

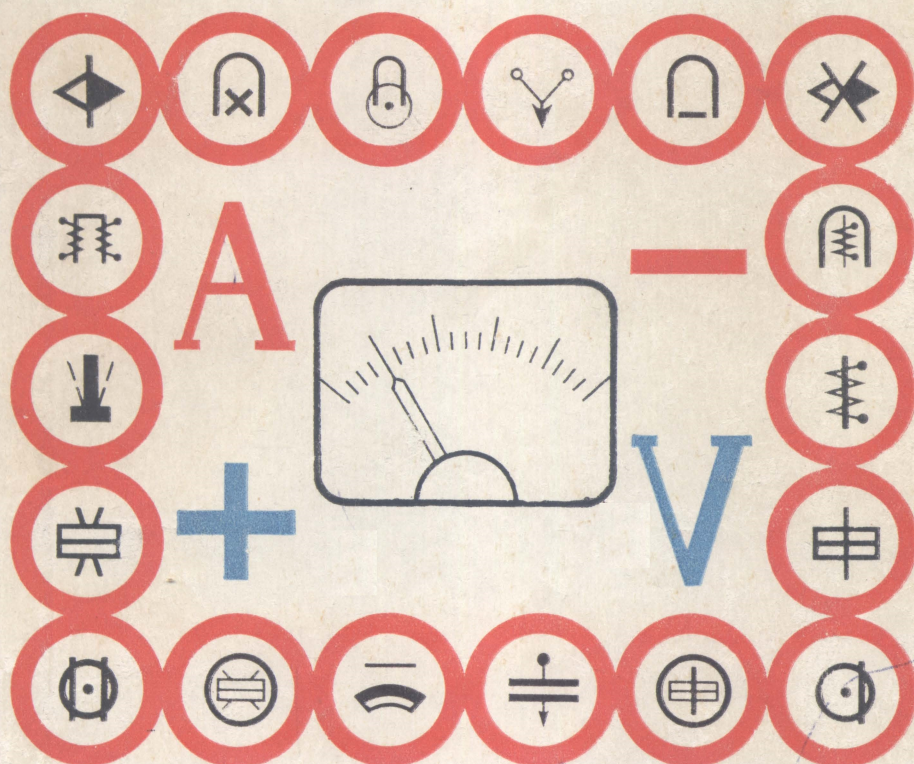
ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
ИЗМЕРЕНИЯ

Ш. М. Алукер

ЭЛЕКТРО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ



Ш. М. Алукер

А

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

**ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ**

О д о б р е н о
Ученым советом при Государственном комитете
Совета Министров СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебного пособия
для средних профессионально-технических
училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1976

6П2.1.08
А52

Все замечания и предложения просим направлять по адресу: Москва, К-51,
Неглинная ул., 29/14. Издательство «Высшая школа».

- А 52 Алукер Ш. М.
Электроизмерительные приборы. Изд. 3-е, перераб. и доп.
Учеб. пособие для средн. проф.-техн. училищ. «Высш. школа».
М., 1976.
232 с. с ил.

В книге рассматриваются устройство и принцип работы электроизмерительных приборов, а также излагаются вопросы, относящиеся к сборке, регулировке и испытаниям этих приборов.

Третье издание книги дополнено главами VI—X, посвященными сборке, регулировке, градуировке и испытаниям электроизмерительных приборов. Эти главы (кроме §§ 43—47) написаны канд. техн. наук В. Э. Расовским. Им же внесены в книгу необходимые изменения и исправления, обусловленные новыми ГОСТами, и материал приведен в соответствие с современными требованиями.

А $\frac{30306-202}{052(01)-76}$ 34—76

6П2.1.08

ВВЕДЕНИЕ

Познание окружающей нас действительности, изучение закономерностей явлений природы, развитие науки и техники неразрывно связаны с измерениями. Д. И. Менделеев писал, что наука начинается с тех пор, как начинают измерять: точная наука немыслима без меры. Измерения способствуют увеличению количества получаемой информации и повышению ее достоверности, содействуют научному и техническому прогрессу и вместе с ним сами совершенствуются.

Без современных средств измерений и контроля невозможны механизация и автоматизация производственных процессов. Наибольшее распространение в настоящее время получили электрические измерения. Главными их достоинствами являются: широкий диапазон измеряемых величин, высокая чувствительность и точность, возможность не только узнать значение измеряемой величины, но и записать изменение ее во времени, измерение на расстоянии (телеизмерение), измерение неэлектрических величин.

Большой и ценный вклад в развитие электроприборостроения и метрологии внесли ученые и инженеры дореволюционной России. Многие их труды не потеряли своей ценности до сих пор. Так, принцип устройства прибора для измерений максимальной электрической силы, разработанный М. В. Ломоносовым, реализуется в современных показывающих приборах без принципиальных изменений. Точно так же электроизмерительные приборы, созданные М. О. Доливо-Добровольским, дошли до наших дней. В конце XIX в. в России были изданы первые работы по электрическим измерениям.

Однако бурное развитие электроизмерительной техники началось после Великой Октябрьской социалистической революции. Уже в 20-х годах были заложены специализированные электроприборостроительные предприятия, а в 1927 году вступил в строй завод «Электроприбор». Впервые в мире у нас применена конвейерная сборка электросчетчиков и щитовых приборов.

Научные работы Н. Н. Разумовского, Н. Н. Пономарева и его учеников, В. О. Арутюнова и многих других советских ученых и инженеров по теории расчета и конструкции электроизмерительной аппаратуры, созданные коллективами кафедр ведущих вузов страны, по своей оригинальности, широте и глубине трактовки занимают ведущее место в мировой литературе.

Велики заслуги в развитии отечественной электроизмерительной техники и метрологии советских ученых: Е. Г. Шрамкова, Б. М. Яновского, М. Ф. Маликова, А. К. Колосова, В. О. Арутюнова, А. В. Фремке, К. Б. Карандеева, А. Д. Нестеренко, Р. Р. Харченко, А. В. Талиц-

кого, А. М. Туричина, М. И. Левина и многих других. Десятки ученых и специалистов удостоены Ленинской и Государственной премий.

Увеличение выработки электроэнергии в стране, осуществление плана комплексной механизации и автоматизации производства потребовали создания качественно новых электроизмерительных приборов и устройств, замены устаревших приборов современными, основанными на новых принципах измерения. Начали внедряться автоматические приборы с цифровым отсчетом, которые обеспечивают не только быстрые и точные измерения, но и связь с системами автоматического управления и регулирования. Ведется большая работа по повышению качественных показателей измерительной аппаратуры: точности, чувствительности, стабильности, устойчивости к влияниям внешних факторов, надежности и других, не говоря уже о расширении их номенклатуры. Так, в «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», принятых на XXV съезде КПСС, намечено: увеличить выпуск приборов и средств автоматизации в 1,6—1,7 раза, обеспечить создание и выпуск новых видов приборов; расширить производство приборов для нужд сельского хозяйства, для контроля за состоянием окружающей среды; увеличить выпуск приборов для научных исследований; повышать точность и надежность приборов. Все это требует от электромехаников и электрослесарей-прибористов глубоких знаний теории и практики электрических измерений и электроизмерительной техники, овладения навыками, приемами и методами сборки, эксплуатации, регулировки и поверки различных электроизмерительных приборов и устройств.

Основное внимание в учебной подготовке будущих специалистов должно быть уделено изучению общих принципов действия, устройства и работы систем приборов, а не отдельных их типов, которые в условиях современной научно-технической революции будут конструктивно изменяться.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ И ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Измерение есть экспериментальное сравнение измеряемой величины с другой однородной величиной, принятой в качестве единицы. После измерения мы узнаем о численном значении измеряемой величины, ее связях и соотношениях с другими величинами больше, чем мы знали до измерения; измерение — это физический эксперимент; чтобы произвести измерение, необходимо пользоваться узаконенной системой единиц и техническими средствами его осуществления.

С 1 января 1963 года в нашей стране введена новая международная система единиц, обозначаемая SI, в русском написании СИ (система интернациональная). Согласно ГОСТ 9867—61 Международная система единиц должна применяться как предпочтительная во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также при преподавании.

Основные, дополнительные и производные единицы этой системы, их определения и сокращенные обозначения приводятся в табл. 1 и 2. Кратные и дольные единицы международной системы получаются путем умножения единиц СИ на 10 в соответствующей степени, а их наименования образуются прибавлением к наименованиям единиц приставок, приведенных в табл. 3.

Для осуществления измерения служат меры и измерительные приборы.

М е р а — это вещественно воспроизведенная (изготовленная) единица измерения, долевое или кратное ее значение.

Т а б л и ц а 1

Основные единицы СИ		
Наименование величин	Единицы измерений	Сокращенное обозначение единиц измерения
Длина	Метр	м
Масса	Килограмм	кг
Время	Секунда	с
Сила электрического тока	Ампер	А
Термодинамическая температура	Кельвин	К
Сила света	Кандела	кд

Таблица 2

Производные единицы СИ

Наименование величин	Единицы измерения	Сокращенное обозначение единиц измерения
Площадь	Квадратный метр	м ²
Объем	Кубический метр	м ³
Плотность	Килограмм на кубический метр	кг/м ³
Скорость	Метр в секунду	м/с
Ускорение	Метр на секунду в квадрате	м/с ²
Сила	Ньютон	Н
Давление (механическое напряжение)	Ньютон на квадратный метр	Н/м ²
Частота	Герц	Гц
Работа, энергия, количество теплоты	Джоуль	Дж
Мощность	Ватт	Вт
Количество электричества, электрический заряд	Кулон	Кл
Электрическое напряжение, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	Вольт	В
Напряженность электрического поля	Вольт на метр	В/м
Электрическое сопротивление	Ом	Ом
Электрическая емкость	Фарада	Ф
Поток магнитной индукции	Вебер	Вб
Индуктивность	Генри	Г
Магнитная индукция	Тесла	Т
Напряженность магнитного поля	Ампер на метр	А/м
Магнитодвижущая сила	Ампер	А

Таблица 3

Приставки к единицам измерения

Наименование приставок	Отношение к главной единице	Обозначение приставки		Наименование приставок	Отношение к главной единице	Обозначение приставки	
		русское	латинское или греческое			русское	латинское или греческое
Пико	10 ⁻¹²	п	<i>p</i>	Дека	10 ¹	да	<i>da</i>
Нано	10 ⁻⁹	н	<i>n</i>	Гекто	10 ²	г	<i>h</i>
Микро	10 ⁻⁶	мк	<i>μ</i>	Кило	10 ³	к	<i>k</i>
Милли	10 ⁻³	м	<i>m</i>	Мега	10 ⁶	М	<i>M</i>
Санتي	10 ⁻²	с	<i>s</i>	Гига	10 ⁹	Г	<i>G</i>
Деци	10 ⁻¹	д	<i>d</i>	Тера	10 ¹²	Т	<i>T</i>

Устройство, при помощи которого проводят измерение, называется **измерительным прибором**.

Приборы, предназначенные для измерения электрических величин, называют **электроизмерительными**. Их подразделяют на приборы непосредственной оценки — показывающие — и приборы сравнения.

Электроизмерительный прибор, предварительно проградуированный в единицах измеряемой величины и позволяющий непосредственно отсчитывать по специальному устройству (шкала и указатель) ее числовое значение, называют **показывающим**, или **прибором непосредственной оценки** (амперметры, вольтметры, ваттметры, фазометры, частотомеры и т. п.). В работе приборов непосредственной оценки мера прямо не участвует.

Электроизмерительный прибор, позволяющий получить числовое значение измеряемой величины в результате сравнения ее с мерой этой величины, называют **прибором сравнения** (измерительный мост, потенциометр). Прибор сравнения без меры не может быть использован для измерения.

Приборы сравнения дают возможность произвести измерения значительно точнее, чем приборы непосредственной оценки.

Меры и приборы, предназначенные для непосредственных измерений, называют **рабочими**.

Меры и приборы, предназначенные для градуировки и поверки рабочих мер и приборов, называют **образцовыми**. Образцовые меры, изготовленные с наивысшей достижимой на данном уровне науки и техники точностью, называют **эталоны**. Эталоны делят на **рабочие**, используемые только для поверки образцовых мер и приборов, и **государственные**, хранимые в специальных учреждениях и служащие для воспроизведения и поверки рабочих эталонов.

Совокупность мер и измерительных приборов представляет собой **измерительную аппаратуру**. Измерительная аппаратура вместе с методами (способами) измерений характеризует понятие **измерительной техники**.

Измерения, производимые с помощью электрической аппаратуры, называют **электрическими измерениями**.

§ 2. КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЕР И ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Для обеспечения требуемой точности измерений все меры и приборы должны изготавливаться в полном соответствии с ГОСТ 1845—59 «Приборы электроизмерительные. Общие технические требования».

Помимо общих технических показателей (простота и надежность конструкции, возможно меньшие габариты, масса и соответственно стоимость, удобство обслуживания и эксплуатации, долговечность и т. п.) всякая мера и электроизмерительный прибор должны удовлетворять особым требованиям. Наиболее важными качественными показателями мер и приборов являются: точность, стабильность, влияние внешних условий, чувствительность, собственное потребление, перегрузочная способность.

Точность. В результате плохой подгонки отдельных элементов (сопротивления, индуктивности, емкости и т. п.), несовершенства конструкции, влияния различных внешних факторов (температуры, частоты, электрического и магнитного полей и др.) действительное значение меры всегда несколько отличается от ее номинального значения. Раз-

ница между номинальным и действительным значениями называется абсолютной погрешностью значения меры. По этим же причинам измерительный прибор всегда показывает значение измеряемой величины $A_{\text{пр}}$, отличающееся от ее действительного значения $A_{\text{д}}$. Разность между показанием измерительного прибора $A_{\text{пр}}$ и действительным значением $A_{\text{д}}$ измеряемой величины называют абсолютной погрешностью измерительного прибора Δ :

$$\Delta = A_{\text{пр}} - A_{\text{д}}. \quad (1)$$

Абсолютная погрешность меры и измерительного прибора выражается в единицах данной величины.

За действительное значение меры или измеряемой величины условились принимать значения, полученные по наиболее точным, образцовым мерам и приборам.

По правкой δ называют величину, равную абсолютной погрешности Δ , взятой с обратным знаком, т. е. $\delta = -\Delta$.

Погрешности мер и приборов зависят от условий их работы. Чем больше отличаются условия работы мер и приборов от условий, при которых они градуировались, тем большей может быть и их погрешность, поэтому для характеристики точности мер и измерительных приборов введено понятие основной и дополнительной погрешностей.

Основной погрешностью называют погрешность мер и приборов при нормальных условиях их эксплуатации. Под дополнительной погрешностью понимают погрешность, возникающую вследствие отклонения условий работы прибора от нормальных. Нормальные условия определяются техническими условиями и соответствующими ГОСТами.

Абсолютная погрешность Δ при нормальных условиях недостаточно характеризует точность меры или прибора. В самом деле, мера в 100 Ом и мера в 1 Ом при одной и той же абсолютной погрешности $\Delta = 0,01$ Ом различны по точности. Так же амперметры на 10 А и на 1 А, имеющие абсолютную погрешность $\Delta = 0,001$ А, не могут быть признаны одинаково точными. Более полное представление о точности меры или прибора дают относительные погрешности $\Delta\%$, выраженные в процентах от действительных значений измеряемой величины:

$$\Delta\% = \frac{\Delta}{A_{\text{д}}} \cdot 100. \quad (2)$$

Однако относительная погрешность характеризует точность измерения только в данной точке шкалы прибора. Для характеристики точности измерительного прибора по всей его шкале введено понятие основной приведенной погрешности, под которой понимают основную относительную погрешность, выраженную в процентах от верхнего предела измерения прибора:

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_{\text{макс}}} \cdot 100. \quad (3)$$

По допустимому значению приведенной погрешности все меры и измерительные приборы делят на классы точности. Класс точности характеризуется числом, указывающим наибольшее допустимое значение основной приведенной погрешности. Например, класс точности 0,05 на катушке сопротивления указывает, что основная приведенная погрешность этой катушки не должна превышать 0,05 %, т. е.

$$\gamma = \frac{\Delta}{r} \cdot 100 \leq 0,05 \% .$$

Класс точности 0,2 на вольтметре с верхним пределом измерения 150 В означает, что его основная погрешность не должна быть больше 0,2 %, т. е.

$$\gamma = \frac{\Delta}{U_{\text{макс}}} \cdot 100 = \frac{\Delta}{150} \cdot 100 \leq 0,2 \% .$$

По классу точности меры или прибора можно подсчитать наибольшую допустимую абсолютную погрешность:

$$\Delta_{\text{макс}} = \frac{k A_{\text{макс}}}{100} , \quad (4)$$

где $\Delta_{\text{макс}}$ — максимально допустимая абсолютная погрешность меры или прибора; $A_{\text{макс}}$ — номинальное значение меры или верхний предел измерения прибора; k — числовое обозначение класса точности меры или прибора.

Например, для катушки сопротивления в 1000 Ом класса точности 0,05 допустима наибольшая абсолютная погрешность

$$\Delta_{\text{макс}} = \frac{0,05 \cdot 1000}{100} = 0,5 \text{ Ом} .$$

Для ваттметра на 750 Вт класса точности 0,5 допустима абсолютная погрешность:

$$\Delta_{\text{макс}} = \frac{0,5 \cdot 750}{100} = 3,75 \text{ Вт} .$$

Поскольку показывающие измерительные приборы, как уже говорилось, могут иметь шкалы, различные по положению нулевой отметки и по характеру, то ГОСТ 1845—59 предусматривает различные выражения для основной приведенной погрешности. В частности, для приборов с двусторонней шкалой:

$$\gamma = \frac{\Delta}{\overleftarrow{A_{\text{макс}}} + \overrightarrow{A_{\text{макс}}}} \cdot 100 , \quad (5)$$

у которой $\overleftarrow{A_{\text{макс}}}$ и $\overrightarrow{A_{\text{макс}}}$ — верхние пределы измерения влево и вправо от нуля.

Стабильность. Свойства материалов, из которых изготовлен прибор, изменяются со временем. В процессе эксплуатации ухудшаются

(окисляются и ослабляются) контакты и другие элементы. В результате этого показания измерительного прибора при одних и тех же значениях измеряемой величины могут изменяться. Чем стабильнее показания измерительного прибора во времени, тем выше его метрологические качества.

Влияние внешнего магнитного поля, окружающей температуры и частоты. Внешнее магнитное поле, накладываясь на внутреннее поле прибора, в зависимости от их взаимного направления усиливает или ослабляет его и тем самым вызывает изменение погрешности прибора.

Окружающая температура влияет на упругие свойства спиральных пружин, растяжек, подвесов: с повышением температуры уменьшается магнитный поток постоянных магнитов, повышение температуры приводит к увеличению сопротивлений, изготовленных из меди или алюминия.

Изменение частоты сказывается прежде всего на индуктивном сопротивлении катушек, что, в свою очередь, приводит к изменению общего сопротивления соответствующих участков цепи.

ГОСТ 1845—59 нормирует допустимые пределы изменения основной погрешности мер и измерительных приборов в зависимости от изменения внешних условий. В некоторых учебниках и учебных пособиях изменение показаний приборов при отклонении внешних условий от нормальных часто называют дополнительными погрешностями. Это может приводить к неправильному представлению о том, что при отклонении внешних условий от нормальных погрешности прибора всегда увеличиваются. На самом же деле при отклонении внешних условий от нормальных погрешности прибора могут и увеличиваться и уменьшаться.

Чувствительность. Измеряемая величина может изменять свое значение в процессе измерения, поэтому измерительный прибор должен не только возможно точнее показывать числовое значение ее, но и реагировать на малейшее изменение ее во времени. Чем большее отклонение α подвижной части измерительного механизма приходится на единицу измеряемой величины, тем заметнее будет ее отклонение при малейшем изменении последней. Отношение линейного или углового перемещения указателя к изменению значения измеряемой величины, вызвавшему это перемещение, называется чувствительностью прибора. Это понятие нельзя смешивать с понятием о пороге чувствительности измерительного прибора, под которым подразумевают наименьшее относительное изменение значения измеряемой величины, вызывающее заметное изменение показаний прибора.

В приборах со стрелочным или внутренним световым указателем, имеющим постоянную длину, чувствительность выражается в делениях шкалы, приходящихся на единицу измеряемой величины, например,

$$\frac{\text{дел}}{A}; \quad \frac{\text{дел}}{B}; \quad \frac{\text{дел}}{B_t} \text{ и т. п.}$$

В приборах с отдельным отсчетным устройством и шкалой (гальванометрах) чувствительность зависит от расстояния между зеркалом подвижной части и шкалой. Поэтому для таких приборов чувствительность выражают не в делениях, а в миллиметрах перемещения светового указателя на шкале, приходящихся на единицу измеряемой величины, при расстоянии между зеркальцем подвижной точки и шкалой, равном 1 м.

Если расстояние l_x между шкалой и зеркалом подвижной части не равно одному метру, то чувствительность прибора будет соответственно больше или меньше:

$$S_x = S_n l_x, \quad (6)$$

где S_n — номинальная чувствительность прибора при расстоянии зеркала до шкалы, равном 1 м; S_x — чувствительность при расстоянии до зеркала, равном l_x .

Величиной, обратной чувствительности, является цена деления или постоянная измерительного прибора, т. е. значение измеряемой величины, приходящееся на одно деление шкалы:

$$C = \frac{1}{S}. \quad (7)$$

Собственное потребление. Всякое измерение неизбежно связано с включением мер или измерительных приборов в исследуемую цепь, а это приводит к изменению режима ее работы. Включение, например, амперметра в исследуемую цепь влечет за собой увеличение ее общего сопротивления на величину сопротивления амперметра; подключение вольтметра приводит к увеличению тока цепи на величину тока вольтметра. Протекая по обмоткам приборов, ток нагревает их. Мощность, затрачиваемая на нагрев обмотки прибора, называется его собственным потреблением. Чем эта мощность больше, тем сильнее влияние прибора на исследуемую цепь и тем больше погрешности измерений. Собственное потребление является важным показателем качества прибора. В современных электроизмерительных приборах собственное потребление колеблется в очень широких пределах: от долей ватта до десятков и более ватт.

Перегрузочная способность. Обмотки мер и измерительных приборов, как и другие токоведущие части, рассчитывают на длительную работу при номинальных токах и напряжениях. При этом температура их не должна превышать определенных нормируемых значений, так как длительное превышение допустимой температуры может повлечь за собой преждевременное разрушение электроизоляционных материалов и лаков. Вместе с тем при авариях или неправильных включениях прибор может подвергаться кратковременной многократной перегрузке, когда ток или напряжение во много раз превышает номинальное значение.

Такие перегрузки, как правило, не бывают длительными, поскольку они являются результатом ненормальных режимов, быстро устраняемых (через доли или единицы секунд). Кратковременные перегрузки опасны для прибора не перегревом обмоток, а динамическими усилиями, вызывающими механические повреждения деталей и узлов.

Перегрузочная способность приборов, как и другие их показатели, нормируется соответствующими частными ГОСТами и общим ГОСТ 1845—59 на электроизмерительные приборы.

Изоляция токоведущих частей. Все электроизмерительные приборы, удовлетворяя требованиям в отношении рассмотренных выше качественных показателей, должны еще иметь достаточно надежную изоляцию своих токоведущих частей от корпуса.

Недостаточное сопротивление изоляции может в некоторых случаях привести к заметным погрешностям измерений за счет утечки тока через изоляцию. Для большинства же электроизмерительных приборов первостепенное значение приобретает не сопротивление, а электрическая прочность изоляции, необходимая для безопасности обслуживающего персонала.

Согласно ГОСТ 1845—59 изоляция каждого электроизмерительного прибора (меры) должна выдерживать в течение одной минуты синусоидальное напряжение частотой 50 Гц определенной величины.

Значения испытательных напряжений для электроизмерительных приборов (мер) в зависимости от их номинальных напряжений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Испытательные напряжения изоляции электроизмерительных приборов

Номинальное напряжение прибора или номинальное напряжение сети, В	Испытательное напряжение (действующее значение), кВ		Примечание
	при нормальной влажности	при повышенной влажности	
До 400	0,5	0,5	—
Свыше 400 до 650	2,0	1,5	—
» 650 » 1000	3,0	2,0	—
» 1000 » 2000	5,0	3,5	—
» 2000 » 7000	$2U + 1$	$1,5U + 0,5$	С округлением до целого числа киловольт в сторону увеличения
» 7000 » 27 000	$2U + 1$	$1,5U + 0,5$	
» 27 000	$1,5U + 0,2U^2$	$1,25U + 0,1U^2$	

Для приборов, предназначенных для включения через измерительные трансформаторы, испытательное напряжение должно быть не ниже 2 кВ при нормальной влажности и 1,5 кВ при повышенной влажности.

§ 3. МЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В практике электрических измерений широко используют меры э. д. с. (напряжения), электрического сопротивления, индуктивности, взаимоиндуктивности и емкости.

Меры э. д. с. Мерой э. д. с. (напряжения) служит нормальный элемент, представляющий собой гальванический элемент, характеризующийся весьма стабильным значением развиваемой им э. д. с.

Согласно ГОСТ 1954—64 нормальные элементы изготовляют двух типов: насыщенные и ненасыщенные, различающиеся конструктивным оформлением, электролитом и стабильностью развиваемой э. д. с.

На рис. 1 показаны общий вид и схема устройства насыщенного нормального элемента. На дне одной из стеклянных трубок Н-образного сосуда 4 помещена ртуть 6, являющаяся положительным электро-

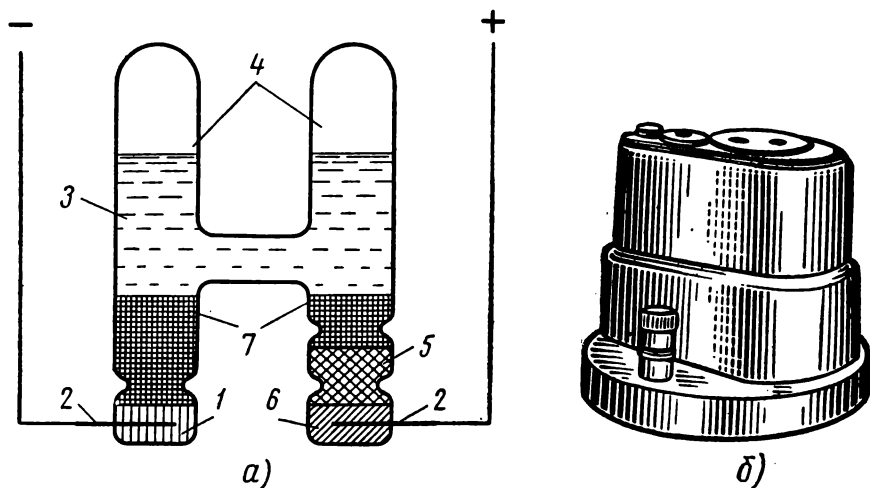


Рис. 1. Нормальный элемент:

а — устройство, *б* — внешний вид; 1 — амальгама кадмия, 2 — платиновые проволоочки, 3 — электролит, 4 — Н-образный сосуд, 5 — слой пасты, 6 — ртуть, 7 — кристаллы серно-кислого кадмия

дом. На дне второй трубки находится амальгама кадмия 1, которая служит отрицательным электродом. Поверх ртути расположен слой пасты 5, состоящей из смеси сернокислой закиси ртути с кристаллами 7 сернокислого кадмия, которые обеспечивают насыщенность раствора в обоих коленях. Сернокислая закись ртути служит деполяризатором. Электролитом 3 является насыщенный раствор сернокислого кадмия. В нижней части этих колен впаяны платиновые проволоочки 2, предназначенные для включения нормального элемента в измерительную цепь. Стеклянный сосуд заключают в металлический или пластмассовый футляр с хорошо изолированными зажимами. В футляре имеется отверстие для термометра, контролирующего температуру.

При качественном изготовлении и температуре 20° С э. д. с. насыщенного нормального элемента составляет 1,0185—1,0187 В, т. е. наибольшее расхождение значений э. д. с. отдельных элементов не превосходит 200 мкВ. Э. д. с. нормального элемента мало меняется во времени. Согласно ГОСТ 1954—64 допускается изменение э. д. с. насыщенного элемента за год в пределах 10—200 мкВ. Эти элементы выпускают четырех классов точности: 0,001, 0,002, 0,005 и 0,02. Элементы классов 0,001—0,002 применяют как для особо точных метрологических работ, так и для проверки элементов классов 0,005 и 0,02.

Внутреннее сопротивление насыщенных элементов 500—1000 Ом. Следует иметь в виду, что э. д. с. насыщенных нормальных элементов зависит от температуры. Эта зависимость подчиняется определенному закону, что позволяет вносить нужные поправки, пользуясь формулой

$$E_t = E_{20} - 0,00004(t - 20) - 0,000001(t - 20)^2, \quad (8)$$

где E_t — э. д. с. нормального элемента при температуре t° , В, E_{20} — э. д. с. нормального элемента при 20°С , В.

Э. д. с. ненасыщенного элемента равна 1,0185—1,0195 В при 20°С , а внутреннее сопротивление — 300 Ом. Эти элементы могут иметь годовые изменения э. д. с. до 300 мкВ, причем она мало изменяется при колебаниях температуры. Нормальные элементы этого типа относятся к классу 0,02 и используются в переносных измерительных устройствах.

Нормальные элементы нельзя нагружать током больше 1 мкА для высоких классов и 10 мкА для класса 0,02, так как при этом может нарушиться стабильность э. д. с. и выйти из строя элемент. Поэтому в цепи нормального элемента рекомендуется всегда иметь соответствующее ограничительное сопротивление. Не допускается измерять э. д. с. нормального элемента вольтметром, внутреннее сопротивление которого меньше 1 МОм. Элементы нельзя переворачивать, трясти, нагревать и охлаждать, так как это также приводит к изменению э. д. с. Их следует хранить и применять при температуре от $+10^\circ$ до $+30^\circ\text{С}$.

Меры электрического сопротивления. Меры сопротивления представляют собой образцовые измерительные катушки сопротивления или измерительные магазины сопротивления.

Измерительные катушки сопротивления изготавливают нескольких типов: КСИ — катушка сопротивления измерительная негерметизированная (для постоянного тока), КСИГ — катушка сопротивления измерительная герметизированная (для постоянного тока), КСИБ — катушка сопротивления измерительная безреактивная (для постоянного и переменного токов).

Согласно ГОСТ 6864—62 образцовые катушки сопротивлений изготавливают на номинальные значения, равные $1 \cdot 10^n$ Ом, где n — любое целое число от -5 до $+9$. В зависимости от наибольшего допустимого отклонения (в %) действительного значения сопротивления катушки от его номинального значения, указанного для температуры окружающей среды 20°С , измерительные катушки относят к тому или другому классу точности: 0,002; 0,005; 0,01; 0,02 и 0,05. Катушки сопротивления классов 0,002; 0,005 и 0,01 предназначены для работы при температуре от $+15$ до $+30^\circ\text{С}$, а катушки классов 0,02 и 0,05 — при температуре окружающей среды от $+10$ до $+35^\circ\text{С}$ и относительной влажности до 80%.

При высокоточных измерениях вводят поправку на температуру, пользуясь следующей формулой:

$$r_t = r_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2], \quad (9)$$

где r_t — сопротивление катушки при температуре t° , Ом; r_{20} — сопротивление катушки при 20°С , Ом; α и β — температурные коэффици-

циенты, определяемые при государственной поверке катушек и ук-
зываемые в их выпускных паспортах заводом-изготовителем.

На каждой измерительной катушке проставляют номинальный и
максимальный токи. Если через катушку пропускать ток больше но-
минального, то сопротивление ее из-за нагрева манганина может от-
клониться от номинального на величину, превышающую допустимую
для данного класса.

На рис. 2 показаны внешний вид и устройство герметизированной
катушки сопротивления с воздушным охлаждением. На каркас 1, по-
мещенный в герметизированной полости 2
корпуса, бифилярно намотана обмотка 3.
Если обмотка выполнена из манганиновой
ленты, то надобность в каркасе отпадает.

Концы обмотки припаяны к штырям (на
рисунке не видны), вделанным в массивные
медные пластины, на которых укреплено по
два зажима 5 и 6. Пластины смонтированы
на эбонитовой крышке 7 металлического

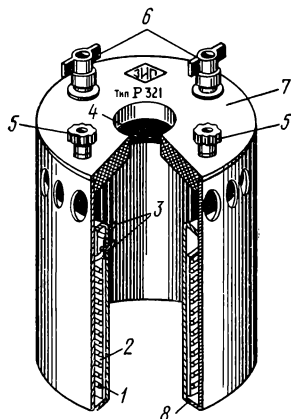


Рис. 2. Внешний вид и
устройство герметизиро-
ванной образцовой кату-
шки сопротивления:

1 — каркас, 2 — полость, 3 —
обмотка, 4 — отверстие, 5,
6 — зажимы, 7 — крышка,
8 — корпус

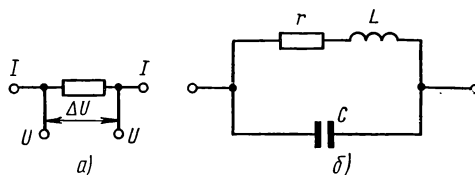


Рис. 3. Условное обозначение (а) и схема
замещения (б) образцовой катушки сопро-
тивления

корпуса 8. Отверстие 4 в крышке предназначено для размеще-
ния термометра. Чтобы исключить влияние переходных сопротивлений
контактов на результаты измерения, все измерительные катушки с
номинальным сопротивлением, меньшим 10^4 Ом, изготовляют четырех-
зажимными. Номинальным сопротивлением такой катушки считается
сопротивление между потенциальными зажимами (рис. 3, а), т. е.

$r_0 = \frac{\Delta U}{I}$, где ΔU — падение напряжения между этими зажимами.

В цепи переменного тока обмотка катушки сопротивления обладает
не только активным сопротивлением r , но и индуктивностью L и меж-
витковой шунтирующей емкостью C (рис. 3, б). Поэтому с изменением
частоты переменного тока несколько изменяется полное сопротивление
катушки, а это совершенно недопустимо при точных измерениях. Чем
меньше L и C , тем выше качество измерительной катушки сопро-
тивления.

При изготовлении катушек невысоких классов точности применяют
простую бифилярную намотку, а при намотке образцовых катушек

сопротивления — секционированную бифилярную или другие намотки*, обеспечивающие уменьшение L и C обмотки.

Измерительные катушки сопротивления являются мерами с постоянным значением сопротивления. При необходимости плавно изменять сопротивление электрической цепи вместо катушки используют измерительный магазин сопротивлений, который представляет собой конструктивно оформленный в единое целое набор отдельных катушек сопротивления, снабженный специальным переключающим устройством, обеспечивающим возможность почти плавного, очень малыми ступенями, регулирования сопротивления без разрыва цепи. Плавность регулирования определяется сопротивлением каждой из катушек магазина.

В соответствии с ГОСТ 7003—64 магазины сопротивлений изготовляют следующих типов: МСР — с рычажным переключающим устройством; МСШ — со штепсельным переключающим устройством; МСЗ — с зажимным переключающим устройством; МСВ — с вилочным переключающим устройством.

Магазины всех типов изготовляют только для постоянного или для постоянного и переменного токов. В зависимости от этого применяют

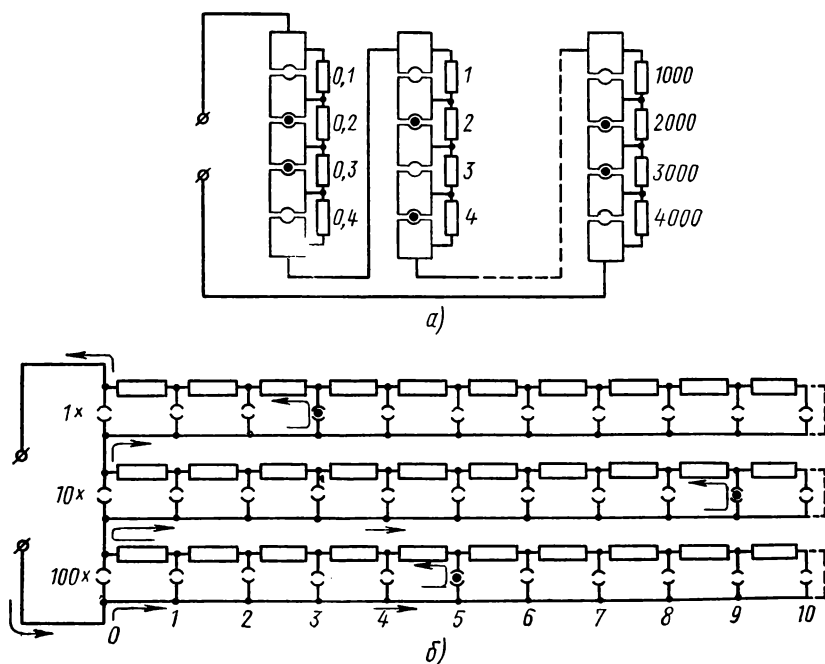


Рис. 4. Схема штепсельных магазинов сопротивлений:
а — с сокращенными декадами, б — с полными декадами

* Иванов Б. Н. и др. Технология приборостроения. Госэнергоиздат, 1960.

тот или иной способ намотки катушек сопротивлений. Схемы внутренних соединений катушек и конструктивное оформление переключающих устройств и всего магазина весьма разнообразны.

Значения сопротивлений отдельных катушек в магазинах со штепсельным переключающим устройством берут равными $(1, 2, 3 \text{ и } 4) \cdot 10^n$; $(1, 2, 2 \text{ и } 5) \cdot 10^n$ или $(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) \cdot 10^n$, где n — целое положительное или отрицательное число (или нуль).

Схемы штепсельного магазина с сокращенными и полными декадами приведены на рис. 4, а и б. В первом случае на схеме показано включение $1004,5 \text{ Ом}$, а во втором — 593 Ом .

Магазины с сокращенными декадами (рис. 4,а) имеют по сравнению с полнорядными магазинами (рис. 4,б) меньшее количество катушек, но при работе приходится оперировать большим количеством штепселей. Функции штепселей у этих магазинов сопротивления также различны: у первых для включения требуемого сопротивления нужно вынуть штепсель, а у вторых — вставить штепсель в соответствующее гнездо.

Набор нужного сопротивления и отсчет его численного значения проще в магазинах с полными декадами, но зато количество требуемых катушек для таких магазинов больше. В магазинах с сокращенными декадами для набора нужного сопротивления требуется меньше катушек, но при работе с ними приходится оперировать большим количеством штепселей.

Если необходимо часто регулировать величину сопротивления, пользуются магазинами сопротивлений с рычажным переключающим устройством (рис. 5). Перемещая щетки переключателя относительно контактов, к которым присоединены катушки сопротивления, изменяют величину включенного сопротивления.

В магазинах с большими сопротивлениями это осуществляется при помощи специальных зажимных устройств, расположенных друг от друга на достаточном расстоянии и хорошо изолированных.

Магазины сопротивлений разделяют на семь классов точности: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1. Число, обозначающее класс точности магазина сопротивлений, указывает допустимое значение основной погрешности при нормальных условиях, приведенных в ГОСТ 7003—64 «Магазины сопротивлений измерительные».

Основная погрешность однодекадных и двухдекадных магазинов сопротивления выражается в процентах от номинального значения включенного сопротивления. Например, для магазина класса 0,02 основная погрешность не должна превышать $\pm 0,02\%$.

Для многодекадных магазинов сопротивления допустимое значение

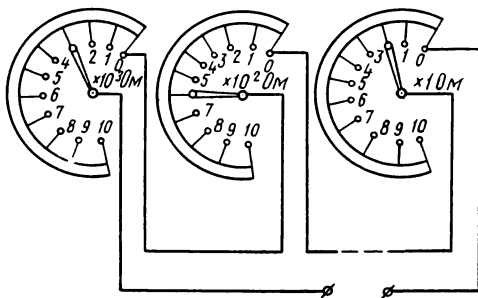


Рис. 5. Схема магазина сопротивлений с рычажным переключающим устройством

основной погрешности согласно ГОСТ 7003—64 выражается специальными формулами, учитывающими число декад магазина.

В маркировке магазинов сопротивлений должна указываться номинальная мощность на одну ступень сопротивления. В случае отсутствия на магазине указания о номинальной мощности или токе можно руководствоваться следующим: при использовании магазина в качестве набора мер мощность, поглощаемая в каждой отдельной катушке магазина, не должна превышать 0,1 Вт. Если магазин применяется только как регулируемое сопротивление без точного учета его

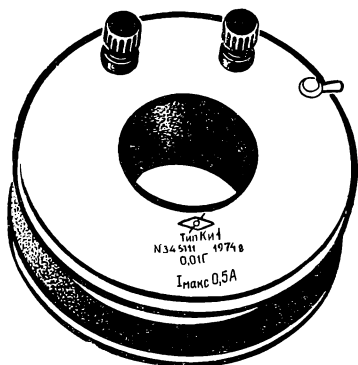


Рис. 6. Образцовая катушка индуктивности

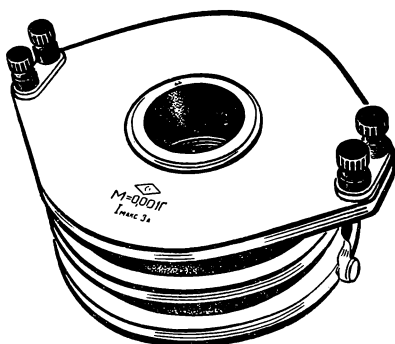


Рис. 7. Катушка взаимной индуктивности

числовых значений, то нагрузку на каждую катушку можно доводить до 1 Вт.

К магазинам сопротивлений, предназначенным для работы в цепях переменного тока, предъявляют требования безреактивности катушек, поэтому они сложнее по конструкции и дороже.

За последние годы освоено производство высокоомных магазинов непроволочных сопротивлений специально для цепей высокой частоты (порядка сотен кГц). Однако такие магазины имеют меньшую точность и меньшую номинальную мощность по сравнению с магазинами из проволочных сопротивлений.

Меры индуктивности и взаимной индуктивности. Меры индуктивности выполняют в виде отдельных катушек или магазинов. Образцовую катушку индуктивности (рис. 6) делают из медного провода, намотанного на жесткий каркас из изоляционного материала. Обмотку пропитывают парафином или другим вязким веществом, обеспечивающим постоянство формы и расстояний между витками и слоями витков, а сверху ее закрывают слоем изоляционной ткани. Такие катушки изготавливают с номинальными значениями индуктивности: 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1 и 1 Г.

Измерительные катушки взаимной индуктивности имеют две обмотки на общем каркасе и две пары зажимов (рис. 7).

Наборы катушек индуктивности, позволяющие при помощи переключающего устройства получить без разрыва цепи различные значе-

ния индуктивности, конструктивно оформляют в виде магазинов индуктивностей.

Мерами с переменными значениями индуктивности и взаимной индуктивности служат вариометры — это конструкция из двух катушек с постоянными значениями индуктивности L_1 и L_2 каждая, причем одна из катушек — неподвижная, а другая — подвижная. Если обе катушки электрически соединены между собой, то поворотом подвижной катушки можно изменять общую индуктивность L_B . Например, если катушки включены последовательно, то общая индуктивность вариометра

$$L_B = L_1 + L_2 \pm 2M_{12}, \quad (10)$$

где M_{12} — взаимная индуктивность обеих катушек.

Если же катушки между собой электрически не соединены, то при повороте подвижной катушки относительно неподвижной изменяется только коэффициент связи — взаимная индуктивность M_{12} .

С неподвижной катушкой связан указатель, перемещаемый относительно неподвижной шкалы, градуированной в единицах индуктивности или взаимной индуктивности (генри).

Меры емкости. Мерами емкости служат воздушные или слюдяные* конденсаторы постоянной емкости, а также воздушные конденсаторы переменной емкости.

Помимо отдельных мер применяют магазины емкостей, представляющие собой набор емкостей, включаемых с помощью штепсельного или рычажного устройства в различных сочетаниях (раздельно, последовательно или параллельно).

Слюдяные конденсаторы изготовляют с номинальными значениями от 0,001 до 1 мкФ.

Измерительные магазины емкостей выпускают согласно ГОСТ 6746—53 следующих типов: МЕР — магазины емкостей с рычажным переключающим устройством; МЕШ — магазины емкостей со штепсельным переключающим устройством; МЕРП — магазины емкостей с рычажным переключающим устройством и конденсатором переменной емкости; МЕРШП — магазины емкостей с рычажным и штепсельным переключающими устройствами и конденсатором переменной емкости. Магазины емкостей имеют класс точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1.

§ 4. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Классификация. Показывающие приборы могут различаться по назначению, роду измеряемой величины, условиям эксплуатации, защищенности от внешних магнитных или электрических полей, устойчивости к механическим воздействиям, точности, принципу действия и другим признакам.

* За последние годы появились новые материалы с лучшими, чем у слюды, диэлектрическими качествами.

Классификация щитовых и переносных показывающих и самопишущих приборов регламентирована ГОСТ 1845—59.

По роду измеряемой величины электроизмерительные приборы разделяют на амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, омметры, фазометры, фарадметры, частотомеры (герцметры) и т. д.

В зависимости от условий эксплуатации приборы и вспомогательные части по своему исполнению разделяются на три группы:

группа А — для работы в закрытых сухих отапливаемых помещениях;

группа Б — для работы в закрытых неотапливаемых помещениях;

группа В — для работы в полевых (В₁) или морских (В₂) условиях.

Значения рабочих и предельных температур окружающей среды, а также относительной влажности для приборов разных групп в соответствии с ГОСТ 1845—59 приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения рабочих и предельных температур окружающей среды, а также относительной влажности для приборов разных групп

Группа приборов	Рабочие условия		Предельные условия	
	температура, °C	относительная влажность, %	температура, °C	относительная влажность, %
А	от + 10 до + 35	80*	от — 40 до + 60	95*
Б	» — 30 » + 40	90*	» — 40 » + 60	95**
В ₁	» — 40 » + 50	95**	» — 50 » + 60	95***
В ₂	» — 50 » + 60	95**	» — 60 » + 65	95***

* Влажность приведена при + 30°C.

** Влажность приведена при + 35°C.

*** Влажность приведена при + 60°C.

По защищенности от внешних полей показывающие приборы разделены на две категории с допускаемыми изменениями показаний в зависимости от класса точности, приведенными в табл. 6.

Таблица 6

Допускаемые изменения показаний приборов от влияния внешних полей

Класс точности прибора	Допускаемые изменения показаний прибора, %	
	категория I	категория II
0,05; 0,1; 0,2; 0,5	±0,5	±1,0
1,0; 1,5	±1,0	±2,5
2,5; 4,0	±2,5	±5,0

По устойчивости к механическим воздействиям показывающие приборы разделяют на обыкновенные, обыкновенные с повышенной прочностью и устойчивые к механическим воздействиям: тряскопрочные (ТП), вибропрочные (ВП), нечувствительные к тряске — тряскоустойчивые (ТН), нечувствительные к вибрации — вибрационноустойчивые (ВН), ударопрочные (УП).

Тряскопрочными, вибрационнопрочными и ударопрочными называют приборы, способные противостоять разрушающему влиянию механических воздействий (тряске, вибрации или ударным сотрясениям) и продолжать нормально работать после их воздействия.

Тряскоустойчивыми или вибрационноустойчивыми называют приборы, способные нормально работать в условиях тряски или вибрации.

Показывающие приборы имеют следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4.

Комбинированные приборы могут быть различных классов точности для разных измеряемых величин, родов тока и пределов измерений.

Многопредельные приборы, предназначенные для измерения одной и той же величины, также могут быть различных классов точности на разных пределах измерения, причем эти классы точности должны быть смежными.

Вспомогательные части к приборам — шунты и добавочные сопротивления — подразделяют на классы точности: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1.

Для каждого класса точности нормируются допустимое значение основной погрешности, а также допустимые изменения показаний приборов из-за влияния внешних факторов.

Согласно ГОСТ 1845—59 основная погрешность не должна превышать значений, соответствующих обозначению класса точности данного прибора. Изменения показаний приборов при отклонении температуры на 10°C и частоты или напряжения на 10% от их номинальных значений не должны превышать допустимого значения основной приведенной погрешности.

По способу преобразования измеряемой величины во вращающий момент, действующий на подвижную часть, а также по конструктивным особенностям самого измерительного механизма показывающие приборы разделяют на: магнитоэлектрические с подвижной рамкой, магнитоэлектрические с подвижным магнитом, электромагнитные, электромагнитные поляризованные, электродинамические, ферродинамические, индукционные, магнитоиндукционные, электростатические, вибрационные (язычковые), тепловые (с нагреваемой проволокой), биметаллические (с нагреваемой термометаллической лентой).

По принципу действия и конструктивным особенностям преобразователя, применяемого в комплекте с магнитоэлектрическим измерительным механизмом для цепей переменного тока, приборы разделяют на выпрямительные — с полупроводниковым выпрямителем или с электромеханическим выпрямителем; термоэлектрические — с изолированным (контактным) или с изолированным (бесконтактным) преобразователем; электронные — с ламповым или полупроводниковым преобразователем.

По способу создания противодействующего момента все показывающие приборы разделяют на приборы с механическим или магнитным противодействующим моментом и логометры.

В последние годы в электроизмерительную практику начали внедрять цифровые приборы (главным образом, вольтметры), которые позволяют получить высокую точность измерения. Принцип действия этих приборов основан на весьма сложной схеме.

Маркировка. Электроизмерительные приборы исключительно разнообразны по назначению, конструктивному оформлению, принципу

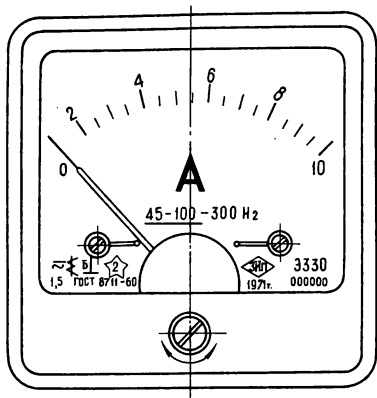


Рис. 8. Шкала электроизмерительного прибора с нанесенными условными обозначениями

действия и техническим характеристикам. Чтобы легко получить необходимую и достаточную характеристику каждого электроизмерительного прибора, ГОСТ 1845—59 установлена специальная система их маркировки. Согласно этому ГОСТу на лицевой стороне прибора, обычно на шкале, при помощи условных обозначений указаны: единица измеряемой величины (A , V , W и т. д.); класс точности прибора; ГОСТ, по которому прибор изготовлен; род тока и число фаз; система прибора; категория защищенности прибора от влияния внешних магнитных или электрических полей; группа прибора по условиям эксплуатации; рабочее положение прибора; испытательное напряжение прочности элект-












рической изоляции токоведущих частей прибора относительно его корпуса; положение прибора относительно земного магнитного поля, если это влияет на показание прибора; номинальная частота, если она отличается от 50 Гц; тип (шифр) прибора; год выпуска и заводской номер прибора; товарный знак (фабричная марка) завода-изготовителя.










