или цепочки безреактивных резисторов  $R_3$  и  $R_4$  (рис. 104, *а*).

При равновесии схемы справедливы равенства:

$$L_x = L_N \frac{R_3}{R_1}; \quad R_w = R_{ph} \frac{R_3}{R_1}; \quad \operatorname{tg} \delta_L = \frac{\omega L_N}{R_{ph}}.$$

При определении взаимной индуктивности обе катушки подключаются по отношению друг к другу встречно и включаются в верхнюю цепь моста (рис. 104, б). Переменный рабочий ток, питающий мостовую схему, вначале протекает по обмотке катушки  $L_2$ . Вследствие взаимной индуктивности в обмотке  $L_1$  индуцируется напряжение. Зная собственную индуктивность катушки  $L_1$ , взаимная индуктивность (при условии  $L_1 > M$ ) определяется выражением

$$M_x = \frac{L_1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}.$$

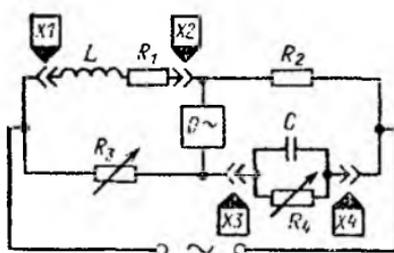


Рис. 105. Мост измерительный Максвелла—Вина

Мост измерительный Максвелла — Вина — мост измерительный переменного тока, представляющий собой комбинацию мостов измерительных Максвелла и Вина.

Данная мостовая схема (рис. 105) предназначена для измерения параметров катушек и конденсаторов, а также во многих случаях — активного сопротивления. В общем случае условия равновесия имеют вид

$$R_2 R_3 = \frac{L}{C} \quad \text{и} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Для измерения катушек измеряемый объект (представленный схемой замещения  $L=I_x$  и  $R_1=R_x$ ) подключается к гнездам X1 и X2. К клеммам X3 и X4 подключается измерительный конденсатор  $C_x=C$  и сопротивление  $R_4$ . С помощью  $R_3$  и  $R_4$  добиваются равновесия схемы и определяют неизвестные параметры катушки:

$$L_x = C_N R_2 R_3; \quad R_w = \frac{R_2 R_3}{R_4}; \quad \operatorname{tg} \delta_L = \frac{I}{\omega C_N R_4}.$$

Для измерения конденсаторов объект подключается к клеммам X3 и X4 (схема замещения  $C=C_x$  и  $R_1=R_v$ ). Внутри прибора к клеммам X1 и X2 подключается измерительная катушка  $L_x=L$  с активным сопротивлением  $R_1$ . Уравновешивание обеспечивается варьированием  $R_3$ . При этом параметры неизвестного конденсатора определяются выражениями

$$C_x = \frac{L_N}{R_2 R_3}; \quad R_v = \frac{R_2 R_3}{R_1}; \quad \operatorname{tg} \delta_c = \frac{R_1}{\omega L_N}.$$

Мост измерительный нелинейных искажений — мостовая измерительная схема для измерения коэффициента гармоник.

Принцип действия прибора основан на сравнении эффективного

значения совокупного сигнала (основная и высшие гармоники)  $U$  с эффективным значением высших гармоник  $U_0$ . Для этого мостовая схема уравнивается по основной гармонике (рис. 106), вследствие чего основная гармоника не создает разности потенциалов между точками  $A$  и  $B$ , тогда как напряжение высших гармоник  $U_0$  вызывает большое рассогласование мостовой схемы. При этом коэффициент нелинейных искажений определяется отношением

$$k_{\text{н}} = \frac{2U_0}{U}.$$

На практике прибор снабжают переключателем, выставляют при помощи делителей напряжения одинаковые значения напряжений. Полученное при этом отношение плеч делителей напряжения принимают за значение коэффициента гармоник.

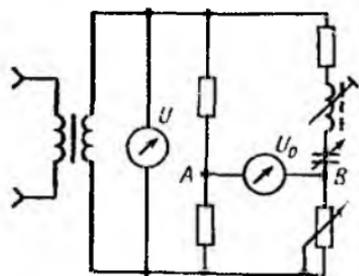


Рис. 106. Мост измерительный нелинейных искажений

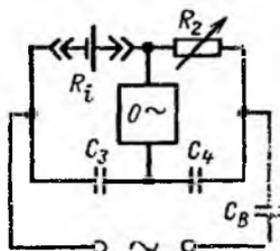


Рис. 107. Мост измерительный Нерста—Хагена

**Мост измерительный Нерста — Хагена** — мост измерительный переменного тока для измерения сопротивления гальванических элементов.

Суть схемы заключается в соединении трех конденсаторов  $C_3$ ,  $C_4$  и  $C_B$  таким образом, чтобы на выходе элемента (гальванического) ток отсутствовал (рис. 107). Перемещением движка уравнивающего потенциометра (переменного резистора)  $R_2$  добиваются минимальных показаний нуля-индикатора переменного тока. При этом справедливо

$$R_i = R_2 \frac{C_1}{C_3}.$$

**Мост измерительный неуравновешенный** (измерительный мост рассогласования) — мост измерительный, использующий комбинацию компенсационного метода измерений и метода непосредственной оценки.

Если измерительный мост не уравновешен, то через нуль-индикатор с сопротивлением  $R_G$  протекает ток  $I_G$ . При постоянном токе питания  $I_B$  имеем

$$I_G = I_B \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{K_1},$$

где  $K_1 = R_G(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) + (R_1 + R_3)(R_2 + R_4)$  или при постоянном

напряжении питания  $U_B$  (см. *Мост измерительный*) имеем:

$$I_G = U_B \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{K_2}$$

где  $K_2 = R_G(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2(R_3 + R_4) + R_3 R_4(R_1 + R_2)$ .

Если мост уравновешен при помощи сопротивления  $R_1$ , то при изменении значения этого сопротивления на  $\Delta R_1$  возникает ток  $I_G$ , значение которого в первом приближении пропорционально току питания  $I_B$  и приращению  $\Delta R_1$ .

Мост измерительный неуравновешенный может работать как на постоянном, так и на переменном токе. Он служит для точной индикации отклонений (малых) сопротивлений в плечах моста от установленного номинального значения. Основной сферой применения является измерение неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в изменение сопротивления. Мост уравновешивается номинальным значением измеряемой величины, изменение которой вызывает рассогласование схемы. Нуль-индикатор непосредственно градуируется в единицах измеряемой величины.

**Мост измерительный переменного тока — мост измерительный, работающий на переменном токе**

Мост измерительный переменного тока позволяет измерять сопротивление (см. *Мост измерительный полных сопротивлений*), частоту или искажения (см. *Мост измерительный нелинейных искажений*). Выполнение условий равновесия моста контролируется нуль-индикатором переменного тока.

Частота рабочего или измерительного напряжения в зависимости от данного практического случая может быть различной. Она может лежать в пределах от 50 Гц до 5 кГц; во многих случаях используется 1 кГц. С увеличением частоты растет влияние паразитных связей между различными частями моста и взаимодействия с внешней средой. С этим борются с помощью высокоомной изоляции, бифилярных кабельных шин, выполнением специальных требований при конструировании, а также непосредственным или косвенным заземлением и экранированием.

**Мост измерительный полных сопротивлений — измерительный мост переменного тока для измерения полных сопротивлений.**

В зависимости от преобладающей реактивной части сопротивления различают *емкостный* и *индуктивный измерительные мосты*. Комбинированные измерительные мосты для измерения различных электрорадиоэлементов часто также называют мостами измерительными полных сопротивлений.

**Мост измерительный постоянного тока — мост измерительный, работающий на постоянном токе.**

Измерительные мосты в электронизмерительной технике используются главным образом в качестве уравновешивающих схем (см. *Мост измерительный, уравновешенный*) при измерении *активных сопротивлений*. В этом виде, а также как индикаторы отклонения (см. *Мост измерительный отклонения*) мосты измерительные постоянного тока используются в измерительной, управляющей и регулирующей технике для измерения неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в постоянное или переменное значение сопротивления. Наибольшее распространение для измерения сопротивления получили *мост Уитстона* и *мост Томсона*.

**Мост измерительный рассогласования (см. Мост измерительный неуравновешенный).**

Мост измерительный резонансного типа — измерительный мост переменного тока, предназначенный для измерения частоты и индуктивности.

Одно из плеч моста образовано последовательным колебательным контуром, все остальные — активными сопротивлениями (рис. 108). Конденсатор  $C_1$  должен иметь минимально возможные потери, тогда условия равновесия в общем случае записываются в виде

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \text{ и } \omega^2 L_1 C_1 = 1.$$

Для практического использования в качестве частотомера все активные сопротивления должны быть одинаковыми ( $R_1 = R_2 = R_3 =$

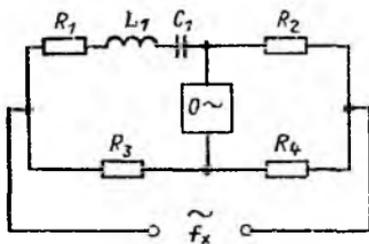


Рис. 108. Мост измерительный резонансного типа

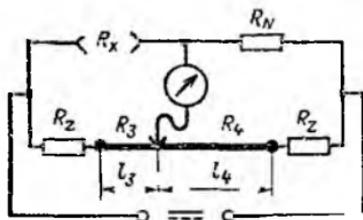


Рис. 109. Мост измерительный реохордный

$= R_4)$ . При этом частота, при которой достигнуто равновесие схемы, определяется по формуле

$$f_x = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}.$$

Имея конденсатор переменной емкости и зная частоту резонанса, можно определить индуктивность:

$$L_1 = \frac{1}{\omega^2 C_1}.$$

Мост измерительный резонансный (см. Мост измерительный резонансного типа).

Мост измерительный реохордный — измерительный мост, содержащий постоянное образцовое сопротивление и реохорд в качестве плеч мостовой схемы.

Мост измерительный реохордный отличается от измерительного моста со ступенчатым уравновешиванием тем, что образцовое сопротивление в течение измерений имеет постоянное значение. Для изменения поддиапазона измерения это сопротивление варьируется по декадно. Сопротивления двух других плеч моста  $R_3$  и  $R_4$  выполнены из однородной резистивной проволоки, по которой перемещается вывол индикатора для уравновешивания моста (рис. 109).

Положение скользящего контакта определяет отношение плеч моста  $b = \frac{R_3}{R_4} = \frac{I_3}{I_4}$ . Значение неизвестного сопротивления  $R_x$  получается путем умножения отношения плеч моста на значение образцового сопротивления  $R_x = bR_N$ .

Мост измерительный реактивный — мост переменного тока для измерения индуктивностей и емкостей преимущественно на высоких частотах.

Возможны три варианта построения схемы измерительного моста на реактивных сопротивлениях с малыми потерями.

Емкостный мост (рис. 110, а) образован четырьмя конденсаторами, которые характеризуются емкостью  $C$  и углом потерь  $\delta$ .

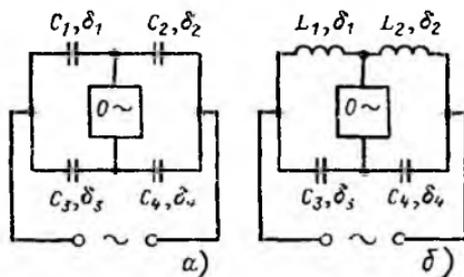


Рис. 110. Мост измерительный реактивный:  
а — емкостный; б — индуктивно-емкостный

Условия равновесия моста в общем виде с учетом зависимостей  $Z \approx 1/\omega C$  и  $\delta = -90^\circ + \varphi$  имеют вид

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_3}{C_4} \text{ и } \delta_1 - \delta_2 = \delta_3 - \delta_4.$$

Данная схема используется для измерения емкости конденсаторов с малыми потерями, так что при уравнивании схемы активной составляющей можно пренебречь.

Индуктивный мост для измерительных целей имеет ограниченное значение. Расчетные соотношения аналогичны имеющим место при емкостной схеме.

Схема индуктивно-емкостного моста (рис. 110, б) содержит индуктивный делитель напряжения, состоящий из двух катушек, имеющих индуктивности  $L$  и углы потерь  $\delta_L$ . Параллельно подключен емкостный делитель, состоящий из двух конденсаторов (с емкостью  $C$  и углами потерь  $\delta_C$ ).

Условия равновесия имеют вид

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_4}{C_3} \text{ и } \delta_1 - \delta_2 = \delta_4 - \delta_3.$$

Данная схема пригодна для измерения индуктивностей на частотах вплоть до мегагерцевого диапазона.

Все три схемы допускают подключение рабочего напряжения (и пульт-индикатора) на любую из двух пар клемм. Чтобы отказаться от уравнивания схемы по потерям, необходимо при общем уравнивании схемы использовать изменяемую емкость или индуктивность. Если нельзя пренебречь активными компонентами, то для уравнивания по фазе необходимо предусмотреть в схеме параллельно или последовательно включенные активные сопротивления, одно из которых должно быть регулируемым. Мосты измери-

тельные реактивные во многих случаях используются как *мосты неуравновешенные* для измерения неэлектрических величин электрическими методами.

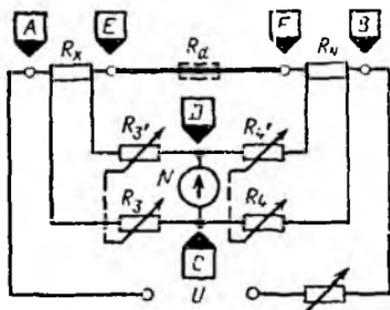
**Мост измерительный Томсона (двойной мост)** — мост постоянного тока для измерения преимущественно малых сопротивлений.

При измерении малых значений сопротивления (менее 10 мОм) соединительный провод имеет тот же порядок сопротивления, что и измеряемый объект. У моста измерительного Томсона, в отличие от моста измерительного Уитстона, влияние соединительных кабелей исключается, так что становится возможным измерение в области микроом.

Измеряемый объект  $R_x$  и образцовое сопротивление  $R_N$  имеют по 4 соединительные клеммы (четырёхпроводная схема) (рис. 111):

Рис. 111. Мост измерительный Томсона:

$R_x$  — измеряемый объект;  
 $R_N$  — образцовое сопротивление;  
 $R_3, R_4$  — сопротивления плеч моста;  
 $R_3'$  и  $R_4'$  — шунтирующие сопротивления;  
 $R_d$  — сопротивление связи;  $N$  — нуль-индикатор



некритичные клеммы (А—Е и Г—В), к которым подводится относительно большой ток, и потенциальные клеммы, через которые протекают сравнительно малые токи. Потенциальные клеммы на измеряемом сопротивлении часто образуются испытательными пробниками, которые присоединяются к точкам измеряемого объекта, между которыми нужно измерить сопротивление. Оба внешних провода от источника напряжения к низкоомным  $R_x$  и  $R_N$  образуют цепь питания, т.е. лежат вне моста. Сопротивления плеч моста  $R_3, R_4, R_3', R_4'$  существенно больше  $R_x$  и  $R_N$ , поэтому сопротивлениями проводов и контактов можно пренебречь.

Когда напряжение на сопротивлении проводника  $EF$  делится между низкоомными  $R_x$  и  $R_N$  посредством шунтирующих сопротивлений  $R_3'$  и  $R_4'$  поровну, как и напряжение между А и В с помощью сопротивлений плеч  $R_3$  и  $R_4$ , индикатор показывает нуль. Мост уравновешен. Условия равновесия:

токи  $I_{CD}=0$ ;  $I_{AE}=I_{CF}$ ;  $I_{ED}=I_{DF}$ ;  $I_{AE}=I_{FB}$ ;  
 напряжения  $U_{CD}=0$ ;  $U_{AC}=U_{AED}$ ;  $U_{CB}=U_{DFB}$ ;

$$\text{сопротивления } R_x = \frac{R_1}{R_2}; \quad R_N = \frac{R_3'}{R_4'} R_N.$$

Таким образом, этот двойной мост уравновешивается дважды. Для упрощения уравновешивания соответствующие пары сопротивлений плеч и шунтов выбираются одинаковыми ( $R_3=R_3'$  и  $R_4=R_4'$ ) с общей регулировкой.

Мост измерительный Уитстона — мост постоянного тока для измерения активных сопротивлений.

Этот измерительный мост позволяет определить значение одного из четырех сопротивлений, если три известны. Известное сопротивление  $R_x$  и образцовое сопротивление  $R_N$ , значение которого известно (с высокой точностью), образуют делитель напряжения. Вторым, подключенный параллельно первому делитель напряжения образован двумя сопротивлениями  $R_3$  и  $R_4$  плеч моста (рис. 112). Изменяя от-

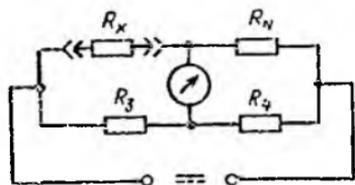


Рис. 112. Мост измерительный Уитстона. Принципиальная схема

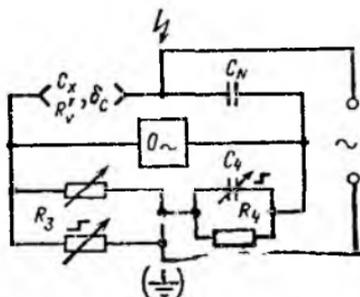


Рис. 113. Мост измерительный Шеринга

ношение плеч моста  $b = R_3/R_4$ , т. е. уравнивая отношения противоположно лежащих сопротивлений так, чтобы рабочее напряжение обонми делителями делилось одинаково, получают равные потенциалы в точках подключения измерительного прибора. В этом случае ток через нуль-индикатор отсутствует, мост уравновешен; значение неизвестного сопротивления равно

$$R_x = bR_N.$$

Мост измерительный Уитстона может быть выполнен как мост измерительный реохордный или как мост измерительный декадный.

Мост измерительный уравниваемый.

Путем изменения как минимум одного из четырех полных сопротивлений (плеч) мостовая схема уравнивается, т. е. выходная величина на выводах делителей напряжения обращается в нуль. В зависимости от типа схемы различаются условия равновесия моста, обеспечивающие это состояние. Положение равновесия контролируется посредством нуль-индикатора.

Мост измерительный Шеринга — измерительный мост переменного тока для измерения диэлектрических потерь конденсаторов, кабелей, обмоток, твердых и жидких изоляционных материалов и других объектов емкостного характера при низком и высоком измерительном напряжении.

Измеряемый объект ( $C_x$  с  $\text{tg } \delta_c$ ) и образцовый конденсатор  $C_N$  большой емкости соединяются с одним полюсом высокого напряжения. Выравнивание их значений осуществляется переменным резистором  $R_x$ . Он состоит из нескольких сопротивлений, так как при наличии измеряемого объекта большой емкости и с высоким рабочим напряжением имеют место большие (реактивные) токи. Уравнивание фаз производится с помощью конденсатора (ступенчатого) переменной емкости  $C_0$ , параллельно подключенного к сопротивле-

нию  $R_4$  (рис. 113). Если сопротивление  $R_3$  и образцовый конденсатор  $C_N$  не имеют потерь, то справедливо

$$C_x = \frac{R_4}{R_3} C_N; \quad R'_4 = \frac{C_4}{C_N} R_3; \quad \operatorname{tg} \delta_C = \omega C_4 R_4.$$

В обычных условиях при частоте рабочего (измерительного) напряжения 50 Гц значение сопротивления  $R_4$  выбирают равным 3183 Ом; в этом случае значение коэффициента потерь определяется только емкостью конденсатора  $C_4$ :

$$\operatorname{tg} \delta_C = 314,2 \text{ с}^{-1} \cdot 3183 \text{ Ом} \cdot C_4 = C_4 \text{ мкФ}^{-1}.$$

**Мостовая схема** — замкнутое построение схемы из четырех элементов или комбинаций элементов:

мостовая схема для измерения электрических и неэлектрических величин (см. *Измерительный мост*);

мостовая схема для выпрямления (см. *Схема Греча*).

**Мост процентный** — измерительный мост с ручным уравновешиванием посредством реохорда, отградуированного в процентах.

В одно из плеч моста включено сопротивление сравнения  $R_N$  с известным номинальным значением. Соответственно измеряемой задаче оно может изменяться. После уравновешивания моста при наличии измеряемого объекта и другом плече на реохорде образуется отклонение  $(R_x - R_N)/R_N$ , показывающее относительную погрешность в процентах.

**Мощность** (электрическая мощность) — физическая и техническая величина в цепях электрического тока.

Если через нагрузку электрической цепи при напряжении  $u$  протекает ток  $i$ , постоянный или переменный, то мгновенное значение электрической мощности определяется равенством  $p = ui$ . Применительно к цепям постоянного тока имеет место понятие мощности постоянного тока (активной мощности). В однофазных цепях переменного тока произведение эффективных значений напряжения  $U_{\sim}$  и тока  $I_{\sim}$  определяет *полную мощность*, при учете фазового сдвига  $\varphi$  между током и напряжением — *активную и реактивную составляющие мощности*, а также *коэффициент мощности* (табл. 8).

Активная, реактивная и полная мощности электрического тока являются различными типами величин, поэтому их суммирование или вычитание должно осуществляться геометрически.

Мгновенное значение мощности в трехфазных сетях в общем случае определяется следующим образом:

$$\text{в четырехпроводных цепях } p_{3\sim} = u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3;$$

$$\text{в трехпроводных цепях } p_{3\sim} = u_{12} i_1 + u_{23} i_2.$$

При синусоидальной форме тока и напряжения и симметричной нагрузке в каждой из трех фаз мощность одинакова. Суммарные значения определяются следующим образом:

$$\text{активная мощность } P_{3\sim} = 3U_1 I_1 \cos \varphi = \sqrt{3} U_{12} I_1 \cos \varphi;$$

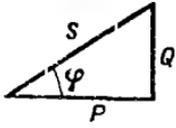
$$\text{реактивная мощность } Q_{3\sim} = 3U_1 I_1 \sin \varphi = \sqrt{3} U_{12} I_1 \sin \varphi;$$

$$\text{полная мощность } S_{3\sim} = 3U_1 I_1 = \sqrt{3} U_{12} I_1;$$

$$\text{коэффициент мощности } \cos \varphi = \frac{P_{3\sim}}{3U_1 I_1} = \frac{P_{3\sim}}{\sqrt{3} U_{12} I_1}.$$

При несинусоидальной форме тока и напряжения периодически

Т а б л и ц а 8 Характеристики мощности

Характеристики	Уравнения	Единицы измерения
Мощность: постоянного тока полная активная реактивная	$P = U \cdot I$ $S = U \cdot I_{\sim}$ $P_{\sim} = U_{\sim} \cdot I_{\sim} \cdot \cos \varphi$ $Q = U_{\sim} \cdot I_{\sim} \cdot \sin \varphi$	Вт В·А Вт вар
Коэффициент: мощности реактивности	$\cos \varphi = P_{\sim} / S$ $\sin \varphi = Q / S$	— —
Соотношения	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ $Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$	

изменяющиеся характеристики разделяются на основную и высшие гармоники на основе гармонического (Фурье) анализа. Суммарная мощность равна сумме мощностей отдельных гармоник. При синусоидальном напряжении и любой форме тока (или наоборот) активная мощность создается только основной гармоникой тока или напряжения, тогда как реактивная мощность создается также и высшими гармониками (см. *Мощность искажений*).

**Мощность активная** — физическая и техническая величина, характеризующая полезную электрическую *мощность*.

Мощность активная является активно действующей мощностью, т. е. мощностью, вызывающей (возможно, преднамеренное) воздействие на электрооборудование, например нагрев, механические усилия. В цепях постоянного тока и переменного с активной нагрузкой (т. е. когда ток и напряжение совпадают по фазе,  $\cos \varphi = 1$ ) имеется активная мощность

$$P = UI.$$

При произвольной нагрузке в цепи переменного тока только активная составляющая тока  $I \cos \varphi$ , иначе говоря, часть *полной мощности*, определяемая *коэффициентом мощности*, является полезной (используемой):

$$P_{\sim} = U_{\sim} I_{\sim} \cos \varphi = S \cos \varphi.$$

**Мощность измерительная** (см. *Собственное потребление мощности*).

**Мощность искажений** — составляющая реактивной мощности, обусловливаемая высшими гармониками.

Мощность искажений представляет собой сумму произведений напряжения и высших гармоник тока, не образующих *активной мощности* ( $I_2, I_3, \dots$ ):

$$D = U \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}$$

Мощность искажений можно определить только путем вычисления геометрической разности измеренной суммарной реактивной мощности и реактивной мощности, образованной основной гармоникой,  $Q_1 = UI_1 \sin \varphi_1$ :

$$D = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}.$$

Мощность полная — вычисляемое значение (или результат измерений) для определения параметров электрических генераторов или средств передачи (см. *Мощность*).

Мощность полная, представляющая собой геометрическую сумму активной и реактивной мощности ( $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ ), определяет максимальную электрическую нагрузку оборудования. Значение полной мощности в цепи переменного тока есть произведение эффективных значений тока и напряжения:

$$S = U_{\sim} I_{\sim}.$$

Так как в общем случае фазы напряжения и тока не совпадают, то в выражение для полной мощности вносится коэффициент мощности.

Мощность реактивная — электрическая мощность, которой обмениваются между собой генератор и нагрузка при создании и исчезновении электромагнитного и электростатического полей.

Реактивная мощность не оказывает непосредственного воздействия на нагрузку (в отличие от активной мощности); она обуславливает возникновение поля при наличии в цепи индуктивных и емкостных элементов и определяется реактивной составляющей тока ( $I \sin \varphi$ ). Реактивная мощность является составляющей полной мощности, характеризующей коэффициентом реактивности:

$$Q = UI \sin \varphi = S \sin \varphi.$$

Реактивная мощность положительна, если напряжение по фазе опережает ток, т. е. фазовый сдвиг имеет значение  $0 < \varphi < +180^\circ$ . Отличие формы тока или напряжения от синусоидальной вызывает возникновение мощности искажений как составляющей реактивной мощности.

Мультиметр (см. Прибор комбинированный).

Мультиметр цифровой (см. Цифровой мультиметр).

Мультиплексор — цифровое коммутирующее устройство со многими входами и одним общим выходом, осуществляющее коммутацию параллельных входных сигналов на выход в установленной (например, равномерно циклически) или программируемой последовательности.

В основном мультиплексоры выпускаются в интегральном исполнении. В измерительной технике они применяются как функциональные элементы в интегральных аналого-цифровых преобразователях для вывода содержимого счетчика (регистра) в виде последовательности кодовых слов. Применении мультиплексора в технике телеизмерений позволяет упростить канал передачи (линию связи).

МЭК — сокращенное наименование Международной электротехнической комиссии.

**Нагрузка** (см. Нагрузка счетчика).

**Нагрузка счетчика** — электрическая мощность, суммирование которой во времени дает значение, измеряемое и индицируемое *электрическим счетчиком*. Минимальное и максимальное значения нагрузки счетчика ограничивают *диапазон нагрузки*.

**Напряжение безопасное** — диапазон напряжений, принятый за безопасный, как *способ защиты от поражения электрическим током*.

Безопасным является переменное напряжение менее 50 В или постоянное напряжение до 60 В. Такое напряжение не может создать опасный для человека значений электрического тока. Цепь с безопасным напряжением должна быть изолирована от других сетей, иметь собственное заземление и проводку (прокладку). Электротехнические устройства, имеющие безопасное напряжение, должны быть обозна-

чены символом



**Напряжение испытательное** — электрическое напряжение для проверки прочности электрической изоляции между электрически проводящими частями измерительных приборов и принадлежностей.

Для испытаний используется переменное напряжение частотой 50 Гц и амплитудой не менее 500 В. Подробности установлены в соответствующих стандартах. Значение испытательного напряжения указывается обозначением на шкале прибора.

**Начальное значение шкалы** — градуировочная отметка шкалы, соответствующая наименьшему считываемому значению измеряемой величины.

**Начальное значение шкалы** — это первая отметка на шкале (вспомогательные отметки не учитываются). Начальное значение шкалы не всегда совпадает с начальным значением диапазона измерений или с *нулевой отметкой шкалы* (см. *Аналоговая шкала*).

**Недостоверность измерений** — допустимые границы значения исправленного результата измерения. Погрешность измерений показывает недостаточность результата измерений. Она в значительной степени зависит от случайных факторов и не может быть предсказана. Действительная погрешность измерений лежит внутри *границ погрешности*.

Исправленный *результат измерения*  $Y$  при наличии  $n$  независимых наблюдений определяется выражением

$$Y = \bar{x} \pm u,$$

где  $\bar{x}$  — среднее арифметическое наблюдений после исключения систематической погрешности;  $u$  — погрешность измерения. Недостоверность измерений содержит выявляемую главным образом статистической обработкой случайную составляющую погрешности, которая выражается *средним квадратическим отклонением*  $s$  или *доверительными границами*  $(ts; \sqrt{n})$ , и оценку  $f$  неисключенной систематической составляющей погрешности

$$u = \left| \frac{t}{\sqrt{n}} s \right| + |f|.$$

**Нелинейность** — отклонение электрического параметра (значения) сигнала от проекции частотной или амплитудной характеристики.

Нелинейность усилителя проявляется через искажение пропускаемой кривой (см. *Частотная характеристика*) или искажение формы сигнала (см. *Коэффициент гармоник*). Нелинейностью называют также причину возникновения систематической погрешности вследствие отклонения действительной характеристики преобразования средства измерений от идеальной (теоретической) модели.

**Непер** — единица измерения уровня (передачи сигналов).

**Неправильность** — устаревшее название систематической погрешности.

**Нормальная область (значений)** (нормальное значение) (см. *Нормальные условия*).

**Нормальная температура** (см. *Влияние температуры*).

**Нормальное значение** — значение нормальных условий для применения средств измерений.

**Нормальные условия** — условия измерений, при которых влияющие физические величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений.

Нормальные условия устанавливаются изготовителем (разработчиком) средства измерений в виде отдельного значения или области значений *влияющей величины* и наносятся в виде надписи на приборы (например, в виде *обозначения на шкале*) или в прилагаемой документации (эксплуатационной) (например, нормальная температура 23 °С или нормальное положение — вертикальное). Нормальным условиям применения соответствует основная погрешность средства измерений.

**Нормальный элемент** — электрохимическое устройство, воспроизводящее единицу измерения напряжения.

При надлежащем качестве изготовления и соблюдении правил эксплуатации нормальный элемент выдает в течение долгих лет стабильное значение постоянного напряжения. В измерительных целях нормальный элемент используется в *компенсаторах*, в которых практически отсутствует токопоглощение. Наибольшее распространение получила конструкция, известная под названием нормального элемента Вестона с насыщенным электролитом (рис. 114).

Внутри стеклянного сосуда, имеющего форму буквы «Н», расположены электроды, имеющие жидкое состояние: отрицательный — амальгама ртути, положительный — ртуть. Над ними находятся кристаллический сульфат кадмия и его насыщенный раствор. Пористые фарфоровые пластины препятствуют растеканию кристаллов при вибрации и согревании конструкции. В качестве деполаризатора используется сульфат ртути  $Hg_2SO_4$ , расположенный над чистой ртутью. Оба колена сосуда закрываются сверху пробками или запаиваются.

После транспортировки нормальный элемент пригоден к эксплуатации через некоторый интервал времени (время успокоения).

Общие параметры:

Напряжение при 20 °С (в термостате) . . . . .	1,01865 В
Изменение напряжения . . . . .	Около 0,005%, К
Внутреннее сопротивление . . . . .	150—300 Ом

Нагрузочная способность:

продолжительная . . . . .	1 мкА
кратковременная (максимально) . . . . .	0,1 мА

**Носитель диаграммы** — материальная основа, на которой самопишущим прибором осуществляется регистрация измерительной информации в виде диаграммы или графика.

В качестве носителя диаграммы используется в основном бумага, на которую регистрирующий орган при помощи чернил или красящей ленты наносит информацию с некоторой скоростью и продолжительностью. Носитель диаграммы может иметь вид ленты (см. *Прибор самопишущий с регистрацией на бумажной ленте*), барабана

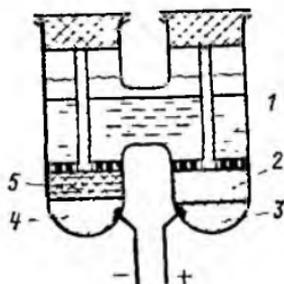


Рис. 114. Нормальный элемент кадмиево-ртутный:

1 — насыщенный раствор  $\text{CdSO}_4$  (сульфат кадмия); 2 —  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  (сульфат ртути) в качестве деполаризатора; 3 —  $\text{Hg}$ ; 4 —  $\text{CdHg}$ ; 5 — кристаллы  $\text{CdSO}_4$

(см. *Прибор самопишущий барабанного типа*) или диска (см. *Прибор самопишущий с дисковой диаграммой*). Нашли применение также светочувствительная бумага (фотобумага), на которой световой луч оставляет черный след; лощеная (парафинированная) бумага, на которой тонким белым слоем лежит воск (парафин), а пишущий грифель воздействует через этот слой на цветную подложку, или металлизированная бумага, на которой тонкий слой металла расплавляется вследствие подачи напряжения на пишущий электрод. На носителе диаграммы печатается градуированная сетка в прямоугольной или полярной (в зависимости от цели применения) системе координат.

**Носитель шкалы** — основа, на которой закреплена или изображена аналоговая шкала.

**Нулевая отметка.**

1. Естественная или условная начальная точка (см. *Шкала*).
2. Нулевая отметка шкалы измерительного прибора.
3. Механическая нулевая отметка — показание при механическом нуле.

4. Электрическая нулевая отметка — показание при электрическом нуле.

5. Нулевая отметка при передаче сигналов — наименьшее значение диапазона измерения сигнала.

Говорят о «мертвой зоне», когда нижняя граница сигнала лежит вблизи нуля. В измерительных системах с «живым нулем» состояние отсутствия токов и напряжений технически недостижимо; наименьшее значение сигнала имеет определенное, отличное от нуля значение.

**Нулевая отметка естественная** (см. Нулевая отметка шкалы).

**Нулевая отметка шкалы** — градуировочная отметка шкалы, соответствующая значению 0 измеряемой величины.

Нулевая отметка шкалы не должна быть идентична *начальному значению шкалы* или диапазона измерения. Она может находиться в произвольном месте диапазона измерений. У шкал, начинающихся с нуля, нулевую отметку шкалы обозначают естественным нулем.

При помощи измерительных приборов, у которых нулевая отметка лежит в середине шкалы, можно индцировать положительные и отрицательные значения (так называемые нуль-измерители). Если нулевая отметка шкалы отсутствует, то говоря о нулевой шкале (см. *Исключение нулевой точки*).

**Нуль-индикатор** — индикатор, предназначенный для индикации и контроля состояния равновесия уравниваемых измерительных схем.

Нуль-индикатор позволяет лишь качественно оценить измеряемую величину по отношению к нулевой отметке шкалы (больше или меньше). Он служит, например, для контроля положения равновесия *компенсатора* и *измерительного моста*. В зависимости от формы рабочего тока различают *нуль-индикатор постоянного* и *нуль-индикатор переменного тока*.

**Нуль-индикатор переменного тока** — нуль-индикатор для обнаружения переменного тока или напряжения.

С помощью нуль-индикатора переменного тока контролируется равновесие схем *компенсаторов* и *мостов переменного тока*. В качестве нуль-индикаторов переменного тока в ограниченном диапазоне частот могут применяться измерительные механизмы переменного тока и напряжения, головной телефон, модифицированные схемы комбинированных приборов или электронных вольтметров. С помощью фазочувствительных электронных нуль-индикаторов переменного тока (специальный усилитель с соответствующим индикатором, осциллограф) нулевое состояние (равновесие) может контролироваться отдельно по значению и по фазе.

**Нуль-индикатор постоянного тока** — нуль-индикатор для обнаружения постоянного тока или напряжения.

При помощи нуль-индикаторов постоянного тока контролируется состояние равновесия *компенсаторов* и *измерительных мостов* постоянного тока. В качестве нуль-индикаторов постоянного тока используются высокочувствительные *магнитоэлектрические измерительные механизмы* в обычном конструктивном исполнении и в виде *гальванометров*. При необходимости они могут дополняться предварительным усилителем.

**Нуль механический** — положение подвижного органа измерительного прибора при нулевом значении измеряемой величины.

У показывающих электронизмерительных приборов указатель занимает нулевое положение (в отличие от *электрического нуля*) при отсутствии в схеме прибора токов и напряжений.

**Нуль электрический** — положение подвижного органа электронизмерительного прибора, при котором измеряемая величина равна нулю, а на подвижный орган тем не менее действуют силы, точнее, вращающие моменты, обусловленные токами или напряжениями, как, например, в *измерителе сопротивления* с последовательным подключением.

Нуль электрический в схеме измерительного прибора контролируется и устанавливается оператором (или автоматически).

## О

**Область перегрузки** — область значений, которые может принимать измеряемая или влияющая величина по обе стороны рабочего диапазона до *границы перегрузки*.

У некоторых измерительных приборов область перегрузки входит в диапазон показаний и указывается на шкале (рис. 115). Отметки делений, принадлежащие области перегрузки, выполняются в виде делений для грубого отсчета и обозначаются вдвое более мелкими цифрами.

Область разрушения (см. Предел прочности).

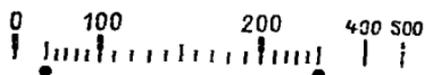


Рис. 115. Область перегрузки. Целинейная шкала со 100 %-ной перегрузкой

Обозначение класса точности — обозначение класса точности средств измерений.

На электронизмерительных приборах класс точности указывается чаще всего с помощью специального обозначения на шкале. Численное значение соответствует основной погрешности в процентах при условии, что значения влияющих факторов не выходят за пределы нормальных условий эксплуатации.

Дополнительный символ (угол, окружность) обозначает нормируемое значение, т. е. значение, от которого берется процент (например, измеренное значение, конечное значение шкалы).

Обозначение единиц измерений (сокращенные обозначения единиц измерений) — символы, обозначающие единицы измерения физических величин.

В качестве обозначений единиц измерений используются в основном буквы (например, А — ампер, Ом — ом, Гц — герц) или их сочетания (например, Вт·ч — ватт-час, стенин ( $m^2$  — квадратный метр), отношение в виде дроби с отрицательным показателем степени (м/с или  $m \cdot s^{-1}$  — метр в секунду). Некоторые производные единицы, образованные основными (единицами СИ), имеют собственные наименования и обозначения ( $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1} = Вт/А = В$ ).

Обозначения единиц измерений могут быть дополнены кратным обозначением приставки, образованной коэффициентом  $10^n$  (например, 1 мА =  $10^{-3}$  А — миллиампер). Некоторые символы в обозначениях единиц измерений разделяются интервалом, знаком умножения и скобками, чем обеспечивается их однозначное толкование (например, мОм — миллиом и Ом·м — ом·метр).

Обозначения единиц измерений не должны иметь (в отличие от обозначений величины в формулах) никаких дополнительных индексов, штрихов и т. д. (например,  $U=220 В_{эф}$  — неправильно;  $U_{эф}=220 В$  — правильно). В печатных изданиях, обозначения единиц измерения должны набираться прямым шрифтом, тогда как формульные обозначения допускается набирать курсивом.

Обозначения на шкале — символы, знаки и прочие обозначения на шкале, полнее характеризующие электронизмерительный прибор и несущие информацию относительно его применения (табл. 9).

Одно или несколько обозначений единиц измерения указывают на возможность измерения соответствующих величины (например, А, V, кВт). Кроме того, обозначения на шкале указывают типы измерительного механизма, вид тока, класс точности, рабочее положение, испытательное напряжение, дополнительные или отключенные элементы, инструкции по монтажу и другие специальные указания. Надписи на шкале могут информировать об условиях эксплуатации или

Т а б л и ц а 9. Смысл обозначений на шкале

Обозначения на шкале	Смысл
<b>Тип тока</b>	
— или	Постоянный ток
=	Однофазный переменный ток
~	Постоянный и переменный ток
~	Трехфазный переменный ток
~	Трехфазный переменный ток с несимметричной нагрузкой
~	Безопасность
☆	Испытательное напряжение 500 В
☆ 2	Испытательное напряжение свыше 500 В, например 2 кВ
☆ 0	Измерительный прибор, не подвергавшийся испытанию высоким напряжением
⚡	Стрела, предупреждающая от опасности прикосновения
□	Защитная изоляция
<b>Рабочее положение</b>	
	Измерительный прибор, эксплуатируемый при вертикальном положении шкалы
	Измерительный прибор, эксплуатируемый при горизонтальном положении шкалы
	Измерительный прибор, работающий в наклонном (например, 60°) к горизонтали положении шкалы
N	Необходимость ориентации прибора относительно вектора внешнего магнитного поля

Примечания: 1) Номинальное положение.  
2) Измерительный прибор с указанным диапазоном.

Обозначения на шкале	Смысл
<b>Классы точности</b>	
1,5	Обозначение класса (например, 1,5) указывает значение основной погрешности относительно конечного значения диапазона измерений, %
	Обозначение класса (например, 1,5) указывает значение основной погрешности в процентах от длины шкалы
	Обозначение класса (например, 1,5) указывает значение основной погрешности в процентах от действительного значения
	Обозначение класса (например, 1) измерительного прибора с нелинейной шкалой и длиной шкалы в качестве нормирующего значения. Однако погрешность (относительно действительного значения) внутри диапазона измерений не должна превышать значение, указанное в верхней части символа (например, предел погрешности 5 %)
<b>Обозначение типа измерительного механизма</b>	
	Измерительный механизм магнитоэлектрической системы
	Измерительный механизм магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом
	Измерительный механизм электромагнитной системы
	Измерительный механизм электродинамический с замкнутым магнитопроводом
	Измерительный механизм индукционной системы
	Измерительный механизм электростатической системы
	Измерительный механизм тепловой
	Измерительный механизм биметаллический

Обозначения на шкале	Смысл
	Измерительный механизм вибрационный
<p>Примечание. Слева — основная конструкция измерительного механизма. Справа — измерительный механизм логотрический.</p>	
Принадлежности	
	Выпрямители
 3)	Термопреобразователь с непосредственным нагревом горячего спая (без изоляции)
 3)	Термопреобразователь с косвенным нагревом горячего спая (в изоляции)
	Наличие электронных элементов и/или схем в измерительной цепи
	Наличие электронных элементов и/или схем во вспомогательной токовой цепи
	Наличие шунта, добавочного резистивного сопротивления
	
	Последовательное полное сопротивление (последовательный импеданс)
	Последовательная индуктивность
	
	Общая принадлежность

Примечания: 3 Комбинация данного символа с обозначением типа измерительного механизма означает, что элемент или схема смонтированы внутри прибора. Комбинация данного символа с символом «4» означает, что элемент или схема расположены вне измерительного прибора.

4. Данный символ в сочетании с обозначением принадлежности «3» указывает на самостоятельность принадлежности.

Обозначения на шкале	Смысл
   <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2</div> мТл или <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">10</div> кВ/м или <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">10</div>  АСТ	<p>Общие обозначения</p> <p>Ссылка на специальные документы (например, ознакомиться с руководством по обслуживанию)</p> <p>Измерительный прибор аstaticкий</p> <p>Электростатическое экранирование</p> <p>Магнитное экранирование</p> <p>Наибольшее допускаемое значение магнитной индукции, мТл, не вызывающее ухудшения класса точности (например, 2 мТл)</p> <p>Наибольшее допускаемое значение электрического поля, кВ/м, не вызывающее ухудшения класса точности (например, 10 кВ/м)</p> <p>Корректор нуля</p>
Fe, NFe  Fe  FeX  NFe	<p>Указания по монтажу</p> <p>Допускается монтирование на любом щите любой толщины</p> <p>Монтирование на щите из ферромагнитного материала (например, стали) любой толщины</p> <p>Монтирование на щите из ферромагнитного материала (например, стали), толщиной X, мм</p> <p>Монтирование на щите из неферромагнитного материала любой толщины</p>

влияющих величинах и диапазонах, а также содержать обозначение изготовителя и заводской номер.

**Обозначения формульные** (в математических выражениях) (символы, обозначающие различные величины) — символы для краткого обозначения физической или технической *величины*.

В качестве обозначений физических и технических величин в математических выражениях используются буквы различных алфавитов (например,  $t$  — время,  $U$  — напряжение,  $\epsilon$  — диэлектрическая постоянная).

Так как физических величин насчитывается больше, чем буквенных символов, то неизбежны одинаковые обозначения разных величин. Поэтому в отличие от обозначения единиц измерения используются индексы, позволяющие различать однородные величины или характеризующие особенность измеряемой величины (например,  $I_m$  — измерительный ток при максимальном отклонении).

Буквенные обозначения в формулах не следует путать с *обозначениями единиц измерений*. В издательской практике формульные обозначения набирают курсивом, а обозначения единиц измерений прямым шрифтом (например,  $A$  — площадь,  $A$  — ампер).

**Образец (проба).**

Часть или отдельный элемент непрерывного производственного процесса, который берется для контроля или измерения параметров процесса.

**Образцовая линия** (см. Измерение уровня).

**Общий диапазон измерений** — область измеряемых значений многопредельного измерительного прибора, ограниченная снизу наименьшим измеряемым значением наиболее чувствительного поддиапазона, сверху — верхним пределом наибольшего поддиапазона измерений. У комбинированных приборов общий диапазон измерений зачастую создается с наибольшим поддиапазоном.

**Объект измерений** (см. Измеряемый объект).

**Омметр логометрический** — прибор с непосредственным отсчетом для измерения сопротивления.

На основе *измерительного механизма* со скрещенными катушками (логометрический механизм), который индицирует отношение двух токов ( $\alpha \sim I_1/I_2$ ), можно создать омметр с непосредственным отсчетом в двух вариантах: *методом амперметра-вольтметра* и *методом сравнения токов* (рис. 116). Омметр логометрический применяется для индикации значений сопротивления и для измерения неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в сопротивление.

*Омметр логометрический по методу амперметра-вольтметра.* Измеряемое сопротивление  $R_x$  соединяется последовательно с образцовым сопротивлением  $R_N$  и последовательно (при измерении больших сопротивлений) или параллельно (при измерении малых сопротивлений) с одной из катушек измерительного механизма (рис. 116, а). Поскольку токи в цепях катушек определяются включенными в них сопротивлениями, то угол поворота механизма будет пропорционален измеряемому сопротивлению:

$$R_x = R_N \frac{R_{S1}}{R_{S2}} \frac{I_1}{I_2} \sim \alpha.$$

Показание логометрического омметра, являющееся отношением токов в катушках, есть мера неизвестного сопротивления.

*Омметр логочетрический по методу сравнения токов.* Рабочий ток, создаваемый источником напряжения делится между цепями катушек в соответствии с величинами образцового  $R_N$  и измеряемого  $R_x$  сопротивлений, каждое из которых включено последовательно в цепь

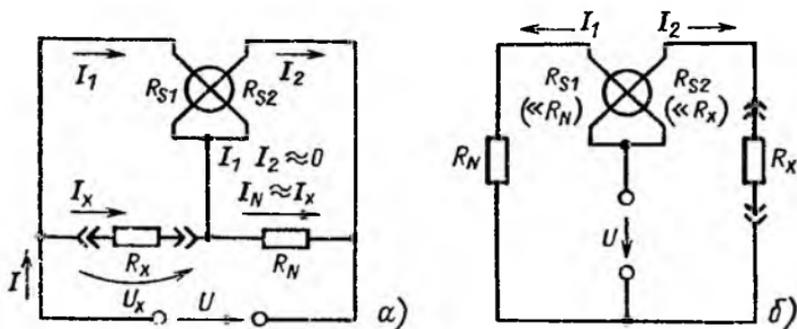


Рис. 116. Омметр логочетрический (со скрещенными катушками):  
 а — по методу амперметра-вольтметра; б — по методу сравнения токов

соответствующей катушки измерительного механизма (рис. 116, б). Как правило, сопротивления обмоток катушек малы по сравнению с  $R_N$  и  $R_x$  и ими пренебрегают (или учитывают при градуировке шкалы).

Угол поворота механизма  $\alpha$  и, следовательно, показание прибора пропорциональны измеряемому сопротивлению:

$$R_x = R_N \frac{I_1}{I_2} \sim \alpha.$$

В обеих схемах диапазон измерения определяется главным образом образцовым сопротивлением  $R_N$  и может изменяться путем варьирования его значения. Обе схемы обеспечивают почти полную независимость показаний от рабочего напряжения. Поэтому в приборах, предназначенных для автономного измерения высокоомных сопротивлений, необходимое для этого высокое напряжение может быть создано при помощи индуктора с ручным приводом или батареи с трансвертером.

**Омметр цифровой** (см. Цифровой омметр).

**Опора** — элемент конструкции измерительного механизма.

Опоры предназначены для стабильной работы подвижного органа. Они должны обеспечивать высокую механическую стабильность, низкое трение и малый люфт. Опоры имеют решающее значение при обеспечении точности, надежности и возможности транспортирования измерительных приборов. В электронизмерительных приборах используют два типа опор:

осевые опоры (кери-подпятник) и ленточные растяжки (см. Крепление подвижной части с помощью ленточных растяжек).

Такие нежелательные явления, как преждевременный износ и увеличенное трение, могут быть предотвращены путем оберегания при-

боров от воздействия вибрации и тряски, от попадания влаги и пыли в процессе эксплуатации и транспортирования. Необходимо периодическое смазывание опор. Неудовлетворительное состояние опор часто является причиной *вариации показаний* измерительных приборов.

**Опора на цапфу** — разновидность осевой опоры в электроизмерительных приборах.

Закаленная стальная ось подвижного органа, вращаясь, опирается на тонкие, отполированные до высокой чистоты цилиндрические цапфы с малым радиусом кривизны. Боковому смещению оси препятствуют пустотелые втулки. Боковой для цапфы служит полудрагоценный (искусственный) камень (рис. 117).

Опора на цапфу обладает большим трением, чем *опора на шпиль*. Опора на цапфу обеспечивает высокую стабильность и относительно высокую нечувствительность к тряске и вибрации подвижного органа. Поэтому на основе опор на цапфу выпускают устойчивые к механическим воздействиям измерительные и регистрирующие приборы (см. *Прибор самопишущий*).

**Опора на шпиль** — осевая опора подвижной части электроизмерительного прибора.

Ось подвижного органа имеет с обеих сторон конические наконечники из закаленной стали (угол конусности  $56^\circ$ ), острие которых имеет закругление радиусом 10—100 мкм. Эти заостренные наконечники вращаются в конусообразных подпятниках (угол конусности  $80^\circ$ ).

При невысоких требованиях к прибору подпятники выполняются непосредственно в бронзовых винтах. В большинстве случаев опоры выполняют из искусственных драгоценных камней неподвижными или подпружиненными для смягчения ударов (рис. 118). Опоры на шпиль чувствительны к толчкам, ударам и вибрации.

При внешнем расположении опор осевые наконечники удалены от подвижного органа. Так как нагруженной оказывается шпильная опора, то становится возможным возникновение погрешности отклонения. При внутреннем расположении опор эта погрешность уменьшается по причине более близкого расположения осевых опор к центру тяжести подвижного органа. Нагруженной оказывается верхняя опора, а указатель испытывает поперечный изгиб так, что его возможное при этом удлинение проходит через верхнюю точку опоры.

**Опора на шпиль внешняя** (см. Опора на шпиль).

**Опора на шпиль внутренняя** (см. Опора на шпиль).

**Опорная линия (аналоговой шкалы)** (см. Длина шкалы).

**Опорная линия (шкалы)** — изображенная на шкале или условная линия, относительно которой сверху или/и снизу располагаются отметки делений аналоговой шкалы (см. *Способ расположения делений*). Опорная линия может иметь вид прямой или дуги.

**Определение градуировочной характеристики** — установление взаимозависимости между выходной и входной величинами средства измерений (вид метрологической деятельности).

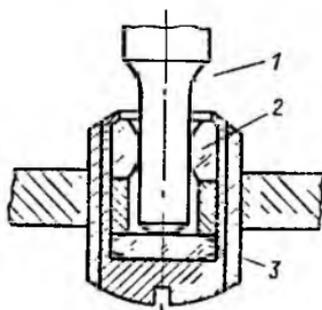


Рис. 117. Опора на цапфу:

1 — осевая цапфа; 2 — удерживающий камень; 3 — камень-подпятник

В электронизмерительной технике в процессе определения градуировочной характеристики устанавливается соответствие положения (основных) градуировочных отметок шкалы значениям измеряемой величины. Практическое нанесение делений шкалы называется *градуировкой* средства измерений.

В процессе определения градуировочной характеристики определяется также погрешность средства измерений, которая при помощи *юстировки* может быть доведена до минимального значения. Понятие

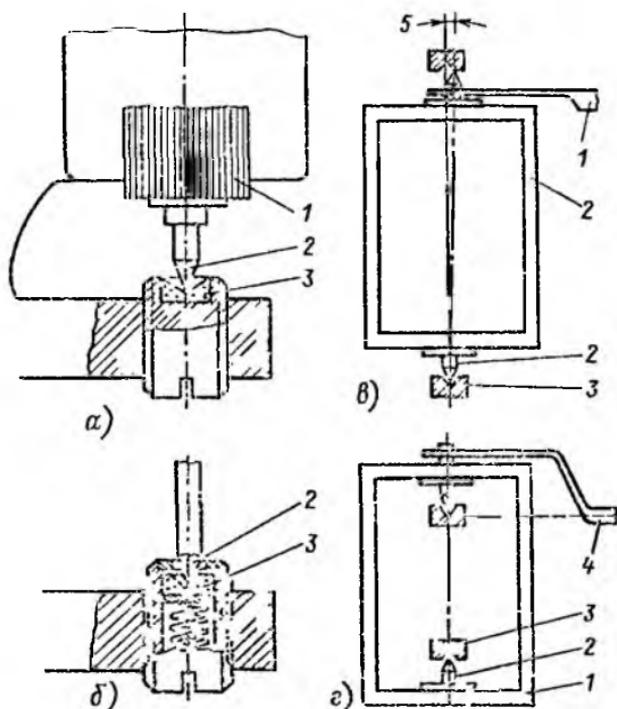


Рис. 118. Опора на шпиль:

*а* — неподвижный подпятник; *б* — пружинный подпятник; *в* — внешнее расположение опор; *г* — внутреннее расположение опор; *1* — подвижный орган (например, подвижная катушка); *2* — осевой наконечник; *3* — опорный подпятник; *4* — указатель; *5* — угол наклона (сильно увеличен), являющийся причиной возникновения погрешности наклона

«определение градуировочной характеристики» нельзя путать с поверкой.

Определение мощности путем измерения тока и напряжения — метод косвенных измерений мощности постоянного тока и полной мощности.

Электрическая *мощность* есть произведение тока и напряжения. На основе измерения тока и напряжения (аналогично *определению сопротивления* путем измерения тока и напряжения) определяется активная мощность постоянного тока

$$P_{\text{акт}} = U_{\text{акт}} I_{\text{акт}}$$

на основе измерения эффективных значений переменного напряжения и тока определяется полная мощность

$$S = U_{\sim} I_{\sim}$$

При дополнительном измерении коэффициента мощности можно также косвенно определить активную мощность переменного тока

$$P_{\sim} = U_{\sim} I_{\sim} \cos \varphi$$

Измерение тока и напряжения может осуществляться при помощи выпрямительной схемы. При этом следует принимать во внимание, какая мощность определяется: выходная мощность источника напряжения или потребляемая нагрузкой.

Так как любое средство измерений имеет собственное потребление мощности, то при любой схеме возникает неизбежная систематическая погрешность, которая при точных измерениях, особенно малых значений мощности, должна учитываться и корректироваться (табл. 10).

Т а б л и ц а 10. Определение мощности путем измерения тока и напряжения

Мощность, выделяемая источником напряжения, $P_Q$	Схема измерения	Мощность, потребляемая нагрузкой, $P_L$
Вентильное подключение по напряжению $P_Q = UI + P_{GV}$		Вентильное подключение по току $P_L = UI - P_{GI}$
Вентильное подключение по току $P_Q = UI + P_{GI}$		Вентильное подключение по напряжению $P_L = UI - P_{GV}$

П р и м е ч а н и е.  $U, I$  — измеренные приборами значения;  $P_{GV} = \frac{U^2}{R_{GV}}$  — мощность, потребляемая вольтметром;  $R_{GV}$  — внутреннее сопротивление вольтметра;  $P_{GI} = I^2 R_{GI}$  — мощность, потребляемая амперметром;  $R_{GI}$  — внутреннее сопротивление амперметра

Определение сопротивления путем измерения тока и напряжения — метод косвенного измерения сопротивления.

Согласно закону Ома активное сопротивление можно определить, измерив постоянное напряжение и ток, и полное сопротивление — через измерение эффективных значений переменных тока и напряжения. В общем случае измерения тока и напряжения могут производиться поочередно. При измерении сопротивлений, функционально связанных с током и напряжением, например нелинейных сопротивлений полупроводниковых элементов, переходных сопротивлений контактов и сопротивления изоляции, необходимо осуществлять одновременное измерение тока/напряжения. Получаемые при этом измеренные значения позволяют рассчитать сопротивление с достаточной

для рабочих измерений точностью (около 5 %) при условии обеспечения соответствующего соотношения сопротивлений между измеряемым объектом и измерительным прибором. Схема правильного включения вольтметра имеет преимущество при измерении относительно низкоомных сопротивлений; при этом измеритель напряжения должен быть как можно более высокоомным ( $R_{GV} > 50R$  или  $Z$ ).

Для измерения относительно высокоомных сопротивлений применяют схему правильного включения амперметра; измеритель тока должен быть как можно более низкоомным ( $R_{GI} < \frac{1}{50}R$  или  $Z$ ).

Учет внутренних сопротивлений приборов в вычислениях позволяет получить более точное значение измеряемого сопротивления: в схеме правильного измерения напряжения  $R_x = \frac{U_x}{I} \left( 1 + \frac{R_x}{R_{GV}} \right)$ ,

в схеме правильного измерения тока  $R_x = \frac{U}{I_x} - R_{GI}$ .

**Осмотр визуальный** — составная часть испытаний способов защиты от поражения электрическим током.

В процессе визуального осмотра специалист исследует невооруженным глазом или при помощи соответствующих устройств электрогехнические установки или их части на предмет обнаружения видимых дефектов. Критерии для принятия решения установлены в стандартах.

**Осциллограмма** — изображение измеряемого сигнала (например, колебательного процесса или функциональной связи двух величин, преобразованных в напряжение) на экране *электронного осциллографа*.

**Осциллограф** — регистрирующий прибор, предназначенный для отображения функциональной связи двух переменных, одной из которых в большинстве случаев является время.

В зависимости от способа регистрации различают в основном два типа осциллографов. *Светолучевой осциллограф* записывает форму исследуемого электрического колебания световым лучом на светочувствительном диаграммном носителе (истинный регистратор). Электроно-лучевой осциллограф в отличие от светолучевого регистрирует форму сигнала на экране посредством электронного луча. Именно это средство наблюдения подразумевают, говоря об *электронном осциллографе*.

**Осциллограф двухканальный** — осциллограф, способный изображать несколько измеряемых сигналов на экране однолучевой трубки.

Осциллограф двухканальный применяется в тех случаях, когда необходимо сравнить или выяснить зависимость двух или более (путем коммутации) измеряемых сигналов. Здесь используется электроно-лучевая трубка с одним лучом и отклоняющей системой. Пара вертикально отклоняющих пластин имеет управление от конечного каскада усилителя. Двухканальное изображение обеспечивается коммутацией обоих сигналов после предварительного усиления (рис. 119).

Выбор того или иного канала обеспечивается изменением положения переключателя вручную.

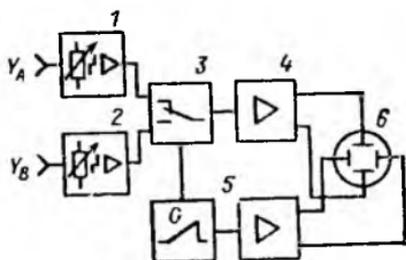
В режиме ПРЕР (прерывисто) используется электронный переключатель с внутренне формируемой постоянной частотой переключения, значительно превышающей спектр измеряемых сигналов. При

этом электронный луч поочередно выписывает отрезки обоих измеряемых сигналов и на экране возникает двойная осциллограмма, выполненная штрихами.

Для получения быстрой развертки предусмотрен режим ПООЧЕР (поочередно). При этом электронный переключатель переключает каналы после прохождения полного сигнала или его периода (во время

Рис. 119. Осциллограф двухканальный. Структурная схема:

1, 2 — предварительные усилители каналов  $Y_A$ ,  $Y_B$ ; 3 — (электронный) переключатель; 4 — окончательный усилитель канала ( $Y_{\perp}$ ) вертикального отклонения; 5 — система горизонтального отклонения; 6 — однолучевая электронно-лучевая трубка



обратного хода луча), так что каждый измеряемый сигнал изображается полностью, прежде чем происходит переключение каналов.

Многие осциллографы двухканальные имеют режим  $A+B$  (суммирование), при котором происходит суммирование обоих измеряемых сигналов и изображение результирующего. Необходимое во многих случаях вычитание осуществляется инвергированием одного из каналов:  $A+(-B)=A-B$ .

Изображение более двух измеряемых сигналов (многоканальное изображение) может быть обеспечено применением нескольких коммутаторов после предварительного усиления.

Осциллограф двухлучевой — осциллограф на основе двухлучевой трубки.

Оба электронных луча могут вместе или по отдельности управляться системами вертикального и горизонтального отклонения. Благодаря этому становится возможной одновременное изображение по меньшей мере двух осциллограмм. Применение двухлучевого осциллографа аналогично двухканальному осциллографу.

Осциллограф запоминающий — осциллограф, предназначенный для изображения сигналов с низкой частотой повторения, а также периодических сигналов и однократных процессов в течение длительного интервала времени.

Осциллограф с запоминающей трубкой (аналоговый запоминающий осциллограф). Однажды полученная осциллограмма хранится в течение длительного времени специально сконструированной электронно-лучевой трубкой. При этом во многих случаях время запоминания делают варьировемым. Некоторые запоминающие осциллографы сохраняют информацию даже в выключенном состоянии (в течение нескольких суток). Перед новой записью старую осциллограмму нужно стереть.

Осциллограф с цифровой памятью (цифровой запоминающий осциллограф). Аналоговая информация в осциллографе дискретизируется и в этом виде заносится в память. Записанные сигналы могут дополнительно обрабатываться, например, умножением на постоянный коэффициент или растягиванием во времени. Интерполятор обес-

печивает при воспроизведении сигнала на экране точное соответствие между отсчетами и соответствующими им моментами времени.

Осциллограф одноканальный — осциллограф, предназначенный для получения осциллограммы одного измеряемого сигнала при помощи однолучевой электронно-лучевой трубки.

Осциллограф одноканальный представляет собой электронно-лучевую трубку с системой формирования луча (электронной пушкой) и системой отклонения луча. Управление системой отклонения луча осуществляется при помощи электронных схем, формирующих каналы вертикального и горизонтального отклонения луча (рис. 120).

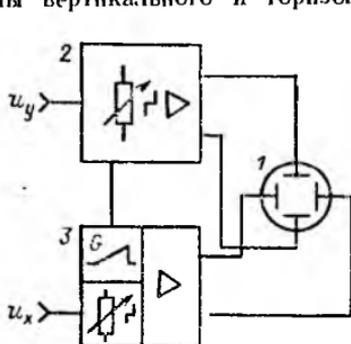


Рис. 120. Осциллограф одноканальный. Структурная схема:

1 — однолучевая электронно-лучевая трубка; 2 — канал вертикального отклонения ( $Y$ ); 3 — канал горизонтального отклонения ( $X$ )

Осциллограф, работающий в реальном масштабе времени, — осциллограф, у которого время изображения на экране идентично времени (продолжительности) измеряемого сигнала.

Характерной особенностью данного осциллографа является подача измеряемого сигнала непосредственно на электроды вертикального отклонения. Горизонтальная развертка осуществляется при помощи пилообразного напряжения. Изображение измеряемого сигнала представляется в виде пробегавшей (или неподвижной) картинки в течение времени движения электронного луча по экрану слева направо. Таким образом, один период напряжения частотой 1 кГц осциллографируется в течение 1 мс. Осциллографирование более высокочастотных сигналов зависит от ширины полосы

частот и чувствительности функциональных блоков, а также от быстродействия блока развертки. Существенное расширение этих границ обеспечивается стробоскопическими осциллографами.

Осциллограф светолучевой (см. Светолучевой осциллограф).

Осциллограф со вставными (сменными) блоками.

Концепция сменных функциональных блоков позволяет сконструировать осциллограф, способный решать как универсальные, так и специальные задачи. Выбором соответствующего сменного функционального блока обеспечивается оптимальное соответствие характеристик осциллографа измерительной задаче.

Осциллограф стробоскопический — осциллограф, в котором для представления (отображения) измеряемого сигнала используется стробоскопический способ.

Осциллограф стробоскопический применяется в тех случаях, когда полоса пропускания и чувствительность обычного осциллографа недостаточны для полного представления сигнала. Осциллограф стробоскопический работает только с регулярными периодическими сигналами, имеющими неизменяемую форму (однократные сигналы исключаются). Они допускают почти все виды отображения и измерений, которые имеются в осциллографах, работающих в реальном масштабе времени. В зависимости от типа преобразования временного

масштаба сигнала различают осциллограф стробоскопический с реальным временем, осциллограф стробоскопический с последовательным считыванием и осциллограф стробоскопический с произвольной выборкой.

С помощью дополнительных устройств удается получить цифровые и вычислительные стробоскопические осциллографы. Большинство стробоскопических осциллографов допускают изменение количества точек считывания (выборок) сигнала и установку необходимого их числа на единицу шкалы.

Осциллограф стробоскопический вычислительный — стробоскопический осциллограф, осуществляющий над получаемыми в процессе считывания отсчетами сигнала математические операции. Результаты могут записываться в память и индцироваться в аналоговой или цифровой форме.

Осциллограф стробоскопический, работающий в реальном масштабе времени — стробоскопический осциллограф, у которого продолжительность отображения сигнала на экране равна действительной длительности измеряемого сигнала.

В течение периода отображаемого сигнала осуществляется считывание отдельных мгновенных значений (в отличие от последовательного стробирования). Считывающие импульсы формируются генератором импульсов, частота следования которых присуща именно данному прибору (в большинстве случаев 50 кГц, при этом время считывания каждого отсчета составляет 20 мкс) (рис. 121).

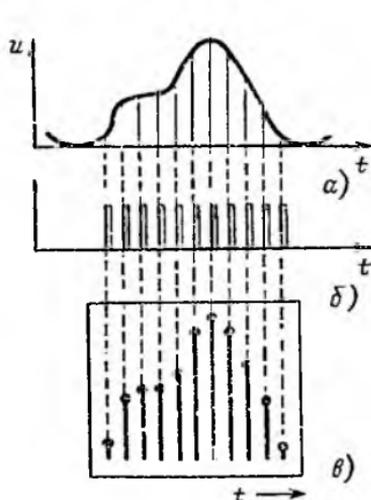


Рис. 121. Осциллограф стробоскопический, работающий в реальном масштабе времени:

*a* — стробирование входного сигнала; *b* — стробирующие импульсы; *c* — представление входного сигнала на осциллограмме в виде дискретных отсчетов

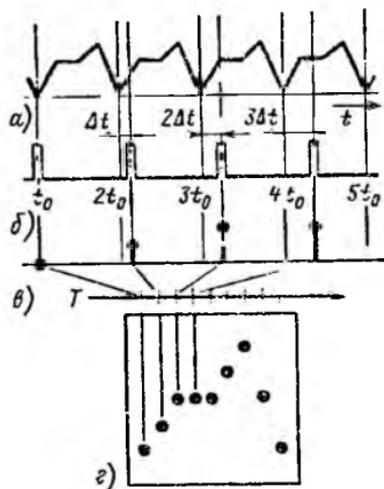


Рис. 122. Осциллограф стробоскопический с последовательным считыванием:

*a* — исследуемый входной сигнал (в реальном времени *t*); *b* — стробирующие импульсы ( $\Delta t$  — интервал считывания); *b* — мгновенные значения при считывании (только первые четыре отсчета); *c* — осциллограмма в виде точечного изображения с трансформацией времени (в эквивалентный интервал *T*)

Оциллограф стробоскопический с последовательным считыванием — оциллограф с последовательным способом стробоскопирования и когерентным считыванием.

Регулярный периодический входной сигнал представляется в виде последовательности мгновенных значений (отсчетов). Процедура считывания осуществляется посредством последовательности коротких считывающих импульсов, причем каждый последующий импульс сдвинут относительно предыдущего на некоторый одинаковый для всех импульсов интервал времени  $\Delta t$ . Благодаря этому каждый импульс считывает «свое» значение входного сигнала (рис. 122). Полученные отсчеты изображаются на экране в определенном масштабе по отношению к исходному сигналу. Исходный быстротекущий сигнал изображается последовательностью своих значений, как бы растянутой во времени (трансформация временного масштаба).

Оциллограф стробоскопический с произвольной выборкой — стробоскопический оциллограф со статическим считыванием. В отличие от стробоскопического оциллографа с последовательным считыванием в данном случае считывающие (стробирующие) импульсы генерируются не с одинаковыми промежутками времени (не с постоянной частотой), т. е. интервал между импульсами определяется переменной во времени (статистической) функцией с определенным средним значением. Специальные схемы гарантируют (обеспечивают) связанное (когерентное) изображение на экране.

Оциллограф стробоскопический цифровой — стробоскопический оциллограф, у которого получаемые при считывании отсчеты представляются в цифровой форме и могут обрабатываться, изображаться и запоминаться.

Оциллограф считывающий (воспроизводящий) (см. Оциллограф стробоскопический).

Оциллограф цифровой (см. Цифровой оциллограф).

Оциллограф шлейфовый (см. Светолучевой оциллограф).

Оциллограф электроно-лучевой — устаревшее развернутое название оциллографа.

Оциллограф электронный — электронный измерительный прибор, осуществляющий отображение на экране физической величины в виде последовательности мгновенных значений в зависимости от времени или от другой величины.

Электронный оциллограф представляет собой электронный измеритель напряжения. Он отображает мгновенные значения измеряемой величины в виде двухкоординатной диаграммы. Электронный оциллограф позволяет проводить качественные и количественные исследования электрических и неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в напряжение. Преобразование исследуемых физических процессов в оптическое изображение делает их наглядным и пригодным для измерения.

Измерительным механизмом электронного оциллографа является электроно-лучевая трубка. Вертикальный ( $Y$ —) и горизонтальный ( $X$ —) каналы формируют из измеряемых сигналов напряжения, управляющие отклоняющей системой. Система синхронизации обеспечивает неподвижное изображение оциллограммы.

Если физическая величина отображается в виде амплитуды и формы сигнала в зависимости от времени, то говорят о режиме временной развертки. В режиме внешней развертки изображается функциональная зависимость двух величин.

Электронные оциллографы можно классифицировать по различ-

ним признакам: например, *одноканальный, двухканальный и двухлучевой электронный осциллограф*, электронный осциллограф, работающий в реальном масштабе времени, *стробоскопический и запоминающий осциллограф*, моноблочный и со сменными блоками.

Осциллографическая трубка (см. Электронно-лучевая трубка).

**Отклонение** — несовпадение (разность) между наблюдаемым (действительным) значением и заданным (номинальным) значением величины. В обиходном языке — абсолютная погрешность. Краткая форма *среднего квадратического отклонения*.

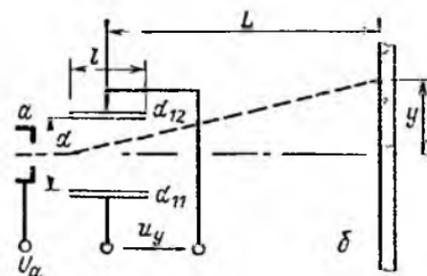
**Отклонение луча** — отклонение электронного луча, обеспечивающее перемещение светящегося пятна на экране. Электронный луч может отклоняться магнитным или/и электростатическим полем.

Магнитное отклонение луча осуществляется двумя катушками, расположенными на двух противоположных (боковых) сторонах горловины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Они запитываются током, форма которого обеспечивает перемещение светящегося пятна.

В *осциллографе* применяется преимущественно электростатическое отклонение луча. Для этого в ЭЛТ предусмотрена пара расположенных напротив друг друга прямоугольных *отклоняющих электродов*. При отсутствии напряжения на этих отклоняющих пластинах электронный луч проходит через середину пространства между ними и создает светящуюся точку в центре экрана. Если к пластинам при-

Рис. 123. Отклонение луча вертикальное электростатическое в электронно-лучевой трубке (схематично):

$a$  — анод;  $d_{11}$ ,  $d_{12}$  — отклоняющие электроды;  $b$  — экран;  $L$  — расстояние между центром отклоняющей системы и экраном;  $l$  — длина отклоняющих пластин;  $d$  — расстояние между отклоняющими пластинами;  $U_a$  — ускоряющее напряжение на аноде;  $u_y$  — напряжение отклонения между отклоняющими пластинами;  $y$  — перемещение светящегося пятна



ложить напряжение (например,  $u_y$ ), то электронный луч отклонится в сторону электрода с положительным потенциалом; светящаяся точка на экране переместится (например, на отрезок  $Y$ ). Величина перемещения светящегося пятна зависит от различных факторов, суммарное влияние которых выражается *чувствительностью отклонения*  $E$  (рис. 123), например:

$$Y = \frac{1}{2} \frac{Ll}{dU_a} u_y = E_y u_y.$$

При отклонении луча переменным напряжением светящееся пятно перемещается на экране с частотой этого напряжения. При этом на экране наблюдаются не отдельные точки, соответствующие мгновенным значениям отклоняющего напряжения, а сплошная полоса.

**Отклоняющие электроды** (отклоняющие пластины) — внутренние электроды *электронно-лучевой трубки*, служащие для электростатического отклонения луча.

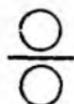
Между электронной пушкой и экраном расположены две пары металлических, прямоугольных, взаимно противоположных и попарно перпендикулярных пластин. На них подается напряжение для отклонения луча. Электронный луч проходит сначала между  $Y$ -пластинами, расположенными ближе к катоду (часто обозначаемых  $d_{11}$  или  $y$  и  $d_{12}$  или  $y'$ ), и отклоняется при этом в вертикальной плоскости. Горизонтальное отклонение осуществляется при помощи расположенных ближе к экрану  $X$ -пластин (обозначаются  $d_{21}$  или  $x$  и  $d_{22}$  или  $x'$ ).

Для достижения оптимального отклонения луча отклоняющим электродом причается подходящая форма, часто в виде маленьких отдельных пар пластин (емкостных сегментов), соединенных между собой непосредственно или через индуктивность.

Отключение защитное — способ защиты от поражения электрическим током.

Отключение защитное предусматривает гальваническое отключение защищаемой электронной цепи от питающей сети. Поэтому в случае пробоя (замыкания) на корпус новый путь протекания тока (например, через грунт к источнику напряжения) не возникает, чем исключается возможность появления опасного напряжения. Отключение защитное оказывается неэффективным при двух пробоях (повреждениях) изоляции в одной токовой цепи.

К одному генератору напряжения может быть подключено только одно электротехническое устройство, которое должно соответствовать действующим стандартам и, как защитный разделительный трансформатор, иметь отличительный символ



сформатор, иметь отличительный символ

Отметка деления (отметка шкалы) — градуировочная отметка аналоговой шкалы.

Длина отметки деления (штриха) должна быть соотнесена с размерами шкалы или корпуса. Их размеры устанавливаются в стандартах. Форма выполнения отметки деления зависит от принятого типа делений. Их совокупность определяет способ расположения делений.

Отметка шкалы — градуировочная отметка на аналоговой шкале.

Отметки шкалы разделяют ее на отрезки. Они наносятся согласно выбранной градуировочной характеристике в зависимости от материала носителя шкалы путем вычерчивания, печатания (выбивания), гравирования, травления и др. Толщина линии штрихов не превышает  $1/10$  длины деления шкалы.

Отношение плеч моста — безразмерная величина, численно равная отношению сопротивлений плеч моста.

Отношение плеч моста получается при равновесии моста из значенний сопротивлений (например,  $R_3$  и  $R_2$ ; см. Мост измерительный, рис. 98) или, при наличии реостата, из отношения длин его плечей, разделенных скользящим контактом (например,  $R_3 \sim l_3$ ,  $R_1 \sim l_1$ ):

$$b = \frac{R_3}{R_1} = \frac{l_3}{l_1} = \frac{l_3}{l - l_3}.$$

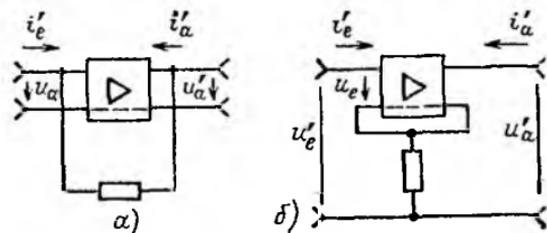
У большинства измерительных мостов отношение плеч может варьироваться в пределах декады (с учетом перекрытия диапазонов  $0.9 \geq b \geq 1,1$ ). Неизвестное значение сопротивления вычисляется путем

умножения значения сопротивления, с которым сравнивается измеряемое сопротивление, из отношении плеч моста.

Отрицательная обратная связь — схемотехнический прием в схемах усилителей, при котором часть выходного напряжения с обратной фазой подается на вход усилителя.

Если обратная связь обеспечивает подачу на вход усилителя части выходного тока, то говорят об обратной связи по току (рис. 124, а).

Рис. 124. Отрицательная обратная связь:  
а — по току; б — по напряжению



Если на вход поступает часть выходного напряжения, то говорят об обратной связи по напряжению (рис. 124, б).

Отрицательной обратной связью могут быть охвачены один или несколько усилительных каскадов (ступеней). Вследствие отрицательной обратной связи коэффициент усиления несколько уменьшается, однако улучшаются температурная стабильность, частотная характеристика и коэффициент гармоник. Наличие отрицательной обратной связи вызывает также изменение входного сопротивления. Отрицательная обратная связь часто применяется в измерительных усилителях. С ее помощью улучшаются стабильность и передаточная характеристика. Путем введения в цепь отрицательной обратной связи специальных элементов с нелинейной или частото-зависимой передаточной характеристикой придают усилителю свойства выполнять специальные функции (например, логарифмирование, интегрирование, дифференцирование, ограничение сигнала).

Оценка — субъективная оценка измеряемой величины.

Оценка не является измерением, так как при ее определении не участвует объективная величина сравнения. Оценка всегда связана с большой неопределенностью.

Оценка количественная (см. Численное значение физической величины).

## П

Падение напряжения на токовой цепи — параметр амперметра.

Измеряемый амперметром ток создаст на малом, но ненулевом внутреннем сопротивлении прибора  $R_{GI}$  падение напряжения  $U_{GI}$ . При этом соотношения в токовой цепи изменяются; возникает систематическая погрешность. Чтобы уменьшить эту погрешность, надо уменьшить падение напряжения. Изготовитель указывает на шкале или в паспорте измерительного прибора падение напряжения для известного значения диапазона измерения  $I_c$ :

$$U_{GI} = R_{GI} I_c.$$

Панель шкалы (см. Носитель шкалы).

Параллакс — погрешность наблюдения, возникающая при считывании под различными углами зрения.

Возможность возникновения погрешности от параллакса появляется, когда указатель и деления шкалы расположены в разных плоскостях. При наклонном направлении взгляда считываемое значение содержит погрешность от параллакса (рис. 125).

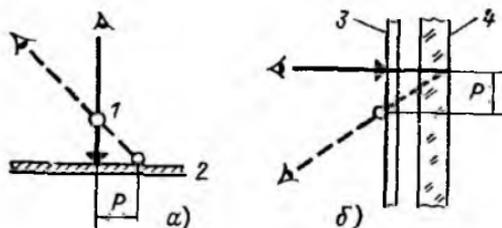


Рис. 125. Параллакс. Примеры:

*a* — показывающие измерительные приборы; *б* — осциллографы; 1 — указатель; 2 — шкала; 3 — измерительная или растровая пластинка; 4 — светящийся экран; сплошной линией показано правильное направление взгляда (правильно считанное значение); прерывистой — неправильное направление взгляда (неправильно считанное значение); *P* — параллакс

Для уменьшения погрешности от параллакса применяют указатели ножевого типа (см. *Механический указатель*), при котором при боковом взгляде видно боковую сторону (поверхность). Плоскость шкалы и плоскость движения кончика указателя стараются максимально приблизить друг к другу. В других вариантах на шкале размещают узкую зеркальную полоску. В этом случае направление взгляда следует выбирать так, чтобы указатель закрывал собой свое отражение. Исподвижные указатели под подвижными шкалами, мерными линейками или растровыми шайбами (диафрагмами) имеют на передней и задней сторонах штрихи или координатную сетку. Совмещение двух соответствующих делений обеспечивает правильный выбор направления взгляда при считывании показаний прибора.

Первичный измерительный преобразователь (см. Чувствительный элемент).

Первичный измерительный преобразователь дифференциальный — чувствительный элемент для электрических измерений неэлектрических величин. В качестве дифференциальных первичных измерительных преобразователей используются преимущественно *дифференциальные конденсаторы и дифференциальные трансформаторы*.

Первичный измерительный преобразователь диэлектрический (см. Первичный измерительный преобразователь емкостный).

Первичный измерительный преобразователь емкостный — первый элемент в измерительной цепи при измерении перемещения.

Емкостный первичный измерительный преобразователь представляет собой конденсатор с пластинчатыми или цилиндрическими электродами, расстояние между которыми может изменяться. Пропорциональность между емкостью конденсатора и межэлектродным зазором облегчает переход от длины (перемещения) к электрической величине. Изменение емкости измеряется с помощью мостовой емкостной схемы (см. *Измерительный мост реактивный*). Преобладающее рас-

пространение получила дифференциальная конструкция емкостного первичного измерительного преобразователя (см. *Конденсатор дифференциальный*).

**Первичный измерительный преобразователь индуктивный** — первый элемент в измерительной цепи при *измерении перемещения*.

Индуктивность катушки пропорциональна ее магнитному сопротивлению. Ее изменение, например, путем изменения воздушного зазора в магнитопроводе определяется измерительным индуктивным мостом. В зависимости от конструкции различают преобразователи с поперечным и с втяжным (продольным) якорем (рис. 126).

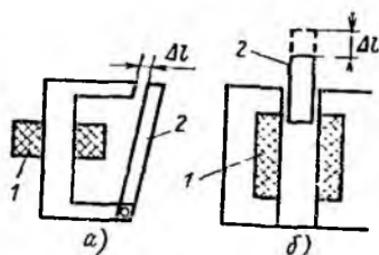


Рис. 126. Первичный измерительный преобразователь индуктивный:

*a* — с поперечным якорем; *б* — с продольным якорем; 1 — катушка; 2 — якорь

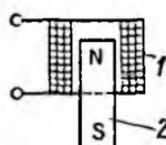


Рис. 127. Первичный измерительный преобразователь электродинамический:

1 — катушка; 2 — магнит

**Первичный измерительный преобразователь омический (резистивный)** — первый элемент в измерительной цепи при *измерении перемещения*.

Преобразование длины (перемещения) в электрическую величину (ток, напряжение, сопротивление) осуществляется на основе пропорциональной зависимости омического сопротивления линейного проводника от его длины. Омический первичный измерительный преобразователь применяется в основном при невысоких требованиях в условиях статических измерений. При высоких требованиях используются омические преобразователи, выполненные в виде *тензометрических преобразователей*.

**Первичный измерительный преобразователь пьезоэлектрический** — первый элемент в измерительной цепи при измерении усилия.

Пьезоэлектрический первичный измерительный преобразователь использует пьезоэлектрический эффект, заключающийся в возникновении электрического напряжения между двумя пластинками из определенных материалов (например, турмалина, кварца) при прикладывании к ним внешнего усилия. Это напряжение пропорционально усилию. Вследствие нестабильности явления во времени применение пьезоэлектрических первичных измерительных преобразователей целесообразно при динамических нагрузках. Пьезоэлектрические первичные измерительные преобразователи могут применяться так же, как измерители ускорений, в соответствии с выражением  $F=ma$ .

**Первичный измерительный преобразователь термоэлектрический** — измерительный преобразователь для электрического измерения

температуры. К термоэлектрическим первичным измерительным преобразователям относятся термоэлементы (термопары) и термосопротивления (термисторы).

**Первичный измерительный преобразователь электродинамический** — первый элемент в измерительной цепи при измерении ускорения или косвенном измерении перемещения.

Принцип действия заключается в перемещении электрической катушки относительно магнита (рис. 127). При внешнем ускорении устройства возникает относительное движение катушки и магнита, вследствие чего в катушке индуцируется напряжение, которое по закону электромагнитной индукции пропорционально скорости изменения магнитного поля в катушке. Таким образом, мгновенное значение индуцированного напряжения есть мера ускорения. Путем математической обработки выходного сигнала (например, интегрирования) определяется значение измеряемой величины (перемещение или скорость).

**Переколебание** — начальная часть прямоугольного импульса, превышающая установившееся значение амплитуды.

Переколебание отражает характер переходного процесса после импульсного воздействия. Эти затухающие колебания возникают вследствие резонансных явлений в системах передачи и наблюдаются вслед за участком нарастания и/или спада импульса. Переколебания определяются отношением превышения амплитуды  $\Delta x$  относительно стационарного (установившегося) значения амплитуды импульса  $x$  (рис. 128) и указывается в процентах:

$$U = \frac{\Delta x}{x} 100.$$

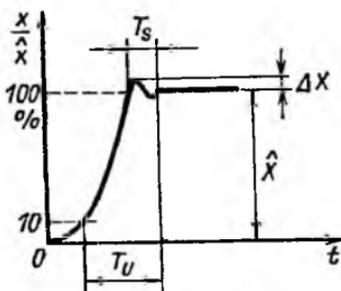


Рис. 128. Переколебание

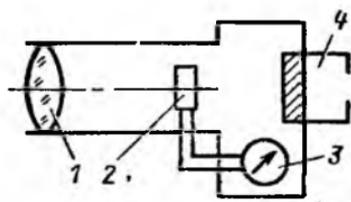


Рис. 129. Пирометр полного излучения:

1 — линза; 2 — преобразователь; 3 — индикатор; 4 — визирующий прибор

Через длительность периода  $T_s$  можно определить частоту переколебания. Время успокоения  $T_u$  есть интервал, проходящий между 10 %-ым уровнем амплитуды и моментом времени, соответствующим достижению установившегося значения.

**Переменный ток** — электрический ток, значение которого изменяется во времени.

**Пик-фактор** (см. Коэффициент амплитуды),

**Пирометр** (см. Пирометр излучения).

**Пирометр излучения** — прибор для измерения температуры.

В пирометрах излучения используются для определения температуры тела спектр и/или интенсивность его излучения. Пирометры излучения особенно пригодны для измерения высокой температуры. Измерения проводятся бесконтактным способом. Различают *пирометры частичного и полного излучений*.

**Пирометр полного излучения** — прибор для измерения температуры тела неконтактным способом.

В пирометрах полного излучения используется полный спектр излучаемой нагретым телом энергии. Поэтому пирометр полного излучения пригоден для измерения температуры только почти черного излучателя (например, газового пространства печи). В приборе имеется оптическая система, которая служит для наводки на объект измерения и его визуального наблюдения (рис. 129). При помощи линзы излучение фокусируется на *термоэлементе* или резисторе, сопротивление которого зависит от температуры. Энергия излучения преобразовывается в электрическую величину, индикатором которой служит милливольтметр (или миллиамперметр), отградуированный в кельвинах.

**Пирометр частичного излучения** — пирометр излучения, предназначенный для бесконтактного измерения температуры.

В пирометрах частичного излучения для измерения температуры используется определенная длина волны излучаемой тепловой энергии. Выбор длины волны осуществляется красным фильтром. Посредством линзы излучение фокусируется (рис. 130) и измеряемый

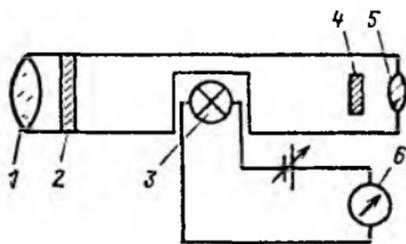


Рис. 130. Пирометр частичного излучения:

1 — линза объектива; 2 — ослабляющий фильтр; 3 — источник света; 4 — красный фильтр; 5 — окуляр; 6 — индикатор

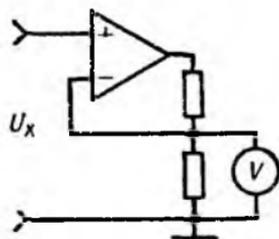


Рис. 131. Повторитель напряжения

объект отображается в плоскости источника света. С помощью окуляра и расположенного перед ним красного фильтра сравнивается яркость измеряемого объекта и источника света. Поглощаемая мощность источника света является мерой температуры.

Пирометры частичного излучения точно определяют температуру только абсолютно черных тел. Для тех, которые нельзя считать абсолютно черными, применяют коэффициенты коррекции.

**Повторитель напряжения** — усилительная схема с глубокой отрицательной обратной связью. Основой схемы является операционный усилитель в неинвертирующем варианте. Коэффициент усиления по напряжению равняется 1. Вследствие высокого входного сопротив-

ления схема повторителя применяется в измерительной технике как электрометрический усилитель, например, при измерении напряжения (рис. 131). Повторитель пригоден и для измерения токов.

**Поверка** — определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление его пригодности к применению.

Поверка осуществляется государственными или ведомственными метрологическими органами. Соответствующими законодательными актами (государственными стандартами) установлено, какие измерительные приборы и стандартные образцы подлежат обязательной поверке. При испытаниях, изложенных в нормативно-технической документации, определяется, удовлетворяет ли средство измерения и его метрологические характеристики предъявляемым требованиям, находится ли погрешность в допускаемых пределах. На средства измерений, прошедшие ведомственную поверку, ставится клеймо. Следует различать термины: *поверка, калибровка, юстировка.*

**Погрешность.**

1. *Погрешность измерений.*

2. Отклонение показателя качества от установленных требований.

**Погрешность абсолютная** (отклонение) — погрешность измерений, выраженная разностью между измеренным значением  $X'$  и истинным или номинальным значением  $X$ :

$$\Delta X = X' - X.$$

Абсолютная погрешность всегда выражается в единицах измеряемой величины. Знак + или — имеет определенный смысл:

знак — ( $-\Delta X$ ) — измеренное значение меньше истинного;

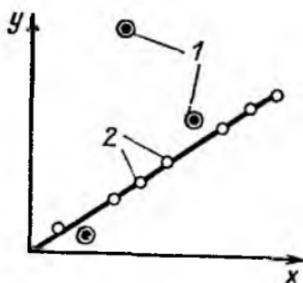
знак + ( $+\Delta X$ ) — измеренное значение больше истинного;

отсутствие знака или знак  $\pm$  означает, что истинное значение находится в пределах  $\pm \Delta X$  относительно измеренного значения. Значение  $\pm \Delta X$  может использоваться для коррекции.

**Погрешность грубая** (ранее — субъективная погрешность) — погрешность измерений, значительно превосходящая по значению ожидаемую при данных условиях измерений.

Основными причинами появления грубой погрешности являются неправильное или небрежное считывание показаний, дефекты средств измерений, незнание или пренебрежение источниками погрешности, случайное, сильное внешнее воздействие (помеха).

Рис. 132. Погрешность грубая (1). Ожидаемые и измеренные значения (2)



Грубые погрешности могут быть различными по значению и знаку (рис. 132). Наличие грубой погрешности определяется при обработке результатов измерений. При этом они исключаются из рассмотрения путем отбрасывания результатов отдельных наблюдений, содержащих грубые погрешности.

**Погрешность динамическая** — погрешность измерений, причиной возникновения которой является неидеальность динамических (временных) характеристик средств измерений.

Динамическая погрешность появляется при возникновении переходных процессов в схеме средства измерений и при соизмеримости

временных параметров измеряемых сигналов и динамических характеристик средств измерений.

Динамическая погрешность может иметь как систематический, так и случайный характер.

**Погрешность дополнительная** — изменение погрешности средства измерений по отношению к *основной погрешности*.

Погрешность дополнительная возникает при отклонении одной из *влияющих величин* в установленном диапазоне от *нормальных условий*. Допустимые границы дополнительной погрешности устанавливаются в стандартах.

**Погрешность измерений** — искажение результата измерений.

Погрешность измерений — это обобщающее понятие, объединяющее все составляющие погрешности полученного путем измерений значения физической величины, обуславливающие отклонение этого значения от истинного или *номинального значения*. В общем случае погрешность равна измеренному значению минус истинное значение. Причинами возникновения погрешности измерения являются способ измерений (погрешность способа) и средство измерений (погрешность средства измерений), кроме того, влияние окружающей среды и квалификации оператора.

Погрешность измерений представляет собой сумму всех составляющих погрешности. По характеру проявления различают грубые (промахи), систематические и случайные *погрешности*. Значение погрешности определяется или оценивается путем вычисления погрешности и указывается в виде отклонения измеренного значения от истинного/действительного значения измеряемой величины. Чтобы выбрать средство и метод измерений, удовлетворяющие требуемой точности измерений, необходимо точное знание характера и значения погрешности и обеспечение соответствующих условий проведения измерений.

**Погрешность интерполяции** — погрешность наблюдения, имеющая место при считывании измеренного значения вследствие неточного или ошибочного определения дробной части *деления шкалы*.

**Погрешность квантования** — систематическая составляющая погрешности, возникающая при *квантовании*.

**Погрешность наблюдения** (субъективная погрешность, личная погрешность) — составляющая погрешности, возникающая в процессе измерения и зависящая от квалификации оператора.

Погрешность наблюдения состоит главным образом из следующих составляющих: *погрешности считывания, погрешности интерполяции, использовании ложной (неправильной) постоянной шкалы, пренебрежении параллаксом и вариацией показаний*. Это *грубые погрешности* (промахи). Они должны выявляться со всей тщательностью и по возможности исключаться из результата измерений.

**Погрешность объективная** (см. Погрешность систематическая).

**Погрешность основная** — составляющая погрешности средства измерений в *нормальных условиях эксплуатации*.

**Погрешность от наклона** — погрешность показаний вследствие механического наклона подвижной части измерительного механизма, имеющего опоры на шпиль.

**Погрешность относительная** — отношение абсолютной погрешности  $\Delta X$  к истинному или номинальному значению  $X$ :

$$F_x = \frac{\Delta X}{X}.$$

Поскольку истинное значение при измерениях остается неизвестным, то вместо  $X$  при расчетах принимают *измеренное значение*  $X'$ :

$$F_{\gamma} \approx \frac{\Delta X}{X'}$$

В большинстве случаев относительная погрешность выражается в процентах. Так как абсолютная погрешность является знакочувствительной, то и знак относительной погрешности имеет аналогичное значение.

Основной разновидностью относительной погрешности, применяемой в электроизмерительной технике, является приведенная погрешность средства измерений, которая выражается отношением максимальной абсолютной погрешности ( $\Delta X_{max}$ ) к конечному значению диапазона измерений  $X_k$ :

$$F_G = \frac{\Delta X_{max}}{X_k}$$

При этом класс точности прибора  $G = 100F_G$ .

Погрешность процентная (см. Погрешность относительная).

Погрешность систематическая (ранее — объективная погрешность или неправильность) — *погрешность измерений*, обусловленная главным образом несовершенством средства измерений, метода измерений и объекта измерений.

Систематическая погрешность для каждого измеренного значения имеет определенное значение и при наличии ряда измерений (наблюдений) имеет постоянный знак (+или-) (рис. 133). На практике

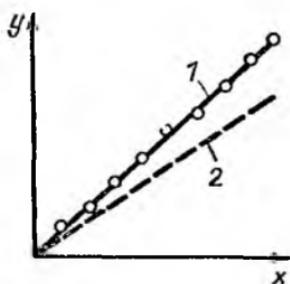


Рис. 133. Погрешность систематическая:

1 — измеренная характеристика; 2 — теоретическая характеристика

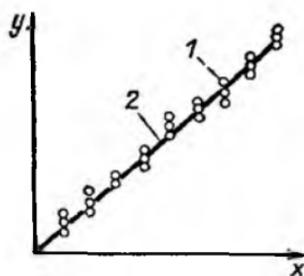


Рис. 134. Погрешность случайная:

1 — измеренные значения; 2 — теоретическая характеристика

систематическую погрешность в принципе можно определить или, если это сложно, оценить и принять меры к ее исключению из результата измерений или уменьшению. Такими мерами является введение поправок (*коррекции*) в *результат измерения*.

Погрешность случайная (неопределенность) — погрешность измерений, причинами возникновения которой являются непредвиденные в процессе измерений изменения параметров средства измерений, измеряемых объектов, окружающей среды.

При повторных измерениях в одинаковых условиях измерений

наблюдается *рассеяние* отдельных измеренных значений. Эти отклонения носят случайный характер как по значению, так и по знаку (рис. 134). Поэтому случайную погрешность нельзя скорректировать (рис. 134). Поэтому случайную погрешность нельзя скорректировать. Оценить случайную погрешность удается путем математической обработки данных повторных измерений на основе теории погрешностей (см. *Статистическая обработка результатов измерений, определение доверительной вероятности*). С увеличением количества повторных измерений достоверность оценки случайной погрешности увеличивается.

**Погрешность средства измерений** — составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством *средства измерений*.

Типичными погрешностями средств измерений являются смещение нулевого уровня, погрешности от трения (см. *Вариация показаний*), погрешность юстировки, погрешность квантования, дрейф, погрешность меры (погрешность калибровки). Погрешность средства измерений состоит из *основной и дополнительной погрешностей*. Их значения указываются в виде *границ погрешности* (предел допускаемого значения).

**Погрешность статическая** — погрешность измерения, имеющая место при измерениях в статическом режиме.

Статическую погрешность средства измерений в отличие от динамической погрешности образуют те составляющие погрешности, которые не зависят от временных (динамических) характеристик средства измерений.

**Погрешность статическая цифровая** (см. Погрешность счета).

**Погрешность субъективная** (см. Погрешность грубая).

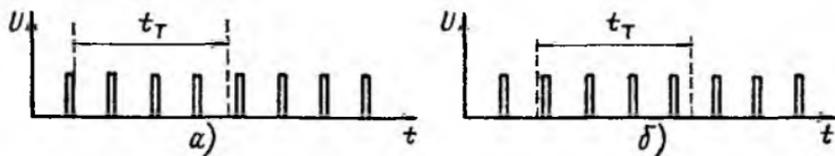


Рис. 135. Погрешность счета

**Погрешность счета** (также погрешность статическая, цифровая) — погрешность *электронных счетчиков*, возникающая вследствие случайных различий фазы открытого состояния стробирующей схемы (рис. 135).

Несмотря на одинаковую частоту и длительность открытого состояния стробирующей схемы  $t_T$ , на рис. 135, а будет подсчитано на один импульс меньше, чем на рис. 135, б.

**Погрешность считывания** — погрешность наблюдения, причиной которой является неточное считывание показания средства измерений.

Она представляет собой случайную погрешность, возникающую при считывании показания средства измерений. Во многих случаях под погрешностью считывания понимают наименьшее значение, которое может быть определено или считано на данной шкале. Погрешность считывания иногда неверно называют точностью считывания или просто точностью (см. *Параллакс*).

**Подвеска ленточная** — односторонняя ленточная растяжка, пред-

ставляющая собой металлическую ленту или шпиль, на которой подвешена подвижная часть высокочувствительного измерительного механизма (например, гальванометра) (рис. 136).

Для правильного функционирования необходимо вертикальное положение измерительного прибора. При транспортировке подвижная часть должна быть арретирована (зафиксирована).

**Подвижный орган** — часть измерительного механизма, от перемещения и положения которой зависят показания.

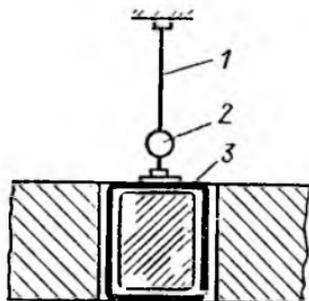


Рис. 136. Подвеска ленточная:

1 — ленточная растяжка; 2 — зеркальце измерительного механизма, обеспечивающее индикацию световым лучом; 3 — подвижный орган (например, подвижная катушка)

В измерительном механизме между неподвижными элементами и подвижным органом имеет место переменное взаимодействие. Воздействующие на подвижный орган силы и, следовательно, его перемещение зависят от значения измеряемой величины. Совокупность измерительного механизма и *устройства индикации* позволяет определить измеренное значение.