Условные обозначения для маркировки приборов и некоторые примеры их применения приведены в табл. 7.



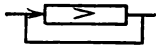
Внешний вид шкалы с нанесенными условными обозначениями согласно требованиям ГОСТа показан на рис. 8. Условные обозначения характеризуют прибор как электромагнитный типа Э330 на 10 А, класса точности 1,5, пригодный для переменного тока на номинальную частоту 45—100 Гц и расширенную частоту до 300 Гц, относится к группе Б, рассчитан для работы в вертикальном положении, изоляция прибора испытана напряжением 2 кВ: амперметр изготовлен заводом ЗИП в 1971 году по ГОСТ 8711—60 и выпущен под № 00000. Таким образом, по условным обозначениям можно получить полное представление об основных технических характеристиках прибора.

В целях унификации обозначений типов приборов систему последних указывают в маркировке следующими буквами: М—магнитоэлектрическая; Д—электродинамическая; Э—электромагнитная; Ц—выпрямительная; Т—термоэлектрическая; Ф—электронная.

**Условные обозначения, наносимые на электроизмерительные приборы
и вспомогательные части**

Наименование	Условное обозначение
Обозначение по принципу действия прибора	
Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический логометр с подвижными рамками	
Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом	
Магнитоэлектрический логометр с подвижным магнитом	
Электромагнитный прибор	
Электромагнитный логометр	
Электромагнитный поляризованный прибор	
Электродинамический прибор	
Электродинамический логометр	
Ферродинамический прибор	
Ферродинамический логометр	

Наименование	Условное обозначение
Индукционный прибор	
Индукционный логометр	
Магнитоиндукционный прибор	
Электростатический прибор	
Вибрационный прибор (язычковый)	
Тепловой прибор (с нагреваемой проволокой)	
Биметаллический прибор	
Дополнительные обозначения по виду преобразователя	
Термопреобразователь изолированный	
Термопреобразователь неизолированный	
Выпрямитель полупроводниковый	
Выпрямитель электромеханический	

Наименование	Условное обозначение
Преобразователь электронный	
Преобразователь вибрационно-импульсный	
Преобразователь компенсационный	

Примеры применения обозначений

Термоэлектрический прибор (с изолированным преобразователем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом)



Вибрационно-импульсный прибор с магнитоэлектрическим измерительным механизмом



Магнитоэлектрический прибор I категории защищенности от магнитных влияний



Электростатический прибор I категории защищенности от электрических полей



Обозначения класса точности, положения прибора, прочности изоляции и др.

Класс точности при нормировании погрешности в процентах от диапазона, например, 1,5

1,5

Класс точности при нормировании погрешности в процентах от длины шкалы, например, 1,5







Горизонтальное положение шкалы



Вертикальное положение шкалы



Наименование	Условное обозначение
Наклонное положение шкалы под определенным углом к горизонту, например, 60°	
Направление ориентировки прибора в земном магнитном поле	
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2 кВ	
Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	
Нормальное (номинальное) значение частоты	500 Hz
Нормальная (номинальная) область частоты	45—550 Hz
Номинальное значение (подчеркнуто) и расширенная область частоты	20— <u>50</u> —120 Hz
Обозначения групп по устойчивости к климатическим воздействиям	
Для закрытых сухих неотапливаемых помещений (группа Б)	Б
Для полевых и морских условий (группа В)	$B_1; B_2$
Для условий сухого и влажного тропического климата	T
Обозначения групп по устойчивости к механическим воздействиям	
Обыкновенные с повышенной механической прочностью	ОП
Тряскопрочные	ТП
Вибропрочные	ВП
Нечувствительные к тряске	ТН
Нечувствительные к вибрации	ВН
Ударопрочные	УП
Обозначения корпусов по защищенности от влияния внешней среды	
Брызгозащищенный	Бз
Водозащищенный	Вз
Герметический	Гм
Газозащищенный	Гз
Пылезащищенный	Пз
Взрывобезопасный	Вб

Примечание. Обозначение Т наносится вместе с заводским обозначением прибора или вспомогательной части, например Д506Т.

Обозначения типов регистрирующих приборов (самопишущих приборов и электромеханических осциллографов) независимо от их системы начинают буквой Н, а типов приборов сопротивления (катушки, магазины, мосты, потенциометры) — буквой Р.

Обозначения различного рода установок (поверочные, для магнитных измерений и др.) начинают буквой У. Например: М154, Э309, Д533, Ц315, Н102, Р300, У520 и т. п.

§ 5. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Показывающие приборы. Несмотря на исключительное разнообразие показывающих электроизмерительных приборов все они имеют много одинаковых узлов и деталей.

На рис. 9 показано для примера устройство измерительного механизма электромагнитной системы. По обмотке катушки 3 проходит ток, подлежащий измерению. При этом намагничиваются стальные лепестки 1 и 2, находящиеся внутри катушки. Лепесток 1 укреплен неподвижно на стенке гильзы катушки, а лепесток 2 находится на оси подвижной части прибора. Лепестки намагничиваются одним и тем же током, поэтому их полярность оказывается одинаковой и они отталкиваются один от другого. Эта сила отталкивания создает вращающий момент $M_{вр}$, заставляющий поворачиваться ось прибора вместе с укрепленной на ней стрелкой 4. Кроме стрелки, на оси прибора имеется еще спиральная пружина 5, наружный конец которой припаян к пружинодержателю 6. При отсутствии тока в катушке пружина 5 удерживает всю подвижную часть в таком положении, что стрелка стоит на нуле шкалы. При прохождении тока в катушке 3 создаваемый им вращающий момент $M_{вр}$ заставляет поворачиваться подвижную часть, смещая при этом стрелку с нулевой отметки шкалы. Вместе с этим начинает закручиваться пружина 5, в результате чего, кроме вращающего момента $M_{вр}$, на подвижную часть будет действовать еще момент $M_{пр}$, противодействующий повороту оси. В этих условиях подвижная часть остановится в таком положении, когда вращающий и противодействующий моменты будут равными, т. е. при условии $M_{вр} = M_{пр}$.

Угол отклонения стрелки будет тем больше, чем больше ток, проходящий по катушке, поэтому на шкале можно нанести деления и

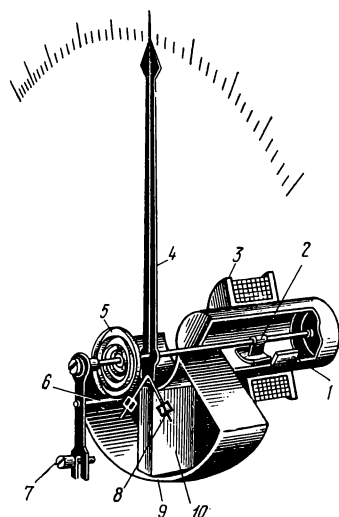


Рис. 9. Устройство показывающего прибора:

1, 2 — стальные лепестки, 3 — катушка, 4 — стрелка, 5 — пружина, 6 — пружинодержатель, 7 — корректор, 8 — грузики-противовесы, 9 — успокоитель, 10 — крылышко

цифры, показывающие значение тока в амперах. Шкалу прибора градуируют по другому, более точному прибору.

Таким образом, в рассмотренном механизме происходит, во-первых, преобразование электрической величины (тока) в механический вращающий момент, во-вторых, спиральной пружиной создается противодействующий момент, который увеличивается по мере отклонения стрелки и, следовательно, шкала может быть проградуирована в единицах измеряемой величины.

На этом принципе построены все показывающие электроизмерительные приборы: в каждом приборе измеряемая электрическая величина — ток, напряжение, мощность и т. п. — преобразуется в механический вращающий момент и в каждом приборе имеется противодействующий момент, который, однако, создается не всегда при помощи пружины; имеются и другие способы.

Если центр тяжести подвижной части прибора не совпадает с осью вращения, то правильность показаний прибора может нарушиться из-за влияния момента силы тяжести. Для исключения этого подвижная часть каждого измерительного прибора должна быть уравновешена. Достигнуть этого можно соответствующим размещением относительно оси подвижной части так называемых грузиков-противовесов δ (см. рис. 9). Правильно уравновешенная подвижная часть не должна смещаться с нулевой отметки при любых положениях измерительного прибора, не включенного в цепь. Уравновешенность подвижной части прибора служит одним из показателей его механической исправности.

Рассмотренный пример устройства амперметра показывает, что механизм электроизмерительного прибора состоит из неподвижной и подвижной частей, приспособлений для уравновешивания подвижной части, отсчетного устройства, успокоителя и корректора.

Все части, узлы и детали прибора монтируют в общем корпусе. Иногда корпус выполняет функцию экрана, защищающего измерительный прибор от влияния внешних магнитных и электрических полей.

Приборы сравнения. Здесь числовое значение измеряемой величины определяется в результате сравнения ее с мерой данной величины, или однородной с ней. При этом возможны два варианта:

1) эффект (воздействие), производимый измеряемой величиной, полностью уравновешивается эффектом, производимым мерой этой величины, а числовое значение измеряемой величины равно числовому значению меры;

2) эффект (воздействие), производимый измеряемой величиной, не уравновешивается эффектом меры, а о числовом значении измеряемой величины судят по измеренной разности указанных эффектов.

Соответственно этим двум возможным вариантам прибор сравнения используют в равновесном или в неравновесном режиме. В равновесном режиме мера измеряемой величины регулируется до тех пор, пока ее эффект не уравняется полностью с эффектом, производимым измеряемой величиной. Момент полной компенсации фиксируется высокочувствительным прибором, который называют нулевым указателем. Чем он чувствительнее, тем точнее результат измерения. Для отсчета числового значения измеряемой величины используют регулируемую часть

измерительной схемы, которую градуируют в единицах измеряемой величины: например, регулируемые декады сопротивлений в измерительных мостах — в Ом, регулируемые декады компенсирующих сопротивлений в потенциометрах — в мкВ. Уравновешивание приборов сравнения осуществляют вручную или автоматически; соответственно их делят на приборы с ручной наводкой и автоматические.

В равновесном режиме приборы сравнения преимущественно работают в качестве измерительных мостов и потенциометров. В неравновесном режиме эффект измеряемой величины компенсируется эффектом меры не полностью, а частично. Измерительный прибор реагирует на разность этих воздействий. Чем она меньше, тем точнее результат измерения. Приборы сравнения, работающие в неравновесном режиме, чаще всего используются при измерениях неэлектрических величин.

§ 6. ДЕТАЛИ И УЗЛЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Опоры. Подвижную часть прибора устанавливают на кернях (рис. 10, а), растяжках (рис. 10, б) или подвесах (рис. 10, в). В переносных лабораторных приборах подвижную часть располагают вертикально, а в щитовых приборах — горизонтально. Несмотря на малую массу подвижной части (от долей грамма до нескольких граммов) давление кернов на подпятник (рис. 11) ввиду очень малого радиуса закругления ($R = 0,01—0,15$ мм) достигает больших значений. Оно, например, намного превышает удельное давление вала на подпятник в больших гидротурбинах и других сложных крупных машинах. Поэтому подпятники электроизмерительных приборов делают, как в часах, из полудрагоценных камней (агата, рубина, сапфира), а керны — из лучших сортов стали: серебрянки, кобальто-вольфрамовой. Чтобы придать кернам необходимые механические качества, их подвергают закалке, тщательной шлифовке и полировке.

Оправки для подпятников бывают различных конструкций. В щитовых и переносных приборах они выполнены в виде винтов $\varnothing 3—3,5$ мм с мелкой нарезкой или круглыми без нарезки. В некоторых приборах применяют круглые оправки с пружинами для амортизации при ударах.

В паре керн — подпятник имеется трение, которое приводит к увеличению погрешностей прибора. Погрешности от трения уменьшаются, если подвижную часть устанавливают на растяжках, т. е. закрепляют ее через буквы двумя упругими ленточками, которые натягиваются плоскими пружинами (см. рис. 10, б).

В приборах высокой чувствительности подвижную часть крепят на подвесах, т. е. свободно подвешивают на упругой металлической нити (см. рис. 10, в). В этом случае прибор устанавливается по уровню, которым он обязательно снабжается.

Растяжки и подвесы выполняют две задачи: крепят подвижную часть и создают противодействующий момент. Поэтому в приборах на растяжках или подвесах не нужны спиральные пружины.

Спиральные пружины. Противодействующий момент в большинстве приборов, подвижная часть которых установлена на кернях, создает-

ся закручиванием спиральной пружины. Иногда эти пружины одновременно служат токоподводом к подвижной части. Поэтому их, как и растяжки, изготавливают из материала с хорошими упругими свойствами и достаточно высокой электропроводностью. Величина противодей-

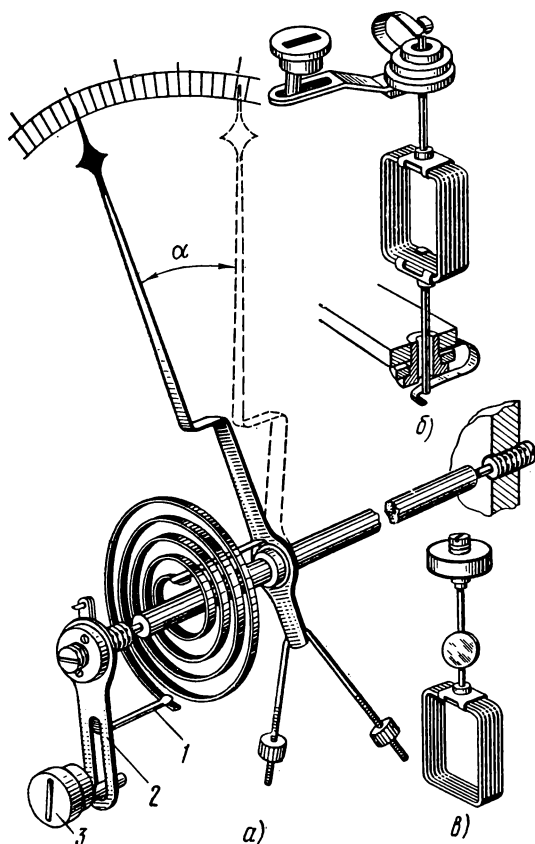


Рис. 10. Установка подвижной части измерительного механизма:

a — на керках, *б* — на растяжках, *в* — на подвесе; 1 — спиральная пружина, 2 — поводок корректора, 3 — эксцентрик

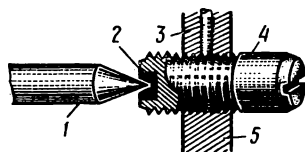


Рис. 11. Устройство опоры:

1 — ось, или керн, 2 — подпятник, 3 — стопорный винт, 4 — оправа, 5 — неподвижный элемент прибора (корпус)

ствующего момента, развиваемого пружиной, растяжками или подвесом, зависит от материала, длины, ширины и толщины ленты, а также от угла ее закручивания (раскручивания). Момент $M_{пр}$, отнесенный к одному радиану (граду) закручивания, называют **у д е л ь н ы м** **п р о т и в о д е й с т в у ю щ и м** **м о м е н т о м** и обозначают W . Если пружина, растяжки или подвес закручены не на один радиан (градус), а на α , то

$$M_{пр} = \alpha W. \quad (11)$$

В измерительных механизмах некоторых приборов, предназначенных для измерения электрических величин, не являющихся прямой функцией тока (частоты, фазы, сопротивления), противодействующий момент создается не механическим, а электрическим способом.

Успокоитель. После включения прибора подвижная часть не сразу достигает положения установившегося равновесия, а по инерции совершает вокруг него несколько колебаний, затухающих с течением времени. С точки зрения сокращения времени измерения далеко не безразлично, в течение какого времени подвижная часть достигает установившегося отклонения. Время с момента включения прибора до момента практического достижения установившегося отклонения называют временем успокоения прибора. Для большинства приборов непосредственной оценки оно должно быть менее 4 с. Чтобы обеспечить нужное время успокоения, в каждом приборе имеется устройство, называемое *успокоителем*.

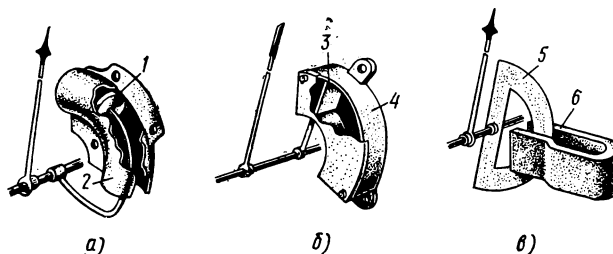


Рис. 12. Типы успокоителей электроизмерительных приборов:

а — воздушный поршневой, *б* — воздушный крыльчатый, *в* — магнитоиндукционный; 1 — поршень, 2 — цилиндр, 3 — крыльчатка, 4 — камера, 5 — алюминиевый сектор, 6 — постоянный магнит

В современных приборах находят применение успокоители двух типов: воздушные и магнитоиндукционные.

В воздушных успокоителях (рис. 12, *а* и *б*) крыльчатка 3 или поршень 1 перемещается в закрытой камере 4 или цилиндре 2. Из-за незначительности зазоров между крылом (поршнем) и стенками камеры (цилиндра) по обе стороны крыла (поршня) создается разность давлений воздуха, вызывающая торможение движения крыла (поршня), в результате чего колебания подвижной части быстро затухают. Такой же успокоитель был показан на рис. 9.

Магнитоиндукционный успокоитель (рис. 12, *в*) представляет собой постоянный магнит 6, в поле которого перемещается сидящий на оси подвижной части прибора алюминиевый сектор 5. При пересечении алюминиевым сектором магнитного потока в нем индуктируются токи. Взаимодействие этих наведенных токов с магнитным потоком создает тормозной, успокаивающий момент. Формы подвижных алюминиевых элементов, так же как и формы постоянных магнитов, разные. В некоторых приборах в качестве магнитоиндукционных успокоителей используют элементы подвижной части, например алюминиевый каркас рамки в магнитоэлектрических приборах, алюминиевый диск в индукционных приборах.

Магнитоиндукционные успокоители обеспечивают лучшее по сравнению с воздушными успокоение.

Отсчетное устройство. Отсчетное устройство состоит из шкалы и указателя. В зависимости от назначения, принципа действия и конструкции измерительного прибора применяют разные шкалы и разные указатели. Шкалы изготовляют именованными, т. е. градуируют в единицах измеряемых величин, или условными — неименованными. Чтобы узнать численное значение измеряемой величины X по прибору с условной шкалой, нужно умножить число делений α , отсчитанных по этой шкале, на цену деления C , т. е. $X = \alpha C$. Под ценой деления понимают отношение верхнего предела $A_{\text{макс}}$ измерения прибора к общему числу N делений его шкалы, т. е.

$$C = \frac{A_{\text{макс}}}{N}. \quad (12)$$

Например, цена деления амперметра на 5А с условной шкалой, разделенной на 100 делений, будет:

$$C_A = \frac{I_{\text{макс}}}{N} = \frac{5}{100} = 0,05 \frac{\text{А}}{\text{дел}}.$$

Следовательно, если указатель такого амперметра отклонится на угол $\alpha = 87$ делениям, то величина тока в цепи

$$I = \alpha C_A = 87 \cdot 0,05 = 4,35 \text{ А}.$$

Условные шкалы, как правило, применяют в многопредельных приборах и они обычно имеют 100 или 150 делений.

Технические требования к шкалам измерительных приборов регламентирует ГОСТ 5365—57, согласно которому шкалы разделяют: по начертанию на **п р я м о л и н е й н ы е** (горизонтальные или вертикальные), **д у г о в ы е** (при угле дуги до 180° включительно), **г о р и з о н т а л ь н ы е**, **в е р т и к а л ь н ы е** или **н а к л о н н ы е**, **к р у г о в ы е** (при угле дуги более 180°); по характеру расположения отметок на **р а в н о м е р н ы е** (отношение длины наибольшего деления к наименьшему не превышает 1,3 при постоянной цене деления) и **н е р а в н о м е р н ы е** (отношение длины наибольшего деления к наименьшему той же цены превышает 1,3); по освещенности на **н е с в е т я щ и е с я**, **п о д с в е ч е н н ы е** (падающим или проходящим светом искусственного источника), **с в е т я щ и е с я** (со светящейся массой постоянного или временного действия); по месту расположения нуля на **о д н о с т о р о н н и е** (ноль размещен в начале), **д в у с т о р о н н и е** (ноль размещен между начальной и конечной отметками), **б е з н у л е в ы е** (на шкале вообще нет нулевой отметки); по количеству строк в одной шкале на **о д н о с т р о ч н ы е**, **д в у х с т р о ч н ы е**, **м н о г о с т р о ч н ы е**.

Для уменьшения погрешностей отсчета, вызываемых неправильным положением глаза наблюдателя относительно отсчетного устройства, в точных переносных измерительных приборах шкалы делают зеркальными. При отсчете значения измеряемой величины по зеркальной шка-

ле необходимо так смотреть на стрелку и шкалу, чтобы стрелка перекрывала свое отражение в зеркале.

Указателями служат ножевидные, копьевидные, нитевидные и другие стрелки, а также так называемые световые указатели. Чем длиннее стрелка, тем больше ее перемещение по шкале при одном и том же отклонении подвижной части. Но удлинение стрелки влечет за собой утяжеление подвижной части и увеличение габаритов прибора. Поэтому в последние годы более широкое распространение получают приборы с внутренним световым указателем, принцип работы которого поясняется на рис. 13. Пучок света от осветителя 1, помещенного внут-

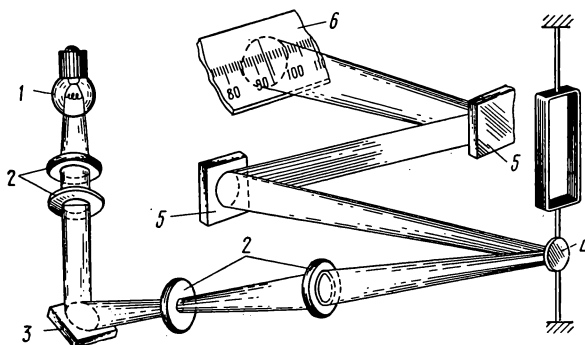


Рис. 13. Схема устройства светового указателя:
1 — осветитель, 2 — линзы, 3, 5 — зеркала, 4 — зеркальце,
6 — шкала

ри корпуса прибора, через набор оптических линз 2 и зеркало 3 попадает на зеркальце 4 подвижной части прибора и от него через систему зеркал 5 отражается на шкалу 6, на которой получается светлый кружочек с четкой риской внутри него. В некоторых приборах на пути светового потока укреплен копьевидная пластинка, и в светящемся кружочке на шкале вместо риски видно изображение копьевидной стрелки.

За счет многократных изменений зеркалами направлений луча общая его длина от зеркальца подвижной части до шкалы в современных приборах достигает 0,5—1 м, что равносильно применению стрелки длиной примерно 1—2 м. Небольшое отклонение подвижной части вызывает заметное перемещение светового указателя по шкале, т. е. чувствительность прибора значительно повышается.

Световой указатель имеет преимущества перед стрелочным, но для него необходимы специальное устройство и источник питания, несколько усложняющие и соответственно удорожающие прибор, поэтому такие указатели применяют только в переносных приборах высоких классов точности. В приборах высокой чувствительности — гальванометрах — применяют световой отсчет с отдельным отсчетным устройством, так называемый зеркальный отсчет.

Корректор и арретир. Корректор в приборе необходим для устранения небольших смещений стрелки с нулевого деления, возникающих из-за разных причин (влияние температуры, остаточные деформации в деталях).

Принцип действия корректора достаточно понятен из схемы устройства, показанного на рис. 10, а. К поводку корректора 2 прикрепляется свободный конец 1 спиральной пружины, второй конец которой присоединен к подвижной части прибора. Поворотом эксцентрика 3 можно изменить положение поводка корректора и положение подвижной части вместе со стрелкой или световым указателем.

В переносных приборах высокой чувствительности обычно имеется специальное устройство — арретир — закрепляющее во избежание повреждений подвижную часть при переноске или перевозке в неподвижном положении. Конструкции арретиров весьма разнообразны.

Все узлы и детали измерительного прибора в собранном виде помещают в корпус. Большинство современных показывающих электроизмерительных приборов находится в пластмассовых корпусах прямоугольной, квадратной или круглой формы.

Размеры корпусов, как и другие параметры приборов, регламентированы ГОСТ 1845—59. Все показывающие щитовые приборы разделяют по наибольшим размерам лицевой стороны их корпусов на миниатюрные (до 50 мм), малогабаритные (50—100 мм), среднего (100—200 мм) и большого габаритов (свыше 200 мм). Аналогично классифицируют размеры корпусов переносных и самопишущих приборов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение измерения.
2. Что такое мера и измерительный прибор? Как они подразделяются по назначению?
3. Что такое погрешность? Дайте определение абсолютной, относительной и приведенной погрешностей.
4. Что характеризует чувствительность прибора? В каких единицах она измеряется?
5. Охарактеризуйте остальные качественные показатели мер и приборов.
6. Опишите меры э.д.с., сопротивления, индуктивности, взаимоиндуктивности и емкости.
7. Приведите классификацию электроизмерительных приборов по различным признакам.
8. Какие условные обозначения имеются на шкале электроизмерительного прибора?
9. Что такое измерительный механизм и измерительная схема? Каково их назначение?
10. Опишите узлы и детали показывающих приборов.

Глава II

ПРИБОРЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ

§ 7. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИБОРЫ

В приборах этой системы для перемещения подвижной части используют взаимодействие поля постоянного магнита с проводниками, по которым протекает электрический ток. Подвижными могут быть проводники с током (приборы с подвижной рамкой) или же постоянные магниты (приборы с подвижным магнитом). В настоящее время более распространены приборы с подвижной рамкой. Приборы с подвижным магнитом имеют ограниченное применение и служат главным образом как указательные малогабаритные приборы для автомобилей, самолетов, тракторов.

Приборы с подвижной рамкой. В приборах этого типа подвижной частью служит рамка 1, помещенная в воздушном зазоре между полюсными наконечниками 2 постоянного магнита и неподвижным стальным цилиндром 3 (рис. 14). Рамка состоит из алюминиевого каркаса прямоугольной формы, на который намотаны витки из тонкого ($\varnothing 0,03—0,15$ мм) медного или алюминиевого провода. Устанавливается она на кернах в подпятниках, а в приборах последних конструкций и в высокочувствительных приборах — на растяжках или подвесе.

Ток к обмотке рамки подводится, как это показано на рис. 15, через спиральные пружины и внутренние пружинодержатели, к которым припаяны концы обмотки. Спиральные пружины одновременно служат для создания противодействующего момента. При протекании по обмотке тока на нее, как известно из физики и электротехники, согласно законам электромагнетизма действует механическая сила. Направление этой силы можно определить по правилу левой руки, а величина ее зависит от магнитной индукции в зазоре, длины рамки, количества витков обмотки и силы тока, протекающего по ней.

Если обозначить магнитную индукцию в зазоре через B , активную длину обмотки через l , число витков ее через w и силу тока, протекающего по ней, через I , то сила F , действующая на рамку, будет

$$F = B I l w.$$

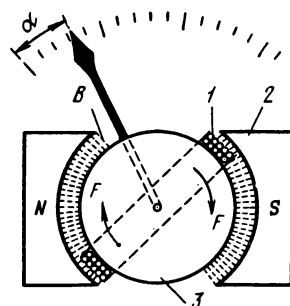


Рис. 14. Рамка с током в равномерном магнитном поле:

1 — рамка, 2 — наконечник, 3 — стальной цилиндр

На каждую из двух сторон рамки действуют силы, одинаковые по величине, но противоположные по направлению. Эти силы приложены на расстоянии от оси, равном половине ширины рамки. Если обозначить ширину рамки через b (см. рис. 15), то момент, действующий на рамку, можно выразить так:

$$M_{\text{вр}} = 2F \frac{b}{2} = B b l \omega I.$$

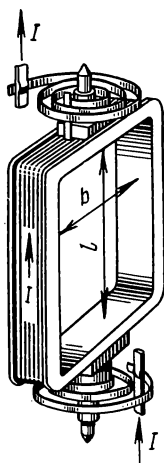


Рис. 15. Рамка магнитоэлектрического измерительного механизма

Произведение ширины b на длину l представляет собой площадь рамки, которую обозначим буквой s , тогда вращающий момент, действующий на подвижную часть, можно выразить так:

$$M_{\text{вр}} = B s \omega I.$$

Спиральные пружины, как указывалось выше, создают противодействующий момент:

$$M_{\text{пр}} = \alpha W.$$

При протекании по обмотке электрического тока подвижная часть под действием вращающего момента $M_{\text{вр}}$ проворачивается по часовой стрелке или против нее — в зависимости от направления тока, вызывая возрастание противодействующего момента $M_{\text{пр}}$, создаваемого спиральными пружинами. При некотором отклонении вращающий и противодействующие моменты сравняются по величине, и перемещение рамки прекратится; подвижная часть установится в положение, соответствующее значению измеряемого тока. Наступает равенство:

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}} \quad \text{или} \quad B s \omega I = \alpha W.$$

Из последнего равенства можно получить выражение угла α , на который отклоняется рамка при протекании по ее обмотке тока I :

$$\alpha = \frac{B s \omega}{W} I. \quad (13)$$

Магнитная индукция B в зазоре, площадь рамки s , число витков обмотки ω и удельный противодействующий момент спиральных пружин W являются для данного прибора величинами постоянными. Из формулы (13) видно, что они характеризуют отклонение подвижной части прибора на единицу измеряемой величины, т. е. его чувствительность

$$\frac{B s \omega}{W} = \frac{\alpha}{I} = S, \quad (14)$$

откуда

$$\alpha = S I. \quad (15)$$

Как видно из выражения (15), угол установившегося отклонения подвижной части тем больше, чем больше ток, протекающий по рамке, и чем больше чувствительность прибора.

Повышение чувствительности, как это следует из формулы (14), может быть достигнуто путем увеличения индукции B в воздушном зазоре, поэтому в современных магнитоэлектрических приборах применяют

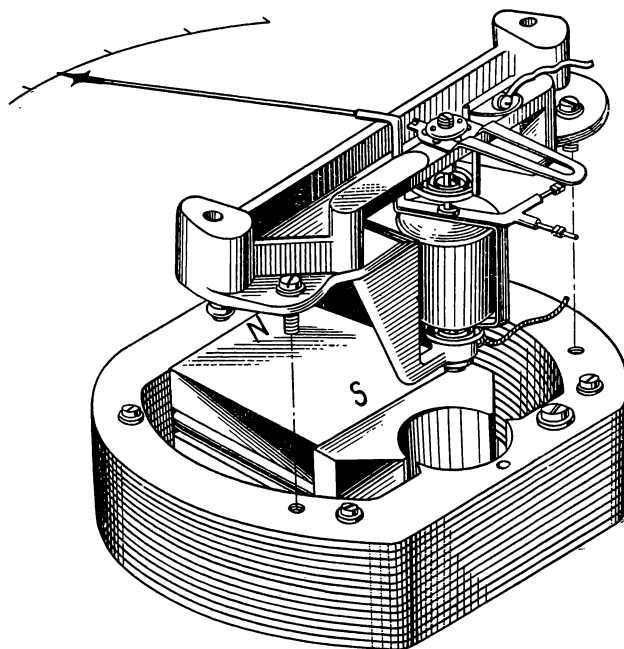


Рис. 16. Устройство магнитоэлектрических механизмов с подвижной рамкой

постоянные магниты из высококачественных никельалюминийкобальтовых сплавов типа альнико, альни, магнико и др. Современные постоянные магниты обеспечивают индукцию в зазоре 0,2—0,3 Т вместо 0,1—0,12 Т у магнитов из вольфрамовых и хромистых сталей, ранее применявшихся в электроизмерительных приборах.

Из формулы (15) видно, что шкала магнитоэлектрического прибора равномерна, ибо угол отклонения подвижной части прибора прямо пропорционален току, протекающему по обмотке рамки. Однако это будет только тогда, когда магнитное поле в воздушном зазоре равномерно и радиально, для чего постоянные магниты снабжают полюсными наконечниками 2 (см. рис. 14) с цилиндрической выточкой, между которыми вмонтирован неподвижный цилиндр 3 из мягкой стали. Одновременно этот цилиндр усиливает магнитное поле в зазоре.

В качестве успокоителя в приборах магнитоэлектрической системы используют алюминиевый каркас рамки. При колебаниях рамки около

положения, соответствующего значению измеряемой величины, в ее алюминиевом каркасе, пересекающем магнитный поток постоянного магнита, наводится ток, как в короткозамкнутом витке. Взаимодействие наведенного тока с магнитным потоком согласно принципу Ленца тормозит движение и создает успокаивающий момент. Успокоение подвижной части приборов магнитоэлектрической системы достаточно сильное; при включении прибора подвижная часть устанавливается в положение, соответствующее измеряемой величине, после одного-двух колебаний.

Конструкция магнитоэлектрических измерительных механизмов с магнитом из высококоэрцитивного сплава показана на рис. 16 (неподвижный ферромагнитный сердечник приподнят).

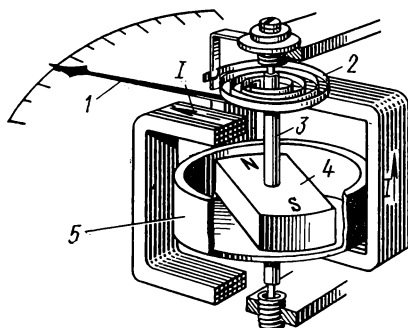


Рис. 17. Устройство магнитоэлектрического механизма с подвижным магнитом:

1 — отсчетное устройство, 2 — спиральная пружина, 3 — ось, 4 — подвижный магнит, 5 — алюминиевый стакан

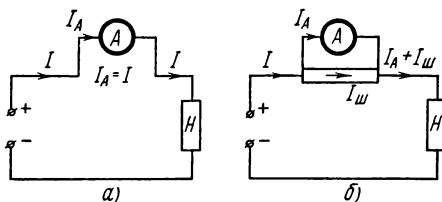


Рис. 18. Схема включения магнитоэлектрических амперметров:

а — непосредственное, б — через шунт

Приборы с подвижным магнитом. Принцип действия прибора с подвижным магнитом можно понять из схемы, изображенной на рис. 17. При протекании измеряемого тока по неподвижной катушке, состоящей из двух секций, образуется магнитное поле. Подвижный магнит 4, укрепленный на оси 3, начинает под действием поля катушки поворачиваться. Спиральная пружина 2 (а в некоторых приборах неподвижный магнит) создает противодействующий момент. По отсчетному устройству 1 (шкала и указатель) узнают числовое значение измеряемой величины.

В качестве успокоителя служит медный или алюминиевый стакан 5, в стенках которого при повороте подвижного магнита наводятся вихревые токи, взаимодействующие с полем магнита и создающие успокаивающий момент. Для исключения влияния внешних магнитных полей прибор экранируется корпусом из материала с большой магнитной проницаемостью.

Приборы с подвижным магнитом имеют относительно низкую точность. Конструктивное оформление этих приборов весьма разнообразно.

разно. Основные их достоинства — малые габариты и низкая (по сравнению с приборами, имеющими подвижную рамку) стоимость.

Шунты и добавочные сопротивления. В магнитоэлектрических приборах непосредственно через рамку пропускают незначительные токи: от 0,1 до 10 мА в вольтметрах и до 25—10 мА в амперметрах (рис. 18,а).

В практике приходится измерять значительно большие токи. Для расширения пределов измерения магнитоэлектрических амперметров применяют шунт, к которому параллельно присоединяется обмотка рамки, как показано на рис. 18,б.

Например, надо измерить в цепи ток I , в n раз больший тока I_A , на который рассчитан амперметр. Для этого к нему подбирают шунт с сопротивлением $r_{ш}$. Если сопротивление обмотки обозначить r_A , то искомое сопротивление шунта легко найти из следующих соображений: токи в обмотке амперметра и шунте обратно пропорциональны сопротивлениям обмотки и шунта, т. е.

$$\frac{I_A}{I_{ш}} = \frac{r_{ш}}{r_A}.$$

Но ток шунта $I_{ш} = I - I_A$, а ток, который надо измерить, $I = nI_A$, следовательно,

$$\frac{I_A}{nI_A - I_A} = \frac{r_{ш}}{r_A}.$$

Сократив числитель и знаменатель левой дроби на I_A , получим:

$$\frac{1}{n - 1} = \frac{r_{ш}}{r_A},$$

откуда

$$r_{ш} = \frac{r_A}{n - 1}. \quad (16)$$

Например, амперметром на 25 мА с сопротивлением обмотки $r_A = 10$ Ом надо измерить ток $I = 50$ А. Требуется подобрать шунт.

В этом случае

$$n = \frac{I}{I_A} = \frac{50}{0,025} = 2000 \text{ и } n - 1 = 1999,$$

следовательно,

$$r_{ш} = \frac{10}{2000 - 1} = \frac{10}{1999} \approx 0,005 \text{ Ом.}$$

Шунты изготовляют из манганина; они бывают внутренними (встроенными внутри корпуса) или наружными (отдельными от прибора). Внутренние шунты делают на небольшие токи — до десятков ампер, а наружные — на токи до десяти тысяч ампер.

Сопротивление шунтов весьма мало — сотые и тысячные доли ома. Шунты имеют две пары зажимов: наружные (токовые), к которым подключают цепь измеряемого тока, и внутренние (потенциальные), к которым присоединяют измерительный прибор.

Наружные шунты выполняются как для работы с одним, определенным амперметром (индивидуальные шунты), так и для работы с любым амперметром, ток которого мал по сравнению с током шунта, а падение

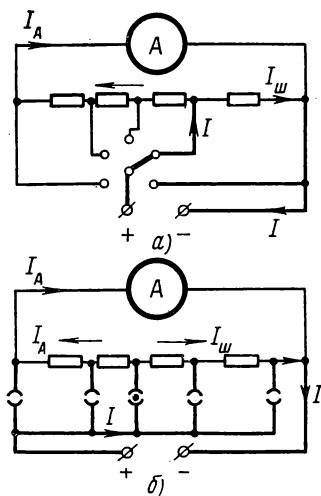


Рис. 19. Схемы многопредельных магнитоэлектрических амперметров со встроенными шунтами:

а — рычажное переключение,
б — штепсельное переключение

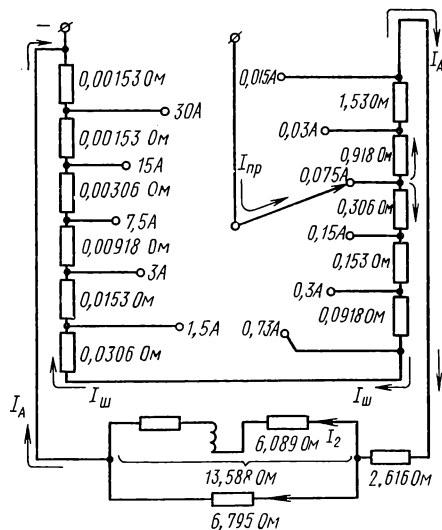


Рис. 20. Схема многопредельного переносного магнитоэлектрического амперметра на 11 пределов измерения

напряжения равно падению напряжения на шунте (калиброванные шунты).

Калиброванные шунты рассчитаны на определенные значения падения напряжения: 45, 75, 100 и 150 мВ. По ГОСТ 1845—59 калиброванные шунты делят на следующие классы точности: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1.

На рис. 19 показаны схемы четырехпредельного амперметра с шунтами. Переключение с одного предела на другой может быть рычажное (рис. 19,а) и штепсельное (рис. 19,б).

Схема переносного многопредельного амперметра с рычажным переключением приведена на рис. 20. На схеме показано положение переключателя на пределе измерения 0,075 А. Измеряемый ток I разветвляется на ток I_A , протекающий через измерительную схему амперметра, и ток $I_{ш}$, протекающий через шунтирующие сопротивления. К рамке подключены, как показано на схеме, сопротивления (6,089; 13,588; 2,616; 6,795 Ом).

2,616, 6,795 Ом), выполненные из материалов с температурными коэффициентами, подобранными так, чтобы ток в рамке прибора оставался постоянным при изменении температуры. Конструкции шунтов, а также амперметров со встроенными шунтами, весьма разнообразны.

В отличие от амперметра вольтметр должен иметь возможно большее сопротивление, поэтому обмотки вольтметров состоят из значительно большего, чем у амперметров, числа витков. Все же сопротивление обмотки катушки вольтметра r_v относительно невелико, поскольку она изготавливается из медной проволоки. Помимо этого, сопротивление ее в значительной степени зависит от температуры, так как температурный коэффициент меди $\alpha_m = 0,004$, т. е. при изменении температуры на 10°C сопротивление катушки меняется на 4%. Изменение сопротивления вольтметра вызывает изменение тока через катушку, а следовательно, и показаний прибора.

Чтобы обеспечить практическую независимость сопротивления вольтметра r_v от температуры, во всех вольтметрах последовательно с катушкой включают большое добавочное внутреннее сопротивление r_d из манганина или константана. По сравнению с ним сопротивление катушки r_k мало и изменение последнего вследствие изменения температуры только незначительно влияет на общее сопротивление вольтметра, равное:

$$r_v = r_k + r_d.$$

Когда номинальное напряжение вольтметра равно измеряемому напряжению или больше его, прибор включается в цепь непосредственно по схеме рис. 21, а. Если же измеряемое напряжение U_x больше номинального напряжения вольтметра U_v , то для расширения пределов измерения последовательно с прибором включают отдельное добавочное сопротивление r_d (рис. 21, б).

Добавочные сопротивления, как и шунты, могут быть внутренними или наружными, однопредельными или многопредельными, индивидуальными или калиброванными. Калиброванные добавочные сопротивления изготовляют на токи: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 7,5; 15; 30 и 60 мА.

На рис. 22 показана принципиальная схема переносного восьмипредельного вольтметра М106 с рычажным переключателем многопредельного добавочного сопротивления. В приборе выведены два дополнительных зажима на 45 (44, 84) мВ и 75 (74, 68) мВ. С калиброванными шунтами (на 75 или 45 мВ) можно использовать данный прибор в качестве амперметра. Для этого в приборе предусмотрена схема температурной компенсации.

Внутренние добавочные сопротивления применяют в вольтметрах

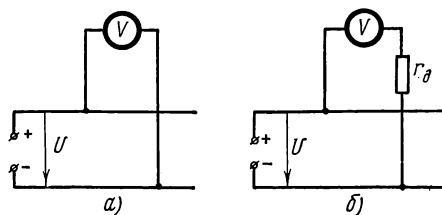


Рис. 21. Схемы включения вольтметров постоянного тока:

а — непосредственное, б — через добавочное сопротивление

на напряжение не выше 600 В. Наружные добавочные сопротивления изготавливают на напряжение до 1500 В.

Добавочные сопротивления, рассчитанные на высокое напряжение, делают со специальными подставками из изоляционного материала. На корпус наносят предупреждающий знак высокого напряжения в виде красной стрелы.

Магнитоэлектрические приборы применяют в качестве амперметров, вольтметров, гальванометров, омметров и др. Как и приборы других

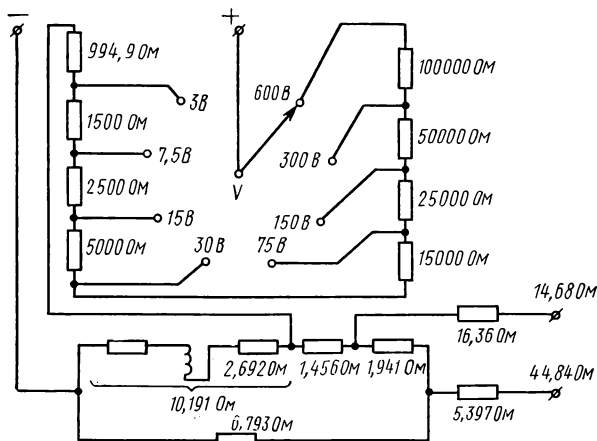


Рис. 22. Схема восьмипредельного вольтметра типа М106 класса точности 0,2

систем, их выполняют в виде щитовых и переносных. Переносные магнитоэлектрические амперметры и вольтметры чаще всего выпускают многопредельными. В этом случае шкалу прибора делают не именованной, а условной.

Магнитоэлектрические приборы — самые точные из всех электроизмерительных приборов, поэтому они получили повсеместное распространение в цепях постоянного тока. Кроме того, они обладают следующими преимуществами: высокой чувствительностью, равномерностью шкалы, малым собственным потреблением и малой восприимчивостью к воздействиям внешних магнитных полей благодаря собственному сильному магнитному полю.

Однако магнитоэлектрическим приборам присущи следующие недостатки: они пригодны только для постоянного тока, сложны по конструкции и соответственно дороги.

§ 8. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛОГОМЕТРЫ

Логометрами называют приборы, в которых отсутствует противодействующая механическая сила и положение установившегося равновесия подвижной части зависит только от отношения токов, протекающих

по их обмоткам. Схема устройства магнитоэлектрического логометра приведена на рис. 23. Его неподвижной частью служит постоянный магнит с полюсными наконечниками и сердечником из мягкой стали, а подвижная часть состоит из двух жестко соединенных между собой под углом рамок, насаженных на общую ось со стрелкой. Токи I_1 и I_2 к обмоткам обеих рамок подводятся через специальные токоподводы, не создающие противодействующего момента. Направления этих токов противоположны, поэтому вращающие моменты, действующие на подвижную часть, также имеют противоположные направления. Магнитное поле в зазоре между полюсными наконечниками и сердечником искусственно делается неравномерным. Достигается это либо формой расточки наконечников, либо формой неподвижного сердечника. Из-за неравномерности зазоров вращающие моменты оказываются зависимыми от положения подвижной части. Под их действием подвижная часть будет поворачиваться в сторону большего момента. При этом одна рамка из более узкого зазора с большей индукцией начнет перемещаться в более широкий зазор с меньшей индукцией, а другая рамка, наоборот, будет перемещаться из более узкого зазора в более широкий. Вследствие этого момент одной рамки будет увеличиваться, а момент второй рамки — уменьшаться. Рамки будут поворачиваться до тех пор, пока их вращающие моменты не станут равными. Если после этого токи в обеих рамках одновременно увеличить или уменьшить, например, в два раза, то оба вращающих момента тоже увеличатся или уменьшатся в два раза, оставаясь при этом равными друг другу. Иначе говоря, положение подвижной части такого механизма зависит не от абсолютных значений токов в рамках, а от отношения их между собой.

При помощи соответствующих измерительных схем можно обеспечить зависимость токов в рамках от самых разнообразных физических величин; это дает возможность весьма широко использовать логометры.

Магнитоэлектрические логометры применяют наиболее часто в качестве приборов для непосредственного измерения сопротивлений в виде омметров и мегомметров.

§ 9. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГАЛЬВАНОМЕТРЫ

В практике электрических измерений нередко приходится измерять весьма малые токи и напряжения. Очень часто нужно устанавливать (фиксировать) отсутствие тока (напряжения) в определенных участках исследуемой цепи, например в мостовых или компенсационных схемах. Для этой цели предназначаются высокочувствительные приборы непосредственной оценки, имеющие условные шкалы. Такие приборы принято

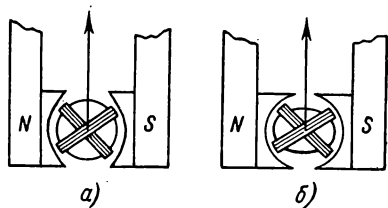


Рис. 23. Схема устройства магнитоэлектрических логометров:

а — с несимметричной выточкой полюсных наконечников, б — с эллипсоидальным неподвижным сердечником

называть г а л ь в а н о м е т р а м и. Шкалы гальванометров бывают двух типов: встроенные в корпус прибора и отдельные, устанавливаемые на расстоянии от прибора. Первые применяют в менее чувствительных приборах — стрелочных гальванометрах и гальванометрах с внутренним световым отсчетным устройством. Отдельными шкалами снабжены наиболее чувствительные гальванометры с внешним световым отсчетом, или, как их еще называют, зеркальные гальванометры.

Из возможного многообразия конструкций и типов гальванометров наибольшее распространение в настоящее время получили магнито-электрические гальванометры с подвижной рамкой для цепей постоянного тока и с подвижным (вибрирующим) магнитом для цепей переменного тока. В последние годы стали все шире использовать в качестве гальванометров для цепей переменного тока электронные приборы.

Поскольку гальванометры в основном предназначены для измерений малых (меньше $1 \cdot 10^{-6}$ А) токов и напряжений, а также фиксирования отсутствия тока (напряжения) при работе их в качестве так называемых нулевых приборов, главным требованием, предъявляемым к ним, является высокая чувствительность.

Гальванометры характеризуются чувствительностью по току S_I и чувствительностью по напряжению S_U . Под чувствительностью по току понимают отношение величины углового или линейного перемещения указателя к единице тока, протекающего по рамке гальванометра, т. е.

$$S_I = \frac{\alpha_y}{I_r}.$$

Для гальванометров со стрелочным и со встроенным внутренним световым отсчетом, у которых длина указателя (стрелки или светового луча) постоянна, чувствительность по току S_I выражают в делениях шкалы, приходящихся на 1 мкА тока рамки. У зеркальных гальванометров величина перемещения светового луча по линейной шкале определяется не только величиной отклонения рамки α , вызванного током I_r рамки, но также зависит от расстояния l между зеркалом гальванометра и его выносной шкалой. Поэтому для зеркальных гальванометров чувствительность по току выражается в миллиметрах перемещения светового указателя по шкале при расстоянии между зеркалом и шкалой в один метр. Например, $S_I = 500 \frac{\text{мм}}{\text{мкА/м}}$.

Чувствительность гальванометра по напряжению характеризуется отношением числа делений или величины перемещения светового указателя в миллиметрах к напряжению, приложенному к рамке гальванометра:

$$S_U = \frac{\alpha_y}{U_r}.$$

Чувствительность гальванометра по току и напряжению связана между собой отношением:

$$S_U = \frac{\alpha_y}{U_r} = \frac{\alpha_y}{I_r r_r} = \frac{S_I}{r_r}, \quad (17)$$

где r_r — сопротивление гальванометра.