**Подпятник** — опора в электроизмерительном приборе.

В зависимости от того, имеет ось подвижного механизма на конце острей или слабозакругленную шейку, различают *опору на шпиль* и *опору на цапфу*.

**Показание** — значение измеряемой величины, индицируемое средством измерений и считываемое оператором.

Показание может быть выражено в единицах измеряемой величины, а также в других единицах или делениях шкалы. *Измеренное значение* соответствует показанию или им определяется.

**Показание аналоговое** — отображение на указателе (индикаторе) средства измерений значения измеряемой величины в виде отрезка длины или угла. У большинства измерительных приборов аналоговое показание состоит из *индикаторной метки* и *аналоговой шкалы* или *растра*. При считывании оператор по установившемуся показанию определяет число, которое и является измеренным значением. Погрешность считывания зависит от точности и длины шкалы, толщины индикаторной метки и квалификации оператора.

**Полная схема Грца** — мостовая схема для измерительного выпрямления, в каждом плече которой включено по одному диоду (рис. 137).

При этом обеспечивается *двухполупериодное выпрямление*.

В комбинированных приборах чаще используется полусхема Грца. Полное сопротивление входное (см. Входное полное сопротивление).

Полное сопротивление нагрузки трансформатора тока или полная проводимость нагрузки *трансформатора напряжения*.

Положение рабочее (см. Влияние пространственного расположения прибора).

Полоса частот — характеристика рабочего диапазона частотного спектра активного или пассивного четырехполюсника или устройства передачи.

Полоса частот определяется отдельно по экспериментально снятой частотной характеристике как разность между верхней и нижней *граничными частотами*:

$$B = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}.$$

Если речь идет о полосе частот колебательного контура, полосового фильтра или селективного усилителя, имеющих частоту резонанса, то указывается нормированная или относительная полоса частот:

$$B_{\text{осн}} = \frac{B}{f_{\text{рез}}}.$$

Полусхема Греца — мостовая схема с активными сопротивлениями для измерительного выпрямления.

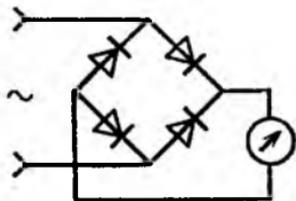


Рис. 137. Полная схема Греца

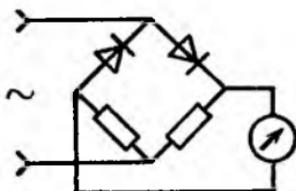


Рис. 138. Полусхема Греца

От полной схемы Греца эта схема отличается наличием двух активных сопротивлений вместо двух диодов (из четырех) (рис. 138). Этим достигается линеаризация выпрямительной характеристики и, следовательно, линейность шкалы вследствие последовательного соединения диода с резистором. Кроме того, резистор служит дополнительным сопротивлением, что позволяет применять диоды с меньшим обратным напряжением. Вследствие этого схема обеспечивает меньшую чувствительность по сравнению с полной схемой. Полусхема Греца широко используется в комбинированных измерительных приборах.

Полярность синхронизации (запуска) (фронт синхронизации) — положение *уровня синхронизации* (запуска) на переднем или заднем фронте измеряемого сигнала.

Говорят о положительной полярности синхронизации (запуска), если уровень синхронизации будет превзойден (превышен) нарастающими значениями. Превышенные уровни синхронизации уменьшающимся значениям и указывает на отрицательную полярность синхронизации (запуска) (см. *Запуск*).

Помеха — величина, вызывающая нежелательное искажающее воздействие на измерение. В отличие от *вливающей величины* воздействие помехи невозможно или очень трудно оценить и им управлять.

Порог срабатывания (порог измерений, разрешающая способность) — наименьшее изменение измеряемой величины, вызывающее

заметное изменение показаний средства измерений или четкое изменение выходной величины измерительного преобразователя.

В качестве порога срабатывания часто называют минимальный уровень *запуска*. Нельзя путать порог срабатывания с чувствительностью.

**Порог чувствительности** (неточный синоним — порог срабатывания, реагирования) — значение, при котором считывающий измерительный прибор начинает срабатывать.

Вследствие трения, особенно у *счетчиков*, порог чувствительности не может быть одинаковым. Поэтому указывают лишь верхнюю границу возможных значений порога чувствительности. У счетчиков электрической энергии, например, торможение холостого хода ротора начинается при условии, что нагрузка превысит значение чувствительности по мощности.

**Последовательность импульсов** — динамическая величина, представляющая собой последовательность одинаковых импульсов.

Как и в случае с *синусоидальными величинами*, параметрами импульсной последовательности являются амплитуда импульсов  $x$ , длительность периода  $T$  и частота (следования импульсов):

$$f_p = \frac{1}{T}.$$

В случае последовательности прямоугольных импульсов отношение длительности периода к длительности импульсов  $\tau$  называют *скважностью*:

$$v = \frac{T}{\tau}.$$

Обратную величину называют коэффициентом заполнения  $g$ . Различают немодулированные и модулированные импульсные последовательности.

**Постоянная гальванометра** — номинальное значение чувствительности гальванометра.

Постоянная гальванометра показывает, какое значение тока вызывает отклонение в 1 мм или на деление шкалы при длине светового указателя в 1 м.

**Постоянная затухания** (см. Уровень передачи).

**Постоянная счетчика** — число оборотов якоря (диска) электрического счетчика, составляющее единицу отсчета.

На лицевом щитке большинства счетчиков имеется надпись «1 кВт·ч =  $C_z$  оборотов», в которой  $C_z$  есть заданное число оборотов на 1 кВт·ч (число оборотов диска, обеспечивающее изменение показания на 1 кВт·ч). При нормировании значения постоянной счетчика используются члены числового ряда или десятичные кратные и дольные числа: 120; 150; 187,5; 240; 300; 375; 480; 600; 750; 960.

**Постоянная шкалы** — коэффициент, содержащий единицу измерения, умножением которого на численное значение, считанное по шкале, получают измеренное значение (см. *Деление шкалы*).

Постоянная шкалы зависит от диапазона измерений и числовых значений шкалы:

$$K = \frac{\text{Диапазон измерения (в единицах измерения)}}{\text{Значение последней числовой отметки}}.$$

У электроизмерительных приборов численное значение постоянной шкалы должно выражаться цифрами 1, 2, 3, 4, 5 или числами, соответствующими выражению  $n \cdot 10^m$ , где  $n=1, 2, 3, 4, 5$ ;  $m=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$  и т. д.

Постоянную шкалы не следует путать с *ценой деления шкалы*.

**Постоянный ток** — электрический ток, значение которого остается постоянным.

**Потери** — нежелательная, бесполезно теряемая мощность.

Технические реальные электродноэлементы в цепях переменного тока всегда имеют потери. Наряду с аккумулярующими свойствами реактивные элементы схем (емкости, индуктивности) преобразуют также активную мощность. Они характеризуются полным сопротивлением, имея реактивную и активную составляющие сопротивления. Их соотношения могут быть показаны с помощью *эквивалентных схем зацепления* и векторных диаграмм, а количественная оценка дается *коэффициентом потерь*. Потери конденсаторов обуславливаются главным образом утечками тока через изоляцию и взаимодействием тока утечки с материалом (потери на поляризацию). Причины потерь в катушках обуславливаются преимущественно потерями в проводах (потери в меди) и свойствами ферромагнитных материалов в магнитном поле (потери в железе).

**Правила подключения измерительного трансформатора** — обязательные к выполнению правила подключения и заземления электрических измерительных трансформаторов.

При невыполнении этих правил устройства могут получить повреждения или прийти в опасное для эксплуатации состояние.

*Правила подключения трансформатора тока:*

вторичная цепь должна быть нагружена и иметь защиту на случай обрыва цепи;

необходимо обеспечить требуемое *полное сопротивление* нагрузки;

перед возможным отключением амперметра вторичная цепь закорачивается;

первичная обмотка должна подключаться клеммами *P1* и *P2* в указанной последовательности;

следует ознакомиться с указаниями изготовителя.

*Правила подключения трансформатора напряжения:*

один из полюсов вторичной обмотки должен быть защищен, нельзя допускать короткое замыкание;

второй, незащищенный полюс вторичной обмотки должен быть заземлен вместе с сердечником трансформатора;

первичная обмотка должна подключаться клеммой *L1* к прямому проводу *u*, а клеммой *L2* — к обратному *x*;

исключения предусмотрены инструкцией;

следует ознакомиться с указаниями изготовителя!

**Предел погрешности** — предел погрешности средства измерений.

Пределом погрешности называют наибольшее из возможных допускаемых отклонений показаний или номинального значения от истинного значения, определяемое в соответствии с нормативно-технической документацией (стандарты, методики) на методы и средства проверки.

**Предел прочности** — значение измеряемой величины, начиная с которого измерительный прибор может быть поврежден.

При значениях измеряемой величины, близких к пределу прочности, может возникнуть ухудшение отдельных параметров измери-

тельного прибора. Значение, соответствующее пределу прочности, является началом области разрушения.

Понятие предел прочности не идентично понятию *граница перегрузки*.

**Предельное затухание** (предельное, критическое сопротивление) (см. Самодемпфирование катушки).

**Преобразование аналого-цифровое** — преобразование непрерывных величин в цифровые. Способ преобразования аналоговой измеряемой величины (см. *Способ измерения аналоговый*) в цифровой сигнал (см. *Способ измерения цифровой*). Функциональное устройство для аналого-цифрового преобразования называют *аналого-цифровым преобразователем*.

**Преобразование в цифровую форму** (см. Аналого-цифровое преобразование).

**Преобразователь** — краткое название измерительного преобразователя.

**Преобразователь аналого-цифровой** (см. Аналого-цифровой преобразователь).

**Преобразователь длины шкалы** — применение датчика приращений для аналого-цифрового преобразования электрических величин.

Световой луч, отражаемый зеркальцем измерительного механизма, считывает (сканирует) участок шкалы, состоящий из последовательности светлых и темных сегментов. Полученные световые импульсы преобразуются в импульсы напряжения, далее усиливаются и подсчитываются. Считанная длина шкалы, соответствующая измеряемому значению, определяет число импульсов. Индикация осуществляется в цифровой форме (рис. 139, а).

**Преобразователь измерительный аналоговый** (преобразователь) — *измерительный преобразователь*, осуществляющий преобразование входного аналогового сигнала в пропорциональный ему выходной сигнал, например *измерительный усилитель, трансформатор тока, трансформатор напряжения*. Во многих случаях выходной сигнал приводится к стандартному виду (см. *Стандартный сигнал*).

**Преобразователь измерительный функциональный** — средство измерения, предназначенное для преобразования измеряемой величины или другой величины, связанной с измеряемой функциональной зависимостью, к виду, пригодному для передачи, обработки и/или запоминания.

Выходная величина измерительного функционального преобразователя может сниматься как автоматически, так и непосредственно оператором (наблюдателем). Примером измерительного функционального преобразователя являются *преобразователи измерительные аналоговый и цифровой, трансформаторы электрические измерительные*.

**Преобразователь измерительный цифровой** — измерительный преобразователь, осуществляющий цифровую обработку сигнала. Данный вид преобразователя отличается наличием цифрового сигнала на входе и/или на выходе (рис. 140).

**Преобразователь полного сопротивления (импеданса)** — усиленный каскад для преобразования (согласования) сопротивления. Преобразователь имеет высокое входное и малое выходное сопротивление, коэффициент усиления по напряжению не более 1. При построении схемы на транзисторах используется схема с общим коллектором.

В измерительной технике преобразователь полного сопротивления применяют в тех случаях, когда измерительная цепь с высоким вход-

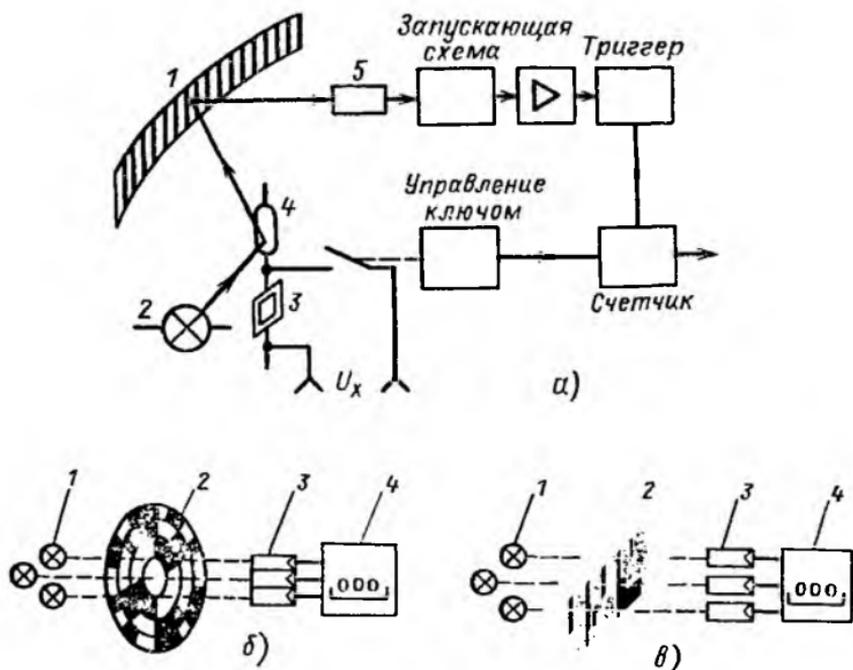


Рис. 139. Преобразователь перемещение—код с оптическим квантованием:

*а* — преобразователь длины шкалы; 1 — отрезок шкалы (например, интервал между штрихами раstra); 2 — источник света; 3 — измерительный механизм; 4 — зеркальце; 5 — светочувствительный элемент (например, фотодиод); *б* — преобразователь угловых перемещений; *в* — преобразователь линейных перемещений; 1 — источник света; 2 — кодовая маска (диск или линейка); 3 — оптические приемники; 4 — устройство расшифровки и индикации



Рис. 140. Преобразователь измерительный цифровой

ным сопротивлением должна быть слабо нагружена. Во многих случаях передача сигнала через низкоомный выход является выгодной.

**Преобразователь кодов** (см. Преобразователь цифра — цифра).

**Преобразователь колебаний пилообразной формы** — аналого-цифровой преобразователь напряжения в эквивалентный интервал времени.

**Преобразователь перемещение — код — преобразователь** для измерения угловых и линейных перемещений (рис. 139, б и в).

Основу преобразователя перемещение — код составляет кодовая маска (в отличие от *датчика перемещений*). При перемещении кодового диска или кодовой линейки относительно источника света и фотоприемника формируется кодовый сигнал, который расшифровывается и индицируется на цифровом индикаторе.

**Преобразователь перемещений** — аналого-цифровой преобразователь по методу кодовых масок.

**Преобразователь постоянного напряжения** (см. Трансвертер).

**Преобразователь разделительный** — разновидность преобразователя постоянного напряжения (см. Трансвертер).

Через магнитную связь катушек  $L_1$  и  $L_3$  осуществляется периодическое открытие и запырание транзистора. Изменение коллекторного тока транзистора индуцирует напряжение в катушке  $L_2$ . Фаза этого напряжения совпадает с фазой запырания транзистора и заряжает конденсатор  $C_L$ , т. е. через  $R_L$  течет ток (рис. 141). Выходное напряжение сильно зависит от нагрузки.

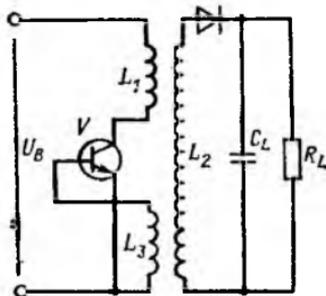


Рис. 141. Преобразователь разделительный

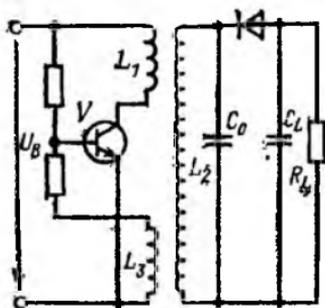


Рис. 142. Преобразователь разделительный по току

**Преобразователь разделительный по току** — разновидность преобразователя постоянного напряжения (см. Трансвертер).

Вследствие магнитной связи катушек  $L_1$  и  $L_3$  осуществляется периодическое открывание и запырание транзистора  $V$ . Изменение его коллекторного тока индуцирует напряжение в обмотке  $L_2$ . Это напряжение относительно фазы магнитного потока направлено так, что  $C_L$  может заряжаться через диод, т. е. через  $R_L$  протекает ток. Конденсатор  $C_0$  принимает энергию магнитного поля в течение закрытой фазы транзистора и уменьшает опасные всплески напряжения (рис. 142).

**Преобразователь суммирующий** — тип преобразователя постоянного напряжения (см. Трансвертер). Через магнитную связь катушек  $L_1$  и  $L_3$  осуществляется периодическое открывание и запырание транзистора. Изменение его коллекторного тока индуцирует напряжение в катушке  $L_2$ . Его направление зависит от направления изменения тока. При каждом направлении работает свой диод и заряжается соответствующий конденсатор. Вследствие последовательного соединения конденсаторов их напряжения суммируются. Выходное напряжение сильно зависит от нагрузки (рис. 143).

Преобразователь тензометрический — омический (резистивный) первичный измерительный преобразователь.

На фольгу или специальную бумагу наносится в форме меандра проводник или полупроводник (рис. 144). С целью проведения измерений тензометрический преобразователь приклеивается к измеряемому объекту. Малые изменения длины приводят к изменению сопротивления тензометрического преобразователя. Оценка сигнала производится в основном с помощью измерительных мостов.

Главным параметром является коэффициент  $k$ , равный отношению относительного изменения сопротивления к относительному удлинению. Металлические тензометрические преобразователи имеют значение коэффициента  $k \approx 2$ , полупроводниковые — около 150. Полупроводниковые тензометрические преобразователи имеют большой температурный коэффициент, ограничивающий их применение.

Преобразователь цифра — цифра — функциональное устройство для преобразования одной цифровой формы сигнала в другую.

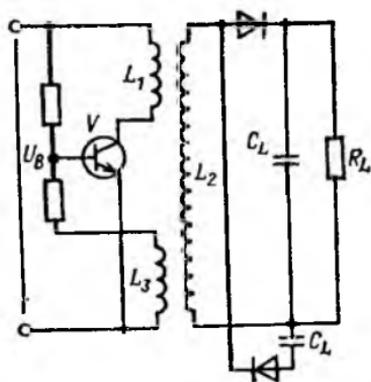


Рис. 143. Преобразователь суммирующий

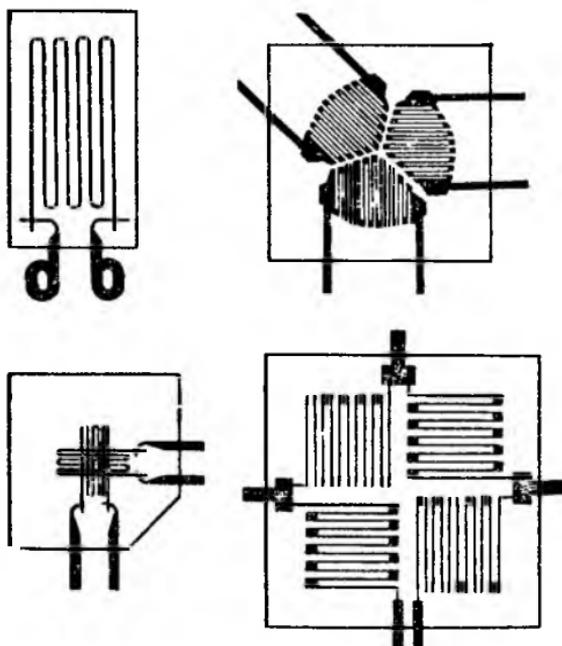


Рис. 144. Преобразователь тензометрический. Примеры конструктивного исполнения

Преобразователь цифра — цифра применяется в тех случаях, когда необходимо перекодировать аналоговый сигнал, уже преобразованный в цифровую форму. Преобразователь цифра — цифра изменяет код, сохраняя однозначное соответствие выходному аналоговому сигналу.

#### Прибор измерительный

1. Коротко — прибор — *измерительный механизм* в корпусе в совокупности с конструктивными элементами и отдельными принадлежностями.

2. Техническое средство для измерения и индикации (выдачи потребителю) значения измеряемой величины.

В общем случае измерительный прибор осуществляет преобразование измеряемой величины или других, определенным образом связанных с измеряемой величиной, в показание или соответствующую показанию информацию. Электронизмерительные приборы показывают значения электрических или преобразованных в электрические неэлектрических величин. С этой целью они могут комплектоваться соответствующими дополнительными элементами (см. *Принадлежность*). Электронизмерительные приборы делятся на приборы непосредствен-

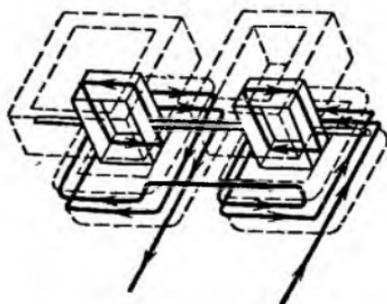


Рис. 145. Прибор измерительный астатический. Схема астатической конструкции катушек электродинамического измерительного механизма без сердечника

ной оценки и *электронные измерительные приборы*. Кроме того, различают показывающие, интегрирующие, контактные и регистрирующие измерительные приборы (см. *Регистрирующий прибор*). В зависимости от места применения и возможности его изменения различают *стационарные* и *переносные* измерительные приборы.

Прибор измерительный астатический — разновидность конструкции измерительного прибора, отличающаяся наличием двух одинаковых, механически связанных измерительных механизмов, имеющих целью исключить влияние внешних однородных магнитных полей.

Активная часть измерительного механизма состоит из двух частей. Они соединены таким образом, что токи в обеих катушках, создающих поле, и в обеих вращающихся (на общей оси) катушках имеют противоположные направления (рис. 145). При этом возникают два вращающихся момента, которые складываются.

Мешающее поле, пронизывающее обе части измерительного механизма в одном направлении (поток одного усиливается, другого уменьшается), создает два дополнительных, одинаковых по значению, но противоположно направленных вращающихся момента. Вследствие механической связи подвижных органов эти дополнитель-

ные моменты взаимно уничтожаются, и индицируется значение, пропорциональное току в катушке. На шкалу астатического прибора наносится соответствующий символ (см. *Обозначения на шкале*).

Прибор измерительный в виде клещей — конструктивная комбинация токоизмерительных клещей с соответствующим измерителем тока (рис. 146).

Прибор измерительный интегрирующий — измерительный прибор, осуществляющий суммирование входной величины по независимой переменной, например счетчик.

Прибор измерительный искаженный — мост измерительный коэффициента гармоник.

Прибор измерительный контактный — измерительный прибор, характеризующийся изменяющимся состоянием выходной цепи при достижении измеряемой величиной определенного значения.

Замыкание контакта может осуществляться непосредственно или косвенно, например при рассогласовании колебательного контура или путем прерывания светового луча фотоэлемента (например, указателем).

Прибор измерительный переносный — измерительный прибор, легко транспортируемый к месту измерения. Связь с измеряемым объектом и дополнительными устройствами и цепями осуществляется оператором-измерителем на месте измерения.

Прибор измерительный печатающий — регистрирующий прибор, представляющий измерительную информацию в виде напечатанных буквенно-цифровых символов.

Измерительная информация регистрируется на бумаге в виде ряда чисел или в виде таблицы выбранного формата. Во многих случаях печатающее устройство подключают к выходу обычных измерительных приборов, имеющих соответствующий выходной разъем.

Прибор измерительный показывающий — измерительный прибор, индицирующий измеренное значение.

Прибор измерительный показывающий имеет устройство индикации, позволяющее определить измеренное значение по положению указателя относительно делений шкалы или непосредственным считыванием показаний цифрового индикатора.

Прибор измерительный прецизионный (прибор измерительный точный).

Прибор измерительный с потенциометрическим съемом сигнала (см. *Прибор измерительный контактный*).

Прибор измерительный с регистрацией в коде — регистрирующий прибор, осуществляющий регистрацию измерительной информации в виде кодированных данных.

В простейшем случае регистрация ведется на перфоленге (около 300 знаков в секунду) или, при особых условиях, — на магнитную

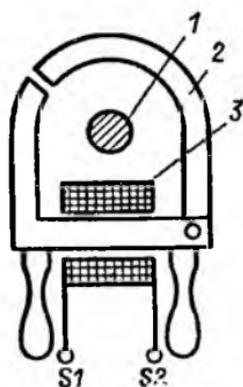


Рис. 146. Прибор измерительный в виде клещей:

1 — первичная цепь; 2 — клеммы; 3 — вторичная цепь

ленту или пластину (диск) (около  $10^5$  знаков в секунду). При этом может регистрироваться и дополнительная информация, как, например, дата, время, измеряемая величина, единица измерения, порядковый номер измерения. Для считывания закодированная информация подвергается дешифровке (возможно, при помощи технических средств) и распечатке.

**Прибор измерительный стационарный** — измерительный прибор, предназначенный для эксплуатации на месте монтажа.

Конструкция прибора измерительного стационарного предусматривает его жесткое закрепление на рабочем месте. Связь с измеряемыми цепями и в необходимых случаях с другими электроцепями осуществляется стационарно проложенными кабелями.

**Прибор измерительный электронный** — измерительный прибор, в котором процесс измерения осуществляется посредством электронных схем.

Определение и индикация измеряемого значения у приборов измерительных электронных осуществляется посредством схем, построенных на электронных и радиоэлементах, работа которых основана на электронной проводимости в полупроводниках, в вакууме или в газовой среде (например, диоды, транзисторы, лампы, интегральные микросхемы). Мощность, потребляемая электронными схемами, отбирается от источников питания (электрическая сеть или батареи), поэтому (в отличие от электрических приборов с непосредственной оценкой) энергия измеряемой цепи почти не расходуется (не потребляется).

**Прибор комбинированный (тестер) (универсальный измерительный прибор, мультиметр)** — измерительный прибор с несколькими измерительными поддиапазонами для различных электрических величин, основу которого составляет измерительный механизм магнитоэлектрической системы с выпрямителем, добавочными, шунтирующими сопротивлениями, сопротивлениями сравнения и соответствующими переключателями, а также усилителями, схемами защиты, цепями питания и отдельными принадлежностями (рис. 147).

Различные измерительные поддиапазоны по току и напряжению образуются путем комбинации *многодиаметровых измерителей тока* и напряжения. Суммарный диапазон измерения задается как параметр прибора. Возможность измерения как постоянных, так и переменных величин обеспечивается подключением выпрямительных устройств к магнитоэлектрическому измерительному механизму. Правильная индикация переменных величин обеспечивается только при их синусоидальной форме.

При измерении сопротивления и емкости последовательно с измерительным механизмом и измеряемым объектом подключается встроенный или внешний источник постоянного или переменного напряжения; измеренное значение, пропорциональное току, считывают по шкале, отградуированной в единицах сопротивления или емкости (см. Измерительный механизм, отградуированный в единицах сопротивления. Вольтметр, отградуированный в единицах емкости). При измерении усиления и ослабления определение уровня напряжения осуществляется относительно общепринятого уровня 0,775 В (это значение соответствует мощности в 1 мВт на сопротивлении в 1 Ом).

Для комбинированных приборов особую опасность представляет перенапряжение вследствие неправильного обслуживания или подключения, поэтому в этих приборах предусматриваются быстро-

действующие пороговые отключатели или/и электронные схемы защиты.

В электронных комбинированных приборах измеряемая величина вначале подвергается обработке согласованным *усилителем*, а затем подается на устройство индикации. В случае необходимости с помощью *измерительной головки* область измерений комбинированного прибора может быть расширена. В последнее время аналоговую шкалу комбинированного прибора дополняют или заменяют цифровым индикатором. Комбинированный прибор с чисто цифровым индикатором называют также *цифровым мультиметром*.

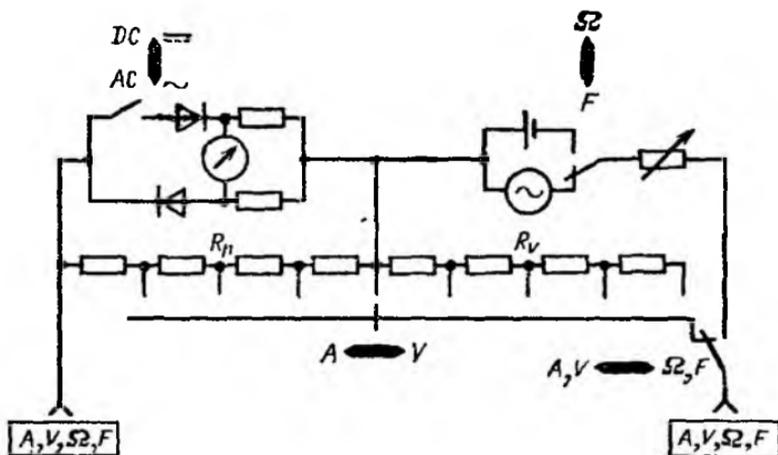


Рис. 147. Прибор комбинированный

**Прибор показывающий** — сокращенное наименование показывающего измерительного прибора.

**Прибор регистрирующий** — регистрирующий измерительный прибор для последующего или продолжительного изучения и обработки измерительной информации.

Регистрация может осуществляться путем записи или печатания диаграммы (см. *Самопишущий прибор*) или путем печатания измеренных значений в виде чисел (см. *Прибор измерительный печатающий*). В измерительных приборах с регистрацией закодированной информации применяются перфоленты, магнитные ленты и др.

**Прибор самопишущий** — регистрирующий прибор, осуществляющий запись формы измеряемых величин или их функциональную зависимость в виде диаграммы на материальном носителе.

Приборы самопишущие подразделяют в зависимости от вида регистрации на *приборы самопишущие с непрерывной и с точечной регистрацией*, по типу измерительного устройства — на *приборы самопишущие с измерительным механизмом и компенсационные*. Тип применяемого самопишущего прибора выбирается в зависимости от измеряемой величины и ее изменения (частоты) (рис. 148, А). Измеряемые величины регистрируются посредством пишущего органа (рис

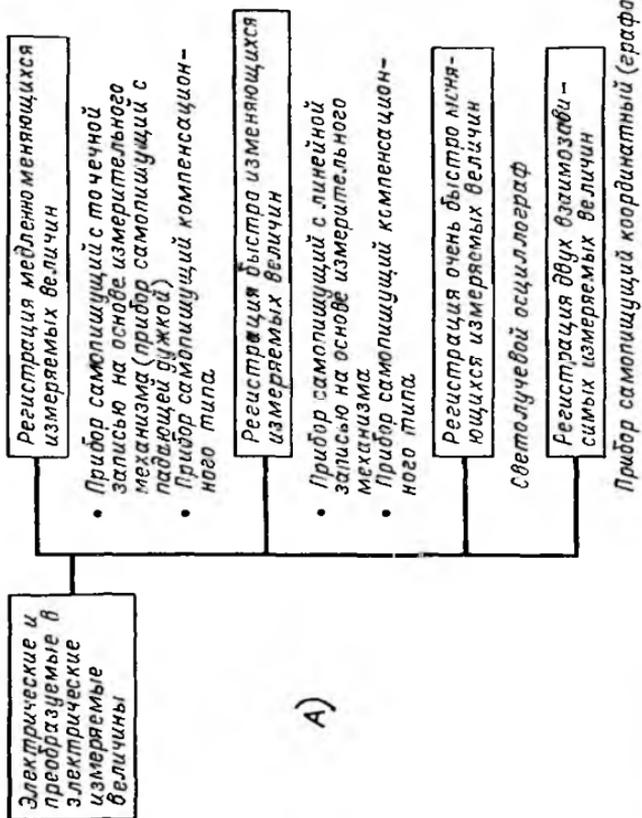


Рис. 148. Прибор самопишущий:

А — измеряемые величины и их регистрация; Б — формы поверхности регистрации у: а — прибор с записью на бумажную ленту; б — прибор с барабанного типа; в — прибор с круговой диаграммой; г — графопостроитель

148, Б) на диаграммном носителе. По типу поверхности записи и привода различают ленточный, барабанный с дисковой диаграммой и координатный самопишущие приборы.

Прибор самопишущий автоматический (см. Прибор самопишущий компенсационного типа).

Прибор самопишущий барабанного типа — прибор самопишущий, осуществляющий запись на диаграммном носителе, размещенном на вращающемся барабане. В измерительной технике приборы самопишущие барабанного типа почти не применяются.

Прибор самопишущий компенсационного типа — самопишущий прибор, пишущий орган которого приводится в движение при помощи исполнительного механизма, управляемого сигналом измеряемой величины.

Прибор самопишущий компенсационного типа содержит автокомпенсатор. Уравновешивание схемы прибора осуществляется путем перемещения ползунка потенциометра при помощи электродвигателя. Одновременно приводится в движение пишущий орган. Определение измеряемого значения осуществляется по методу компенсации, который обеспечивает высокую чувствительность (более 3 мВ) и точность (0,1) по отношению к прибору самопишущему на основе измерительного механизма даже при большой ширине диаграммной ленты (около 250 мм), а также малое потребление энергии. Прибор самопишущий компенсационного типа может регистрировать сигналы не только в непрерывном виде (см. Прибор самопишущий с непрерывной записью), но и дискретно, в виде отдельных точек (см. Прибор самопишущий с точечной записью).

Прибор самопишущий координатный (графопостроитель) — прибор самопишущий, предназначенный для регистрации функциональной зависимости двух переменных.

В отличие от приборов, осуществляющих точечную (см. Прибор самопишущий с точечной записью) или непрерывную регистрацию (см. Прибор самопишущий с непрерывной записью), в координатных приборах перемещение как по абсциссе, так и по ординате соответствует (управляется) двум измеряемым величинам. В большинстве случаев подвижным делают пишущий узел, перемещение которого пропорционально обоим входным сигналам  $u_y$  и  $u_x$ , преобразование которых в перемещение пишущего узла осуществляется двумя автоматическими компенсационными системами (рис. 149).

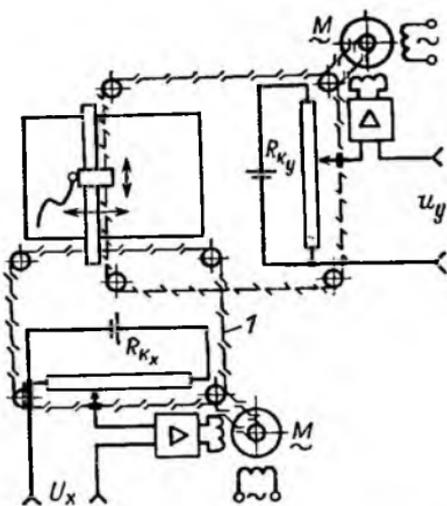


Рис. 149. Прибор самопишущий координатный:

1 — ремень (шнур, тросик) привода

Приборы самопишущие координатные служат для изображения характеристик со скоростью записи не более 0,2 м/с.

**Прибор самопишущий ленточный** — прибор самопишущий с регистрацией на бумажную ленту.

**Прибор самопишущий на основе измерительного механизма** — самопишущий прибор, пишущий орган которого непосредственно связан с измерительным механизмом.

Прибор самопишущий на основе измерительного механизма имеет указатель специальной конструкции, обеспечивающий установку пишущего органа, перемещение которого определяется функционированием измерительного механизма. В зависимости от измерительной задачи применяются измерительные механизмы магнитоэлектрический (с выпрямителем или без него), электродинамический, со скрещенными катушками или биметаллический. Приборы самопишущие на основе измерительного механизма могут выполнять непрерывную запись (см. *Прибор самопишущий на основе измерительного механизма с линейной записью*) или точечную (см. *Прибор самопишущий с падающей дужкой*).

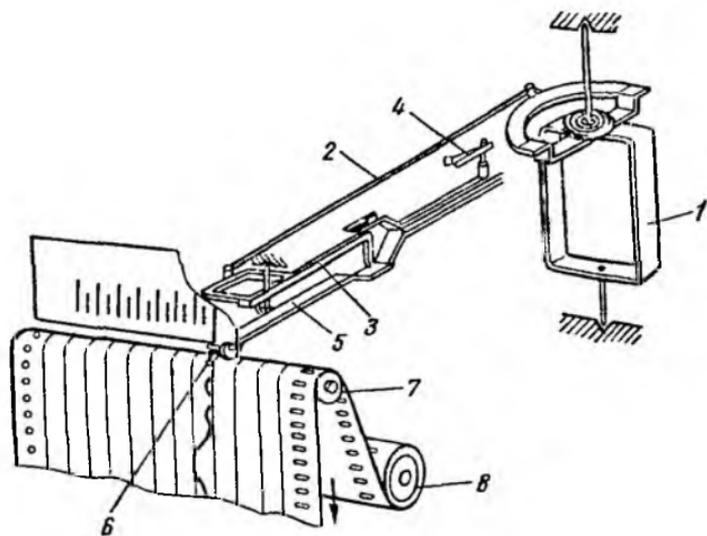


Рис. 150. Прибор самопишущий на основе магнитоэлектрического измерительного механизма с линейной записью:

1 — подвижная катушка (рамка) измерительного механизма; 2 — толкающая штанга; 3 — тяга привода; 4 — направляющая; 5 — тяга пишущего узла; 6 — пружина пишущего узла; 7 — ведущий штифтовый вал; 8 — вал с запасом бумаги

**Прибор самопишущий на основе измерительного механизма с линейной записью** — самопишущий прибор с непрерывной записью на основе показывающего измерительного механизма.

Указатель самопишущего прибора жестко связан с пишущим органом, имеющим постоянный контакт с диаграммным носителем. Вследствие перемещения диаграммной ленты пишущий орган оставя-

ст на ней изображение измеряемого сигнала (рис. 150). Измерительный механизм должен обладать большим вращающим моментом, достаточным для преодоления сил трения между пишущим органом и диаграммным носителем, а также обеспечивающим чувствительность (без усилителя не менее 50 мВ) и класс точности (0,5—2).

Многоканальные самопишущие приборы, представляющие собой конструктивное объединение нескольких измерительных механизмов, позволяют на одном диаграммном носителе регистрировать несколько измеряемых величин.

**Прибор самопишущий на основе измерительного механизма с точечной записью** (см. *Прибор самопишущий с падающей дужкой*).

**Прибор самопишущий с дисковой диаграммой** — прибор самопишущий с диаграммным носителем в форме диска.

Диаграммный диск может быть расположен в горизонтальной или вертикальной плоскости. Он приводится в движение синхронным электродвигателем и совершает оборот за 1,7 или 30 суток в зависимости от области использования. На кончике специального кронштейна закрепляется пишущий орган, фиксирующий на диаграммной бумаге измеряемые значения в полярных координатах.

**Прибор самопишущий с непрерывной записью** — прибор самопишущий, осуществляющий регистрацию измеряемой величины непрерывной линией при помощи постоянного контакта между пишущим органом и диаграммным носителем.

Приборам самопишущим с непрерывной записью являются: *прибор самопишущий на основе измерительного механизма, прибор самопишущий компенсационного типа, графопостроитель. Светолучевые осциллографы* также могут рассматриваться как приборы самопишущие с непрерывной записью.

**Прибор самопишущий с падающей дужкой** — самопишущий прибор на основе измерительного механизма с точечной записью.

Точечная запись измеренного значения осуществляется посредством кратковременного прижатия упругого указателя чувствительного измерительного механизма (аналогичного тому, что используется в показывающих приборах) специальной дужкой к перемещаемому под кончиком указателя диаграммному носителю. Между указателем и бумагой расположена красящая лента, обеспечивающая нанесение цветной точки в месте прижатия указателя к бумаге. Точка на диаграммной бумаге соответствует мгновенному значению измеряемой величины (дискретность отсчетов не менее 2 с). Отдельные точки на диаграммной бумаге выстраиваются в кривую, отражающую характер изменения во времени измеряемой величины (рис. 151). При медленно меняющихся измеряемых величинах представляется возможным на один носитель наносить несколько диаграмм. В конструкции измерительного механизма предусмотрен переключатель положения пулевой линии, имеющий 6 или 12 положений и позволяющий на одной ленте записывать соответствующее количество диаграмм. Одновременно осуществляется смена красящей ленты, благодаря чему диаграммы изображаются различными цветами.

**Прибор самопишущий с регистрацией на бумажную ленту** — прибор самопишущий, осуществляющий запись на движущейся относительно пишущего органа диаграммной ленте.

В качестве диаграммного носителя в приборах самопишущих с регистрацией на бумажную ленту применяют бумагу с криволинейными или прямоугольными координатами. Транспортирование ленты осуществляется вращающимся валом, имеющим штырьки с одной или

с двух сторон. На эти штырьки бумажная лента надевается перфорационными отверстиями и сматывается с ведомого вала. Для приведения штифтового (ведущего) вала во вращение могут использоваться синхронные электродвигатели, двигатели постоянного тока со стабилизированным вращением (с батарейным питанием), шаговые или часовые механизмы с ручным или электрическим под заводом (см. *Прибор самопишущий на основе измерительного механизма с линейной записью*).

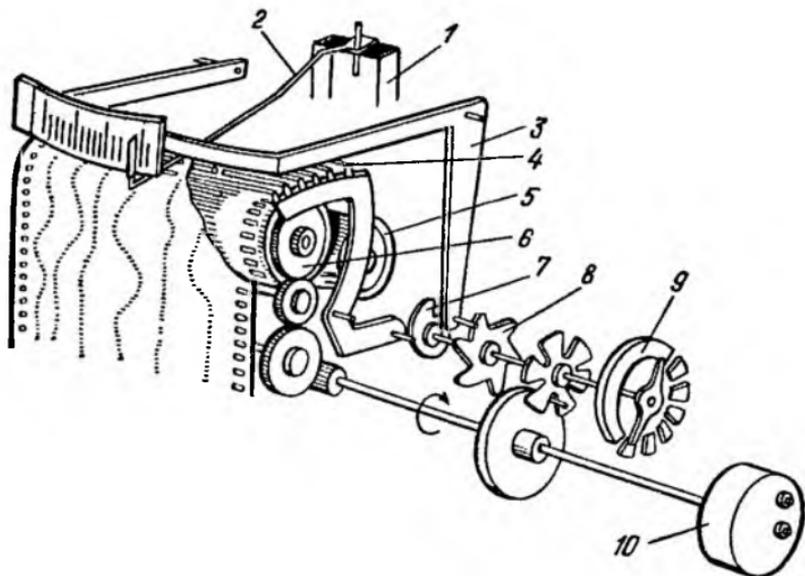


Рис. 151. Прибор самопишущий с падающей дужкой на шесть измерительных положений:

1 — подвижная катушка; 2 — указатель; 3 — падающая дужка; 4 — красящие ленты; 5 — вал с запасом бумаги; 6 — ведущий вал со штифтами; 7 — переключатель красящих лент; 8 — шагоударный механизм; 9 — переключатель положений измерения; 10 — двигатель привода

Скорость перемещения (5—9600 мм/ч), ширина ленты или ширины записи и другие параметры установлены в стандартах. Исписанная бумага наматывается на вал, движимый через фрикционную муфту.

Прибор самопишущий с точечной записью — самопишущий прибор, осуществляющий прерывистую (дискретную) запись регистрируемого сигнала путем кратковременного контакта пишущего органа с диаграммным носителем в определенные (установленные) моменты времени.

Прибор самопишущий с точечной записью может быть выполнен на основе измерительного механизма (см. *Прибор самопишущий на основе измерительного механизма*) или на основе компенсации (см. *Прибор самопишущий компенсационного типа*; *Прибор самопишущий с падающей дужкой*).

Прибор электроизмерительный — измерительный прибор, осуще-

ствляющий измерение без использования электронных схем (за исключением выпрямителя).

С целью более четкого разграничения электронных и электроизмерительных приборов последние называют *приборами электроизмерительными непосредственной оценки*.

**Прибор электроизмерительный непосредственной оценки** — измерительный прибор, имеющий механическую связь устройства индикации с *подвижным органом* измерительного механизма.

Электрическая входная величина посредством электромагнитного взаимодействия в измерительном механизме вызывает отклонение указателя индикатора. Необходимая для этого энергия (в отличие от электронных приборов) отбирается из измеряемой цепи.

**Принадлежность** — отдельные устройства, которые могут быть использованы при измерениях вместе с *измерительным прибором*.

Принадлежность является частью измерительной цепи; она может иметь с прибором постоянную или временную связь. Различают взаимозаменяемые принадлежности, принадлежности с частичной заменяемостью и невзаимозаменяемые принадлежности. О необходимых данному измерительному прибору принадлежностях указывается *обозначением на шкале*.

**Принадлежность взаимозаменяемая** — принадлежность, которая может быть использована с любым измерительным прибором, имеющим такие же параметры.

Единственным требованием является следующее: *класс точности* взаимозаменяемой принадлежности должен быть выше класса точности работающего с ней измерительного прибора.

**Принадлежность невзаимозаменяемая** — принадлежность, соответствующая характеристикам лишь данного измерительного прибора.

**Принадлежность частичной заменяемости** — взаимозаменяемая принадлежность с собственным *классом точности*, которая может быть использована только с приборами, имеющими одинаковые характеристики. Принадлежность частичной заменяемости может использоваться, например, только с различными измерительными приборами данного типа.

**Принцип измерения** — совокупность физических явлений и закономерностей, положенных в основу измерения.

Для измерения физической величины может быть использован любой определенный, однозначно трактуемый и воспроизводимый эффект, являющийся следствием этой величины. В электротехнике невидимые электрические величины могут быть преобразованы в пригодные для восприятия человеком показания только через их воздействия на измерительные средства, посредством чего и получают измеренное значение. Принцип действия магнитоэлектрического измерительного механизма заключается в силовом взаимодействии измеряемого тока в проводнике с магнитным полем; в основу функционирования теплового измерительного механизма положены эффекты теплового воздействия тока и линейной деформации металлов при тепловом воздействии.

Описание принципа измерения не содержит сведений о технико-конструктивных решениях конкретного измерительного прибора. На основе выбранного *метода измерения* с учетом конкретного принципа измерения определяется *способ измерения*.

**Приращение** — малое изменение измеряемой величины.

В цифровой измерительной технике измеряемое значение подвер-

гастся *квантованию*, в процессе которого оно разделяется на множество равных по величине приращений (квантов), которые подпергаются дальнейшей обработке.

**Приставка** (к наименованию единиц измерений) — установленные на международном уровне частицы в виде приставок к названиям единиц измерения, обозначающие кратные и дольные *единицы измерений* в виде последовательности целых степеней числа 10 (табл. 11).

Т а б л и ц а 11. Приставки для единиц измерений

Приставка	Обозначение		Множитель, на который умножается единица
	международное	русское	
Экса	Е	Э	$10^{18}$
Пета	P	П	$10^{15}$
Тера	T	Т	$10^{12}$
Гига	G	Г	$10^9$
Мега	M	М	$10^6$
Кило	k	к	$10^3$
Гекто*	h	г	$10^2$
Дека*	da	да	$10^1$
Деци*	d	д	$10^{-1}$
Сантн*	c	с	$10^{-2}$
Милли	m	м	$10^{-3}$
Микро	$\mu$	мк	$10^{-6}$
Нано	n	н	$10^{-9}$
Пико	p	п	$10^{-12}$
Фемто	f	Ф	$10^{-15}$
Атто	a	а	$10^{-18}$

\* Приставки, применяемые только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение.

Приставки применяются с большинством единиц измерения, прежде всего с единицами системы СИ. По возможности следует применять такие приставки, чтобы численное значение величины находилось между 0,1 и 1000. Допускается совместное написание либо полных наименований приставки и единицы, либо их установленных сокращений (например, милливольт или мВ, микроампер или мкА, но не «миллВ» или «мкАмпер»). Между обозначением приставки и единицы измерения интервал не допускается.

Обозначение приставки не допускается использовать как самостоятельную единицу измерения (верно: 1 микрометр = 1 мкм; неправильно: 1 мк = 1 микрон). Приставки, соответствующие целой степени тысячи ( $10^3$ ), являются предпочтительными. Одновременное использование нескольких приставок является недопустимым (Гигаватт или ГВт, но не «киломегаватт» или «кМВатт»). Если обозначение единицы измерения имеет вид дроби, то приставка применяется преиму-

щественно в числителе; однако наличие приставки в знаменателе является более наглядным (например, км/с, А/мм<sup>2</sup>, но не кВ/км).

Пробник — испытательное устройство для обнаружения низкочастотных гальванических связей.

Источник напряжения последовательно соединен с оптическим (лампа накаливания) или акустическим (зуммер) индикатором (рис. 152). Индикатор сигнализирует, когда сопротивление между X1 и X2 достаточно мало.

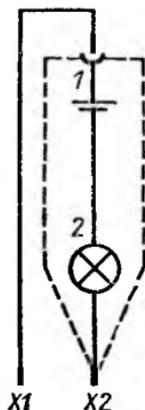


Рис. 152. Пробник:

1 — источник напряжения; 2 — индикатор

**Провод соединительный** — электрически проводящая связь между местом измерения и измерительным прибором или между измерительным прибором и принадлежностью.

Провод соединительный должен иметь достаточный диаметр, соответствующий токовой нагрузке. В общем случае проводники считаются взаимозаменяемыми *принадлежностями*, не имеющими сопротивления и не вносящими затуханий (не влияющими на измерения). В других случаях при определении результатов измерений необходимо учитывать фактические параметры проводников. Невзаимозаменяемые проводники, т. е. предназначенные для данных измерений, должны отвечать специальным требованиям к электрическим параметрам (например, передаточные свойства, сопротивления) и должны применяться только с соответствующим измерительным прибором.

При наличии контакта различных металлов внутри измерительной цепи и одновременно их различной температуре возникает термоЭДС, которая может исказить результат измерений. Между местом измерения и соединительным проводом, а также между соединительным проводом и измерительным прибором возникают переходные сопротивления. При проведении прецизионных измерений необходимо соединительные контакты запаивать или соединять на винтах, для рабочих измерений достаточно штекерных соединений, обеспечивающих хороший контакт.

Между прямым и обратным проводами или по отношению к другим проводящим системам во многих случаях возникают индуктивные или емкостные связи (рис. 153). Путем скручивания обоих проводов уменьшают индуктивность, однако при этом растет емкость. Применение коаксиальных кабелей позволяет уменьшить как индуктивность, так и емкость до минимально возможных значений.

**Протокол измерений** — документ, содержащий информацию об измерительном процессе.

Протокол измерений должен оформляться настолько подробно, чтобы по прошествии длительного времени можно было получить полную информацию об измерениях и о связанной с ними проблеме. Протокол измерений должен содержать следующие данные:

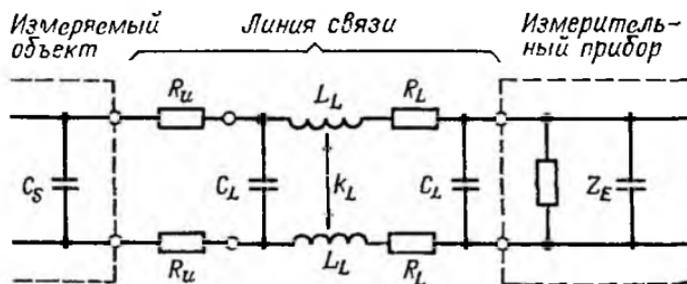


Рис. 153. Провод соединительный (линия связи). Эквивалентная схема замещения на переменном токе:

$R_U$ ,  $C_L$ ,  $L_L$  — сопротивление, емкость и индуктивность измерительного или экранирующего провода соответственно;  $k_L$  — коэффициент связи между измерительным и экранирующим проводами;  $C_S$  — паразитная емкость выхода измеряемого объекта;  $Z_E$  — полное входное сопротивление измерительного прибора

фамилии измеряющего (оператора), помощников и ответственного;

место и время проведения измерений, при необходимости также параметры окружающей среды: температура, атмосферное давление, относительная влажность воздуха;

цель измерений;

схема электрических соединений;

замечания и указания к измерениям, включая необходимые требования и предварительные расчеты;

сведения о применяемых средствах измерений и измеряемых объектах (например, заводской или инвентарный номер) с тем, чтобы в любой момент обеспечить возможность точного воспроизведения (повторения) измерений;

измеренные значения и результаты измерений, их наглядное представление в табличной или графической формах;

обрабатываемые расчеты, результаты которых по возможности сравниваются с теоретически ожидаемыми значениями;

выводы по результатам измерений, критическая оценка результатов измерений, анализ источников возникновения погрешностей;

указание недостатков и перспективные изменения измерительного процесса.

**Прочность электрическая** (см. Напряжение испытательное).

**Пульсация** (см. Величина смешанная).

**Работа** (см. Энергия).

**Рабочий цикл** — совокупность последовательных операций в измерительном приборе, по выполнении которых прибор возвращается в первоначальное состояние.

**Разброс, рассеяние** — случайная погрешность при повторяющихся измерениях в неизменных условиях.

Если измерение какой-либо величины измеряемого объекта повторить в тех же *условиях измерений*, то полученные измеренные значения будут отличаться друг от друга; они «рассеяны». Рассеяние имеет много причин, как, например, прерывистость (дискретность) и нестабильность измеряемой величины и средства измерений. Оно не может быть уменьшено или скорректировано. Путем *статистической обработки* отдельные погрешности могут быть обнаружены, оценены, а их тенденции определены.

**Размах колебаний** (колебание, величина колебаний) — разность между наибольшим и наименьшим мгновенными значениями.

У *смешанной величины* размах колебаний в общем случае определяется разностью положительного и отрицательного амплитудных значений:

$$\Delta X = X_{mm} - X_{min}.$$

Это значение в большинстве случаев называют «от пика до пика». Его обозначают в математических выражениях индексом «pp» (англ.) или ss (нем.) или символом  $\hat{\Delta}$  (но без единиц измерения). Так, например, обозначение размаха колебаний несинусоидального напряжения имеет вид  $u_{pp}$ ,  $u_{ss}$  или  $u$ .

**Размер номинальный** (см. Значение номинальное).

**Разрешающая способность** (см. Порог срабатывания).

**Разрядник измерительный искровой** — прибор для измерения высокого напряжения.

Прибор имеет штырьвые, шарообразные или полукруглые электроды, расстояние между которыми может изменяться. Наибольшее расстояние, при котором еще возникает искровой разряд, является мерой амплитудного значения (высокого) напряжения.

**Распределение погрешностей** — часть процедуры расчета погрешности, состоящая в обработке совокупности отдельных результатов наблюдений, содержащих *погрешности измерений*, и оценке на этой основе погрешности результата измерений.

Если *результат измерения*  $Y$  вычисляется математически по результатам отдельных наблюдений  $X_1, \dots, X_n$ , содержащих *абсолютные*  $\Delta X_1, \dots, \Delta X_n$  и *относительные*  $F_{X_1}, \dots, F_{X_n}$  погрешности, то абсолютная  $\Delta Y$  и относительная  $F_Y$  погрешности результата измерений определяются на основе следующих простых соотношений:

1) При алгебраическом суммировании двух и более результатов наблюдений ( $Y = X_1 + X_2 + \dots$ ) абсолютная погрешность результата измерений равна алгебраической (т. е. с учетом знаков) сумме абсолютных погрешностей результатов наблюдений:

$$\Delta Y = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots$$

2) При перемножении двух результатов наблюдений ( $Y = X_1 \cdot X_2$ ) относительная погрешность результата измерений равна сумме от-

носительных погрешностей результатов наблюдений:

$$F_Y = F_{X_1} + F_{X_2}.$$

3) При делении двух результатов наблюдений  $Y = (X_1/X_2)$  относительная погрешность результата измерений равна разности относительных погрешностей результатов наблюдений:

$$F_Y = F_{X_1} - F_{X_2}.$$

Значения всех погрешностей подставляются в формулы со своими алгебраическими знаками. Если отклонение возможно как вверх, так и вниз ( $\pm$ ), то допускается в качестве грубой (приблизительной) оценки погрешности результата измерения принять наибольшую из полученных погрешностей.

**Расстояние между штрихами** — длина деления шкалы.

Расстояние между штрихами есть расстояние между двумя соседними градуировочными отметками *аналоговой шкалы*, выраженное в единицах длины, реже в *единицах угла*. Оно измеряется и задается аналогично *длине шкалы*. Слишком маленьких (менее 0,8 мм) расстояний между штрихами следует избегать, так как при частом считывании быстро развивается утомление.

**Растр** (измерительный растр) — равномерные деления поверхности (плоскости) экрана осциллографа.

С помощью растров осуществляется количественная оценка параметров осциллограммы по горизонтальной и вертикальной осям. Расстояние между линиями раstra обозначается как деление (сокращенно «дел.») и может принимать любое значение. Размеры раstra зависят от полезной (рабочей) площади экрана, который по горизонтали имеет всегда 10 дел. Оси, проведенные через центр экрана, могут иметь и более мелкие деления.

Внешний растр представляет собой обыкновенную прозрачную пластинку с подсветкой или без нее, которая помещается перед экраном. При считывании с помощью такого раstra возникает погрешность от *параллакса*. При внутреннем растре эта погрешность не возникает, так как линии раstra нанесены непосредственно на плоскость экрана.

**Растяжение** — способ отклонения луча осциллографа в горизонтальном направлении в режиме временной развертки.

Для расширения границ горизонтальной развертки применяется растягивающий временной масштаб. При растяжении повышается скорость отклонения (в основном за счет большего усиления пилообразного развертывающего напряжения). Этот способ позволяет наблюдать часть осциллограммы на всей ширине экрана осциллографа. Коэффициент растяжения должен учитываться при осциллографическом измерении временных интервалов.

**Расчет погрешности** — процесс получения количественной оценки погрешности измерений.

В основе обработки результатов измерений лежит усреднение и расчет вероятностей. При однократных измерениях определяют *абсолютную и относительную погрешности*. Результаты многократных измерений обрабатываются с использованием *статистической обработки*. Составной частью расчета погрешности является определение закона *распределения погрешностей*.

**Расширение диапазона измерений** — приспособливание измерительного механизма к данной измерительной задаче.

Измерительный механизм, имеющий собственное сопротивление, обусловленное в данном случае *схемой Свинберна*, характеризуется некоторым предельным значением тока или соответствующим току значением напряжения, которое обеспечивает полное отклонение указателя. Если требуется измерять токи или напряжения, превышающие предельные значения, то необходимо параллельно или последовательно с измерительным механизмом подключать добавочные сопротивления.

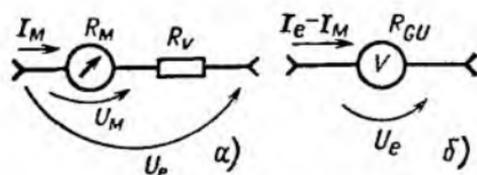
Различают *расширение диапазона измерений по току и расширение диапазона измерений по напряжению*. Путем комбинации измерительного механизма с рассчитанным значением добавочного сопротивления можно получить вольтметр или амперметр. У измерительных механизмов, у которых ток протекает по измерительной катушке, например измерительный механизм электромагнитной системы, расширение диапазона по току осуществляется переключением обмоток этой катушки. При измерении больших значений переменных токов и напряжений для расширения диапазона измерений используются трансформаторы тока или напряжения со стандартизованными параметрами вторичных обмоток.

Расширение диапазона измерения напряжения — расширение диапазона измерений у вольтметров.

Измерительный механизм имеет сопротивление  $R_M$ , которое в данном случае включает сопротивление для уменьшения температурного дрейфа (см. *Схема Свинберна*). Наибольшее отклонение механизма возникает при напряжении  $U_M$ , которое создает максимальный ток  $I_M$  в измерительном механизме. Если необходимо измерить более высокое напряжение, то последовательно с измерительным механизмом подключают такое добавочное сопротивление  $R_v$ , чтобы на измерительный механизм падало напряжение не более  $U_M$  (рис. 154, а). Если конечное значение требуемого диапазона  $n$  в  $n$  раз

Рис. 154. Расширение диапазона измерения напряжения:

а — схема; б — результирующий измеритель напряжения



больше допустимого напряжения для данного измерительного механизма, то добавочное сопротивление легко рассчитать, исходя из соотношения диапазонов  $n = \frac{U_e}{U_M}$ :

$$R_v = (n - 1) R_M \text{ или } R_v = \frac{U_e}{I_M} - R_M.$$

С последовательным подключением добавочного сопротивления  $R_v$  к сопротивлению измерительного механизма  $R_M$  образуется новый вольтметр (рис. 154, б) с внутренним сопротивлением  $R_{GV}$ :

$$R_{GV} = R_M + R_v.$$

При этом имеет место соотношение

$$R_{GV} > R_v \gg R_M.$$

С помощью нескольких переключаемых добавочных сопротивлений можно построить *многодиапазонный вольтметр*.

Расширение диапазона измерения тока — расширение диапазона измерения у измерителей тока.

Измерительный механизм обладает сопротивлением  $R_M$ , которое включает и сопротивление, уменьшающее температурный уход (дрейф) (см. *Схема Свинберна*). Полное отклонение стрелки обеспечивается максимальным током  $I_M$ . Если необходимо измерять большие токи, то параллельно измерительному механизму подключают шунтирующее сопротивление  $R_{ш}$ , такое, чтобы через измерительный механизм протекал только ток  $I_M$  (рис. 155, а). Если конечное значение

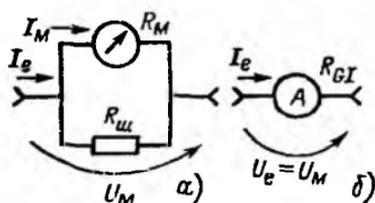


Рис. 155. Расширение диапазона измерений тока:  
а — схема; б — результирующий измеритель тока

нне нужного диапазона измерения  $I_e$  в  $n$  раз больше, чем допустимый ток измерительного механизма, то значение сопротивления шунта рассчитывается следующим образом:

$$R_{ш} = \frac{1}{n-1} R_M \text{ или } R_{ш} = \frac{I_M}{I_e - I_M} R_M.$$

При параллельном подключении шунта  $R_{ш}$  к сопротивлению измерительного механизма  $R_M$  можно считать, что появился новый измеритель тока (рис. 155, б) с внутренним сопротивлением

$$R_{GI} = \frac{R_M R_{ш}}{R_M + R_{ш}}.$$

При этом  $R_{GI} < R_{ш} \leq R_M$ . Специальным подключением шунтирующих сопротивлений (см. *Шунт Лиртона*) получают *многодиапазонный измеритель тока*.

Режим внешней развертки — режим (способ использования) работы осциллографа.

В режиме внешней развертки на входы осциллографа  $Y$  и  $X$  подаются напряжения  $u_y$  и  $u_x$ . Генератор пилообразного напряжения (в отличие от режима временной развертки) отключается. Осциллограмма представляет собой изображение функциональной зависимости напряжений  $u_y$  и  $u_x$  или двух величин, преобразованных в эти напряжения:  $u_y - f(u_x)$  (см. рис. 156). У некоторых двухканальных осциллографов  $X$ -вход отсутствует. Напряжение  $u_x$  для горизонтальной развертки подается в этом случае на один из двух  $Y$ -входов.

Режим временной развертки — режим работы осциллографа.

В режиме временной развертки для горизонтальной развертки электронного луча служит пилообразное напряжение. Оно обеспечивает перемещение светящейся точки на экране слева направо в течение времени существования линейно нарастающего напряжения. Вер-

тикальное отклонение обеспечивается напряжением  $u_y$ , подаваемым на Y-вход. Осциллограмма представляет собой график изменения напряжения  $u_y$  во времени или величины, преобразованной в напряжение  $u_y$ :  $u_y = f(t)$ .

**Резольвер** (устройство для разложения вектора на составляющие) — устройство для электрического измерения угла (углового положения).

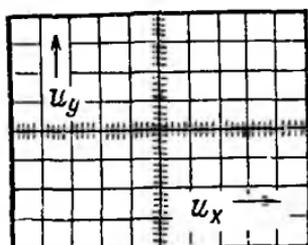


Рис. 156. Режим высшей развертки. Расположение координатных осей на экране

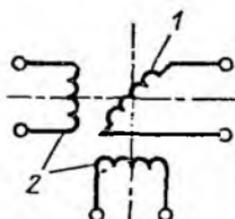


Рис. 157. Резольвер:  
1 — ротор; 2 — статор

Резольвер состоит из статора и ротора (рис. 157). Статор образован двумя взаимно перпендикулярными обмотками, которые питаются двумя переменными напряжениями, сдвинутыми по фазе друг относительно друга на  $90^\circ$ . Индуцируемое в роторной обмотке напряжение модулировано по амплитуде. Значение его амплитуды или фазы является мерой углового положения ротора. Дальнейшая обработка сигнала часто осуществляется в цифровой форме.

**Результат измерения** — цель измерения как количественная оценка.

*Измеренное значение* можно принять как результат измерения. Однако во многих случаях результат измерения определяется как результат некоторой математической операции над одним или несколькими измеренными значениями одной или различных физических величин, например, измерение тока и напряжения ( $I=4,0$  мА,  $U=-22,3$  В) с целью определения сопротивления ( $R=U/I=5,6$  кОм — результат измерения). Первично полученный результат измерения называют грубой (исправленной) оценкой. Исправленный (скорректированный) результат измерения получают путем вычисления погрешности в абсолютной или относительной формах (см. *Погрешность измерения*).

## С

**Самодемпфирование катушки** — индукционное успокоение подвижной (вращающейся) катушки (рамки).

При движении свободно вращающейся катушки (см. *Гальванометр*) в магнитном поле в ней индуцируется напряжение, вызывающее появление тока, направленного против измеряемого; вращение катушки замедляется тем сильнее, чем больше этот ток. Значение индуцированного тока зависит от сопротивления измерительной токовой цепи. Малое сопротивление способствует возникновению большо-

го тока и обуславливает сильное демпфирование (быстрое успокоение); указатель как бы подползает к индицируемому значению. Большое сопротивление с малым током обуславливает слабую степень успокоения; указатель в этом случае совершает колебательные движения относительно показываемого значения. В качестве внешнего ограничивающего сопротивления принимают сопротивление внешней токовой цепи (суммарное сопротивление измерительной токовой цепи минус внутреннее сопротивление прибора), при котором достигается аperiodический характер демпфирования (быстрое приближение к измеряемому значению без переколебания).

Светолучевой осциллограф (шлейфовый осциллограф) — электро-механический осциллограф как *самопишущий прибор*, измерительный механизм которого имеет световой указатель.

Световой луч, отражаясь от зеркала измерительного механизма специальной конструкции (см. *Измерительный механизм светолучевого осциллографа, стержневой гальванометр*), регистрируется на светочувствительном *диаграммном носителе*. Этим способом регистрируют электрические и преобразованные неэлектрические величины в частотном диапазоне приблизительно до 10 кГц. Может использоваться видимый свет с последующим фотохимическим проявлением или непосредственная регистрация ультрафиолетовым лучом. Отраженный зеркалом измерительного механизма луч света при помощи оптических элементов направляется на диаграммный носитель (рис. 158).

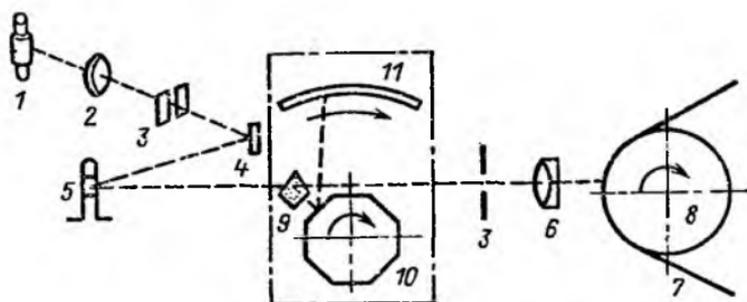


Рис. 158. Светолучевой осциллограф. Схема прохождения луча:

1 — источник света; 2 — конденсатор; 3 — диафрагма с прорезью; 4 — направляющее зеркало; 5 — измерительный механизм с зеркальцем; 6 — оптика; 7 — призма; 8 — тентопротяжный механизм; 9 — многогранный зеркальный барабан; 10 — матовое стекло

При использовании видимого света часть луча при помощи призмы направляется на вращающийся зеркальный многогранник. Таким образом может контролироваться на матовом стекле измеряемый периодический процесс; изображение при этом неподвижно.

Сельсии — устройство для электрического измерения угла и углового положения.

Сельсии состоит из статора и ротора. Многофазная (2, 3, 5, 10 фаз) обмотка статора запитывается переменным напряжением, которое индуцирует в многофазной обмотке ротора (1, 2, 3 фазы) модулированное по амплитуде напряжение. Амплитуда и фаза этого на-

пряжения несут информацию об угловом положении ротора. Индикация показаний осуществляется чаще в цифровом виде.

**СИ** — международная система единиц.

**Сигнал** — краткое наименование термина измерительный сигнал.

**Сигнал измерительный (коротко сигнал)** — представление измерительной информации посредством сигналоносителя.

В качестве сигналоносителя выступает изменяющаяся во времени величина. Сигнал должен иметь параметр, имеющий достаточно много значений и таким образом воспринимающий информацию. Этот информативный параметр должен однозначно отображать измерительную информацию. Во многих случаях для этого используется амплитуда. На измеряемом объекте измерительной цепью формируется первичный измерительный сигнал. Прежде чем измерительный сигнал поступит на окончательное устройство (как измеренное значение), он подвергается измерительной цепью преобразованию в форму промежуточного или преобразованного сигнала (вплоть до разных сигналоносителей), который внешне порой неразличим.

Во многих случаях на выходе линии передачи измерительный сигнал нормируется, т. е. представляется *стандартным сигналом*, имеющим определенный диапазон значений. В зависимости от числа значений различают аналоговые и дискретные измерительные сигналы; непрерывные и дискретные измерительные сигналы различают по изменению сигнала во времени.

**Сигнал измерительный аналоговый** — измерительный сигнал, информативный параметр которого может принимать любое значение в пределах определенного интервала.

Множество значений, которые может принимать измерительный аналоговый сигнал, в отличие от дискретного измерительного сигнала бесконечно велико. Границы интервала допустимых значений определяются конкретными техническими условиями и особенностями приборов.

Если информативный параметр может изменяться в любой момент времени, то говорят о непрерывном аналоговом измерительном

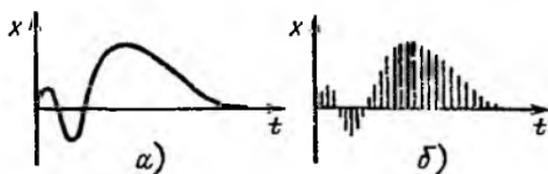


Рис. 159. Сигнал измерительный аналоговый. Напряжение — носитель сигнала, амплитуда — информативный параметр:

*a* — непрерывный сигнал; *б* — дискретный сигнал

сигнале (рис. 159, *a*). Сигнал называется дискретным, если изменения возможны только в определенные моменты времени (рис. 159, *б*)

Аналоговый измерительный сигнал легко подвергается воздействию шумов, дрейфа и прочих помех, тогда как возможность его восстановления (регенерации) отсутствует. Аналоговый измерительный сигнал используется главным образом в цепях контроля и для определения тенденции изменения контролируемого параметра.

**Сигнал измерительный двоичный** — многопозиционный сигнал, ин-

формативный параметр (см. *Измерительный сигнал*) которого может принимать два значения в пределах установленных допускаемых границ.

Независимо от фактического значения физической величины двоичный измерительный сигнал принимает лишь два различных и однозначно различных значения, называемых верхним и нижним уровнями. Эти значения соответствуют принятым в двоичной системе счисления двоичным цифрам 0 и 1.

Двоичный измерительный сигнал может быть непрерывным (рис. 160, а) и дискретным (рис. 160, б). Цифровые сигналы называют кодированными.

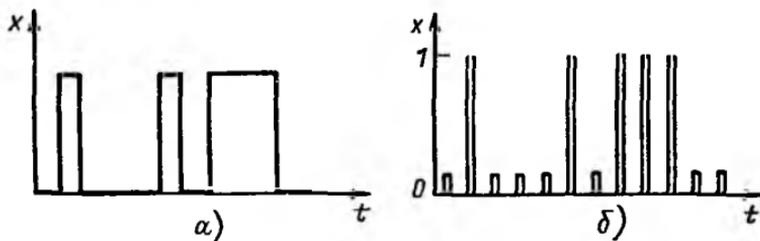


Рис. 160. Сигнал измерительный двоичный:  
а — непрерывный; б — дискретный

Сигнал измерительный дискретный — измерительный сигнал, информативный параметр которого может принимать только определенные значения (дискретные значения) из ограниченного множества.

Количество значений, которые (в отличие от аналогового сигнала) может принимать сигнал измерительный дискретный, ограничено, т. е. конечно. Область значений, на которой сигнал определен, квантуется (т. е. делится на поддиапазоны). Несмотря на то что квантование может быть очень мелким (т. е. протяженность поддиапазонов-квантов очень мала), количество возможных значений является в любом случае конечным. В зависимости от количества и типа значений, которые может принимать информативный параметр, различают *многопозиционные и цифровые измерительные сигналы*.

Для сигналов измерительных дискретных помехи существенны только при превышении определенных границ, что делает возможным восстановление сигнала.

Сигнал измерительный многопозиционный — дискретный измерительный сигнал, информативный параметр которого может принимать несколько (дискретных) значений.

Сигнал измерительный многопозиционный может быть непрерывным или прерывистым. Особую роль в технике играют сигналы измерительные многопозиционные с двумя устойчивыми состояниями, называемые двоичными сигналами. Широко распространены также трехпозиционные сигналы (рис. 161, а). Они возникают часто как выходной сигнал контактных средств измерений. Три информативных параметра соответствуют трем допустимым уровням измеряемой величины, например, значения  $+1$ ,  $-1$  и значения между  $-1$  и  $+1$  (состояние 0).

При необходимости число информативных параметров может

быть увеличено в разумных с технико-экономической точки зрения пределах (рис. 161, б и в).

**Сигнал измерительный непрерывный** — аналоговый измерительный сигнал или дискретный **многопозиционный сигнал**, который в любой момент времени определен своим постоянным или переменным значением.

**Сигнал измерительный прерывистый** — аналоговый или дискретный измерительный сигнал, который только в определенные моменты

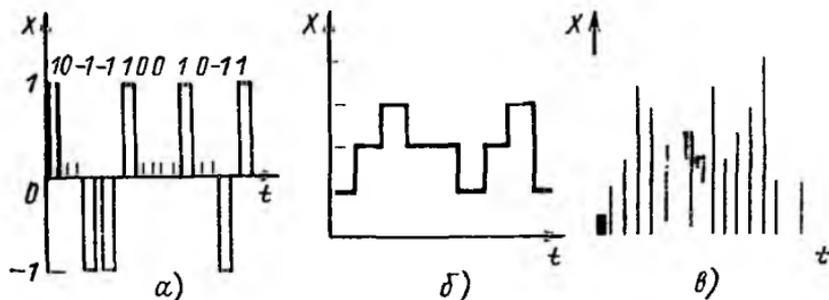


Рис. 161. Сигнал измерительный многопозиционный:  
 а — дискретный трехпозиционный; б — непрерывный трехпозиционный; в — дискретный восьмипозиционный

времени, чаще через равные интервалы, определяется своим постоянным или переменным значением.

**Сигнал измерительный цифровой** — комбинация закодированных двоичных сигналов.

Измерительная информация преобразуется путем **квантования и кодирования** в кодовое слово. Кодирование заключается в группировании **двоичных сигналов**, содержащихся в одном или нескольких последовательных тактах. Кодовое слово служит мерой информации при передаче и обработке цифровых измерительных сигналов.

**Синхронизация** — обеспечение синхронности изменения измеряемого напряжения и горизонтального отклонения в **осциллографе** (стабилизация индикации).

Неподвижную осциллограмму получают в том случае, если горизонтально отклоняющее пилообразное напряжение относительно измеряемого сигнала обеспечивает постоянное значение временных и фазовых соотношений. Синхронизация достигается в том случае, если периоды развертывающего и исследуемого напряжений равны или кратны. В ранее вышедших осциллографах синхронизация обеспечивалась с помощью схем, которые управляли обратным движением светящегося пятна путем изменения амплитудного значения напряжения. В современной технике синхронизация выполняется с помощью **запускающих схем** (см. *Запуск*).

**Синхронизация внешняя** (см. *Источник синхронизации*).

**Синхронизация внутренняя** (см. *Источник синхронизации*).

**Синхронизация от сети** (см. *Источник синхронизации*).

**Синхронизация телевизионная** (см. *Телевизионная синхронизация*).

Синхроскоп — измерительный прибор для определения равенства частот двух трехфазных систем (цепей) электроснабжения.

Каркас (основа) прибора имеет три разнесенных друг от друга на  $120^\circ$  полюса. На них размещены системы катушек. В центре укреплен подвижный указатель, выполненный из магнитомягкого металла. Когда на каждую из систем катушек подается напряжение сравнимых трехфазных трехпроводных цепей во встречном направлении, то указатель следует за результирующим полем. Если частоты обеих трехфазных цепей равны (синхронны), то результирующее поле равно нулю и указатель неподвижен.

Система вертикального отклонения — совокупность структурных (функциональных) схем осциллографа, осуществляющая вертикальное ( $Y$ ) отклонение электронного луча.

Система вертикального отклонения согласовывает входной измеряемый сигнал с чувствительностью отклонения электроно-лучевой трубки. Система вертикального отклонения состоит из переключаемой входной цепи, входного делителя напряжения (с частотной компенсацией), предварительного и оконечного усилителей вертикального отклонения (см. Усилитель измерительный), во многих случаях — линии задержки и отклоняющих электродов (рис. 162).

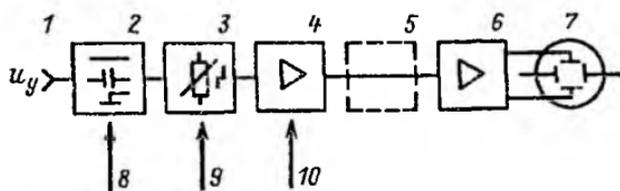


Рис. 162. Система вертикального отклонения. Структурная схема: 1 — входное  $Y$ -гнездо для напряжения вертикального отклонения  $u_y$ ; 2 — входная цепь; 3 — делитель входного напряжения; 4 — предварительный усилитель канала вертикального отклонения; 5 — линия задержки; 6 — оконечный усилитель канала вертикального отклонения; 7 — электроно-лучевая трубка; 8 — установка или выбор цепи по постоянному или переменному току, обеспечение нулевой опорной линии; 9 — установка или выбор калиброванного коэффициента отклонения  $k_y$ ; 10 — позиционирование изображения, плавная регулировка усиления

Система выравнивания потенциалов — совокупность технических средств и проводников для выравнивания потенциалов.

Система горизонтального отклонения (см. Горизонтально отклоняющая система).

Система защитных проводов — система как способ защиты от поражения электрическим током.

Система защитных проводов предусматривает подключение всех металлических частей устройства, на которых в случае неполадок при прикосновении человека может оказаться напряжение, к защитному проводу. Этим достигается полное уравнивание потенциалов, и в случае пробоя (замыкания) на корпус опасность не возникает. Эффект системы защитных проводов состоит в том, что в случае неполадки устройство отключается не самостоятельно, однако с помощью устройства контроля изоляции можно найти место повреждения. Устранение повреждения можно осуществить в наиболее благоприятных

ятный с точки зрения режима эксплуатации момент времени. Система защитных проводов допустима лишь для комплекса устройств, тесно расположенных в пространстве. Ее эффективность устанавливается при *испытаниях* системы защитных проводов.

**Скважность** (см. Импульс).

**Смесительный каскад** — электрическая схема, состоящая из пассивных и активных электрорадиоэлементов и предназначенная для смещения сигналов.

На вход (входы) смесительного каскада подаются электрические колебания определенных частот, например  $f_1$  и  $f_2$ . При их смещении образуется новое колебание с другой, комбинационной частотой, например суммарной ( $f_1+f_2$ ) или разностной ( $f_1-f_2$ ). Условием смещения сигналов является наличие элемента с нелинейной характеристикой (диод, транзистор, интегральная микросхема). В смесительном каскаде происходят процессы, аналогичные амплитудной модуляции, различны лишь диапазоны частот.

Смесительный каскад применяется для преобразования частоты сигнала. В измерительной технике смесительный каскад применяется, например, в *селективных вольтметрах*, при измерении частоты и в *синусоидальных генераторах*.

**Собственное потребление мощности** — неизбежный отбор энергии средством измерений из измеряемой цепи.

Чтобы обеспечить функционирование измерительного прибора прямого действия, например, для движения деталей измерительного механизма, из измерительной цепи отбирается некоторая часть энергии, вследствие чего возникает систематическая погрешность. Поэтому необходимо, чтобы потребление энергии *вольтметром*  $P_{Gz} = U^2/R_{Gz}$  и *амперметром*  $P_{G1} = I^2 R_{G1}$  было мало по сравнению с мощностью измерительной цепи. Электронные приборы практически не отбирают мощность из измеряемой цепи — они работают от вспомогательных источников энергии, например батарей.

Собственное потребление мощности (ориентировочные значения) измерительных приборов

Магнитоэлектрической системы, мВт . . . . .	<5
Гальванометра, Вт . . . . .	$10^{-11}$ — $10^{-5}$
показывающего . . . . .	$10^{-6}$ — $10^{-3}$
самопишущего . . . . .	$10^{-2}$ —15
Электромагнитной системы, В·А . . . . .	0,1—5
Электродинамической системы:	
цепь напряжения, мВ·А . . . . .	<5
цепь тока, В·А . . . . .	1—2
Магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом, Вт . . . . .	3
Индукционного:	
цепь напряжения, В·А . . . . .	<10
цепь тока, В·А . . . . .	<5
Электростатического, В·А . . . . .	$10^{-13}$ — $10^{-6}$
Теплового, мВ·А . . . . .	>50
Биметаллического, В·А . . . . .	~5
Вибрационного, В·А . . . . .	<10
Вольтметра:	
цифрового . . . . .	~0
усилительного . . . . .	~0
Осциллографа электронного . . . . .	~0

**Совместимость** — совпадение или согласованность различных способов передачи (информации), конструктивных и/или программных особенностей различных устройств (в техническом смысле).

Чтобы обеспечить совместимость, необходимо согласование основных технических параметров устройств и выполнение системы передачи с учетом общих для всех устройств условий. В измерительной технике под совместимостью понимают возможность подключения различных приборов друг к другу для их совместного функционирования как системы.

**Содержание высших гармоник** (см. Коэффициент гармоник).

**Сопротивление внутреннее измерительного прибора** — полное сопротивление измерительного прибора между его входными клеммами.

Значение внутреннего сопротивления у показывающих приборов указывается на шкале или приводится в паспорте. У многодиапазонных (комбинированных) приборов указывается *входное сопротивление* комбинированного прибора, а у электронных приборов — входное полное сопротивление. Введение прибора в измеряемую цепь означает подключение сопротивления прибора к данной цепи. Это вызывает изменение измеряемой величины и является причиной возникновения систематической *погрешности*, которую следует сделать как можно меньшей. Входное сопротивление *вольтметра*  $R_{GV}$  должно быть как можно большим, т. е. через вольтметр должен течь как можно меньший ток. Входное сопротивление *амперметра*  $R_{GI}$  должно быть по возможности низкоомным, т. е. *падение напряжения* на токовой цепи должно быть минимальным.

**Сопротивление входное** (см. Входное сопротивление).

**Сопротивление измерительного механизма** — сопротивление измерительной цепи измерительного механизма.

В зависимости от конструкции *измерительного механизма* токоведущими могут быть цепи подвижного или неподвижного узлов. Электрическое сопротивление этих цепей называют сопротивлением измерительного механизма, например, у магнитоэлектрического измерительного механизма — это сопротивление вращающейся катушки (рамки), у электромагнитного измерительного механизма — сопротивление полюсоздающей катушки. Совокупность добавочных или шунтирующих сопротивлений (обеспечивающих, например, *расширение диапазона измерений*) и сопротивления измерительного механизма называют *внутренним сопротивлением* измерительного прибора.

**Сопротивление измерительного прибора**, зависящее от измеряемого напряжения (см. Входное сопротивление комбинированного прибора).

**Сопротивление измерительное** — мера электрического сопротивления для измерительных цепей.

Сопротивление измерительное должно быть чисто активным и не должно вызывать фазовых сдвигов при измерениях на переменном токе (см. *Схема замещения*). Номинальное значение сопротивления должно воспроизводиться с высокой стабильностью. Резистивный материал не должен иметь температурного коэффициента и образовывать термоЭДС с медью. Различают *эталонный* и *прецизионные* (образцовые) измерительные сопротивления (меры) по установленным *классам точности*. Измерительные сопротивления (меры), применяемые как эталонные (и образцовые), должны быть аттестованы.

**Сопротивление испытательное** — вспомогательное средство при испытании системы защитных проводов.

**Сопротивление образцовое** — измерительное сопротивление, значение которого известно с высокой точностью и которое используется в различных измерительных схемах (например, мосты постоянного тока, омметр со скрепленными катушками, компарирование токов и напряжений) для сравнения электрических величин.

**Сопротивление образцовое** — измерительное сопротивление с высокой точностью и стабильностью, представляющее собой резистор или комбинацию резисторов, применяемых в измерительных целях. Оно имеет меньшую по сравнению с эталонным сопротивлением точность.

В качестве образцовых сопротивлений используются (тонко-) пленочные резисторы (сплавы благородных металлов или углеродистая пленка на керамической трубке, стержне или подложке; исполнение открытое или в запаянной стеклянной вакууммированной или газонаполненной ампуле), проволочные сопротивления (металлическая проволока в виде различного типа одно- или многослойных обмоток на цилиндрических или рамочных каркасах) и многозначные реохорды (прецизионные потенциометры). В качестве многозначных образцовых сопротивлений применяются преимущественно *декадные магазины сопротивления*.

**Сопротивление ограничительное внешнее** (см. Самодемпфирование катушки).

**Сопротивление относительное** — сопротивления в схемах измерительных мостов, предназначенные для установления отношения плеч или/и диапазона измерений. Два или несколько сопротивлений соединяются последовательно (делитель напряжений) в цепь измерительного моста. Делитель напряжения либо собирается из дискретных сопротивлений с мелкоступенчатой установкой значений, либо выполняется на основе реостата с плавной регулировкой.

**Сопротивление шунтирующее** — сопротивление, входящее в мост измерительный Томсона, шунтирующее сопротивление соединительных проводов между низкоомным измеряемым объектом и образцовым сопротивлением.

В схеме используются два шунтирующих сопротивления. Чаще всего они имеют такое же значение, что соответствующие сопротивления плеч моста (см. *Образцовые сопротивления*), и общую с ними регулировку.

**Сортирование** — разделение элементов различных типов по определенным признакам как вид *метрологической деятельности*.

В процессе сортирования с помощью органов чувств или сортирующих устройств из совокупности различных составных частей элементы раскладываются или распределяются по заданным или установленным типам, сортам или свойствам (классам), например автоматическое сортирование электрорадиоэлементов или фильтров.

**Спад вершины** (неравномерность вершины) — искажение формы прямоугольного импульса.

Спад вершины определяется разностью  $\Delta X$  между начальной и конечной амплитудами прямоугольного импульса без учета других искажений (рис. 163). Эта разность выражается в процентах от амплитуды импульса  $x$ :

$$D = \frac{\Delta X}{x} 100\%.$$

Способы защиты от поражения электрическим током — обязательные к применению и стандартизованные элементы, узлы и т. д. электротехнических устройств, предназначенные для защиты человека от поражения электрическим током в случае неполадок.

К способам защиты от поражения электрическим током относятся защитная изоляция, безопасное напряжение, защитное отключение, схема автоматического отключения цепи при электрических перенапряжениях, защитное заземление, зануление, система защитных проводов, схема выключения аварийного потенциала.

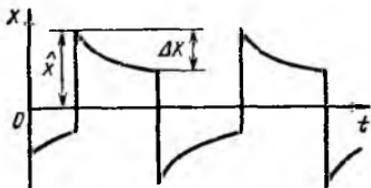


Рис. 163. Спад вершины

Способ измерения — практическое осуществление процесса получения измерительной информации.

Способ измерения отражает основные аспекты технического построения измерительного устройства, связывающие принцип измерения с методом измерения. В соответствии с примененным методом измерения допускаются использовать прямые или косвенные методы измерений. Различают главным образом аналоговые и цифровые способы измерения.

Способ измерения аналоговый — способ измерений в аналоговой измерительной технике. Аналоговым называют такой способ измерения, когда выходная величина (чаще всего показание) является непрерывной функцией измеряемой величины (входной величины). Многие аналоговые способы измерения предполагают определение измеряемого значения внутри диапазона измерений по положению указателя относительно шкалы в виде постоянно изменяющегося отрезка или угла; при этом за измеряемое может быть принято любое значение. Аналоговые измерения используют (в отличие от способа измерения цифрового) для представления измеренного значения в виде аналогового сигнала.

Способ измерения длины волны — способ измерения высокой частоты.

Способ измерения длины волны основан на эффекте стоячей волны в волноводах, длина которых превышает длину волны исследуемого сигнала. Практическое применение способ измерения длины волны нашел на частотах свыше 300 МГц.

Способ измерения цифровой — способ измерения в цифровой измерительной технике.

Цифровым называют способ измерения или измерительный прибор (устройство), в котором измеряемая (входная) величина подвергается квантованию и на выходе представляется в форме дискретного сигнала или индицируется в цифровой форме. Измеряемое значение представляет собой сумму уровней квантования.

Способы измерений цифровые (в отличие от аналоговых способов измерения) предполагают использование образцового цифрового сигнала или АЦП и затем главным образом цифрового счетчика (см. Способ счета) или кодирующего устройства (см. Способ кодирования).

Способ кодирования — основной способ цифрового измерения.

Каждому уровню квантования соответствует определенное кодовое слово, которое формируется на основе принятого закона (кода).

Из этого кодового слова формируется индифферентное измеряемое значение. При изменении измеряемого значения прежнее кодовое слово заменяется новым; промежуточные значения во внимание не принимаются.

**Способ намотки.** В проволочных резисторах унифицированная обмотка (рис. 164, а) выполняется последовательной намоткой про-

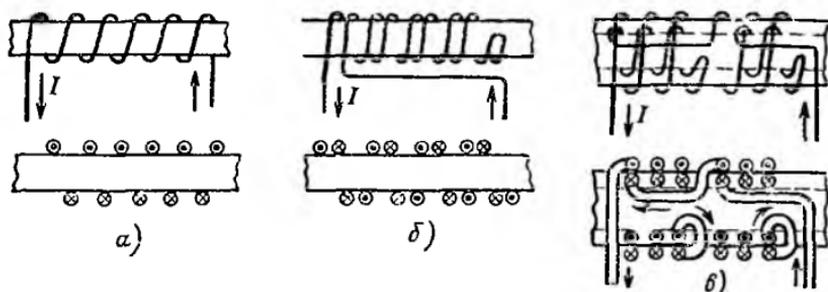


Рис. 164. Способ намотки:

а — унифилярная; б — бифилярная; в — намотка Чаперона

волоки виток к витку. Такая намотка характеризуется высокими значениями паразитных индуктивности и емкости и поэтому в измерительных целях может применяться только на постоянном токе. У резисторов с сопротивлением свыше 500 Ом на переменном токе преобладающим становится паразитное влияние параллельной емкости, поэтому его делят на отдельные обмотки и соседние наматывают еще раз, но в противоположном направлении.

У резисторов с сопротивлением менее 500 Ом доминирует индуктивность обмотки. Она может быть уменьшена бифилярной намоткой (рис. 164, б), которая выполняется проволокой, сложенной посередине вдвое (петлей) так, что прямой и обратный провод лежат рядом. Присущая бифилярной обмотке параллельная емкость может быть уменьшена при необходимости обмоткой Чаперона (рис. 164, в): целая обмотка делится на отдельные части, каждая из которых выполнена бифилярно.

**Способ перезаряда конденсатора** — аналоговый способ измерения частоты путем погроения среднего значения. Данный способ применяется главным образом в *указателях частоты*.

**Способ подключения счетчика.** Электрические счетчики монтируются на отдельном щите или в отдельном шкафу. Способ подключения счетчика устанавливается для каждого типа счетчика в соответствующих стандартах.

**Способ потенциметрический** — способ уравнивания, применяемый в *компенсаторах постоянного напряжения*.

**Способ расположения делений** — совокупность градуировочных отметок шкалы.

В соответствии с техническими и практическими требованиями деления *аналоговой шкалы* могут выполняться для грубого или грубо-точного считывания (см. *Тип делений*). Говорят об одностороннем градуировании (рис. 165, а), если шкала образована одним вариантом градуировки. На такой шкале опорная линия не изображается. При

двухстороннем градуировании обязательно изображается опорная линия и по обе стороны от нее располагаются деления (рис. 165, б). Равномерная градуировка предусматривает последовательное одно- или двухстороннее расположение делений (рис. 165, в). Если аналоговая шкала образована несколькими последовательными расположенными друг против друга делениями, то говорят о многопозиционном градуировании (рис. 165, г).

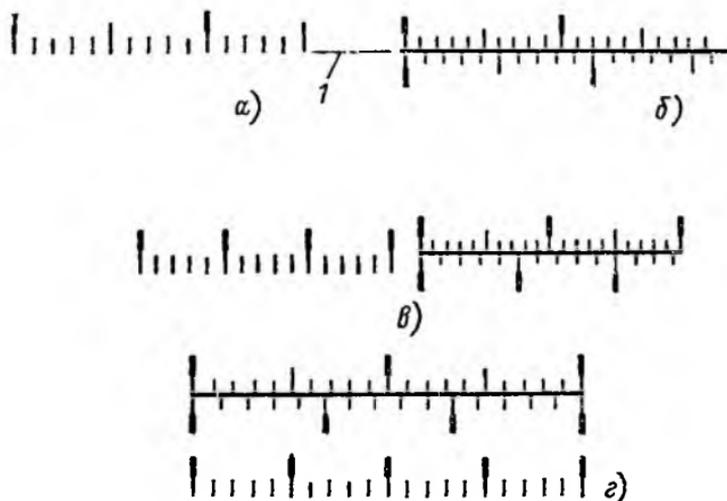


Рис. 165. Способ расположения делений. Примеры:

а — односторонний; б — двухсторонний; в — последовательная градуировка; г — многопозиционная градуировка; 1 — строчная линия

**Способ резонансный** — способ измерения частоты.

Способ резонансный заключается в сравнении неизвестной частоты с резонансной (перестраиваемой) частотой колебательного контура. Данный способ нашел применение в *частотомерах резонансных* и измерителях *коэффициента модуляции*. Модифицированная форма способа резонансного применяется в *мостах для измерения частоты*.

**Способ счета (способ приращения)** — основополагающий принцип цифрового измерения.

Одинаковые (реже различные) по размерам «ступеньки» (приращения), на которые квантуется отдельное значение, подвергаются счету. Полученной сумме может быть поставлен в соответствие некоторый временной интервал. Измерение измеряемого значения означает увеличение или уменьшение ранее полученного численного значения на определенное число приращений, т. е. вызывает прямой или обратный счет. Таким образом, получают все промежуточные значения между прежним и новым значениями.

**Сравнение зарядов** — способ измерения емкости.

С помощью баллистического гальванометра измеряется заряд  $Q$ , который при постоянном напряжении является мерой емкости конденсатора ( $Q=CU$ ). Измеряемый конденсатор заряжается напряже-

нием  $U_1$  (рис. 166), и заряд  $Q_1$  определяется по отклонению указателя гальванометра  $\alpha_x$ :

$$Q_1 = C_x U_1 = K_b \alpha_x.$$

Если постоянная  $K_b$  баллистического гальванометра  $G$  не известна, то измерения проводят с помощью конденсатора  $C_N$  с известным значением емкости. При этом угол отклонения  $\alpha_N$  определяет заряд

$$Q_2 = C_N U_2 = K_b \alpha_N.$$

Целесообразно путем использования различных напряжений или выбором конденсатора  $C_N$  обеспечить в обоих случаях равное отклоне-

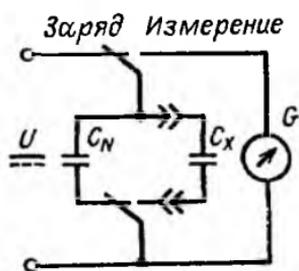


Рис. 166. Сравнение зарядов

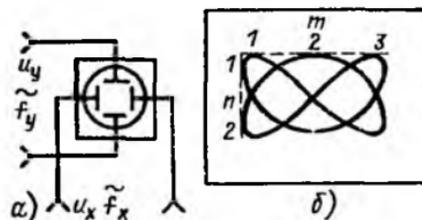


Рис. 167. Сравнение частот:

*a* — упрощенная схема измерения; *b* — пример осциллограммы с относительными значениями для определения частоты

ние гальванометра. По результатам измерений вычисляется искомая емкость

$$C_x = C_N \frac{U_2}{U_1} \frac{\alpha_x}{\alpha_N}.$$

Сравнение частот (посредством фигур Лиссажу) — метод измерения частоты при помощи осциллографа.

В режиме внешней развертки на оба входа осциллографа подаются напряжения  $u_y$  и  $u_x$  (рис. 167, *a*). Если отношение частот этих сигналов выражается целым числом, то на экране возникает характерное колеблющееся изображение, так называемая фигура Лиссажу. Напряжение  $u_y$  с частотой  $f_y$  обеспечивает вертикальную развертку от верхней до нижней вершины изображения. Одновременно с ним напряжение  $u_x$  с частотой  $f_x$  развертывается по горизонтали и создает боковые закругления осциллограммы слева направо.

При расшифровке осциллограммы (рис. 167, *b*) подсчитывают число вершин по горизонтали и вертикали и вычисляют

$$f_y/f_x = \frac{\text{Число вершин сверху вниз}}{\text{Число вершин слева направо}} = \frac{m}{n}.$$

Если один из сигналов  $f_x$  или  $f_y$  обеспечивается генератором с пере-

странваемой частотой  $f_N$ , то частота другого сигнала может быть определена по выражению

$$f_y = f_N \frac{m}{n}.$$

Тип изображения на осциллограмме (форма фигуры Лиссажу) зависит от соотношения частот, амплитуд и фаз обоих напряжений (рис. 168). При незначительном различии  $\Delta f$  между неизвестной и образцовой частотами наблюдается как бы непрерывное изменение фазы, вследствие чего возникает кажущееся вращение фигуры Лиссажу. При этом полный оборот от 0 до  $360^\circ$  совершается за определенное время. Зная период оборота  $T_D$ , определяют  $\Delta f = 1/T_D$ .

$\varphi$				$\varphi$	$f_y : f_x$		
	1:1	2:1	3:1		1:2	1:3	3:2
$0^\circ$ ( $360^\circ$ )				$0^\circ$ ( $360^\circ$ )			
$45^\circ$ ( $315^\circ$ )				$45^\circ$ ( $315^\circ$ )			
$90^\circ$ ( $270^\circ$ )				$90^\circ$ ( $270^\circ$ )			
$135^\circ$ ( $225^\circ$ )				$135^\circ$ ( $225^\circ$ )			
$180^\circ$				$180^\circ$			

Рис. 168. Примеры осциллограмм

Сравнимые условия — сопоставимые условия измерения на различных измерительных местах.

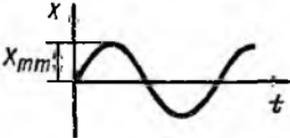
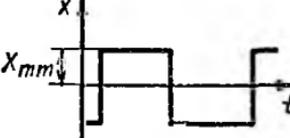
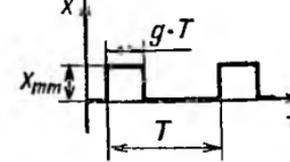
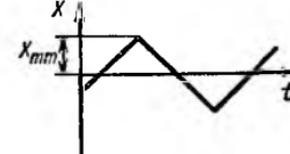
Сравнимые условия имеют значение, когда измерения одних и тех же величин проводились различными наблюдателями, различными способами, различными (но по возможности однотипными) средствами измерений на различных местах и/или в различное время. Сравнимые условия являются техническими требованиями при проведении совместных экспериментов различными лабораториями.

При невыполнении сравнимых условий вследствие различных систематических погрешностей на разных измерительных местах результаты измерений отличаются друг от друга сильнее, чем в *условиях повторения* полученных значений.