Иногда чувствительность по напряжению выражают не через сопротивление r_r гальванометра, а через так называемое критическое сопротивление $r_{кр}$ (см. ниже):

$$S_U = \frac{S_I}{r_{кр}}. \quad (18)$$

Обычно в паспорте гальванометра и на его щитке указывают не чувствительность S , а величину, обратную ей, называемую постоянной и обозначаемую буквой C с соответствующим индексом.

Постоянная по току C_I связана с чувствительностью по току S_I следующим соотношением:

$$C_I = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{S} \text{ А/дел или А/мм} \cdot \text{м},$$

а постоянная по напряжению C_U связана с чувствительностью S_U :

$$C_U = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{S_U} \text{ В/дел или В/мм} \cdot \text{м}.$$

В цепях постоянного тока применяют исключительно магнитоэлектрические гальванометры с подвижной рамкой, не отличающиеся по принципу действия и общей схеме устройства от рассмотренных ранее обычных магнитоэлектрических приборов.

Высокая чувствительность гальванометров достигается путем установки подвижной части на подвесе или на растяжках, что уменьшает удельный противодействующий момент. Повышение чувствительности гальванометра за счет увеличения размеров рамки и индукции в воздушном зазоре не всегда рационально, ибо это ведет к возрастанию критического сопротивления гальванометра и делает его малоудобным для работы в цепях с не очень большим сопротивлением.

Для облегчения конструкции подвижной части гальванометра его рамку делают бескаркасной, а из-за отсутствия алюминиевого каркаса в рамке способ успокоения магнитоэлектрического гальванометра оказывается не таким, как у обычного магнитоэлектрического прибора. Бескаркасная рамка, выведенная механически из состояния равновесия, будет при разомкнутой цепи гальванометра очень долго колебаться около нулевого положения. Время одного полного колебания называют периодом свободных колебаний гальванометра и обозначают T_0 . Чем больше T_0 , тем дольше колеблется рамка при разомкнутой цепи гальванометра.

Из-за того что рамка гальванометра замкнута на некоторое внешнее сопротивление, время колебаний рамки, выведенной из состояния равновесия, резко сокращается. В зависимости от сопротивления внешней цепи $r_{вн}$, на которую замкнута рамка, изменяется не только время колебаний, но и сам характер движения рамки. Это происходит в результате появления момента успокоения, создаваемого взаимодействием тока, индуцированного в рамке при ее движении, с полем постоянного магнита.

Рассмотрим возникновение момента успокоения более подробно.

На рис. 24 показана схема включения гальванометра в цепь. Под действием э. д. с. источника E в цепи установится (при замкнутом ключе K) ток I , большая часть которого $I_{ш}$ пойдет по шунтирующему сопротивлению r_2 , а другая часть I_r пойдет по сопротивлению r_1 и рамке гальванометра, имеющей сопротивление r_r .

Под действием тока I_r рамка гальванометра через некоторое время займет положение установившегося равновесия при отклонении на угол α или, например, на 20 делений по шкале от нулевого положения.

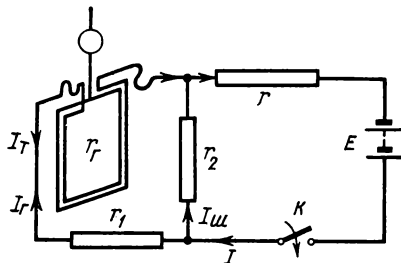


Рис. 24. Схема включения магнитоэлектрического гальванометра в цепь

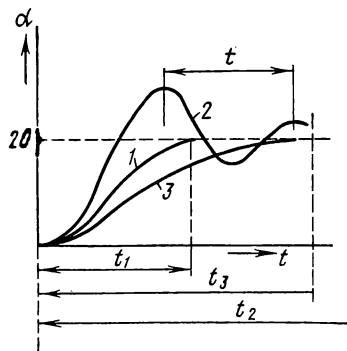


Рис. 25. Характер движения рамки магнитоэлектрического гальванометра в зависимости от сопротивления цепи, в которую он включен:
1 — $r_{вн} = r_{кр}$, 2 — $r_{вн} > r_{кр}$, 3 — $r_{вн} < r_{кр}$

При движении рамки от нулевого положения к положению установившегося равновесия она будет пересекать силовые линии постоянного магнита, и в витках возникнет э. д. с. E . Так как рамка замкнута на внешнее сопротивление $r_{вн}$, в ней появится ток I_r :

$$I_r = \frac{E}{r_{вн} + r_r},$$

направленный против тока I_r и тормозящий рамку. Здесь r_r — сопротивление рамки гальванометра.

Взаимодействие тока I_r с полем постоянного магнита создает успокаивающую (тормозящую) силу. Таким образом, величина успокоения зависит от сопротивления внешней цепи, на которую замкнута рамка.

На рис. 25 показаны графики движения рамки при различных значениях $r_{вн}$. Если $r_{вн}$ велико, то ток I_r мал, успокоение незначительно, и рамка переходит в положение установившегося равновесия (на 20-е деление) по кривой 2 после нескольких колебаний около этого положения.

При малом $r_{вн}$ успокоение становится очень сильным, рамка движется замедленно (кривая 3) и достигает равновесия без колебаний.

При некотором внешнем сопротивлении $r_{\text{вн.кр}}$, называемом внешним критическим, рамка движется по кривой I , достигая положения установившегося равновесия за время t_1 , наименьшее по сравнению со вре-

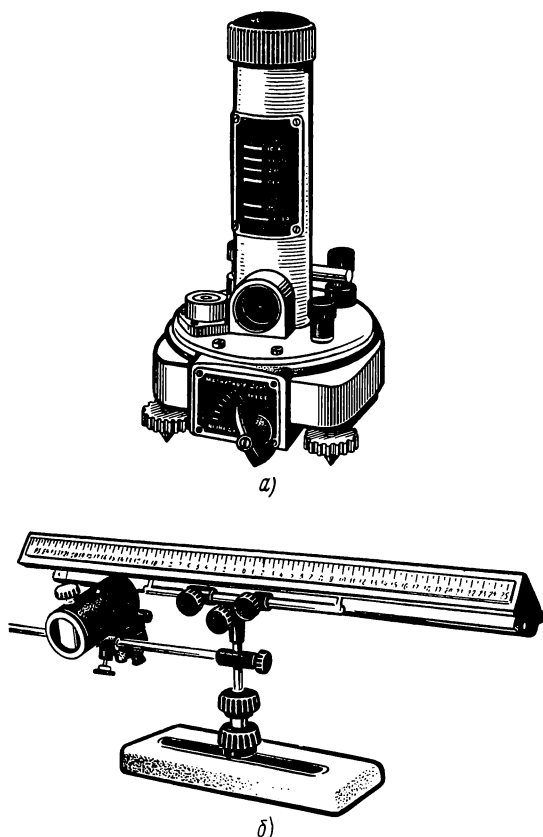


Рис. 26. Зеркальный гальванометр (а) и отсчетное устройство (б)

менем, затрачиваемым на успокоение при всех других возможных режимах.

Отличают полное критическое сопротивление $r_{\text{кр}}$ от внешнего критического сопротивления $r_{\text{вн.кр}}$. Под полным критическим сопротивлением понимают сумму сопротивлений самого гальванометра и сопротивления внешней цепи, куда он включен. Внешнее критическое сопротивление равно полному критическому за вычетом сопротивления гальванометра:

$$r_{\text{вн.кр}} = r_{\text{кр}} - r_{\text{г}}$$

Величина критического сопротивления — один из важнейших параметров гальванометров магнитоэлектрической системы. Очень часто

она предопределяет возможность использования этих приборов в конкретной измерительной схеме.

Основные параметры гальванометра: чувствительность по току S_I , критическое сопротивление $r_{кр}$ и период колебаний T_0 — указывают обычно на щитке гальванометра. Часто вместо чувствительности S указывают постоянную C . Внешний вид зеркального гальванометра с отдельным отсчетным устройством показан на рис. 26, а и б.

§ 10. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Магнитоэлектрические приборы можно использовать и в цепях переменного тока, предварительно преобразовав переменный ток в постоянный. Для этой цели служат преобразователи и в соответствии с ними различают приборы: выпрямительные, термоэлектрические, электронные или ламповые.

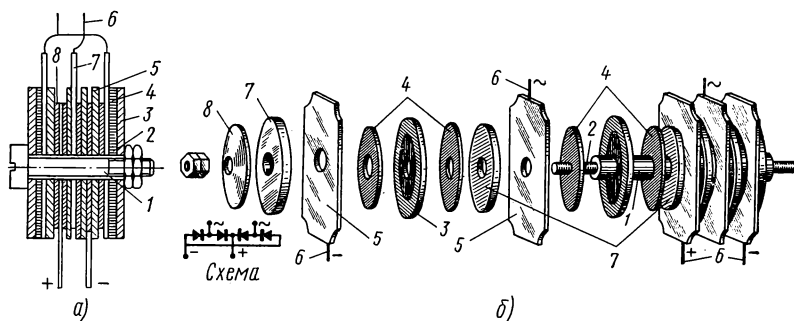


Рис. 27. Меднозакисный выпрямитель:

а — схема устройства, б — выпрямитель в разобранном виде и его принципиальная схема; 1 — болт, 2 — изоляционная втулка, 3, 4 — пластины, 5 — медные шайбы, 6 — выводные концы, 7 — радиаторы, 8 — свинцовые шайбы

Выпрямительные приборы. Они представляют собой соединение магнитоэлектрического измерительного механизма с полупроводниковым выпрямителем. Применяют меднозакисные (купроксные) и германиевые выпрямители. Селеновые выпрямители из-за нестабильности их характеристик в измерительных приборах не используют.

Меднозакисный выпрямитель представляет собой шайбу (пластинку) из чистой меди, на которой в результате нагрева ее до $1020\text{--}1040^\circ\text{C}$ и последующего быстрого охлаждения образуется слой закисы меди. Между медью и закисой меди возникает так называемый запирающий слой, создающий сопротивление электрическому току в направлении от меди к закисе меди значительно большее, чем в обратном направлении.

На рис. 27,а показана схема устройства меднозакисного выпрямителя, собранного из четырех шайб в столбик, а на рис. 27,б — выпрямитель в разобранном виде и его принципиальная схема. На изоляционную втулку 2, в которую входит скрепляющий болт 1, надеты

медные шайбы 5. Контакт медных шайб между собой осуществляется посредством свинцовых шайб 8 и радиаторов 7, к которым припаиваются выводные концы 6. Весь столбик стянут гайками, расположенными между изоляционными 4 и латунными 3 пластинами.

Германиевые выпрямители, получившие за последние годы широкое распространение в измерительной технике, представляют собой кристаллы германия, одна грань которых специально обработана. Размеры кристаллов малы и примерно равны $1,5 \times 1,5 \times 0,5$ мм.

В германиевом выпрямителе типа ДГЦ (рис. 28) кристаллик 3 прикреплен к специальному металлическому кристаллодержателю 6. Контактная пружина 2 из вольфрамовой проволоки своим заостренным концом опирается на обработанную грань кристалла, а вторым концом укреплена во фланце 1. Другой

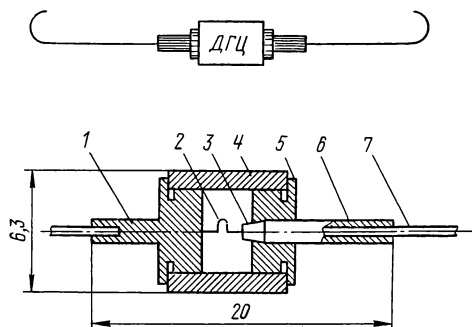


Рис. 28. Внешний вид и схема устройства германиевого выпрямителя:

1, 5 — фланцы, 2 — контактная пружина, 3 — кристаллик, 4 — корпус, 6 — кристаллодержатель, 7 — выводы

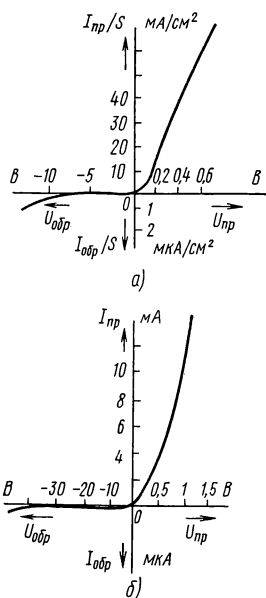


Рис. 29. Примерные вольт-амперные характеристики выпрямителей:

а — меднозакисного, б — германиевого

фланец 5 предназначен для закрепления кристаллодержателя 6. Выпрямитель помещен в керамический корпус (втулку) 4 и снабжен выводами 7.

Выпрямители характеризуются так называемым коэффициентом выпрямления K , представляющим собой отношение сопротивления в обратном направлении к сопротивлению в прямом направлении:

$$K = \frac{r_{обр}}{r_{пр}}.$$

Коэффициент выпрямления может изменяться от единицы до бесконечности. При $K = 1$ никакого выпрямления нет, выпрямитель пропускает одинаково ток в прямом и обратном направлениях, т. е. $r_{пр} = r_{обр}$. Идеальным считают выпрямитель, когда $K = \infty$, т. е. когда ток пропускается только в прямом направлении. Коэффициент

выпрямления для каждого выпрямителя не остается постоянной величиной, а зависит от приложенного напряжения и температуры. Повышение температуры на 1°C приводит, например, у меднозакисного выпрямителя к понижению сопротивления прямому току на $1\text{--}1,5\%$, а сопротивления обратному току — на $3\text{--}5\%$, следовательно, уменьшается и коэффициент выпрямления. Для меднозакисных выпрямителей он имеет порядок $600\text{--}1000$, а для германиевых выпрямителей — от 4000 до 5000 . Предельные значения напряжения, которые могут быть поданы на выпрямитель, составляют в зависимости от типа выпрямителя для меднозакисного $4\text{--}5\text{ В}$ и для германиевого $30\text{--}40\text{ В}$. Напряжения больше указанных вызывают пробой запирающего слоя, и выпрямитель теряет свои свойства, начиная пропускать ток одинаково в обоих направлениях.

Кривые зависимости выпрямленного тока от приложенных прямого и обратного напряжений называют вольтамперными характеристиками. Эти характеристики для каждого типа выпрямителей даны в справочной и каталожной литературе.

На рис. 29 показаны примерные вольтамперные характеристики меднозакисных и германиевых выпрямителей. Как видно из этих характеристик, при малых значениях прямого напряжения нарушается пропорциональность между приложенным напряжением и прямым током, соответственно коэффициент выпрямления существенно уменьшается. Например, для меднозакисных выпрямителей при напряжении, меньшем $0,05\text{--}0,1\text{ В}$, прямой ток, а следовательно, и коэффициент выпрямления очень незначительны.

При напряжениях, превышающих $0,2\text{--}0,3\text{ В}$, устанавливается прямолинейная зависимость между током и напряжением. По этой причине шкала выпрямительного прибора имеет несколько сжатые деления в начальной части, а начиная с $0,1$ длины, становится почти равномерной.

Выбирая тип выпрямителя, всегда стремятся к тому, чтобы он работал на прямолинейном участке своей вольтамперной характеристики. Полупроводниковые выпрямители характеризуются межэлектродной емкостью, которая шунтирует обратное сопротивление выпрямляемому току и, таким образом, снижает коэффициент выпрямления. Значение емкости меднозакисных выпрямителей зависит от площади шайб и достигает 60 пФ/мм^2 .

Емкость германиевых выпрямителей не превышает $20\text{--}50\text{ пФ}$. Соответственно указанным значениям межэлектродной емкости удовлетворительная работа меднозакисных выпрямителей ограничена частотой $2500\text{--}5000\text{ Гц}$, а германиевые выпрямители хорошо работают и при частоте порядка $50\text{ 000--}75\text{ 000 Гц}$.

В зависимости от схемы соединения выпрямителей различают однополупериодные и двухполупериодные схемы выпрямления тока в приборе (рис. 30). В схемах однополупериодного выпрямления ток протекает через прибор только в течение одного полупериода, во второй полупериод ток проходит уже не через прибор, а через второй выпрямитель, включаемый обычно параллельно прибору. В схемах двухполупериодного выпрямления обе полуволны тока проходят через прибор. Наиболее распространены схемы двухполупериодного выпрямления.

В схеме однополупериодного выпрямления (рис. 30,а) через выпрямитель, включенный последовательно с измерительным механизмом *ИМ* магнитоэлектрической системы, ток проходит только в течение первой половины периода (указано сплошной стрелкой); в течение второй половины периода ток проходит через второй выпрямитель, включенный последовательно с сопротивлением *r* (показано пунктирной стрелкой). Необходимость второго выпрямителя вызвана тем, что в схеме с одним выпрямителем в течение второго полупериода последний бы оказался под полным напряжением цепи (так как его сопротивление

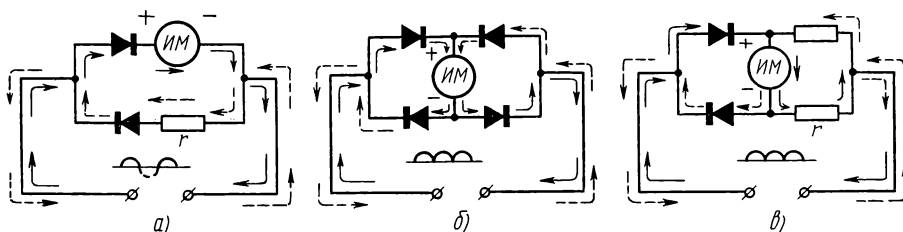


Рис. 30. Схемы выпрямления переменного тока:

а — однополупериодная, б — двухполупериодная мостовая с четырьмя выпрямителями, в — двухполупериодная мостовая с двумя выпрямителями

обратному току велико), и это привело бы к пробое. Сопротивление *r*, равное сопротивлению измерительного механизма, предназначено для уравнивания общего сопротивления цепи при обоих направлениях тока.

В схеме рис. 30,б выпрямители включены так, что в течение всего периода ток в приборе проходит в одном направлении. Часто вместо четырех устанавливают только два выпрямителя, а два других заменяют сопротивлениями, как показано на рис. 30,в. Преимущество этой схемы (рис. 30,в) заключается в сокращении количества выпрямителей и меньшей ее зависимости от окружающей температуры. Правда, при одном и том же измерительном механизме эта схема менее чувствительна по сравнению со схемой рис. 30,б, так как в измеритель (прибор) ответвляется только часть (30—40%) выпрямленного тока, а остальная часть минует его, проходя по сопротивлениям *r*. Величина выпрямленного тока в двухполупериодной схеме в два раза больше, чем в однополупериодной схеме.

Помимо рассмотренных, применяют и другие схемы выпрямления. Соответственно назначению прибора схемы выпрямления подключаются параллельно шунту (амперметры), или последовательно к схеме выпрямления подключают добавочное сопротивление (вольтметры).

В выпрямительных приборах отклонение подвижной части измерителя пропорционально среднему значению измеряемого переменного тока. Обычно интересует не среднее, а действующее значение переменного тока. Поэтому заводы-изготовители градуируют шкалы выпрямительных приборов сразу в действующих значениях. Соотноше-

ние между действующим I и средним $I_{\text{ср}}$ значениями, как известно из электротехники, таково:

$$\frac{I}{I_{\text{ср}}} = k_{\Phi},$$

где k_{Φ} — коэффициент формы кривой переменного тока.

Для синусоиды $k_{\Phi} = 1,11$. При других кривых изменения переменной величины k_{Φ} имеет иные значения. Отсюда следует, что выпрямительные приборы, проградуированные в действующих значениях при

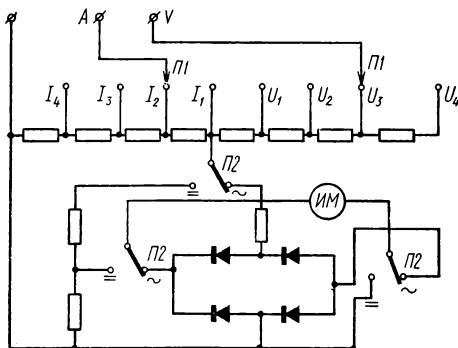


Рис. 31. Принципиальная схема выпрямительного многопредельного вольтамперметра

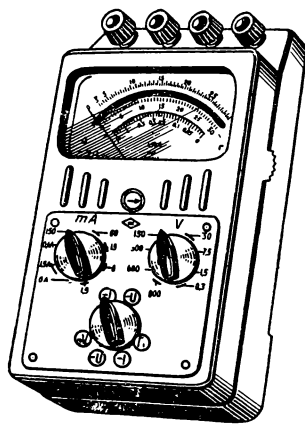


Рис. 32. Внешний вид универсального переносного многопредельного ампервольтметра (авометра)

синусоидальном токе, дают неправильные показания при отклонении формы кривой от синусоиды.

Выпрямительные приборы достаточно чувствительны и имеют малое собственное потребление (меньше 1 Вт) — в этом заключаются их основные преимущества. Но им свойственны недостатки: относительно низкая точность, чувствительность к колебаниям температуры и частоты и др. Для уменьшения влияния температуры и частоты в этих приборах применяют специальные схемы температурной и частотной компенсации. Такие схемы собирают из разных комбинаций медных, манганиновых, индуктивных или емкостных сопротивлений, присоединяемых к выпрямляющей части параллельно или последовательно — в зависимости от назначения и предела измерений прибора.

Выпрямительными приборами без специальных схем компенсации можно пользоваться в цепях с частотой, не превышающей 2000 Гц. Для измерений в цепях с частотой от 2 до 10 кГц необходимо применять специальные схемы частотной компенсации. При частотах выше 10 кГц погрешности в показаниях обычных меднозакисных выпрямительных приборов из-за влияния емкости самих выпрямителей недо-

пустимо велики. Освоенные в последние годы германиевые выпрямители выдерживают обратные напряжения до 30—40 В и обладают весьма малой емкостью. Эти выпрямители позволяют измерять переменные токи и напряжения в цепях с частотой до миллионов герц.

Выпрямительные приборы получили очень широкое распространение в качестве миллиамперметров и милливольтметров, амперметров и вольтметров, ваттметров и частотомеров в цепях промышленной и повышенной частоты. На рис. 31 показана схема многопредельного выпрямительного вольтамперметра. Переключение пределов измерений и рода тока выполняется переключателями P_1 и P_2 (конструктивно связаны между собой три переключателя P_2).

Наша промышленность выпускает самые различные типы выпрямительных приборов, например, переносный универсальный многопредельный авометр (ампервольтметр) Ц56, выпускаемый заводом «Точэлектроприбор», показанный на рис. 32. Прибор работает на германиевых выпрямителях и имеет следующие пределы измерений: по току от 0,003 до 30 А; по напряжению от 3 до 600 В. Основная погрешность прибора не более $\pm 1,5\%$ на постоянном токе и не более $\pm 2,5\%$ на переменном токе. Входное сопротивление таких приборов порядка 0,5—3,5 кОм/В, а падение напряжения на зажимах при токе до 6 А не превышает 0,5 В.

Принципиальная схема такого прибора показана на рис. 33. Если переключатели P , конструктивно связанные между собой, находятся в положении, указанном на схеме, то прибор включен для измерения переменных напряжений до 900 В. Путь тока в приборе при этом показан на схеме сплошными (в прямом направлении) и пунктирными (в обратном направлении) стрелками.

Для измерения напряжения постоянного тока переключатель P переводят на контакты с обозначением постоянного тока, а предел измерения соответствует выбранному гнезду, в которое вставлен штекер. Соответственно пределу измерения тока один из штекеров вставляют в гнездо, обозначаемое «мА», а переключатель ставится в положение, соответствующее роду измеряемого тока. Для измерения сопротивления один из штекеров включают в гнездо, обозначаемое «Общ», а второй — в гнездо, соответствующее требуемому пределу измерения. Переключатель P при этом должен быть переведен на контакты с обозначением «Ом». Как видно из схемы, при этом включается в цепь источник питания E — батарея сухих элементов.

Такие универсальные переносные приборы очень удобны при проверках всякого рода и ремонте электрооборудования, в особенности радиооборудования.

Начинают все шире внедряться в электроизмерительную технику и регистрирующие выпрямительные приборы.

Термоэлектрические приборы. Эти приборы состоят из магнитоэлектрического измерительного механизма и соединенного с ним термопреобразователя. Под термопреобразователем понимают одну или несколько термопар, представляющих собой два проводника A и B (рис. 34,а) из разнородных материалов, соединенных между собой в точке спая C . Под действием тепла, выделяемого в нагревателе

измеряемым током, в термопаре возникает термо-э. д. с. E_T , измеряемая магнитоэлектрическим прибором $ИМ$. Шкала его может быть градуирована в единицах измеряемого тока. Величина термо-э. д. с. E_T зависит от температуры точки спая и материалов проводников термопары.

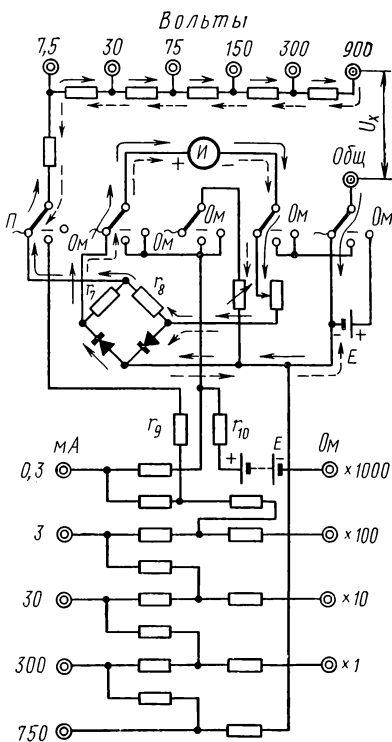


Рис. 33. Принципиальная схема авометра типа ТТ-2

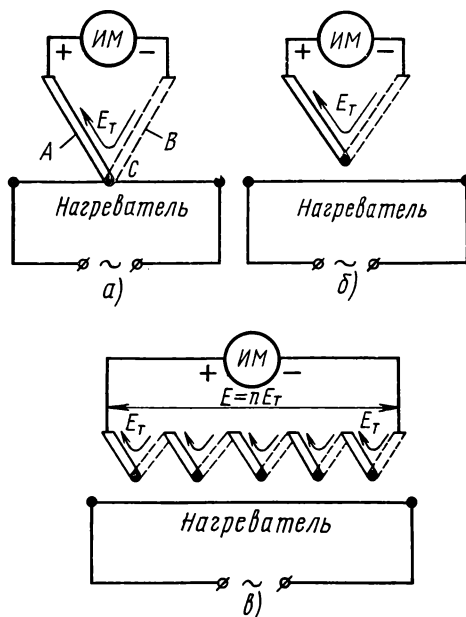


Рис. 34. Схемы термопреобразователей: а — контактный, б — бесконтактный, в — термобатарея

В практике электрических измерений наибольшее распространение получили следующие термопары: железо-константан, манганин-константан, хромель-константан, хромель-копель и др. Температура нагрева точки спая термопар лежит в пределах 200—600°C, а термо-э. д. с. при наибольших температурах для этих термопар характеризуется величинами 10—45 мВ. Для нагревателей берется материал с большим удельным сопротивлением и высокой температурой плавления. Обычно нагреватели изготовляют из вольфрама, нихрома и других тугоплавких металлов.

Величина термо-э. д. с., возникающей в термопаре, пропорциональна квадрату измеряемого тока, протекающего по нагревателю, т. е. $E_T = kI^2$.

Термоэлектрические приборы пригодны для измерения как постоянного, так и переменного тока. В цепях переменного тока они показывают действующее значение измеряемой переменной величины. Шкала этих приборов весьма неравномерна и приближается к квадратичной.

В зависимости от способа нагрева спая различают термопреобразователи: контактные и бесконтактные. В контактных преобразователях горячий спай приваривают к нагревателю. Так как термо-э. д. с. одной термопары мала, то контактные термопреобразователи требуют высокочувствительных измерительных механизмов. Такие преобразователи при измерениях в цепях постоянного тока дают разные значения э. д. с. в зависимости от направления тока. Этот недостаток отсутствует у бесконтактных преобразователей (рис. 34,б), у которых горячий спай отделен от нагревателя изоляционным материалом, например стеклом.

Э. д. с. термопреобразователей может быть значительно повышена последовательным соединением нескольких термопар в термобатарею (рис. 34,в), что не может быть сделано с контактными термопреобразователями, показанными на рис. 34,а. Если каждая термопара развивает термо- э. д. с. E_T , то при соединении термопар в одну термобатарею на ее холодных концах можно получить э. д. с., равную $E = nE_T$. Недостатком термобатареи является то, что выигрыш в величине термо- э. д. с. заметно снижается значительным увеличением сопротивления цепи измерительного механизма. Кроме того, наличие изоляционной прокладки между спаем и нагревателем заметно ухудшает условия теплопередачи и, таким образом, ведет к увеличению тепловой инерции прибора.

В целях повышения чувствительности и уменьшения влияния окружающей температуры в приборах для измерения малых токов термопару помещают в стеклянный баллон, из которого выкачан воздух (рис. 35). Такой термопреобразователь имеет специальное название — вакуумный термопреобразователь.

В современных термоэлектрических приборах большое распространение получила мостовая схема включения термопар, плечи которой состоят из двух половин термопар (рис. 36,а), изготовленных из разных проводниковых материалов A и B . Черные точки между половинами термопары A и B — горячие концы, а точки a_1, a_2 и b_1, b_2 — холодные концы двух последовательно включенных термопар. Если места спаев C выбраны так, что мост уравновешен, то измеряемый переменный ток I_x в цепь измерительного механизма не ответвляется.

На рис. 36,б показан внешний вид современного термоэлектрического прибора со световым указателем. Термоэлектрические приборы применяют главным образом для измерения тока и напряжения в цепях повышенной и высокой частоты. Эти приборы выпускают в виде щитовых и переносных амперметров классов 1,5 и 2,5. Использование

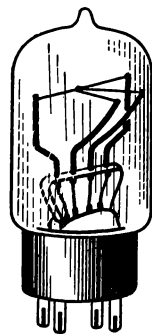


Рис. 35. Контактный вакуумный термопреобразователь

таких приборов в качестве вольтметров для высокочастотных измерений затруднительно из-за сложности изготовления безреактивных добавочных сопротивлений.

Пределы измерений термоэлектрических амперметров расширяют преимущественно при помощи набора термопреобразователей к одному магнитоэлектрическому измерительному механизму. Шунты к этим приборам, точно так же как и обычные измерительные трансфор-

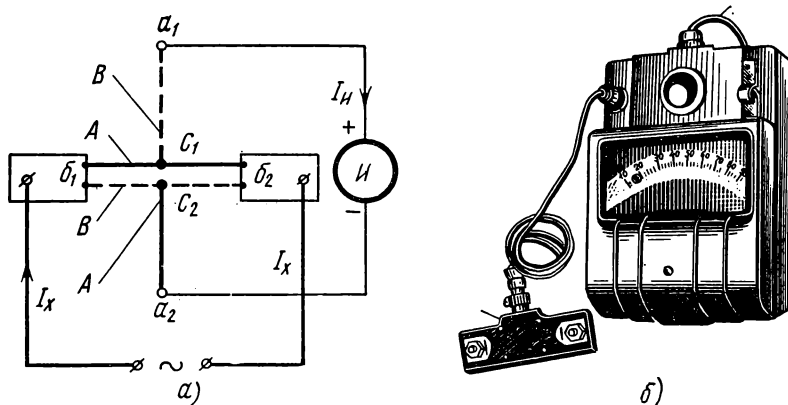


Рис. 36. Термоэлектрический амперметр типа Т-12:

а — мостовая схема термопреобразователя, б — внешний вид

маторы, не применяют из-за больших погрешностей их при высоких частотах.

На термоэлектрические приборы практически не влияет частота, а также внешние магнитные и электрические поля. Основное достоинство термоэлектрических приборов заключается в том, что они пригодны для повышенных и высоких (до 50 МГц) частот. В то же время эти приборы обладают и недостатками. Так, например, колебания температуры влияют на изменение погрешностей приборов, которые не выдерживают перегрузок, имеют неравномерные шкалы и относительно низкую точность.

Электронные приборы. В этих приборах преобразователем служит одна или несколько электронных ламп или полупроводниковых электронных приборов.

В настоящее время электронные приборы представляют самостоятельную отрасль приборостроительной промышленности и получают довольно широкое распространение в качестве осциллографов, вольтметров постоянного и переменного тока, частотомеров, нулевых индикаторов, ваттметров, измерителей емкости и индуктивности и др.

Однако пока основное назначение электронных приборов — измерение в цепях повышенной и высокой частоты. В цепях промышленной частоты их применяют преимущественно в качестве осциллографов, вольтметров на напряжения от десятых долей до сотен вольт и частото-

меров. Устройство и работа электронных осциллографов рассмотрены в § 25.

Электронные вольтметры, называемые иногда ламповыми или катодными, включают в себя магнитоэлектрический прибор и электронную схему, состоящую из выпрямителя (детектора) и усилителя, которые могут быть соединены между собой по разнообразным схемам (рис. 37, а и б).

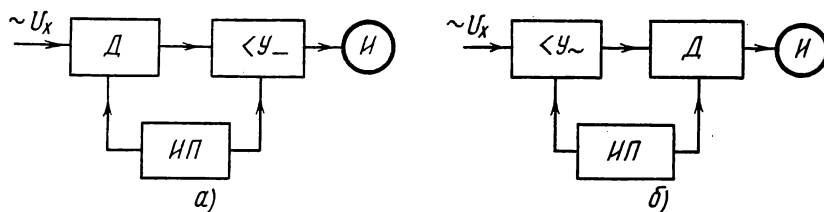


Рис. 37. Структурные схемы электронных вольтметров переменного тока (а и б)

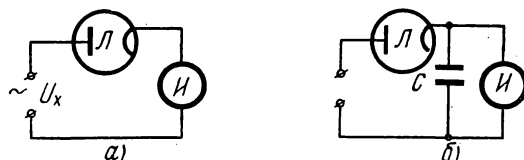


Рис. 38. Схемы ламповых выпрямителей (детекторов):
а — простейшая, б — с шунтирующей емкостью

Схема простейшего лампового детектора показана на рис. 38,а. При включении вакуумного диода L через магнитоэлектрический измерительный механизм I протекает ток только в течение положительной полуволны, и его показания оказываются пропорциональными половине среднего значения измеряемого переменного напряжения U_x . Но если измерительный механизм I зашунтировать емкостью C , свойства цепи (рис. 38,б) изменяются, и показания измерителя будут пропорциональны уже не среднему, а амплитудному значению измеряемого переменного напряжения U_x .

Рассмотрим упрощенные схемы некоторых ламповых вольтметров. На рис. 39 показана схема электронного вольтметра постоянного тока. От источника анодного напряжения (250 В) питается четырехплечий мост, образованный внутренним сопротивлением r_i , усилительной лампой (6Г7) вместе с сопротивлением r_1 и сопротивлениями r_2 , r_3 и r_4 . Магнитоэлектрический механизм I типа М-24 на 500 мкА включен в диагональ моста.

Условием равновесия этого моста будет:

$$r_i + r_1 = \frac{r_2 r_3}{r_4}.$$

Уравновешивание моста (установка на нуль указателя I) достигается перемещением движка регулируемого сопротивления r_4 или, иначе говоря, изменением потенциала сетки усилительной лампы. Поскольку сетка этой лампы через сопротивление r соединена с движком сопротивления r_4 , перемещением последнего можно устанавливать на приборе нуль перед началом измерения. Если после этого к зажимам сопротивления r приложить измеряемое напряжение U_x , то потенциал сетки лампы изменится как раз на величину измеряемого напряжения,

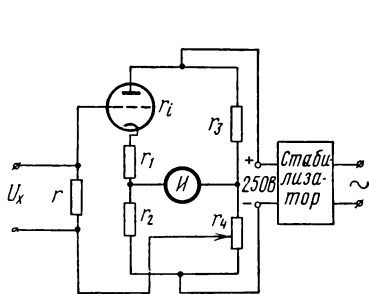


Рис. 39. Принципиальная схема электронного вольтметра постоянного тока

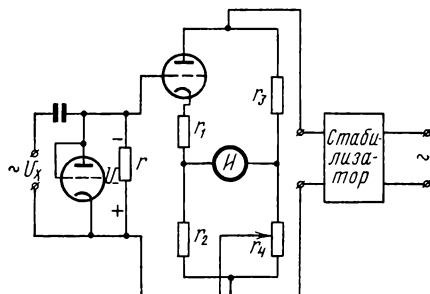


Рис. 40. Упрощенная схема амплитудного вольтметра переменного тока

мост разбалансируется и указатель I даст соответствующее показание. Сопротивление r_1 (200 кОм), включенное последовательно с лампой, способствует получению более равномерной шкалы прибора.

Для того чтобы исключить влияние колебаний напряжения источников питания анодных цепей и накала усилительной лампы общее питание цепи вольтметра производят через стабилизатор напряжения. От степени стабилизации напряжения в значительной мере зависит погрешность прибора.

На базе описанной схемы нашей промышленностью выпускаются амплитудные вольтметры переменного тока, работающие по структурной схеме, показанной на рис. 37, а. Упрощенная схема такого электронного вольтметра показана на рис. 40. Схема состоит из детектора, построенного по схеме рис. 38, а, и вольтметра постоянного тока, работающего по вышеописанной схеме (рис. 39). Такая комбинация позволяет получить вольтметр переменного тока на весьма широкий диапазон частот. Вольтметры аналогового типа выпускают многопредельными (на 1,5; 5; 15; 50 и 150 В) с постоянным входным сопротивлением $r = 50$ МОм на всех пределах (схема переключения пределов на рис. 40 не показана). Основная погрешность таких приборов $\pm 3\%$.

Помимо зависимости показаний прибора от изменений напряжения питания цепей накала и анода, на его точность влияет также недостаточная стабильность параметров самих ламп и других элементов схемы. Поэтому одна лишь стабилизация напряжения источников питания не может обеспечить снижения погрешности ламповых вольтметров, вызванных влиянием различных факторов.

По такому принципу построен современный электронный амплитудный вольтметр переменного тока типа ЛВ9-2, внешний вид и упрощенная схема которого показаны на рис. 41. Этот вольтметр имеет пределы измерения: 10, 30, 100 и 300 мВ; 1, 3, 10, 30, 100 и 300 В и постоянное на всех пределах входное сопротивление порядка 600 МОм. Прибор состоит из трех основных узлов: набора делителей напряжения r и C с

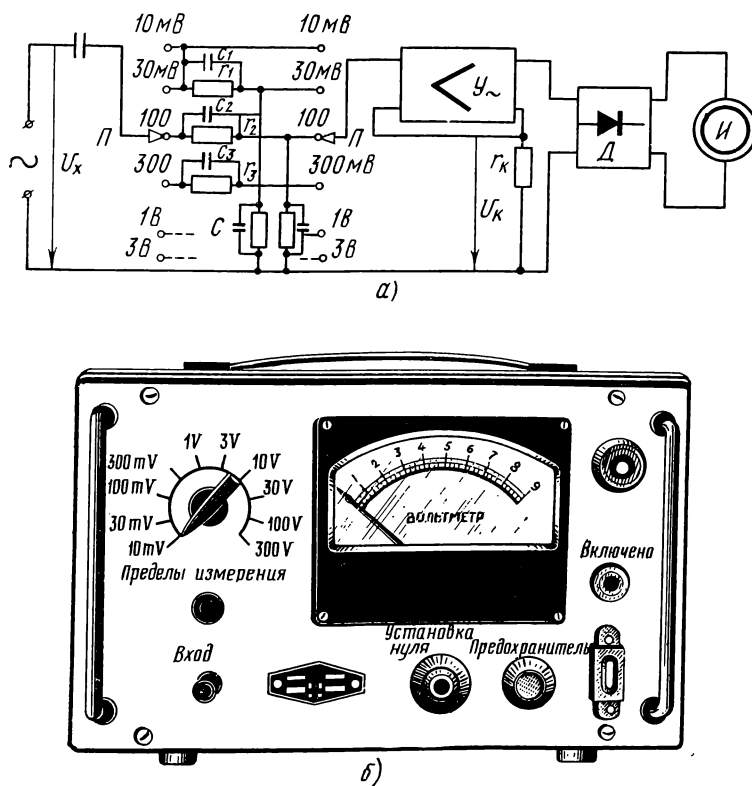


Рис. 41. Электронный вольтметр типа ЛВ9-2:
а — упрощенная схема, б — внешний вид

переключателем Π — Π пределов измерения, усилителя $У$ переменного тока с цепью отрицательной обратной связи и амплитудного детектора $Д$.

Трехламповый усилитель прибора имеет коэффициент усиления около 400 000, что обеспечивает получение на выходе 20 В при напряжении на входе только 0,05 мВ.

По основной погрешности вольтметр типа ЛВ9-2 удовлетворяет требованиям класса 2,5.

Частотная погрешность прибора составляет $\pm 2,5$ в диапазоне частот от 45 Гц до 50 кГц.

§ 11. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИБОРЫ

В приборах этой системы перемещение подвижной части вызывается воздействием магнитного поля неподвижной катушки на сердечник из магнитомягкого ферромагнитного материала, укрепленный на одной оси со стрелкой.

Приборы электромагнитной системы могут быть построены либо с плоской, либо с круглой катушкой.

Неподвижной частью приборов с плоской катушкой (рис. 42) служит катушка 1, намотанная на пластмассовый каркас 2. Сечение про-

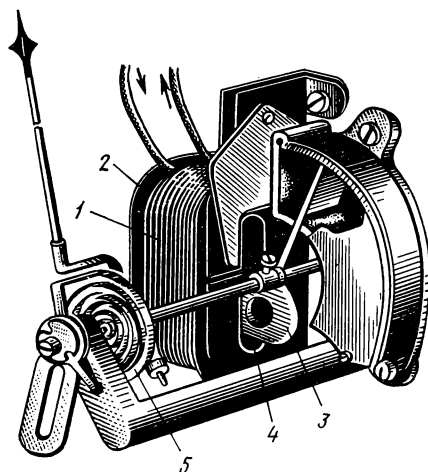


Рис. 42. Устройство электромагнитного измерительного механизма с плоской катушкой:

1 — катушка, 2 — каркас, 3 — сердечник, 4 — окно, 5 — спиральная пружина

да и число витков обмотки зависят от назначения прибора; у амперметров обмотку наматывают малым количеством витков из провода большого (соответственно номинальному току) сечения, у вольтметров — большим количеством витков из тонкой проволоки.

Подвижная часть представляет собой сердечник 3 в виде лепестка из мягкой стали или специального сплава — пермаллоя. Сердечник, эксцентрично насаженный на одну ось со стрелкой, в зависимости от напряженности магнитного поля или, иначе говоря, в зависимости от величины тока, протекающего по обмотке, больше или меньше вытягивается в окно 4 катушки. Следовательно, и подвижная часть отклоняется на тот или иной угол от нулевого положения. Противо-

действующий момент у этих приборов создается спиральной пружиной 5.

В электромагнитном приборе с круглой катушкой (рис. 43) неподвижный 1 и подвижный 2 ферромагнитные элементы, находясь в магнитном поле круглой катушки 3, намагничиваются однозначно и взаимно отталкиваются. Поскольку подвижный элемент насажен на одну ось со стрелкой, то в зависимости от величины тока, протекающего по обмотке катушки, стрелка будет отклоняться на больший или меньший угол. Противодействующий момент, как и в приборах с плоской катушкой, создается спиральной пружиной 4. Успокоители в электромагнитных приборах применяют воздушные и магнитоиндукционные. В конструкции, показанной на рис. 43, успокоитель состоит из нескольких коротких постоянных магнитов 6, отлитых из высококоэрцитивного сплава, и движущегося над ними алюминиевого сектора 5, укрепленного на подвижной части прибора.

Вращающий момент $M_{вр}$, действующий на подвижную часть прибора, связан с током I , протекающим по обмотке катушки, следующей зависимостью:

$$M_{вр} = c I^2,$$

где c — коэффициент, зависящий от числа витков обмотки, материала и формы сердечника и его положения относительно неподвижной катушки. При перемещении подвижной части коэффициент c изменяется.

Противодействующий момент, создаваемый спиральной пружиной, равен:

$$M_{пр} = \alpha W.$$

Подвижная часть прибора под воздействием вращающего момента будет отклоняться до тех пор, пока не сравняются вращающий и противодействующий моменты, т. е. пока не наступит равенство:

$$M_{вр} = M_{пр} \text{ или } c I^2 = \alpha W.$$

Отсюда угол отклонения подвижной части в зависимости от величины тока, протекающего по обмотке, может быть выражен так:

$$\alpha = \frac{c}{W} I^2. \quad (19)$$

Как видно из выражения (19), если бы c было постоянно, то угол отклонения α был бы пропорционален квадрату тока, т. е. шкала этих приборов была бы квадратичной, неудобной для отсчета измеряемой величины. В действительности же значение коэффициента c изменяется по мере перемещения сердечника, и это дает возможность улучшить шкалу электромагнитного прибора. Путем подбора формы и расположения сердечника относительно катушки удастся шкалу электромагнитного прибора сделать относительно равномерной, начиная с $1/5$ ее длины. Но в начале шкалы при малых токах эти приборы все же недостаточно чувствительны, и деления шкалы сильно сжаты. Поэтому начальную часть шкалы электромагнитного прибора считают нерабочей. Например, электромагнитным амперметром на 5 А можно измерять токи от 1 до 5 А. Точно так же вольтметром на 150 В можно измерить напряжения в пределах от 30 до 150 В.

При протекании по катушке переменного тока подвижный сердеч-

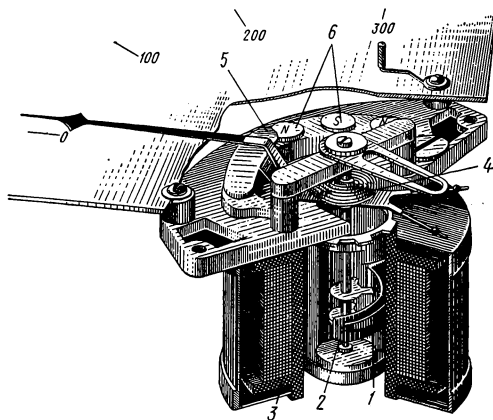


Рис. 43. Устройство электромагнитного измерительного механизма с круглой катушкой:

1, 2 — ферромагнитные элементы, 3 — катушка, 4 — спиральная пружина, 5 — сектор, 6 — постоянные магниты

ник перемещается одновременно с изменением направления магнитного поля, поэтому направление вращающего момента не меняется. Следовательно, приборы этой системы пригодны как для постоянного, так и для переменного токов. Это наглядно подтверждает и формула (19) — изменение знака тока не меняет знака угла отклонения.

Поскольку катушка, по обмотке которой протекает измеряемый ток, неподвижна, обмотку можно выполнять из проволоки относительно большого сечения и, следовательно, изготавливать амперметры этой системы для непосредственного включения на довольно значительные токи. Отечественная промышленность выпускает электромагнитные амперметры для непосредственного включения на токи до 150 А и более.

В этих амперметрах обмотка катушки выполнена в виде одного витка из толстой медной шины. Для измерения токов большей величины электромагнитные амперметры на 5 А включают через специальные устройства — измерительные трансформаторы тока (см. § 44).

Шунты для расширения пределов измерения электромагнитных амперметров не применяют, так как они получают громоздкими.

Вольтметры электромагнитной системы имеют обмотку из тонкой медной проволоки. Для снижения влияния колебаний температуры на сопротивление, а значит, и на показания прибора, последовательно с обмоткой катушки включают добавочное сопротивление из манганина.

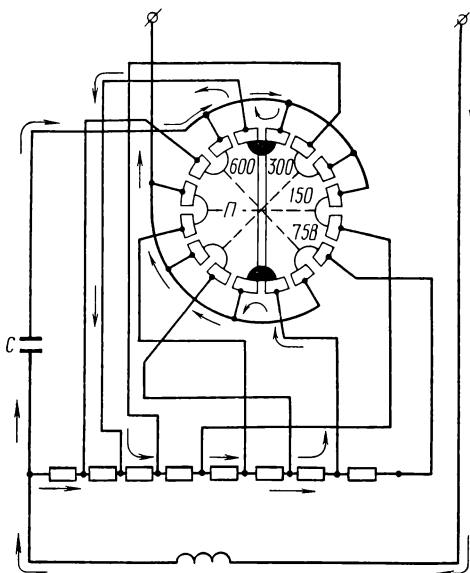


Рис. 44. Схема четырехпредельного переносного вольметра класса 0,5 на 75—150—300—600 В

В настоящее время выпускают вольтметры электромагнитной системы с верхними пределами измерения до 600 В.

В качестве примера на рис. 44 показана схема переносного четырехпредельного электромагнитного вольметра типа Э59, класса 0,5 с пределами измерения 75—150—300—600 В.

Для переключения пределов измерения служит рычажный переключатель П. Ток полного отклонения для всех пределов — 7,5 мА, а полное сопротивление вольметра $r_V = r_K + r_d$ на отдельных пределах соответственно равно: 10, 20, 40 и 80 кОм. Емкость С, подключаемая к участку добавочного сопротивления (соответственно пределу измерения), предназначена для компенсации влияния частоты.

Для измерения напряжений выше 600 В применяют электромагнитные вольтметры на 100 В, включая их через измерительные трансформаторы напряжения (§ 44).

Магнитный поток катушек электромагнитных приборов замыкается по воздуху, собственное магнитное поле этих приборов относительно слабое, поэтому они чувствительны к влиянию внешних магнитных полей. Для уменьшения этого влияния электромагнитные приборы делают либо экранированными (прибор защищают стальным экраном, функции которого в некоторых приборах выполняет металлический корпус), либо астатическими.

В астатических приборах вместо одной катушки с сердечником делают две неподвижные катушки и два стальных сердечника, насаженных на одну ось со стрелкой (рис. 45). Обмотки катушек соединены между собой последовательно и включены в сеть встречно, т. е. магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 обеих катушек противоположно направлены. Поэтому в зависимости от направления внешнего магнитного поля $\Phi_{вн}$ вращающий момент, создаваемый, например, катушкой 2, усилится и ровно настолько же ослабится вращающий момент, создаваемый катушкой 1. Таким образом исключается влияние внешнего поля $\Phi_{вн}$. Астатические приборы сложнее по устройству и, следовательно, дороже обычных электромагнитных приборов. Астатическими делают только переносные лабораторные приборы. Электромагнитные приборы, пригодные, как указывалось выше, и для постоянного, и для переменного токов, получили самое широкое распространение в качестве щитовых и переносных амперметров и вольтметров классов 0,5; 1 и 1,5.