Средневыпрямленное значение (среднее значение полуволны) — усредненное по времени (арифметическое) значение периодической величины.

В отличие от *постоянного значения* средневыпрямленное значение вычисляется интегрированием сигнала на полупериоде или абсолютного значения сигнала (без учета полярности) на периоде. Для часто встречающихся в электротехнике форм сигналов имеют место постоянные коэффициенты, позволяющие рассчитывать по амплитудному средневыпрямленному значению и наоборот (табл. 12).

Таблица 12. Соотношения между средневыпрямленным и амплитудным значениями некоторых форм сигналов

Форма сигналов	Формулы для расчета
	$ \bar{X}  = \frac{2}{\pi} X_{mm} \approx 0,64 X_{mm}$ <hr/> $X_{mm} = \frac{\pi}{2}  \bar{X}  \approx 1,57  \bar{X} $
	$ \bar{X}  = X_{mm}$
	$ \bar{X}  = g X_{mm}$ <hr/> $X_{mm} = \frac{ X }{g}$
	$ \bar{X}  = \frac{X_{mm}}{2}$ <hr/> $X_{mm} = 2  \bar{X} $

Среднее арифметическое значение (см. Среднее значение).

1. Вычисляемая величина в процессе *статистической обработки*. Обозначение  $\bar{x}$ ,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Среднее арифметическое значение принимается как результат ряда измерений, составленного из  $n$  независимых отдельных значений  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ , полученных при измерении величины  $x$  в одинаковых условиях (см. *Рассеяние*). Все измеренные значения суммируются и полученная сумма делится на число измерений.

Среднее арифметическое значение часто именуется как среднее значение и принимается в качестве окончательного результата измерений. Однако оно не является истинным значением, которое может быть получено путем исключения систематических погрешностей только из очень большого числа измерений. Поэтому при использовании среднего арифметического значения в качестве результата измерений указываются *доверительные границы*.

2. Усредненное во времени значение периодической величины (см. *Постоянное значение*).

Среднее значение

1. Среднее арифметическое значение ряда измерений.

2. Среднее значение периодической величины, *постоянная составляющая*.

3. Среднее квадратическое значение периодической величины, *эффективное значение*.

Среднее значение по гюволю (см. *Средневыпрямленное значение*).

Среднее квадратическое отклонение (средняя квадратическая погрешность) — расчетная величина в *статистической обработке*.

Среднее квадратическое отклонение включает случайную погрешность отдельного результата измерений  $x_j$  ряда из  $n$  измерений относительно их среднего арифметического  $\bar{x}$ :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \approx \sigma.$$

При достаточно большом числе измерений принимают  $\sigma$  за среднее квадратическое отклонение (очень большой) генеральной совокупности. Выгоднее сначала вычислить отклонения отдельных значений от среднего значения  $x_j - \bar{x}$ , возвести в квадрат и суммировать полученные значения.

Для вычисления среднего квадратического отклонения следует пользоваться различными микроЭВМ, имеющими стандартные подпрограммы.

Средство измерений — техническое средство, предназначенное для выполнения измерений.

Понятие средства измерений используется как более общее, чем *измерительный прибор*, и включает в себя как отдельные (самостоятельные) измерительные средства (приборы, преобразователи), так и измерительные установки и устройства. Во многих случаях вместо термина «средство измерений» употребляют выражение «измерительный прибор». Отдельными (самостоятельными) средствами измерений называют измерительные приборы, преобразователи, трансформаторы, измерительные меры (образцовые), имеющие самостоятельное конструктивное исполнение, и все вспомогательные принадлежности, например проводники, клеммы (см. *Выбор средств измерений*).

Если для решения одной измерительной задачи самостоятельное

средство измерений конструктивно объединено с вспомогательными устройствами, например стабилизатором напряжения, термостатом, то говорят об *измерительном устройстве*. Электронизмерительный прибор является устройством для измерения электрических и неэлектрических величин (которые могут быть однозначно преобразованы в электрические) и отношений между этими величинами; он может иметь дополнительные *принадлежности*.

**Стабилизация показаний (успокоение показаний)** — синхронизация, *запуск*.

**Стандартный сигнал** — сигнал с нормированными характеристиками (параметрами), утвержденный как стандартный государственным или международным метрологическим органом.

Благодаря стандартизации параметров сигналов обеспечивается *совместимость* измерительных устройств между собой и с другими устройствами. В качестве международных используются, например, следующие электрические стандартные сигналы:

Аналоговый:		
тока, мА . . . . .	0—5, 0—20,	4—20
напряжения, В . . . . .	0—10	
Цифровой (двоичный):		
уровень нуля, В . . . . .	0	
уровень единицы, В . . . . .	12, 24, 48,	60

**Статистическая обработка** — составная часть расчета погрешности.

При многократных измерениях одной и той же измеряемой величины в одинаковых условиях отдельные результаты измерений (наблюдений) отличаются друг от друга вследствие наличия в них *случайных погрешностей*. Обработка этих результатов осуществляется статистическим способом. К нему относятся определение *среднего арифметического значения* и *среднего квадратического отклонения*. Выбирая значение статистической (доверительной) вероятности, определяют *доверительные границы, погрешность измерений и границы погрешности*.

**Стратегия измерений** — основные положения и правила при построении и вводе в эксплуатацию измерительных схем.

Порядок, обзорность и чистота есть первейшие заповеди для любых измерительных участков (мест). Необходимые правила техники безопасности и пожарной безопасности должны неукоснительно выполняться. Защитные устройства должны функционировать. С измерительными приборами следует обращаться осторожно и принимать меры к их защите от вредных влияний окружающей среды. Электрические и механические перенапряжения могут вызвать перегрев и деформации, вредные для электрических и механических элементов конструкции приборов. Тепловое воздействие вызывает изменение электрических, механических и магнитных свойств элементов. Попадание пыли вызывает повышенное трение в подшипниках (опорах) и ухудшает точность средств измерений. Повышенная влажность воздуха вызывает коррозию металлических деталей и снижает сопротивление изоляции.

Для каждого вида измерений следует выбирать соответствующий измерительный прибор (см. *Выбор средств измерений*). При использовании незнакомого или малоизвестного измерительного прибора прежде чем приступить к работе, необходимо изучить его техническое описание и инструкцию по эксплуатации, а также обратить вни-

манше на обозначения на шкале. Обозначения на шкале или указанные в инструкции по эксплуатации внешние условия и диапазоны влияющих величин необходимо соблюдать. Перед каждым измерением следует проверить точность нахождения указателя на начальной отметке шкалы (чаще нулевая отметка), так как при отклонении указателя от начальной отметки возникает дополнительная погрешность. В этом случае необходимо установить указатель на нуль с помощью корректора.

При работе с многодиапазонными (комбинированными) приборами измерения следует начинать всякий раз на нижнем диапазоне. Переключать на нижний, более чувствительный диапазон можно лишь при наличии уверенности, что измеряемое значение не превышает верхней границы этого диапазона. Выбирая диапазон измерений, следует по возможности стремиться к тому, чтобы вести измерения в последней трети шкалы. Электрическая схема комбинированных приборов построена таким образом, что на верхнем (наименее чувствительном) диапазоне измерения постоянного напряжения допускаются наибольшая перегрузка.

При транспортировке необходимо закорачивать проволочкой клеммы магнитоэлектрического прибора, чтобы при колебаниях подвижной рамки в ней не возникало индуцированных потенциалов; у комбинированных приборов надо включать наиболее чувствительный по постоянному току диапазон.

После каждого изменения положения прибора его надо закрепить при помощи крепежных приспособлений (даже на ровном столе). Не следует очищать стекло измерительного прибора непосредственно перед или во время измерений; возникающая при этом статическая электризация может повлиять на отклонение указателя. Необходимо соблюдать правильность подключения внешних принадлежностей.

В случае получения сомнительных результатов измерения можно проверить функционирование измерительного прибора путем измерения известного значения. Ремонт средств измерений должны за-

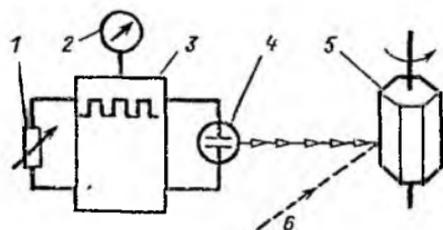


Рис. 169. Стробоскоп со световыми вспышками (импульсный)

1 — регулятор частоты следования импульсов; 2 — индикатор числа оборотов; 3 — импульсный генератор; 4 — источник света; 5 — вращающееся тело (измеряемый объект); 6 — наблюдатель (датчик)

ниматься специалисты; всякое некомпетентное вторжение недопустимо! При необходимости следует вести протокол измерений.

Стробоскоп — прибор для оптического (визуального) измерения числа оборотов. Различают стробоскоп с диафрагмой и стробоскоп со световыми вспышками.

Стробоскоп со световыми вспышками — прибор для оптического измерения числа оборотов.

В приборе имеется источник, облучающий вращающийся с измеряемой скоростью предмет импульсами света с известной и устанавливаемой частотой следования (рис. 169). Когда наблюдатель видит

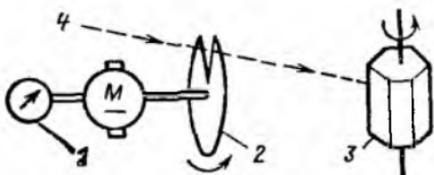
вращающееся тело или нанесенную на него метку как бы неподвижной, то измеряемое число оборотов равно частоте следования световых импульсов.

**Стробоскоп с диафрагмой** — прибор для оптического (визуального) измерения числа оборотов.

Принцип действия прибора основан на наблюдении предмета, вращающегося с измеряемой скоростью, через прорезь бленды (диафрагмы), вращающейся с известной регулируемой скоростью (рис. 170). При равенстве скоростей вращения наблюдатель видит вращающееся тело неподвижным.

Рис. 170. Стробоскоп с диафрагмой:

- 1 — измеритель числа оборотов;  
2 — бленда (диск) с прорезью;  
3 — вращающееся тело (измеряемый объект); 4 — наблюдатель (датчик)



**Стробоскопический эффект** — явление, возникающее при искусственном освещении движущегося предмета излучателем, питаемым переменным током, искажающее восприятие движения.

Стробоскопический эффект является оптическим обманом, в основе которого лежит инерционность зрения. В условиях стробоскопического эффекта вращающиеся предметы кажутся неподвижными, что следует учитывать в целях безопасности. Практическое применение стробоскопического эффекта нашел в *стробоскопах*, например, для измерения частоты вращения.

**Схема автоматического выключения цепи при токовых поражениях** — способ защиты от поражения электрическим током.

С помощью данной схемы контролируется рабочий ток электротехнических устройств и производится их отключение при появлении токов утечки. При нормальном режиме рабочий ток в прямом и обратном токоведущих проводах одинаков, т. е. при трехфазной схеме сумма токов в каждый момент времени равна нулю. В аварийном режиме, например, при пробое на корпус ток может возвращаться к источнику напряжения частично через защитный проводник, при этом сумма токов в токоподводящей цепи становится отличной от нуля. На этот суммарный ток реагирует специальный трансформатор, во вторичной цепи которого возникает ток, отключающий установку. Эффективность схемы защиты устанавливается при ее *испытаниях*.

**Схема Арона (метод двух ваттметров)** — схема для измерения мощности в несимметрично нагруженных трехфазных трехпроводных цепях.

**Схема Арона для прямого измерения активной мощности.** Трехпроводную цепь можно рассматривать как двухпроводную с общим обратным проводом. Поэтому при несимметричной нагрузке достаточно двух измерительных механизмов (рис. 171, а). Токосъемники включаются в два фазовых провода, к этим же проводам подключают входные клеммы цепей напряжения (соблюдая общее с токовой цепью направление потока энергии). Выходные клеммы обоих измерительных механизмов подсоединяют к третьему (не занятому) проводу (на рис. 171, а провод *L3*). В общем случае в качестве третьего (не

занятого) провода может быть использован любой из трех. Оба измерительных механизма образуют произведения  $p_1 = u_{13}i_1$  и  $p_2 = u_{23}i_2$ . В трехпроводной цепи всегда выполняется равенство  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$  и  $u_{13} = u_1 - u_3$ ,  $u_{23} = u_2 - u_3$ , так что из суммы показаний обоих измерительных механизмов получается суммарная трехфазная мощность:

$$\begin{aligned} p &= u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3 = u_1 i_1 - u_3 i_1 - u_3 i_2 + u_2 i_2 = \\ &= i_1 (u_1 - u_3) + i_2 (u_2 - u_3) = p_1 + p_2. \end{aligned}$$

Показания двух измерительных механизмов  $P_1$  и  $P_2$  надо сложить; при применении *комбинированного измерителя мощности* результи-

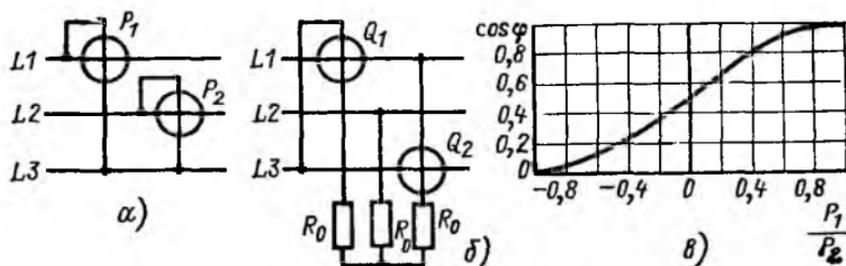


Рис. 171. Схема Арона:

*а* — схема измерения активной мощности методом двух ваттметров; *б* — схема измерения реактивной мощности методом двух ваттметров; *в* — диаграмма для определения коэффициента мощности по отношению измеренных значений  $P_1/P_2$

рующее значение получают прямым считыванием. При разности фаз (между током и напряжением) более  $60^\circ$  ( $\cos \varphi < 0,5$ ) один из ваттметров имеет отрицательное отклонение. Изменяя подключение цепи напряжения на обратное, делают отклонение вновь положительным и вычитают показание этого прибора из показания другого ваттметра.

В сетях с заземляющим проводом измерения по схеме Арона дают недостоверный результат, так как не выполняется условие равенства нулю суммы линейных токов. Для точных измерений в сомнительных случаях применяют *метод трех ваттметров*. В трехфазных четырехпроводных цепях может использоваться двойная схема Арона.

*Схема Арона для прямого измерения реактивной мощности.* Два ваттметра включаются своими токовыми цепями в два фазных провода, а цепи напряжения — через *схему создания искусственной нулевой точки* (сопротивления  $R_0$  на рис. 171, б). По сравнению со схемой Арона для прямого измерения активной мощности здесь линейные напряжения заменены фазовым напряжением третьей фазы, уменьшенным в  $\sqrt{3}$  раз и сдвинутым по фазе на  $90^\circ$ . Из показаний обоих приборов вычисляют общую реактивную мощность  $Q = \sqrt{3}(Q_1 + Q_2)$ . Множитель  $\sqrt{3}$  может быть учтен путем подбора соответствующего значения сопротивления или при градуировке шкалы.

Схема Арона для измерения коэффициента мощности. По измеренным значениям двух ваттметров в схеме Арона для прямых измерений активной мощности  $P_1$  и  $P_2$  коэффициент мощности в случае симметричной нагрузки сети вычисляют по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P_1 + P_2}{2 \sqrt{P_1^2 - P_1 P_2 + P_2^2}}$$

или определяют по диаграмме (рис. 171, в). При этом необходимо строго учитывать знаки  $P_1$  и  $P_2$ .

Схема Арона двойная — метод прямого измерения мощности в несимметрично нагруженных трехфазных четырехпроводных цепях.

Схема Арона двойная для прямого измерения активной мощности. Два двухэлементных ваттметра (см. Измерительный механизм дифференциальный) включаются токовыми цепями одной из катушек в два фазных провода. Ток третьего фазного провода пропускают через другую токовую катушку, но в противоположном направлении. Цепь напряжения подключается между обоими фазовыми проводами и искусственной нулевой точкой ( $kS$  на рис. 172, а). Измерительные

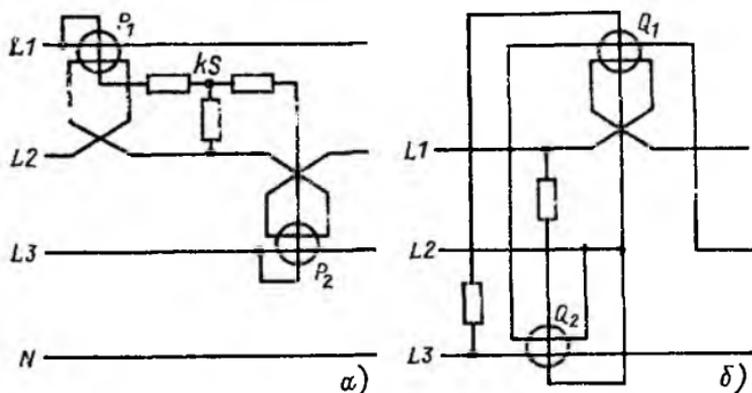


Рис. 172. Схема Арона двойная:

а — измерения активной мощности; б — измерения реактивной мощности

механизмы образуют произведения напряжения и разности токов, суммированием измеренных значений  $P_1$  и  $P_2$  получают общую трехфазную мощность. Условием правильности измерений является симметрия напряжений в четырехпроводной цепи:  $u_1 + u_2 + u_3 = 0$ ;

$$\begin{aligned} p &= u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3 = u_1 i_1 - i_2 (u_1 + u_3) + u_3 i_3 = \\ &= u_1 (i_1 - i_2) + u_3 (i_3 - i_2) = p_1 p_2. \end{aligned}$$

Погрешность измерения составляет треть той мощности, которая образована током среднего провода и разностью напряжений между искусственной нулевой точкой и средним проводом. Правда, эта погрешность чаще оказывается пренебрежимо малой, однако для целей расчета (оплаты) двойную схему Арона применять нельзя.

Схема Арона двойная для прямого измерения реактивной мощ-

ности. Подключая токовые цепи в фазовые провода, а цепи напряжения к сдвинутым по фазе на  $90^\circ$  напряжениям между нулевой точкой и нейтралью (фазное напряжение), можно использовать двойную схему Арона для измерения реактивной мощности (рис. 172, б).

Схема вентиляльная — электрическая схема, которая осуществляет посредством управляющего или коммутлирующего напряжения, чаще импульсного, пропускание или непропускание одного или нескольких сигналов (каналов).

Напряжение сигнала  $u_1$  может быть посредством коммутлирующего напряжения  $u_{sch}$  заблокировано или подключено, при этом в зависимости от коммутационного состояния на выходе либо есть напряжение  $u_2$ , либо его нет (рис. 173). Если речь идет об  $u_1$  и  $u_2$  как об аналоговых сигналах, то в качестве вентиляльной схемы могут использоваться коммутлирующие диоды или транзисторы. При цифровых сигналах применяются схемы И или НЕ—И. В измерительной технике вентиляльные схемы применяются прежде всего в аналого-цифровых преобразователях, стробоскопическом методе, частотомерах.

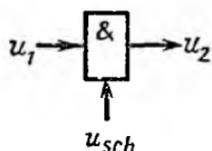


Рис. 173. Схема вентиляльная

Схема выключения аварийного потенциала — в настоящее время нестандартизованный и нереконструируемый способ защиты от поражения электрическим током.

Схема гетеростатическая — схема подключения электрометра со вспомогательным напряжением.

Схема Греча — разновидность схемы двухполупериодного выпрямления.

В целях измерений используют мостовую схему, в каждое плечо которой включено по одному диоду (см. Полная схема Греча) или два из них заменены активными сопротивлениями (см. Полусхема Греча).

Схема Гуммеля — схема, обеспечивающая необходимый при измерении реактивной мощности сдвиг фаз на  $90^\circ$ .

Подвижная катушка  $R_{sp}$  электродинамического измерительного механизма (см. Ваттметр) подключается последовательно к катушке с сопротивлением  $R_1$  и индуктивностью  $L_1$ , параллельно им обем подключается активное сопротивление  $R_2$ . Последовательно с полученным контуром соединяется катушка с  $R_3$  и  $L_3$  (рис. 174). Путем соответствующего расчета параметров схемы внутренних элементов ваттметра реактивной мощности (варметра) и внешних элементов

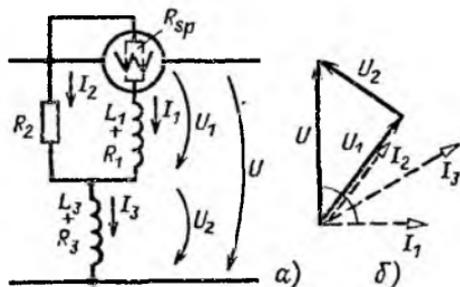


Рис. 174. Схема Гуммеля. Измерение реактивной мощности ваттметром со схемой создания искусственной нулевой точки по Гуммелю:  
а — схема измерения; б — векторная диаграмма

схемы, использования дросселя переменной индуктивности становится возможным получить сдвиг фаз между током подвижной катушки  $I_1$  и напряжением точно  $90^\circ$ .

Вследствие зависимости от частоты полного сопротивления катушки данная схема функционирует только на определенной частоте (обычно 50 или 60 Гц). Поэтому схема Гуммеля может применяться только для синусоидальных (без высших гармоник) напряжений. Расширение диапазона измерений по напряжению можно получить только путем использования трансформатора напряжения. Вагметр со схемой Гуммеля может применяться в однофазных цепях переменного тока, а также в симметрично нагруженных трехфазных четырехпроводных системах.

Схема двухтактная (схема со средней точкой) — одна из схем двухполупериодного выпрямления.

При двухтактной схеме в отличие от *однополупериодного выпрямления* используются обе полуволны измеряемого напряжения, снимаемого со вторичной обмотки входного трансформатора, имеющего вывод средней точки (рис. 175). Измерительный механизм вследствие своей инерционности формирует среднее арифметическое значение (см. *Средневыпрямленное значение*) тока и с учетом коэффициента формы шкала его может быть отградуирована в эффективных значениях.

Схема замещения (эквивалентная схема) — электрическая схема, характеризующая поведение (свойства, режим) реальных, технических конструктивных или схемных элементов через взаимодействие идеализированных элементов, состояние которых теоретически оценивается и описывается.

С помощью схем замещения удастся выразить и понять далеко не все физические процессы. Они применимы только при определенных условиях, предполагающих и допущениях.

*Схема замещения сопротивления.* Понятие «номинальное (заданное) значение сопротивления» справедливо только при постоянном токе. На переменном токе неизменно имеют место «паразитные» индуктивности и емкости (рис. 176, а), и при высоких частотах активное сопротивление увеличивается вследствие скин-эффекта. Возника-

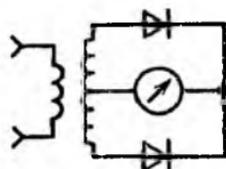


Рис. 175. Схема двухтактная

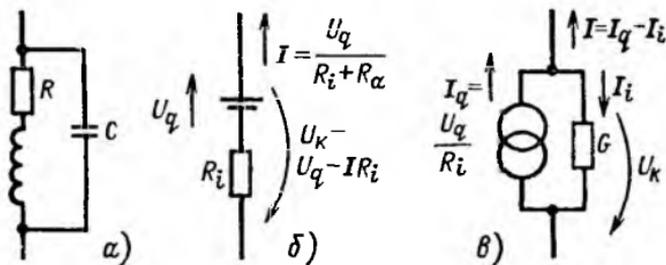


Рис. 176 Эквивалентная схема замещения:

а — активное сопротивление  $R$ , последовательная индуктивность  $L$  и параллельная емкость  $C$ ; б — эквивалентная схема замещения источника напряжения; в — эквивалентная схема замещения источника тока

ет угловая (фазовая) погрешность, выражаемая в первом приближении как угол потерь  $\delta_R$ :

$$\operatorname{tg} \delta_R \approx \omega \left( \frac{L}{C} - CR \right) = \omega \tau_R,$$

где  $\tau_R$  — постоянная времени сопротивления.

*Схемы замещения конденсаторов и катушек индуктивности.* Потери конденсаторов и катушек индуктивности для определенной частоты можно представить в виде последовательного или параллельного соединения активных сопротивлений. Изображение токов и напряжений в виде временных диаграмм позволяет определить угол потерь  $\delta$  и коэффициент потерь  $\operatorname{tg} \delta$  (табл. 13).

*Схемы замещения активных двухполюсников (схемы замещения источников напряжения и тока).* В простейшем случае замкнутая цепь тока состоит из источника (активный двухполюсник) и внешнего сопротивления  $R_a$  (пассивный двухполюсник), через которое те-

Таблица 13. Схемы замещения, векторные диаграммы и коэффициенты потерь катушек индуктивности и конденсаторов

	Конденсатор		Катушка индуктивности	
	на высоких частотах	на низких частотах	без сердечника	с сердечником
Эквивалентная схема замещения				
Векторная диаграмма				
Коэффициент потерь	$d'_c = \operatorname{tg} \delta_c = \omega CR'_v$	$d''_c = \operatorname{tg} \delta_c = \frac{l}{\omega CR''_v}$	$d'_L = \operatorname{tg} \delta_L = \frac{R'_w}{\omega L}$	$d''_L = \operatorname{tg} \delta_L = \frac{\omega L}{R''_w}$

Примечание. Емкость катушки  $C_v$  может не учитываться, если

$$\frac{1}{\omega C_v} \gg 10^3 \omega L.$$

чет ток  $I$ . Источником может быть источник напряжения, создающий напряжение  $u_0$  (ранее называлось электродвижущая сила (ЭДС)  $E$ ), со своим внутренним сопротивлением  $R_i$ . Эти схемы замещения применяются преимущественно в силовой электротехнике, а также для всех обычных источников напряжения (первичные и вторичные элементы, генераторы) (рис. 176, б). В информационной технике для расчета электронных схем используют преимущественно параллельную схему замещения, составленную из идеального (без сопротивления) источника тока  $I_0$  с внутренней проводимостью  $G$  (рис. 176, в).

**Схема запуска** (пороговый выключатель) — схема, обеспечивающая *запуск синхронизации*.

Входным сигналом схемы запуска может быть исследуемый сигнал любой формы, выходной сигнал всегда импульсный. Наиболее известной схемой запуска является триггер Шмидта. Эта схема запуска может быть реализована как на дискретных радиоэлементах, так и на интегральных микросхемах. По достижении определенного (во многих случаях установленного) значения входного напряжения (см. *Уровень синхронизации, запуска*) схема запуска переходит в другое состояние (опрокидывается). Снижение входного напряжения ниже определенного значения вызывает прежнее значение выходного напряжения (обратное переключение). На выходе формируется импульс. В измерительной технике схемы запуска нашли широкое применение в *аналого-цифровых преобразователях* и в *осциллографах*.

**Схема игольчатая** (см. Схема подключения электрометра).

**Схема идиостатическая** — схема подключения электрометра без вспомогательного напряжения.

**Схема косвенного подключения ваттметра** — вариант схемы подключения ваттметра с опосредованным подключением обоих измерительных цепей.

Цепи тока и напряжения *ваттметра* включаются во вторичные обмотки трансформатора тока и трансформатора напряжения (рис. 177). Номинальные значения тока и напряжения во вторичных обмотках могут достигать 5 А и 100 В. Схема косвенного подключения ваттметра применяется главным образом для измерения реактивной мощности и активной мощности в высоковольтных установках.

**Схема подключения ваттметра** — основные способы подключения приборов для измерения мощности и *измерения энергии*.

При использовании измерителей мощности или энергии независимо от измеряемой величины и типа тока (сети) различают прямую, полукосвенную и косвенную схемы подключения ваттметра. Обмотки катушек напряжения в общем случае рассчитаны на напряжение до 100 В. Поэтому в случае применения прибора в промышленных сетях необходимо в цепь напряжения включать добавочное сопротивление  $R_v$ . При этом следует обращать внимание, чтобы  $R_v$  подключалось между катушкой напряжения и нулевым проводом или линейным проводом, но не тем, в который включена цепь тока. В некоторых случаях могут возникать пробой или поверхностное перекрытие меж-

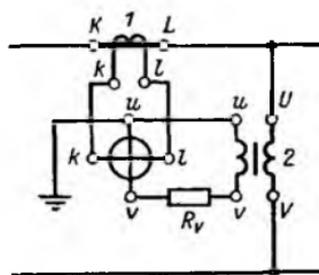


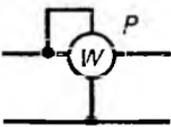
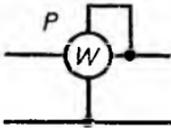
Рис. 177. Схема косвенного подключения ваттметра:

1 — трансформатор тока; 2 — трансформатор напряжения

ду катушками тока и напряжения, поэтому необходимо выполнять все требуемые подключения (соединения) и заземления.

При монтаже измерительных устройств значения добавочных и шунтирующих сопротивлений измеряются и учитываются при градуировке шкалы или выборе корректирующего коэффициента (поправки). Если показание ваттметра получилось отрицательным, это означает, что перепутана полюсовка цепи тока либо напряжения. В зависимости от характера подключения цепи напряжения различают схемы правильные по току или по напряжению. Для щитовых приборов и счетчиков электроэнергии обязательным является следующий порядок подключения: сначала подсоединяется цепь напряжения с соблюдением полярности, а затем — цепь тока. В зависимости от варианта схемы в результате измерения будет присутствовать погрешность, вызванная частичным потреблением измеряемой энергии (см. *Собственное потребление энергии*) цепью напряжения либо цепью тока. При точных измерениях, а также при измерении чалых мощностей это значение потребляемой энергии необходимо вычесть (или прибавить в зависимости от того, какая мощность измеряется — генератора или нагрузки) из показаний прибора (табл. 14). В *ваттметрах с самокоррекцией* эта поправка делается автоматически.

Т а б л и ц а 14. Варианты схем измерения

Мощность, выделяемая источником напряжения, $P_Q$	Схема измерения	Мощность, потребляемая нагрузкой, $P_L$
Вентильное включение по напряжению $P_Q = P + P_{Sp}$		Вентильное включение по току $P_L = P + P_{St}$
Вентильное включение по току $P_Q = P + P_{St}$		Вентильное включение по напряжению $P_L = P - P_{Sp}$

П р и м е ч а н и е.  $P$  — измеренное ваттметром значение;  $P_{Sp}$  — мощность, потребляемая цепью напряжения;  $P_{St}$  — мощность, потребляемая цепью тока.

Схема подключения электрометра — схема подключения измерительных приборов с электростатическим измерительным механизмом (*электрометров*).

При одностатической схеме (сдвоенное подключение) подвижные электроды соединены с неподвижным и измеряемое напряжение прикладывается к обоим неподвижным электродам (рис. 178, а). Показание имеет вид  $\alpha \sim U_x^2$ .

При гетеростатической схеме для повышения чувствительности при измерении малых напряжений  $U_x$  используется существенно большее вспомогательное напряжение  $U_n (U_n \gg U_x)$ . Показание пропорционально:  $\alpha \sim U_x U_n$ .

В зависимости от того, какими электродами подключается прибор к измеряемому напряжению (двумя неподвижными или подвижным

и заземленным защитным кольцом), различают квадрантную (многокамерную) (рис. 178, б) и игольчатую схемы (рис. 178, в).

Схема подключения электрометра многокамерная (квадрантная) (см. Схема подключения электрометра).

Схема полукосвенного подключения ваттметра — вариант схемы подключения ваттметра с опосредованным подключением токовой цепи.

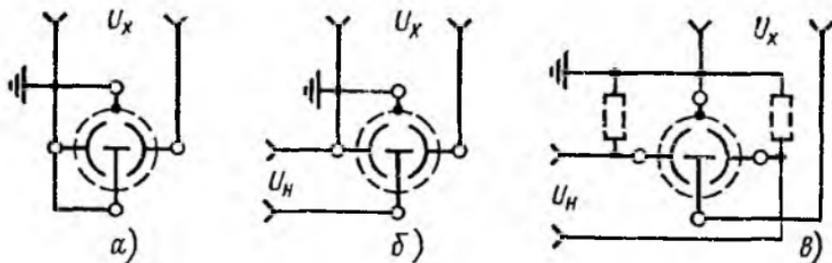


Рис. 178. Схемы подключения электрометра:

а — однофазная; б — гетростатическая квадрантная; в — гетростатическая игольчатая схема;  $u_x$  — измеряемое напряжение;  $u_H$  — вспомогательное напряжение

В токовую цепь включается токовый трансформатор, к вторичной обмотке которого подключается токовая цепь *ваттметра*. Номинальный ток вторичной обмотки может достигать 5 А. Напряжение падает непосредственно на цепи напряжения (рис. 179). Эта схема часто применяется при токах до 10 А и напряжении до 1 кВ.

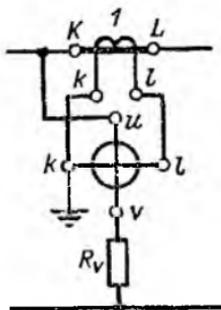


Рис. 179. Схема полукосвенного подключения ваттметра:

$I$  — трансформатор тока

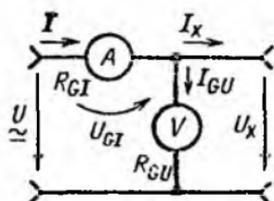


Рис. 180. Схема правильного включения амперметра

Схема правильного включения амперметра — вариант схемы для одновременного измерения тока и напряжения.

В данной схеме, в отличие от схемы правильного включения вольтметра, амперметр подключается непосредственно последовательно с измеряемым объектом; вольтметр при этом подключается

параллельно амперметру и измеряемому объекту (рис. 180). Из неизвестных величин ( $U_x, I_x$ ) только ток  $I_x$  измеряется верно. Индицируемое значение напряжения  $U = U_x + U_{GI}$  превышает истинное значение на падение напряжения  $U_{GI} = I_x R_{GI}$  на амперметре. Эта *систематическая погрешность* сводится к нулю при нулевом (в идеальном случае) внутреннем сопротивлении амперметра.

Схема правильного включения вольтметра — вариант схемы для одновременного измерения тока и напряжения.

В данной схеме в отличие от схемы правильного включения амперметра вольтметр подключается непосредственно параллельно измеряемому объекту; амперметр при этом подключается последовательно (рис. 181). Из неизвестных величин ( $U_x, I_x$ ) правильно из-

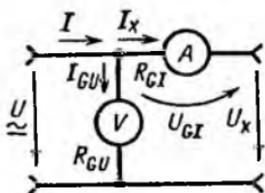


Рис. 181. Схема правильного включения вольтметра

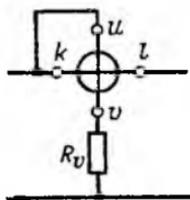


Рис. 182. Схема прямого подключения ваттметра

меряется только напряжение  $U_x$ . Индицируемое значение тока  $I = I_x + I_{GU}$  превышает истинное значение на значение тока, текущего через вольтметр  $I_{GU} = U_x / R_{GU}$ . Чем меньше утечка тока, т. е. чем выше внутреннее сопротивление вольтметра, тем меньше *систематическая погрешность*.

Схема прямого подключения ваттметра — вариант схемы подключения ваттметра с непосредственным включением прибора.

Токовая неподвижная катушка (цепь тока) *ваттметра* последовательно включается в измеряемую цепь. Подвижная катушка (цепь напряжения с добавочным сопротивлением) подключается параллельно интересующему участку цепи (рис. 182). При *измерении мощности постоянного тока* для расширения диапазона измерения допускается непосредственное подключение шунтирующего сопротивления к измеряемой цепи.

Схема Свибберия — схема компенсации температурной зависимости в измерительных механизмах.

Сопротивление подвижной катушки (рамки) измерительного механизма, изготовляемой из меди или алюминия, сильно зависит от температуры. Оно увеличивается приблизительно на 0,4 % на Кельвин (К). Путем комбинаций измерительного механизма с добавочным сопротивлением из материала с не зависящим от температуры сопротивлением (например, манганин) и шунтом, который в простейшем случае изготовлен из того же материала, что и рамка, и имеет такой же температурный коэффициент (рис. 183), удается компенсировать в значительной степени температурную погрешность.

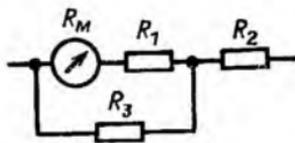
Схема создания искусственной нулевой точки — схема соединения сопротивлений для создания искусственной нулевой точки при измерениях в трехфазных сетях без нулевого провода.

Так как трехфазная система не имеет нулевого провода, то исоб-

ходимо из трех сопротивлений, соединенных звездой, образовать нулевую точку для подключения к ней цепи напряжения (например, при измерении мощности способом одного или трех ваттметров). Общее сопротивление этой схемы должно быть по значению точно таким же, как сопротивление катушки напряжения и добавочное сопротивление, чтобы не произошло сдвига нуля, вызывающего рост погрешности измерения. В некоторых случаях эта схема имеется

Рис. 183. Схема Свинберна:

$R_M$  — зависящее от температуры сопротивление измерительного механизма;  $R_1, R_2$  — зависящие от температуры сопротивления;  $R_3$  — сопротивление, имеющее тот же температурный коэффициент, что и сопротивление измерительного механизма



в конструкции прибора, но в основном поставляется как внешняя принадлежность. Зачастую применение искусственной нулевой точки в четырехпроводных цепях дает большую точность, чем подсоединение к нагруженному нулевому проводу.

Схема со средней точкой — двухтактная схема.

Схема счетная — электрическая схема для численного определения периодических или случайных событий (например, импульсов, частотных составляющих). Известны цифровые счетные схемы с электронными счетчиками и аналоговые счетные схемы, основанные на формировании среднего значения способом перезаряда конденсатора.

Счет (подсчет) — определение количества однородных элементов одного множества или событий как род метрологической деятельности.

В измерительной технике счет широко используется для определения измеренного значения (например, способ счета в цифровой измерительной технике). Счет может осуществляться путем смыслового восприятия или посредством счетных устройств. Объектами счета могут являться различающиеся в пространстве или во времени тела (например, предметы, витки, элементарные частицы), объекты, которые не могут быть отделены друг от друга без разрушения целого или могут быть подсчитаны только косвенно (например, зубья зубчатого колеса, носители заряда электрического тока), или последовательные во времени события (например, измерения, обороты, колебания, электрические импульсы). Результаты счета записываются в виде численного значения указанием обобщенной единицы счета (например, в штуках) или указанием единицы, характеризующей предмет (например, биты, витки или специальная для этого единица «обороты в минуту»), или простой единицы (например, пара).

Счетный каскад — функциональная составная часть электронного измерительного прибора.

Счетный каскад обрабатывает электрические импульсы на базе бистабильных переключаемых схем (триггеров). Один счетный каскад на основе одного триггера обеспечивает счет до двух. Результат выдает в двоичном коде. Различные варианты счетных каскадов изготавливаются в виде монолитных микросхем.

Существуют каскады (десятичные) счетные каскады. В связи с развитием микропроцессоров появились счетные каскады восьмеричных и шестнадцатеричных кодов.

Счетчик активной мощности (счетчик активной энергии) — сред-

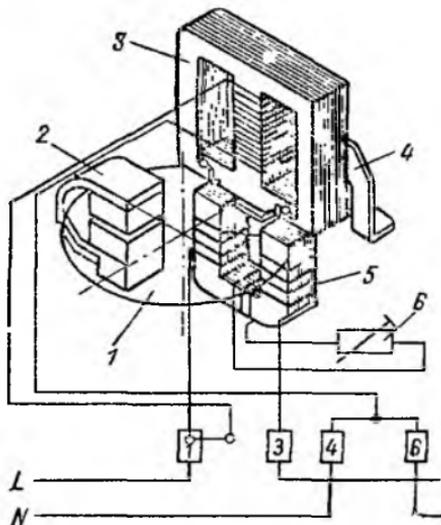
ство измерений для определения активной (действительной) составляющей электрической энергии.

Счетчик активной мощности является *индукционным счетчиком*, у которого число оборотов алюминиевого диска  $n \sim UI$  есть мера измеряемой мощности. Это означает, что скорость вращения диска тем выше, чем больший ток течет через рабочую катушку. Число оборотов в единицу времени подсчитывается счетным механизмом, показания которого пропорциональны электрической энергии:  $n \sim W$ .

Все без исключения счетчики активной мощности выполняются в настоящее время широкодиапазонными. Их номинальное напряжение совпадает с сетевым напряжением; нагрузочные диапазоны, отвечающие различным номинальным и предельным значениям токов, соответствуют фактическому потреблению мощности в эксплуатируемых токовых цепях. При изменении направления потока энергии, например при переходе с электроснабжения на электропотребление, направление вращения рабочего органа счетчика активной мощности изменяется на противоположное.

В зависимости от типа сети и потребителей применяют различные *способы подключения счетчиков*. Для учета потребления энергии в жилых помещениях, малых и средних значений потребляемой мощности служат однофазные *счетчики переменного тока*. При больших значениях общей потребляемой

Рис. 184. Счетчик индукционный:  
7 — дискообразный якорь; 2 — тормозящий магнит; 3 — сердечник катушки напряжения; 4 — противоположус; 5 — катушка тока; 6 — регулировочное сопротивление



мощности для учета используются *трехфазные счетчики*.

Счетчик для четырехпроводной сети (см. Счетчик трехфазный).

Счетчик индукционный (индукционный измерительный механизм с бегущим полем) — разновидность конструкции *измерительного механизма индукционного*.

Счетчик индукционный содержит два двухфазных индукционных двигателя с одним сильно заторможенным диском, который вращается в режиме проскальзывания (пробуксовки) с малой угловой скоростью (числом оборотов).

Измерительный механизм (рис. 184) состоит из привода, ротора в форме диска из алюминия, тормозящих магнитов и подвеса (на рисунке не показан). Приводом служит статор двигателя счетчика. Он состоит из U-образного магнитопровода с катушкой, по которой пропускается рабочий ток. Над ним размещен якорный диск (короткозамкнутый ротор мотора счетчика) и магнитопровод с расположен-

ной на нем катушкой цепи напряжения, противополож которого приходится между полюсными наконечниками токового магнитопровода. При помощи регулируемого сопротивления обеспечивается требуемый фазовый сдвиг между магнитными потоками катушек тока и напряжения.

Обмотки (токовая и напряжения) создают на полюсных поверхностях их сердечников переменные потоки, благодаря которым в якорином диске индуцируются напряжения (ЭДС), возникают вихревые токи и, как следствие, вращающий момент, вызывающий вращение алюминиевого диска в направлении движения поля. Число оборотов в единицу времени зависит от магнитного потока через катушку поля и подсчитывается счетным механизмом. Его показания соответствуют измеренному значению электрической энергии.

Счетчик киловатт-часов — часто употребляемое перекоммандуемое обозначение счетчика электроэнергии.

Счетчик максимальных значений — счетчик электроэнергии, который в отличие от счетчика перерасхода энергии определяет максимальную нагрузку потребителя.

На практике нагрузка колеблется. Кратковременные всплески, длительность которых не превышает нескольких минут, оказывают влияние на количество и, следовательно, стоимость потребляемой мощности (энергии). Среднее значение получают путем усреднения потребляемой энергии за определенный промежуток времени  $t_{\text{из}}$ , называемый периодом измерения (чаще 15 мин, но возможно и 30 и 60 мин). За максимум мощности или пик нагрузки принимают наибольшую среднюю за период измерения  $t_{\text{из}}$  мощность (рис. 185).

Счетчик максимальных значений имеет следящий указатель или шкалу барабанного типа, которые отображают среднее значение за период измерений, причем остается на указателе наибольшее из средних значений. В течение более длительного периода наблюдений зарегистрированное максимальное значение передается в счетный механизм, который суммирует измеренные значения.

Счетчик многотарифный — счетчик электроэнергии, у которого механизм привода связан с несколькими (до четырех) счетными механизмами.

Переключение счетных механизмов с различными коэффициентами преобразования (что соответствует различным тарифам) осуществляется при помощи часового механизма или дистанционно, посредством приводных в действие электромагнитом качающейся оси, дифференциального разъема (зажима) или спускового регулятора.

Счетчик переменного тока — счетчик индукционный для непосредственного включения в однофазную сеть переменного тока.

Счетчик переменного тока служит для учета энергии и опреде-

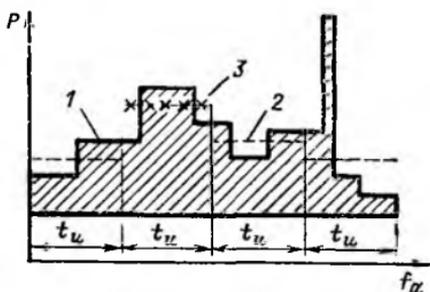


Рис. 185. Счетчик максимальных значений:

1 — график изменения нагрузки; 2 — мощность, усредненная за период измерений  $t_{\text{из}}$ ; 3 — максимум средней мощности

ления платы за нее при малых и средних значениях общей потребляемой мощности, например в жилых помещениях. Счетчик переменного тока является *широкодиапазонным счетчиком* с перегрузочной способностью до 600 % и номинальной силой тока 10 А. Учитывая, что в позднее время нагрузка счетчика переменного тока не превышает 0,5 % их номинальной мощности, то (при напряжении сети 200 В) допустимый диапазон измеряемых мощностей составляет от 10 Вт до 13,2 кВт. При больших значениях потребляемой мощности учет энергии ведется в основном с помощью *трехфазных счетчиков*.

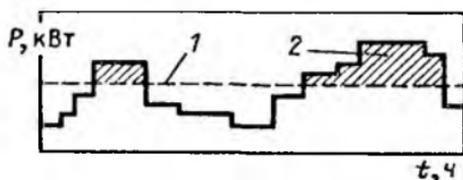


Рис. 186. Счетчик перерасхода энергии; диаграмма перерасхода:

1 — установленный лимит мощности; 2 — перерасход

Счетчик перерасхода энергии — счетчик электрической энергии для определения и расчета перерасхода электроэнергии.

Счетчик перерасхода энергии определяет, в отличие от *счетчика максимальных значений*, электроэнергию, потребленную сверх заранее определенного значения мощности (рис. 186).

Счетчик перерасхода энергии имеет два счетных механизма, один из которых показывает суммарную потребленную энергию, а другой — энергию, потребленную сверх лимита мощности. Счетчик перерасхода энергии содержит синхронный электродвигатель, работающий продолжительное время,

подключенный к измеряемому напряжению и приводящий в движение привод через дифференциальную передачу. Число оборотов с помощью передаточного механизма делается пропорциональным соответствующей граничной мощности. Механическое блокировочное устройство обеспечивает функционирование счетного механизма перерасхода энергии, когда число оборотов и, следовательно, потребляемая мощность превосходят установленные значения.

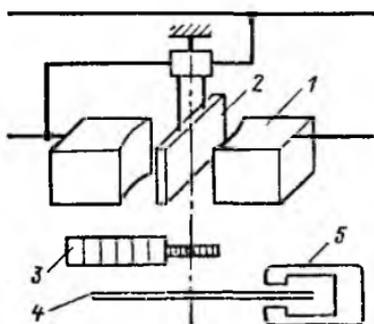


Рис. 187. Счетчик постоянного тока:

1 — неподвижная катушка; 2 — подвижная катушка; 3 — счетный механизм; 4 — диск тормоза; 5 — магнит тормоза

Счетчик постоянного тока — измерительный прибор для определения электрической энергии постоянного тока и напряжения.

Счетчик постоянного тока имеет конструкцию электродвигателя. Электрическая схема подключения счетчика к измеряемой цепи обеспечивает возникновение вращающего момента ротора вследствие взаимодействия тока поля статорной обмотки и напряжения поля якорной обмотки (рис. 187). Наряду с вращающим моментом, пропорциональным мощности тока в изме-

ряемой цепи, возникает пропорциональный числу оборотов ротора тормозящий момент, обусловленный вихревыми токами. Поэтому скорость вращения ротора является мерой потребляемой энергии. Численное значение получают в основном посредством механического счетного механизма.

Счетчик реактивной энергии — средство измерений реактивной составляющей электрической энергии.

В счетчиках реактивной энергии применяются такие же индукционные счетчики, как в *счетчиках активной энергии*; схемы счетчиков также в принципе одинаковы. Так как  $\sin \varphi = \cos(90^\circ - \varphi)$ , то из счетчика активной энергии получается счетчик реактивной энергии; при этом внутренний фазовый сдвиг  $+90^\circ$  любого механического привода или увеличивается на  $90^\circ$  и становится равным  $180^\circ$ , что свидетельствует об индуктивном характере реактивного тока, либо фазовый сдвиг становится равным  $0^\circ$ , что свидетельствует об емкостном характере реактивного тока. Вращение подвижной части зависит как от напряжения, подаваемого на катушку напряжения через подключенное добавочное омическое сопротивление, так и от тока, протекающего через параллельно подключенные сопротивления и катушку тока (счетчик реактивной энергии с измерительным механизмом реактивной мощности). Счетчик реактивной энергии может применяться и в трехфазной сети при условии внешнего пересключения концов катушки напряжения на другие («чужие») фазы, что обеспечивает необходимый фазовый сдвиг. Основным условием получения верных показаний для всех типов счетчиков реактивной энергии, включенных на «чужие фазы», является соблюдение последовательности фаз, поэтому при включении в сеть необходимо использование *фазоуказателя*.

Отстающий по фазе ток вызывает вращение диска счетчика в прямом направлении, опережающий — в обратном. Если хотя бы в обоих случаях получить вращение в прямом направлении, то подключенные к измеряемой цепи концы катушек тока меняют местами. Чтобы предотвратить обратное вращение механизма счетчика в любом случае, счетчики реактивной энергии снабжаются блокировкой обратного вращения.

Аналогично *счетчикам перерасхода активной энергии* существуют счетчики избытка реактивной энергии, учитывающие лишь ту часть реактивной энергии, которая имеет место при значениях коэффициента мощности ниже критического (например,  $\cos \varphi = 0,8$ ).

Счетчик тарифный — счетчик электрической энергии с одним или несколькими тарифными устройствами.

В зависимости от задания и требований к оплате за пользование электроэнергией применяют один из следующих приборов: *счетчик максимальных значений, счетчик многотарифный, счетчик перерасхода энергии*.

Счетчик трансформаторный — счетчик трехфазный электроэнергетики, подключаемый к сети через измерительный трансформатор.

Счетчик электроэнергии подключается через измерительный трансформатор в тех случаях, когда напряжение сети и ток нагрузки (или один из этих параметров) имеют более высокое значение, чем обычные номинальные значения напряжений и предельных токов для счетчика с непосредственным подключением. При большом коэффициенте трансформации трансформаторные счетчики обеспечивают учет в области малых нагрузок довольно значительного количества энергии. Конструкция в основном не отличается от счетчиков непо-

средственного подключения, только коммутационный блок соответствующим образом изменен.

В зависимости от того, должен ли учитываться в показаниях счетного механизма коэффициент трансформации полностью, частично или вовсе не учитываться, различают трансформаторные счетчики с первичным, полунервничным и вторичным счетными механизмами.

**Счетчик трехфазный** (см. Счетчик трехфазный электроэнергии).

**Счетчик трехфазный электроэнергии** — счетчик электрической энергии для трехфазной сети.

Прибор имеет два или три механизма, которые воздействуют на один, два или три роторных диска, насаженных на общую ось. Вращающие моменты суммируются, и отсчетное устройство показывает суммарную трехфазную энергию. Прибор с двумя механизмами (счетчик для трехпроводной системы) обеспечивает корректные измерения только в трехфазных трехпроводных системах, в которых сумма линейных токов равна нулю. Четырехпроводный счетчик с тремя измерительными системами предназначен для трехфазных четырехпроводных систем и вследствие большей достоверности измерений может применяться в трехпроводных системах.

Конструкция прибора предусматривает возможность его подключения к сети непосредственно или через измерительный трансформатор (см. *Счетчик трансформаторный*).

**Счетчик широкодиапазонный** — индукционный счетчик, обладающий высокой нагрузочной способностью.

У всех электрических счетчиков нагрузочная способность определяется значением предельного тока. Это значение обычно является кратным номинальному току и представляет собой наибольшее значение тока, при котором допускается эксплуатация прибора. Во многих случаях это значение указывается в скобках ниже номинального тока. У широкодиапазонных счетчиков нагрузочная способность составляет 300, 400 или 600 % от номинального тока. Современные счетчики могут работать при трех-, четырех- и шестикратной перегрузке по току и допускают перегрузку в 1,2 раза по напряжению без механических или термических повреждений.

**Счетчик электрической энергии** (в обиходе просто счетчик) — прибор для измерения электрической энергии.

Счетчик электрической энергии является миниатюрной электрической машиной (см. *Индукционный счетчик*), состоящей из неподвижного статора и вращающегося ротора. Вследствие взаимодействия между вращающимися или бегущим (линией перемещающимся) полем статора и токами ротора возникают силы, обуславливающие вращающий момент, приводящий ротор в движение. Число оборотов ротора, являющееся мерой электроэнергии, подсчитывается счетным механизмом и индицируется в цифровом виде при помощи цифровых роликов.

Существуют счетчики активной, реактивной энергии переменного тока и счетчики энергии для цепей постоянного тока. С целью наиболее экономичной эксплуатации источников электроэнергии и распределительных устройств организуют по возможности непрерывный режим потребления; при этом используется комбинация базового счетного механизма с одним или несколькими тарифными устройствами, например *многотарифный счетчик*, *счетчик максимальных (суммарных) значений*, *счетчик перерасхода энергии*. Серийно выпускаемые счетчики электроэнергии наряду с присоединенными испытаниями подвергаются метрологической проверке в соответствии с существующей

нормативно-технической документацией. На выдержавшие поверку приборы наносится клеймо, свидетельствующее о допуске к эксплуатации.

**Счетчик электронный** — измерительный прибор для подсчета дискретных электрических событий (например, импульсов). Существует несколько типов электронных счетчиков, каждый из которых предназначен для конкретной практической задачи.

Принцип действия счетчика событий (рис. 188, а) основан на пропускании импульсов стробирующей схемой в течение измерительного интервала. Импульсы с выхода стробирующей схемы запоминаются *счетной схемой* и результат представляется на цифровом индикаторе.

В схеме *счетного частотомера* (рис. 188, б) стробирующая схема электронного счетчика управляется генератором с кварцевой стабилизацией. Измеряемая частота равна численному значению, занесенному в память счетного каскада и отображаемому цифровым индикатором, когда продолжительность открытого состояния стробирующей схемы составляет 1 с.

При измерении *временных интервалов* (например, измерение длительности периода) последовательность импульсов кварцевого генератора подается на стробирующую схему. Далее схема аналогична счетчику событий. При частоте повторения импульсов 1 Гц показание индикатора равно времени открытого состояния стробирующей схемы в секундах.

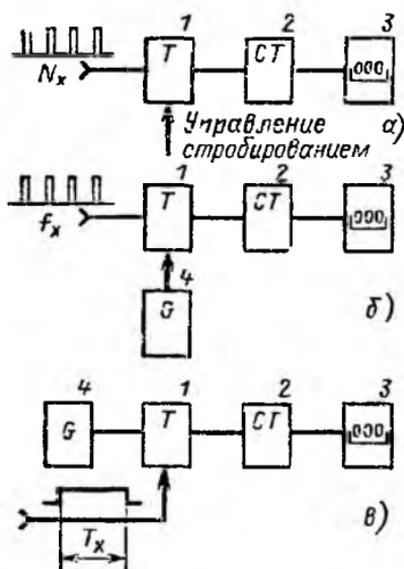


Рис. 188. Счетчик электронный:

а — счетчик событий; б — счетный частотомер; в — измеритель временных интервалов; 1 — стробирующая схема; 2 — счетная схема; 3 — цифровая индикация; 4 — генератор

## Т

**Тахогенератор** — прибор для электрического измерения числа оборотов.

Тахогенератор представляет собой генератор постоянного или переменного тока с магнитным возбуждением. Получаемое напряжение строго пропорционально числу оборотов, если не превысить установленный изготовителем предел нагрузки. Диапазон измерений тахогенераторов простирается от 0 до  $10^4$  мин<sup>-1</sup>, погрешность находится в пределах  $\pm 0,5$  до 1,5 %.

Тахометр на вихревых токах — прибор для механического измерения числа оборотов.

Основу конструкции тахометра на вихревых токах составляет постоянный магнит, вращающийся с измеряемой угловой скоростью внутри металлического стакана (колокола), также способного вращаться. Вследствие движущегося магнитного поля в теле стакана (колокола) индуцируется напряжение, вызывающее возникновение вихревых токов. Они создают вращающий момент, направленный против момента калиброванной пружины, и обеспечивают отклонение указателя.

Тахометры на вихревых токах широко применяются для измерения скорости в транспортных средствах.

**Тахометр центробежный** — механический прибор для измерения числа оборотов.

Пропорциональность числа оборотов и центробежной силы вращающейся части позволяет перевести число оборотов в эквивалентное значение силы, которая воздействует на калиброванную пружину (рис. 189).

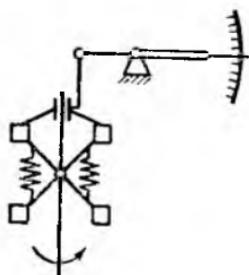


Рис. 189. Тахометр центробежный

**Телевизионная синхронизация** — запуск развертки осциллографа (см. *Запуск*) телевизионными импульсами.

Телевизионная синхронизация предусматривается в тех осциллографах, которые преимущественно применяются в телевизионном сервисе. Выбор коэффициента развертки производится чаще путем нажатия кнопки, а автоматическая синхронизация осуществляется с частотой кадров или частотой строк.

**Телеметрия** — техника измерений на расстоянии.

**Тензодатчик** — сокращенное наименование тензометрического преобразователя.

**Термометр контактный** — прибор для измерения температуры.

При контактных способах измерения температуры теплопередача обеспечивается физическим контактом. Различают контактные термометры на термоэлектрическом и термомеханическом эффектах.

**Термометр контактный механический** — прибор для измерения температуры.

Термометры контактные механические основаны на эффекте изменения объема материалов при изменении температуры. Примером является ртутный или спиртовой столбик, длина которого имеет однозначную линейную зависимость от температуры. На этом основании известны ртутные и спиртовые термометры.

**Термометр контактный электрический** — прибор для измерения температуры.

Принцип действия термометров контактных электрических основан на термоэлектрическом эффекте *термоэлемента* (термопары) или на зависимости электрического сопротивления от температуры (см. *Термометры сопротивления*). Индикация измеренного значения температуры может осуществляться в аналоговой форме или в цифровой (после *аналого-цифрового преобразования*).

**Термометр сопротивления** — электрический прибор для измерения температуры

В термометрах сопротивления находят применение омические

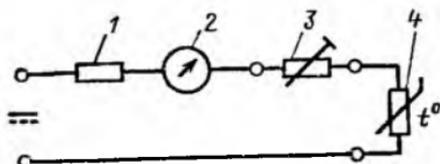
(активные) сопротивления  $R_t$ ,  $N_t$  или полупроводники. Температура преобразовывается в изменение сопротивления (рис. 190), затем сигнал усиливается и/или оценивается *мостовой схемой*. Использование аналого-цифрового преобразователя обеспечивает показания в цифровом виде.

**Термопреобразователь** — измерительный преобразователь для измерения постоянных и переменных токов.

Через электронагревательный элемент пропускается ток  $i$ , пропорциональный измеряемой величине, и нагревает прямо или косвенно

Рис. 190. Термометр сопротивления:

1 — сопротивление подводящих проводов; 2 — индикатор; 3 — уравнивающее сопротивление; 4 — терморезистор



но спай терморезистора. Индицируется термоЭДС, пропорциональная приблизительно  $i^2$ . Этот способ позволяет получить эффективное значение независимо от формы тока и при малой потребляемой мощности. Спай терморезистора может быть непосредственно связан с нагревательным элементом (рис. 191, а). Он может располагаться также внутри тонкостенной трубочки, на которую наматывается электронагревательный элемент (рис. 191, б). Термический контакт спаев терморезистора

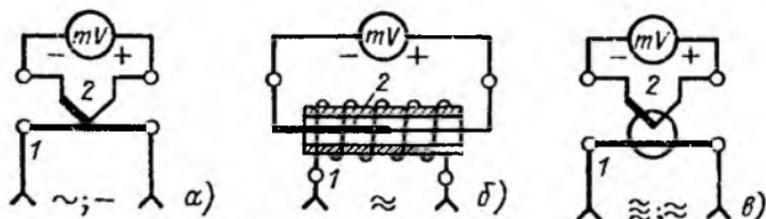


Рис. 191. Термопреобразователь. Примеры конструкции:

1 — нагреваемый провод; 2 — термоэлемент

с нагревательным элементом может быть осуществлен через стеклянную границу (рис. 191, в). Термопреобразователь для малых токов запаявается в вакуумированную стеклянную колбу с цоколем или без него

**ТермоЭДС** — выходная величина терморезистора.

При нагревании места соединения различных металлов или сплавов возникает термоЭДС (термоэлектрический эффект Зеебека). Значение этой термоЭДС зависит от комбинации материалов, образующих терморезистор, и температуры. Оно лежит в диапазоне 10—50 мВ постоянного напряжения.

ТермоЭДС термоэлементов используется для измерений, однако при наличии внутри измерительной цепи контакта различных металлов и разницы температур этих элементов появляется нежелательная термоЭДС, которая может исказить результат измерения.

Термоэлемент (термопара) — составная часть электрических контактных термометров и *термопреобразователей*.

Термоэлемент представляет собой две сваренные с одной стороны проволоочки из различных металлов (например,  $\text{Cu-Ni-Ni}$ ,  $\text{PtRh-Pt}$ ). Спай находится в месте измерения (рис. 192). При нагревании на свободных (и холодных) концах возникает термоэлектрическое напряжение, значение которого пропорционально измеряемой температуре.

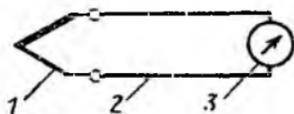


Рис. 192. Термоэлемент:

1 — термопара; 2 — измерительный кабель; 3 — индикатор термоэлектрического напряжения или температуры

Тестер электронный для прозвонки кабелей — прибор, необходимый при проведении электромонтажных работ.

Техника телеизмерений (телеметрия) — формирование и передача измерительных сигналов от удаленных *измерительных устройств*.

Техника телеизмерений как область техники занимается проблемами передачи сигналов от измерительных средств по проводным или радиоканалам связи к устройствам регистрации и обработки (независимо от дальности передачи). Телеметрические средства при-

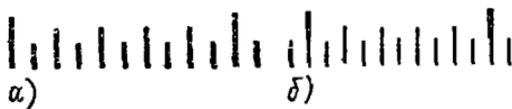


Рис. 193. Тип делений

а — грубая градуировка; б — грубо-точная градуировка

меняются в тех случаях, когда место измерения является труднодоступным или/и измерительная информация должна обрабатываться централизованно. Канал передачи должен быть настроен так, чтобы в процессе передачи измерительные сигналы не искажались.

Тип делений — форма выполнения отметок делений.

*Аналоговая шкала* может быть представлена совокупностью делений для грубого или грубо-точного отсчета. Деления для грубого отсчета выполняются штрихами одинаковой толщины (рис. 193, а). Деления для грубо-точного отсчета выполняются штрихами, некоторые из которых, удлиненные (основные), имеют утолщенные верхние половинки (рис. 193, б). Оба типа делений используются для различных *способов расположения делений*.

Тип шкалы — форма исполнения аналоговой шкалы.

Для электроизмерительных приборов основные типы шкал (табл. 15) и их размеры установлены в стандартах.

Ток измерительного механизма обратный (см. Входное сопротивление комбинированного прибора).

Точность — совпадение изображения с оригиналом.

1) Свойство (метрологическая характеристика) средства изме-

Таблица 15. Типы шкал

Шкала	Указатель	Направление отклонения при увеличении измеряемого значения	
Секторная		Точка поворота указателя посредине внизу	Слева направо
Угловая		То же в нижнем правом углу	Снизу слева вверх вправо
Круговая		То же в центре	По часовой стрелке
Горизонтальная		Указатель шкалой под	Слева направо
Вертикальная		То же справа от шкалы	Снизу вверх

реший. Этот показатель качества в соответствии с принятой классификацией оценивается *классом точности*.

2) Обозначение обратного значения *относительной погрешности*.

3) Краткая форма понятия *точность измерений*.

4) Точность считывания (см. *Погрешность считывания*).

Точность измерений — понятие, распространенное в обиходной речи, не является четким (однозначным), не рекомендуется к употреблению.

Пользоваться понятием «точность измерений» неудобно, так как меньшие численные значения соответствуют большей точности, например, 0,1 % точнее, чем 0,5 %. Вместо точности измерений пользуются понятием *погрешность измерений* или *границы погрешности*.

Точный измерительный прибор (прецизионный) — средство измерений, используемое преимущественно в *прецизионной измерительной технике*. Часто на практике прецизионными, точными, считаются приборы с *классом точности* лучше 0,5.

Трансвертер — общепринятое обозначение преобразователей постоянного напряжения в технике электропитания.

Постоянное напряжение преобразуется в прямоугольное, далее преобразуется еще каким-либо образом и вновь выпрямляется. В зависимости от фазы первичных токов различают *разделительные преобразователи* по току и по напряжению, *суммирующий преобразователь*.

**Трансформатор дифференциальный** — элемент конструкции измерительных мостов переменного тока и модуляторов.

В дифференциальном трансформаторе первичная обмотка разделена пополам строго симметрично. Положение сердечника регулируется в направлении, показанном на рис. 194 стрелкой. Только при симметричном положении сердечника относительно обеих частей обмотки сохраняется равенство  $U_{12} = U_{32}$ . Во всех остальных случаях

$$U_{12} \pm \Delta U = U_{32} \mp \Delta U.$$

**Трансформатор измерительный комбинированный** — конструктивное соединение трансформатора тока и трансформатора напряжения. Преимущества трансформатора измерительного комбинированного

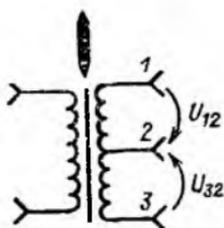


Рис. 194. Трансформатор дифференциальный

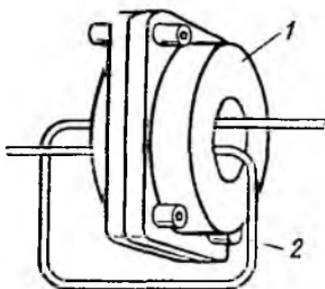


Рис. 195. Трансформатор измерительный проходной:

1 — вторичная обмотка с несколькими выводами, на сердечнике, в изолирующем корпусе;  
2 — провод измеряемой цепи, играющий роль первичной обмотки

состоит в экономии дорогостоящих изоляционных материалов и необходимости для их размещения места

**Трансформатор измерительный проходной** — переносной многодиапазонный измерительный трансформатор тока.

Вторичная обмотка и ферромагнитный сердечник конструктивно объединены. Первичная линия (ток которой измеряется) должна проходить через трансформатор «насквозь» (рис. 195). Диапазон измерения определяется числом проходящих через трансформатор проводников.

**Трансформатор напряжения** — устройство, применяемое в силовой (высоковольтной) технике для целей измерений, защиты и безопасности (см. *Трансформатор электрический измерительный*).

Трансформаторы напряжения являются трансформаторами малой мощности, способствующими проведению экономичных и безопасных измерений напряжения в высоковольтных электроустановках (рис. 196).

Распространяющиеся на трансформаторы напряжения стандарты нормируют погрешность коэффициента трансформации и сдвига фазы, прочность изоляции, нагрузочную способность вторичной цепи

(полную проводимость нагрузки), маркировку клемм. Для трансформаторов напряжения необходимо соблюдать *правило подключения к измеряемой цепи*. В соответствии с этим правилом один из полюсов вторичной цепи должен быть зашунтирован, незашунтированный полюс вместе с сердечником должен быть заземлен.

Номинальный коэффициент трансформации  $K$  выражается через номинальные значения напряжений и количество витков в обмотках следующим образом:

$$K = \frac{U_p}{U_s} \approx \frac{N_p}{N_s},$$

где индекс  $p$  указывает на первичную, а индекс  $s$  — на вторичную обмотки.

Трансформатор тока — устройство, применяемое в силовой электротехнике для целей измерений, защиты и безопасности (см. *Трансформатор электрический измерительный*).

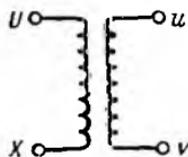


Рис. 196. Трансформатор напряжения:

$UX$  — присоединительные зажимы первичной обмотки;  $uv$  — присоединительные зажимы вторичной обмотки

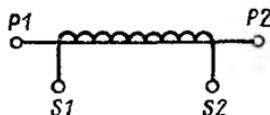


Рис. 197. Трансформатор тока:

$P1, P2$  — присоединительные зажимы первичной обмотки;  $S1, S2$  — присоединительные зажимы вторичной обмотки

Трансформаторы тока являются трансформаторами малой мощности, посредством которых осуществляется экономичное и безопасное измерение тока на электроустановках среднего и высокого напряжений (рис. 197). В распространяющихся на трансформаторы тока стандартах нормируются погрешности коэффициента трансформации и сдвига фазы, прочность изоляции, нагрузочная способность вторичной цепи (полное сопротивление нагрузки) и обозначение клемм.

Для трансформаторов тока необходимо соблюдать *правила подключения измерительного трансформатора*. Основным при этом является то, что вторичная цепь не должна работать в режиме холостого хода. Таким образом, возможны два варианта: либо номинальное полное сопротивление нагрузки, либо короткое замыкание вторичной обмотки. Поэтому устройства защиты во вторичную цепь не включаются.

Номинальный коэффициент трансформации определяется через параметры первичной (индекс «п») и вторичной (индекс «в») цепей — номинальные токи  $I$  и число витков  $N$ :

$$K = \frac{I_p}{I_v} \approx \frac{N_v}{N_p}.$$

Разновидностями конструкции трансформатора тока являются *многодиапазонный* и *суммирующий трансформаторы тока*, из переносных конструкций — *проходной трансформатор тока*, *токотрансформаторные клещи*.

Трансформатор тока многодиапазонный — разновидность конструкции *трансформатора тока*.

Трансформатор тока многодиапазонный в стационарном исполнении имеет на сердечнике две или несколько вторичных обмоток (рис. 198). Переносной вариант известен под названием *измерительных клещей*.

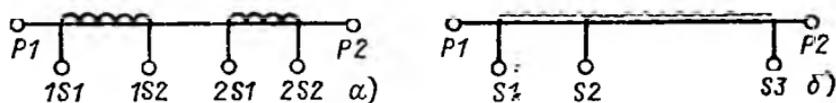


Рис. 198. Трансформатор тока многодиапазонный:

*а* — с несколькими отдельными вторичными обмотками; *б* — с несколькими отпайками во вторичной обмотке

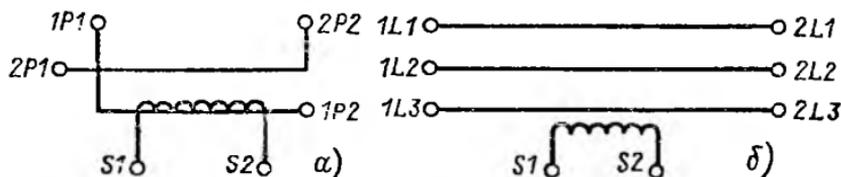


Рис. 199. Трансформатор тока суммирующий:

*а* — с несколькими первичными обмотками; *б* — как элемент токовой защитной схемы

### Трансформатор тока суммирующий.

1. *Трансформатор тока* с несколькими первичными обмотками, которые могут питаться различными, но синхронизированными сетями (рис. 199, *а*). Вторичный ток представляет собой сумму первичных токов, помноженных на коэффициенты трансформации.

2. Необходимый элемент токовых защитных схем. Первичную цепь трансформатора тока суммирующего образуют прямой и обратный токопроводы защищаемой электроустановки (рис. 199, *б*). При нормальной работе установки сумма токов в названных токопроводах равна нулю и во вторичной цепи индуцированное напряжение отсутствует. Только в случае аварии, т. е. когда ток возвращается к источнику в обход трансформатора, появляется вторичное напряжение, вызывающее отключение поврежденной цепи.

Трансформатор электрический измерительный — рабочее средство сильноточной электротехники, являющееся вспомогательным для измерительных устройств.

В электронизмерительной технике трансформаторы электрические измерительные служат для пропорционального и согласованного по фазе преобразования подлежащих измерению переменных токов и напряжений до уровней, которые могут быть измерены. В резуль-

тате достигается расширение диапазонов измерения используемых измерительных приборов и гальваническое разделение измерительной цепи от измеряемой, к которой подключены измерительные приборы. Существуют *трансформаторы тока*, *трансформаторы напряжения* и комбинированные измерительные трансформаторы.

**Трубка двухлучевая** — электронно-лучевая трубка, на экране которой могут изображаться одновременно два (и более) процесса.

Необходимые для записи двух процессов электронные лучи формируются отдельными электронными пушками. Горизонтальная (временная) развертка осуществляется отдельно для каждого луча. Возможно также расщепление излучаемого кагодом потока электронов (трубка с расщепляемым лучом). Обе части луча отклоняются в горизонтальном направлении абсолютно синхронно.

**Трубка запоминающая** — электронно-лучевая трубка с запоминающим электродом.

Записывающий (электронный) луч создает на запоминающем электроде (мишени) по облученному следу заряженное состояние. При бистабильном (двоичном) способе запоминания запоминающий слой наносится непосредственно на внутреннюю сторону экрана, из которого электронный луч выбивает вторичные электроды. При этом возникает положительно заряженный рисунок (потенциальный рельеф) на отрицательно заряженной поверхности. Вспомогательные катоды (коллекторы) обеспечивают «орошение» всего экрана, возвращая часть электронов вторичной эмиссии. При этом попадание вторичных электронов на положительно заряженные элементы экрана вызывает их свечение. Это состояние может сохраняться многие часы без заметной потери качества при высокой яркости. Стирание потенциального рельефа происходит при получении мишенью равномерного отрицательного заряда.

Многостабильный способ запоминания (записи) (так называемый полутоновый способ) реализуется посредством специальной запоминающей (барьерной) сетки, которая помещается в трубке на расстоянии нескольких миллиметров от светящегося экрана.

В запоминающих трубках вычислительных машин используется способ, представляющий собой комбинацию вышеназванных способов запоминания.

## У

**Угол потерь (диэлектрических)** — угол, на который отличается сдвиг фаз между током и напряжением у технических электродиагностических элементов от сдвига фаз у идеальных элементов.

Из-за наличия *потерь* у конденсаторов и катушек реальный сдвиг фаз  $\varphi$  между током и напряжением отличается от  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ). Разность  $\delta = 90^\circ - \varphi$  называют углом потерь, тангенс которого принимают за коэффициент потерь, характеризующий соответствующие свойства элемента. Угол потерь может быть наглядно представлен с помощью *эквивалентной схемы замещения* и векторной диаграммы. Значение угла потерь может быть определено путем измерений (см. *Измерение коэффициента потерь*).

**Указатель** — составная часть устройства индикации. Положение указателя относительно градуировочных меток шкалы определяет *показание*.

Указатель должен обладать малой массой и соответствующей

нагрузке стабильностью. В измерительных приборах переменного тока указатель не должен быть подвержен резонансу. Форма указателя должна позволять точное считывание измеренного значения с малого расстояния и оценку издали, например узкий кончик и широкое основание. Различают два основных класса указателей: *указатель механический* и *указатель световой*.

Установка указателя и направление его перемещения определяются *типом шкалы*. С помощью *корректора нуля* указатель может быть точно установлен на нулевую отметку шкалы. Механический указатель уравнивается путем *балансировки*.

Указатели специальной конструкции могут выполнять дополнительные функции, например *указатель контактный* и *указатель переключаемый*.

**Указатель в виде иглы (стрелки)** (см. Указатель механический).

**Указатель вещественный** (см. Указатель механический).

**Указатель контактный** — указатель с дополнительным ограничителем.

Указатель контактный выдает сигнал при достижении измеряемой величины заранее выбранного значения (например, выход параметра из допуска, т. е. ниже минимального или выше максимального значения). Формирование сигнала осуществляется при помощи механического контакта или бесконтактным способом с помощью светового затвора либо на принципе рассогласования.

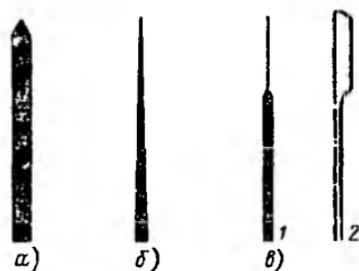


Рис. 200. Указатель механический:

*a* — балочного типа; *б* — типа иглы;  
*в* — ножевого типа (*1* — вид сверху;  
*2* — вид сбоку)

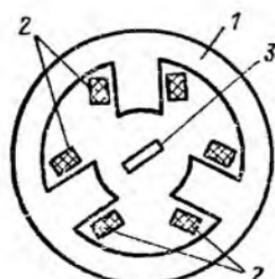


Рис. 201. Указатель направления вращения фаз (полюля):

*1* — магнитопровод; *2* — катушки;  
*3* — указатель из магнитомягкой стали

**Указатель механический.** Механический указатель выполняется с минимальной массой. Форма и размеры указателей механических должны соответствовать цели измерений, *типу шкалы* и обеспечивать безошибочное считывание.

**Плоский балочный указатель** (рис. 200, *a*) из легированного алюминия применяется в рабочих средствах измерений классов точности 2 и хуже. Относительно большая ширина данного указателя обеспечивает хорошее считывание, особенно с большого расстояния.

**Игольчатые указатели** (рис. 200, *б*) изготавливают

в основном из цветного стекла. Они применяются в приборах средней точности и обеспечивают считывание на многошкальных индикаторах.

Указатель ножевого типа (рис. 200, в), изготавливаемый из легированного алюминия, применяется в образцовых и рабочих приборах высокой точности. С целью беспараллаксного считывания шкалы этих приборов снабжаются тонкой зеркальной полоской.

Указатель направления вращения фаз (поля) — измерительный прибор для определения порядка чередования фаз в трехфазных системах.

Основу прибора составляет сердечник с тремя полюсами, образующими попарно угол в  $120^\circ$ , на которых расположены три катушки, в центре имеется подвижный элемент из магнитомягкой стали с указателем (рис. 201). Трехфазный ток, протекая по катушкам, создает в устройстве вращающееся магнитное поле, заставляющее вращаться и указатель. Направление вращения вследствие подтормаживания указателя легко определяется простым наблюдением.

Указатель ножевого типа (см. Указатель механический).

Указатель перемещаемый — указатель с дополнительными функциями.

Указатель перемещаемый перед измерением устанавливается вручную на исходную отметку (начальную отметку шкалы). Основной указатель, указывающий в каждый момент времени мгновенное значение, передвигает одновременно и указатель перемещаемый, оставляя его на отметке, соответствующей наибольшему или наименьшему отклонению. Указатель перемещаемый, таким образом, позволяет дополнительно отмечать максимальные или минимальные значения.

Указатель световой — безынерционный световой луч в качестве указателя.

С помощью световых указателей удается создавать легкие по сравнению с механическими указателями подвижные части измерительного механизма с минимальным моментом инерции. Световая метка проецируется на зеркало; отражаясь от него, луч попадает на белую матовую или прозрачную шкалу (рис. 202). Благодаря отражению происходит удвоение угла отклонения. Путем многократного отражения с помощью неподвижных зеркал удается как бы увеличить длину указателя. Следствием является высокая чувствительность.

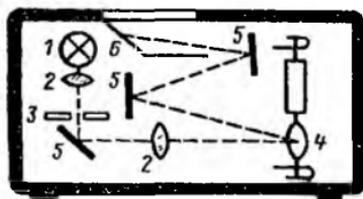


Рис. 202. Указатель световой:  
1 — лампа; 2 — конденсор; 3 — диафрагма; 4 — зеркальце измерительного механизма (связанного с подвижным органом); 5 — неподвижное плоское зеркало; 6 — шкала

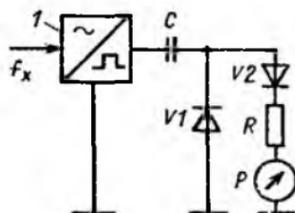


Рис. 203. Указатель частоты:

1 — триггер; C — конденсатор;  
V1, V2 — диоды; R — резистор;  
P — показывающий прибор

Указатель стрелочный (см. Указатель механический).

Указатель частоты — измеритель частоты, основанный на заряде — разряде конденсатора.

Структурная схема прибора представлена на рис. 203. Триггер преобразует входное напряжение измеряемой частоты  $f_x$  в последовательность прямоугольных импульсов. При этом конденсатор перезарядается через диоды до напряжения, пропорционального частоте. Разрядный ток конденсатора, путь которого лежит через диод  $V_2$ ,

сопротивление  $R$  и показывающий прибор (индикатор), пропорционален зарядному напряжению и поэтому является мерой измеряемой частоты.

Уравнение шкалы — уравнение, определяющее градуировочную характеристику шкалы.

Уравнение шкалы устанавливает положение градуировочных отметок на аналоговой шкале в зависимости от значения измеряемой величины, например, измерительный механизм, отградуированный в единицах сопротивления. Шкала может иметь наименование в соответствии с уравнением шкалы (например, линейная шкала, логарифмическая шкала).

Уровень — логарифм относительной величины, в знаменателе которой стоит исходная (базовая) величина.

Если логарифмируется отношение двух энергетических величин (главным образом, мощностей) или параметров поля (например, напряжение, ток, звуковое давление), то логарифмируемое отношение (величин) сохраняется. Используемый при логарифмировании базис обозначается с помощью соответствующего коэффициента и с добавлением обозначений, имеющих смысл единиц измерения. Используются как натуральные ( $\ln$  с основанием

$e=2,718$ ), так и десятичные логарифмы. В первом случае единицу измерения называют непер (Нп), во втором случае — бел (Б) или децибел (дБ),  $10 \text{ дБ} = 1 \text{ Б}$ . Для перевода одной единицы в другую служит следующее соотношение:  $1 \text{ дБ} = 0,1151 \text{ Нп}$  или  $1 \text{ Нп} = 8,686 \text{ дБ}$  (табл. 14).

Понятием относительный уровень пользуются в тех случаях, когда, например, мощность, ток или напряжение сигнала в какой-то точке канала передачи ( $P_x, I_x, U_x$ ) сравниваются с анало-

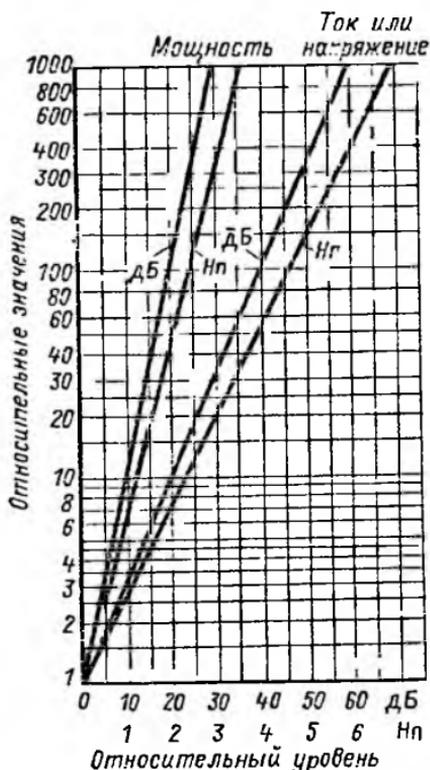


Рис. 204. Уровень. Относительные значения мощностей, токов и напряжений в децибелах (дБ) и неперах (Нп)

гичной величиной в выбранной условной точке ( $P_1, I_1, U_1$ ). В общем случае такой условной точкой выбирается вход канала передачи (рис. 204). Если же в качестве базовой используется постоянная и независимая условная точка, то говорят об абсолютном уровне.

В общем случае в качестве относительного принято значение мощности  $P_0=1$  мВт (мощность образцового генератора или милливаттного передатчика с внутренним сопротивлением  $R_i=600$  Ом), или напряжения ( $U_0=0,775$  В), или тока ( $I_0=1,29$  мА), которые выделяют на сопротивлении 600 Ом мощность 1 мВт или 1 мВ·А. В качестве условного значения звукового давления принято значение  $p_0=20$  мкПа. В радиоприемной технике иногда используется базовое значение напряжения в 1 мкВ, а уровень обозначается дБ/мкВ. На основании общепринятых положений (регламентаций) (табл. 16) выводятся уровни передачи отдельных объектов. Уровень передачи — характеристика свойств объекта или системы с помощью уровня.

Уровень передачи четырехполюсника выражается логарифмом отношения (эффективных значений, если не указаны другие величины) входного напряжения  $U_1$  и выходного напряжения  $U_2$ , или соответствующих токов ( $I_1, I_2$ ), или мощностей ( $P_1, P_2$ ) и выражается в децибелах (дБ) или реже в неперх (Нп).

Т а б л и ц а 16. Уровни

Уровень	Определение	Единица измерения
Относительный уровень мощности	$a = 10 \lg \frac{P_x}{P_1}$	дБ
	$a = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P_1}$	Нп
Относительный уровень напряжения	$a = 20 \lg \frac{U_x}{U_1}$	дБ
	$a = \ln \frac{U_x}{U_1}$	Нп
Абсолютный уровень мощности	$a = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \frac{P_x}{1 \text{ мВт}}$	дБ/1 мВт
	$a = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{1 \text{ мВт}}$	Нп/1 мВт
Абсолютный уровень напряжения	$a = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} = 20 \lg \frac{U_x}{0,775 \text{ В}}$	дБ/0,775 В
	$a = \ln \frac{U_x}{U_0} = \ln \frac{U_x}{0,775 \text{ В}}$	Нп/0,775 В
Уровень тока	Аналогично уровню напряжения при $I_0=1,29$ мА	

Если входная величина больше выходной, то положительный знак уровня передачи указывает на наличие ослабления (подавления) сигнала. В противном случае (выходная величина больше входной) знак уровня передачи отрицательный, т. е. имеет место усиление. Однако на практике оказывается удобным пользоваться всегда положительными значениями как ослабления, так и усиления (табл. 17).

Таблица 17. Ослабление или усиление

Параметр	Определение	Соотношение величин входных и выходных
Ослабление мощности	$A_p = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$	$P_1 > P_2$
Усиление мощности	$V_p = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$	$P_1 < P_2$
Ослабление напряжения	$A_u = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}$	$U_1 > U_2$
Усиление напряжения	$V_u = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$	$U_1 < U_2$
Ослабление и усиление тока	Аналогично ослаблению и усилению напряжения	

**Уровень синхронизации (запуска)** — значение напряжения синхронизации, обеспечивающее изображение одного импульса.

У осциллографа с помощью регулятора уровня выбирается положительное или отрицательное значение напряжения. Это напряжение сравнивается с (усиленным) измеряемым напряжением. При совпадении формируется импульс синхронизации, запускающий генератор пилообразного напряжения и обеспечивающий тем самым горизонтальное отклонение (развертку).

В зависимости от выбранной полярности синхронизации за уровень синхронизации может быть принято любое значение переднего или заднего фронта (любая точка нарастающего или спадающего участков) измерительного сигнала.

#### Усиление

1. Процесс увеличения амплитуды электрических величин (напряжения, тока и мощности) с помощью усилителя. В измерительной технике усиление служит главным образом для увеличения амплитуды измеряемых сигналов, уровень которых недостаточен для непосредственной индикации. Во многих случаях задачей усиления помимо увеличения амплитуды является еще и передача сигнала без искажений.

2. Упрощенная разговорная форма для коэффициента усиления.

**Усилитель** — электрическая схема, построенная на активных радиоэлементах и предназначенная для усиления сигналов.

Усилитель является активным четырехполюсником. На вход подается сигнал (индекс 1), т. е. входное напряжение  $u_1$  или входной

ток  $i_1$  или их произведение, выражающее входную или управляющую мощность  $p_1 = u_1 i_1$ . Входное сопротивление равно отношению  $R_1 = u_1 / i_1$ . Аналогичные соотношения имеют место на выходе (индекс 2): выходное напряжение  $u_2$ , выходной ток  $i_2$ , выходная мощность  $p_2 = u_2 i_2$ , выходное сопротивление  $R_2 = u_2 / i_2$  (рис. 205). Потребляемая блоком питания необходимая для работы усилителя мощность при рассмотрении усилительных свойств не принимается во

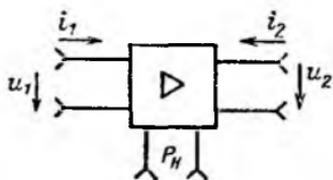


Рис. 205. Усилитель

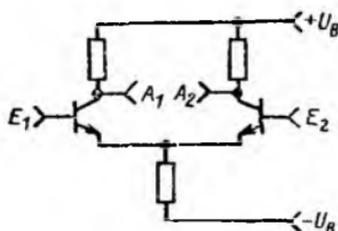


Рис. 206. Усилитель дифференциальный

внимание. Важнейшими параметрами усилителя являются коэффициент усиления, частотная характеристика, коэффициент гармоник.

Усилители классифицируют по типу усиливаемого сигнала (усилители постоянного напряжения, усилители переменного напряжения), по частоте (усилители — НЧ, усилители — ВЧ), по ширине полосы пропускания (широкополосный усилитель, селективный усилитель), по типу основной усиливаемой величины (усилитель напряжения, усилитель тока, усилитель мощности), по типу использованных активных радиоэлементов (ламповый усилитель, транзисторный усилитель, усилитель на интегральных микросхемах) или по характеру применения (предварительный усилитель, оконечный усилитель). Важнейшим типом усилителя (чаще в интегральном исполнении) является операционный усилитель. Усилители, применяемые в измерительной технике, называют измерительными усилителями.

**Усилитель дифференциальный** — основная схема усилителя.

Дифференциальный усилитель состоит из двух параллельно включенных усилительных элементов и имеет два симметричных входа и два выхода (рис. 206). Дифференциальный усилитель используется в основном в интегральной схемотехнике. Напряжение на выходах ( $A_1$ ,  $A_2$ ) существует в том случае, если имеет место разность между входными ( $E_1$ ,  $E_2$ ) напряжениями. В измерительной технике дифференциальный усилитель применяется в качестве усилителя постоянного тока в тех случаях, когда выходное напряжение не должно зависеть от колебаний температуры и питающего напряжения.

Дифференциальный усилитель отличается высокой стабильностью. Кроме того, дифференциальный усилитель может использоваться в качестве оконечного усилителя в осциллографах для формирования управляющего симметричного напряжения отклоняющих электродов.

**Усилитель измерительный** — усилитель, предназначенный для усиления амплитуды слабых сигналов в целях передачи, обработки и индикации.

Если механические измерительные усилители работают на законах пневматики и гидравлики, то применяемые в электроизмерительной технике электронные измерительные усилители построены на усилительных радиоэлементах, в качестве которых применяют транзисторы и интегральные микросхемы, ранее — электронные лампы.

Усилитель измерительный может быть составной частью измерительного прибора или иметь отдельное конструктивное исполнение. В зависимости от характера сигналов, подлежащих усилению, различают *усилители постоянного напряжения* или *усилители переменного напряжения*. Усилители измерительные применяются главным образом в *электронных вольтметрах, осциллографах и измерительных мостах*.

К измерительным усилителям предъявляются следующие основные требования: малый отбор тока или мощности от измеряемой цепи, т. е. высокое входное сопротивление; достаточная выходная мощность; малые отклонения частотной характеристики; малый дрейф; нечувствительность к помехам и колебаниям напряжения питания; высокая надежность и простота технического обслуживания.

Усилитель переменного напряжения — усилитель, в схеме которого связь между активными радиоэлементами осуществляется *RC-цепочками, колебательными контурами, кварцевыми резонаторами пьезо- или магнито-механическими фильтрами*.

Элементы связи определяют нижнюю и частично верхнюю *граничные частоты*. Если нижняя и верхняя граничные частоты далеко отстоят друг от друга, то говорят о широкополосном усилителе переменного напряжения; если они расположены близко друг к другу, то это — селективный усилитель переменного напряжения. В качестве усилителя переменного напряжения могут быть использованы *дифференциальный или операционный усилители* с соответствующими внешними связями.

Усилитель постоянного напряжения — усилитель с непосредственной связью, т. е. без конденсаторов и трансформаторов в цепях передачи сигнала, и *нижней граничной частотой* около 0 Гц.

Усилитель постоянного напряжения пригоден для усиления переменных напряжений в пределах верхней граничной частоты, а также статических или медленноменяющихся процессов. Непосредственная (прямая) связь между усилительными каскадами ведет к неустойчивому усилению. Изменения параметров влияющих величин (напряжения питания, температуры) могут вызвать появление сигнала на выходе усилителя. Для устранения этих помех применяются глубокая *отрицательная обратная связь дифференциальная схема усиления, операционные усилители*. В качестве *измерительного усилителя в осциллографе*, а также в *усилительных вольтметрах* постоянного напряжения и универсальных применяются исключительно усилители постоянного напряжения.

Усилитель с вибропреобразователем — специальный тип усилителя постоянного напряжения для стабильного усиления малых значенний измеряемых сигналов.

Данный тип усилителя используется совместно с вибропреобразователем электрических или механических величин, на выходе которого формируется сигнал, как правило, очень малой амплитуды, пропорциональный измеряемой величине. Этот сигнал усиливается и после измерительного выпрямления подается на индикатор.

Для реализации принципа вибропреобразования применяются релеиные прерыватели, диодные и транзисторные схемы, а также

конденсаторы в режиме «заряд—разряд». Построение схем электрометра, предназначенного для измерения напряжений в милливольтовом диапазоне, на электронных лампах обеспечивает входное сопротивление от  $10^{12}$  до  $10^{14}$  Ом, конденсаторы в режиме «заряд—разряд» дают значение этого сопротивления до  $10^{15}$  Ом. Техническая сложность реализации таких схем относительно высока.

**Усилитель селективный** (также узкополосный усилитель) — усилитель переменного напряжения, имеющий узкую частотную характеристику.

Усилитель селективный характеризуется малой шириной полосы пропускания и обладает избирательным свойством. Избирательность обеспечивается применением колебательного контура или связанных контуров (полосовой фильтр), электромеханических фильтров или комбинации полосовых RC-фильтров в качестве каскадов прямого канала или цепи обратной связи.

**Условие отключения** — критерий при испытаниях мер защиты от прохождения опасных электрических токов с помощью защитных проводников (плавких предохранителей).

**Условия измерений** — внешние условия и влияющие величины, оказывающие случайное или регулярное воздействие на измеряемые величины и результат измерения.

Чтобы результаты измерений можно было сравнивать и/или их обрабатывать статистическими методами *статистической обработки*, должно быть обеспечено проведение измерений при одинаковых условиях и независимо друг от друга. Встречающиеся на практике условия проведения эксперимента лежат между двумя крайними случаями: с одной стороны, *условия повторения* и с другой стороны, *условия сравнения*.

**Условия номинальные** — устаревшее наименование условий применения (эксплуатации).

**Условия повторения** — условия измерений в данном месте измерений.

Выполнение условий повторения необходимо при сравнении результатов измерений тех же самых величин, полученных в одинаковых рабочих условиях, разделенных достаточно коротким промежуточком времени, с использованием одних и тех же методов и средств измерений, одним и тем же наблюдателем и в той же самой лаборатории. При этом систематическая погрешность не обнаруживается. Рассеяние значений, получаемых в условиях повторения, оказывается меньше, чем в *условиях сравнения*.

**Условия применения (эксплуатации)** (номинальный диапазон изменения влияющих величин) — условия, которые должны соблюдаться при эксплуатации *средства измерений* в соответствии с его типом, конструктивным исполнением и эксплуатационным назначением (например, *нормальные условия*). Условия применения указываются изготовителем в эксплуатационной документации.

**Условия равновесия моста** — общие условия, при которых выходной сигнал *измерительного моста* обращается в нуль.

В самом общем случае схему измерительного моста образуют четыре (комплексных) полных сопротивления  $Z_1 \div Z_4$  (рис. 207). Мостовая схема находится в состоянии равновесия, если выходной сигнал, индуцируемый *нуль-индикатором* (напряжение  $u_{CD}$  или ток  $i_{CD}$ ), равен нулю. Это состояние имеет место при равенстве отноше-

ний наименьших сопротивлений обоих делителей напряжения:

$$\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} = \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_4}.$$

Отсюда для абсолютных значений полных сопротивлений следует  $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$  и для их углов  $\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_4$ . Равновесие моста переменного тока возможно только в том случае, если уравнивающая орган обеспечивает одновременно условия равновесия как по абсолютному значению, так и по фазе. В мостовых схемах постоянного тока вместо полных сопротивлений используются (безреактивные) активные сопротивления. Здесь достаточно уравнивания по абсолютному значению:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Равновесие моста, измеряющего частоту, обеспечивается при совпадении измеряемой и собственной частот.

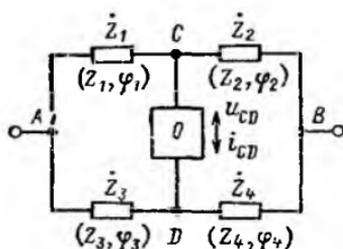


Рис. 207. Условия равновесия измерительного моста

Условия эксперимента (см. Условия измерений).

Успокоение вихревыми токами (см. Успокоение индукционное).

Успокоение жидкостное (см. Успокоитель камерный).

Успокоение индукционное (торможение вихревыми токами) — демпфирующее устройство, тормозящий эффект которого основан на законе электромагнитной индукции.

Известно, что в движущемся в магнитном поле проводнике наводится напряжение (ЭДС). Если проводник имеет замкнутый контур, то в нем появляется ток. По закону Ленца наведенное напряжение создает свое магнитное поле, стремящееся компенсировать первоначальное. Так как причиной этого является движение проводника, то возникающие в нем вихревые токи оказывают на его движение тормозящее воздействие.

В зависимости от конструктивного исполнения детали, в которой индуцируются тормозящие токи, различают *дисковые*, *рамочные* и *катушечные демпферы* (см. *Самодемпфирование катушки*).

Успокоение рамки — индукционное успокоение подвижной (вращающейся) рамки измерительного механизма.

В измерительных приборах, имеющих подвижные катушки, успокоение колебаний осуществляется с помощью магнитного поля, создаваемого элементами неподвижной части измерительного механизма. Это поле, воздействуя на рамку как на короткозамкнутый виток, индуцирует в ней напряжение и вихревые токи, обуславливающие возникновение тормозящего момента (рис. 208).

Успокоение с использованием диска — индукционное успокоение с использованием немагнитного металлического диска.

Диск (часть диска) из алюминия или меди закреплен на оси подвижной части измерительного механизма и перемещается между полюсами неподвижного сильного постоянного магнита (рис. 209). При этом на диске наводится напряжение и возникают вихревые токи, магнитное поле которых, взаимодействуя с полем магнита, оказывает тормозящее воздействие на диск, а следовательно, и на подвижную часть измерительного механизма.

Успокоитель воздушный камерный (см. Успокоитель камерный).

Успокоитель камерный — разновидность механического демпфирующего устройства.

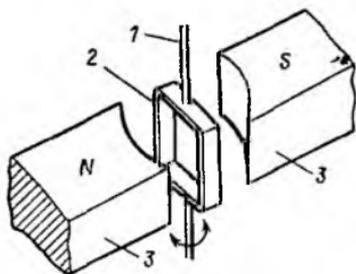


Рис. 208. Успокоение рамки индукционное (в магнитоэлектрическом измерительном механизме): 1 — ось измерительного механизма; 2 — рамочная обмотка подвижной катушки; 3 — полюсные пятконечники магнита измерительного механизма

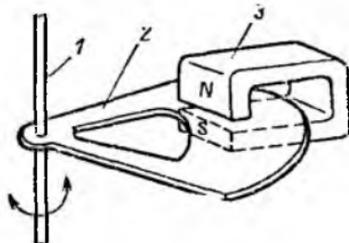


Рис. 209. Успокоение с помощью диска индукционное 1 — ось подвижного органа; 2 — диск успокоителя; 3 — постоянный магнит успокоителя

На оси подвижной части измерительного механизма жестко закреплен легкий алюминиевый флажок, который при повороте подвижной части перемещается в демпфирующей камере преимущественно прямоугольного сечения. При движении флажка воздух перемещается через зазор между флажком и стенками камеры из одной ее части в другую, создавая тормозящий момент, который тем больше, чем выше скорость движения флажка (воздушный успокоитель) (рис. 210).