Одним из серьезных достоинств этих приборов является большая перегрузочная способность: электромагнитные приборы специальных типов допускают стократную кратковременную перегрузку. Амперметры можно изготовлять с большим верхним пределом измерения для непосредственного включения.

Электромагнитные приборы просты по конструкции и поэтому дешевы.

Главными недостатками электромагнитных приборов являются: неравномерность шкалы и сравнительно низкая чувствительность, невысокая точность, относительно большое собственное потребление, достигающее 2 Вт у амперметров на токи до 10 А и 3—20 Вт у вольтметров в зависимости от предела измерения и конструкций измерительного механизма.

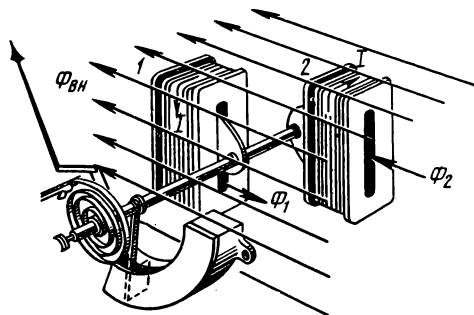


Рис. 45. Схема устройства астатического электромагнитного измерительного механизма:

1, 2 — катушки

§ 12. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИБОРЫ

Приборы этой системы основаны на взаимодействии двух проводников, по которым протекают токи. Известно, что при различном направлении токов два проводника отталкиваются, а при одинаковом направлении притягиваются. Соответственно этому электродинамические приборы состоят из неподвижной 1 и подвижной 2 катушек (рис. 46.). Подвижная катушка 2 с большим числом витков тонкой проволоки

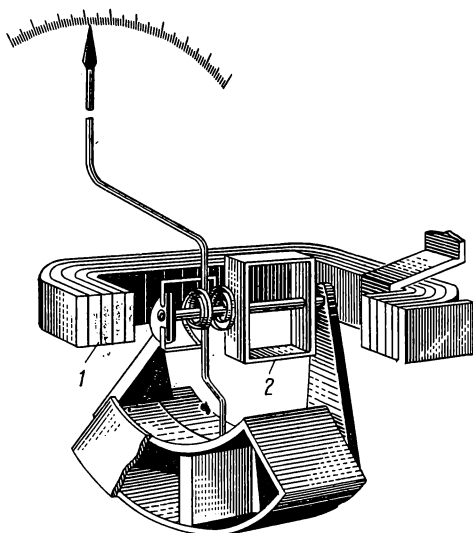


Рис. 46. Устройство электродинамического измерительного механизма:

1, 2 — катушки

расположена вокруг или внутри неподвижной катушки. На оси подвижной катушки имеется стрелка.

В приборах этой системы, как правило, применяют воздушные успокоители. Как и во всех приборах, их подвижную часть балансируют при помощи грузиков. Для установки подвижной части в нулевое положение в этих приборах применяют обычный корректор; грузики и корректор на рисунке не показаны.

При протекании токов по неподвижной и подвижной катушкам последняя будет вращиваться относительно неподвижной, стремясь стать так, чтобы направление ее магнитного поля совпало с направлением поля неподвижной катушки. Вращающий

момент, действующий на подвижную катушку, может быть записан в таком виде:

$$M_{вр} = c I_n I_p, \quad (20)$$

где c — коэффициент, зависящий от числа витков обмоток, от размеров и формы катушек и от их взаимного положения; I_n — ток, протекающий по неподвижной катушке; I_p — ток, протекающий по подвижной катушке.

Противодействующий момент, создаваемый двумя спиральными пружинами, через которые и подводится ток к подвижной катушке, может быть выражен, как и ранее:

$$M_{пр} = \alpha W.$$

Подвижная катушка будет поворачиваться до тех пор, пока не сравняются вращающий и противодействующий моменты, т. е. пока не наступит равенство:

$$M_{вр} = M_{пр} \quad \text{или} \quad c I_n I_p = \alpha W,$$

отсюда угол поворота подвижной катушки получает следующее выражение:

$$\alpha = \frac{c}{W} I_H I_H. \quad (21)$$

Как видно из этого выражения, угол отклонения подвижной катушки зависит от произведения токов, протекающих по неподвижной и подвижной катушкам.

В зависимости от схемы включения электродинамические приборы могут быть использованы в качестве амперметров, вольтметров, ваттметров и др.

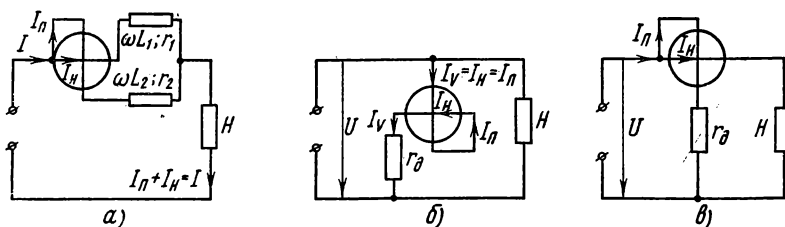


Рис. 47. Схема включения электродинамических приборов:
а — амперметра, б — вольтметра, в — ваттметра

Амперметры. На рис. 47,а показана характерная схема электродинамического амперметра. Обмотки подвижной и неподвижной катушек соединены между собой параллельно и включены в цепь последовательно. Подвижная катушка из тонкой проволоки и с большим числом витков изображается на схеме тонкой линией, а неподвижная катушка, намотанная более толстым проводом и имеющая мало витков, — толстой линией.

Если ток в цепи, в которую включен электродинамический прибор, равен I , а ток неподвижной катушки составляет какую-то часть от измеряемого тока, т. е. $I_H = k_1 I$, то ток подвижной катушки равен оставшейся части этого тока: $I_H = k_2 I$; на основании равенства (21) можем написать:

$$\alpha = \frac{c}{W} k_1 k_2 I^2 = k I^2, \quad (22)$$

$$\text{где } k = \frac{c}{W} k_1 k_2.$$

Как видно, угол отклонения подвижной части пропорционален квадрату измеряемого тока, т. е. шкала электродинамического прибора квадратична. Так будет, если чувствительность амперметра остается величиной постоянной. На самом же деле путем подбора формы неподвижной и подвижной катушек, их взаимного начального расположения получают почти прямолинейную зависимость угла отклонения

от величины измеряемого тока. Этого не удастся добиться только в самом начале шкалы. Поэтому рабочая часть шкалы у амперметров этой системы начинается с 20% от верхнего предела измерения.

При включении электродинамического амперметра в цепь переменного тока необходимо, чтобы токи в неподвижной и подвижной катушках совпадали по фазе. Это достигается включением в цепи подвижной и неподвижной катушек индуктивных и активных сопротивлений ωL_1 ; r_1 ; ωL_2 и r_2 , показанных на рис. 47,а.

Для снижения погрешностей, возникающих от влияния температуры и частоты, применяют и другие схемы, представляющие собой различные комбинации активных и реактивных (индуктивных или емкостных) сопротивлений.

Электродинамические амперметры часто выполняют двухпредельными. Это достигается различным соединением секций неподвижной катушки, а также неподвижной и подвижной катушек между собой.

В миллиамперметрах на токи до 500 мА обе катушки соединяют между собой последовательно, и весь измеряемый ток протекает через каждую из них.

Для расширения пределов измерения электродинамических амперметров шунты не применяют из-за их громоздкости и большого потребления ими энергии.

Вольтметры. На рис. 47,б приведена обычная схема включения электродинамического вольтметра. Обмотки неподвижной и подвижной катушек соединены между собой последовательно и включены параллельно в сеть с напряжением U . Через обмотки катушек протекает один и тот же ток, равный измеряемому напряжению U , деленному на сумму сопротивлений $r_n + r_n + r_d$, т. е.

$$I_n = I_n = I_v = \frac{U}{r_n + r_n + r_d}.$$

На основании равенства (22) угол отклонения подвижной катушки в этом случае будет:

$$\alpha = k \frac{U^2}{(r_n + r_n + r_d)^2}, \quad (23)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

В электродинамических вольтметрах сопротивление прибора r_v складывается из сопротивления обмоток неподвижной и подвижной катушек, выполненных из медной проволоки малого сечения, и добавочного сопротивления из константана или манганина, помещенного внутри корпуса вольтметра. Для уменьшения зависимости показаний от температуры, как и в вольтметрах других систем, добавочное сопротивление должно в 4—5 раз превышать сопротивление самой обмотки.

Ваттметры. На рис. 47,в показана принципиальная схема включения ваттметра электродинамической системы. Обмотка неподвижной катушки включена в цепь нагрузки последовательно, а обмотка подвижной катушки — параллельно. На основании вышеприведенных

рассуждений об амперметре и вольтметре можно составить выражение угла установившегося отклонения подвижной катушки при включении ваттметра в цепь постоянного тока:

$$\alpha = \frac{c}{W} I_n I_n = \frac{c}{W} I_n \frac{U}{r_n + r_d} = S_W I U = S_W P, \quad (24)$$

где $I_n = \frac{U}{r_n + r_d}$ — ток, протекающий по обмотке подвижной катушки, А;
 $S_W = \frac{c}{W} \cdot \frac{I}{r_n + r_d}$ — чувствительность ваттметра.

Из выражения (24) видно, что у электродинамического прибора, включенного по схеме рис. 47, в цепь постоянного тока, угол отклонения пропорционален мощности, и шкала ваттметра будет равномерной.

Если прибор включить в цепь переменного тока, то угол отклонения подвижной катушки будет определяться активной мощностью тока, равной произведению действующих значений напряжения и тока на коэффициент мощности ($\cos \varphi$) цепи. Угол отклонения тогда будет выражаться формулой

$$\alpha = S_W I U \cos \varphi = S_W P. \quad (25)$$

Следовательно, и в цепи переменного тока показание электродинамического ваттметра пропорционально измеряемой мощности. Однако последнее справедливо только в том случае, когда ток в цепи подвижной катушки совпадает по фазе с напряжением, приложенным к ней. Приблизительно это условие обеспечивают включением последовательно с подвижной катушкой большого безреактивного добавочного сопротивления, по сравнению с которым индуктивное сопротивление катушки весьма мало. В лабораторных ваттметрах для достижения безреактивности цепи напряжения применяют и специальные схемы с конденсаторами.

Электродинамические ваттметры лабораторного типа одинаково работают как в цепи постоянного, так и в цепи переменного тока. Обычно их изготовляют многопредельными и с условной шкалой. Поэтому при пользовании электродинамическим ваттметром почти всегда приходится определять его постоянную

$$C_W = \frac{I_n U_n}{N_W}, \quad (26)$$

где U_n — номинальное напряжение, указанное на шкале прибора; I_n — номинальный ток, на который рассчитана обмотка неподвижной катушки; N_W — число делений шкалы ваттметра.

Пусть, например, обмотка подвижной катушки включена в сеть через добавочное сопротивление, рассчитанное на 150 В; обмотка неподвижной катушки рассчитана на 5 А; шкала прибора имеет 150 делений (над последним делением стоит цифра 150); при включении цепи стрелка прибора отклонилась на угол α , равный 123 делениям. Какова мощность в указанной цепи? Для ответа на по-

ставленный вопрос нужно предварительно определить цену деления данного ваттметра:

$$C_W = \frac{U_n I_n}{N_W} = \frac{150 \cdot 5}{150} = 5 \text{ Вт/дел.}$$

Мощность в цепи, показанная ваттметром, будет:

$$P_W = C_W \alpha = 5 \cdot 123 = 615 \text{ Вт.}$$

Необходимо иметь в виду, что ваттметр — полярный прибор не только в цепи постоянного, но и в цепи переменного тока, т. е. направление отклонения подвижной части зависит от относительного направления токов в катушках. Для обеспечения правильности включения в электродинамическом ваттметре генераторные (начальные) зажимы обмоток обозначены специальным значком (*) — звездочкой.

При неправильном включении ваттметра его стрелка будет отклоняться в обратную сторону, вернее упираться в левый ограничитель.

Неподвижная катушка ваттметра состоит, как правило, из двух отдельных секций, что позволяет получить два предела измерения по току, например 2,5/5 А или 5/10 А. Изменение пределов измерения достигается переключением двух половинок неподвижной катушки с последовательного на параллельное соединение.

Если обмотку неподвижной катушки ваттметра выполнить не из двух секций, а из четырех, то соответственно можно получить три предела измерения по току, относящиеся между собой как 1 : 2 : 4, соединя для этого все секции последовательно или все секции параллельно.

В электродинамических приборах, как и в электромагнитных, магнитный поток замыкается через воздух, поэтому приборы этой системы, если не принять специальных мер, очень чувствительны к внешним магнитным полям. Чтобы исключить влияние внешних полей, электродинамические приборы, как и приборы электромагнитной системы, делают с экраном или астатическими. Схема устройства астатического электродинамического прибора приведена на рис. 48.

По сравнению с электромагнитными приборами электродинамические приборы имеют следующие преимущества: они пригодны как для постоянного, так и для переменного тока, обладают относительно высокой точностью, имеют достаточно равномерную шкалу (в рабочей части) у амперметров и вольтметров и почти равномерную шкалу у ваттметров.

Наряду с положительными свойствами у электродинамических приборов есть и недостатки. Они подвержены влияниям внешних магнитных полей и частоты; для защиты от этих влияний требуются дополнительные средства, усложняющие приборы. Электродинамические приборы имеют относительно большое собственное потребление энергии и сравнительно дороги.

Будучи самыми точными из всех измерительных приборов переменного тока, электродинамические приборы используются главным образом в качестве переносных амперметров, вольтметров, миллиамперметров, ваттметров переменного тока, счетчиков электрической

энергии постоянного тока, фазометров, фарадметров и частотомеров.

Ферродинамические приборы. Разновидностью электродинамических приборов являются ферродинамические, в которых обмотки неподвижной катушки для усиления магнитного поля заключены в магнитопровод, набранный из листов электротехнической стали, а подвижная катушка поворачивается вокруг неподвижного сердечника.

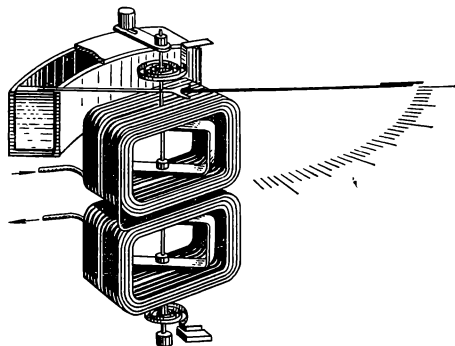


Рис. 48. Схема устройства аstaticкого электродинамического измерительного механизма

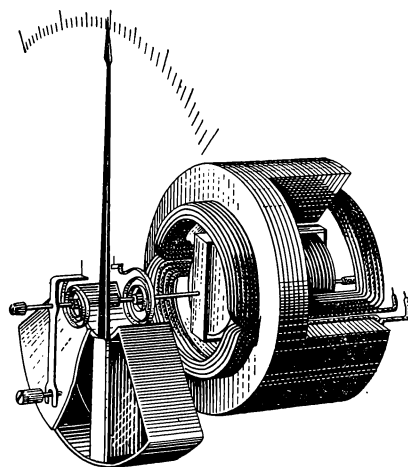


Рис. 49. Схема устройства ферродинамического измерительного механизма

Схема устройства ферродинамического прибора показана на рис. 49. Особенность этих приборов — малая чувствительность к внешним магнитным полям и большой вращающий момент. Благодаря последнему свойству эти приборы широко применяют в качестве самопишущих, в которых требуется значительный момент на преодоление трения пера о бумагу. Показания ферродинамических приборов существенно зависят от частоты.

§ 13. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЛОГОМЕТРЫ

В электродинамических логометрах (рис. 50) происходит взаимодействие токов подвижных катушек не с полем постоянного магнита, а с полем неподвижной катушки. В логометрах этих систем подвижная часть состоит из двух рамок, жестко скрепленных между собой под определенным углом и насаженных на одну ось со стрелкой. При протекании по подвижным Π и неподвижной H катушкам токов получают два противоположно направленных вращающих момента, поворачивающих подвижную часть до их уравнивания. Установившееся отклонение, как и в магнитоэлектрических логометрах, определяется отношением токов подвижных катушек. Если эти приборы работают на переменном токе, то на величину вращающих моментов, действующих

на подвижную часть, влияет не только отношение токов в подвижных катушках, но и отношение сдвигов фаз между этими токами и током неподвижной катушки.

Иначе говоря, в электродинамических и ферродинамических логометрах угол установившегося отклонения зависит от отношения токов подвижных катушек I_1 и I_2 и фаз этих токов относительно тока неподвижной катушки I_H .

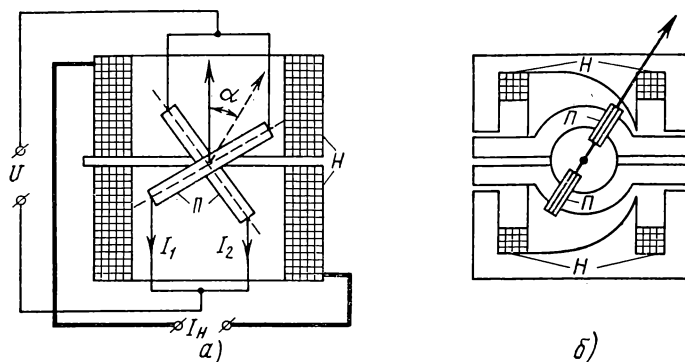


Рис. 50. Схема устройства электродинамического (а) и ферродинамического (б) логометров

Если обеспечить равенство токов I_1 и I_2 рамок логометра, то угол установившегося отклонения α будет определяться отношением сдвига фаз между I_1 и I_H , а также между I_2 и I_H .

Логометры электродинамической и ферродинамической систем находят широкое распространение в качестве щитовых, переносных и регистрирующих фазометров, фарадметров, частотомеров и других приборов.

§ 14. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИБОРЫ

Измерительные механизмы этих приборов основаны на принципе взаимодействия электрически заряженных проводников: одноименно заряженные проводники отталкиваются, разноименные — притягиваются. Отклонение подвижной части этих приборов связано с изменением емкости системы.

Электростатические механизмы могут быть двух типов: с изменяющимся расстоянием между электродами и с изменяющейся активной площадью электродов.

На рис. 51,а показана схема устройства электростатических приборов с изменяющимся расстоянием между электродами. Если одну из неподвижных пластин 1 (правую) зарядить положительно, а другую неподвижную пластину 2 (левую), электрически соединенную с подвижной пластиной 3, — отрицательно, то подвижная пластина 3,

подвешенная на тонких бронзовых ленточках 2, будет притягиваться правой и отталкиваться левой неподвижными пластинами 1. При помощи тяги 4, проходящей через отверстие в левой неподвижной пластине 1, и проволочной рамки 5 подвижная пластина, перемещаясь вправо, поворачивает ось 6 со стрелкой 7 слева направо на угол, соответствующий измеряемому напряжению.

На рис. 51,б показана схема устройства электростатического прибора с изменяющейся активной площадью электродов. Неподвижная

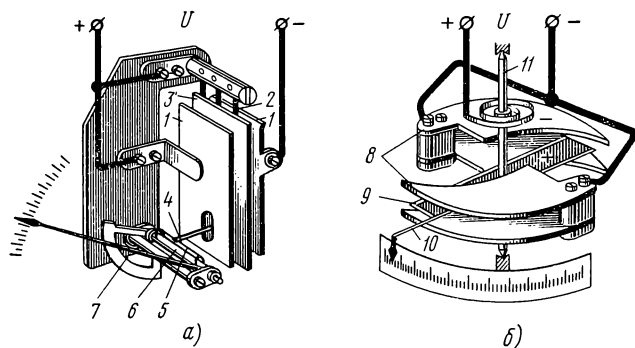


Рис. 51. Электростатические вольтметры:

а — с переменным расстоянием между электродами, б — с переменной площадью электродов; 1 и 3 — пластины, 2 — бронзовые ленточки, 4 — тяга, 5 — рамка, 6 и 11 — оси, 7 и 10 — стрелки, 8 — камеры, 9 — алюминиевые пластины

часть этих приборов состоит из двух или большего числа камер 8, имеющих сложную геометрическую форму; подвижная часть выполнена из одной или нескольких (соответственно количеству камер) алюминиевых пластин 9, закрепленных либо на оси 11, либо на подвесе. На оси имеется стрелка (или зеркало) 10, дающая возможность отсчитывать по шкале угол отклонения подвижной части, зависящий от напряжения, поданного на пластины. Шкала может быть проградуирована непосредственно в вольтах. Как это следует из самого принципа действия, электростатические приборы пригодны для измерения только напряжения — постоянного и переменного.

Выбором форм камер и подвижных пластин, а также их взаимного расположения удается получить у электростатических вольтметров достаточно равномерную шкалу, кроме начальной ее части.

Отличительное свойство и главное преимущество электростатических вольтметров — ничтожное собственное потребление в цепях переменного тока и отсутствие потребления в цепях постоянного тока. Эта особенность обеспечивает возможность измерять электростатическим вольтметром напряжения в цепях малой мощности. Приборы этой системы не чувствительны (в определенных пределах) к колебаниям частоты, а также к внешним магнитным полям и температуре. Для исключения влияния внешних электрических полей в этих приборах используют электростатическое экранирование.

Пределы измерения электростатических вольтметров могут быть расширены последовательным подключением конденсаторов или при помощи специальных емкостных и проволочных делителей напряжения.

Электростатические вольтметры применяют для измерения в цепях с маломощными источниками и при лабораторных исследованиях в цепях высокого напряжения.

§ 15. ИНДУКЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИБОРЫ

В приборах этой системы для перемещения подвижной части используют явление взаимодействия нескольких переменных потоков с токами, наведенными ими в подвижной части. Соответственно принципу действия индукционные приборы применяются лишь в цепях переменного тока промышленной частоты.

Возможности этих приборов весьма разнообразны: они могут служить в качестве амперметров, вольтметров, ваттметров, фазометров и других, но в настоящее время они распространены почти исключительно как счетчики электрической энергии.

Современные индукционные счетчики бывают обычно трехпоточными, т. е. подвижную часть счетчика, выполненную в виде алюминиевого диска, пересекают три переменных потока. Взаимодействие переменных магнитных потоков с наведенными в диске токами создает вращающий момент, действующий на диск и приводящий его во вращение. Магнитная система таких счетчиков состоит из двух сердечников сложной формы, набран-

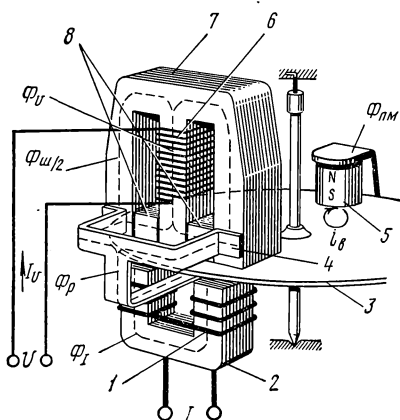


Рис. 52. Схема устройства магнитопроводов:

1 — обмотка, 2, 7 — магнитопроводы, 3 — диск, 4 — противоположный, 5 — постоянный магнит, 6 — обмотка напряжения, 8 — вставные вкладыши

ных из тонких пластин электротехнической стали. На сердечники насажены обмотки. Одна из обмоток (токовая) выполнена из провода относительно большого сечения, соответствующего номинальному току счетчика; она имеет мало витков и включается в сеть последовательно. Другая обмотка — обмотка напряжения — состоит из 8—12 тыс. витков тонкой проволоки $\varnothing 0,08$ — $0,12$ мм и включается в сеть параллельно.

В зависимости от конструктивного оформления и взаимного расположения сердечников (магнитопроводов) счетчики изготовляют по разным схемам. На рис. 52 показано устройство одного из магнитопроводов, а на рис. 53 дана общая схема устройства индукционного счетчика электрической энергии.

Магнитопровод 7 (см. рис. 52) обмотки напряжения 6 имеет Т-образную форму со вставными вкладышами 8 между концами его стержней. Сбоку к нему прикреплен противоположный 4.

При включении обмотки напряжения 6, насаженной на средний сердечник Т-образного магнитопровода, в сеть, по ней течет ток I_U , величина которого определяется напряжением сети U и сопротивлением обмотки 2. Этот ток вызывает в магнитопроводе магнитный поток Φ_U , разделяемый на две части: рабочий поток Φ_p и поток $\Phi_{ш}$. Рабочий поток Φ_p пронизывает подвижный алюминиевый диск 3, возвращаясь обратно в магнитопровод по противоположному 4. Поток $\Phi_{ш}$ замыкается,

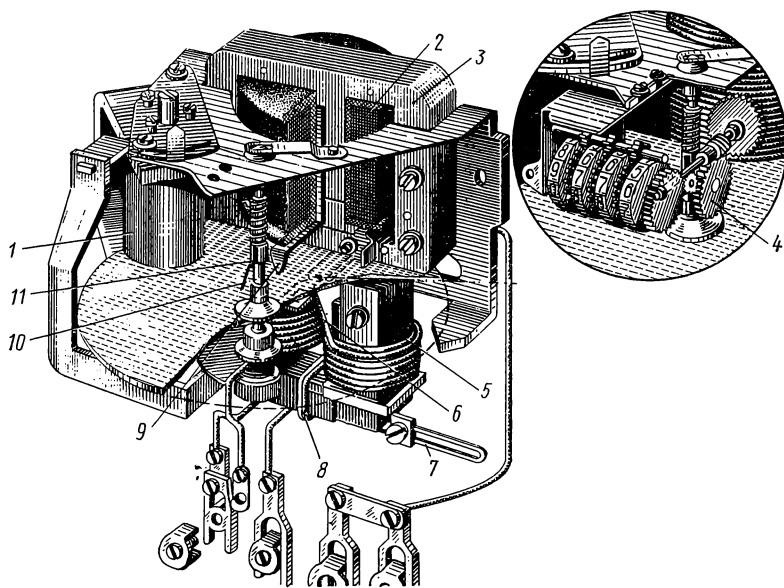


Рис. 53. Устройство счетчика электрической энергии:

1 — постоянный магнит, 2 — обмотка напряжения, 3 — сердечник, 4, 11 — зубчатые передачи, 5 — магнитопровод, 6 — противоположный, 7, 8 — витки, 9 — намагниченная пластина, 10 — крючок

минуя диск, через вкладыши между стержнями магнитопровода. Величина потока Φ_p определяет величину вращающего момента, действующего на диск 3, а поток $\Phi_{ш}$ влияет на сдвиг по фазе между потоком Φ_p и напряжением сети U .

Магнитопровод 2 токовой обмотки имеет U-образную форму. Магнитный поток Φ_I , создаваемый обмоткой 1 при протекании по ней тока нагрузки I , дважды пересекает диск 3, замыкаясь через нижние детали магнитопровода обмотки напряжения.

Магнитные потоки Φ_p и Φ_I , пронизывая диск, индуцируют в нем токи. Взаимодействие переменных магнитных потоков Φ_p и Φ_I с индуцированными ими переменными токами создает вращающий момент, действующий на диск 3.

Можно показать, что величина этого вращающего момента при известных условиях определяется величиной напряжения U , под ко-

торым находится обмотка 6, величиной тока I , протекающего по обмотке I , и коэффициентом мощности $\cos \varphi$ цепи, в которую включен прибор, т. е.

$$M_{\text{вр}} = k U I \cos \varphi, \quad (27)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Иначе говоря, при определенных условиях вращающий момент, действующий на подвижную часть индукционного счетчика, пропорционален мощности сети, в которую он включен.

Под воздействием вращающего момента $M_{\text{вр}}$ диск вращается. Тормозной момент $M_{\text{т}}$ создается не механическим путем, как у описанных ранее приборов, а с помощью постоянного магнита 5, поле которого пересекается подвижным диском 3. При этом в толще диска индуцируются токи, которые, взаимодействуя с полем постоянного магнита, стремятся затормозить диск. Величина тормозного момента зависит от расположения постоянного магнита 5 (см. рис. 53) относительно подвижного диска и скорости вращения последнего.

Как уже говорилось выше, вращающий момент будет пропорционален мощности, если угол между потоками Φ_p и Φ_i будет строго определенным. Это условие достигается конструкцией магнитопровода обмотки напряжения — сердечника 3.

Кроме того, для регулирования указанного угла на сердечник наматывают короткозамкнутые витки 8 (для грубой подгонки) и несколько витков 7, замкнутых на сопротивление, выполненное в виде петли с перемещающимся контактом (для плавной регулировки). Установившаяся скорость вращения диска наступает при равенстве вращающего и тормозного моментов. Она пропорциональна мощности P цепи, в которую включен счетчик. С осью диска червячной и зубчатой передачами 4 и 11 (см. рис. 53) связан вал счетного механизма (на схеме он показан в отдельном кружочке в верхнем углу).

Число оборотов вала счетного механизма в единицу времени зависит от мощности цепи, в которую включен счетчик, и от передаточного числа счетного механизма. Число оборотов диска, соответствующее единице учтенной счетным механизмом энергии, называют передаточным числом счетчика и обозначают буквой K . Передаточное число выражается числом оборотов диска, приходящихся на 1 кВт·ч.

Величина, обратная передаточному числу счетчика, называется номинальной постоянной счетчика и соответствует энергии, показанной счетным механизмом, которая приходится на один оборот диска. Выражается постоянная счетчика в джоулях на один оборот.

На щитке счетчика обычно указывают номинальное напряжение, ток и передаточное число.

По передаточному числу счетчика легко определить его номинальную постоянную:

$$C_n = \frac{1000 \cdot 3600}{K}$$

Энергия, потребленная из сети за время t , в течение которого диск счетчика сделал N_t оборотов, будет равна;

$$A_t = Pt = \frac{1}{K} N_t,$$

где A_t — электрическая энергия, потребляемая из сети за время t ; P — мощность сети, в которую включен счетчик; t — время, за которое диск счетчика сделал N_t оборотов; N_t — число оборотов диска счетчика за время t ; K — передаточное число счетчика.

Счетчик будет правильно учитывать энергию только при выполнении вышеприведенных условий, а также при отсутствии трения, при прямой пропорциональности между токами I и I_U и магнитными потоками Φ_I и Φ_U и при зависимости тормозного момента только от поля постоянного магнита. В процессе эксплуатации перечисленные условия выполняются весьма приближенно. В результате этого действительная постоянная счетчика $C_d = \frac{Pt}{A_t}$ не равна номинальной постоянной, и показание счетчика отличается от действительно потребленной энергии. Относительная погрешность счетчика определяется по следующей формуле:

$$\gamma \% = \frac{A_c - A_n}{A_n} \cdot 100 = \frac{C_n - C_d}{C_d} \cdot 100,$$

где A_c — показание счетчика; A_n — энергия, действительно потребленная; C_n — номинальная постоянная счетчика; C_d — действительная постоянная счетчика.

Если действительная постоянная счетчика больше номинальной, счетчик дает заниженные показания — недоучитывает; если действительная постоянная счетчика меньше номинальной, счетчик дает завышенные показания.

В зависимости от величины допустимой погрешности ГОСТ 6570—60 разделяет счетчики электрической энергии на три класса точности: 1; 2 и 2,5. Цифры, обозначающие соответствующий класс точности, указывают значение допустимой относительной погрешности счетчика при его номинальной нагрузке.

Погрешность счетчика изменяется с изменением нагрузки цепи. При малых нагрузках трение в подшипниках, счетном механизме и диска о воздух, а также меньшая магнитная проницаемость сердечника (по сравнению с проницаемостью при больших нагрузках) приводят к значительной отрицательной погрешности. Для компенсации момента трения в счетчиках создается дополнительный момент, действующий на диск, так называемый компенсационный момент. Создание компенсационного момента достигается различными конструктивными путями: короткозамкнутыми витками, охватывающими выступающую часть магнитопровода (в счетчиках СО-1); винтом, ввинчиваемым в противоположус (счетчик СО), или поводком, перемещающимся относительно сердечника (счетчик СО-2). Во всех этих случаях появляется дополнительный компенсационный момент.

Краткая характеристика показывающих электроизмерительных приборов

Принцип действия	Род тока	Назначение	Эксплуатационные особенности
Магнитоэлектрические с подвижной рамкой	Постоянный	Гальванометры, миллиамперметры, милливольтметры, омметры, мегомметры, регистрирующие приборы	Самые чувствительные и самые точные приборы постоянного тока; шкала равномерная; малочувствительны к внешним магнитным полям; собственное потребление мало
Магнитоэлектрические с подвижным магнитом	Постоянный	Приборы авиа- и авто-тракторного электрооборудования	—
Электромагнитные	Постоянный и переменный	Щитовые амперметры и вольтметры, фазометры, частотомеры, переносные амперметры, вольтметры, фазометры, синхроскопы	Шкалы амперметров и вольтметров неравномерные; относительно низкая чувствительность; рабочая часть шкалы начинается от 20%. Самые прочные и дешевые приборы
Электродинамические (без стали)	Постоянный и переменный	Миллиамперметры, амперметры и вольтметры, переносные и лабораторные, ваттметры, фазометры переменного тока, счетчики электрической энергии в цепях постоянного тока	Самые точные из приборов переменного тока; шкала амперметров и вольтметров неравномерная; рабочая часть шкалы этих приборов начинается от 20%; собственное потребление значительно; чувствительны к влиянию внешних магнитных полей
Ферродинамические (электродинамические со сталью)	Переменный	Регистрирующие амперметры, вольтметры и ваттметры	Относительно низкая точность; обладают большим вращающим моментом, чувствительны к колебаниям частоты, не чувствительны к влиянию внешних магнитных полей
Индукционные	Переменный	Счетчики электрической энергии	Обладают большим вращающим моментом; чувствительны к колебаниям частоты. Относительно низкая точность
Термоэлектрические	Постоянный и переменный	Миллиамперметры, амперметры, ваттметры в цепях переменного тока повышенной и высокой частоты	Нечувствительны к колебаниям частоты; низкая точность; малая перегрузочная способность
Выпрямительные	Переменный	Миллиамперметры, амперметры, вольтметры и частотомеры в цепях повышенной (до 10 кГц) частоты; универсальные многопредельные приборы	Обладают высокой чувствительностью; чувствительны к форме кривой напряжения; требуют специальных схем температурной и частотной компенсации; низкая точность

Принцип действия	Род тока	Назначение	Эксплуатационные особенности
Электронные	Переменный и постоянный	Вольтметры и частотомеры в цепях повышенной и высокой частоты, осциллографы, омметры и другие специальные приборы	Относительно низкая точность — не выше класса 2,5; большое входное сопротивление и очень малое собственное потребление; сложные по конструкции и дороги
Электростатические	Переменный и постоянный	Вольтметры и киловольтметры	Большое входное сопротивление; внутреннее сопротивление постоянному току равно бесконечности; относительно дороги

В счетчике, схема которого показана на рис. 53, компенсационный момент создается с помощью поводка. Пока этот поводок расположен симметрично сердечнику, ответвляющийся в него поток не создает дополнительного момента. Смещение поводка приводит к появлению дополнительного компенсационного момента.

При значениях компенсационного момента, больших момента трения, в счетчике появляется так называемый самоход, т. е. диск счетчика вращается при разомкнутой цепи нагрузки под действием только приложенного напряжения. Для устранения самохода на оси диска укрепляют стальной крючок 10, притягивающийся намагниченной пластинкой 9. Пластика укреплена на сердечнике под обмоткой напряжения и намагничена потоком рассеяния обмотки. Компенсационный момент и противосамоходное устройство счетчика должны быть отрегулированы так, чтобы счетчик обладал необходимой чувствительностью. Под чувствительностью счетчика понимают отношение минимального тока, при котором диск начинает устойчиво вращаться, к номинальному току, т. е.

$$S_c = \frac{I_{\min}}{I_n} \cdot 100. \quad (28)$$

По ГОСТ 6570—60 чувствительность не должна быть меньше 0,5—1% в зависимости от класса точности.

Индукционные счетчики электрической энергии изготовляют однофазными и трехфазными как для непосредственного включения в сеть низкого напряжения, так и для включения их через измерительные трансформаторы, а также для учета активной и реактивной энергии в цепях переменного тока.

Основными преимуществами приборов индукционной системы являются: сильное собственное магнитное поле, нечувствительность к внешним магнитным полям и относительно большой вращающий момент. К их недостаткам относятся: пригодность только для переменного тока; сравнительно низкая точность (не выше класса 1); чувствитель-

ность к колебаниям напряжения, температуры и частоты; большая масса; относительная сложность конструкции; значительное собственное потребление.

Область применения, краткая техническая характеристика наиболее распространенных систем показывающих электроизмерительных приборов сведены в табл. 8.

Контрольные вопросы

1. Опишите устройство и принцип работы магнитоэлектрического прибора с подвижной рамкой и с подвижным магнитом. Дайте им характеристику.
2. Где применяются магнитоэлектрические приборы?
3. Что такое логометры? Как они работают и в каких приборах применяются?
4. Для чего служит гальванометр? Как он устроен и для каких целей предназначается?
5. Как можно использовать магнитоэлектрический прибор для измерения на переменном токе? Какие преобразователи для этого нужны?
6. Как устроены электромагнитные приборы? Где они применяются? Каковы их достоинства и недостатки?
7. Охарактеризуйте электродинамические и ферродинамические приборы. Опишите область их применения.
8. В чем состоят особенности устройства и работы электростатических приборов?
9. Как работают индукционные механизмы? В каких приборах они применяются?
10. Дайте сравнительную характеристику всех изученных вами электроизмерительных механизмов и приборов.

Глава III ПРИБОРЫ СРАВНЕНИЯ

§ 16. ОДИНАРНЫЕ МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На рис. 54 показана принципиальная схема одинарного (четырёх-плечего) моста постоянного тока. Четыре сопротивления r_1 , r_2 , r_3 , r_x , соединенные в замкнутый четырехугольник, являются плечами моста. Одно из этих сопротивлений r_x — измеряемое. Из остальных трех известных сопротивлений, по крайней мере, одно регулируемое.

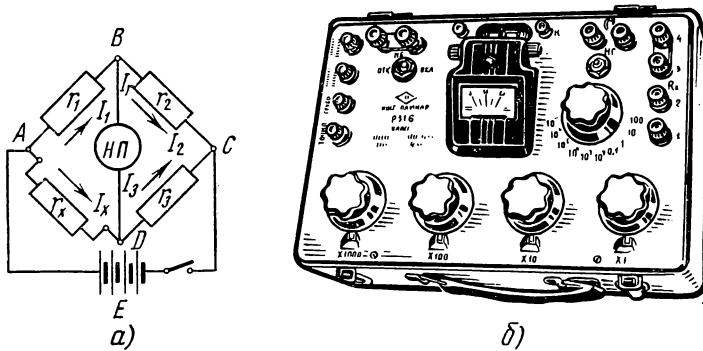


Рис. 54. Одинарный мост постоянного тока:
а — принципиальная схема, б — внешний вид

В диагональ BD включен нулевой указатель $НП$ (гальванометр), а к диагонали AC подведено питание от источника E . Если нулевой указатель обладает конечным сопротивлением r_r , то ток I_r в его диагонали BD может быть равен нулю только при условии: $U_{AB} = U_{AD}$ и $U_{BC} = U_{DC}$ или, если выразить падение напряжения через соответствующие токи и сопротивления, то ток I_r будет равен нулю при условии: $I_1 r_1 = I_x r_x$ и $I_2 r_2 = I_3 r_3$. Поскольку при $I_r = 0$ $I_1 = I_2$ и $I_x = I_3$, последнее выражение примет вид: $I_1 r_1 = I_3 r_x$ и $I_1 r_2 = I_3 r_3$.

Поделив последние два равенства почленно одно на другое, можно получить условие равновесия одинарного моста постоянного тока:

$$r_x r_2 = r_1 r_3. \quad (29)$$

Иначе говоря, условием равновесия одинарного моста постоянного тока является равенство произведений сопротивлений противолежащих плеч.

Из условий равновесия численное значение измеряемого сопротивления r_x может быть подсчитано по формуле

$$r_x = r_1 \frac{r_3}{r_2}. \quad (30)$$

Из этой формулы видно, что измерение сопротивления сводится к регулированию одного (соседнего с измеряемым) плеча, называемого обычно плечом сравнения, при постоянном отношении двух других плеч $\frac{r_3}{r_2}$ или к регулированию отношения двух плеч $\frac{r_3}{r_2}$ при постоянном значении плеча сравнения r_1 до исчезновения тока I_r в цепи нулевого указателя. На практике применяют оба способа уравнивания мостов.

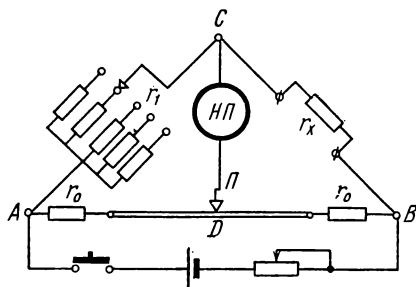


Рис. 55. Схема линейного моста

Многие мосты постоянного тока выпускаются заводами в комплекте с нулевыми указателями, а иногда и с источниками питания (сухими элементами).

По допустимой погрешности измерительные мосты постоянного тока разделяют согласно ГОСТ 7165—54 на следующие классы точности: 0,02; 0,05; 0,2; 1 и 5.

Числовое обозначение класса точности соответствует допустимому значению относительной погрешности. Этим же ГОСТом нормированы все технические условия и требования, предъявляемые к мостам.

Конструктивное оформление мостов весьма разнообразно. В большинстве современных четырехплечих мостов плечо сравнения обычно выполняется в виде четырех декад сопротивлений 10×1 ; 10×10 ; 10×100 и 10×1000 Ом, что обеспечивает возможность его регулирования в пределах от 1 до 11 110 Ом.

Плечи отношения в таких мостах обычно делают в виде набора сопротивлений 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100; 1000 Ом. Количество декад плеча сравнения и число ступеней плеч отношения определяют пределы измерения на мосте.

В зависимости от конструктивного оформления сопротивлений моста различают магазинные и линейные, или реохордные, мосты.

В магазинных мостах сопротивления плеч представляют собой штепсельные или рычажные магазины сопротивлений. В линейных (реохордных) мостах (рис. 55) плечо сравнения обычно выполнено в виде магазина сопротивлений, а плечи отношения осуществляются в виде реохорда (калиброванной проволоки), разделяемого ползушкой на две регулируемые части. Схема такого моста показана на рис. 55. Для предотвращения возможного короткого замыкания источника питания в цепь реохорда включают два ограничительных сопротивления r_0 .

Одинарные четырехплечие мосты постоянного тока предназначены для измерений сопротивлений в пределах от единиц до сотен тысяч

ом. При измерении на таких мостах сопротивлений, меньших одного ома, неизбежны значительные погрешности. При измерении малых сопротивлений погрешность возникает из-за сопротивления соединительных проводов и контактов, которыми присоединяется к мосту измеряемое сопротивление. Чем ближе по численному значению измеряемое сопротивление к сопротивлению соединительных проводов и контактов, тем больше погрешность измерения. Для измерения малых сопротивлений применяют специальные так называемые двойные мосты.

При измерении больших (больше $1 \cdot 10^5$ Ом) сопротивлений погрешности возможны из-за токов утечки, которые могут появиться из-за соизмеримости сопротивления изоляции моста с измеряемым сопротивлением. Поэтому очень большие сопротивления, как, например, сопротивление изоляции, измеряют с помощью других средств и методов, описанных ниже.

§ 17. ДВОЙНЫЕ МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В отличие от одинарных четырехплечих мостов, в которых измеряемое сопротивление определяется по известному сопротивлению плеча сравнения и отношению двух других плеч, в двойных шестиплечих мостах измеряемое сопротивление r_x сравнивается с образцовой мерой сопротивления r_0 . Для уменьшения влияния переходных контактных сопротивлений измеряемое сопротивление выполняется либо как образцовое — четырехзажимным, либо оно включается в цепь через специальное четырехзажимное приспособление. Принципиальная схема двойного моста показана на рис. 56.

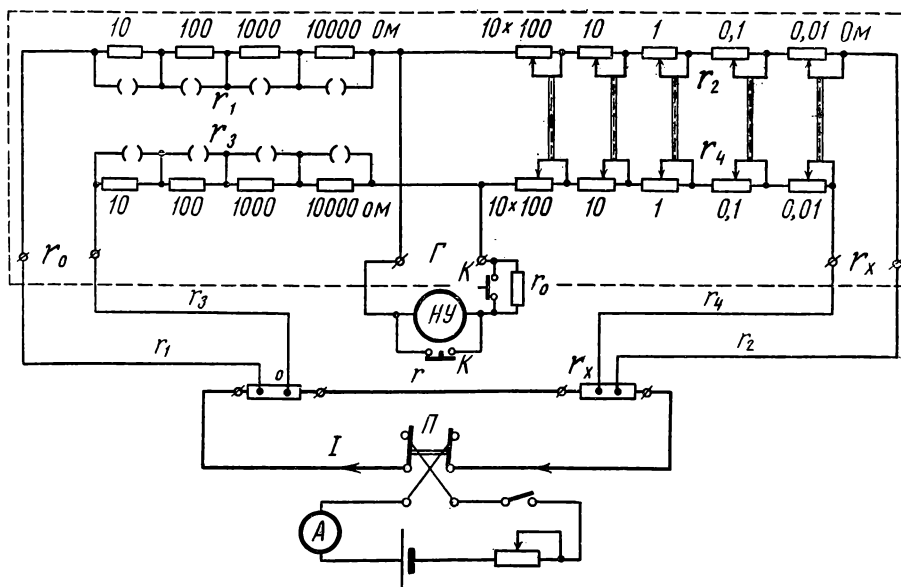


Рис. 56. Принципиальная схема двойного моста

Плечами двойного моста служат: измеряемое сопротивление r_x , образцовое сопротивление r_0 и две пары вспомогательных сопротивлений $r_1 - r_3$ и $r_2 - r_4$. (Сопротивления соединительных проводов, включая и переходные сопротивления контактов, входят в величины этих сопротивлений.) Можно подсчитать, что равновесие моста, т. е. отсутствие тока в цепи нулевого указателя НУ, наступит при условии:

$$r_x = \frac{r_1}{r_2} r_0 + \frac{r r_4}{r + r_3 + r_4} \left(\frac{r_1}{r_2} - \frac{r_3}{r_4} \right).$$

Если подбором сопротивлений плеч моста обеспечить равенство второго слагаемого правой части этого уравнения нулю, то условие равновесия моста значительно упрощается:

$$\frac{r r_4}{r + r_3 + r_4} \left(\frac{r_1}{r_2} - \frac{r_3}{r_4} \right) = 0,$$

если $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$ или $r_1 = r_3$; $r_2 = r_4$.

Для этого переключающие устройства, предназначенные для регулирования сопротивлений r_1 и r_3 , механически объединяют так, чтобы их можно было регулировать только одновременно и строго одинаково.

Одинаковыми устанавливают и сопротивления r_2 и r_4 . Проводник, соединяющий r_0 с r_x , берут возможно короче и большого сечения, благодаря чему его сопротивление r очень мало. При выполнении указанных требований условие равновесия двойного моста принимает следующий простой вид:

$$r_x = r_0 \frac{r_1}{r_2} = r_0 \frac{r_3}{r_4}. \quad (31)$$

Как видно из этого условия равновесия, в двойном мосте имеется одно плечо сравнения r_0 и две пары плеч отношения $\frac{r_3}{r_4}$ и $\frac{r_1}{r_2}$. Поэтому эти мосты и называют двойными. Сопротивления плеч отношений r_1 ; r_3 ; r_2 и r_4 в двойных мостах устанавливают не меньше 10 Ом, тогда влияние сопротивлений соединительных проводов и контактов, имеющих несравнимо меньшие значения, сводится к минимуму.

В конструкциях современных двойных мостов сопротивления плеч отношения r_2 и r_4 обычно выполнены в виде магазинов сопротивлений со штепсельным переключающим устройством, с помощью которого можно получить значения сопротивлений 10, 100, 1000, а иногда и 10 000 Ом.

Сопротивления другой пары плеч отношения r_1 и r_3 , как правило, представляют собой четыре или пять декадных магазинов сопротивлений с рычажным переключающим устройством, позволяющим регулировать оба эти сопротивления одновременно и строго одинаково.

При протекании рабочего тока I (см. рис. 56) по цепи r_x и r_0 может появиться термо-э. д. с. из-за нагрева мест контакта разнородных материалов. Появление в схеме моста термо-э. д. с. окажет большее или

меньшее влияние на результаты измерений. Чтобы исключить это влияние термо-э. д. с., измерение какого-либо сопротивления на двойном мосте проводят обязательно два раза; изменяя при этом направление рабочего тока, для чего в цепи питания установлен специальный переключатель P направления тока.

Двойные мосты, как указывалось выше, предназначены исключительно для измерений малых сопротивлений. Чувствительность двойного моста зависит от чувствительности нулевого указателя, параметров мостовой цепи и величины рабочего тока. Чем больше рабочий ток, тем выше чувствительность моста. Конечно, ток не должен превышать значений, допустимых при условии нагрева r_x и r_0 .

Большое распространение в настоящее время получили комбинированные мосты постоянного тока, рассчитанные на работу как по схеме одинарного, так и по схеме двойного моста. На рис. 57 приведены электрическая схема и внешний вид современного комбинированного моста Р-329, выпускаемого заводом ЗИП вместо ранее изготавливавшегося комбинированного моста МТВ (моста Томсона-Витстона).

Мост Р-329 представляет собой комбинированный одинарно-двойной мост с отдельным блоком образцовых сопротивлений. Плечи отношения r_1 и r_3 имеют по пять декад: $10 \times 100 \text{ Ом}$, $10 \times 10 \text{ Ом}$, $10 \times 1 \text{ Ом}$, $10 \times 0,1 \text{ Ом}$ и $10 \times 0,01 \text{ Ом}$, что позволяет производить отсчет числового значения сопротивления с точностью $\pm 0,01\%$. Плечи отношения r_2 и r_4 состоят каждое из четырех сопротивлений 10, 100, 1000 и 10 000 Ом.

Нуль-индикатор подключается к зажимам 1—2 с помощью кнопок «Грубо» и «Точно». При включении «Грубо» последовательно с нуль-индикатором включается сопротивление 50 кОм. При включении «Точно» нуль-индикатор включается в схему непосредственно.

Успокоение нуль-индикатора осуществляется с помощью кнопки «Успокоение».