В тех приборах, работа которых сопровождается значительными вращающим и противодействующим моментами или быстрыми колебаниями, демпфирующая камера выполняется герметичной и заполняется специальной маловысыхающей жидкостью (масло, глицерин) (жидкостной успокоитель).

Установка измерительная — стационарная установка, содержащая одно или несколько измерительных устройств.

Устройство возвратное — элемент конструкции измерительного механизма.

Устройство возвратное создает механический возвратный момент  $M_{в}$ , который зависит от отклонения подвижного органа. Возвратный момент оказывает воздействие на подвижный орган и в момент соотнесения положения последнего значению измеряемой величины уравновешивает вращающий момент, образованный измеряемой величиной  $\vec{M}_m = \vec{M}_b$ . При отсутствии измеряемой величины возвратное

устройство обеспечивает нулевое положение (а следовательно, и нулевое показание) подвижного органа. Во многих случаях возвратное устройство выполняет роль токоподвода к подвижному органу.

Устройство возвратное не должно допускать эластичных деформаций, в нем должны отсутствовать явления старения и зависимость свойств от температуры. Для уменьшения влияния перечисленных явлений применяются две пружины с противоположным направлением

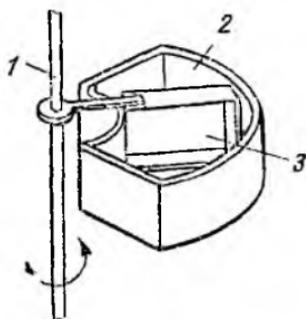


Рис. 210. Успокоитель камерный:

1 — ось подвижного органа;  
2 — демпфирующая камера;  
3 — демпфирующий флажок

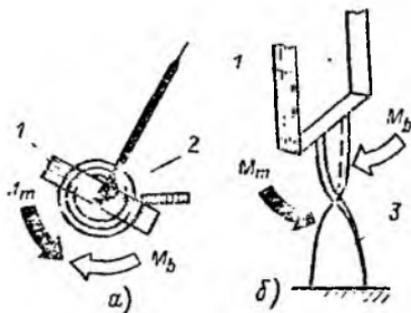


Рис. 211. Устройство возвратное. Уравновешивание вращающего момента при креплении подвижного органа на осевых опорах (кернах) (а) и ленточных растяжках (б):

$M_m$  — механический возвратный (противодействующий) момент;  $M_b$  — вращающий момент подвижного органа; 1 — рамка подвижного органа; 2 — спиральная пружина; 3 — ленточные растяжки (сильно увеличено)

ем закрутки. Материал возвратного устройства должен быть немагнитным, коррозионно-стойким, иметь хорошую электрическую проводимость (сплавы с благородными металлами, фосфористая бронза) (рис. 211).

Механический вращающий момент обеспечивается закручиванием спиральных пружин или ленточных растяжек, а также использованием магнитного или электродинамического взаимодействия. Спиральные пружины применяются во всех случаях использования *осевой опоры* подвижной части измерительного механизма на кернах. В случае использования подвески подвижной части на *ленточных растяжках* последние предварительно закручиваются, вследствие чего создают возвратный момент. В измерительных механизмах электромагнитной системы с вращающимся магнитом в качестве возвратного устройства используют поле постоянного магнита. *Логометры* не имеют механических возвратных устройств; противодействующий крутящий момент создается вследствие электродинамического взаимодействия.

Устройство декодирующее (см. Цифро-аналоговый преобразователь).

Устройство для разложения вектора на составляющие (см. Резольвер).

Устройство измерительное — совокупность средства измерений и вспомогательных устройств для решения измерительной задачи.

Устройство измерительное состоит из отдельного измерительного прибора или нескольких взаимодействующих средств измерений и дополнительных устройств. Они осуществляют на основе определенного принципа измерений выбранный метод измерения. Если совместное функционирование входящих в состав измерительного устройства приборов обеспечивается объединяющим характером измерительной задачи и программным управлением с помощью микропроцессора (микроЭВМ), то говорят об измерительной системе. При необходимости понятия «измерительная установка» и «измерительная аппаратура» могут быть разграничены.

Устройство индикации — составная часть средства измерений, предназначенная для считывания значений измеряемой величины.

Устройство индикации может иметь различные формы. Различают главным образом аналоговую и цифровую формы индикации.

Устройство печатающее — устройство для регистрации буквенно-цифровых знаков и символов, конструктивно оформленное в виде отдельного прибора или составной части печатающего измерительного прибора.

Средь механических печатающих устройств имеются устройства, регистрирующие информацию путем поочередного печатания символов в строку и столбец (2—10 знаков в секунду), и устройства с построчной регистрацией, формирующие и печатающие одновременно целую строку (1500 знаков в секунду).

Немеханические печатающие устройства (например, термические, лазерные печатающие устройства и ксероксы) обеспечивают более высокую скорость регистрации (до 50 000 знаков в секунду). Если измерительная информация поступает в таком количестве, что механические печатающие устройства не успевают с ней справиться, то прибегают к запоминающим устройствам (например, измерительные приборы с регистрацией в цифровом коде).

## Ф

**Фазовый угол** — характеристика состояния (фаза) переменной величины в определенный момент времени.

У синусоидальных величин фазовый угол  $\varphi$  является аргументом синусоидальной функции  $x = x_m \sin \varphi$ . Фазовый угол в начальный момент времени (начало отсчета времени), т. е. при  $t=0$ , называют нулевым (или начальным) фазовым углом  $\varphi$ . Если сигнал состоит из нескольких синусоидальных процессов, то разность начальных фазовых углов образует результирующий угол сдвига фазы. Значение фазового угла может быть определено посредством осциллографа (см. Измерение фазового угла осциллографическое).

**Фазовый эллипс** — осциллограмма при измерении фазового угла посредством одноканального осциллографа.

**Фактор отклонения** (см. Коэффициент отклонения).

**Фигура Лиссажу** — изображение колебаний, возникающее на экране осциллографа при подаче на входы X и Y двух сигналов с постоянным отношением частот.

Фигуры Лиссажу используются в технике электронизмерений для сравнения частот (измерения) и измерения угла сдвига фаз между двумя сигналами при помощи электронного осциллографа.

**Флюксметр** (веберметр) — прибор для измерения магнитного потока

Флюксметр состоит из измерительной катушки с известным числом витков и известной площадью намотки (площадью поперечной поверхности) и подключенного к ней баллистического гальванометра. Отклонение указателя гальванометра пропорционально магнитному полю, пронизывающему катушку. Значение потока получают путем деления показания гальванометра на площадь сечения катушки.

**Фокусировка** — фокусировка электронного луча.

Чтобы получить на экране четкое световое пятно (точку) и, следовательно, тонко (резко) прочерченную осциллограмму, в *электронно-лучевой трубке* следом за ускоряющим электродом (см. *Электрод ускоряющий*) устанавливается система из ускоряющих и фокусирующих электродов, так называемая электронная линза. Электростатическое поле этой системы оказывает фокусирующее воздействие на электронный луч, аналогичное воздействию оптической линзы на световой луч. Варьированием потенциала добиваются оптимальной четкости (толщины луча) осциллограммы.

**Фронт синхронизации, запуска** (см. Полярность синхронизации, запуска).

**Фундаментальные методы измерений** (старое название — абсолютные методы) — методы, основанные на прямом измерении основных (базисных) величин с использованием (или без) значений фундаментальных физических констант.

Фундаментальные методы измерений предполагают многоступенчатое или непосредственное измерение или воспроизведение основных единиц измерений (например, воспроизведение метра через длину волны колебаний атомов криптона).

## Ц

**ЦАП** — сокращенное обозначение цифро-аналогового преобразователя.

**Цвет экрана** — цвет изображения на экране.

Цвет экрана (изображения) зависит от физических свойств люминофора и должен по возможности соответствовать цели применения. При визуальных наблюдениях предпочтительными являются зеленый и желтый цвета, так как свет зелено-желтого оттенка ощущается человеком наиболее ярко. Для целей фоторегистрации изображений вследствие лучшей чувствительности фотоматериалов предпочтительны голубой и пурпурный цвета. Во многих случаях цвет изображения во время облучения люминофора (флуоресценция) отличается от цвета изображения в течение времени послесвечения (фосфоресценция).

**Цена деления шкалы** — значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы.

Цена деления шкалы представляет собой размер отрезка (в единицах измеряемой величины) между двумя соседними градуировочными отметками шкалы. Она показывает, насколько изменится значение измеряемой величины при изменении показания на одно деление (при изменении положения указателя на одно деление) или применительно к цифровой шкале — на один шаг дискретности. Комбинированные приборы (тестеры) имеют несколько значений цены деления шкалы. Значение цены деления шкалы должно выражаться

числом  $1 \cdot 10^n$ ,  $2 \cdot 10^n$  или  $5 \cdot 10^n$ , где  $n=0, \pm 1, \pm 2 \dots$  (см. Градуировочная характеристика).

Зная цену деления шкалы, измеренное значение определяют умножением цены деления на количество отсчитанных по шкале делений. Цену деления шкалы необходимо четко отличать от постоянной шкалы. У некоторых приборов вместо цены деления употребляются константы по току или по напряжению. Будет ошибочным принять за цену деления шкалы считанное по шкале численное или измеренное значение.

**Цепь вспомогательная** — схема (соединение) для косвенного заземления измерительных мостов переменного тока.

Если непосредственное заземление моста переменного тока невозможно или недопустимо, то устранение влияния паразитных связей выполняется вспомогательной цепью между нуль-индикатором переменного тока и точкой с потенциалом земли. Для этого служат два дополнительных полных сопротивления (импеданса)  $Z_a$  и  $Z_b$  (рис. 212). Уравновешивание моста осуществляется в обоих положениях переключателя.

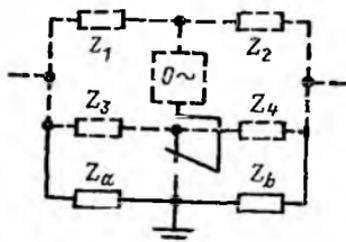


Рис. 212. Цепь вспомогательная заземления

**Цепь вспомогательная (тока)** — цепь измерительного прибора, на которую измеряемый ток или напряжение воздействуют косвенным путем. Вспомогательные цепи, как правило, являются дополнительными к основным цепям тока и напряжения и обеспечивают функционирование измерительного прибора.

**Цепь измерения** — последовательность функциональных узлов (схем) с соответствующими связями в рамках одного прибора.

Цепь измерительная начинается с чувствительного элемента, являющегося первым звеном, и оканчивается устройством выдачи из-

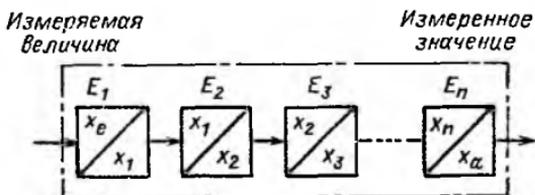


Рис. 213. Цепь измерения

меряемого значения. Внутри измерительной цепи отдельными ее функциональными узлами осуществляется одно- или многократное преобразование измерительной информации (рис. 213). Передача измерительной информации между отдельными звеньями может осуществляться вручную (человеком) или автоматически (см. Измерительная система).

Цепь измерительная — цепь (элемент, путь тока) электронизмерительного прибора, на который непосредственно воздействует измеряемая величина. Различают *токовые цепи, цепи напряжения и вспомогательные цепи.*

Цепь напряжения — цепь измерительная, подключаемая непосредственно или с добавочным сопротивлением к измеряемому напряжению, последнее является главной причиной формирования показания измерительного прибора.

Цепь тока — измерительная цепь, в которой протекает ток, обуславливающий формирование показания измеряемой величины, или определяющая часть этого измерительного тока.

Параметры цепи тока должны быть так рассчитаны, чтобы в случае ее обрыва при эксплуатации не возникла опасность. Переключатель диапазонов в цепи тока не должен прерывать его течение.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП, дешифратор) — функциональное устройство, преобразующее сигналы из цифровой формы в аналоговую.

Существуют следующие способы цифро-аналогового преобразования:

ЦАП с многоступенчатым делителем напряжения. Выходное аналоговое напряжение  $U_2$  формируется из постоянного напряжения  $U_1$  посредством делителя. Сопротивления делителя напряжений коммутируются в соответствии с применяемым кодом. Делитель напряжения состоит из нескольких пар равных по значению сопротивлений ( $R_1$  и  $R'_1$ ,  $R_2$  и  $R'_2$  и т. д.) с соответствующими парами электронных ключей (рис. 214, а). Если, например, ключ  $S_1$  разомкнут, а  $S'_1$  в то же время замкнут, то по цепи течет посто-

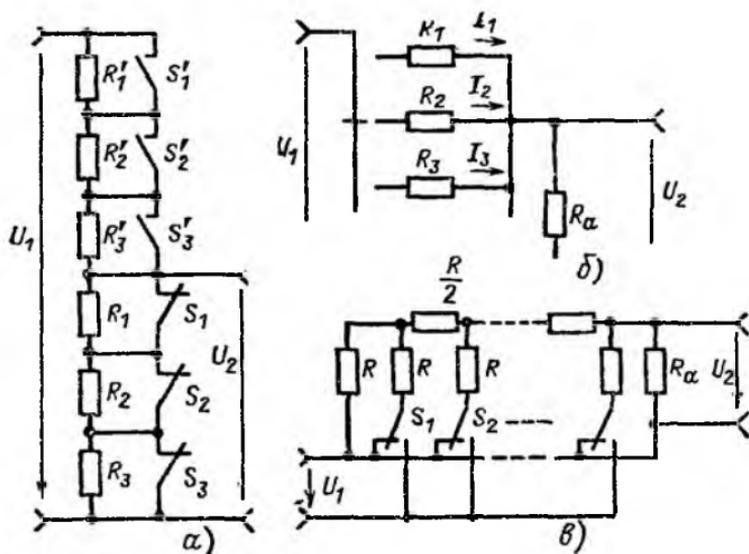


Рис. 214. Цифро-аналоговый преобразователь:

а — делитель напряжения; б — делитель тока; в — цепочка сопротивлений

янный ток (определенного значения, которое зависит от комбинации коммутируемых сопротивлений). Аналоговое напряжение составит  $U_2 = U_1 (\Sigma R/R')$ .

ЦАП с многоступенчатым делителем тока. Выходное аналоговое напряжение формируется путем коммутации по определенному коду резисторов ( $R_1, R_2$  и т. д.), составляющих делитель тока (рис. 214, б). В этом случае аналоговое напряжение  $U_2 = U_1 R_0 \sum_{i=1}^n 1/R_i$ .

ЦАП на основе цепочки сопротивлений. Одинаковые по значению сопротивления  $R$  коммутируются определенным образом при помощи электронных ключей  $S_1, S_2$  и т. д. и осуществляют деление общего тока от источника постоянного напряжения  $U_1$  на частичные токи. Эти частичные токи протекают через сопротивление нагрузки  $R_n$ , формируя выходное аналоговое напряжение (рис. 214, в).

Цифровой амперметр — измеритель силы тока с цифровой индикацией.

В цифровых амперметрах используется косвенный метод измерения тока, заключающийся в измерении падения напряжения на об-

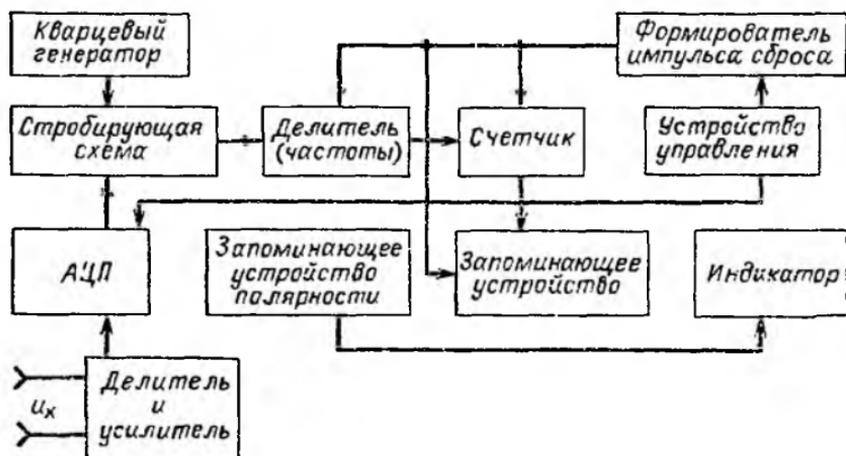


Рис. 215 Цифровой вольтметр

развом резисторе с известным значением сопротивления посредством цифрового вольтметра. Цифровой амперметр является составной частью цифровых мультиметров.

Цифровой вольтметр — электронный вольтметр, в котором используется цифровой метод измерения.

Основу структурной схемы цифрового вольтметра составляют аналого-цифровой преобразователь, кварцевый импульсный генератор, счетчик и цифровой индикатор (рис. 215). В зависимости от конструктивного исполнения в цифровом вольтметре измерительного усилителя с входным делителем напряжения перед АЦП может быть помещен выпрямитель.

Цифровые вольтметры во многих случаях наряду с несимметричным входом имеют и симметричный. В совокупности с печатающим устройством цифровой вольтметр может использоваться для регистрации измеренных значений. В зависимости от типа АЦП различают цифровые вольтметры с преобразованием «напряжение — время», компенсационные (принцип поразрядного уравнивания), интегрирующие и цифровые вольтметры с двойным интегрированием. В настоящее время в цифровом вольтметре используется преимущественно АЦП с двойным интегрированием.

Цифровой мультиметр — цифровой комбинированный измерительный прибор.

Основой цифрового мультиметра является *цифровой вольтметр*, который дополняется специальным переключающим устройством для измерения различных величин. При этом применяются электрические схемы *цифровых амперметров* и *омметров* (рис. 216).

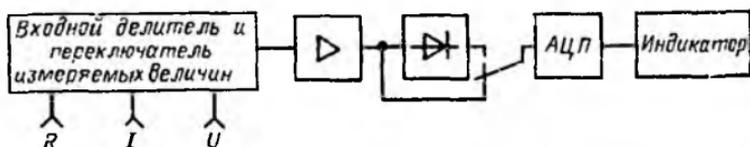


Рис. 216. Цифровой мультиметр

Цифровой омметр — прибор для измерения сопротивления с цифровой индикацией.

Известны два способа измерений. Во-первых, *мост измерительный Уитстона* обеспечивает автоматическое уравнивание. Для этого соединенные в соответствии с кодом сопротивления подключаются по команде устройства управления к мосту по очереди, пока не обеспечивается равновесие схемы. Второй способ заключается в пропускании через измеряемое сопротивление известного тока. Падение напряжения измеряется при помощи АЦП по способу компенсации и индицируется в цифровой форме в единицах сопротивления. Цифровой омметр является, в частности, составной частью *цифрового мультиметра*.

Цифровой осциллограф — осциллограф с цифровой регистрацией измеряемого сигнала запоминанием и обработкой.

Аналоговый измерительный сигнал при помощи АЦП преобразуется в цифровую форму. В этом виде он может быть записан в запоминающее устройство. Цифровой осциллограф имеет микровычислитель, который может быть использован для точного расчета параметров измеряемых сигналов (например, значений переменного тока и параметров импульсов) и/или программного управления измерительным процессом. Конструкция, как правило, отвечает требованиям агрегатирования, благодаря чему этот прибор находит применение в измерительных системах. Через соответствующий *интерфейс* он может быть соединен с внешней ЭВМ (см. *Концепция стенных блоков*). Осциллографы, обеспечивающие вывод на экран информации в буквенно-цифровой форме помимо обычного изображения сигнала, также называют цифровыми (хотя это не совсем верно).

**Частота** — количество колебаний периодически изменяющейся величины в единицу времени.

Буквенное обозначение  $f$ . Единица измерения  $1/c=1$  Гц;  $f=1/T$ , где  $T$  — длительность периода изменения величины. Частота есть в общем случае величина, обратная *длительности периода*.

При синусоидальной форме колебаний за основную частоту (первую гармонику) принимается величина, обратная наибольшей длительности периода. Целые кратные значения называют гармоническими частотами (высшими гармониками):  $f_n=nf$ . Субгармоническая частота определяется как целая дробь от основной частоты:  $f_{1/n}=f/n$ . Круговая частота (или угловая частота)  $\omega$  есть скорость изменения угла  $\alpha/t$ . При изменении угла на целый круг (полный оборот) ( $\alpha=2\pi$ ) в течение одного периода справедливо равенство  $\omega=2\pi/T$ . При постоянной частоте справедливо равенство  $\omega=2\pi f$ .

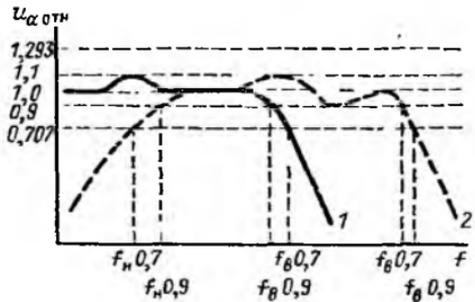
**Частота граничная** — характеристика диапазона рабочих частот активных и пассивных четырехполюсников.

Нижняя и верхняя граничные частоты определяют рабочий участок *частотной характеристики* так, что выходное напряжение пассивных четырехполюсников, коэффициент усиления активных четырехполюсников, а следовательно, и показания средства измерений в любой точке *полосы пропускания* не выходят за пределы допускаемого диапазона.

Обычно принимается допустимым спад выходной величины в  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  раз (около 0,707 или 3 дБ) от максимального значения, в то время как в измерительной технике допускается максимальное отклонение 10 % (рис. 217). Значение спада рекомендуется указывать в обозначении граничной частоты (например,  $f_{г0,7}$  или  $f_{г0,9}$ ).

Рис. 217. Частота граничная. Частотная характеристика с граничными частотами:

1 — усилителя постоянного напряжения ( $f_{п}=0$ ); 2 — усилителя переменного напряжения;  $u_{\alpha отн}$  — относительное выходное напряжение четырехполюсника;  $f_{н0,7}$  — нижняя граничная частота при 30 %-ном (3 дБ) спаде;  $f_{н0,9}$  — нижняя граничная частота при 10 %-ном спаде;  $f_{в0,7}$  — верхняя граничная частота при 30 %-ном спаде (3 дБ);  $f_{в0,9}$  — верхняя граничная частота при 10 %-ном спаде



**Частота предельная** (см. Частота граничная).

**Частотная модуляция** (сокращенно ЧМ) — способ модуляции, при котором изменение во времени частоты высокочастотных колебаний (несущая частота) осуществляется в зависимости от изменений низкочастотных колебаний.

При частотной модуляции амплитуда высокочастотных колебаний

ний остается постоянной (рис. 218). Важным параметром ЧМ-сигналов является отклонение высокой частоты (несущей частоты), получившее название девации частоты. В отличие от амплитудной модуляции при ЧМ одного низкочастотного колебания возникает существенно больше боковых частот.



Рис. 218. Частотная модуляция

В измерительной технике ЧМ находит применение в телеметрических системах и в приборах, основанных на принципе качания частоты.

Частотная характеристика — характеристика изменения коэффициента передачи четырехполюсника в интересующем диапазоне частот.

Для определения частотной характеристики (ЧХ) измеряется амплитуда (амплитудно-частотная характеристика, АЧХ) или фаза (фазо-частотная характеристика, ФЧХ) выходного сигнала в зависимости от изменения частоты входного сигнала. Изображение (представление) амплитудной характеристики в виде графика позволяет наглядно представить важнейший параметр, например, усилителя (рис. 219). Так, между нижней и верхней граничными частотами ле-

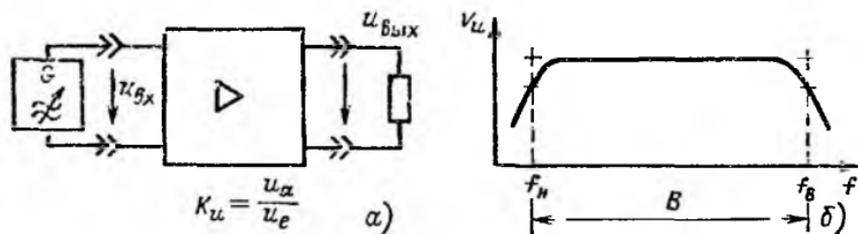


Рис. 219. Частотная характеристика:

а — схема получения частотных характеристик; б — амплитудно-частотная характеристика усилителя;  $u_{вх}$ ,  $i_{вх}$  — входное напряжение;  $u_{вых}$ ,  $i_{вых}$  — выходное напряжение;  $K_u$ ,  $u_u$  — коэффициент усиления напряжения;  $f$  — частота генератора;  $f_n$  — нижняя граничная частота;  $f_b$  — верхняя граничная частота;  $B$  — полоса частот

жит область частот, называемая *полосой пропускания*. Снятие ЧХ может осуществляться путем измерений входного и выходного напряжений и вычисления коэффициента усиления на фиксированных частотах и представляться непосредственно на осциллограмме при помощи качающейся частоты.

Частотомер резонансный — прибор для измерения частоты резонансным способом.

1) Резонансный частотомер подключается к объекту измерений по возможности слабой связью (индуктивной или емкостной) (рис. 220, а). Колебательный контур резонансного частотомера имеет перестраиваемый элемент (на рис. 220, а емкость  $C$ ), откалиброванный в единицах частоты (Гц, кГц, МГц). С его помощью на индикаторе

устанавливается максимум показаний. Измеряемое значение частоты  $f(x)$  при этом равно значению частоты, установленному на конденсаторе  $C$ .

2) Основой прибора является перестраиваемый по частоте генератор с калиброванным выходом, который подключается к объекту с помощью возможно слабой связи (рис. 220, б). В случае резонан-

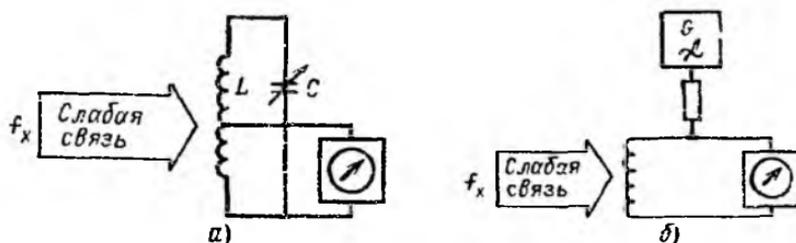


Рис. 220. Частотомер резонансный

са (когда частота генератора совпадает с частотой исследуемого сигнала  $f_x$ ) измеряемый объект поглощает от генератора максимум энергии. При этом индикатор показывает минимальное напряжение.

Частотомер резонансный (вибрационный) — вариант конструкции вибрационного измерительного механизма.

1) Частотомер резонансный по Франу. Гребенка из стальных язычков и сердечник из магнитомягкого материала укреплены на общем основании, которое с обеих сторон имеет тонкие эластичные несущие прокладки (рис. 221, а). Сердечник периодически притягивается электромагнитом и передает эти импульсы основанию с язычка-

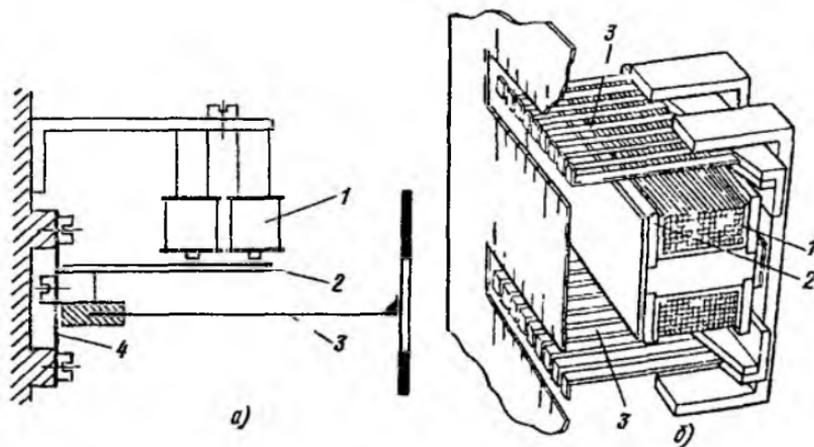


Рис. 221. Частотомер резонансный (вибрационный):

а — по Франу; б — по Хартману—Кемпфу; 1 — обмотка возбуждения (электромагнит); 2 — мегаллический якорь или болюсный наконечник; 3 — ряд стальных язычков; 4 — несущий элемент конструкции

ми. За каждый период измеряемого напряжения сердечник притягивается дважды, так что язычок, соответствующий показанию 50 Гц, совершает 100 колебаний в секунду. По сравнению с частотомером резонансным по Хартману — Кемпфу рассматриваемая конструкция вследствие большой колебательной массы имеет меньший диапазон измерения (порядка 10—500 Гц).

2) *Частотомер резонансный по Хартману—Кемпфу.* Конструкция образована одним или двумя рядами стальных язычков и расположенным вдоль них электромагнитом, вызывающим колебания язычков (рис. 221, б). По сравнению с частотомером резонансным по Фраму эта конструкция имеет больший диапазон измерения (порядка от 10 Гц до 2 кГц).

**Частотомер счетный** — разновидность электронного счетчика.

**Численное значение** (см. Значение численное).

**Численные значения шкалы** — численные значения, соответствующие *градуировочным* отметкам.

Для определения измеренного значения (основные) градуировочные отметки в соответствии с градуировочной характеристикой имеют численные значения шкалы, у *размерных шкал* эти числа соответствуют определенным значениям измеряемой величины, а у *безразмерных шкал* — только порядковому числу градуировочной отметки. У электроизмерительных приборов отдельное численное значение должно содержать не более четырех цифр. Численные значения представляются целыми числами или десятичными дробями.

**ЧМ** — сокращенное наименование частотной модуляции.

**Чувствительность** — отношение отклика к воздействию, его вызвавшему. В формулах обозначается через  $E$ .

Чувствительностью средства измерения называется отношение изменения показания к изменению измеряемой величины  $\Delta X$ , вызвавшему это изменение показания.

У аналоговых средств измерения изменение показаний выражается в единицах длины (шкалы)

$$E = \frac{M}{\Delta X}.$$

У цифровых средств измерения изменение показаний выражается в шаге квантования  $\Delta Z$  (единицах младшего разряда)

$$E = \frac{\Delta Z}{\Delta X}.$$

**Чувствительность к отклонению** — чувствительность электронно-лучевой трубки или осциллографа.

Чувствительность к отклонению означает, на какое расстояние по осям  $X$  или  $Y$  в единицах длины (мм, см) или в числе штрихов (растров) (дел.) световое пятно на экране отклонится при приложении к отклоняющим пластинам напряжения в 1 В ( $u_x$  или  $u_y$ ). Чувствительность к вертикальному отклонению

$$E_y = \frac{Y}{u_y}, \text{ например, } \frac{\text{мм}}{\text{В}}, \frac{\text{дел}}{\text{В}}.$$

Чувствительность к горизонтальному отклонению

$$E_x = \frac{X}{u_x}, \text{ например, } \frac{\text{мм}}{\text{В}}, \frac{\text{дел}}{\text{В}}.$$

Во многих случаях дается обратное значение чувствительности к отклонению, называемое *коэффициентом отклонения*.

Чувствительность к отклонению *электронно-лучевой трубки* (см. *Отклонение луча*) определяется ее конструкцией.

Чувствительность к отклонению *осциллографа* определяется характеристиками применяемых в нем электронно-лучевой трубки и входных каскадов. Ее обратное значение используется в качестве коэффициента отклонения при осциллографических *измерениях напряжения*.

Чувствительность синхронизации — наименьший уровень синхронизации, обеспечивающий стабильную осциллограмму.

В зависимости от *источника синхросигнала* чувствительность синхронизации может быть задана различным образом. При внутренней синхронизации наименьшую высоту осциллограммы называют линейной или растровой единицей чувствительности синхронизации. При внешней синхронизации требуется большая чувствительность синхронизации, так как используемые для этого сигналы могут иметь очень малую амплитуду; чувствительность синхронизации задается в этом случае значением напряжения.

Чувствительность срабатывания — источник название порога срабатывания или *порога чувствительности*.

Чувствительный элемент (первичный измерительный преобразователь) — конструктивный элемент или прибор, воспринимающий величину при ее измерении.

Чувствительный элемент является *первичным измерительным преобразователем* в *измерительной цепи* и осуществляет преобразование входного сигнала (измеряемой величины) в величину, удобную для последующей информационной обработки.

В различных областях техники чувствительный элемент называют *детектором, датчиком, зондом* или *измерительной головкой*. Во многих случаях, например при измерении тока, *измерительный механизм* также является чувствительным элементом.

Чувствительный элемент *анкерный* — разновидность конструкции первичного измерительного преобразователя индуктивного типа.

Чувствительный элемент с *втяжным якорем* — разновидность конструкции индуктивного *чувствительного элемента*.

### Ш

Шаг дискретизации (см. Шкала цифровая).

Ширина записи (см. Длина шкалы)

Шкала.

1. Шкала физической величины. Разделительный принцип при количественном выражении свойств. Шкала представляет собой последовательность оценок, норм или значений различных величин, устанавливаемых по определенным правилам, законам. *Номинальная шкала* позволяет проводить сортирование (разделение) только на соответствие двум признакам (например, холодно — тепло) или нескольким классам (например, истина/неопределенность — ложь). *Порядковая шкала* позволяет провести качественную оценку без установления количественных норм (например, оценки от «очень хорошо» до «неудовлетворительно»). *Интервальная шкала* делает возможной количественную оценку, она содержит условно принятую нулевую отметку (начало отсчета), единицу и направление счета

(например, циферблат часов). Для измерений физических и технических величин используются *шкалы пропорциональности*, построенные в соответствии с международной системой единиц СИ.

2. Шкала средства измерений. Составная часть *устройства индикации*. Шкалой называют часть средства измерений, предназначенную для отсчета значения измеряемой величины. Отсчет определяется положением *индикаторной метки*, которое она занимает или в которое она устанавливается в процессе измерений. Шкала содержит *градуировочные отметки*, которые непосредственно (см. *Шкала с прямым отсчетом*) или косвенно (см. *Шкала косвенных значений*) соответствует последовательным значениям измеряемой величины, а также соответствующие надписи и обозначения. В зависимости от способа выполнения градуировочных отметок различают *аналоговую, цифровую и комбинированную шкалы*.

Все шкалы должны быть наглядно сконструированы. Их деления должны позволять проводить оценку показаний с большим расстоянием, а также точное считывание, однако они должны исключать более точное считывание, чем позволяет класс точности прибора. Написанные рядом с делениями *обозначения на шкале* характеризуют измерительный прибор и его применение.

Шкала аналоговая — шкала средства измерения, на которой градуировочные отметки изображаются штрихами, точками или другими аналогичными метками.

Шкала аналоговая обеспечивает непрерывные аналоговые показания. Градуировочные отметки (рис. 222) располагаются на шкаль-

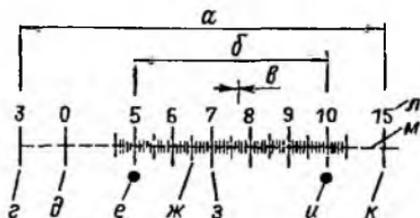


Рис. 222. Шкала аналоговая (схематично):

$a$  — диапазон шкалы, диапазон показаний (в единицах измеряемой величины);  $b$  — диапазон измерений (в единицах измеряемой величины);  $в$  — деление шкалы или расстояние между градуировочными штрихами (в единицах длины);  $г$  — начальное значение шкалы;  $д$  — нулевая отметка шкалы;  $е$  — начальное значение диапазона измерений;  $ж$  — градуировочная отметка без числового значения;  $з$  — градуировочная отметка с числовым значением;  $и$  — конечное значение диапазона измерений;  $к$  — конечное значение шкалы;  $л$  — числовые значения шкалы;  $м$  — опорная (строчная) линия

дуировочными штрихами (в единицах длины). Пена деления шкалы (в единицах измеряемой величины);  $г$  — начальное значение шкалы;  $д$  — нулевая отметка шкалы;  $е$  — начальное значение диапазона измерений;  $ж$  — градуировочная отметка без числового значения;  $з$  — градуировочная отметка с числовым значением;  $и$  — конечное значение диапазона измерений;  $к$  — конечное значение шкалы;  $л$  — числовые значения шкалы;  $м$  — опорная (строчная) линия

пой пластинке вдоль опорной линии (см. *Тип делений, Градуировочная характеристика, Способ расположения делений*). В случае шкалы с числовыми значениями последние располагаются над/под соответствующими отметками (см. *Шкала размерная, Шкала безразмерная, Шкала с прямым отсчетом, Шкала косвенных значений*). Отдельные градуировочные отметки могут обозначать *начальное и конечное значения шкалы, нулевую отметку шкалы, начальное и конечное значения диапазона измерений*. Они ограничивают соответствующие отрезки (участки) шкалы (см. *Диапазон шкалы, Диапазон измерений, Деление шкалы*). Основные типы шкал установлены в стандартах.

В отношении линейности градуировки различают линейные

(равномерные) и неллинейные (неравномерные) шкалы. Частным случаем аналоговой шкалы является шкала с единственной градуировочной отметкой, например, номинального (заданного) или граничного значения или нулевая отметка индикатора.

**Шкала безразмерная** — аналоговая шкала, деления которой имеют числовые значения в виде порядковых чисел или совсем не имеют числовых значений.

Располагая безразмерной шкалой с числовыми значениями основных делений в виде порядковых чисел, в результате считывания получают, в отличие от *шкалы размерной*, только количество *делений шкалы* или численное значение на шкале. Измеряемое значение получают, зная цену деления шкалы или постоянную шкалы. Шкалы такого типа часто применяются в комбинированных приборах (тестерах). С помощью безразмерной шкалы, не имеющей числовых значений, в большинстве случаев нельзя определить измеренное значение. Эти шкалы применяются, например, в испытательных приборах с указанием номинального (заданного) или граничного значения, а также в индикаторах.

**Шкала вертикальная** (см. Тип шкалы).

**Шкала градуированная** (см. Шкала размерная).

**Шкала зеркальная** — аналоговая шкала, снабженная узкой зеркальной полоской с целью уменьшения параллакса.

**Шкала интервальная** (см. Шкала).

**Шкала комбинированная** — шкала средства измерений, состоящая из *цифровой* и *аналоговой* шкал.

Шкала комбинированная представляет собой цифровую шкалу, у которой старшие разряды изменяются ступенчато, а цифры младшего разряда, представленные аналоговой шкалой, перемещаются плавно (рис. 223). Это дает возможность считывать интервалы делений между последовательными числами (старших разрядов).

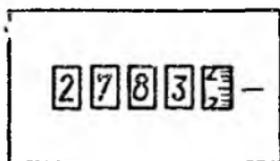


Рис. 223. Шкала комбинированная

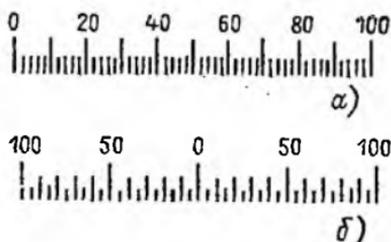


Рис. 224. Шкала линейная:

а — с нулевой отметкой слева; б — с нулевой отметкой посередине

**Шкала косвенных значений** — шкала средства измерений, которая в отличие от *шкалы с прямым отсчетом* отградуирована в значениях величины, измеряемой косвенным методом.

На вход измерительного прибора, имеющего шкалу косвенных значений, подается сигнал, полученный путем преобразования измеряемой величины или другой величины, связанной с измеряемой определенной зависимостью. При помощи этой промежуточной величины формируется показание. Тем не менее деления шкалы косвенных значений обозначены значениями измеряемой величины.

Шкала круговая (см. Тип шкалы).

Шкала линейная — аналоговая шкала, у которой расстояние между штрихами пропорционально цене деления шкалы (рис. 221).

Внутри измеряемого поддиапазона линейная шкала имеет постоянное расстояние между штрихами. Основные штрихи делений имеют числовые значения из равномерного ряда.

Шкала нелинейная — аналоговая шкала с непостоянными расстоянием между делениями и ценой деления (рис. 225).

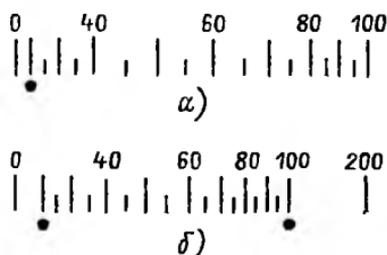


Рис. 225. Шкала нелинейная с обозначением диапазона измерений:

а — общий случай; б — со 100 %-ной перегрузкой

Градуировка нелинейной шкалы соответствует нелинейному уравнению шкалы, тип которого часто приводят в названии шкалы, например квадратичная или логарифмическая шкалы. Основные деления шкалы, нанесенные в соответствии с требуемой математической функцией или эмпирически, имеют числовые значения из равномерного или неравномерного ряда. Обычно стремятся сделать так, чтобы последовательность делений шкалы и их числовых значений была близка к линейной шкале на возможно большем отрезке.

У нелинейной шкалы диапазон измерений часто отлича-

ется от диапазона показаний; поэтому он указывается точками возле соответствующих делений шкалы. У шкал с большой нелинейностью может иметь место чередование принципа градуировки с кратностью 1, 2 и 5 (см. Градуировка шкалы).

Шкала номинальная (см. Шкала).

Шкала пропорциональности (см. Шкала).

Шкала равномерная (см. Шкала).

Шкала размерная (отградуированная шкала) — аналоговая шкала с числовыми значениями делений, позволяющая отсчитывать измеренные значения в единицах измеряемой величины.

В отличие от безразмерной шкалы размерная шкала дает возможность считывать измеренное значение вслед за установленном показании, т. е. без пересчета.

Шкала секторная (горизонтальная шкала) (см. Тип шкалы).

Шкала с прямым отсчетом — шкала средства измерений, которая в отличие от шкалы косвенных значений отградуирована непосредственно в единицах измеряемой величины.

К прибору, имеющему шкалу с прямым отсчетом, измеряемая величина, обуславливающая показания, подводится непосредственно. Градуировочные отметки шкалы имеют числовые значения в единицах измеряемой величины.

Шкала цифровая — шкала средства измерений, градуировочные отметки которой образованы последовательностью дискретных цифр.

Шкала цифровая обеспечивает не непрерывные, а дискретные показания. Цифры от 0 до 9 располагаются на механически перемещающихся счетных роликах за смотровыми окошками (см. Механизм счетный) или изображаются электрически с помощью люминес-

сцентных (светонзлучающих) дюдов, газорзрядных или жидкокристаллических элементов. Показание осуществляется в виче нескольких десятичных разрядов. Разность значений измеряемой величины, показания которых отличаются на единицу младшего разряда, называется шагом дискретизации.

**Шлейф измерительный** — краткая форма измерительного механизма светолучевого осциллографа.

**Шлейф измерительный мощности** — измерительный механизм светолучевого осциллографа с электромагнитом.

**Шлейф измерительный мощности** измеряет аналогично *электродинамическому измерительному механизму* произведение двух электрических величин и регистрирует характер изменения мощности во времени; применяется в *светолучевых осциллографах*.

**Штемпелевание** (см. Клеймение).

**Штырь заземляющий** — измерительный стержень, используемый в практике геоэлектрических измерений.

Штырь заземляющий представляет собой электрод, который втыкается в грунт и подсоединяется к измерительному прибору (например, для измерения сопротивления заземления при испытании устройств заземления). Он представляет собой прутки из стали с поверхностной защитой длиной около 70 см и диаметром 10—20 мм.

**Шунт** (см. Расширение диапазона измерений).

**Шунт Айртона** — схема соединения шунтирующих сопротивлений в многодиапазонных и комбинированных электроизмерительных приборах.

Схема содержит последовательное соединение нескольких шунтирующих сопротивлений, подключаемых к измерительному механизму параллельно в различных комбинациях (см. *Многодиапазонный измеритель тока*). Нулевое контактное переходное сопротивление переключателя оказывается последовательно подключенным к схеме. Через него протекает общий ток, поэтому оно не влияет на деление тока, а следовательно, и на показание.

**Шунт магнитный** — приспособление для изменения магнитной индукции в рабочем воздушном зазоре.

Путем отвода части магнитного потока через добавочный магнитопровод (чаще регулируемый) добиваются изменения магнитной индукции в воздушном зазоре измерительного механизма (рис. 226). Шунт магнитный применяется для компенсации явления старения постоянных магнитов или для измерения чувствительности (например, *измерительный механизм, отградуированный в единицах сопротивления*).

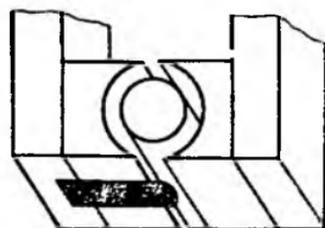


Рис. 226. Магнитный шунт. Разновидность конструкции

Э

**Экран** — поверхность электронно-лучевой трубки, на которой формируется изображение измеряемого сигнала.

На внутреннюю поверхность передней части стеклянной колбы электронно-лучевой трубки в один или несколько слоев наносится

специальный состав на основе фосфора (люминофор), способный светиться при облучении его сфокусированным электронным лучом. Излучение света происходит во время облучения электронным лучом (флуоресценция) и некоторое время по окончании облучения (фосфоресценция). От свойств люминофора зависят яркость осциллограммы, цвет экрана и время послесвечения. Во многих случаях внутренняя сторона экрана, обращенная к катоду, покрывается слоем металла. Тонкий алюминиевый слой, обладающий хорошей отражательной способностью, препятствует возникновению перестраиваний (обратного излучения) внутри трубки и обеспечивает быструю теплоотдачу, предохраняющую ее от разрушения. Некоторые экраны снабжаются растровой сеткой на внутренней стороне (см. *Растр*).

**Экранирование** — защита от магнитных и электростатических мешающих полей.

Различные измерительные механизмы, электрорадиоэлементы (например, *электронно-лучевые трубки*) и измерительные схемы чувствительны к мешающим полям. Во многих случаях помехой является даже магнитное поле Земли, а также близко расположенные токопроводящие элементы, которые создают поля, оказывающие влияние на функционирование измерительных приборов. Поэтому группы элементов защищают заземленными ограждениями (экранами) из высокомагнитопроницаемых или токопроводящих материалов. На экранирование измерительного прибора указывают специальным *обозначением на шкале*.

**Электрод ускоряющий** — один из электродов электронно-лучевой трубки.

Электрод ускоряющий имеет цилиндрическую форму и концентрическое расположение по отношению к катоду, отверстием направлен в сторону экрана. Он имеет относительно катода отрицательный потенциал и поэтому отталкивает электроны. Таким образом, ускоряющий электрод осуществляет первичную фокусировку электронов в электронный луч. Изменяя напряжение на ускоряющем электроде, можно регулировать количество электронов, оставляющих катод и летящих к экрану, т. е. интенсивность электронного луча. С помощью ускоряющего электрода устанавливается основная яркость осциллограммы. Посредством ускоряющего электрода осуществляется *гашение обратного хода луча* и возможна модуляция яркости.

**Электрод сетчатый** — экранирующая сетка электронно-лучевой трубки.

Чтобы уменьшить отрицательное воздействие поля ускоряющего электрода на отклоняющую систему, между ними устанавливается тонкая проволочная сетка плоской или выпуклой формы. В результате обеспечивается повышение чувствительности отклоняющей системы и развязка от ускоряющего напряжения.

**Электроизмерительная техника** — техника средств измерений и их применение для измерения физических (преимущественно электрических) величин.

Электроизмерительная техника есть составная часть метрологии и электротехники. Она использует явления и закономерности электротехники для измерения электрических и неэлектрических величин, которые при помощи преобразователей могут быть превращены в электрический сигнал, пригодный для измерения (рис. 227).

**Электрометр** — прибор с электростатическим измерительным механизмом.

Электрометр применяется для измерения очень высоких напряжений постоянного и переменного тока любой формы в схемах подключения электрометра с вспомогательным напряжением или без него.

**Электрометр двухкамерный** — конструктивное исполнение электростатического измерительного механизма аналогично *многокамерному электрометру*, имеющее неподвижную камеру, разделенную на две части.

**Электрометр многокамерный (квадрантный)** — разновидность конструкции *электростатического измерительного механизма*.

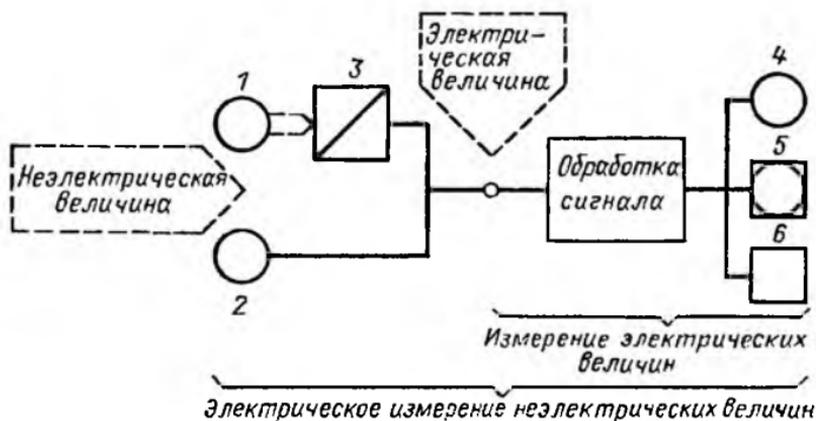


Рис. 227. Электронизмерительная техника:

1 — чувствительный элемент с неэлектрическим выходным сигналом; 2 — чувствительный элемент с электрическим выходным сигналом; 3 — измерительный преобразователь; 4 — индикатор; 5 — индикатор с регистрацией; 6 — регистратор

Неподвижная камера цилиндрической формы разделена на четыре (у двухкамерных электрометров — на две) изолированные друг от друга части. Электрометр многокамерный имеет по два противолежащих и электрически соединенных между собой электрода. Подвижный орган состоит из легкого лепестка, подвешенного на ленточном подвесе, на котором укреплено зеркальце, обеспечивающее показание посредством световой метки (рис. 228). В зависимости от измерительной задачи схема подключения электрометра может быть различной.

**Электронно-лучевая трубка** (катодно-лучевая трубка, осциллографическая трубка) — основной элемент *осциллографа*, осуществляющий измерение и индикацию сигнала.

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) представляет собой стеклянную вакуумированную колбу, внутри которой расположена система формирования электронного луча (электронная пушка), индикаторный экран и в большинстве случаев система отклонения луча (рис. 229).