Сопротивление 10 кОм, шунтирующее гальванометр, и сопротивление 50 Ом в цепи «Успокоение» дают возможность работать нуль-индикатору (как высокоомному, так и низкоомному) в режиме, близком к критическому при замыкании кнопки «Грубо».

Схема моста позволяет при измерениях низкоомных сопротивлений пользоваться как встроенными, так и внешними образцовыми сопротивлениями. Блок образцовых сопротивлений имеет четыре зажима: два токовых — $T1$ и $T2$ и два потенциальных — $P1$ и $P2$, а также штепсельные колодки, служащие для включения образцового сопротивления в схему.

Потенциальные выводы блока при работе в схеме двойного моста соединяются с зажимами $+N$ и $-N$ медными соединительными планками; при переходе к схеме одинарного моста этими же планками замыкаются накоротко зажимы $+N$ и $-N$.

На лицевой панели и щитке со схемой нанесены все необходимые поясняющие надписи. На внутренней стороне крышки прикреплены принципиальная схема прибора и краткие правила пользования мостом.

Для измерения мостом коротких отрезков проволочных сопротив-

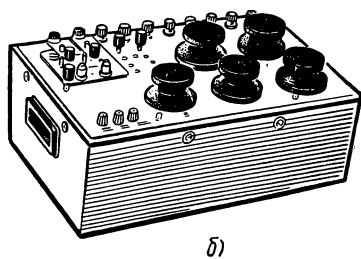
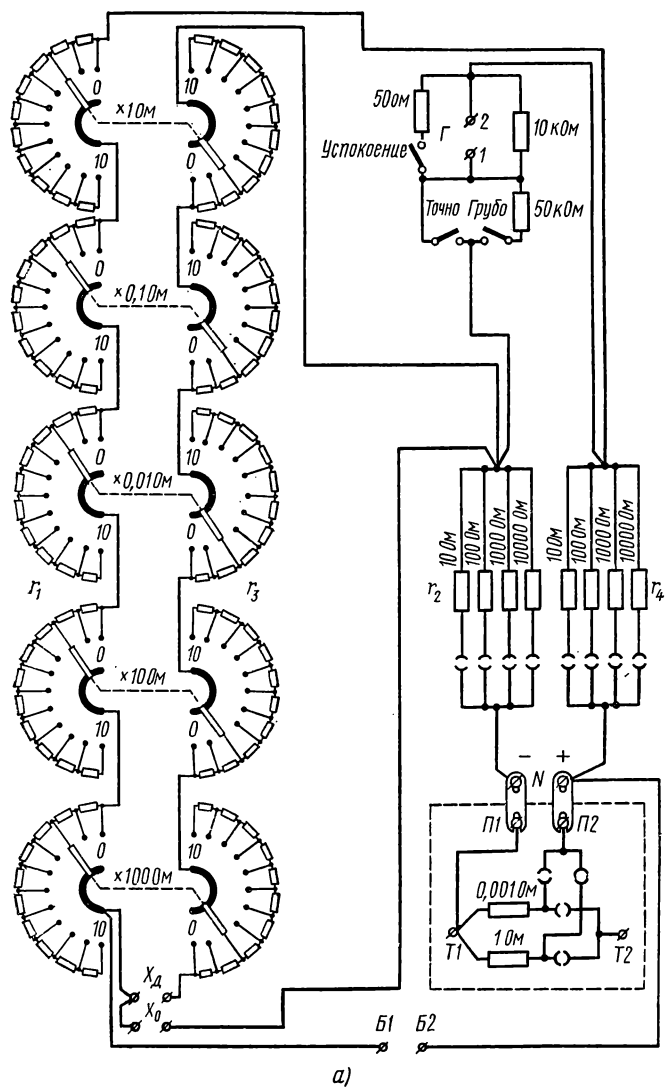


Рис. 57. Комбинированный (одинарно-двойной) мост постоянного тока Р-328:
а — принципиальная схема, б — внешний вид

лений применяют четырехзажимную колодку с токовыми и потенциальными зажимами.

При измерении на мосте с использованием внутренних образцовых сопротивлений токовый зажим измеряемого сопротивления r_x соединяется с токовым зажимом $T1$ блока образцовых сопротивлений. Потенциальные зажимы измеряемого сопротивления подключаются к зажимам X_d моста. В случае применения отдельных образцовых катушек сопротивления потенциальные зажимы r_o и r_x присоединяются к соответствующим зажимам моста (N и X_d).

Для измерений сопротивлений по схеме одинарного моста зажимы $+N$ и $-N$ замыкаются накоротко перемычкой, а измеряемое сопротивление r_x присоединяется к зажимам моста X_o . При всех включениях необходимо соблюдать полярность.

В качестве источников питания мостов постоянного тока используют обычно аккумуляторные батареи емкостью 40—100 А·ч и напряжением 2—4 В. Гальванометры желательно брать с большой чувствительностью по напряжению. Критическое сопротивление гальванометра должно быть того же порядка, что и сопротивление самого моста. Наиболее подходящими следует считать $r_{кп}$ от 500 до 2500 Ом.

§ 18. МОСТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При измерении емкости, индуктивности, взаимной индуктивности наиболее точные результаты можно получить с помощью мостов переменного тока (рис. 58). Плечами моста являются три известных ак-

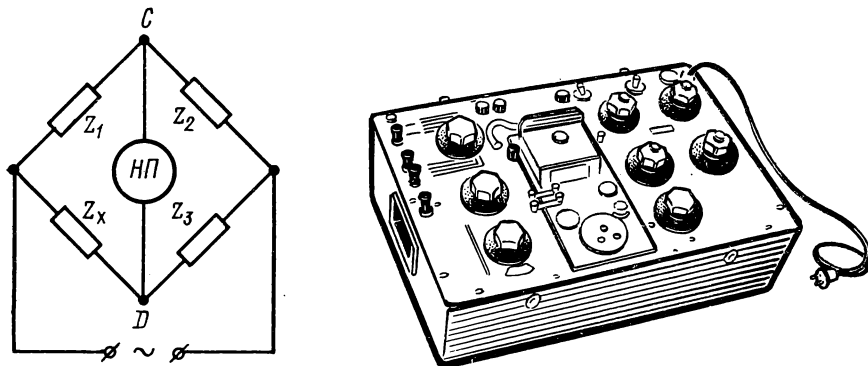


Рис. 58. Мост переменного тока Р50-1

тивных или реактивных сопротивления z_1 , z_2 , z_3 и неизвестное измеряемое сопротивление z_x . Принцип работы мостов переменного тока тот же, что и мостов постоянного тока: при равенстве по величине и фазе падений напряжения в z_1 и z_x , а также в z_2 и z_3 ток в диагонали моста между точками CD будет равен нулю и нулевой прибор ничего не покажет, вернее покажет нуль.

Условие равновесия моста переменного тока такое же, как и для моста постоянного тока, т. е. требуется равенство произведений сопротивлений противоположных плеч: $z_1 z_3 = z_2 z_x$.

Однако дополнительно необходимо, чтобы сдвиг по фазе в плече z_1 был такой же, как и в плече z_x , соответственно должны быть одинаковыми сдвиги по фазе в плечах z_2 и z_3 .

Когда мост уравновешен, численное значение измеряемого сопротивления z_x определяется по формуле

$$z_x = z_1 \frac{z_3}{z_2}. \quad (32)$$

Процесс измерения значительно усложняется в результате того, что при уравнивании моста необходимо обеспечить не только требуемое соотношение численных значений сопротивлений соответствующих плеч, но также равенство углов сдвига по фазе между падениями напряжений и токами в них. Обычно при измерениях на мостах переменного тока приходится регулировать сопротивления двух плеч.

Источником питания мостов переменного тока служит сеть переменного тока технической частоты или генераторы повышенной частоты (1000—10 000 Гц).

Иногда генератор повышенной частоты встраивается непосредственно в мост. В качестве нулевых приборов для мостов переменного тока используют электронные лампы 6Е-5, вибрационные гальванометры или магнитоэлектрические гальванометры постоянного тока, включенные через полупроводниковые выпрямители.

В последние годы все шире распространяются так называемые универсальные мосты постоянно-переменного тока для измерения r , L и C . Мосты этого типа рассчитаны на питание от сети переменного тока 127 или 220 В. Индикатором уравнированности служит высокочувствительный магнитоэлектрический стрелочный гальванометр, включенный либо непосредственно при измерении на постоянном токе, либо через выпрямители при измерении L и C . Измерение емкости и индуктивности осуществляют сравнением их с образцовой емкостью, встроенной в мост.

В ГОСТ 9486—60 «Мосты переменного тока измерительные» дана следующая классификация: МИ — мост переменного тока для измерения индуктивности, МЕ — мост переменного тока для измерения емкости, МИЕ — мост переменного тока для измерения индуктивности и емкости.

Мосты указанных типов подразделяют на классы точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2 и 5.

§ 19. ПОТЕНЦИОМЕТРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для точных измерений э. д. с., напряжений, токов и сопротивлений применяют специальные приборы сравнения, называемые **п о т е н ц и о м е т р а м и**. Эти приборы служат также основным средством для проверки показывающих приборов высоких классов точности. Работа потенциометров основана на компенсационном методе измере-

ния. Сущность компенсационного метода состоит в том, что измеряемая неизвестная э. д. с. (напряжение) определяется путем компенсации — уравнивания ее известным падением напряжения на компенсационном сопротивлении

$$E_x = I_p r_k,$$

где E_x — измеряемая э. д. с. (напряжение), I_p — рабочий ток, r_k — точное, регулируемое (компенсационное) сопротивление, по которому протекает рабочий ток I_p .

На рис. 59 изображена принципиальная схема, поясняющая компенсационный метод измерений и работу потенциометров постоянного тока. Рабочая цепь, состоящая из компенсационного r_k , установочного r_N и подгоночного r сопротивлений, питается от вспомогательной аккумуляторной батареи ВВ. Величина рабочего тока в цепи может регулироваться сопротивлением r_p . Точная установка и контроль величины рабочего тока производится не с помощью измерительного прибора, имеющего ограниченную точность, а с помощью образцовой меры э. д. с. — нормального элемента E_N , обеспечивающего точность до пятого знака.

Для установки и контроля рабочего тока, который должен быть строго определенным для каждого потенциометра, переключатель Π ставят в левое положение N . Путем регулирования сопротивления r_p добиваются, чтобы стрелка гальванометра показывала нуль, т. е. падение напряжения от рабочего тока I_p на сопротивлениях r_N и части подгоночного сопротивления $r = r'$ должно быть точно равно э. д. с. нормального элемента:

$$I_p (r_N + r') = E_N. \quad (33)$$

Э. д. с. нормального элемента может изменяться под влиянием колебания окружающей температуры в пределах пятого знака. Поэтому для точной установки рабочего тока последовательно к постоянному установочному сопротивлению r_N подключено регулируемое подгоночное сопротивление r . Изменяя величину подгоночного сопротивления соответственно окружающей температуре, обеспечивают нужное значение рабочего тока.

Установив номинальное значение рабочего тока, можно измерить неизвестную э. д. с. (напряжение). Для этого переводят переключатель Π в правое положение (X) и регулируют величину компенсационного сопротивления r_k так, чтобы гальванометр показал нуль, т. е. падение

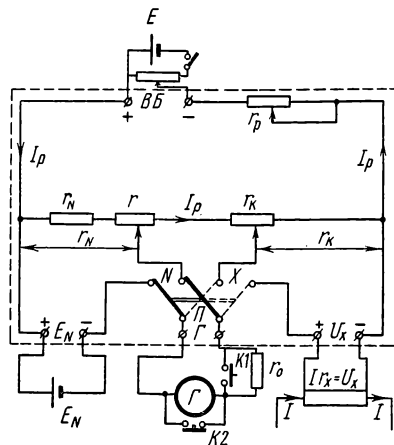


Рис. 59. Принципиальная схема компенсационного метода измерений

напряжения на компенсационном сопротивлении r_k должно быть точно равно измеряемой э. д. с. E_x (напряжению U_x):

$$I_p r_k = E_x.$$

Подставив в последнее равенство вместо I_p его выражение из формулы (33), получим:

$$E_x = E_N \frac{r_k}{r_N}. \quad (34)$$

Разумеется, что последнее равенство будет справедливо только при условии неизменности величины рабочего тока в течение всего времени измерения. Поэтому вспомогательная батарея должна обладать высокой стабильностью напряжения и достаточной емкостью.

В процессе установки рабочего тока и при измерении возможны перегрузки гальванометра и нормального элемента током. Это объясняется тем, что в начале процесса уравнивания (компенсации) величина измеряемой э. д. с. (напряжения) может значительно отличаться от величины падения напряжения в компенсационном сопротивлении так же, как и при установке рабочего тока значение э. д. с. нормального элемента может значительно отличаться от величины падения напряжения в установочном и подгоночном сопротивлениях, в результате чего по цепи гальванометра потечет ток больше допустимого.

Для защиты гальванометра и нормального элемента от чрезмерной нагрузки служит ограничительное сопротивление r_0 . При приближении момента полной компенсации, когда указатель гальванометра находится уже близко к нулю, сопротивление шунтируется кнопкой $K1$ и этим восстанавливается полная чувствительность установки. Чтобы сократить время успокоения гальванометра, что весьма желательно для ускорения измерения, предусмотрена кнопка $K2$, шунтирующая сам прибор. Все элементы, обведенные на схеме рис. 59 пунктирным прямоугольником, представляют собой собственно потенциометр, а батарея $ВБ$, нормальный элемент E и гальванометр Γ могут быть как встроенными в потенциометр, так и отдельными от него.

Основным преимуществом потенциометра по сравнению с показывающими приборами является то, что неизвестная э. д. с. (напряжение) измеряется с помощью образцовой меры — нормального элемента и известных сопротивлений, имеющих весьма высокую степень точности и, помимо этого, само измерение производится без потребления тока (мощности) от объекта измерения, поскольку ток гальванометра в момент измерения равен нулю. Оба эти обстоятельства определяют высокую точность компенсационного метода измерений и позволяют довести погрешности современных потенциометров до сотых и даже тысячных долей процента.

Все потенциометры постоянного тока разделяют на две группы: низкоомные (потенциометры малого сопротивления) и высокоомные (потенциометры большого сопротивления). К первым относят потенциометры, сопротивление цепи рабочего тока которых лежит в преде-

лах десятков или сотен ом; у высокоомных потенциометров это сопротивление достигает десятков тысяч ом. Соответственно номинальные рабочие токи в низкоомных потенциометрах имеют значение от 1 до 25 мА, а для большинства высокоомных $I_p = 0,1$ мА.

Во всех современных потенциометрах схемы и конструкции компенсационных сопротивлений предусматривают возможность непосредственного отсчета значений измеряемой э. д. с. (напряжения). Для этого магазины сопротивлений, из которых состоит компенсационное сопротивление r_k , градуируются непосредственно в единицах падения напряжения:

$$\Delta U = I_p r_k.$$

Из формулы (34) следует, что точность измерений на потенциометрах зависит от точности значения э. д. с. нормального элемента и точности значений компенсационного r_k и установочного r_N сопротивлений.

Точность отсчета значения измеряемой величины и пределы измерения на потенциометре определяются конструкцией и схемой компенсационного сопротивления. Схема и конструкция сопротивления r_k должны обеспечивать: максимально возможную плавность регулировки r_k от нуля до значения, соответствующего верхнему пределу измерений потенциометра; возможность отсчета минимальных значений измеряемой величины, определяемых чувствительностью установки; постоянство значения сопротивления и минимальное влияние на его величины внешних факторов. Степень совершенства потенциометра в значительной мере зависит от схемы и конструкции компенсационного сопротивления, которые весьма разнообразны.

Простейшей возможной схемой компенсационного сопротивления может быть реохорд с движком. Компенсирующее напряжение $U_k = I_p r_k$ между движком и одним из концов реохорда может плавно регулироваться, причем сопротивление рабочей цепи останется постоянным. Существенным недостатком этой конструкции является относительно низкая точность отсчета длины — не выше 0,5 мм.

Для более точного отсчета значения компенсирующего напряжения компенсационные сопротивления стали выполнять комбинированными, т. е. состоящими из магазинов сопротивлений и реохорда. Схема такого сопротивления показана на рис. 60.

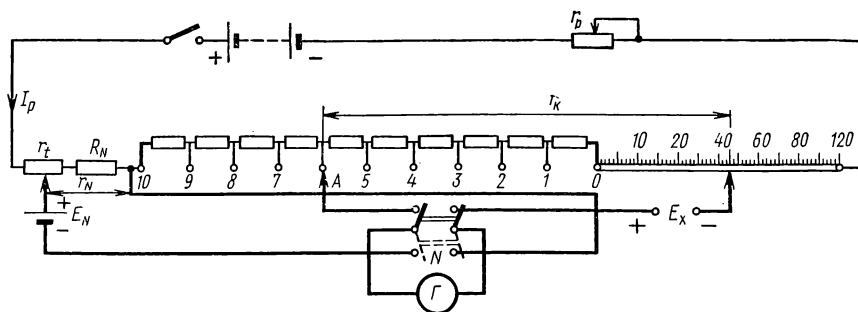


Рис. 60. Схема устройства компенсационного сопротивления

Поставив переключатель в положение N , подбирают, как в предыдущей схеме, нужное r_t и при помощи r_p устанавливают рабочий ток I_p . Переключив переключатель в положение X , можно путем перемещения движков A и B подобрать $U_k = I_p r_k$, равное измеряемой э. д. с. (напряжению) E_x . При этом гальванометр покажет нуль.

Схемы таких комбинированных компенсационных сопротивлений имеют ограниченное применение, преимущественно в потенциометрах низкой точности. В точных потенциометрах постоянного тока реохорд не применяют, а делают компенсационные сопротивления по схемам так называемых шунтирующих декад, замещающих декад, а также по некоторым другим схемам.

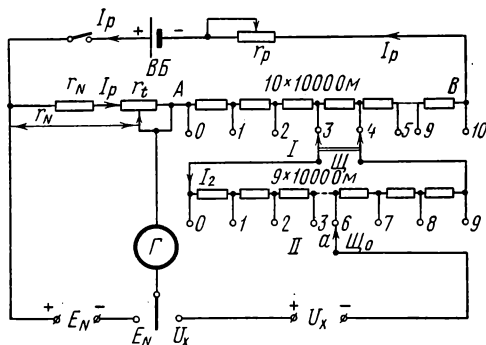


Рис. 61. Схема потенциометра с шунтирующей декадой

Принцип шунтирующей декады состоит в том, что некоторая часть основного сопротивления r_k шунтируется вторым сопротивлением, большим по величине. Его, в свою очередь, разбивают на секции так, чтобы падение напряжения в одной его секции было в десять раз меньше падения напряжения в другой секции основного сопротивления. Таким образом можно повысить количество десятичных знаков

отсчитываемого значения компенсирующего напряжения.

Принципиальная схема потенциометра с шунтирующей декадой показана на рис. 61. Основная декада, обозначенная I , состоит из десяти катушек, сопротивление каждой, например, принято 1000 Ом. По этой декаде проходит рабочий ток потенциометра, например $I_p = 0,0001$ А. Шунтирующая декада, обозначенная II , состоящая из девяти катушек такого же сопротивления, т. е. по 1000 Ом каждая, присоединяется к двоянной щетке III , перемещаемой по контактам основной I декады. Падение напряжения в секциях шунтирующей декады снимается с помощью обычной щетки $Щ_0$.

Как видно из схемы, сопротивление рабочей цепи потенциометра остается постоянным независимо от положения щеток основной и шунтирующей декад. Так, например, в нашем случае сопротивление цепи между точками A и B всегда равно:

$$r_{AB} = 9 \cdot 1000 + \frac{1000 \cdot 9000}{1000 + 9000} = 9900 \text{ Ом.}$$

Величина тока I_2 , ответвляющегося в шунтирующую декаду, составляет 0,1 рабочего тока, так как

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_2}{I_p - I_2} = \frac{r_I}{r_{II}} = \frac{1000}{9000} \text{ или } I_2 = 0,1 I_p$$

где r_1 — сопротивление одной шунтируемой секции: r_{11} — сопротивление всей шунтирующей декады.

Соответственно токам I_p и I_2 относятся между собой и падения напряжения в секциях основной и шунтирующей декад. Для принятых нами значений

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{I_2 r_{11}}{I_p r_1} = \frac{0,00001 \cdot 1000}{0,0001 \cdot 1000} = \frac{0,01}{0,1}, \text{ или } \Delta U_2 = 0,1 \Delta U_1.$$

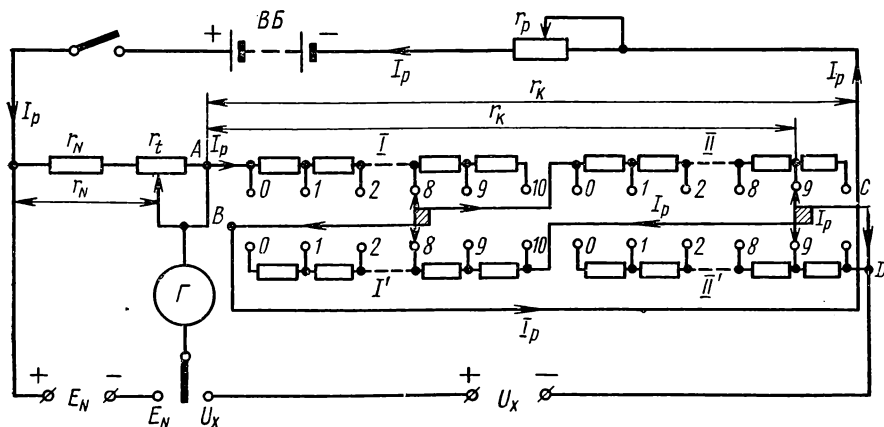


Рис. 62. Схема потенциометра с замещающими декадами

Компенсирующее напряжение между точками $A—a$ складывается из падения напряжений в n_1 секциях основной и в n_2 секциях шунтирующей декады, т. е.

$$U_K = U_1 + U_2 = n_1 I_p r_1 + n_2 I_2 r_{11} = n_1 \Delta U_1 + n_2 \Delta U_2.$$

Так, например, при положении щеток основной и шунтирующей декад, показанном на схеме рис. 61, значение компенсирующего напряжения

$$U_K = 3 \Delta U_1 + 6 \Delta U_2 = 3 \cdot 0,0001 \cdot 1000 + 6 \cdot 0,00001 \cdot 1000 = 0,36 \text{ В.}$$

Рассмотренное компенсационное сопротивление с одной шунтирующей декадой, очевидно, позволит регулировать компенсирующее напряжение U_K в пределах от нуля до 0,99 В ступенями в 0,01 В, не изменяя при этом общего сопротивления рабочей цепи и, следовательно, величины рабочего тока.

Принципиальная схема потенциометра с замещающими декадами показана на рис. 62. Декады I и II образуют компенсационное сопротивление; падение напряжения на нем используется для компенсации измеряемого напряжения U_x . Декады I' и II' являются замещающими. Они включены в цепь рабочего тока I_p , а рукоятки их механически соединены с рукоятками декад I и II так, что при уменьшении, напри-

мер, сопротивление декады I на столько же увеличивается сопротивление декады I' . Благодаря этому рабочий ток остается постоянным при изменении положения рычагов основных декад. Вместе с тем сопротивление между точками A и D , а естественно, и напряжение $U_{AD} = U_K$ оказываются переменными, зависящими от положения щеток на контактах декады I . Путем последовательного включения ряда декад с сопротивлением, кратным 10, можно обеспечить нужный предел измерения потенциометра и требуемую точность отсчета результатов измерений.

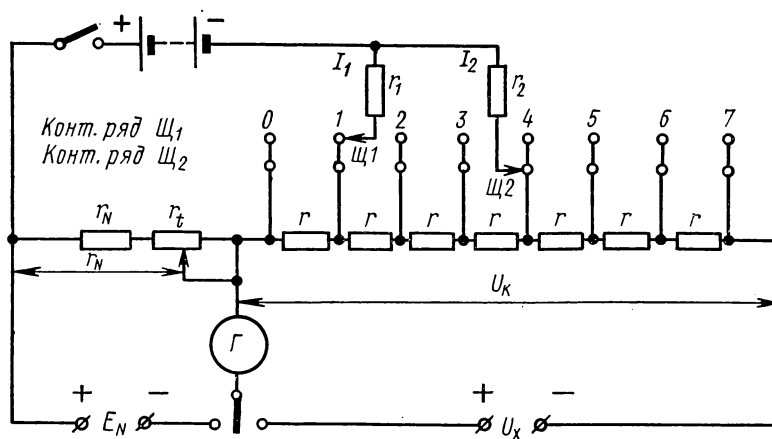


Рис. 63. Схема устройства декад по В. С. Уманцеву

Обеим рассмотренным схемам компенсационного сопротивления свойствен общий недостаток: наличие подвижных контактов в цепи компенсационного сопротивления, что значительно повышает вероятность появления погрешностей за счет изменения сопротивления контактов и термо-э. д.с. Особенно это недопустимо в потенциометрах малого сопротивления (низкоомных), поскольку погрешности, вызванные непостоянством сопротивлений контактов, могут быть уже весьма существенными, так как сопротивление всей рабочей цепи сравнительно мало. От этого недостатка почти свободны компенсационные сопротивления, построенные по принципу наложения токов по схеме В. С. Уманцева.

Принципиальная схема с таким компенсационным сопротивлением показана на рис. 63. Компенсирующее напряжение U_K получается на постоянных по величине сопротивлениях r , по которым протекают разные по величине токи, например I_1 и I_2 . Величина компенсирующего напряжения зависит, как это видно из схемы, от положения щеток на контактных рядах и токов I_1 и I_2 :

$$U_K = I_1 n_1 r + I_2 n_2 r = r (n_1 I_1 + n_2 I_2),$$

где n_1 и n_2 — номера контактов, на которых находятся щетки Щ1 и Щ2.

Токи I_1 и I_2 выбирают разными, кратными 10. На величины этих токов положение подвижных контактов — щеток Щ1 и Щ2 — практически не оказывает никакого влияния, поскольку сопротивления r_1 и r_2 значительно больше сопротивления r .

Обычно потенциометры изготовляют с верхним пределом измерения не более 2В. В случае измерений больших напряжений потенциометр должен быть включен через делитель напряжения, описание которого будет дано ниже. При этом увеличивается собственное потребление измерительной цепи, поскольку делитель напряжения потребляет определенную мощность.

Потенциометры постоянного тока должны удовлетворять всем требованиям ГОСТ 9245—59. Согласно этому ГОСТу потенциометры изготовляют следующих классов точности: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1 и 0,2.

Ранее выпускали потенциометры и других (помимо указанных) классов точности: 0,015; 0,03 и 0,5. Допустимые погрешности для потенциометров различных классов подсчитываются по особым формулам, которые обычно указываются в паспорте и на щитке потенциометра.

§ 20. ПОТЕНЦИОМЕТРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Точные измерения в цепях переменного тока, как и в цепях постоянного тока, осуществляют компенсационным методом, заключающимся в уравнивании неизвестного измеряемого напряжения известным. Однако в отличие от цепей постоянного тока в цепях переменного тока условия уравнивания значительно сложнее. Чтобы уравновесить неизвестное измеряемое переменное напряжение известным, необходимы: равенство их численных значений, противоположность их фаз, равенство частот и одинаковая форма кривой изменения их мгновенных значений.

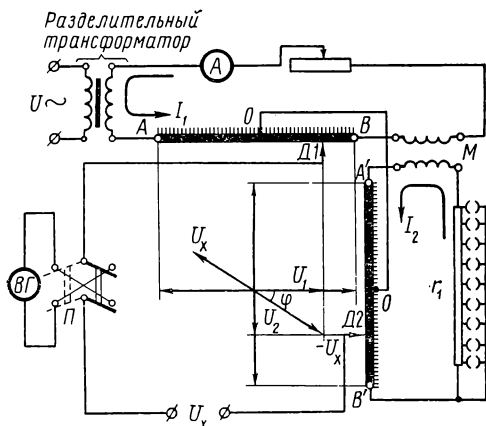
В качестве нулевых приборов для потенциометров переменного тока применяют гальванометры (для технической частоты) и электронные приборы (для повышенных частот). Отсутствие образцовой меры э. д. с. переменного тока значительно снижает точность потенциометров переменного тока. В первую очередь, это сказывается на точности установки и поддержания рабочего тока, величина которого фиксируется по электродинамическому амперметру класса 0,5 или 0,2. Несмотря на это, возможность измерять без потребления мощности от объекта измерения, а также возможность определять фазу измеряемого напряжения являются теми положительными качествами потенциометров переменного тока, которые обусловили их распространение.

По способу компенсации измеряемого напряжения потенциометры переменного тока подразделяют на полярно-координатные и прямоугольно-координатные.

Полярно-координатные потенциометры из-за относительно низкой

точности определения фазы компенсируемого напряжения в настоящее время не изготовляют.

Принципиальная схема прямоугольно-координатного потенциометра показана на рис. 64. По двум рабочим цепям протекают токи I_1 и I_2 , сдвинутые один относительно другого на 90° . Падения напряжений от этих токов на сопротивлениях AB и $A'B'$, выполненных в



виде реохордов, также сдвинуты по фазе на 90° . Изменяя с помощью движков Д1 и Д2 величину падений напряжений U_1 и U_2 между общей точкой O и движками Д1 и Д2, можно добиться компенсации измеряемого напряжения U_x , равного по абсолютному значению:

$$U_x = \sqrt{U_1^2 + U_2^2};$$

фаза U_x определится из выражения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_2}{U_1}.$$

Рис. 64. Принципиальная схема прямо-
угольно-координатного потенциометра

Сдвиг на 90° между токами I_1 и I_2 может быть обеспечен различными путями. В приведенной схеме он достигается с помощью так называемого воздушного трансформатора — катушки взаимной индуктивности М без стального сердечника. Ток I_1 , протекая по обмотке катушки М, вызывает магнитный поток, находящийся в фазе с этим током, так как потери на вихревые токи и гистерезис в этом случае отсутствуют. Магнитный поток наводит во вторичной обмотке э. д. с., отстающую от него на 90° . В результате наведенной э. д. с. в цепи появляется ток I_2 .

Если сделать реактивное сопротивление этой цепи ничтожно малым, то ток I_2 будет совпадать по фазе с э. д. с. и отставать, таким образом, от I_1 на 90° . Падения напряжений U_1 и U_2 , вызванные токами на активных сопротивлениях, также будут сдвинуты друг относительно друга на 90° . Величина индуцированной во вторичной обмотке э. д. с. зависит от частоты тока I_1 . Поэтому для поддержания тока I_2 постоянным при неизменном I_1 во вторую цепь включено сопротивление r_f , с помощью которого регулируется величина I_2 с изменением частоты f . Формула для расчета r_f в зависимости от частоты всегда приводится в паспорте потенциометра. Чтобы исключить влияние сети на результаты измерения, прибор включают в сеть через разделительный трансформатор.

Работа на потенциометре переменного тока сводится к установке рабочего тока по электродинамическому амперметру и перемещению движков на обоих реохордах до получения равновесия (нулевого по-

казания гальванометра $BГ$). Питание потенциометров переменного тока осуществляется, как правило, от сети переменного тока через понижающий разделительный трансформатор.

§ 21. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ МОСТЫ И ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

В последние годы все шире внедряются в электроизмерительную практику, особенно в практику электрических измерений неэлектрических величин, полуавтоматические и автоматические мосты и потенциометры. Они весьма широко используются для автоматического контроля, регулирования и управления.

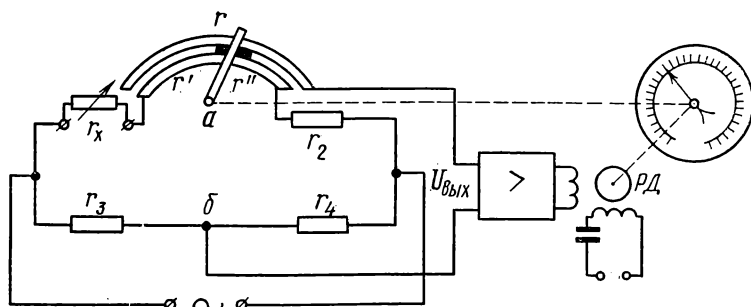


Рис. 65. Принципиальная схема автоматического моста

Полуавтоматическими называют такие мосты и потенциометры, которые уравниваются частично вручную, а частично — окончательно — автоматически. Автоматическими называют мосты и потенциометры, уравнивание которых полностью автоматизировано.

Автоматизация процесса уравнивания достигается путем добавления к схемам обычных мостов и потенциометров, рассмотренным выше, специальных элементов и устройств. На рис. 65 показана в качестве примера принципиальная схема автоматического моста для измерения сопротивления. Такие мосты широко используют для автоматического контроля, сигнализации и регулирования температуры с применением термометров сопротивления.

В два плеча r_x и r_2 моста включены части r' и r'' реохорда r , ползунок которого связан через передачу с реверсивным двигателем РД. Двумя другими плечами моста служат сопротивления r_3 и r_4 . Когда мост уравновешен, напряжение между точками a и $б$ равно нулю и ротор двигателя неподвижен. Как только измеряемое сопротивление r_x изменится, между точками a и $б$ появится напряжение $U_{аб}$, величина и фаза которого определяются значением измеряемого сопротивления r_x . Это напряжение, усиленное электронными усилителями напряжения и мощности, подается на реверсивный двигатель и вызывает вращение ротора через соответствующую механическую связь, показанную

на рис. 65 пунктирными линиями, перемещает движок реохорда, уравнивая при этом мост. Вращение ротора будет продолжаться до полного уравнивания.

Одновременно с перемещением движка двигатель проворачивает указательную стрелку по шкале, которую можно проградуировать в единицах измеряемой величины. В случае необходимости записи изменения измеряемой величины с указателем связывают перо, перемещающееся по бумажной диаграммной ленте или диску. Мощность реверсивных двигателей современных автоматических мостов равна

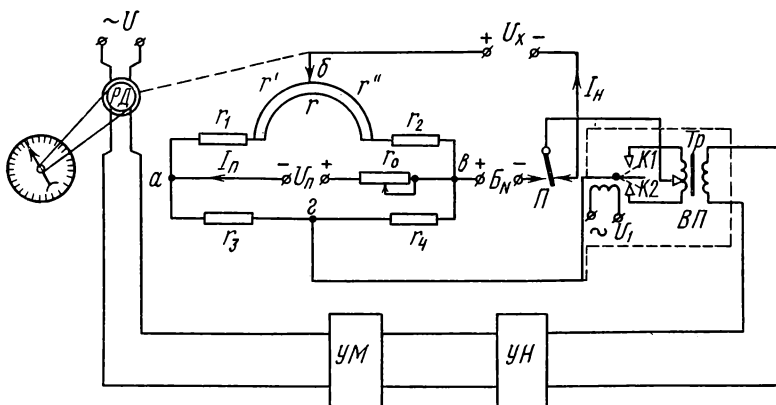


Рис. 66. Принципиальная схема автоматического потенциометра

примерно 10—12 Вт. Порог чувствительности, т. е. наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее пуск двигателя, составляет примерно 0,2% от верхнего предела измерений.

Погрешности мостов с автоматическим уравниванием не выходят за пределы $\pm 1,0$ — $1,5\%$. Схемы конструкции, как и назначение автоматических мостов, весьма разнообразны. Рассмотренной схеме автоматического моста с механической системой уравнивания присущи и существенные недостатки, заключающиеся прежде всего в относительной сложности конструкции механизмов уравнивания, прерывистости работы и большом времени срабатывания.

На рис. 66 показана упрощенная принципиальная схема автоматического потенциометра. Измеряемое постоянное напряжение U_x уравнивается падением напряжения U_{6r} , снимаемым с диагонали моста, образованного сопротивлениями $r_1 + r'$; $r_2 + r''$; r_3 и r_4 и питаемого от вспомогательного источника постоянного тока U_n .

При неравенстве измеряемого и компенсирующего напряжений появляется ток небаланса I_n . При помощи вибропреобразователя ВП этот ток I_n вызывает во вторичной обмотке трансформатора Тр переменное напряжение, величина и фаза которого определяются величиной и направлением тока небаланса. Вибропреобразователь ВП работает следующим образом: переменный магнитный поток, возбуждае

мый специальной обмоткой, питаемой от источника U_1 переменного тока, вызывает колебания подвижной части преобразователя, выполненной в виде тонкой бронзовой пластинки с укрепленной на ней ферромагнитной пластинкой. Эта пластинка поочередно замыкает контакты $K1$ и $K2$. Величина э. д. с., наводимой во вторичной обмотке трансформатора Tr , зависит от тока I_n , ее фаза относительно U_1 зависит от направления тока I_n или, иначе говоря, от того, что больше: U_x или U_{6r} . Таким образом, напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора становится зависимым по величине и фазе от тока I_n или, что то же, от разности между измеряемым и компенсирующим напряжениями. Под воздействием этого напряжения, предварительно усиленного усилителями напряжения $УН$ и мощности $УМ$, реверсивный двигатель $РД$ начинает перемещать ползунок реохорда в нужном направлении до полной компенсации напряжения U_x разностью потенциалов U_{6r} .

Для устранения возможной погрешности, вызванной изменением напряжения источника питания U_n (сухие элементы), производят периодическую проверку и регулировку величины тока I_p с использованием нормального элемента E_N . Для этого переключатель $П$ ставит в левое положение и сравнивают падение напряжения на r_4 с э. д. с. нормального элемента. Если напряжение питания изменилось, падение напряжения на сопротивлении r_4 не будет равно э. д. с. E_N , и реверсивный двигатель начнет работать. Переключатель $П$ устроен в виде кнопки таким образом, что при ее нажатии одновременно с включением нормального элемента ось редуктора двигателя расцепляется с ползунком реохорда и сцепляется с ползунком реостата r_0 , при помощи которого регулируется рабочий ток потенциометра. Следовательно, при нажатой кнопке $П$ реверсивный двигатель будет работать, передвигая ползунок r_0 до тех пор, пока падение напряжения в плече r_4 и э. д. с. нормального элемента будут равны. Таким образом контролируют и регулируют величину рабочего тока.

Современные автоматические потенциометры работают с погрешностью не более $\pm 0,2—0,5\%$. Порог чувствительности не превышает $0,1—0,2\%$ шкалы прибора.

Контрольные вопросы

1. Опишите устройство и работу одинарного моста постоянного тока.
2. Для чего служит двойной мост? Как он устроен?
3. Как работает комбинированный мост?
4. В чем состоят особенности мостов переменного тока? Что можно измерить с их помощью?
5. Что такое потенциометр постоянного тока? Для каких целей его применяют?
6. Объясните работу потенциометров переменного тока.
7. Для каких целей служат полуавтоматические и автоматические мосты и потенциометры?

Глава IV

ПРИНЦИП РАБОТЫ И УСТРОЙСТВО РЕГИСТРИРУЮЩИХ ПРИБОРОВ

§ 22. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

В практике электрических измерений часто требуется знать не только значение измеряемой переменной величины в данный момент, но и характер ее изменения во времени. Такая необходимость возникает также при контроле различных технологических процессов. Для этой цели применяют специальные измерительные приборы, называемые **ре г и с т р и р у ю щ и м и**.

Регистрирующие приборы обычно подразделяют на две большие группы: самопишущие приборы и осциллографы.

Самопишущие показывающие приборы предназначены для измерения и автоматической записи результатов измерения величин, медленно изменяющихся во времени.

В нашей стране самопишущие приборы изготовляют различного назначения и исполнения. Согласно ГОСТ 9999—62 самопишущие приборы должны выпускаться в следующем исполнении:

- по характеру координат диаграммы — приборы с записью в прямоугольных координатах, приборы с записью в криволинейных координатах;

- по форме диаграммы — приборы с ленточной диаграммой, приборы с барабанной диаграммой, приборы с дисковой диаграммой;

- по характеру записи — приборы с непрерывной записью, приборы с точечной записью;

- по количеству измерительных механизмов — одноканальные, многоканальные;

- по типу привода механизма передвижения диаграммы — приборы с приводом от часового механизма, приборы с электрическим приводом;

- по способу отсчета значений измеряемой величины — приборы с отсчетом по шкале и по записи, приборы с отсчетом только по записи.

Помимо приборов, регистрирующих изменение величины во времени, наша промышленность изготовляет специальные самопишущие приборы для записи изменения одной измеряемой величины в функции от другой, которые называют **к о о р д и н а т н ы м и**.

Изменение во времени измеряемой величины в самопишущих приборах записывается на диаграммной бумаге с помощью специальных устройств, связанных с подвижной частью измерительного механизма. Чернила, применяемые в самопишущих приборах, должны возможно

меньше испаряться в перо и чернильнице и возможно быстрее сохнуть на диаграммной бумаге. Конструкции записывающих приспособлений, как и способы записи, применяемые в самопишущих приборах, весьма разнообразны.

Осциллографы предназначены для визуального наблюдения и относительно кратковременной записи быстропротекающих и быстроизменяющихся электрических, а также неэлектрических, но предварительно преобразованных в электрические, процессов. Осциллографы позволяют наблюдать и записывать мгновенные значения изменяющихся величин.

Осциллографы подразделяют на электромеханические и электронные.

Измерительным механизмом электромеханического осциллографа служит вибратор, поэтому такие осциллографы часто называют вибраторными.

Электромеханические осциллографы используют для визуального наблюдения и кратковременной (от долей секунды до десятков минут) записи мгновенных значений величин, меняющихся с частотой, не превышающей $5 \cdot 10^3$ Гц.

Для наблюдения и записи величин, меняющихся с повышенной и высокой частотой, а также очень быстро протекающих процессов, предназначены электронные осциллографы. В этих осциллографах измерительным механизмом служит электроннолучевая трубка, подвижным элементом которой является электронный луч. На светящемся экране трубки электронный луч чертит кривую изменения во времени измеряемой или контролируемой величины. В случае необходимости с помощью специальной фотоприставки эта кривая может быть сфотографирована. Благодаря практической безынерционности электронного луча электронные осциллографы дают возможность наблюдать и фотографировать весьма быстро изменяющиеся (с частотой до $1 \cdot 10^6$ и более герц) и быстро протекающие (до $1 \cdot 10^{-6}$ и менее секунд) процессы.

По количеству управляемых электронных лучей в электроннолучевой трубке осциллографы бывают однолучевыми и многолучевыми. В настоящее время нашей промышленностью выпускаются одно- и двухлучевые осциллографы. Двухлучевой электронный осциллограф позволяет наблюдать и фотографировать одновременно две изменяющиеся величины.

§ 23. САМОПИШУЩИЕ ПРИБОРЫ

Самопишущие приборы отличаются от обычных показывающих приборов наличием дополнительных специальных устройств: устройства для записи показаний и устройства для равномерного поступательного или кругового перемещения диаграммной бумаги. В зависимости от конструкции этих устройств запись кривой изменения измеряемой величины может быть непрерывной — сплошной линией — или точечной. Соответственно этому принято различать самопишущие приборы с непрерывной записью и приборы с точечной записью.

Приборы с непрерывной записью. В таких приборах изменение измеряемой величины записывается на специальной диаграммной бумаге с помощью пера (реже карандашом), связанного с подвижной частью измерительного механизма. Конструкция пера, применяемого в современных стационарных самопишущих приборах с непрерывной записью, показана на рис. 67,а.

На стрелкодержатель 1 подвешен с помощью проволочных выступов 4 полый металлический цилиндр 3, наполняемый специальными чернилами. Пером 2 служит впаянная в цилиндр изогнутая трубочка

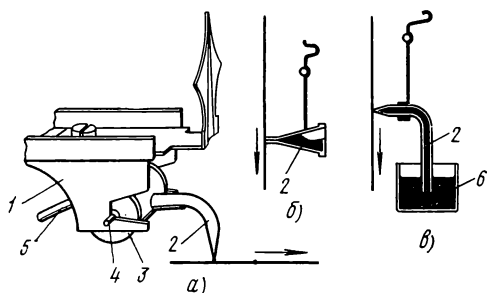


Рис. 67. Устройство перьев самопишущих приборов:

а — в виде цилиндра с чернилами, б — в виде конуса с чернилами, в — капиллярные с неподвижной чернильницей; 1 — стрелкодержатель, 2 — перо, 3 — цилиндр, 4 — проволочные выступы, 5 — противовес, 6 — чернильница

прижимаемая собственной массой свободным концом к диаграммной бумаге. Противовес 5 предназначен для регулирования нажима пера на бумагу.

В самопишущих приборах прежних конструкций применялись перья, более простые по устройству (рис. 67,б). Перо 2 представляло собой полый металлический конус с отверстием в вершине, подвешиваемый на стрелочный указатель прибора. Центр тяжести пера выбран так, что вершина конуса, наполнен-

ного чернилами, прилегает к диаграммной бумаге. На рис. 67,в показано перо другого типа — капиллярное 2 в виде подвешиваемой на стрелочном указателе прибора тонкой стеклянной трубки, изогнутой под прямым углом. При погружении одного конца трубки в неподвижную чернильницу 6 с чернилами второй заостренный конец перемещается по бумаге.

В самопишущих приборах, предназначенных для работы в полевых условиях и на подвижных установках, вместо пера часто применяют карандаш.

Конструкции записывающих устройств самопишущих приборов с непрерывной записью весьма разнообразны. Всем им, однако, свойствен один недостаток: перемещение записывающего устройства по диаграммной бумаге неизбежно вызывает дополнительный момент трения. Величина этого момента зависит от качества конструкции записывающего устройства, чернил, диаграммной бумаги и скорости ее перемещения. Для преодоления дополнительного момента трения необходим повышенный вращающий момент измерительного механизма.

Вращающий момент измерительного механизма самопишущего прибора с непрерывной записью должен быть не менее $0,1—0,25 \text{ мН} \cdot \text{м}$ ($10—25 \text{ г} \cdot \text{см}$). При меньшем вращающем моменте погрешности записи превышают допустимые пределы. Такой большой вращающий момент

можно получить в магнитоэлектрических и ферродинамических измерительных механизмах.

В приборах с непрерывной записью возможны различные формы записи изменения измеряемой величины: запись на бумажной ленте, на бумажном диске, на барабане и др. Наиболее распространена запись на бумажной ленте.

На рис. 68,а дан общий вид самопишущего прибора с записью на бумажной ленте, а на рис. 68,б — схема устройства и работа ленто-

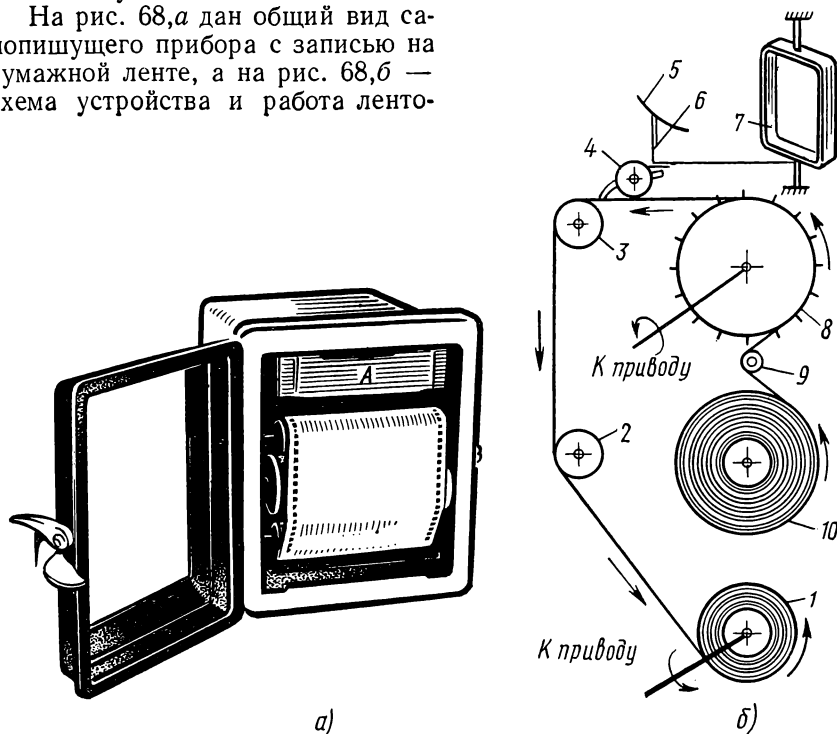


Рис. 68. Самопишущий прибор для записи на бумажной ленте:
а — общий вид, б — схема записи на бумажной ленте; 1 — катушка, 2,3 — направляющие ролики, 4 — перо, 5 — шкала, 6 — указатель, 7 — неподвижная часть, 8 — барабан, 9 — прижимной ролик, 10 — рулон

протяжного механизма. Рулон 10 свободно вращается на оси механизма. По длине ленты типографским способом напечатаны деления времени, а по ширине — деления измеряемой величины. Лента по краям имеет перфорированные отверстия, в которые входят штифты барабана 8 привода, ее протягивают через три ролика: прижимной 9 и направляющие 2 и 3 — на приемную катушку 1. Перо 4, механически связанное с указателем 6 неподвижной части 7 измерительного механизма, перемещается по диаграммной бумаге и оставляет на ней чернильный след, записывая кривую изменения во времени измеряемой величины. Одновременно по шкале 5 можно узнать ее значение в данный момент.

В зависимости от частоты изменения записываемой величины и продолжительности записи нужно выбрать соответствующую скорость пе-

ремещения диаграммной бумаги. Чем выше частота изменений измеряемой (контролируемой) величины, тем большей должна быть скорость перемещения бумаги. При недостаточной скорости перемещения диаграммной ленты кривая изменения величины получается плохо развернутой по времени. С другой стороны, чем выше скорость перемещения, тем больше расход диаграммной ленты за время записи. В современных самопишущих приборах с непрерывной записью скорость перемещения бумаги изменяется в широких пределах (ГОСТ 9999—62): 5, 10, 20, 40, 60, 120, 180, 240, 300, 600, 1200, 1800, 3600, 7200, 10 800 и 14 400 мм/ч.

Для изменения скорости перемещения бумаги лентопотяжные механизмы снабжаются редукторами со сменными парами зубчатых колес.

При записи на бумажном диске записывающее приспособление (перо), связанное механически со стрелочным указателем, перемещается по бумажному диску, укрепленному на вращающемся металлическом диске. При непрерывном соприкосновении пера с бумажным диском на последнем остается след в виде кривой изменения измеряемой величины. Основным достоинством такой формы записи является наглядность и удобство обозрения кривой изменения контролируемой величины за смену или за сутки.

При записи на барабане записывающее приспособление (перо, карандаш) перемещается по образующей равномерно вращаемого цилиндра, обтянутого диаграммной бумагой. Такая запись, как и запись на диске, применяется только в случаях очень медленных изменений измеряемой величины, например, в термографах, барографах, расходомерах, динамографах и т. п.

Для перемещения диаграммной бумаги в самопишущих приборах служат приводы следующих типов: от часового механизма, электрический, от часового механизма с электрическим подзаводом и от первичных часов. Из перечисленных типов более распространены первые два привода. Все типы приводов, кроме привода от часового механизма, должны быть снабжены специальным источником энергии. Поэтому в переносных самопишущих приборах применяют часовой механизм с ручным пружинным заводом. В качестве электрического привода используют малые синхронные двигатели, питаемые от сети переменного тока. Обычно частота переменного тока в сетях поддерживается с большой точностью, и синхронные двигатели делают в зависимости от числа пар полюсов 1500 или 3000 об/мин. С помощью редуктора скорость электропривода снижается до 2 об/мин.

Наша промышленность изготавливает специальные самопишущие приборы для регистрации аварийных процессов в энергетических установках. В таких приборах применяют особый привод, который обеспечивает малую скорость (10—60 мм/ч) перемещения диаграммной бумаги при нормальном режиме и большую скорость (порядка 10—20 мм/с) при возникновении аварии на контролируемом объекте. Переключение скорости перемещения диаграммной бумаги осуществляется автоматически с помощью особого реле.

Приборы с точечной записью. Как указывалось выше, удовлетворительная работа самопишущего прибора с непрерывной записью возможна при большом вращающем моменте измерительного механизма. Когда по условиям измерения нельзя использовать измерительные механизмы с большим вращающим моментом (большим собственным потреблением), а также когда необходимо одновременно записывать не одну, а несколько изменяющихся величин, применяют приборы с точечной записью. В таких приборах диаграммная лента перемещается так же, как и в рассмотренных выше приборах с непрерывной записью, но запись осуществляется не пером, а с помощью печатающего механизма.

Схема одной из применяемых конструкций печатающего механизма показана на рис. 69. Стрелка 4, поворачиваясь вместе с рамкой 3, не касается диаграммной ленты 7. Через определенные интервалы времени храповое колесо 1, приводимое в движение от лентопротяжного механизма, освобождает дужку 5, и та, поворачиваясь на оси 2, прижимает своей массой стрелку к диаграммной ленте 7. Так как между стрелкой и диаграммной бумагой помещена лента 6, пропитанная красящей мастикой, то после каждого такого касания на бумажной ленте остается след в виде точки. Периодичность этих касаний — от 20 до 5 с. Применяя разноцветные красящие ленты, перемена которых согласована с переключением измерительных цепей, можно одним прибором записывать изменение нескольких измеряемых величин. В этом случае перед каждым очередным опусканием дужки 5 над диаграммной бумагой 7 должна оказаться соответствующая красящая лента 6. Это достигается при помощи специального переключающего устройства.

В некоторых самопишущих приборах применяют электроискровую запись на специальной металлизированной бумаге. Искра, образуемая импульсом высокого напряжения между острием стрелочного указателя и проводящим металлизированным слоем, выжигает в последнем узкую полоску. Таким способом можно получить четкую черную линию записи на светлом фоне. Собственное потребление приборов с точечной записью значительно меньше, чем у приборов с непрерывной записью.

Самопишущие приборы по сравнению с обычными показывающими приборами имеют повышенные погрешности, источниками которых

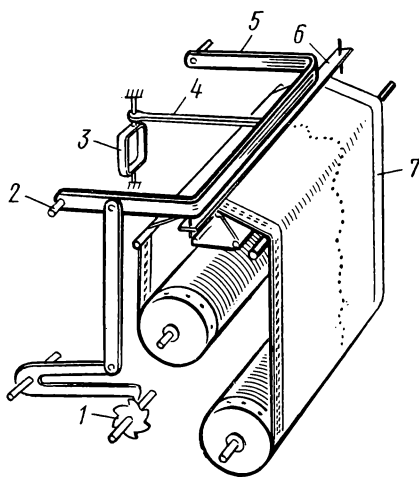


Рис. 69. Схема конструкции печатающего механизма:

1 — храповое колесо, 2 — ось, 3 — рамка, 4 — стрелка, 5 — дужка, 6 — прижимная лента, 7 — диаграммная бумага

являются: несовпадение нулевых отметок диаграммы и шкалы, возникающее при перекосах диаграммной бумаги; несовпадение сетки диаграммы с действительным значением регистрируемой величины; трение пера о бумагу. Самопишущие приборы по точности изготовляют не выше классов 1; 1,5.

§ 24. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ (СВЕТОЛУЧЕВЫЕ) ОСЦИЛЛОГРАФЫ

В настоящее время электромеханические или вибраторные осциллографы стали обязательной принадлежностью не только каждой электроизмерительной лаборатории, но находят самое широкое применение в биологии, медицине и других отраслях науки и техники. В нашей стране изготовляют электромеханические осциллографы, различные по типу и назначению. Несмотря на значительное разнообразие конструкций они состоят из следующих основных элементов: вибраторов (измерительных механизмов), оптических устройств для визуального наблюдения и фотозаписи кривых изменения исследуемых параметров, отметчиков времени, дополнительных устройств и принадлежностей.

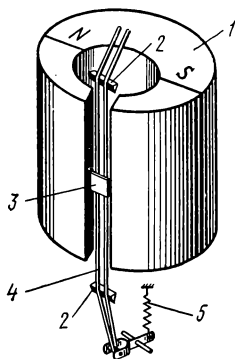


Рис. 70. Схема устройства петлевого вибратора:

1 — постоянный магнит, 2 — две призмы, 3 — зеркальце, 4 — петля, 5 — пружина

Вибраторы электромеханических осциллографов различают по назначению, принципу действия и конструкции. По назначению такие вибраторы подразделяются на вибраторы, служащие для наблюдения и записи изменений тока или напряжения, и вибраторы мощности для наблюдения и записи изменения во времени электрической мощности.

По принципу действия вибраторы бывают магнитоэлектрические и ферродинамические. Первые применяют для наблюдения и записи изменений тока или напряжения, а вторые — как вибраторы мощности.

Конструктивно магнитоэлектрические вибраторы оформлены в виде петлевых или рамочных. Схема устройства петлевого магнитоэлектрического вибратора показана на рис. 70. В воздушном зазоре между полюсными наконечниками постоянного магнита 1 помещена петля 4, выполненная из тонкой упругой ленточки фосфористой бронзы. Петля, натянутая пружиной 5, опирается на две призмы 2 из изоляционного материала. Наклеенное на петлю зеркальце 3 размером порядка $0,5 \times 1$ мм служит для светового отсчета и фотозаписи изменений исследуемой величины. При помощи зеркальца и оптического устройства малые угловые перемещения петли преобразуются в значительные линейные перемещения светового луча на экране и фотопленке. Весь механизм вибратора помещен в пластмассовый корпус, наполненный вязкой прозрачной кремнийорганической жидкостью для обеспечения необходимой степени успокоения. В корпусе против зер-

кальца вибратора имеется отверстие со вставленной в него линзой, куда проходит световой луч.

При протекании по петле 4 постоянного электрического тока появляется вращающий момент, под воздействием которого она отклоняется на некоторый угол, и соответственно перемещается на экране (пленке) отраженный от зеркала 3 световой луч. Если по петле протекает переменный ток, то на нее действует переменный вращающий момент. Так как петля обладает весьма малой инерцией, то под воздействием переменного вращающего момента она колеблется с частотой протекающего по ней переменного тока. Соответственно линейно перемещается и отраженный от зеркала 3 световой луч, оставляя на экране след в виде прямого отрезка длиной, пропорциональной двойной амплитуде тока.

Отношение линейного перемещения луча по экрану или пленке к величине тока, протекающего по петле, называется чувствительностью вибратора:

$$S_I = \frac{a}{I}.$$

Чувствительность вибратора является одной из основных характеристик, определяющих возможность его применения.

Другой характеристикой вибратора, от которой зависит область его использования, является частота f_0 собственных колебаний петли с наклеенным зеркальцем.

Каждый вибратор рассчитан на определенную частоту собственных колебаний и чувствительность, поэтому для расширения возможностей использования осциллографа к нему прилагается комплект вибраторов различной чувствительности для определенного частотного диапазона.

Нашей промышленностью серийно изготавливаются петлевые вибраторы с частотой собственных колебаний 1000 — 10 000 Гц и с чувствительностью (на пленке) 0,04—13,0 мм/мА.

Рамочные вибраторы отличаются от петлевых тем, что в воздушном зазоре постоянного магнита вместо петли устанавливается на растяжках миниатюрная, малоинерционная рамка, намотанная из стали более витков очень тонкой проволоки. Замена одного витка (петли) большим их числом значительно повышает чувствительность рамочных вибраторов по сравнению с петлевыми.

Конструкция и внешний вид рамочного вибратора показаны на рис. 71. В латунной трубке (стойке) 10 на растяжках 4 и 9 установлена рамка 6 и зеркальце 7. В стойку 10 вделаны пластины 5 из магнитномягкой стали, охватывающей активные стороны рамки. Стойка вставляется в латунный корпус 14 так, чтобы встроенные в корпус секторы 16 из магнитномягкой стали своими плоскостями соприкасались с пластинами 5 стойки. В корпусе 14 и стойке 10 имеются совпадающие отверстия 8 и 15 для проникновения через линзу, вставленную в отверстие 15 светового луча, к зеркальцу.

Верхняя растяжка укреплена в неподвижном стерженьке 11, а нижняя — в подвижном стерженьке 3, снабженном пружиной 1. С

помощью гайки 2 регулируют натяжение растяжек. Токоподводами к рамке служат растяжки и контакты 12 и 13.

Как показано на рис. 72, рамочные вибраторы осциллографа помещаются рядом друг с другом между полюсными наконечниками 1 магнита 2. Один из двух секторов корпуса вибратора входит в цилиндрическую выемку левого полюсного наконечника, а другой сектор соединяется с правым наконечником с помощью клина 3 из магнитномягкой стали, который, в свою очередь, прижимается к наконечнику винтом 5, проходящим через палец 4.

В отличие от петлевых вибраторов, имеющих, как указывалось выше, жидкостное успокоение, в рамочных вибраторах при-

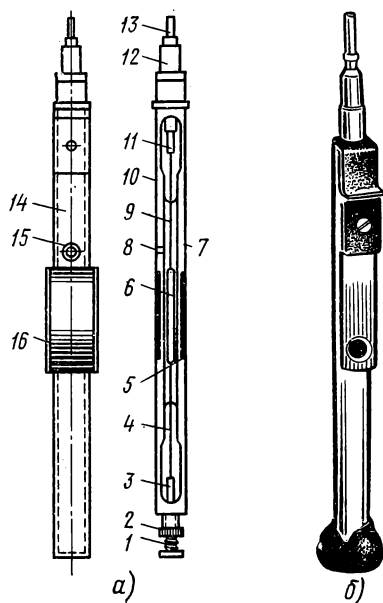


Рис. 71. Рамочный вибратор:

а — устройство, б — общий вид; 1 — пружина, 2 — гайка, 3 — подвижный стержень, 4, 9 — растяжки, 5 — пластина, 6 — рамка, 7 — зеркальце, 8, 15 — отверстия, 10 — стойка, 11 — неподвижный стержень, 12, 13 — контакты, 14 — корпус, 16 — секторы

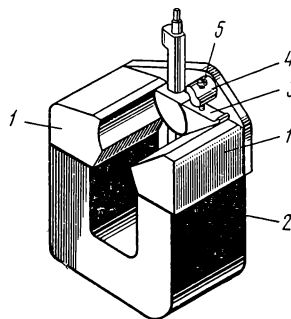


Рис. 72. Установка рамочных вибраторов:

1 — полюсные наконечники, 2 — магнит, 3 — клин, 4 — палец, 5 — винт

меняют электромагнитное успокоение, которое, однако, зависит от сопротивления внешней цепи. Чтобы уменьшить влияние внешнего сопротивления на степень успокоения, рамку вибратора обычно наматывают на алюминиевую пластинку, которая, как и алюминиевый каркас рамки магнитоэлектрического прибора, создает дополнительное успокоение.

В малочувствительных (маловитковых) рамочных вибраторах с чувствительностью ниже 75 мм/мА используют и жидкостное успокоение.

Вибраторы мощности по принципу действия и устройству аналогичны ферродинамическим ваттметрам. Токовая обмотка вибратора насажена на кольцевой сердечник из пермаллоя. В воздушный зазор этого сердечника помещена подвижная часть в виде петли с наклеенным на

нее зеркальцем. Весь измерительный механизм вибратора находится в пластмассовом корпусе, наполненном жидкостью для успокоения.

Оптическое устройство восьмивибраторного осциллографа для наблюдения и фотозаписи показано на рис. 73.

От лампы 1 пучок света проходит через конденсорную линзу 2 и диафрагму 3, делящую пучок света на количество световых лучей,

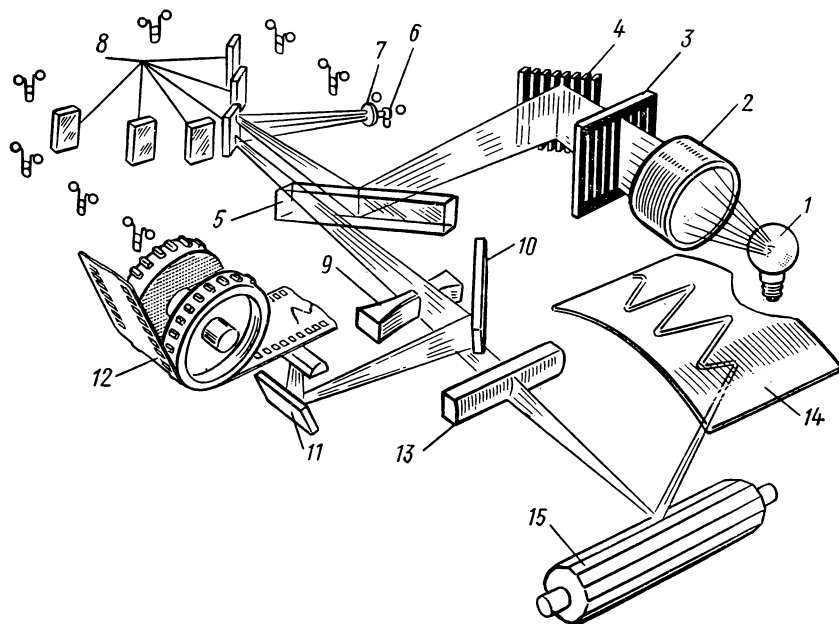


Рис. 73. Оптическое устройство восьмивибраторного электромеханического осциллографа:

1 — лампа, 2 — конденсорная линза, 3 — диафрагма, 4, 5 и 8 — поворотные зеркала, 6 — зеркала вибраторов, 7, 9 и 13 — оптические линзы, 10, 11 — зеркала, 12 — фото- пленка, 14 — матовый экран, 15 — барабан

соответствующее количеству вибраторов, — в данном случае на восемь лучей. Эти лучи, отражаясь от поворотных зеркал 4, 5 и 8, через оптические линзы 7 попадают на зеркало 6 вибраторов. Отраженные от них световые лучи снова проходят через линзы 7 и после отражения от зеркал 8 попадают частично на зеркало 10 и на сферическую линзу 3. Часть светового потока, попавшая на зеркало 10, после отражения от него и от зеркала 11 фокусируется линзой на фотопленку 12. Другая часть светового потока, пройдя через оптические линзы 9 и 13, попадает на зеркальный многогранный барабан 15, после отражения от которого падает на стеклянный матовый экран 14.

Если фотопленка и зеркальный многогранник неподвижны, а вибратор включен в цепь и обтекается переменным током, то отраженный от зеркальца световой луч будет «чертить» на экране и пленке вертикальную прямую линию — ординату, пропорциональную по высоте

двойной амплитуде тока вибратора. Если же вибратор выключен, а пленка перемещается и зеркальный многогранник вращается, то световой луч будет «чертить» на экране и пленке горизонтальную прямую линию — абсциссу.

При включенном вибраторе и одновременном равномерном поступательном перемещении пленки и вращении зеркального многогранника на экране и пленке получится изображение кривой изменения измеряемой величины во времени.

Благодаря применяемой оптике изображение на экране обычно получается большим, чем на пленке. Например, в осциллографе типа МПО-2 изображение на экране в четыре раза больше изображения на пленке.

Лентопротяжное устройство и зеркальный многогранник вращаются при помощи двигателя переменного или постоянного тока.

Если скорость вращения зеркального многогранника установить такой, что он будет поворачиваться на одну грань в течение времени, равного целому числу периодов исследуемой кривой, то изображение кривой на экране будет неподвижным. Скорость перемещения фотопленки устанавливают в соответствии с частотой исследуемой величины, поэтому лентопротяжный механизм осциллографа должен позволять регулировать скорость перемещения пленки.

Так, например, в осциллографе МПО-2 лентопротяжный механизм, снабженный коробкой скоростей для ступенчатого регулирования скорости и электромагнитной муфтой для плавного изменения скорости, позволяет изменять скорость перемещения фотопленки в пределах 1—5000 мм/с.

Отметчик времени предназначен для исследования полученной осциллограммы.

Масштабы ординат на осциллограмме устанавливают по известной чувствительности вибраторов, а для определения масштаба времени применяют специальные отметчики времени. С помощью таких отметчиков наносят на осциллограмму либо синусоиду с известным периодом, либо другие отметки с известным интервалом, и по ним определяют масштаб времени.

В современных осциллографах большое распространение получили так называемые микрофонные отметчики, записывающие на осциллограмме синусоиду. Такие отметчики обычно изготавливают на частоту 500 Гц, поддерживаемую с точностью до 1 %. Этот отметчик представляет собой электромагнит, якорек которого вместе с укрепленным на нем зеркальцем колеблется с определенной частотой. От зеркальца отражается световой луч, записывающий на фотопленке синусоиду с заданным периодом. Механизм отметчика помещен в таком же, как и вибраторы, пластмассовом корпусе, но не наполненном жидкостью.

В зависимости от скорости перемещения фотопленки скорость выбирается соответственно частоте исследуемого процесса; синусоида микрофонного отметчика времени может получиться либо очень растянутой, либо слишком сжатой. В обоих случаях обработка осциллограммы будет затруднительной.

Существуют электронный и щелевой отметчики с переменной частотой колебаний, позволяющие выбрать оптимальную частоту отметок соответственно данной скорости перемещения фотопленки.

Вспомогательные устройства применяют для расширения области использования осциллографа. Измеряемые токи могут превосходить по величине номинальные значения токов вибраторов.

Расширение области использования вибраторов достигается с помощью шунтов и добавочных сопротивлений или с помощью измерительных трансформаторов. Набор шунтов и добавочных сопротивлений входит обычно в комплект осциллографа так же, как и специальный фотоувеличитель для увеличения в печати осциллограмм.

§ 25. ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Электроннолучевой осциллограф (рис. 74,а) состоит из нескольких узлов: электроннолучевой трубки, усилителя вертикального и горизонтального отклонений, генератора пилообразного напряжения, блока питания.

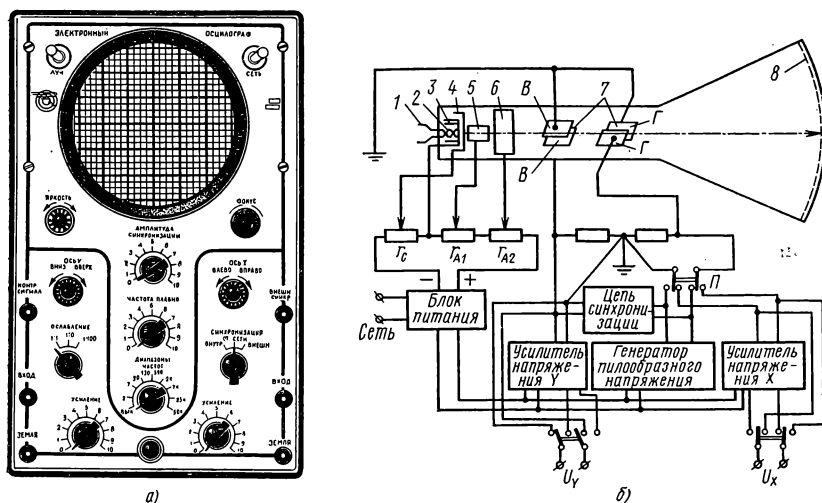


Рис. 74. Электронный осциллограф CI-1:

а — вид передней панели, б — структурная схема; 1 — спираль, 2 — фарфоровая трубочка, 3 — катод, 4 — управляющий электрод, 5 — фокусирующий электрод, 6 — ускоряющий анод, 7 — электронный луч, 8 — экран

Электроннолучевая трубка (ЭЛТ) является основным блоком осциллографа и служит его измерительным механизмом, как вибратор в электромеханическом осциллографе. Конструктивно электроннолучевая трубка оформлена (рис. 74,б) в виде стеклянной колбы конусообразной формы со слегка выпуклым широким основанием. В трубке создан высокий вакуум, и в ее узкой горловине размещены металлические электроды.

Катод 3, выполненный в виде металлического цилиндра со слегка вогнутой торцевой поверхностью, снабжен подогревателем со спиралью 1, помещенной внутри фарфоровой трубочки 2. Когда спираль 1 включена под напряжение накала, по ней протекает ток, преобразующийся в тепло, и свободные электроны излучаются с нагретого катода 3. Для усиления излучения на торцевую поверхность нанесен оксидный слой. Против торцевой части катода 3 расположен управляющий электрод 4 в виде металлического цилиндра с небольшим отверстием, роль которого аналогична роли управляющей сетки в электронных лампах. На определенном удалении от него расположен фокусирующий анод 5, а на некотором расстоянии от последнего — ускоряющий анод 6. Оба анода имеют цилиндрическую форму. Через отверстие в электроде 4 пролетают свободные электроны, излученные нагретым катодом. Управляющему электроду 4 придан отрицательный потенциал относительно потенциала катода 3, а аноды 5 и 6 имеют положительный потенциал по отношению к нему, поэтому электроны, обладающие отрицательным зарядом, отталкиваются от поверхности управляющего электрода 4 к его оси и через отверстие устремляются к анодам, имеющим положительные потенциалы.

Широкое основание колбы покрыто изнутри особым составом — люминофором, который светится при попадании на него свободных электронов. Изменяя потенциалы управляющего электрода 4 и анода 6, можно изменять количество и скорость электронов, покидающих катод, и, следовательно, яркость светящего пятна на экране 8. А регулируя потенциал фокусирующего анода 5 и тем самым изменяя конфигурацию электрического поля, можно фокусировать пучок электронов, добиваясь образования маленькой ($\varnothing 0,2—0,5$ мм) светящейся точки на экране. Потенциал анода 6 обычно поддерживается постоянным, а потенциалы управляющего электрода и фокусирующего анода 5 регулируются в процессе подготовки осциллографа к работе.

Электроды, размещенные в горловине трубки, формируются в направленный сфокусированный электронный луч 7, который проходит через две пары взаимно перпендикулярных металлических пластин $B—B$ и $\Gamma—\Gamma$, называемых отклоняющими.

Электроны, обладая отрицательным зарядом, притягиваются пластиной, имеющей положительный потенциал, и отталкиваются пластиной, имеющей отрицательный потенциал. Подавая на отклоняющие пластины соответствующее напряжение, можно получить большее или меньшее отклонение электронного луча вверх или вниз, вправо или влево и изменять таким образом его направление.

В зависимости от величины и знака разности потенциалов пластин $B—B$ электронный луч перемещается в вертикальном направлении (ось Y), а в зависимости от знака и величины разности потенциалов пластин $\Gamma—\Gamma$ — в горизонтальном направлении (ось X).

Для обеспечения линейного изменения к пластинам $\Gamma—\Gamma$ прикладывается пилообразное напряжение U_p . Такое напряжение периодически в течение некоторого времени t_1 равномерно возрастает до определенной величины, а затем за очень короткий промежуток времени t_2 убывает до нуля. Под воздействием пилообразного напряжения (при

отсутствии напряжения на пластинах $B-B$) светящееся пятно перемещается на экране равномерно по горизонтальной линии (слева направо) в течение времени t_1 , после чего в течение времени t_2 быстро возвращается в исходное положение (справа налево). При этом на экране будет видна светящаяся непрерывная горизонтальная линия — ось времени.

Если же к пластинам $B-B$ приложить синусоидальное напряжение U_y , то на экране получится развертка этого напряжения (рис. 75).

Когда продолжительность полного горизонтального перемещения светящегося пятна по экрану равна периоду T исследуемой величины U_y , на экране виден только один период кривой изменения; если же частота развертывающего напряжения U_p в n раз меньше частоты исследуемой величины, то на экране видны n периодов кривой. Изображение будет неподвижным при условии, что отношение частот исследуемого и развертывающего напряжений выражается целым числом.

Усилители вертикального и горизонтального отклонений служат для того, чтобы можно было получить на экране достаточно большой масштаб кривой исследуемой величины при малых значениях напряжений, подаваемых на отклоняющие пластины. Характеристики электронных усилителей вертикального и горизонтального отклонений в значительной мере определяют качество работы электронного осциллографа, его чувствительность и области его использования.

Генератор пилообразного напряжения относится к числу важных узлов электронного осциллографа. Одна из простейших принципиальных схем такого генератора с тиратроном (ионной трехэлектродной лампой) показана на рис. 76,а.

Конденсатор C заряжается от источника постоянного тока с напряжением U через большое сопротивление r до тех пор, пока напряжение U_c на его обкладках не станет равным напряжению зажигания тиратрона U_3 .

Когда напряжение U_c на обкладках конденсатора будет равно напряжению U_3 , тиратрон зажжется и конденсатор начнет разряжаться, так как горящий (открытый) тиратрон представляет значительно меньшее сопротивление, чем сопротивление r . Для ограничения амплитуды разрядного тока через тиратрон в цепь его анода включено сопротивление r_a . С разрядкой конденсатора напряжение на его обкладках падает и достигает значения, равного напряжению U_n погасания тиратрона. В этот момент тиратрон гаснет, его сопротивление становится большим, и конденсатор начинает снова заряжаться. Напряжение U_3

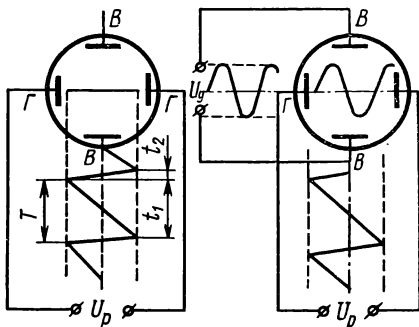


Рис. 75. Схема процесса развертки во времени исследуемого напряжения

зажигания тиратрона зависит от напряжения $U_{ст}$ на его сетке. Поэтому, меняя делителем напряжения D напряжение $U_{ст}$, можно регулировать величину напряжения зажигания U_3 .

Таким образом, напряжение на обкладках конденсатора за время заряда t_3 равномерно возрастает, а потом за время разряда t_p быстро падает. Этот процесс повторяется с периодом $T = t_p + t_3$. Вид кривой напряжения на обкладках конденсатора показан на рис. 76, б. Регулируя напряжение $U_{ст}$ на сетке тиратрона и произведение rC , можно

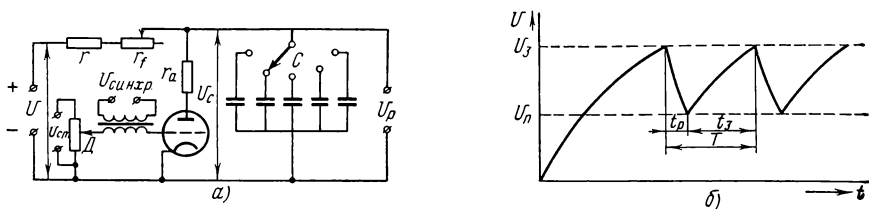


Рис. 76. Тиратронный генератор пилообразного напряжения:
а — упрощенная схема, б — кривая напряжения U_p

изменять амплитуду и частоту снимаемого с генератора развертывающего пилообразного напряжения U_p . Для получения неподвижного изображения служит специальная цепь синхронизации, показанная на рис. 76, а в виде трансформатора в цепи сетки тиратрона. На первичную обмотку этого трансформатора подается исследуемое напряжение, что приводит к синхронизации развертывающего напряжения с исследуемым.

Блок питания предназначен для питания всех цепей: ЭЛТ, генератора развертки, усилителей и сигнализации (сигнальные лампочки), а также контроля их работы. Этот блок представляет собой совокупность силового трансформатора, нескольких выпрямителей (обычно кенотронных) и предохранителей.

Для питания цепей электроннолучевой трубки нужно постоянное напряжение порядка 600—5000 В (в зависимости от типа трубки), а для питания цепей развертки и усилителей — напряжение 200—500 В и ток 20—200 мА. Помимо этого, надо обеспечить питание цепей накала ЭЛТ и остальных электронных ламп напряжением 6—12 В. Современные электронные осциллографы рассчитаны на питание от сети переменного тока напряжением 127 и 220 В. Блок питания, генератор развертывающего напряжения и усилители размещены в одном корпусе с блоком электроннолучевой трубки. Управление всеми блоками производится рукоятками, выведенными на лицевую панель корпуса. Около каждой рукоятки сделана на панели соответствующая поясняющая надпись. Внешний вид передней панели и принципиальная структурная схема современного электронного осциллографа типа С1-1 показаны на рис. 74. Яркость и фокусировка электронного луча осуществляются при помощи делителя напряжения, состоящего из регулируемых сопротивлений r_C ; r_{A1} и r_{A2} (см. рис. 74, б), подключаемых

к блоку питания. Исследуемое напряжение U_y подается непосредственно или через усилитель на отклоняющие пластины $B-B$. На пластины $\Gamma-\Gamma$ через переключатель P поступает напряжение U_x от какого-либо постороннего источника или пилообразное напряжение от генератора развертки. Напряжение развертки через специальные устройства, влияющие на напряжение управляющего электрода (см. рис. 76), синхронизируется с исследуемым напряжением.

Степень усиления исследуемого и развертывающего напряжений регулируется в определенных пределах. Если исследуемое напряжение больше допустимого, то оно подается на отклоняющие пластины через делитель напряжения.

Основными характеристиками электронных осциллографов являются: чувствительность по напряжению в миллиметрах отклонения электронного луча, приходящегося на 1 В поданного на отклоняющие пластины напряжения (мм/В), и диапазон частот развертывающего напряжения. Главный недостаток этих осциллографов — ограниченность количества одновременно исследуемых процессов.

По сравнению с электромеханическими электронные осциллографы имеют ряд достоинств, главными из которых являются:

широкий диапазон частот, т. е. возможность наблюдать и исследовать периодические процессы с частотой от единиц герц до сотен мегагерц и непериодические процессы продолжительностью от нескольких минут до 10^{-10} с;

возможность исследования зависимости одного процесса как функции другого;

высокая чувствительность по напряжению и благодаря применению усилителей широкий диапазон исследуемых величин — от долей милливольта до сотен и тысяч вольт;

малое, значительно меньшее, чем у электромеханического осциллографа, собственное потребление или, иначе говоря, большое входное сопротивление.

Электронные осциллографы получили весьма широкое распространение во всех отраслях науки и техники.

Контрольные вопросы

1. Для чего служат регистрирующие приборы?
2. Какие самопишущие приборы вам известны?
3. Как устроены приборы с непрерывной записью? С точечной записью?
4. Что такое осциллограф? Для чего он предназначен?
5. Опишите основные узлы электромеханического осциллографа.
6. Дайте характеристику основных узлов электроннолучевого осциллографа. Как они работают?

Глава V

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

§ 26. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Какие бы приборы — сравнения или непосредственной оценки — ни использовались, результат измерения может быть получен прямо или косвенно.

В первом случае получают значение измеряемой величины по отсчетному устройству измерительного прибора или в результате сравнения ее с образцовой мерой, например, ток по амперметру, сопротивление на мосте, э. д. с. и напряжение на потенциометре.

Во втором случае в результате измерения получают значения других величин, с которыми измеряемая величина находится в определенной, заранее известной зависимости. Например, мощность P_x постоянного тока определяется по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V :

$$P_x = I_A U_V.$$

Сопротивление r_x , измеряемое на постоянном токе вольтметром и амперметром:

$$r_x = \frac{U_V}{I_A}.$$

Коэффициент мощности $\cos \varphi$, подсчитанный по показаниям ваттметра, вольтметра и амперметра:

$$\cos \varphi = \frac{P_W}{U_V I_A}.$$

§ 27. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Прибор, включенный в исследуемую электрическую цепь, должен по возможности меньше изменять ее параметры. Поэтому желательно, чтобы амперметр имел внутреннее сопротивление, равное нулю, а вольтметр — равное бесконечности. Тогда амперметр, включенный в цепь для измерения тока, не изменит сопротивления цепи, и в его обмотке не произойдет падения напряжения; вольтметр, подключенный для измерения напряжения, не изменит проводимости цепи и не будет потреблять тока.

Практически осуществить эти условия невозможно, и поэтому лучшим считается тот амперметр, который имеет наименьшее внутреннее

сопротивление (а значит, и наименьшее собственное потребление), и тот вольтметр, у которого внутреннее сопротивление больше (или, как чаще оценивают, у которого сопротивление в омах, приходящееся на 1 В шкалы, больше). Например, из двух вольтметров на 140 В каждый и с внутренними сопротивлениями 14 000 и 28 000 Ом считается лучшим второй, так как у него приходится в два раза больше Ом на 1 В, чем в первом: 200 Ом/В вместо 100 Ом/В.

Важно знать, приборы каких систем и в каких случаях имеют преимущество. Надо также учитывать, что даже такие простые измерительные приборы, как амперметр и вольтметр, могут быть включены иногда неправильно, что нередко приводит к нежелательным последствиям.

В цепях постоянного тока при токах менее 250 мА рамки магнитоэлектрических миллиамперметров включают непосредственно в сеть; при токах от 0,5 до 30 А магнитоэлектрические амперметры включают с внутренним шунтом, а вольтметры при напряжении до 600 В — с внутренним добавочным сопротивлением. При токах выше 30 А и напряжениях выше 600 В, как правило, магнитоэлектрические амперметры снабжают наружными шунтами, а вольтметры — наружными добавочными сопротивлениями. Наружные шунты включают в сеть токовыми зажимами, а к потенциальным зажимам подключают амперметр.

Неправильное включение шунтов и добавочных сопротивлений может не только резко снизить точность измерения, но и привести к выходу из строя аппаратуры.

Наша промышленность выпускает магнитоэлектрические приборы высоких классов точности, широких пределов измерения тока и напряжения. Магнитоэлектрические лабораторные приборы, как правило, выпускают универсальными, многопредельными.

При выборе типа прибора для цепей переменного тока нужно обращать внимание не только на требуемый предел измерений, но и на частоту. Для измерения действующих значений переменных токов и напряжений технической частоты (50 Гц) используют электромагнитные и электродинамические амперметры и вольтметры, включаемые в цепь непосредственно или через измерительные трансформаторы (рис.77).

Следует иметь в виду, что электродинамические приборы показывают одинаково как при переменном, так и при постоянном токе, в то время как показания электромагнитных приборов в цепи переменного тока несколько меньше, чем в цепи постоянного тока. Это объясняется потерями на перемагничивание и вихревые токи в сердечнике.

Электромагнитные и электродинамические амперметры и вольтметры обычно градуируют и поверяют либо на переменном токе промышленной частоты, либо на постоянном токе. При измерениях на повышенных частотах, чтобы избежать значительных погрешностей, эти приборы необходимо вновь поверять и регулировать.

В качестве миллиамперметров переменного тока технической частоты чаще всего используют приборы выпрямительной и электродинамической систем. За последние годы киевский завод «Точэлектроприбор» начал серийный выпуск электромагнитных миллиамперметров. Малые

величины переменных напряжений технической частоты измеряют преимущественно приборами выпрямительной и электронной систем. В цепях переменного тока повышенной и высокой частоты величины тока и напряжения надо измерять только приборами термоэлектрической и электронной систем.

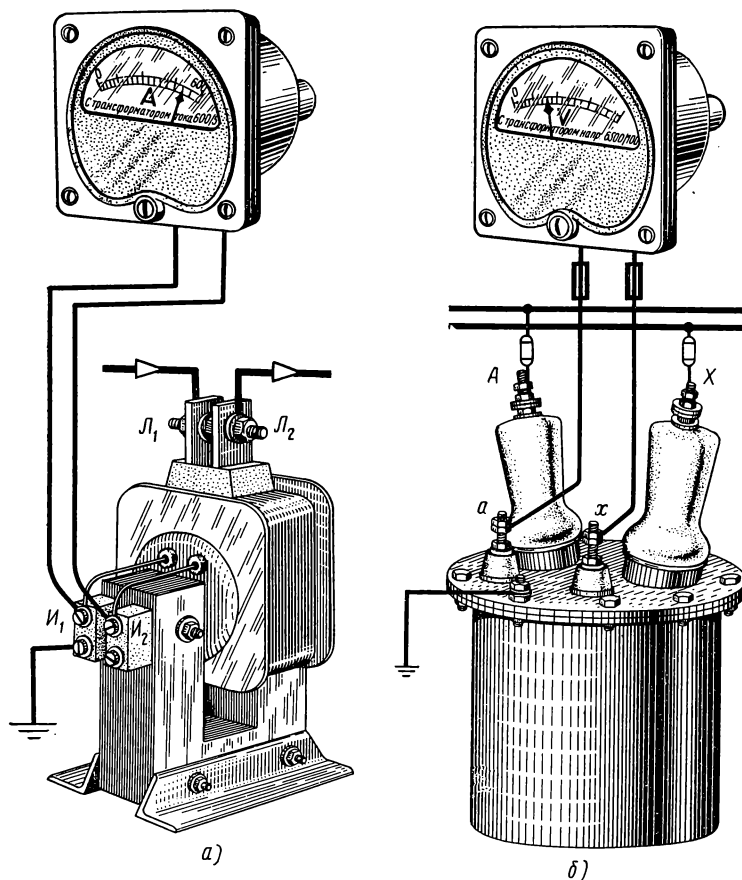


Рис. 77. Включение через измерительные трансформаторы:
а — амперметра, б — вольтметра

Для точных измерений тока и напряжения применяют потенциометры. Схемы измерения тока и напряжения на потенциометрах аналогичны схемам градуировки амперметра и вольтметра компенсационным методом, приведенным в § 52.

§ 28. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

Мощность в цепях постоянного тока при неизменных напряжении и нагрузке может быть измерена амперметром и вольтметром магнитоэлектрической системы.

Помимо неудобства одновременного отсчета показаний двух приборов, мощность амперметром и вольтметром измеряется с неизбежной погрешностью: результат такого измерения всегда больше действительного значения мощности на величину потребляемой мощности амперметром или вольтметром. Это особенно надо иметь в виду при измерении малых мощностей.

При колебании нагрузки удобнее измерять мощность в цепи постоянного тока одним прибором — ваттметром, так как облегчается отсчет и уменьшается погрешность измерения.

Выбирая пределы измерения ваттметра по току или напряжению, надо стремиться, чтобы при данных нагрузках в исследуемой цепи прибор работал во второй половине шкалы.

Для измерения мощности в цепи переменного тока амперметра и вольтметра недостаточно, так как она зависит не только от напряжения и тока, но и от коэффициента мощности $\cos \varphi$. Можно было бы измерить мощность переменного тока тремя приборами: амперметром, вольтметром и фазометром. Однако такое измерение неудобно, так как трудно одновременно отсчитать по трем приборам значения измеряемых величин и, самое главное, общая погрешность измерения в этом случае определялась бы погрешностями трех приборов. Поэтому для измерения мощности в цепях переменного тока применяют только ваттметры.

При этом следует помнить, что при низком $\cos \varphi$ цепи, в которой измеряется мощность, ваттметр незаметно может оказаться значительно перегруженным по току, например, электродинамический ваттметр с $U_n = 150$ В и $I_n = 5$ А, включенный в цепь с $\cos \varphi = 0,1$, при номинальном напряжении сети $U = 150$ В отклонится на всю шкалу только в том случае, если ток $I = 50$ А, а при токе в сети, равном номинальному току прибора $I = I_n = 5$ А, ваттметр отклонится лишь на одну десятую шкалы.

Наша промышленность выпускает специальные ваттметры для цепей с пониженным коэффициентом мощности ($\cos \varphi = 0,1—0,3$). Если ваттметр градуируют при $\cos \varphi$, отличном от единицы, то на шкале прибора делают соответствующую надпись, при этом шкала ваттметра будет рассчитана на мощность, меньшую произведения $U_n I_n$. Например, стрелка ваттметра с номинальным напряжением $U_n = 120$ В и номинальным током $I_n = 5$ А при $\cos \varphi = 0,8$ отклонится на всю шкалу при мощности 480, а не 600 Вт.

При измерении мощности трехфазного тока применяют различные схемы включения ваттметров в зависимости от системы проводки (трехпроводная или четырехпроводная), нагрузки (симметричная или несимметричная) и схемы соединения нагрузки (звезда или треугольник).

При симметричной нагрузке в трехпроводной сети (трехфазные электродвигатели) и соединении звездой мощность всей цепи можно измерить одним однофазным ваттметром, включенным по схеме рис. 78,а. Так как ваттметр подключен к фазному напряжению и через его обмотку протекает линейный ток, равный в этом случае фазному, то он показывает мощность одной фазы:

$$P_w = U_\phi I_\phi \cos \varphi.$$

Нагрузка равномерная, поэтому общая мощность трехфазной нагрузки

$$P_{3\phi} = 3P_W = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi. \quad (35)$$

Если нагрузка симметричная и соединена в треугольник, то включить токовую обмотку ваттметра в фазу несколько затруднительно (необходимо предварительно разомкнуть треугольник); в подобных случаях ваттметр включают с искусственной нулевой точкой по схеме,

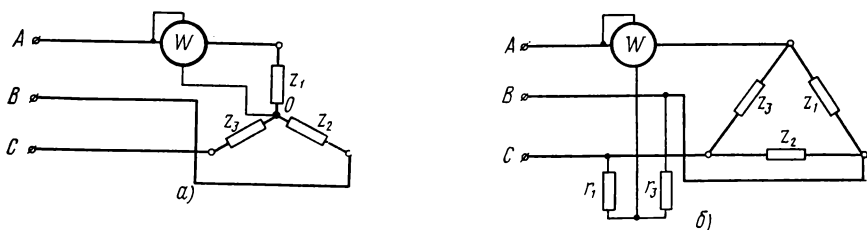


Рис. 78. Схема включения ваттметра для измерения фазной мощности симметричной нагрузки:

a — при соединении звездой, *б* — при соединении треугольником

изображенной на рис. 78,б. Искусственная нулевая точка представляет собой три резистора, соединенных в звезду. Сопротивления лучей звезды должны находиться в следующем соотношении:

$$r_1 = r_2 = r_V,$$

где r_V — сопротивление параллельной обмотки ваттметра.

Как и при соединении нагрузки звездой, ваттметр в этом случае измеряет мощность одной фазы.

В трехпроводной сети при любой нагрузке (равномерной и неравномерной) мощность измеряют двумя однофазными ваттметрами $W1$ и $W2$ по схеме, изображенной на рис. 79.

При равномерной нагрузке показания каждого из этих двух ваттметров будут различными в зависимости от $\cos \varphi$:

$$P_1 = UI \cos(\varphi + 30^\circ),$$

$$P_2 = UI \cos(\varphi - 30^\circ),$$

где U и I — линейные напряжение и ток.

Общая мощность P равна сумме показаний обоих ваттметров:

$$P = (P_1 + P_2).$$

По мере снижения $\cos \varphi$ нагрузки показания ваттметра $W1$ будут увеличиваться, а ваттметра $W2$ — уменьшаться. Когда $\cos \varphi$ станет равным 0,5, ваттметр $W1$, включенный в отстающую фазу, покажет нуль, а ваттметр $W2$ — всю мощность трехфазного тока. При $\cos \varphi$,

меньшем 0,5, показания ваттметра $W1$ будут отрицательными (чтобы их отсчитать, надо переключить обмотку тока или, как это делается в ваттметрах с переключателем, обмотку напряжения), а ваттметра $W2$ — положительными. Общая мощность трехфазного тока в этом случае равна разности показаний обоих ваттметров.

В четырехпроводной цепи мощность измеряют тремя однофазными ваттметрами, включенными по схеме, изображенной на рис. 80. Мощность трехфазного тока равна сумме показаний трех ваттметров.

Отечественная промышленность выпускает трехфазные ваттметры, представляющие собой сочетание двух (для трехпроводной цепи) или

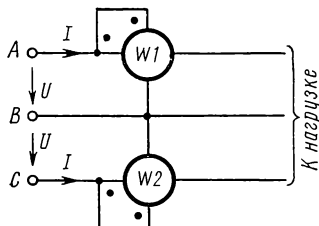


Рис. 79. Схема измерения мощности двумя ваттметрами

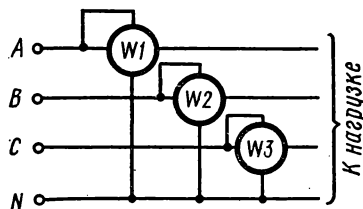


Рис. 80. Схема измерения мощности в четырехпроводной трехфазной сети

трех (для четырехпроводной цепи) измерительных механизмов, действующих на одну ось с указателем (стрелкой) и оформленных конструктивно в общем корпусе с одной шкалой. Такой ваттметр, включенный в цепь трехфазного тока по соответствующей схеме (см. рис. 79 и 80), непосредственно измеряет общую мощность цепи.

Кроме активной, измеряют также и реактивную мощность. Для этой цели наша промышленность выпускает так называемые реактивные ваттметры (варметры). Реактивную мощность в трехфазной сети можно измерить и обычными ваттметрами. На рис. 81, а показана схема включения обычного ваттметра в трехпроводную трехфазную систему с симметричной нагрузкой для измерения реактивной мощности.

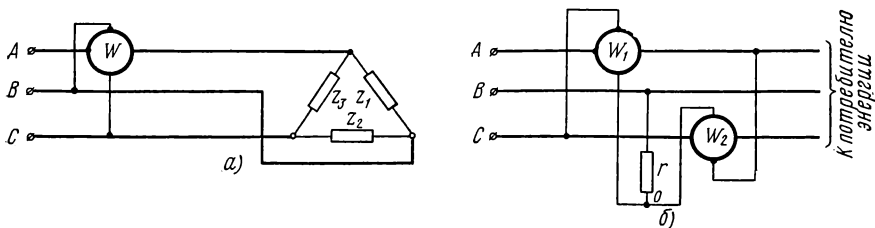


Рис. 81. Схемы измерения реактивной мощности в трехфазной трехпроводной цепи:

а — при симметричной нагрузке, б — при несимметричной нагрузке

Для данного случая реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3} P_W, \quad (36)$$

где P_W — мощность, показанная ваттметром; Q — реактивная мощность трехфазной системы.

При несимметричной нагрузке реактивную мощность трехфазной сети можно измерить двумя обычными ваттметрами, но при этом их надо включить, как показано на схеме, приведенной на рис. 81,б. Общая реактивная мощность равна сумме показаний обоих приборов, умноженной на $\sqrt{3}$, т. е.

$$Q = \sqrt{3} (P_{1W} + P_{2W}). \quad (37)$$

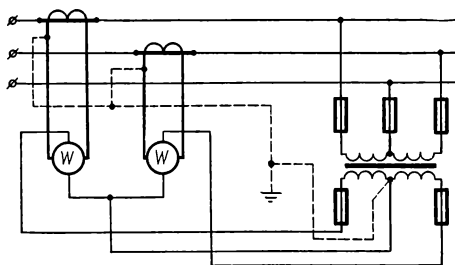


Рис. 82. Схема включения двух ваттметров через трансформаторы тока и напряжения

Сопротивление r в этом случае должно быть равно сопротивлению параллельной цепи каждого из ваттметров.

Ваттметры в цепи переменного тока часто включают через измерительные трансформаторы тока и напряжения. На рис. 82 показана схема включения ваттметров в трехфазную сеть высокого напряжения с применением измерительных трансформаторов тока и напряжения (см. § 44).

Как и в случае измерения тока и напряжения, при измерении мощности необходимо помнить, что показания электродинамических и ферродинамических ваттметров при частотах выше 150—200 Гц имеют заметную погрешность.

Наша промышленность выпускает специальные ваттметры для измерения мощности в цепях повышенной (до 8000—10 000 Гц) частоты.

§ 29. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Электрические сопротивления соответственно техническим возможностям и методам их измерения можно условно разделить на три группы: малые сопротивления — до 1 Ом; средние сопротивления — от 1 до 100 000 Ом; большие сопротивления — больше 100 000 Ом.

Последовательные обмотки измерительных приборов и аппаратов, якорные обмотки электрических машин, короткие провода и шины обладают малым сопротивлением; обмотки напряжения измерительных приборов, обмотки возбуждения электрических машин и аппаратов, линии передачи и т. п. характеризуются средними сопротивлениями; сопротивления изоляции относятся к большим сопротивлениям.

В зависимости от величины сопротивления и необходимой точности результата применяют различные методы их измерения. Возможны следующие методы измерения сопротивлений:

- 1) косвенное измерение с помощью амперметра и вольтметра;
- 2) измерение на мостах и потенциометрах;
- 3) прямое измерение омметром.

Метод амперметра и вольтметра. Сущность его состоит в том, что искомое сопротивление определяют на основании закона Ома по данным измерения напряжения и тока как частное от деления показания вольтметра на показание амперметра:

$$r_x = \frac{U_V}{I_A} . \quad (38)$$

На рис. 83 показаны две возможные схемы включения амперметра и вольтметра для измерения сопротивления. Независимо от того, как будут включены приборы, результат, полученный по их показаниям, будет отличаться от действительного значения измеряемого сопротивления. Это объясняется тем, что в схеме, изображенной на рис. 83,а, амперметр покажет ток I_A , больший, чем ток, протекающий по измеряемому сопротивлению I_x , на величину тока вольтметра I_V . Таким образом, результат, полученный по формуле (38), будет меньше действительного значения r_x .