Излучаемые нагретым катодом электроны (накаливание катода осуществляется в основном косвенным путем) ускоряются в направлении экрана с помощью высокого постоянного напряжения.inten-

сивность электронного луча, а следовательно, яркость свечения экрана регулируется при помощи ускоряющего электрода (см. *Электрод ускоряющий*). После этого электроны при помощи системы *фокусировки* собираются в пучок (луч) и ускоряются настолько, что при столкновении с экраном вызывают свечение пятна. Отклонение луча осуществляется при помощи электрического или магнитного поля почти без затрат мощности и практически безынерционно. В ос-

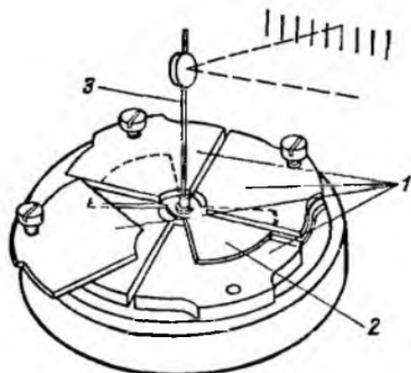


Рис. 228. Электрометр многокамерный (квадрантный):

1 — квадранты (неподвижные секторы); 2 — подвижный орган; 3 — ленточный подвес с зеркальцем измерительного механизма

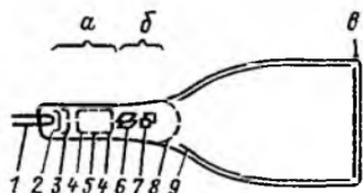


Рис. 229. Электронно-лучевая трубка с электростатической фокусировкой и отклонением:

а — система формирования луча (электронная пушка); б — система отклонения луча; в — экран; 1 — нить накала; 2 — катод; 3 — ускоряющий электрод; 4 — ускоряющий анод; 5 — фокусирующий анод (электрод-линза); 6 — вертикально отклоняющие электроды («измерительные пластины»); 7 — горизонтально отклоняющие электроды («временные пластинки»); 8 — электрод-сетка; 9 — проводящий графитовый слой или послеускоряющий анод (в виде покрытия или спирали)

циклографических ЭЛТ преимущественное применение нашли электростатические системы *отклонения луча*, построенные на парных *отклоняющих электродах*, расположенных внутри трубки. Системы электромагнитного отклонения при помощи располагаемых вне ЭЛТ катушек применяются в радиолокационных индикаторах и телевизионных трубках (кинескопах).

Различные ЭЛТ имеют дополнительное ускорение и *сетчатый электрод*. При помощи двух- или многолучевых ЭЛТ, содержащих соответствующее количество электронных пушек и отклоняющих систем, осуществляется одновременное отображение нескольких процессов. Отображение и запоминание осциллограммы в течение длительного времени осуществляется специальными *запоминающими ЭЛТ*.

Элемент индикаторный жидкокристаллический (ЖКИ) — индикаторный элемент без самосвечения.

Некоторые сложные жидкоорганические соединения обладают

оптическими свойствами кристаллов. Эта жидкокристаллическая субстанция помещается тонким слоем между двумя стеклянными пластинами, которые покрыты проводящим материалом, выполняющим роль электродов. В спокойном состоянии кристаллы рабочей жидкости располагаются параллельно верхней поверхности элемента, что обеспечивает равномерный светлый тон индикатора (т. е. отсутствие показаний). Приложение напряжения вызывает переориентацию кристаллов так, что они в проходящем или отраженном свете становятся темными. Собственным свечением жидкие кристаллы не обладают и поэтому потребляют малую мощность (менее  $0,1 \text{ мВт/см}^2$ ).

Элемент индикаторный сегментный — составная часть электрооптического цифрового индикатора.

Элемент индикаторный сегментный состоит из полосок-сегментов (в большинстве случаев их семь (рис. 230)). Могут быть исполь-



Рис. 230. Элемент индикаторный сегментный с семью сегментами (воспроизведение цифры 5)

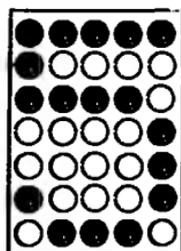


Рис. 231. Элемент индикаторный мозаичный с  $5 \times 7$  светящимися точками (воспроизведение цифры 5)

зованы софитные лампы (особенно в индикаторах больших размеров), *светоизлучающие* (люминесцентные) *диоды* или *жидкокристаллические элементы*. Посредством семи сегментов удается индцировать цифры от 0 до 9 и некоторые буквы (например, *E, H, L, S*). При этом отдельные сегменты управляются с помощью преобразователя кодов. Многопозиционные индикаторные устройства представляют собой комбинацию нескольких сегментных индикаторных элементов.

Элемент индикаторный мозаичный — электрооптический элемент цифрового индикатора мозаичного типа.

Отдельные излучающие элементы (например, лампы, люминесцентные диоды) конструктивно объединяются в виде мозаичной панели. Они возбуждаются в соответствии с начертанием цифры или буквенного символа (рис. 231). С помощью мозаичного индикатора удается индцировать большее количество разнообразных символов, чем с помощью сегментов индикаторного элемента. И в том и в другом случае необходим соответствующий решаемой задаче преобразователь кодов. Во многих случаях из отдельных элементов мозаичного индикатора собирают многопозиционные индикаторные устройства.

**Энергия (работа)** — физическая и техническая величина в электрических цепях, выражаемая как произведение мощности на единицу времени. Если в электрической цепи напряжение  $u$  и ток  $i$  являются переменными во времени величинами, то получаемая мощность, отнесенная к конкретному моменту времени (мгновенная мощность), является произведением тока и напряжения.

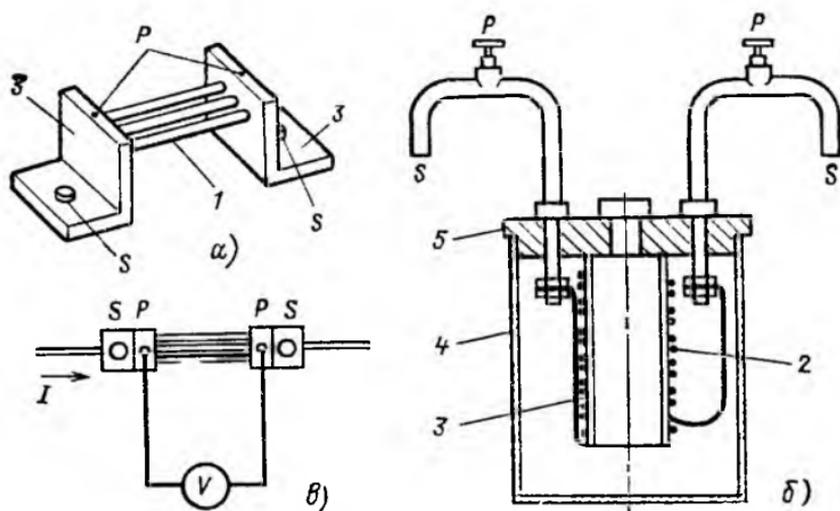


Рис. 232. Эталон сопротивления:

*а* — сопротивление в виде калиброванных стержней; *б* — катушка сопротивления; *в* — пример схемы; *1* — стержни резистивные; *2* — бифилярная намотка резистивной проволоки; *3* — крепежные опоры или каркас обмотки; *4* — защитный кожух; *5* — крышка корпуса; *S* — токовые зажимы; *P* — потенциальные зажимы

Энергия, иначе, способность производить работу, выражается мощностью, выделяемой в течение определенного промежутка времени. Электрическая энергия или работа определяется поэтому произведением электрической *мощности* и времени. Это относится как к переменному (например, трехфазному) току, так и к постоянному (табл. 18). Единицей измерения электрической энергии в системе СИ является джоуль. Кроме того, используется ватт-секунда и кратные ей величины (например, кВт·ч=киловатт·час).

**Энергии измерение** — определение значения потребляемой или вырабатываемой электрической энергии (иначе, работы).

Применяемые для измерения энергии *электрические счетчики* являются интегрирующими во времени *ваттметрами*. Поэтому средства измерения мощности и энергии имеют принципиально одинаковые электрические схемы. Напряжение прокладывается к цепи напряжения, а соответствующий ток течет по токовой цепи (см. *Схема подключения счетчика*). Если при измерении мощности показание измерительного механизма соответствует усредненному значению мощности, то при измерении энергии электрический счетчик суммирует значения мощности за интервал времени.

Таблица 18. Уравнения для вычисления потребленной энергии

Энергия или работа	Однофазный переменный ток	Симметрично нагруженная трехфазная сеть	Единица измерения
Полная переменного тока	$W_s = U_{\sim} I_{\sim} t$	$W_{s3\sim} = 3U_1 I_1 t =$ $= \sqrt{3} U_{12} I_1 t$	В·А·ч
Активная составляющая	$W_{\sim} = U_{\sim} I_{\sim} \times$ $\times \cos \varphi t$	$W_{3\sim} = 3U_1 I_1 \cos \varphi t =$ $= \sqrt{3} U_{12} I_1 \cos \varphi t$	Вт·ч
Реактивная составляющая	$W_q = U_{\sim} I_{\sim} \times$ $\times \sin \varphi t$	$W_{q3\sim} = 3U_1 I_1 \sin \varphi t =$ $= \sqrt{3} U_{12} I_1 \sin \varphi t$	вар·ч
Постоянного тока	$W_{-} = U_{-} I_{-} t$	—	Вт·ч

**Эталон** — средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы измерения физической величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений.

Во многих случаях в качестве эталонов используются наиболее точные *меры физических величин*. К эталонам относят также способы воспроизведения единиц измерения, основанные на взаимодействии основных единиц измерения, на физических (фундаментальных) константах или на определенных свойствах материалов.

Помимо области юридического распространения эталоны (интернациональный или национальный) подразделяют по ступеням точности воспроизведения на первичный (также эталон-свидетель), вторичный и эталон-копия. В зависимости от способа использования различают специальный эталон, эталон-свидетель, эталон сравнения, главный (государственный) эталон и эталон-копия. Эталон подвергается *аттестации*.

**Эталон (мера) взаимной индуктивности** — воспроизведение единицы взаимной индуктивности для целей измерения.

Эталон взаимной индуктивности должен удовлетворять тем же требованиям, что и *измерительные индуктивности* (меры индуктивности). Первичный эталон взаимной индуктивности состоит из двух электрически связанных бифилярных обмоток на керамической катушке или кольцевом сердечнике. Изменение воспроизводимой величины взаимной индуктивности обеспечивается набором катушек.

**Эталон сопротивления** — измерительное сопротивление, имеющее наивысшую точность и стабильность.

Эталоны (меры) сопротивления изготавливаются в виде стержней (рис. 232, а), лент, полосок, спиралей и заключенных в защитном корпусе проволочных обмоток (рис. 232, б). Низкоомные эталоны

(меры) сопротивления имеют отдельные клеммы для тока и напряжения, это позволяет исключить погрешность вследствие переходного сопротивления на токовых клеммах.

Эффект Холла — электромагнитный эффект, в основе которого лежит отклонение тока в магнитном поле.

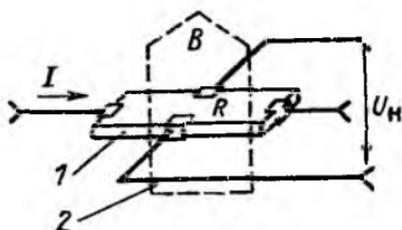


Рис. 233. Эффект Холла:

1 — полупроводниковая пластинка; 2 — магнитное поле;  $R$  — измерение сопротивления;  $I$  — ток;  $U_H$  — напряжение Холла;  $B$  — магнитная индукция

В магнитном поле на движущиеся электроны действует сила. Вектор силы перпендикулярен направлению как магнитной, так и электрической составляющих поля.

Если внести в магнитное поле с индукцией  $B$  полупроводниковую пластинку (например, из арсенида индия или антимонида индия), через которую протекает электрический ток, то возникают два явления (рис. 233). Во-первых, на боковых сторонах, перпендикулярно направлению тока возникает разность потенциалов. Напряжение Холла (ЭДС Хол-

ла) пропорционально току и магнитной индукции. Во-вторых, магнитный поток вызывает в пластинке изменение электрического сопротивления. Оба эффекта зависят от направления магнитного потока. Максимальный эффект имеет место при совпадении вектора магнитного поля с нормалью к площади полупроводниковой пластинки.

Построенные на основе эффекта Холла датчики Холла используются в генераторах Холла и датчиках тока.

## Ю

**Юстировка** — метрологическая деятельность, имеющая целью доведение погрешности средства измерений до значения, соответствующего техническим требованиям.

В процессе юстировки измерительного прибора или меры добиваются, чтобы показание прибора или номинальное значение меры как можно меньше отличалось от истинного значения. Юстировка средств измерений осуществляется заводом-изготовителем перед их эксплуатацией, чтобы они обеспечивали заданную точность. Юстировку нельзя путать с поверкой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котур В. И., Скомская М. А., Храмова Н. Н. Электрические измерения и электроизмерительные приборы: Учебник для техникумов. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Электрические измерения неэлектрических величин/Под ред. П. В. Новицкого. 5-е изд. Л.: Энергия, 1975.
3. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин. М.: Высшая школа, 1982.
4. Шляндин В. М. Цифровые измерительные устройства. М.: Высшая школа, 1981.
5. Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Справочник по электроизмерительным приборам/Под ред. К. К. Илюшина. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983.
7. Любимов Л. И., Форсимова И. Д. Проверка средств электрических измерений. Л.: Энергия, 1979.
8. Данильченко В. П., Егущин Р. А. Метрологическое обеспечение промышленного производства. Справочник. Киев: Техника, 1982.
9. Швецкий Б. И. Электронные цифровые приборы. Киев: Техника, 1981.
10. Измерения в электронике: Справочник/В. А. Кузнецов, В. А. Долгов, В. М. Коневских и др.; под ред. В. А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
11. Электрические измерения: Учебн. пособие для вузов/Под ред. В. Н. Малюковского. М.: Энергоатомиздат, 1985.
12. ГОСТ 16263-70. Метрология. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1970.
13. ГОСТ 8.417-81. ГСИ. Единицы физических величин. М.: Изд-во стандартов.
14. ГОСТ 22261-82. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1982.
15. ГОСТ 5365-83. Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1983.
16. ГОСТ 8711-78. Амперметры и вольтметры. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1978.
17. ГОСТ 8476-78. Ваттметры и варметры. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1978.
18. ГОСТ 9999-79. Приборы электроизмерительные самописные прямого преобразования. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1979.
19. ГОСТ 7165-78. Мосты постоянного тока. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1978.

20. ГОСТ 9486-79. Мосты переменного тока измерительные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1979.

21. ГОСТ 26035-83. Счетчики электрической энергии переменного тока электрические. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1983.

22. ГОСТ 22737-77. Осциллографы электронно-лучевые. Номенклатура параметров. Общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 1977.

23. ГОСТ 14014-82. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1982.

24. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1975.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Предисловие редактора 3

### А

Авометр многопредельный 4

Автокомпенсатор 4

АМ 5

Амперметр многодиапазонный  
5

Амперметр электромагнитной  
системы 5

Амплитуда 6

Амплитудная модуляция 6

Аналого-цифровое преобразова-  
ние 6

Анализатор спектра 7

Аналоговый способ измерения  
7

Аналого-цифровой преобразо-  
ватель 7

Аппаратура измерительная 10

АЦП 10

### Б

Балансировка 10

### В

Вариация показаний 10

Вариометр 10

Ваттметр (измеритель мощно-  
сти) 10

Ваттметр многоэлементный 11

Ваттметр с самокорректиров-  
кой 11

Величина 11

Величина влияющая 12

Величина измеряемая 12

Величина относительная 12

Величина переменная 13

Величина периодическая 13

Величина постоянная 13

Величина промежуточная 13

Величина синусоидальная 13

Величина смешанная 14

Величина числовая 14

Величины символ 15

Величины тип 15

Весить 15

Вероятность доверительная 15

Вероятность реализации 15

Взапная индуктивность 15

Влияние 15

Влияние внешнего поля 15

Влияние коэффициента мощно-  
сти 16

Влияние монтажа 16

Влияние напряжения 16

Влияние прогрева 16

Влияние пространственного рас-  
положения прибора 16

Влияние температуры 17

Влияние формы сигнала 17

Влияние частоты 17

Внешнее поле 17

Волюмер 17

Вольтметр 17

Вольтметр интегрирующий 19

Вольтметр многодиапазонный  
19

Вольтметр, отградуированный  
в единицах емкости 19

- Вольтметр селективный 19  
 Вольтметр цифровой 20  
 Вольтметр электронный 20  
 Вольтметр электронный переменного напряжения 20  
 Вольтметр электронный постоянного напряжения 20  
 Вольтметр электронный универсальный 20  
 Вольтметр электромагнитной системы 21  
 Временная база 21  
 Время нарастания 21  
 Время послесвечения 22  
 Время установления показаний 22  
 Входная емкость 22  
 Входная связь 23  
 Входное сопротивление 23  
 Входное сопротивление комбинированного прибора 23  
 Входной делитель напряжения 24  
 Входное полное сопротивление (импеданс) 24  
 Входная цепь синхронизации 24  
 Выбор средств измерений 24  
 Выпрямление 25  
 Выпрямление двухполупериодное 25  
 Выпрямление измерительное 25  
 Выпрямление импульсное (пииковое) 25  
 Выпрямление квазиквадратичское 25  
 Выпрямление однополупериодное 26  
 Выпрямление в режиме А (А-выпрямление) 26  
 Выпрямление в режиме В (В-выпрямление) 27  
 Выпрямление в режиме С (С-выпрямление) 27  
 Выравнивание потенциала 27
- Г
- Гальванометр 28  
 Гальванометр баллистический 28  
 Гальванометр вибрационный 28  
 Гальванометр зеркальный 28  
 Гальванометр магнитоэлектрической системы 29  
 Гальванометр напряжения 29  
 Гальванометр показывающий 29  
 Гальванометр со световым указателем 29  
 Гальванометр стержневой 29  
 Гальванометр тока 30  
 Гальванометр электронный 30  
 Гашение обратного хода луча 30  
 Генератор 31  
 Генератор высокой частоты 31  
 Генератор измерительный 31  
 Генератор импульсный 31  
 Генератор калибровки 31  
 Генератор кварцевый 32  
 Генератор Мейснера 32  
 Генератор низкой частоты (НЧ) 32  
 Генератор образцовый 32  
 Генератор пилообразного напряжения 32  
 Генератор сверхвысокой частоты 32  
 Генератор пилообразного напряжения 32  
 Генератор сигналов прямоугольной формы 33  
 Генератор синусоидального напряжения 33  
 Генератор телевизионной развертки 33  
 Генератор Холла 33  
 Генератор шума 33  
 ГКМВ 34  
 Подготовка измерительная (пробник) 34

Горизонтально отклоняющая система 34  
Градуирование грубое — точное 35  
Градуирование многозначное 35  
Градуировка 35  
Градуировка двойная 35  
Градуировка, кратная 2 35  
Градуировка однократная 35  
Градуировка односторонняя 35  
Градуировка равномерная 35  
Градуировочная отметка 35  
Градуировочная характеристика 35  
Граница перегрузки 36  
Граница погрешности гарантированная 36  
Границы доверительные 36  
Границы измерений 36  
Границы погрешности 37  
Графопостроитель 37

## Д

Датчик 38  
Датчик перемещений 38  
Датчик тока 38  
Датчик Холла 38  
Двойная коммутация 39  
Двойное замыкание на корпус 39  
Действительное значение 39  
Десятичные шкалы 39  
Делитель напряжения входной 39  
Делитель напряжения с частотной компенсацией 39  
Делитель частоты 40  
Демпфирование (успокоение); затухание 40  
Демпфирующее устройство 40  
Детектор 40  
Децибел (дБ) 40  
Диапазон влияния 40

Диапазон допустимых изменений условий эксплуатации 40  
Диапазон измерений 40  
Диапазон нагрузки 41  
Диапазон подавления 41  
Диапазон показаний 41  
Диапазон рабочий 41  
Диапазон рабочих температур 41  
Диапазон частот 41  
Диапазон шкалы 42  
Диод люминесцентный 42  
Дискретизация 42  
Дисплей 42  
Длина шкалы 42  
Длительность импульса 42  
Длительность периода 43  
Добротность 43  
Добротность катушки 43  
Дозирование 43  
Допуск 43  
Дополнительное ускорение 43  
Дрейф 43  
Дрожание 43

## Е

Единица измерений 43  
Единица измерения 43  
Емкость входная 44  
Емкость катушки 44  
ЕОКК 44

## З

Заземление защитное 44  
Завуление 44  
Запуск 44  
Защита от перегрузки 45  
Значение величины 45  
Значение в данный момент времени 46  
Значение действительное 46  
Значение измеренное 46  
Значение индицируемое 46  
Значение истинное 46

Значение конечное 46  
Значение максимальное 47  
Значение мгновенное 47  
Значение наименьшее 47  
Значение номинальное 47  
Значение номинальное (заданное) 47  
Значение нормирующее 47  
Значение от «пика до пика» 47  
Значение пиковое 47  
Значение постоянное 47  
Значение правильное (действительное) 48  
Значение промежуточное 48  
Значение средневыпрямленное 48  
Значение среднее арифметическое 48  
Значение среднее 48  
Значение численное 48  
Значение эффективное 49  
Зонд 50

## И

Измерение 50  
Измерение активной мощности 50  
Измерение взаимной индуктивности 50  
Измерение времени осциллографическое 51  
Измерение емкости 51  
Измерение индуктивности 52  
Измерение коэффициента гармоник 52  
Измерение коэффициента модуляции 52  
Измерение коэффициента мощности 53  
Измерение коэффициента потерь 54  
Измерение магнитных величин 54  
Измерение мощности 54

Измерение мощности постоянного тока 54  
Измерение напряжения 54  
Измерение напряжения осциллографическое 56  
Измерение неэлектрических величин 57  
Измерение освещенности 57  
Измерение переменных величин 57  
Измерение перемещения 58  
Измерение полной мощности 58  
Измерение полных сопротивлений 58  
Измерение постоянной величины 59  
Измерение постоянной времени разряда 59  
Измерение реактивной мощности 60  
Измерение реактивной мощности методом одного ваттметра 60  
Измерение силы 60  
Измерение смешанных величин 61  
Измерение собственной индуктивности 61  
Измерение сопротивления 61  
Измерение сопротивления изоляции 62  
Измерение температуры 62  
Измерение тока 62  
Измерение угла (углового положения) 63  
Измерение уровня 63  
Измерение фазового угла осциллографическое 64  
Измерение частоты 65  
Измерение частоты осциллографическое 65  
Измерение числа оборотов 65  
Измерение энергии 66  
Измерение яркости 66

- Измерения динамические 66
- Измерения статические 66
- Измеритель анодного напряжения электростатический 66
- Измеритель коэффициента мощности 66
- Измеритель мощности 67
- Измеритель нуля 67
- Измеритель освещенности 67
- Измеритель реактивной мощности 67
- Измеритель сопротивления 68
- Измеритель сопротивления с параллельным подключением 68
- Измеритель сопротивления с последовательным подключением 68
- Измеритель тока 69
- Измеритель тока, градуированный в единицах мощности 70
- Измеритель универсальный 70
- Измеритель яркости 70
- Измерительная аппаратура 70
- Измерительная информация 70
- Измерительная система 71
- Измерительная техника 71
- Измерительная техника лабораторная 72
- Измерительная техника прецизионная 72
- Измерительная техника рабочая 72
- Измерительная техника технологическая 72
- Измерительный механизм 72
- Измерительный механизм биметаллический 73
- Измерительный механизм вибрационный 74
- Измерительный механизм динамометрический 74
- Измерительный механизм дифференциальный 74
- Измерительный механизм индукционной системы 74
- Измерительный механизм индукционный с бегущим полем 74
- Измерительный механизм индукционный 74
- Измерительный механизм магнитоэлектрический 75
- Измерительный механизм магнитоэлектрический с внутрирамочным магнитом 75
- Измерительный механизм магнитоэлектрической системы с внешним магнитом 75
- Измерительный механизм магнитоэлектрической системы 76
- Измеритель сопротивления (омметр) магнитоэлектрической системы 77
- Измерительный механизм на основе рабочего органа из магнитомягкого железа 77
- Измерительный механизм осциллографического гальванометра 77
- Измерительный механизм, градуированный в единицах сопротивления 77
- Измерительный механизм светолучевого осциллографа 77
- Измерительный механизм со скрещенными катушками (логометр) 78
- Измерительный механизм с плоской катушкой 79
- Измерительный механизм с подвижным (вращающимся) магнитом 79
- Измерительный механизм суммирующий 80

- Измерительный механизм тепловой 80
- Измерительный механизм термоэлектрический 81
- Измерительный механизм ферродинамический 81
- Измерительный механизм электродинамический 81
- Измерительный механизм электродинамический без магнита 81
- Измерительный механизм электродинамический с замкнутым магнитопроводом 82
- Измерительный механизм электромагнитной системы 83
- Измерительный механизм электромагнитной системы с круглой катушкой 84
- Измерительный механизм электростатический (электрометр) 84
- Измерительный прибор выпрямительной системы 84
- Измерительный прибор индукционной системы 85
- Измерительный прибор рабочий 85
- Измеряемый объект 85
- Изоляция защитная 85
- Импеданс 86
- Импульс 86
- Индикатор 86
- Индикаторный элемент электровакуумный 87
- Индикация цифровая 87
- Индуктивность измерительная 87
- Индуктор с ручным приводом 87
- Интервал измерений 87
- Интервал шкалы 88
- Интерфейс 88
- Исключение нулевой точки 88
- Исправление измеренного значения 88
- Испытание под нагрузкой 88
- Испытание электрической цепи на разрыв 88
- Испытания 88
- Испытания (контроль) аварийного отключения 89
- Испытания первичные 89
- Испытания приемо-сдаточные 89
- Испытания с помощью прямоугольного импульса 89
- Испытания электрические 91
- Испытатель напряжения 91
- Источник синхронизации 91
- Источник шума образцовый 91

## К

- Калибрование 91
- Капание (частоты) 91
- Квант измерений 92
- Квантование 92
- ККЕ 92
- Класс 92
- Класс погрешности 92
- Классификация, классифицирование 92
- Класс точности 92
- Клеймение 93
- Клещи измерительные коэффициента мощности 93
- Клещи ток измерительные 93
- Клещи токотрансформаторные 94
- Кодирование 94
- Колебания 94
- Компаратор 94
- Компаратор напряжений 94
- Компарирование напряжений 94
- Компарирование токов 95
- Компенсатор 96

Компенсатор Лнидека—Роте 96  
Компенсатор переменного на-  
пряжения 96  
Компенсатор по Ларсену 97  
Компенсатор по Поттендорфу  
98  
Компенсатор постоянного на-  
пряжения 98  
Компенсатор по Фойсперу с  
двойными декадами 99  
Компенсатор Румпфа 99  
Компенсатор с генератором  
101  
Компенсатор самоуравновеши-  
вающийся 101  
Компенсации магнитного поля  
Земли 101  
Компенсограф 101  
Комплект для измерения мощ-  
ности 101  
Конденсатор дифференциаль-  
ный 101  
Конечное значение шкалы 101  
Контроль безопасного напря-  
жения 101  
Контроль выравнивания потен-  
циалов 102  
Контроль зануления 102  
Контроль защитного заземле-  
ния 102  
Контроль защитного контакта  
штекерного соединения 102  
Контроль защитной изоляции  
102  
Контроль мер защиты 103  
Контроль системы защитных  
проводов 103  
Контроль тока утечки схем за-  
щиты 103  
Контроль устройств заземления  
103  
Концепция сменных блоков 104  
Корпус 104  
Коррекция (поправка) 104

Корректор пуля 104  
Коррекция погрешности 105  
Коррекция по закону косинус-  
са 105  
Коэффициент активности 105  
Коэффициент амплитуды 105  
Коэффициент взаимной индукции  
105  
Коэффициент временной раз-  
вертки 106  
Коэффициент гармоник 106  
Коэффициент модуляции 106  
Коэффициент мощности 107  
Коэффициент нелинейных ис-  
кажений 108  
Коэффициент отклонения (фак-  
тор отклонения) 108  
Коэффициент передачи 108  
Коэффициент потерь 108  
Коэффициент реактивности 108  
Коэффициент связи 108  
Коэффициент усиления 108  
Коэффициент формы 109  
Коэффициент шума 109  
Кратные и дольные (единицы)  
десятичные 109  
Крепление подвижной части с  
помощью ленточных растя-  
жек 110

## Л

Лампа катодно-излучающая  
110  
Лампа с экраном 110  
Ламповый вольтметр 110  
Линия задержки 110  
Логометр 110  
Логометр магнитоэлектрический  
111  
Логометр электродинамический  
111

## М

Магазин сопротивлений декад-  
ный 112  
Магниторезистор 112

- Масштаб времени 112  
 МБМВ 112  
 Мгновенное значение 112  
 Международная конвенция по измерениям 113  
 Международная организация законодательной метрологии 113  
 Международная система единиц 113  
   мер 113  
 Мера 113  
 Мера емкости 113  
 Мера измерительная 114  
 Место измерения 114  
 Метка 114  
 Метка индикаторная 114  
 Метод амперметра-вольтметра 114  
 Метод амперметра/вольтметра/частотомера 114  
 Метод амперметра/вольтметра/частотомера/ваттметра 115  
 Метод двойного интегрирования 116  
 Метод двух ваттметров 116  
 Метод дополнения (измерительный) 116  
 Метод замещения (измерительный) 116  
 Метод измерений 117  
 Метод измерения дифференциальный 117  
 Метод измерения компенсационный 117  
 Метод измерения, основанный на повторяющихся комбинациях 117  
 Метод измерения реактивной мощности тремя ваттметрами 117  
 Метод измерения тока 118  
 Метод компенсации 118  
 Метод непосредственной оценки 118  
 Метод одного ваттметра 118  
 Метод относительный (измерений) 119  
 Метод перестановки (измерительный) 119  
 Метод приращений 119  
 Метод совокупных измерений 119  
 Метод совпадения 119  
 Метод сравнения 119  
 Метод сравнения частот 119  
 Метод стробоскопический 120  
 Метод трех амперметров 120  
 Метод трех ваттметров 120  
 Метод трех вольтметров 121  
 Метод уравнивания 122  
   -метр 122  
 Метрология 122  
 Метрологическая деятельность 122  
 Метрология законодательная 122  
 Метрология теоретическая 122  
 Механизм счетный 122  
 МикроЭВМ 122  
 МКМВ 123  
 МКТП 123  
 Модуляционная трапеция 123  
 Модуляция амплитудная 123  
 Z-модуляция 123  
 МОЗМ 123  
 Монтаж 123  
 Мост для измерения взаимной индуктивности 123  
 Мост для измерения параметров цепей 123  
 Мост для измерения частоты 123  
 Мост измерительный 124  
 Мост измерительный Вина 125  
 Мост измерительный Вина—Робинсона 126

Мост измерительный двойной 126  
Мост измерительный декадный 126  
Мост измерительный емкостный 127  
Мост измерительный индуктивный 127  
Мост измерительный Максвелла 127  
Мост измерительный Максвелла—Вина 128  
Мост измерительный нелинейных искажений 128  
Мост измерительный Нерста—Хагена 129  
Мост измерительный неуравновешенный 129  
Мост измерительный переменного тока 130  
Мост измерительный полных сопротивлений 130  
Мост измерительный постоянного тока 130  
Мост измерительный рассогласования 130  
Мост измерительный резонансного типа 131  
Мост измерительный резонансный 131  
Мост измерительный реохордный 131  
Мост измерительный реактивный 132  
Мост измерительный Томсона 133  
Мост измерительный Уитстона 134  
Мост измерительный уравновешиваемый 134  
Мост измерительный Шеринга 134  
Мостовая схема 135  
Мост процентный 135

Мощность 135  
Мощность активная 136  
Мощность измерительная 136  
Мощность искажений 136  
Мощность полная 137  
Мощность реактивная 137  
Мультиметр 137  
Мультиметр цифровой 137  
Мультиплексор 137  
МЭК 137

## Н

Нагрузка 138  
Нагрузка счетчика 138  
Напряжение безопасное 138  
Напряжение испытательное 138  
Начальное значение шкалы 138  
Недостоверность измерений 138  
Нелинейность 139  
Непер 139  
Неправильность 139  
Нормальная область (значений) 139  
Нормальная температура 139  
Нормальное значение 139  
Нормальные условия 139  
Нормальный элемент 139  
Носитель диаграммы 140  
Носитель шкалы 140  
Нулевая отметка 140  
Нулевая отметка естественная 140  
Нулевая отметка шкалы 140  
Нуль-индикатор 141  
Нуль-индикатор переменного тока 141  
Нуль-индикатор постоянного тока 141  
Нуль механический 141  
Нуль электрический 141

## О

Область перегрузки 141  
Область разрешения 142

- Обозначение класса точности 142
- Обозначение единиц измерений 142
- Обозначения на шкале 142
- Обозначения формульные (в математических выражениях) 147
- Образец 147
- Образцовая линия 147
- Общий диапазон измерений 147
- Объект измерений 147
- Омметр логотрический 147
- Омметр цифровой 148
- Опора 148
- Опора на цапфу 149
- Опора на шпиль 149
- Опора на шпиль внешняя 149
- Опора на шпиль внутренняя 149
- Опорная линия 149
- Опорная линия (шкалы) 149
- Определение градуировочной характеристики 149
- Определение мощности 150
- Определение сопротивления путем измерения тока и напряжения 151
- Осмотр визуальный 152
- Осциллограмма 152
- Осциллограф 152
- Осциллограф двухканальный 152
- Осциллограф двухлучевой 153
- Осциллограф запоминающий 153
- Осциллограф одноканальный 154
- Осциллограф, работающий в реальном масштабе времени 154
- Осциллограф светолучевой 154
- Осциллограф со вставными (сменными) блоками 154
- Осциллограф стробоскопический 154
- Осциллограф стробоскопический вычислительный 155
- Осциллограф стробоскопический, работающий в реальном масштабе времени 155
- Осциллограф стробоскопический с последовательным считыванием 156
- Осциллограф стробоскопический с произвольной выборкой 156
- Осциллограф стробоскопический цифровой 156
- Осциллограф считывающий (воспроизводящий) 156
- Осциллограф цифровой 156
- Осциллограф шлейфовый 156
- Осциллограф электроно-лучевой 156
- Осциллограф электронный 156
- Осциллографическая трубка 157
- Отклонение 157
- Отклонение луча 157
- Отклоняющие электроды 157
- Отключение защитное 158
- Отметка деления 158
- Отметка шкалы 158
- Отношение плеч моста 158
- Отрицательная обратная связь 159
- Оценка 159
- Оценка количественная 159

## П

- Падение напряжения 159
- Папский шкалы 160
- Параллакс 160
- Первичный измерительный преобразователь 160
- Первичный измерительный преобразователь дифференциальный 160

- Первичный измерительный преобразователь диэлектрический 160
- Первичный измерительный преобразователь емкостный 160
- Первичный измерительный преобразователь индуктивный 161
- Первичный измерительный преобразователь омический (резистивный) 161
- Первичный измерительный преобразователь пьезоэлектрический 161
- Первичный измерительный преобразователь термоэлектрический 161
- Первичный измерительный преобразователь электродинамический 162
- Перекос колебания 162
- Переменный ток 162
- Пик-фактор 162
- Пирометр 162
- Пирометр излучения 163
- Пирометр полного излучения 163
- Пирометр частичного излучения 163
- Повторитель напряжения 163
- Поверка 164
- Погрешность 164
- Погрешность абсолютная 164
- Погрешность грубая 164
- Погрешность динамическая 164
- Погрешность дополнительная 165
- Погрешность измерений 165
- Погрешность интерполяции 165
- Погрешность квантования 165
- Погрешность наблюдения 165
- Погрешность объективная 165
- Погрешность основная 165
- Погрешность от наклона 165
- Погрешность относительная 165
- Погрешность процентная 166
- Погрешность систематическая 166
- Погрешность случайная 166
- Погрешность средства измерений 167
- Погрешность статическая 167
- Погрешность статическая цифровая 167
- Погрешность субъективная 167
- Погрешность счета 167
- Погрешность считывания 167
- Подвеска ленточная 167
- Подвижный орган 168
- Подпятник 168
- Показание 168
- Показание аналоговое 168
- Полная схема Греча 168
- Полное сопротивление входное 168
- Полное сопротивление нагрузки 168
- Положение рабочее 169
- Полоса частот 169
- Полусхема Греча 169
- Полярность синхронизации (запуска) 169
- Помеха 169
- Порог срабатывания 169
- Порог чувствительности 170
- Последовательность импульсов 170
- Постоянная гальванометра 170
- Постоянная затухания 170
- Постоянная счетчика 170
- Постоянная шкалы 170
- Постоянный ток 171
- Потери 171
- Правила подключения измерительного трансформатора 171
- Предел погрешности 171
- Предел прочности 171
- Предельное затухание 172

- Преобразование аналого-цифровое 172
- Преобразование в цифровую форму 172
- Преобразователь 172
- Преобразователь аналого-цифровой 172
- Преобразователь длины шкалы 172
- Преобразователь измерительный аналоговый 172
- Преобразователь измерительный функциональный 172
- Преобразователь измерительный цифровой 172
- Преобразователь полного сопротивления (импеданса) 172
- Преобразователь кодов 173
- Преобразователь колебаний пилообразной формы 173
- Преобразователь перемещение—код 174
- Преобразователь перемещений 174
- Преобразователь постоянного напряжения 174
- Преобразователь разделительный 174
- Преобразователь разделительный по току 174
- Преобразователь суммирующий 174
- Преобразователь тензометрический 175
- Преобразователь цифра — цифра 175
- Прибор измерительный 176
- Прибор измерительный астатический 176
- Прибор измерительный в виде клещей 177
- Прибор измерительный интегрирующий 177
- Прибор измерительный искажений 177
- Прибор измерительный контактный 177
- Прибор измерительный переносный 177
- Прибор измерительный печатающий 177
- Прибор измерительный показывающий 177
- Прибор измерительный прецизионный 177
- Прибор измерительный с потенциометрическим съемом сигнала 177
- Прибор измерительный с регистрацией в коде 177
- Прибор измерительный стационарный 178
- Прибор измерительный электронный 178
- Прибор комбинированный 178
- Прибор показывающий 179
- Прибор регистрирующий 179
- Прибор самопишущий 179
- Прибор самопишущий автоматический 181
- Прибор самопишущий барабанного типа 181
- Прибор самопишущий компенсационного типа 181
- Прибор самопишущий координатный 181
- Прибор самопишущий ленточный 182
- Прибор самопишущий на основе измерительного механизма 182
- Прибор самопишущий на основе измерительного механизма с линейной записью 182
- Прибор самопишущий на основе измерительного механизма с точечной записью 183
- Прибор самопишущий с диском

вой диаграммой 183  
Прибор самопишущий с непрерывной записью 183  
Прибор самопишущий с падающей дужкой 183  
Прибор самопишущий с регистрацией на бумажную ленту 183  
Прибор самопишущий с точечной записью 184  
Прибор электронизмерительный 184  
Прибор электронизмерительный непосредственной оценки 185  
Принадлежность 185  
Принадлежность взаимозаменяемая 185  
Принадлежность не взаимозаменяемая 185  
Принадлежность частичной заменяемости 185  
Принцип измерения 185  
Приращение 185  
Приставка (к наименованию единиц измерений) 186  
Пробник 187  
Провод соединительный 187  
Протокол измерений 188  
Прочность электрическая 188  
Пульсация 188

## Р

Работа 189  
Рабочий цикл 189  
Разброс, рассеяние 189  
Размах колебаний 189  
Размер номинальный 189  
Разрешающая способность 189  
Разрядник измерительный искровой 189  
Распределение погрешностей 189  
Расстояние между штрихами 190

Растр 190  
Растяжение 190  
Расчет погрешности 190  
Расширение диапазона измерений 190  
Расширение диапазона измерения напряжения 191  
Расширение диапазона измерения тока 192  
Режим внешней развертки 192  
Режим временной развертки 192  
Резольвер 193  
Результат измерения 193

## С

Самодемпфирование катушки 193  
Светолучевой осциллограф 194  
Сельсин 194  
СИ 195  
Сигнал 195  
Сигнал измерительный 195  
Сигнал измерительный аналоговый 195  
Сигнал измерительный двоичный 195  
Сигнал измерительный дискретный 196  
Сигнал измерительный многопозиционный 196  
Сигнал измерительный непрерывный 197  
Сигнал измерительный прерывистый 197  
Сигнал измерительный цифровый 197  
Синхронизация 137  
Синхронизация внешняя 197  
Синхронизация внутренняя 197  
Синхронизация от сети 197  
Синхронизация телевизионная 197  
Синхроноскоп 198

- Система вертикального отклонения 198
- Система выравнивания потенциалов 198
- Система горизонтального отклонения 198
- Система защитных проводов 198
- Скважность 199
- Смесительный каскад 199
- Собственное потребление мощности 199
- Совместимость 200
- Содержание высших гармоник 200
- Сопротивление внутреннее измерительного прибора 200
- Сопротивление входное 200
- Сопротивление измерительного механизма 200
- Сопротивление измерительного прибора, зависящее от измеряемого напряжения 200
- Сопротивление измерительное 200
- Сопротивление испытательное 200
- Сопротивление образцовое 201
- Сопротивление ограничительное внешнее 201
- Сопротивление относительное 201
- Сопротивление шунтирующее 201
- Сортирование 201
- Спад вершины 201
- Способы защиты от поражения электрическим током 202
- Способ измерения 202
- Способ измерения аналоговый 202
- Способ измерения длины волны 202
- Способ измерения цифровой 202
- Способ кодирования 202
- Способ намотки 203
- Способ перезаряда конденсатора 203
- Способ подключения счетчика 203
- Способ потенциометрический 203
- Способ расположения делений 203
- Способ резонансный 204
- Способ счета 204
- Сравнение зарядов 204
- Сравнение частот 205
- Сравнимые условия 206
- Средневыпрямленное значение 207
- Среднее арифметическое значение 207
- Среднее значение 208
- Среднее значение полуволны 208
- Среднее квадратическое отклонение 208
- Средство измерений 208
- Стабилизация показаний 209
- Стандартный сигнал 209
- Статистическая обработка 209
- Стратегия измерений 209
- Стробоскоп 210
- Стробоскоп со световыми вспышками 210
- Стробоскоп с диафрагмой 211
- Стробоскопический эффект 211
- Схема автоматического выключения цепи при токовых поражениях 211
- Схема Арона 211
- Схема Арона двойная 213
- Схема вентильная 214
- Схема выключения аварийного потенциала 214
- Схема гетеростатическая 214

Схема Грецца 214  
Схема Гуммеля 214  
Схема двухтактная 215  
Схема замещения 215  
Схема запуска 217  
Схема игольчатая 217  
Схема идиостатическая 217  
Схема косвенного подключения ваттметра 217  
Схема подключения ваттметра 217  
Схема подключения электрометра 218  
Схема подключения электрометра многокамерная (квадрантная) 219  
Схема полукосвенного подключения ваттметра 219  
Схема правильного включения амперметра 219  
Схема правильного включения вольтметра 220  
Схема прямого подключения ваттметра 220  
Схема Свинберна 220  
Схема создания искусственной нулевой точки 220  
Схема со средней точкой 221  
Схема счетная 221  
Счет (подсчет) 221  
Счетный каскад 221  
Счетчик активной мощности 221  
Счетчик для четырехпроводной сети 222  
Счетчик индукционный 222  
Счетчик киловатт-часов 223  
Счетчик максимальных значений 223  
Счетчик многотарифный 223  
Счетчик переменного тока 223  
Счетчик перерасхода энергии 224  
Счетчик постоянного тока 224  
Счетчик реактивной энергии 225

Счетчик тарифный 225  
Счетчик трансформаторный 225  
Счетчик трехфазный 226  
Счетчик трехфазный электро-энергии 226  
Счетчик широкодиапазонный 226  
Счетчик электрической энергии 226  
Счетчик электронный 227

## Т

Тахогенератор 227  
Тахометр на вихревых токах 227  
Тахометр центробежный 228  
Телевизионная синхронизация 228  
Телеметрия 228  
Тензодатчик 228  
Термометр контактный 228  
Термометр контактный механический 228  
Термометр контактный электрический 228  
Термометр сопротивления 228  
Термопреобразователь 229  
ТермоЭДС 229  
Термоэлемент 230  
Тестер электронный для проверки кабелей 230  
Техника телеизмерений 230  
Тип делений 230  
Тип шкалы 230  
Ток измерительного механизма обратный 230  
Точность 230  
Точность измерений 231  
Точный измерительный прибор (прецизионный) 231  
Трансвертер 231  
Трансформатор дифференциальный 232  
Трансформатор измерительный

комбинированный 232  
Трансформатор измерительный  
проходной 232  
Трансформатор напряжения 232  
Трансформатор тока 233  
Трансформатор тока многодиа-  
пазонный 234  
Трансформатор тока суммиру-  
ющий 234  
Трансформатор электрический  
· измерительный 234  
Трубка двухлучевая 235  
Трубка запоминающая 235

## У

Угол потерь (диэлектрических)  
235  
Указатель 235  
Указатель в виде иглы (стрел-  
ки) 236  
Указатель вещественный 236  
Указатель контактный 236  
Указатель механический 236  
Указатель направления враще-  
ния фаз (поля) 237  
Указатель ножевого типа 237  
Указатель перемещаемый 237  
Указатель световой 237  
Указатель стрелочный 238  
Указатель частоты 238  
Уравнение шкалы 238  
Уровень 238  
Уровень передачи 239  
Уровень синхронизации 240  
Усиление 240  
Усилитель 240  
Усилитель дифференциальный  
241  
Усилитель измерительный 241  
Усилитель переменного напря-  
жения 242  
Усилитель постоянного напря-  
жения 242  
Усилитель с вибропреобразова-

телем 242  
Усилитель селективный 243  
Усилитель отключения 243  
Условия измерений 243  
Условия номинальные 243  
Условия повторения 243  
Условия применения (эксплуа-  
тации) 243  
Условия равновесия моста 243  
Условия эксперимента 244  
Успокоение вихревыми токами  
244  
Успокоение жидкостное 244  
Успокоение индукционное 244  
Успокоение рамки 244  
Успокоение с использованием  
диска 244  
Успокоитель воздушный камер-  
ный 245  
Успокоитель камерный 245  
Установка измерительная 245  
Устройство возвратное 245  
Устройство декодирующее 246  
Устройство для разложения  
вектора на составляющие 246  
Устройство измерительное 247  
Устройство индикации 247  
Устройство печатающее 247

## Ф

Фазовый угол 247  
Фазовый эллипс 247  
Фактор отклонения 247  
Фигура Лиссажу 247  
Флюксметр 248  
Фокусировка 248  
Фронт синхронизации, запуска  
248  
Фундаментальные методы из-  
мерений 248

## Ц

ЦАП 248  
Цвет экрана 248

Цена деления шкалы 218  
Цепь вспомогательная 249  
Цепь вспомогательная (тока)  
249  
Цепь измерения 249  
Цепь измерительная 250  
Цепь напряжения 250  
Цепь тока 250  
Цифро-аналоговый преобразо-  
ватель 250  
Цифровой амперметр 251  
Цифровой вольтметр 251  
Цифровой мультиметр 252  
Цифровой омметр 252  
Цифровой осциллограф 252

### Ч

Частота 253  
Частота граничная 253  
Частота предельная 253  
Частотная модуляция 253  
Частотная характеристика 254  
Частотомер резонансный 254  
Частотомер резонансный (виб-  
рационный) 255  
Частотомер счетный 256  
Численное значение 256  
Численные значения шкалы 256  
ЧМ 256  
Чувствительность 256  
Чувствительность к отклонению  
256  
Чувствительность синхрониза-  
ции 257  
Чувствительность срабатывания  
257  
Чувствительный элемент 257  
Чувствительный элемент анкер-  
ный 257  
Чувствительный элемент с втяж-  
ным якорем 257

### Ш

Шаг дискретизации 257

Ширина записи 257  
Шкала 257  
Шкала аналоговая 258  
Шкала безразмерная 259  
Шкала вертикальная 259  
Шкала градуированная 259  
Шкала зеркальная 259  
Шкала интервальная 259  
Шкала комбинированная 259  
Шкала косвенных значений 259  
Шкала круговая 260  
Шкала линейная 260  
Шкала нелинейная 260  
Шкала номинальная 260  
Шкала пропорциональности 260  
Шкала равномерная 260  
Шкала размерная 260  
Шкала секторная 260  
Шкала с прямым отсчетом 260  
Шкала цифровая 260  
Шлейф измерительный 261  
Шлейф измерительный мощно-  
сти 261  
Штемплевание 261  
Штырь заземляющий 261  
Шунт 261  
Шунт Аиртона 261  
Шунт магнитный 261

### Э

Экран 261  
Экранирование 262  
Электрод ускоряющий 262  
Электрод сетчатый 262  
Электронизмерительная техника  
262  
Электрометр 262  
Электрометр двухкамерный 263  
Электрометр многокамерный  
(квадратный) 263  
Электронно-лучевая трубка 263  
Элемент индикаторный жидко-  
кристаллический 264

Элемент индикаторный сегментный 265	Эталон (мера) взаимной индуктивности 267
Элемент индикаторный мозаичный 265	Эталон сопротивления 267
Энергия 266	Эффект Холла 268
Энергии измерение 266	Ю
Эталон 267	Юстировка 268

Справочное издание

ШУЛЬЦ Ю.

**ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**  
1000 понятий для практиков

Заведующий редакцией *А. Б. Желдыбин*  
Редактор издательства *Ю. Ф. Архипцев*  
Художественные редакторы *А. Т. Кирьянов* и *А. А. Белоус*  
Технический редактор *Г. С. Соловьева*  
Корректор *З. Б. Драновская*

ИБ № 2727

---

Слано в набор 02.11.88. Подписано в печать 15.05.89. Формат 84×108<sup>1/2</sup>.  
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. печ. л. 15,12. Усл. кр.-отт. 15,12. Уч.-изд. л. 20,53. Тираж  
150 000 экз. Заказ № 192. Цена 2 р. 30 к.

---

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

---

Владимирская типография Госкомитета СССР по печати  
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