Вольтметр, включенный по схеме, изображенной на рис. 83,б, покажет напряжение U_V , большее напряжения U_x , приложенного к измеряемому сопротивлению r_x , на величину падения напряжения $\Delta U = I_A r_A$ в амперметре; таким образом, результат, определяемый по формуле (38), будет больше действительного значения r_x . Для получения результатов без указанных погрешностей нужно знать сопротивления приборов, а значения измеряемого сопротивления подсчитывать по следующим формулам:

для схемы рис. 83,а

$$r_x = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{r_V}} , \quad (39)$$

и для схемы рис. 83,б

$$r_x = \frac{U_V - I_A r_A}{I_A} . \quad (40)$$

Если сопротивления приборов неизвестны, то малые сопротивления, соизмеримые с сопротивлением амперметра, следует измерять по схеме, изображенной на рис. 83, а, а сопротивления, соизмеримые с сопротивлением вольтметра, — по схеме, показанной на рис. 83, б. Большие сопротивления (выше 100 кОм) часто определяют с помощью гальванометра и вольтметра; этот способ в принципе не отличается от измерения средних сопротивлений амперметром и вольтметром, но применяется при малых токах в цепи.

На рис. 84 показана схема измерения поверхностного сопротивления изоляционного материала при помощи гальванометра и вольтметра.

Если в проводнике ток протекает по всему объему, то в изоляционных материалах он направлен по двум путям: по поверхности материала и по его объему. Соответственно этому различают для изоляционных материалов объемное и поверхностное сопротивления электрическому току.

При измерении поверхностного сопротивления нужно обеспечить, чтобы через гальванометр протекал только ток I_{π} , идущий по поверх-

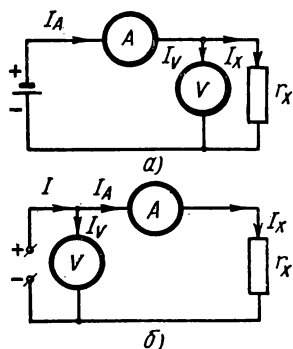


Рис. 83. Схема включения приборов для измерения сопротивлений:
а — соизмеримых с r_A ,
б — соизмеримых с r_V

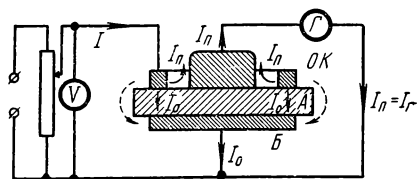


Рис. 84. Схема измерения поверхностного сопротивления изоляционных материалов при помощи гальванометра:
А — исследуемый изоляционный материал, Б — электроды, к которым приложено напряжение, ОК — охранный кольцо, I_0 — ток, протекающий по объему изоляционного материала, I_{π} — ток, протекающий по поверхности изоляционного материала

ности испытуемого образца А. Для этой цели служит кольцо ОК. Токи I_0 , идущие по объему образца, минуя гальванометр, направляют к электроду Б.

Поверхностное сопротивление r_{π} вычисляется по формуле

$$r_{\pi} = \frac{U_V}{I_{\pi}},$$

где U_V — показание вольтметра, I_{π} — ток, измеренный при помощи гальванометра Г.

Измерение сопротивлений мостом. Для измерения сопротивления необходимо прежде всего подсчитать приблизительную величину измеряемого сопротивления по числу витков, диаметру и материалу провода, из которого намотан резистор, средней длине витка и другим известным показателям.

Соответственно ориентировочной величине сопротивления выбирают по паспортным данным моста (обычно приводимым на его крышке) источник питания (внутренний или внешний).

Для питания моста от внешнего источника включают в цепь питания реостат для регулирования тока, амперметр (миллиамперметр) для контроля тока и ключ размыкания цепи.

Выбрав какое-либо значение отношения плеч, устанавливают последовательно два крайних значения плеча сравнения и проверяют кратковременным включением, в какую сторону отклонится указатель гальванометра. Если при этих значениях плеча сравнения указатель гальванометра отклоняется в противоположные стороны, то возможно будет уравновесить мост и, следовательно, измерить определяемое сопротивление. Если же гальванометр отклоняется в одну сторону, то надо подобрать другое отношение плеч.

Отношение плеч $\frac{r_3}{r_2}$ следует всегда выбирать таким, чтобы при равновесии моста были использованы в отсчете все декады плеча сравнения r_1 . Иначе говоря, отношение плеч нужно выбирать таким, чтобы был обеспечен подсчет значения измеряемого сопротивления с наибольшим числом знаков. Например, при измерении сопротивления в 2000 Ом при четырехдекадном плече сравнения (1000×10 , 100×10 , 10×10 , и 1×10) и отношении плеч $\frac{r_3}{r_2} = 10$ отсчет по плечу сравнения получится 0000, т. е. первая декада не будет использована. Надо взять $\frac{r_3}{r_1} = 1$, тогда получим отсчет 2000 с полным использованием точности моста.

В современных мостах обычно на верхней панели имеются две кнопки для включения гальванометра с надписью около одной «Грубо», а около другой «Точно».

Предварительное уравнивание моста надо производить при загруженном гальванометре, т. е. при последовательном включении с ним ограничительного сопротивления. Окончательные измерения следует выполнять при наибольшей чувствительности гальванометра, т. е. при выключенном ограничительном сопротивлении.

Для точности каждое сопротивление измеряют несколько раз, и его значение получается как среднее арифметическое результатов этих нескольких измерений.

Малые сопротивления на двойных мостах измеряют в такой же последовательности, как и средние сопротивления на одинарных мостах. На двойных мостах малые сопротивления измеряют при двух противоположных направлениях тока, чтобы исключить возможное влияние термо-э. д. с. на результаты измерений.

Точные измерения сопротивлений проводят на потенциометрах. Для этого измеряемое сопротивление r_x соединяют последовательно с образцовым сопротивлением r_o примерно такой же величины (рис. 85) и включают в цепь источника E . С помощью реостата в этой цепи устанавливается ток, не превосходящий значения, допустимого для образцового сопротивления; постоянство тока контролируется по амперметру. Падение напряжения на сопротивлениях r_x и r_o измеряют потенциометром. По полученным результатам определяют измеряемое сопротивление на основании следующих формул:

$$I r_x = U_x; \quad I r_o = U_o,$$

откуда

$$r_x = r_o \frac{U_x}{U_o},$$

где U_x и U_o — падения напряжений на измеряемом и образцовом сопротивлениях, измеренные потенциометром.

Измерение сопротивлений омметрами. Для измерения средних и больших сопротивлений служат приборы непосредственной оценки — омметры, шкалы которых проградуированы в единицах сопротивления.

Схемы этих приборов весьма разнообразны и различаются в зависимости от величины измеряемых сопротивлений, конструктивного оформления и т. д.

Омметры изготовляют по ГОСТ 8038—60 следующих классов точности: 0,2; 0,5; 1,5; 2,5 и 4.

Омметры различают между собой по применяемому в них измерительному механизму. В некоторых приборах используют обычные однорамочные магнитоэлектрические измери-

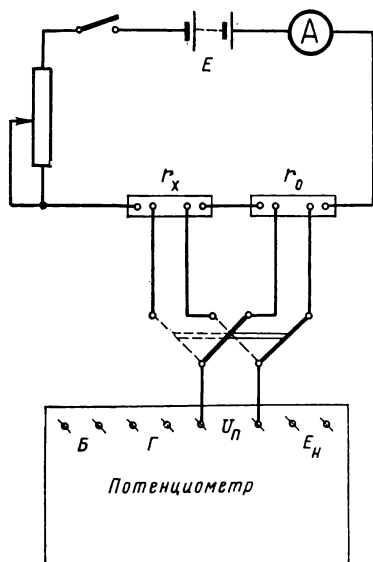


Рис. 85. Схема измерения сопротивления на потенциометре

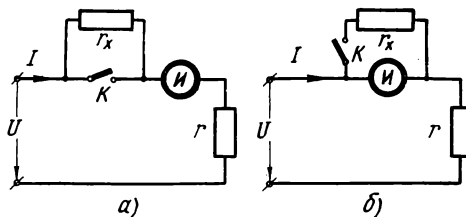


Рис. 86. Схемы омметров:
а — последовательная, б — параллельная

тельные механизмы с противодействующим моментом. Такие приборы называют **о д н о р а м о ч н ы м и**. Большинство омметров имеет в качестве измерительного механизма магнитоэлектрический логометр. Эти приборы называются **л о г о м е т р и ч е с к и м и**.

Однорамочные омметры отличаются от логометрических не только конструктивно, но и тем, что их показания зависят от напряжения источника питания. В качестве источников питания в таких приборах обычно служат сухие элементы.

Источником питания логометрических омметров, как правило, является индуктор — электрический генератор постоянного тока, вращаемый вручную.

На рис. 86 приведены две возможные схемы однорамочного омметра.

В схеме рис. 86, *а* измеряемое сопротивление r_x соединено последовательно с измерительным механизмом *И*. При изменении величины r_x изменяется и показание измерителя. При $r_x = 0$, что равносильно замкнутому ключу *K*, угол отклонения будет наибольшим, а при разомкнутом ключе и сопротивлении $r_x = \infty$ никакого отклонения измеритель не покажет. Таким образом, шкалу измерителя можно проградуировать в единицах сопротивления. При этом она будет отличаться от шкал обычных приборов: нуль будет указан справа, а максимальное значение (бесконечность) — слева. Деления шкалы будут неравномерными.

На рис. 86, *б* показана параллельная схема омметра. При разомкнутом ключе *K* ток в цепи измерительного механизма с сопротивлением r_n равен:

$$I = \frac{U}{r + r_n},$$

а при замкнутом ключе ток увеличится и станет равным:

$$I = \frac{U}{r + \frac{r_n r_x}{r_n + r_x}}.$$

Из последнего выражения видно, что шкалу прибора можно проградуировать в единицах измеряемого сопротивления. Прибор по этой схеме имеет неравномерную шкалу; нуль и верхний предел измерения расположены как у обычных измерительных приборов — соответственно слева и справа.

Последовательная схема применяется при измерении больших сопротивлений, а параллельная — при измерении средних сопротивлений.

Как при последовательном, так и при параллельном включениях показания прибора с обычным однорабочным магнитоэлектрическим измерительным механизмом *И* правильны только при постоянном значении напряжения *U*. Применяемые в приборах в качестве источников питания батарейки сухих элементов меняют свое напряжение с течением времени. Следовательно, приборы должны обязательно иметь приспособление для устранения влияния изменения напряжения. Таким приспособлением в большинстве приборов служит магнитный шунт, выполненный в виде пластинки из ферромагнитного материала: он расположен около полюсных наконечников постоянного магнита.

Если смещать при помощи винта, головка которого выведена наружу корпуса прибора, магнитный шунт относительно полюсных наконечников, то можно изменять величину магнитной индукции в воздушном зазоре. При изменении таким путем магнитной индукции изменяется величина вращающего момента, действующего на рамку при одном и том же токе в ее обмотке.

Если напряжение батареи понизится, то при одном и том же измеряемом сопротивлении отклонение подвижной части также уменьшится; чтобы подвижная часть прибора отклонилась на угол, соответ-

ствующий значению измеряемого сопротивления, необходимо увеличить индукцию в зазоре. Этого можно достигнуть удалением шунта от полюсных наконечников.

При повышении напряжения по сравнению с тем, при котором прибор градуировался, нужно, наоборот, уменьшить индукцию в зазоре; для этого необходимо приблизить к полюсным наконечникам магнитный шунт.

Чтобы установить правильное положение магнитного шунта, замыкают (рис. 86,а) или размыкают (рис. 86,б) ключ K и поворачивают

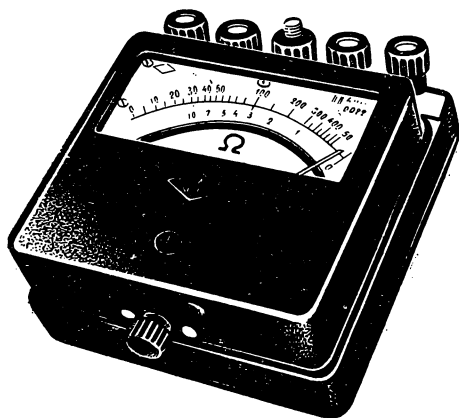


Рис. 87. Внешний вид омметра

головку магнитного шунта так, чтобы стрелка прибора установилась на контрольную отметку шкалы. В приборах, работающих по последовательной схеме, контрольная отметка совпадает с нулевым делением шкалы, а в приборах с параллельной схемой она совпадает с отметкой ∞ .

Выпускают также омметры, в которых регулирующим элементом служит не магнитный шунт, а регулируемое сопротивление. В омметрах с последовательной схемой регулируемое сопротивление включают параллельно измерителю, а с параллельной схемой — последовательно измерителю.

На рис. 87 в качестве примера показан внешний вид омметра М471, питаемого от сухого элемента напряжением 1,4 В и имеющего два предела измерения: первый — 100 Ом (параллельная схема) и второй — 10 000 Ом (последовательная схема). Класс точности омметра 1,5.

Более совершенны логометрические омметры. Показания таких приборов не изменяются при колебаниях в известных пределах напряжения питания. Как и в приборах, показания которых зависят от напряжения питания, в приборах с логометром применяют схему с последовательным и схему с параллельным включениями измеряемого сопротивления.

На рис. 88,а показана схема омметра и последовательно включенного измеряемого сопротивления r_x с одной из рамок логометра для измерения больших сопротивлений. Токи I_1 и I_2 , протекающие по рамкам, равны:

$$I_1 = \frac{U}{r_1 + r_0}; \quad I_2 = \frac{U}{r_2 + r_x},$$

где r_1 и r_2 — сопротивления рамок логометра.

Как было показано ранее, положение подвижной части логометра определяется отношением токов в рамках:

$$\alpha = S_I \frac{I_1}{I_2} = S_I \frac{r_2 + r_x}{r_1 + r_0}$$

и, следовательно, при постоянных значениях r_1 , r_2 и r_0 положение подвижной части логометра будет зависеть только от r_x . Точно также угол отклонения прибора, схема которого показана на рис. 88, б, не зависит от напряжения питания, а определяется только значением измеряемого сопротивления r_x .

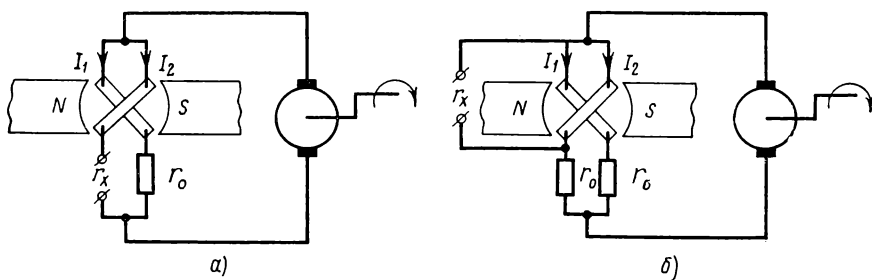


Рис. 88. Принципиальные схемы логометрических омметров и мегомметров:
а — последовательная, б — параллельная

В качестве примера на рис. 89, а и б приведены принципиальная схема и внешний вид весьма распространенного мегомметра М1101. Измерителем служит магнитоэлектрический логометр. Двухполюсный переключатель Π позволяет переключать прибор с последовательной схемы ($M\Omega$) на параллельную ($K\Omega$), соответственно шкала прибора имеет два ряда отметок.

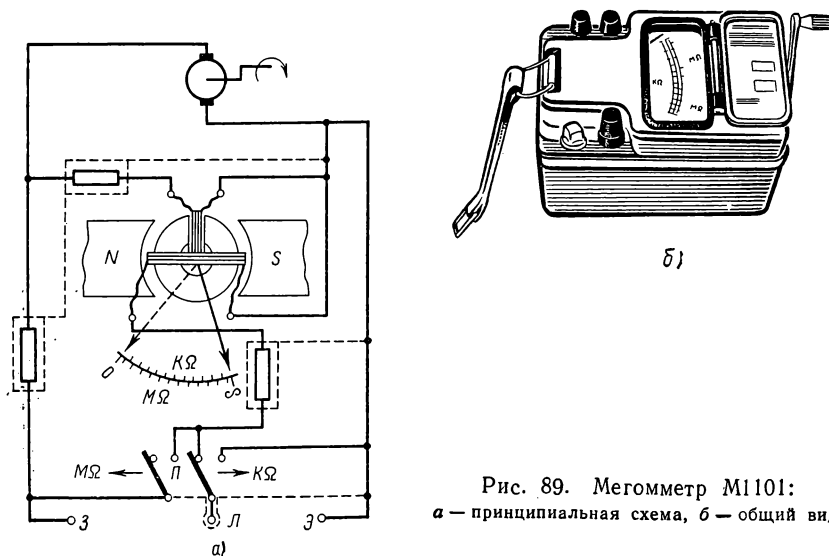


Рис. 89. Мегомметр М1101:
а — принципиальная схема, б — общий вид

Для отвода токов утечки от измерительного механизма, а также для того, чтобы исключить влияние сопротивления изоляции между зажимами L (линия) и $З$ (земля), к которым подключается измеряемое сопротивление, в приборе имеется металлический экран вокруг зажима L , соединенный с зажимом $З$ и одним из полюсов индуктора, который является источником питания мегомметра. При измерениях скорость вращения индуктора должна быть такой же, как и при градуировке. Поэтому на рукоятке мегомметра указывается номинальная скорость вращения в об/мин.

§ 30. ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ, ЕМКОСТИ И ВЗАИМОИНДУКТИВНОСТИ

Существуют различные способы измерения емкости и индуктивности. Наиболее часто эти величины измеряют с помощью: 1) амперметра, вольтметра и ваттметра; 2) мостов переменного тока; 3) специальных приборов непосредственной оценки.

Измерение емкости и индуктивности. Емкость C и индуктивность L для измерения подключают к соответствующему источнику питания с тремя приборами: амперметром, вольтметром и ваттметром. По показаниям этих приборов определяемые величины подсчитывают так:

$$z = \frac{U_V}{I_A}; \quad \cos \varphi = \frac{P_W}{U_V I_A}; \quad r = z \cos \varphi; \quad x_L = \sqrt{z^2 - r^2} \quad \text{или} \\ x_C = \sqrt{z^2 - r^2}.$$

По найденному значению x_L или x_C определяют значения измеряемых L (в генри) или C (в фарадах) по формулам:

$$L = \frac{x_L}{\omega}; \quad C = \frac{1}{\omega x_C}.$$

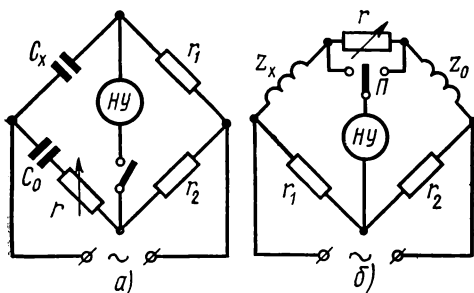


Рис. 90. Схемы измерения на мостах переменного тока:

a — емкости, b — индуктивности

Хотя такой способ измерения индуктивности и емкости не обеспечивает высокой точности результатов, он вполне применим во многих случаях цеховой и лабораторной практики.

Наиболее точные результаты получаются на мостах переменного тока. Мостовая схема, показанная на рис. 90, a , предназначена для измерения емкости и угла потерь. Угол потерь равен $\delta = 90^\circ - \varphi$ (где φ — сдвиг по фазе между напряжением и током конденсатора). Он обусловлен потерями в диэлектрике конденсатора и пропорционален потребляемой конденсатором активной мощности.

Значение емкости C_x , измеряемой по схеме, изображенной на рис. 90, а, определяют по формуле

$$C_x = C_0 \frac{r_2}{r_1}.$$

Значение тангенса угла потерь вычисляют из выражения

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega r C_0.$$

Уравновешивание моста, как следует из приведенных выражений, производят регулировкой r и r_2 (или r_1).

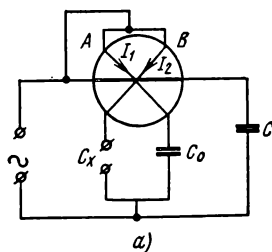
Схема рис. 90, б предназначена для измерения индуктивности L_x катушки (z_x), которая сравнивается с индуктивностью L_0 образцовой катушки (z_0). Поскольку измеряемая катушка может обладать различным активным сопротивлением r_x , в схеме моста для обеспечения возможности его уравновешивания предусмотрено сопротивление r , которое переключателем Π может быть присоединено последовательно либо к z_x , либо к z_0 .

Если, например, это сопротивление подключено к катушке r_x (переключатель Π поставлен в правое положение), то из условий равновесия моста измеряемые L_x и r_x определяют по следующим выражениям:

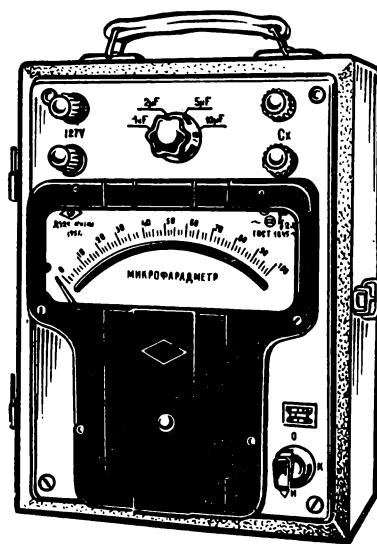
$$L_x = L_0 \frac{r_1}{r_2}; \quad r_x = r_0 \frac{r_1}{r_2} - r,$$

где L_0 и r_0 — индуктивность и активное сопротивление образцовой катушки z_0 , указанные в ее паспорте.

Кроме мостовых схем для измерения емкости применяют показывающие приборы, называемые фарадметрами или микрофарадметрами (в зависимости от пределов измерения). На рис. 91 показаны принципиальная схема и внешний вид микрофарадметра Д-524, рассчитанного для работы в сети переменного тока напряжением 127 В промышленной частоты. В этом микрофарадметре применен электродинамический логометр.



а)



б)

Рис. 91. Электродинамический микрофарадметр:

а — принципиальная схема, б — общий вид

Последовательно с катушкой A включена образцовая емкость C_0 , последовательно с катушкой B — измеряемая емкость C_x .

Катушки логометра с последовательно включенными емкостями C_0 и C_x образуют две параллельные ветви, находящиеся под напряжением \tilde{U} сети переменного тока. По каждой из ветвей течет ток, равный напряжению U , деленному на общее сопротивление ветви.

Угол отклонения подвижной части микрофарадметра определяется отношением токов параллельных ветвей. Так как сопротивление катушек A и B , а также емкость образцового конденсатора C_0 при одних и тех же частоте и напряжении постоянны, то угол отклонения зависит только от значения измеряемой емкости C_x .

Измерение взаимоиндуктивности. Измерение взаимоиндуктивности может быть выполнено с помощью тех же мостов, что и измерение индуктивности. Если обмотки, взаимоиндуктивность M_{12} между которыми подлежит измерению, обладают индуктивностями L_1 и L_2 , то при их согласном включении (магнитные потоки обеих обмоток складываются) полная индуктивность этой цепи равна $L_c = L_1 + L_2 + 2M_{12}$, а при встречном включении (магнитные потоки вычитаются) $L_b = L_1 + L_2 - 2M_{12}$.

Эти выражения позволяют определить измеряемую взаимоиндуктивность M_{12} по значениям полных индуктивностей L_c и L_b , соединенных согласно и встречно, т. е.

$$M_{12} = \frac{L_c - L_b}{4}.$$

Взаимоиндуктивность M_{12} двух катушек с индуктивностями L_1 и L_2 может быть измерена также при помощи амперметра, вольтметра и ваттметра. Полное сопротивление цепи при согласном включении равно

$$z_c = \sqrt{r_c^2 + [\omega(L_1 + L_2 + 2M_{12})]^2} = \left(\frac{U_V}{I_A} \right)_c,$$

а ее активное сопротивление

$$r_c = \left(\frac{P_W}{I_A^2} \right)_c.$$

Отсюда

$$x_c = \omega(L_1 + L_2 + 2M_{12}) = \sqrt{z_c^2 - r_c^2}.$$

При встречном включении те же величины определяются как

$$z_b = \sqrt{r_b^2 + [\omega(L_1 + L_2 - 2M_{12})]^2} = \left(\frac{U_V}{I_A} \right)_b; \quad r_b = \left(\frac{P_W}{I_A^2} \right)_b;$$

$$x_b = \omega(L_1 + L_2 - 2M_{12}) = \sqrt{z_b^2 - r_b^2}.$$

Тогда $x_c - x_b = 4\omega M_{12}$, следовательно,

$$M_{12} = \frac{x_c - x_b}{4\omega}.$$

В этих формулах z_c, x_c, r_c — полное, индуктивное и активное сопротивление цепи при согласном включении; z_b, x_b, r_b — то же при встречном включении; U_V, I_A, P_W — показания вольтметра, амперметра и ваттметра.

§ 31. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ И ЧАСТОТЫ

Измерение коэффициента мощности. В электрических установках коэффициент мощности $\cos \varphi$ имеет большое народнохозяйственное значение. В целях поддержания высоких значений $\cos \varphi$ в нашей стране введена специальная система денежных штрафов за низкий $\cos \varphi$ и премий за высокий $\cos \varphi$.

Чем выше коэффициент мощности, тем при одной и той же нагрузке нужна меньшая мощность электростанции, тем лучше используются электрические сети и т. д. Значение коэффициента мощности можно определить косвенным путем — по показаниям амперметра, вольтметра и ваттметра.

Если измерить ток, напряжение и мощность, то $\cos \varphi$ вычисляют из следующих выражений:

для однофазного тока

$$\cos \varphi = \frac{P_W}{U_V I_A},$$

для трехфазного тока

$$\cos \varphi = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} U I},$$

где $P_{3\phi}$ — мощность всей системы; U — линейное напряжение; I — линейный ток.

Значение коэффициента мощности можно получить также по показаниям двух ваттметров, включенных для измерения активной мощности в трехпроводной трехфазной цепи, по следующей формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_{1W} + P_{2W}}{2 \sqrt{P_{1W}^2 - P_{1W} P_{2W} + P_{2W}^2}}, \quad (41)$$

где P_{1W} и P_{2W} — показания ваттметров.

Последнее выражение для определения $\cos \varphi$ действительно только при полной симметрии трехфазной системы. При несимметричной системе результаты заведомо будут неточными.

Косвенные методы вычисления $\cos \varphi$ имеют относительно низкую точность, определяемую погрешностями приборов, которыми производилось измерение.

Для прямого измерения $\cos \varphi$ выпускают специальные показывающие приборы, называемые ф а з о м е т р а м и.

Фазометры изготовляют как переносными лабораторными, так и щитовыми двух систем: электромагнитной и электродинамической.

Схема однофазного электродинамического фазометра показана на рис. 92.

Если неподвижную катушку электродинамического логометра включить в цепь с нагрузкой H , последовательно с одной из подвижных его катушек соединить резистор с сопротивлением r , а последовательно с другой из подвижных катушек — индуктивность L , то положение подвижной части логометра будет определяться углом сдвига между током I и напряжением U , и шкалу можно проградуировать в значениях $\cos \varphi$.

Измерение частоты. Для измерения частоты переменного тока существуют показывающие приборы — частотомеры. Наиболь-

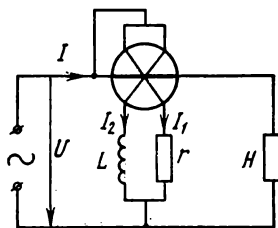


Рис. 92. Принципиальная схема однофазного фазометра

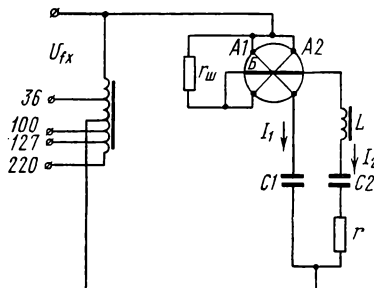


Рис. 93. Принципиальная схема переносного лабораторного частотомера

шее распространение имеют вибрационные и электромагнитные частотомеры в качестве щитовых приборов, ферродинамические в качестве переносных, выпрямительные в качестве щитовых регистрирующих приборов. В послевоенные годы все большее распространение получают электронные частотомеры.

В электромагнитных, ферродинамических и выпрямительных частотомерах используют логометры соответствующей системы. Как было показано, угол отклонения подвижной части логометра определяется отношением токов в подвижных катушках, а в логометрах переменного тока этот угол зависит также и от фазы токов в подвижных катушках. Если угол сдвига токов I_1 и I_2 относительно напряжения будет одним и тем же в обеих подвижных катушках, т. е. $\varphi_1 = \varphi_2$, то угол отклонения подвижной части логометра будет определяться только отношением токов I_1 и I_2 ; это отношение легко сделать зависимым от измеряемой частоты. На рис. 93 показана принципиальная схема переносного электродинамического частотомера Д-506. Подвижная часть этого прибора состоит из катушек $A1$ и $A2$, скрепленных между собой под углом 90° и насаженных на одну ось. Последовательно с катушкой $A1$ включен конденсатор $C1$, создающий сдвиг по фазе между током I_1 и напряжением U_{fx} , близкий к четверти периода. Последовательно с катушкой $A2$ включены неподвижная катушка B , резонансный контур L , $C2$ и добавочное сопротивление r .

Величины L и C резонансного контура подбирают так, чтобы резонанс напряжений происходил при частоте, близкой к среднему значению диапазона. Когда наступает резонанс, ток I_2 будет совпадать по фазе с напряжением U_{f_x} и взаимодействие будет только между катушками $A2$ и B . Взаимодействия между катушками $A1$ и B не произойдет, так как I_1 и I_2 сдвинуты по фазе на четверть периода. В результате подвижная часть повернется до совпадения плоскостей катушек $A2$ и B .

При отклонении частоты от ее резонансного значения ток I_2 уменьшится по абсолютному значению и сместится по фазе относительно U_{f_x} . Вследствие этого возникнет взаимодействие катушек $A1$ и $A2$ и

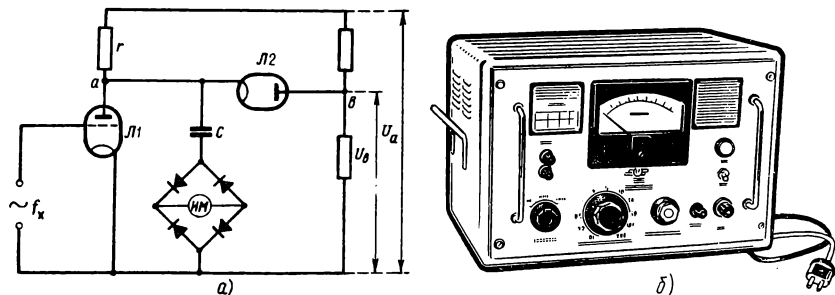


Рис. 94. Электронный частотомер:
а — принципиальная схема, б — общий вид

подвижная часть начнет отклоняться в соответствующую сторону. Таким образом, положение подвижной части становится зависимым от частоты, и шкалу логометра можно проградуировать в герцах.

С помощью шунтирующего сопротивления $r_{ш}$ регулируют в незначительных пределах характер шкалы прибора.

Частотомеры Д-506 выпускают на различные диапазоны измеряемых частот — от 50 до 1500 Гц — при ширине диапазона измерений отдельного прибора порядка $\pm 10\%$ от среднего значения частоты. Погрешность измерений частоты такими приборами не превышает $\pm 0,2\%$ от среднего значения частоты данного диапазона.

Принципиальная схема электронного частотомера показана на рис. 94. Напряжение измеряемой частоты f_x подается на сетку лампы $L1$. В течение отрицательного полупериода эта лампа заперта, и конденсатор C заряжается. Во вторую половину периода вследствие положительного значения приложенного напряжения лампа $L1$ открыта, и конденсатор разряжается. Потенциал, до которого разрядится конденсатор, будет зависеть от параметров и режима лампы.

Включенный в схему диод $L2$ с малым внутренним сопротивлением обеспечивает независимость режима разряда конденсатора от лампы $L1$. В самом деле, через диод $L2$ на конденсатор C подается часть напряжения, U_b , ниже которого конденсатор не может разряжаться и, таким образом, конденсатор будет заряжаться при запертой лампе

Л1 практически до полного напряжения U_a , а при открытой лампе разряжаться до напряжения U_b .

Через измерительный механизм ИМ, включенный с полупроводниковыми выпрямителями, будет протекать в течение полупериода зарядный, а в течение второго полупериода разрядный ток конденсатора. За время заряда или разряда через прибор протечет количество электричества:

$$Q = CU, \quad (42)$$

где $U = U_a - U_b$.

Измерительный механизм будет отклоняться пропорционально среднему за полупериод значению тока: $I_{cp} = \frac{2Q}{T} = 2CUf_x$, где T — период переменного напряжения; $f_x = \frac{1}{T}$ — частота.

Таким образом, ток отклонения подвижной части измерительного механизма оказывается пропорциональным частоте.

Чтобы исключить зависимость показаний прибора от колебаний напряжения анодной батареи, в качестве измерительного механизма можно применить магнитоэлектрический логометр или стабилизировать напряжение.

Частотомеры такого типа (рис. 94, б) выпускаются нашей промышленностью на пределы от 10 до 10 000 Гц с погрешностью, не превышающей $\pm 1,5$ —2% от диапазона измерения.

§ 32. УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Электрическая энергия учитывается специальными приборами, называемыми счетчиками электрической энергии, представляющими собой сочетание измерительного механизма, подобного измерительному механизму ваттметра, со счетным механизмом.

Счетчик электрической энергии принципиально отличается от ваттметра тем, что ваттметр показывает значение величины в данный момент времени, а счетчик — значение измеряемой величины за некоторый промежуток времени. Иначе говоря, счетчик в отличие от ваттметра является суммирующим прибором и имеет неограниченный угол вращения.

В настоящее время применяют счетчики индукционные для цепей переменного тока и электродинамические для цепей постоянного тока.

Схемы включения счетчиков электрической энергии в сеть не отличаются от схем включения ваттметров.

Электрическая энергия, потребляемая для бытовых нужд, учитывается счетчиками, включаемыми в сеть, как однофазные ваттметры. При учете потребления энергии однофазными токоприемниками значительной мощности счетчики включают через измерительные транс-

форматоры тока по схеме, аналогичной схеме включения ваттметра.

Учет активной энергии в цепях трехфазного тока может быть осуществлен тремя однофазными счетчиками, двумя однофазными счетчиками, одним трехфазным счетчиком.

Как и при измерении мощности, потребленную энергию в трехпроводных трехфазных сетях независимо от степени симметрии нагрузки можно измерить двумя однофазными счетчиками, включенными по схеме включения двух однофазных ваттметров (см. рис. 79). Расход энергии будет равен алгебраической сумме показаний обоих счетчиков. Надо иметь в виду, что при $\cos \varphi < 0,5$ диск одного из счетчиков будет вращаться в обратную сторону, т. е. уменьшать свои показания.

В четырехпроводных трехфазных сетях учет энергии можно производить тремя однофазными счетчиками, включенными как три однофазных ваттметра по схеме, изображенной на рис. 80. Расход энергии в этом случае равен сумме показаний трех счетчиков.

Но учет электрической энергии в трехфазных сетях при помощи однофазных счетчиков неудобен, так как он связан с необходимостью снимать показания с нескольких счетчиков и вызывает дополнительные расходы на монтаж большого числа приборов. Нашей промышленностью изготавливаются специальные трехфазные счетчики. Для трехфазных трехпроводных сетей выпускают счетчики САЗ-ИТ, а для четырехпроводных — СА4-ИТЧ.

Трехфазный счетчик представляет собой конструктивное объединение в одном кожухе движущих элементов двух или трех измерительных механизмов однофазных счетчиков, действующих на одну ось. Схемы включения трехфазных счетчиков ничем не отличаются от рассмотренных выше схем включения ваттметров. Трехфазный счетчик, включенный в сеть, показывает по счетному механизму общую потребленную из сети активную электрическую энергию.

Как известно из электротехники, низкий коэффициент мощности электроустановок снижает эффективность использования источников электрической энергии. Показателем эффективности использования мощности источника электрической энергии служит величина реактивной мощности и реактивной энергии. Для учета реактивной энергии можно воспользоваться однофазными счетчиками. Но такой способ тоже неудобен. В настоящее время изготавливают специальные счетчики реактивной энергии СРЗ-ИТР. Такой счетчик, как и трехфазный счетчик активной энергии, имеет два элемента, действующих на два диска, насаженных на общую ось. Особенностью этого счетчика является наличие дополнительной третьей последовательной обмотки, которая имеет удвоенное число витков, помещенных в последовательные магнитопроводы обоих вращающихся элементов, и подразделена на две равные части.

Трехфазные счетчики электрической энергии выпускают как для прямого включения без измерительных трансформаторов, так и для включения через измерительные трансформаторы. Схемы включения счетчиков электрической энергии через измерительные трансформаторы аналогичны схемам включения ваттметров.

Контрольные вопросы

1. Начертите и объясните схемы измерения постоянного и переменного тока и напряжения.
2. Какие схемы измерения мощности вам известны? Назовите область применения каждой из них.
3. Какие существуют методы измерения сопротивлений? В чем заключаются преимущества и недостатки каждого из них?
4. Как можно измерить индуктивность, емкость и взаимную индуктивность? Опишите каждый из способов измерения.
5. Какими приборами измеряют коэффициент мощности?
6. На каком принципе работают приборы для измерения частоты и как они устроены?
7. Как проводится учет электрической энергии в цепях постоянного и переменного тока?

Глава VI

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

§ 33. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Электроизмерительный прибор представляет собой изделие, состоящее из различных элементов: деталей, узлов, групп.

Д е т а л ь — это простейшая часть изделия, выполненная из единого куска материала и в случае необходимости покрытая специальным противокоррозийным, износоустойчивым и другим составом. К деталям электроизмерительных приборов относятся, например, корпус, крепежные болты, оси (керны), спиральные пружины, растяжки, рамка, стрелка и т. п.

Совокупность деталей, выполненных и соединенных каким угодно способом, называют **у з л о м**. В качестве примеров наиболее простых узлов электроизмерительного прибора можно привести стрелку с размещенными на ней противовесами, успокоитель, крепежное соединение болт—гайка и т. п. Узлы могут входить в состав прибора либо в качестве самостоятельного элемента, либо как часть другого, более сложного узла. В первом случае узел принято называть группой, во втором — подгруппой. Для удобства классификации введено деление групп на порядки. Так, если узел входит непосредственно в состав группы, то его называют подгруппой первого порядка; узел, который является составной частью подгруппы первого порядка, относят к подгруппе второго порядка и т. д.

Совокупность операций, при которых детали соединяются сначала в простые, а затем во все более сложные узлы, образуя, наконец, изделие (электроизмерительный прибор), называют **процессом сборки прибора**.

Сборка прибора начинается, как правило, с определенной детали, которая называется **б а з о в о й**. В электроизмерительных приборах базовой деталью является корпус. После тщательной обработки и отделки базовой детали на ней крепятся остальные детали и узлы.

§ 34. СХЕМЫ СБОРКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Технологические схемы сборки разрабатываются на основе рабочих чертежей деталей и узлов из кинематической, электрической и других схем прибора, а также из его общего вида. Все детали на технологических схемах обозначаются теми же цифрами, что и на рабочих чертежах, а каждый узел — буквами *Сб* и цифрой, соответствующей номеру

базовой детали, входящей в этот узел, причем эта цифра ставится после букв *Сб*. Так, запись *Сб-1* обозначает узел с базовой деталью № 1. Номер группы, в которую объединяются узлы, также обозначается цифрой, но она ставится чаще всего перед буквами *Сб*. Например, из обозначения *1Сб-1* следует, что узлы, выполненные на базе детали № 1,

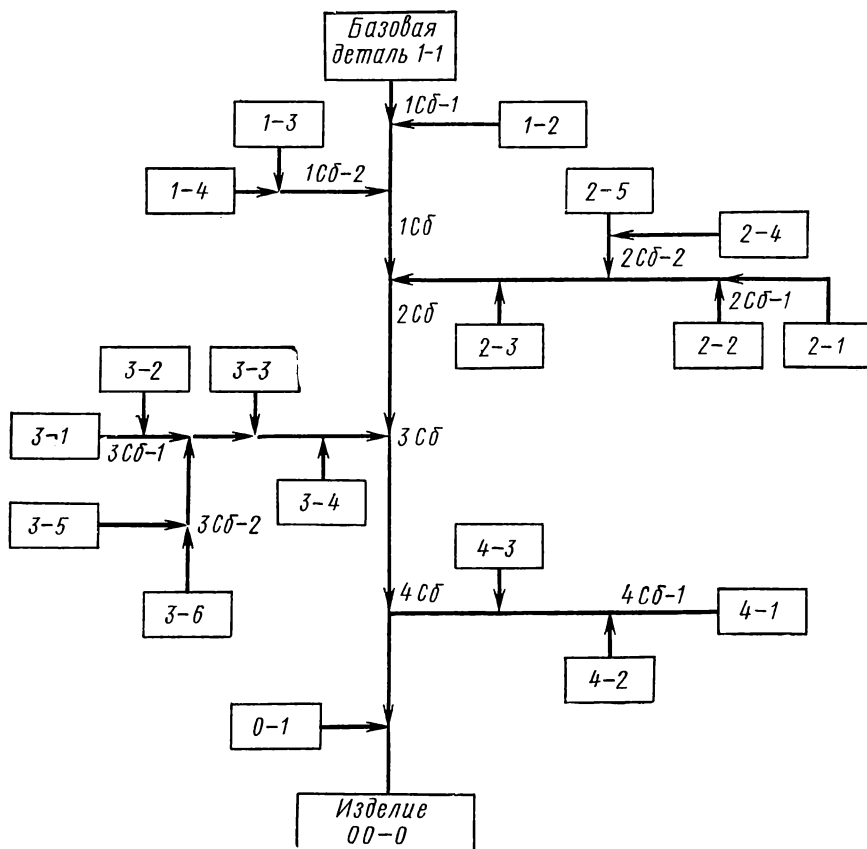


Рис. 95. Схема сборки с базовой деталью

объединены в группу № 1. Технологическая схема является одним из основных документов, на основании которых производится сборка прибора*.

Наибольшее распространение в настоящее время получили два вида сборочных схем: с базовой деталью и «веерного» типа. Схема сборки с базовой деталью (рис. 95) более наглядна, так как на ней с

* Порядок оформления остальных технологических документов описан в книге Б. Н. Иванова и др. Технология приборостроения. М., Госэнергоиздат, 1960.

помощью стрелок отображается определенная последовательность операций, обязательная при сборке. Так, к базовой детали 1—1 (первая деталь первой группы) вначале присоединяется деталь 1—2 (вторая деталь первой группы), образуя узел 1Сб-1. Затем к нему присоединяется узел 1Сб-2, собранный из деталей 1—3 и 1—4. В результате получается группа (или подгруппа) 1Сб. К ней присоединяются последовательно группы (подгруппы) 2Сб, 3Сб, 4Сб и т. д., собранные в том же порядке, что и группа 1Сб.

На рис. 96 изображена схема «веерного» типа для того же самого прибора, что и предыдущая. На ней ясно видно, какие именно детали соединяются в узлы и какие узлы в группы, но она позволяет производить сборку прибора в какой угодно последовательности.

И на той и на другой схемах сборки должны быть обязательно приведены вспомогательные рекомендации о порядке обработки деталей, их взаимном расположении, способах крепления и т. п.

Схемы сборки являются частью технологической документации, куда входят также сборочные чертежи, спецификации, инструкции, технические условия и технологические карты. В них должны быть указаны схемы деталей и узлов, названия и номера де-

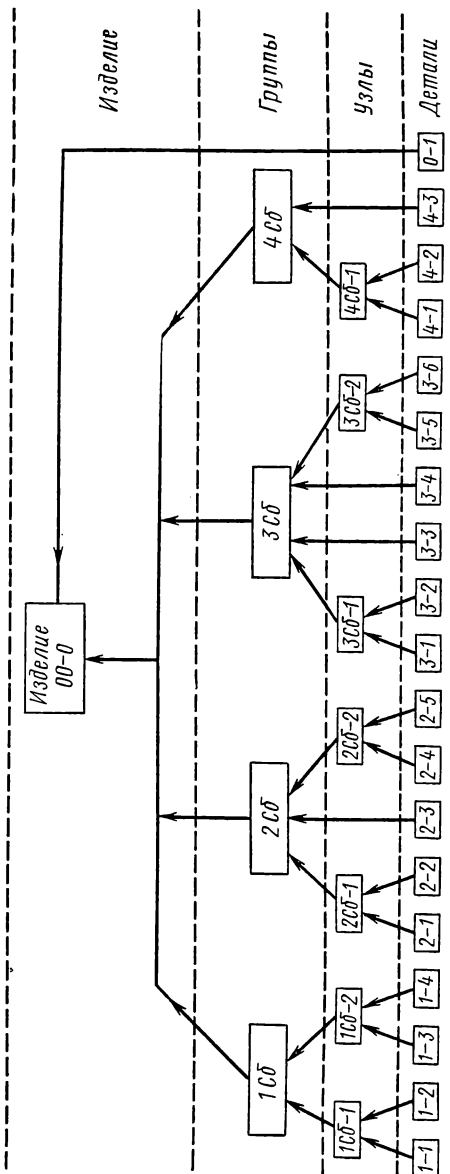


Рис. 96. Схема сборки «веерного» типа

талей, их габаритные размеры, приведена спецификация деталей, образующих данный узел, номера операций, индекс технических условий или номер инструкции, в соответствии с которой выполняется операция, перечислены необходимое оборудование и инструмент, указана норма времени, отводимая для выполнения данной сборочной операции, и другие сведения. При поточной сборке приборов, о которой подробно будет рассказано в § 37, в технологической карте сообщаются также сведения о конвейере и занятых на нем рабочих.

§ 35. ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Сборка электроизмерительных приборов в отличие от сборки механических и других приборов характеризуется, в первую очередь, необходимостью сборки большого числа неразъемных соединений (см. § 38).

Другой характерной особенностью является герметичность соединения деталей. Электроизмерительные приборы нередко работают в атмосфере пыли, грязи, влаги, едких паров.

Еще одна особенность сборки электроизмерительных приборов — необходимость разнообразных подгоночных и регулировочных операций с целью достижения эксплуатационных характеристик, а также многочисленных специальных испытаний на механическую и электрическую прочность. Большая часть этих операций выполняется вручную, поэтому регулировочные и градуировочные работы занимают в процессе создания прибора основное время и от их выполнения в решающей степени зависит качество прибора.

При сборке электроизмерительных приборов к помещениям сборочных цехов и к оборудованию рабочих мест предъявляются повышенные требования, так как на работу деталей и узлов этих приборов вредное влияние оказывают механические воздействия, колебания температуры и влажности окружающего воздуха, коррозия, пыль и другие внешние факторы.

Сборочные цехи должны быть светлыми, чтобы рабочие в дневное время могли выполнить все операции без дополнительного искусственного освещения, так как сочетание дневного и искусственного света приводит к ухудшению зрения. В темное время суток, в дополнение к общему освещению цеха, которое должно быть выполнено люминесцентными лампами, следует на каждом рабочем месте использовать светильник с люминесцентной лампой. Освещенность рабочего места в любое время суток должна соответствовать норме.

Во избежание попадания внутрь прибора частиц пыли, что приводит к резкому ухудшению его работы или даже к выходу из строя, необходимо проводить регулярную тщательную уборку всего помещения и каждого рабочего места не только после окончания работы, но и во время перерывов. Для облегчения уборки стены сборочных цехов окрашивают светлой масляной краской и покрывают лаком. Рабочее место сборщика покрывается стеклом или пластмассой, которые тоже легко отмываются. Для хранения деталей предусмотрена специальная тара. Рабочие имеют право находиться в цехе только в специальной одежде и

обуви; вне цеха ее носить запрещается. Смена одежды и обуви производится только в отведенном для этой цели помещении, расположенном перед входом в цех. Там же находится умывальник, а также специальные шкафчики для хранения пищи. Перед тем как приступить к работе, сборщик обязан вымыть руки водой, а при выполнении особо ответственных операций — 3%-ным раствором формалина. В сборочных цехах категорически запрещается пользоваться напильниками и применять для каких бы то ни было целей абразивные материалы.

Пол цеха покрывается линолеумом, чистка помещения допускается только пылесосом. Цех обязательно снабжается вентиляцией, что исключает возможность попадания туда пыли из соседних цехов и улицы.

Для правильной градуировки и регулировки электроизмерительных приборов в цехе должна все время поддерживаться одна и та же температура, порядка 18—20°C и влажность до 50%.

В помещении сборочного цеха и по соседству с ним не должно находиться железо, так как попадание даже мельчайшей железной пыли внутрь прибора резко отрицательно сказывается на его работе. Дверные и оконные ручки, шпингалеты должны быть окрашены в черный цвет, а инструмент рабочего изготовлен из немагнитных материалов.

§ 36. ТОЧНОСТЬ СБОРКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Точность работы электроизмерительных приборов в немалой степени обусловлена точностью сборки, т.е. точностью взаимного расположения отдельных деталей, объединяемых в узлы.

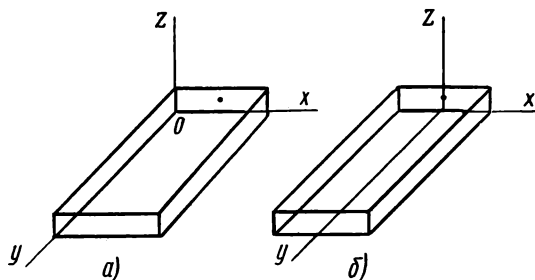


Рис. 97. Установка рамки при наклейке полусей (точками обозначены места наклейки):
 a — в качестве полусей использованы стенки рамки,
 b — ось O_y расположена посредине стороны рамки

Каждая деталь может перемещаться в пространстве по шести направлениям: двигаться параллельно трем координатным осям и вращаться вокруг каждой из них. Поэтому, чтобы зафиксировать положение данной детали, достаточно согласовать его с осями x , y , z прямоугольной системы координат. Рассмотрим, как выбирается правильное положение координатных осей, на примере операции по приклеиванию полусей к рамке магнитоэлектрического прибора. В данном случае

в качестве осей координат могут быть использованы либо стенки рамки (рис. 97,а), либо ось Oy можно перенести параллельно самой себе и провести ее посредине стороны рамки, совмещенной с координатной осью Ox из точки, где приклеивается полуось к рамке (рис. 97,б). В первом случае скажется несоответствие между фактическим и номинальными размерами рамки, и полуось сместится в сторону от оси рамки на величину, равную половине разности между этими размерами. Во втором случае полуось будет всегда находиться в строго определенном месте: посредине стороны, расположенной вдоль оси Ox . Таким образом, точность сборки определяется как точностью изготовления каждой детали, так и правильным выбором координатных осей, фиксирующих ее положение при сборке.

Каждая из последующих собираемых деталей должна быть приведена в соприкосновение с уже собранными деталями также с помощью трех осей. Это положение не может быть нарушено в процессе дальнейшей сборки и эксплуатации электроизмерительного прибора. Однако следует учитывать, что многие детали обладают столь незначительной жесткостью, что могут деформироваться при креплении и установке. В результате нарушается точность соединения отдельных деталей, а значит, и сборки прибора. Поэтому сборку нужно производить в строго определенной последовательности, а чтобы не нарушить взаимного расположения уже собранных деталей, применяют различного рода уплотнители, прокладки, лак, краску, которые придают детали нужную форму и размеры.

Точность сборки электроизмерительных приборов может быть обеспечена одним из следующих методов: полной, неполной или частичной, групповой взаимозаменяемости, пригонки или изготовления по месту регулировки.

Метод полной взаимозаменяемости заключается в том, что требуемая точность взаимного расположения деталей друг относительно друга обеспечивается только точностью их изготовления. Этот метод хорошо пригоден в тех случаях, когда все без исключения поступающие на сборку детали изготовлены с заданной точностью и имеют такую форму, которая позволяет им легко, без предварительной подгонки или подбора сопрягаться с другими деталями. Метод полной взаимозаменяемости способствует резкому сокращению трудоемкости сборочных работ, упрощению технологических операций, повышению качества сборки, а главное — на каждую операцию затрачивается постоянное время, что создает благоприятные предпосылки для внедрения поточных методов сборки электроизмерительных приборов и облегчает изготовление запасных частей для их ремонта. По этому методу изготавливают подвижные части приборов, а также некоторые из неподвижных частей, как-то: корпуса, крышки и т. д.

При методе неполной (частичной) взаимозаменяемости, который называют также методом подбора или методом селекционной сборки, не все детали делаются взаимозаменяемыми. Некоторые из них, взаимозаменяемость которых нецелесообразна по техническим или экономическим соображениям, приходится подбирать. При этом методе сборки в основу кладется не столько точность соединения отдельных

деталей, сколько точность их физических параметров. Так, при сборке электроизмерительных приборов подбирают спиральные пружины, исходя из величины создаваемого ими противодействующего момента, шкалы — исходя из степени их неравномерности и т. д. При этом повышается трудоемкость работ по сравнению с методом полной взаимозаменяемости, поэтому качество сборки зависит от квалификации обслуживающего персонала. Кроме того, на рабочем месте сборщика должно находиться гораздо больше деталей, чем ему нужно для изготовления прибора. Иначе невозможно осуществить подбор необходимых деталей.

Достоинством метода неполной взаимозаменяемости является сокращение затрат на производство некоторых деталей. Недостатком же его следует считать возрастание объема работ и, как следствие этого, рост издержек производства. Поэтому вопрос о том, следует ли подбирать те или иные детали или пойти по пути их взаимозаменяемости, может решить только экономический расчет.

Метод групповой взаимозаменяемости заключается в том, что перед началом сборки соединяемые детали сортируют по группам в зависимости от отклонения их действительных размеров от номинальных. Внутри каждой из таких групп детали собирают по принципу полной взаимозаменяемости. Размеры деталей, собранных в группу, лишь незначительно отличаются от номинальных. Это позволяет при сравнительно невысокой точности изготовления отдельных деталей получить достаточно высокую точность сборки, что является несомненным достоинством метода групповой взаимозаменяемости. Так, сортируя керны и подпятники по величине радиуса закругления, можно обеспечить между ними минимальный зазор, при котором не происходит затирания этих деталей. Однако такая сортировка деталей требует значительного увеличения номенклатуры контрольно-измерительных приборов и усложняет оперативный учет производства. Поэтому внедрение данного метода оправдано лишь тогда, когда эти издержки производства покрываются экономией от изготовления деталей и сборки прибора.

При методе пригонки или изготовления по месту размеры данной детали должны соответствовать размерам остальных деталей, входящих в собираемый узел. Эту деталь называют компенсатором.

Применение метода пригонки значительно удлиняет и усложняет процесс сборки, так как после соединения всех деталей нужно проверить отклонение фактических размеров от заданных. Если это отклонение недопустимо велико, то операцию пригонки следует повторить, разобрав полностью весь узел, изменив размеры компенсатора, а затем вновь собрав узел. Эту операцию придется повторять до тех пор, пока не будут достигнуты фактические размеры, например, при подгонке катушек или шунтов до нужного сопротивления. Естественно, что выполнить эту операцию с наименьшими затратами труда могут только высококвалифицированные рабочие. Поэтому метод пригонки нашел весьма ограниченное применение.

Метод регулировки, напротив, получил широкое распространение. Точность сборки достигается регулировкой расположения какой-нибудь одной детали, называемой подвижным компенсатором, отно-

сительно всех остальных. К компенсаторам относятся, например, подпятники, противовесы, корректоры, регулировочные винты и т. д. Изменение в нужном направлении параметров того или иного узла и подгоночные операции тоже способствуют повышению точности сборки.

Метод регулировки позволяет достигнуть высокой точности сборки при относительно небольших затратах на изготовление детали и незначительном увеличении объема сборочных работ.

Из сказанного следует, что для обеспечения точности сборки целесообразно применять в основном методы полной и групповой взаимозаменяемости, а для обеспечения точности параметров прибора — метод регулировки.

§ 37. ПОТОЧНЫЕ МЕТОДЫ СБОРКИ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

В общем производстве электроизмерительных приборов сборочные работы занимают примерно половину рабочего времени. В большинстве своем их выполняют вручную. Поэтому в условиях механизации и автоматизации задач первостепенной необходимости является сокращение объема сборочных работ путем улучшения конструкции электроизмерительных приборов и совершенствования технологии их производства, а также повышение эффективности сборочных операций и прежде всего внедрение поточных линий сборки.

Переход на поточные методы сборки, которые характеризуются совершенствованием технологии сборки, применением специальных приспособлений, механизацией большинства операций, рациональной организацией, своевременным и бесперебойным снабжением и обслуживанием рабочих мест, специализацией рабочих-сборщиков, приводит к резкому росту производительности труда и к значительному увеличению выпуска приборов. При внедрении поточных линий достигается непрерывность процесса сборки, когда длительность производственного цикла и размер незавершенных работ сокращаются до минимума. Поэтому время, в течение которого детали и узлы находятся на открытом воздухе и портятся в результате вредного воздействия внешней среды, значительно уменьшается.

К улучшению качества приборов приводит также совершенствование рабочего места.

Строгое соблюдение технологии производства и бесперебойный ритм работы являются непременным условием поточного метода сборки, так как при задержке какой-нибудь одной операции может остановиться весь поток.

Существенное преимущество поточных методов производства электроизмерительных приборов состоит также в том, что они позволяют расчленить процесс сборки на ряд самых простых операций, легче всего поддающихся автоматизации. Именно это дает возможность осуществить постепенный переход от ручных поточных линий к механизированным и автоматизированным.

Поточные линии принято классифицировать по четырем главным признакам.

По степени специализации отдельных рабочих мест и линий в целом. Линии различают специализированные или постоянно-поточные, на которых в течение всего времени их работы выполняют одни и те же операции, и переменнo-поточные, на которых попеременно собирается несколько различных изделий. Первые особенно эффективны при массовом производстве электроизмерительных приборов, вторые — при серийном производстве.

По степени ритмичности. Линии разделяют на непрерывно-поточные, работающие без перерывов между отдельными операциями, и прерывно-поточные, работающие с перерывами. На непрерывно-поточных линиях изделия непрерывно движутся от одного рабочего места к другому. Такие линии применяют в тех случаях, когда производительность труда на всех операциях одинакова; в противном случае линии работают с перерывами.

По способу поддержания рабочего ритма. Автоматизированные линии, называемые линиями с регламентированным ритмом, позволяют поддерживать постоянный ритм выпуска продукции с помощью конвейера — непрерывного транспортера; он постоянно перемещает изделия с одной и той же скоростью с одной операции на другую. Неавтоматизированные линии относятся к числу линий со свободным ритмом.

По оснащению транспортными средствами. Различают линии, оснащенные транспортными средствами непрерывного действия (конвейеры), периодического действия (электрокары), бесприводными транспортными средствами (рольганги, тележки, вагонетки и т. д.), а также линии с ручной передачей изделий.

Наибольшее распространение получили специализированные непрерывно-поточные линии с регламентированным ритмом, оснащенные конвейером, так как работа на конвейере позволяет сравнительно легко добиться одинаковой производительности на разных операциях.

Контрольные вопросы

1. Что называется деталью, узлом, подгруппой, группой, изделием?
2. Какие схемы сборки вы знаете?
3. В чем состоят особенности сборки электроизмерительных приборов?
4. Перечислите методы, обеспечивающие точность сборки, и укажите область применения каждого из них.
5. Чем характеризуется поточный метод сборки?
6. По каким признакам принято классифицировать поточные линии?

Глава VII

ПРАВИЛА И ПРИЕМЫ СБОРКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

§ 38. СБОРКА НЕРАЗЪЕМНЫХ И РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В состав электроизмерительных приборов входят соединения, при которых детали и узлы сохраняют строго определенное положение в продолжение всей работы прибора. Такие соединения являются неподвижными. Многие из них в процессе работы деформируются и для последующей сборки оказываются непригодными.

Другие детали, напротив, могут в некоторых пределах изменять свое первоначальное взаимное расположение. Они называются подвижными.

И неподвижные, и подвижные детали делятся на неразъемные и разъемные. К неразъемным относят такие соединения, разборка которых при ремонте электроизмерительных приборов не предусмотрена. Если все же ее приходится осуществлять, то это требует значительных физических усилий, а многие детали оказываются поврежденными. Разрешается поломка только крепежных деталей: шплинтов, штифтов, которые можно легко заменить.

Разъемными называют соединения, разборка которых может быть произведена без серьезных затруднений и не сопровождается деформациями и поломками деталей.

Сборка неразъемных соединений

Неподвижные неразъемные соединения собирают с помощью пайки, сварки, клепки, запрессовки, склеивания.

Пайка. В результате операции пайки две металлические детали оказываются соединенными между собой с помощью расплавленного металла или сплава, называемого припоем. В процессе пайки металл и припой растворяются друг в друге, так как перед пайкой места соединения деталей хорошо прогреваются. В результате этого места соединения приобретают достаточную механическую прочность, тепло- и электропроводность. Основной металл при пайке не плавится, потому что его температура плавления всегда больше температуры плавления припоя.

Пайка производится либо мягкими, либо твердыми припоями. К мягким относятся оловянно-цинковые, оловянно-свинцовые, висмутовые сплавы. Они имеют сравнительно невысокую температуру плавления (не более 100—200° С) и относительно низкую механичес-

кую прочность. Поэтому область их применения ограничена деталями, не подвергающимися в процессе эксплуатации большим механическим нагрузкам. Мягкие припои используются при пайке пружин, растяжек, подвесов, большинства деталей подвижной части, токоподводящих проводов и т. п.

Твердые припои выполнены на серебряной основе. Они применяются при пайке очень немногих деталей, и в первую очередь, марганциновых шунтов и добавочных сопротивлений. Их температура плавления намного выше, чем у мягких припоев, и достигает $600\text{--}700^\circ\text{C}$.

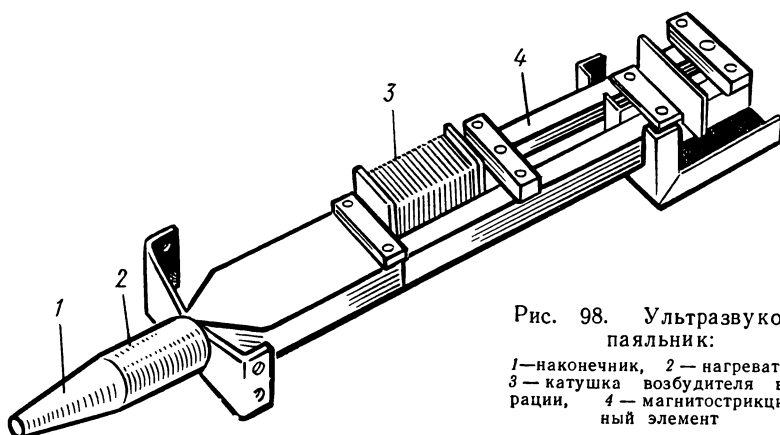


Рис. 98. Ультразвуковой паяльник:

1 — наконечник, 2 — нагреватель, 3 — катушка возбуждителя вибрации, 4 — магнитострикционный элемент

Пайка мягкими припоями осуществляется обычными электрическими паяльниками. Перед пайкой спаиваемые поверхности тщательно очищают наждачной шкуркой, хорошо пролуживают и покрывают флюсом. При лужении поверхности деталей смачивают тонким слоем припоя, наплавляемого на основной металл. Температура в месте лужения должна быть несколько выше температуры плавления припоя; тогда окислы, содержащиеся на поверхности металла, растворятся в флюсе. После лужения поверхности спаиваемых деталей обильно смачивают припоем и места соединений этих поверхностей охлаждают.

Пайка алюминиевых деталей обычным способом осуществлена быть не может из-за того, что на поверхности алюминия имеется прочная пленка, разрушить которую удается только с помощью электромагнитных колебаний ультразвуковой частоты (порядка $20\text{--}30\text{ кГц}$). Поэтому для пайки крупных алюминиевых деталей используют специальный ультразвуковой паяльник (рис. 98), с помощью которого производится их лужение. Никаких флюсов при этом не применяют. Лужение мелких алюминиевых деталей производят в особой ванне, где ультразвуковые колебания создаются с помощью специальных вибраторов. После такого облуживания детали паяются обычным способом с применением особого припоя, содержащего 80% олова и 20% цинка.

При пайке твердым припоем смачиваемые концы предварительно зачищают. Провода диаметром до 0,2 мм перед пайкой скручивают друг

с другом для придания им механической прочности. Более толстые провода паяют встык. Пайка производится на специальной установке, в которой на поверхность спаиваемых нихромовых проводников насыпают смесь твердого припоя с порошкообразным флюсом в соотношении 4 : 1. Смесь оплавляется и, застывая, скрепляет спаиваемые детали.

Сварка. Для соединения достаточно крупных деталей, выполненных из листового материала (крышек корпусов, экранов и т. д.) наибольшее распространение в электроприборостроении получила

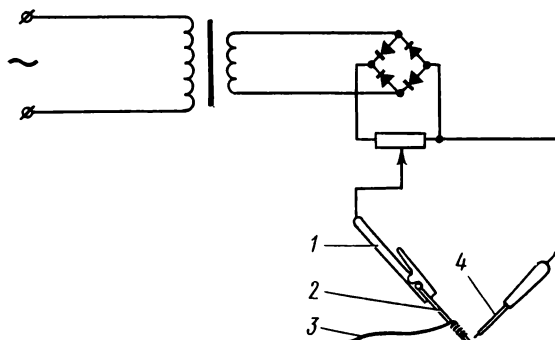


Рис. 99. Схема установки для дуговой сварки:
1 — держатель проволоки, 2 — толстый проводник, 3 — тонкий проводник, 4 — угольный стержень

электродуговая сварка, которая во многих случаях успешно заменяет пайку. Принципиальная схема аппарата для электродуговой сварки приведена на рис. 99. Концы свариваемых проводов 2 и 3 аккуратно зачищают наждачной шкуркой, а затем тонкий провод 3 наматывают на толстый 2. Свободный конец толстого провода закрепляют в пружинном зажиме 1. Последний через делитель напряжения присоединяют к отрицательному полюсу выпрямительного моста, на который подается питание от вторичной обмотки сварочного трансформатора. Положительный полюс моста подключают к угольному стержню 4. Когда конец этого стержня касается конца толстого провода, между ними возникает электрическая дуга, которая сваривает концы проводников 2 и 3.

Для соединения мелких деталей применяют так называемую конденсаторную сварку. Электрическая схема аппарата для конденсаторной сварки показана на рис. 100. От повышающего трансформатора 1 заряжаются сварочные конденсаторы 7—10, а также конденсатор 13, предназначенный для зажигания игнитрона 11. Величина зарядного тока ограничивается балластными резисторами 3. От того же трансформатора 1 при нажатии кнопки 15 ток поступает в обмотку реле 14. Его контакт 12 замыкается и включает цепь зажигания игнитрона 11, через который происходит разряд конденсаторов 7—10. При этом во вторичной обмотке сварочного трансформатора 5 индуцируется им-

пульс тока, величина и длительность которого регулируются путем изменения коэффициента трансформации сварочного трансформатора с помощью переключателя 4. Возможность получения достаточно большой амплитуды и малой длительности импульса позволяет добиться высокого качества сварки без предварительного отжига поверхностей

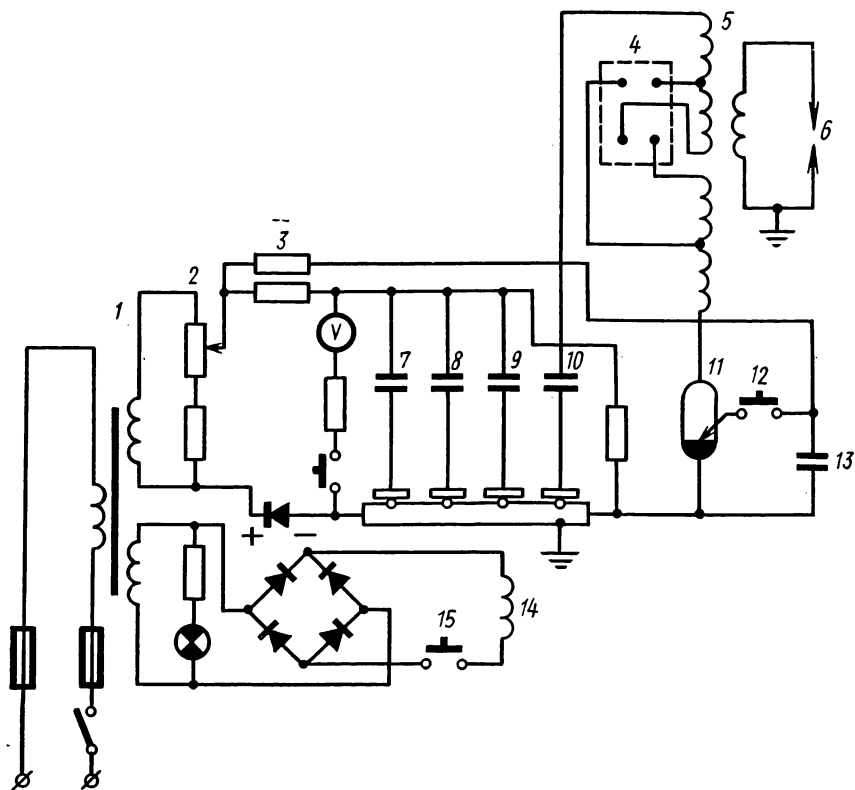


Рис. 100. Электрическая схема аппарата для конденсаторной сварки:
1 — повышающий трансформатор, 2 — делитель напряжения, 3 — балластные резисторы, 4 — переключатель, 5 — сварочный трансформатор, 6 — щипцы, 7—10 — конденсаторы, 11 — игнитрон, 12 — контакт реле, 13 — конденсатор зажигания, 14 — реле, 15 — пусковая кнопка

свариваемых деталей и без их прогрева. От вторичной обмотки сварочного трансформатора импульс подается к щипцам 6, губки которых служат сварочными электродами. Изменяя емкость каждого из сварочных конденсаторов с помощью переключателя 4, можно получить широкий диапазон энергии для сварки: 1,25—13 Дж.

Склеивание. Эту операцию можно осуществлять для соединения любых деталей: и металлических, и неметаллических в каких угодно сочетаниях. При этом материал деталей и требования, которые предъявляются к их соединению, определяют выбор клея. Так, для склеивания деталей из органического стекла на фенольной основе применяют

дихлорэтан или уксусную кислоту, а для остальных деталей — лаки на бакелитовой или казеиновой основе. Для склеивания оптических деталей употребляют бальзам, изготовленный из смолы сибирской пихты; полихлорвиниловые детали соединяют между собой или с металлическими деталями полихлорвиниловым клеем. Однако во всех перечисленных случаях могут быть с успехом применимы клеи БФ-2 и БФ-4, выполненные на основе эпоксидных смол. Этими клеями склеивают детали в строго определенной последовательности. Сначала их тщательно очищают наждачной шкуркой от пыли, грязи и различных примесей, от окислов и жира, промывают в растворителе и хорошо высушивают. Затем на склеиваемые поверхности наносят тонкий слой клея и детали выдерживают до «отлипа». После этого их помещают на 15 мин в термостат, где они нагреваются до 55—60° С, а потом охлаждаются до комнатной температуры. Охлажденные детали снова покрывают клеем и вновь высушивают в том же термостате по такой же технологии. Высушенные детали снова покрывают слоем клея, высушивают до «отлипа» и зажимают в специальном приспособлении, которое обеспечивает по всей склеиваемой поверхности постоянное давление. Детали вместе с приспособлением погружают в термостат и выдерживают там 1,5—2 ч при температуре, постепенно повышающейся от 90 до 140° С. Нагретые детали вынимают из термостата, охлаждают на открытом воздухе и после остывания снимают с зажимного приспособления.

Преимуществом клеев БФ является высокая прочность соединений на разрыв (от 200 до 600 тыс. Н/м²), которая сохраняется в очень широком диапазоне температур: от —60 до +120° С. Недостатком клеев БФ является необходимость длительного сжатия склеиваемых поверхностей в зажимном приспособлении, так как иначе при затвердевании объем клея уменьшится.

Нужда в таком приспособлении отпадает при использовании клея на эпоксидной основе, составленного из эпоксидной смолы и малеинового ангидрида в отношении 10 : 3, которые плавят в разных сосудах при одной и той же температуре 60° С, сливают вместе и хорошо перемешивают. Приготовленный клей должен быть использован не более чем в течение часа. Склеенные детали сушат в течение 6 ч при температуре 100—110° С. Этот клей обладает отравляющим действием, поэтому готовить его и сушить детали нужно в вытяжном шкафу и следить за тем, чтобы он не попадал на кожу рук.

При склеивании резины с другими материалами широко применяют резиновый клей № 88, не растворяющийся в воде. Склеиваемые поверхности зачищают и два раза промывают бензином, а потом просушивают 3—5 мин. После этого их покрывают тонким слоем клея и вновь просушивают в течение 3—4 мин, затем на них наносят второй слой клея, их поверхности подсушивают от «отлипа», крепко зажимают и выдерживают в таком состоянии в течение суток при комнатной температуре.

Клепка. Клепку применяют при соединении деталей, одна из которых имеет выступающую часть. Заклепочные соединения выполня-

ют расклепыванием этих выступов. В электроприборостроении наибольшее распространение получили пустотелые заклепки.

Клепка производится без нагревания соединяемых поверхностей, только вследствие деформации либо одной из этих деталей, либо заклепки. Чтобы деформация деталей была возможно меньшей, материал заклепки должен иметь гораздо меньший модуль упругости, чем каждая из соединяемых деталей. При образовании заклепочной головки применяют обжимку или пуансон (рис. 101, а, б). Ударная нагрузка на них создается молотком или стальным прессом. Обжимка имеет перед пуансоном то преимущество, что обеспечивает более плотное прилегание соединяемых деталей друг к другу.

Завальцовывание. Соединение двух деталей, когда одна из них охватывает другую, причем расширение последней в направлении, перпендикулярном оси, создает необходимый натяг, называется завальцовыванием. Завальцовкой в электроизмерительных приборах соединяют медные или латунные трубки малого диаметра. Для этого ручную вальцовку вставляют в трубку, помещенную вдоль детали

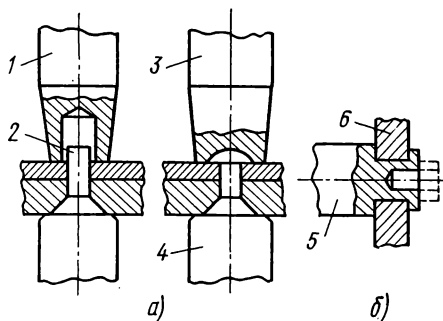


Рис. 101. Схема соединения деталей клепкой:

а — с помощью обжимки, б — с помощью пуансона; 1 — обжимка, 2 — заклепка, 3 — пуансон, 4 — поддержка, 5, 6 — соединяемые детали

(рис. 102, а). Ручная вальцовка представляет собой стержень, конец которого выполнен в форме половины шара и хорошо отполирован. Этот стержень вводят в трубку и поворачивают, отжимая ее стенки. Для более плотного прижатия трубки к стенкам детали применяют кернер 3.

Широкое распространение нашла также операция по завальцовке

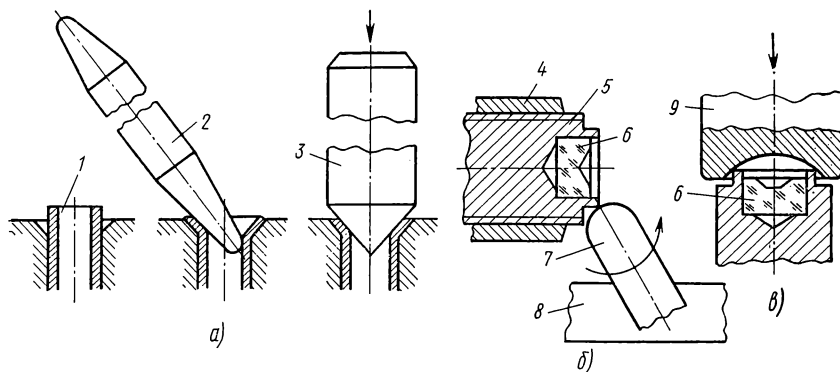


Рис. 102. Схема развальцовки деталей:

а — трубки, б, в — камня; 1 — трубка, 2 — вальцовка, 3 — кернер, 4 — цанга, 5 — оправка, 6 — камень, 7 — гладилка, 8 — подручник, 9 — пуансон

камня подпятника *б* в оправку *5*. Перед завальцовкой место установки камня хорошо промывают. Оправку зажимают в цангу *4* токарного станка, а камень вставляют в нее пинцетом. Для завальцовки этой детали применяют либо гладилку *7* с подручником *8* (рис. 102, *б*), либо пуансон (рис. 102, *в*). В последнем случае камень можно вводить в оправку на меньшую глубину, чем при завальцовке гладилкой. При этом исключается попадание мелкой стружки, которая образуется при завальцовке, в кратер камня.

Запрессовка. Операция, при которой детали надвигаются друг на друга под действием силы, направленной вдоль оси, называется за-
прессовкой. Качество за-
прессовки определяется состоянием по-
верхностей соединяемых дета-
лей. При гладких поверхностях
качество ее получается лучшим,
чем при шероховатых.

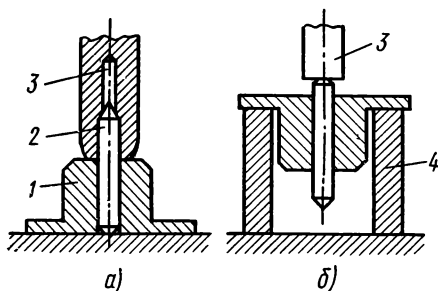


Рис. 103. Схема запрессовки керна в букву:

а — с верхней стороны буквы, *б* — конусом вперед; *1* — буква, *2* — керн, *3* — пуансон, *4* — втулка

Для электроприборостроения наиболее характерной является операция по запрессовке керна в буксу. Когда длина керна меньше высоты буквы, его запрессовывают сверху (рис. 103, *а*), а при большей длине керна — с нижней стороны буквы, конусом вперед (рис. 103, *б*). В последнем случае исключается повреждение керна, однако уве-

личиваются затраты времени на эту операцию, так как она производится в два приема: сначала керн запрессовывают пуансоном с направляющими, а затем гладким пуансоном досылают до тех пор,

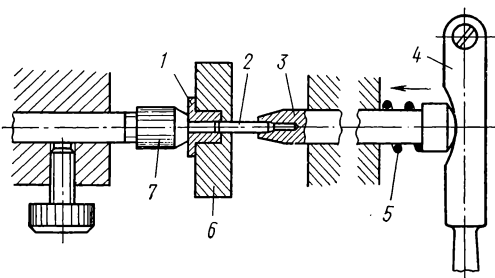


Рис. 104. Приспособление для запрессовки керна:

1 — буква, *2* — керн, *3* — пуансон, *4* — рукоятка, *5* — пружина, *6* — планка, *7* — упор

пока его конец не совпадет с концом буквы. Первый способ, как более простой, получил наибольшее распространение. На рис. 104 показано приспособление, с помощью которого осуществляется запрессовка керна. Буксу *1* вставляют в гнездо планки *6* и фиксируют упором *7*. С другой стороны планки *6* в то же гнездо вставляют пинцетом керн *2* и запрессовывают пуансоном *3*, который сначала просто подводится

к керну, а затем, после проверки их взаимной центровки, поворотом рукоятки *4* перемещается влево до тех пор, пока не упрется в планку. Рукоятка в первоначальное положение возвращается пруж-

жиной. Керн при запрессовке должен быть установлен строго перпендикулярно основанию буксы. Отклонение больше, чем на 1° , не допускается. Керн выполняется из более твердого материала, чем пуансон.

Собранные таким образом полуоси наклеивают на папиросную бумагу и помещают в стеклянный сосуд, где хранят до следующей операции. Подобным способом производится запрессовка керн в ось.

Заформовка. Заформовку применяют в тех случаях, когда детали выполнены из мягкого материала и могут легко деформироваться, поэтому их непосредственное соединение невыполнимо. Для увеличения механической прочности этих деталей в них заформовывается арматура из значительно более прочного материала. Так, например, в пластмассовые детали обычно заформовывают металлические зажимы, контакты и другие токопроводящие элементы.

Сборка разъемных соединений

В электроприборостроении среди различных соединений получили наибольшее распространение резьбовые из-за их простоты, надежности и легкости разборки и сборки. В электроизмерительных приборах больше всего распространены резьбовые соединения с диаметром резьбы до 6 мм.

Винты, диаметр головки которых составляет 5—8 мм, крепят обычной отверткой с деревянной или пластмассовой ручкой. Для мелких винтов рекомендуется часовая отвертка, причем для каждого типа винтов нужно выбирать отвертки соответствующего размера, иначе можно повредить прорези в головках винтов. Лезвие отвертки должно иметь параллельные грани, толщину его нужно выбирать немного меньше, чем ширина прорези, а длину — несколько меньшей диаметра головки.

При заворачивании очень мелких винтов их приходится поддерживать пинцетом до тех пор, пока они не будут завернуты на 2—3 оборота. В труднодоступных местах для этой цели применяют отвертки с пружинным держателем.

Лезвия отверток должны изготавливаться из немагнитных материалов. Стальные отвертки и другие сборочные инструменты следует хромировать.

При массовом и серийном производстве наиболее эффективными являются электрические отвертки (рис. 105), у которых нажатием пусковой кнопки, расположенной непосредственно в рукоятке, запускается электродвигатель 4 и через редуктор 3, снижающий скорость вращения до 200—500 об/мин, передает вращение патрону 2, в котором зажато лезвие 1. Применение электрической отвертки вместо ручной значительно ускоряет процесс сборки резьбовых соединений.

Чтобы винты не отвинчивались сами собой, под их головки устанавливают шайбы различной формы. Но иногда наличие шайб может привести к поломке деталей, в таких случаях элементы винтового соединения покрывают шеллаком, нитроклеем марки АК-20 или краской. Разъемные соединения крепят с помощью лака в такой последовательности.

Поверхности, которые будут покрываться лаком, очищают от пыли и жира. Затем лак наносят кисточкой на поверхности деталей, которые высушивают при комнатной температуре. (В тех случаях, когда прибор предназначен для работы при температурах, превышающих 80—100° С, сушка продолжается 1,5 ч при 180° С).

Если при соединении разъемных деталей применяют нитроклей, то его предварительно разбавляют специальной жидкостью марки РДВ

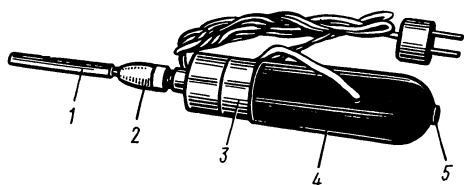


Рис. 105. Электрическая отвертка:
1 — лезвие отвертки, 2 — патрон, 3 — редуктор,
4 — электродвигатель, 5 — пусковая кнопка

до вязкости, удобной для работы, после этого в него добавляют 5—10% нитроэмали, смесь тщательно перемешивают и небольшими каплями наносят на склеиваемые поверхности, причем каждая капля клея должна соединять обе детали. Полученное соединение просушивают в течение примерно получаса при комнатной температуре.

Лак должен связывать головку или конец винта со скрепляемой деталью, чтобы предохранить от самоотвинчивания неотчетливые соединения. Если в таком соединении имеется гайка, то лак должен связывать ее как с головкой или концом винта, так и со скрепляемой деталью.

При скреплении винтом ответственных деталей резьбу покрывают лаком, чтобы небольшое количество его после завинчивания винта вытекло из соединения и осталось на конце винта. Если почему-либо такой способ оказывается невозможным, детали винтового соединения крепят лаком с обеих сторон: и со стороны головки винта, и со стороны его конца, связывая их со скрепляемой деталью так же, как при скреплении неотчетливых винтовых соединений.

§ 39. ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В настоящее время сборка подвижных частей производится либо на специально отведенном для этой цели участке, либо на конвейерах общей сборки. Первый способ нашел применение при единичном выпуске экспериментальных образцов приборов. При этом обеспечивается строгая специализация каждого сборочного участка, которая обусловлена большой номенклатурой деталей и узлов. Второй способ характерен для сборочных цехов при массовом и серийном производстве.

Подвижные части электроизмерительных приборов резко различаются по конструктивным особенностям. Так, магнитоэлектрические, электродинамические и ферродинамические приборы, у которых подвижная часть выполняется в виде легких катушек (рамок), обязательно имеют безмоментные пружины, растяжки или подвес, которые служат как для подвода тока в рамку, так и для крепления подвижной части. В электромагнитных же приборах подвижную часть крепят с помощью

пары керн-подпятник, а спиральные пружины служат для создания противодействующего момента. Керны, растяжки и подвес выполняются как наружными, так и внутренними. Подвижные части приборов могут снабжаться либо стрелкой в форме лезвия ножа или копья, либо зеркалом. Некоторые приборы имеют не одну, а две рамки. У одних они располагаются симметрично относительно оси, у других — несимметрично. Разнообразная форма придается сердечникам катушек: они могут быть прямыми или изогнутыми, снабжаются воздушными или магнитоиндукционными успокоителями.

Электроизмерительные приборы имеют также множество других разнообразных по назначению и конструкции второстепенных деталей, как-то: втулки, изоляторы, токоподводящие и крепежные детали.

К сборке подвижных частей приборов, так же как и к их конструкции, предъявляются весьма высокие требования. При сборке не должны нарушаться форма, размеры, взаимное расположение и физические свойства собираемых деталей и узлов. Для сборки используются разъемные и неразъемные соединения и производятся сборочные операции, которые были описаны выше, причем наиболее распространенными являются опрессовка, обжимка, развальцовка, пайка, склеивание. Первые три операции применяют для закрепления сердечников, электродов, различных держателей. Пайка применяется для крепления деталей тогда, когда необходимо обеспечить повышенную прочность соединения, а также в тех случаях, когда между соединяемыми деталями должен быть обеспечен надежный электрический контакт. Пайку медных деталей производят припоем ПОС-90, а алюминиевых — припоем АВИА-1.

С помощью склеивания крепят полуоси к рамкам и рамки к держателям. Для этих целей применяют целлулоидный клей, после покрытия которым детали должны быть обязательно подвергнуты просушке в течение 15—20 мин при температуре 70—80° С. Если необходимо получить более прочное соединение собираемых деталей, используют клей БФ. Для закрепления букс на оси, стрелок в держателях, а также противовесов используют шеллак. Его сушат в небольших муфельных печах или с помощью электрических грелок до тех пор, пока полностью не испарится спирт, в котором был растворен шеллак.

Значительно меньшее применение нашли резьбовые и штифтовые соединения. Это объясняется тем, что первые сильно утяжеляют узел, а вторые чрезвычайно трудоемки, требуют специального оборудования и могут быть выполнены только высококвалифицированными специалистами.

Детали, которые будут использованы для сборки подвижных частей, должны храниться в специальных круглых коробках, чтобы обеспечить их сохранность в полной чистоте.

Поверхности деталей, предназначенных для сборки приборов высокой чувствительности (гальванометров), даже после такого хранения должны проходить специальную проверку на отсутствие частичек железа, которые могли попасть туда при их транспортировке и механической обработке. Такая проверка выполняется на крутильных весах (рис. 106). Испытуемую деталь 7 устанавливают на весы, находящиеся в

поле сильного электромагнита 8, в обмотку которого подается постоянный ток. Величина тока ограничивается реостатами 1 и 2. Крутильные весы закреплены на подвесе 6, что обеспечивает их высокую чувствительность. На том же подвесе укреплено зеркало 5, на которое попадает луч света от осветителя 3, отражаясь на шкалу 4 в виде светового пятна, центр которого находится на нулевой отметке шкалы. При на-

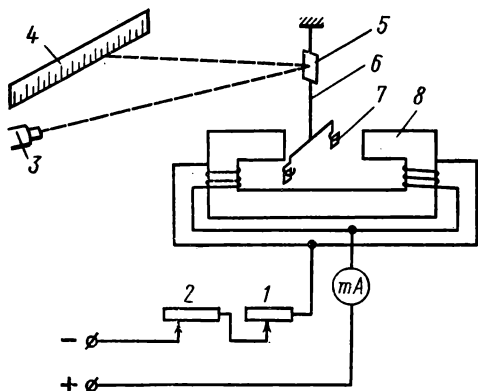


Рис. 106. Схема установки для испытания деталей на отсутствие частиц железа: 1, 2 — реостаты, 3 — осветитель, 4 — шкала, 5 — зеркало, 6 — подвес, 7 — испытуемая деталь, 8 — электромагнит

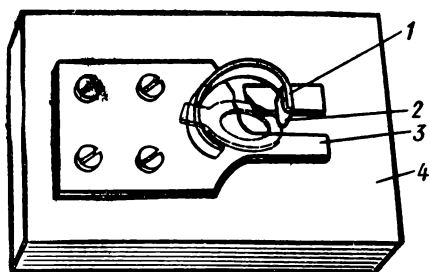


Рис. 107. Приспособление для пайки пружин: 1 — пружинодержатель, 2 — пружина, 3 — пластина, 4 — основание

личии даже незначительных частичек железа в результате их взаимодействия с полем электромагнита создается вращающий момент, который смещает центр пятна. По величине этого смещения можно судить о наличии на поверхности детали частичек железа.

Рассмотрим наиболее характерные операции при сборке деталей и узлов электроизмерительных приборов.

Крепление пружин. Крепление пружин с помощью специального приспособления показано на рис. 107. Пружинодержатель 1 вставляется в паз пластины 3. Между этой пластиной и основанием 4 приспособления имеется зазор, величина которого равна толщине пружинодержателя, что обеспечивает его надежное закрепление. Отогнутый конец располагают над пластиной 3 так, чтобы он выступал на 0,1—0,2 мм от конца пружины 2. Внутренний конец пружины либо загибают с помощью пинцета так, как это показано на рис. 107 (пружины из оловянистой бронзы), а затем пружину кладут на пружинодержатель, либо припаивают внахлест к пружинодержателю, предварительно подвергая протравливанию (пружины из бериллиевой бронзы). Протравливание включает в себя следующие операции: промывку в спиртеректификате, кипячение в течение 6—9 мин в 20%-ном растворе щавелевой кислоты, новую промывку сначала в водопроводной, а затем в дистиллированной воде.

Пайка пружин производится мягким припоем ПС-40 с применением флюса, в качестве которого используется канифоль, растворенная в

спирте, или лак ЛТИ-2 (если поверхность пружины не подвергалась окислению, то ее можно припаивать и без флюса, но в этом случае конец пружинодержателя нужно обязательно залудить). Остаток флюса на месте спая удаляют растворителем РДВ или спиртом.

Такой способ пайки пружин признан чрезвычайно производительным, но установленная в прибор пружина мешает последующей сборке подвижной части, так как требует особой осторожности в обращении. Поэтому зачастую пружину приходится припаивать к уже собранной подвижной части, т. е. пайка пружины становится завершающей частью процесса сборки. В таких случаях на пружинодержатель 6 (рис. 108) надевают шаблон 5, который заклинивается на буксе 2. После этого пружину 4 припаивают к пружинодержателю тем же способом, который был описан выше. Здесь следует учитывать возможность повреждения керна или загрязнения его парами флюса, поэтому на время пайки он должен быть закрыт костяным или деревянным колпачком 3. При пайке пружин наиболее удобен малогабаритный паяльник с регулируемым нагревом.

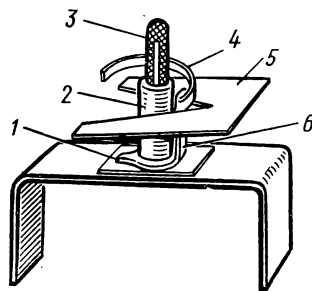


Рис. 108. Пайка пружин на подвижной части:

1 — вывод рамки, 2 — буска, 3 — предохранительный колпачок, 4 — пружина, 5 — шаблон, 6 — пружинодержатель

Пайка растяжек и подвесов. Эта операция относится к числу самых ответственных и трудных, так как размеры подвесов и растяжек, как и деталей, к которым они припаиваются, необычайно малы: вся площадь пайки не превышает $0,8 \times 1 \text{ мм}^2$. Пайку производят с помощью висмутового припоя малогабаритным паяльником.

Растяжки должны припаиваться точно по оси рамки, иначе крепление подвижной части окажется нарушенным. Только убедившись в правильной ориентировке растяжки относительно бусы, можно начинать пайку. Для пайки имеются специальные приспособления (рис. 109). Рамка 4 устанавливается так, чтобы ее концы 2 легли точно в угловую канавку 1. На определенном расстоянии от рамки располагают наконечники 6, закрепленные прижимами 3, удерживающими рамку в нужном положении. Растяжку 7 пропускают сквозь отверстие наконечника 6, затем через другое отверстие, просверленное в боковой части второго наконечника, протягивают снизу к противоположной стороне рамки и там пропускают через другой такой же наконечник. После этого концы растяжки крепят в пружинных зажимах 5, смонтированных на шарнирах и немного натягивающих растяжку собственной массой.

Пайку производят мягкими припоями ПОС-90 или ПК. Температура нагрева паяльника должна быть на $60\text{--}70^\circ$ выше температуры плавления припоя. В противном случае не удастся обеспечить хороший прогрев детали, к которой припаивается растяжка. Места спаев тщательно промывают спиртом-ректификатом или эфиром и смачивают флюсом. Припой при пайке должен доходить точно до конца паяльника. По окончании пайки остатки флюса удаляют с мест спая, для чего их про-

мывают спиртом или растворителем РДВ. После этого лишние куски растяжек отрезают. Места пайки и всю растяжку следует внимательно рассмотреть через лупу с тройным или более увеличением и убедиться, что припой не затек на растяжку, что растяжка не отожжена, что на ней нет цветов побежалости и что она припаяна без перекоса.

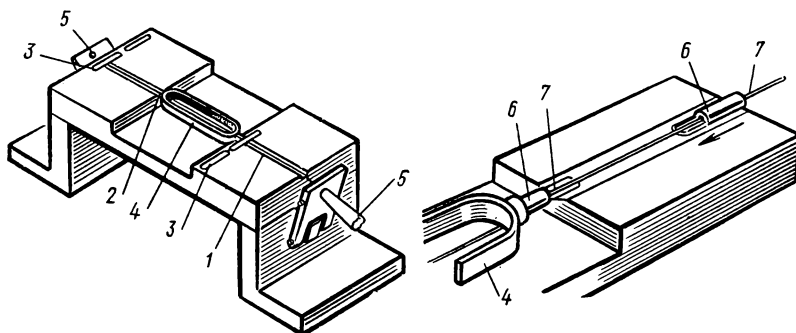


Рис. 109. Приспособление для пайки растяжек:
1 — канавка, 2 — концы рамки, 3 — прижимы, 4 — рамка, 5 — зажимы, 6 — нако-
нечник, 7 — растяжка

Процесс крепления растяжки существенно упрощается при применении ролика и клина (рис. 110). Букса 5 из дюралюминия, латунный ролик 2 и алюминиевый клин 1 вместе с токоподводом 3 крепят к оси

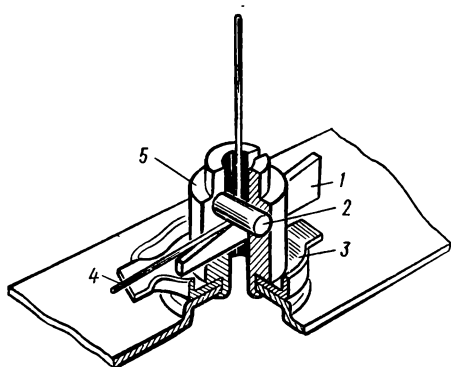


Рис. 110. Крепление растяжки с помо-
щью ролика и клина:

1 — алюминиевый клин, 2 — латунный ролик,
3 — токоподвод, 4 — растяжка, 5 — букса

прибора или к рамкодержателю. В средней части буксы прорезают очень тонкий шлиц. К токоподводу припаивают один конец растяжки. Другой ее конец огибает ролик и припаивается к амортизационной пружине. Клин вставляют в шлиц, прижимая растяжку к ролику. Так как клин выполнен из значительно более мягкого материала, чем ролик и растяжка, то последняя прочно вдавливаясь в клин так, чтобы ее середина на участке от центра ролика до амортизационной пружины совпадала с осью буксы. Такой способ обеспечивает прочное крепление растяжки к буксе; место пайки оказывает-

ся достаточно удаленным от рабочего участка растяжки. Этим и обусловлено облегчение процесса пайки.

Пайка подвесов производится точно так же.

Пайка токоподводов. Токоподводы нашли основное применение в гальванометрах с зеркальным отсчетом. Они не должны создавать

противодействующего момента, так как их назначение — подвод тока в рамки электроизмерительных приборов. Трудность пайки токоподводов состоит, во-первых, в том, что в процессе пайки эту деталь не удастся закрепить в определенном положении и, во-вторых, в том, что оплавленный припой, растекаясь, может попасть на токоподвод и значительно сместить его. Поэтому при пайке этих деталей надо прочно закрепить измерительный механизм в горизонтальном положении. Процесс пайки медных и бронзовых токоподводов показан на рис. 111.

Держатели 1 и 2 тщательно облуживаются в тех местах, к которым будет припаян токоподвод, и смачиваются флюсом. Затем один конец токоподвода 3 подводят к держателю 2 (на рис. 111 показано пунктиром), укладывают при помощи пинцета и удерживают в этом положении до тех пор, пока припой не затвердеет.

Второй конец токоподвода тем же пинцетом подводят к другому держателю 2 и поддерживают в течение всего процесса пайки в таком положении, которое показано на рис. 111 сплошными линиями. Руку, держащую пинцет, надо опереть на подручник, иначе есть опасность сдвинуть токоподвод в процессе пайки.

Такой способ хорош при пайке медных и бронзовых токоподводов, так как к ним можно свободно прикасаться паяльником, не рискуя расплавить их.

При пайке золотых и серебряных токоподводов, которые в электроизмерительных приборах имеют весьма малую толщину — не более 0,002 мм и поэтому могут быть легко повреждены обычным пинцетом, приходится пользоваться специальным пинцетом, который обладает не очень высокой упругостью, имеет хорошо отполированные поверхности, плотно прилегающие друг к другу. Держатели таких токоподводов перед пайкой обязательно облуживают, места пайки обильно смачивают флюсом и с помощью пинцета туда укладывают токоподвод, который быстро приклеивается. Паяльник при пайке таких токоподводов следует прикладывать к держателю и держать его до тех пор, пока припой не расплавится, иначе может расплавиться токоподвод. Не следует набирать много припоя, так как он, стекая с паяльника, может сдвинуть токоподвод. Исправить его положение можно, если разогреть держатель до температуры, при которой припой размягчается, а затем с помощью металлической иглы вернуть токоподвод на прежнее место. После этого паяльник нужно отвести от держателя и убрать иглу от токопровода.

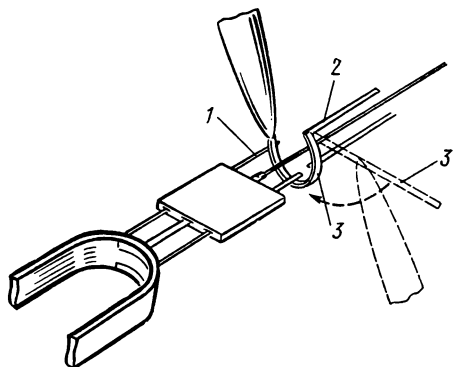


Рис. 111. Пайка токопроводов:
1, 2 — держатели, 3 — токоподвод

Сборка подвижной части с кернами. Перед наклейкой на рамку буквы с керном нижнюю часть ее следует очистить мелкой наждачной шкуркой. Затем буквы промывают в бензине, плотными рядами укладывают на папиросную бумагу, смоченную клеем БФ-4, и сушат в термостате при 80°C в течение 15 мин. После этого каждую букву отрезают от общего листа.

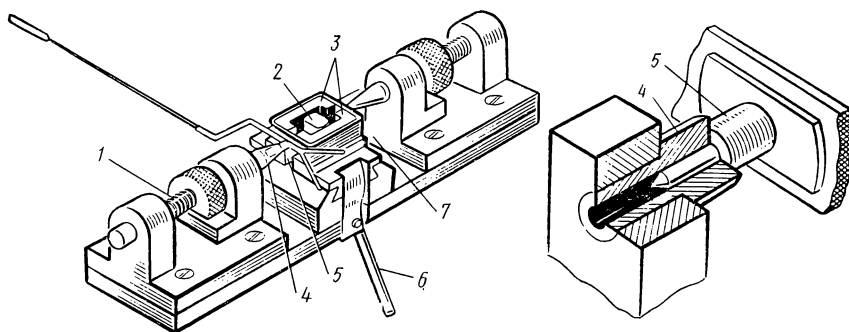


Рис. 112. Приспособление для приклеивания букв к рамке:
1 — пружина, 2 — эксцентрик, 3 — вкладыши, 4 — направляющие, 5 — буква, 6 — рычаг,
7 — рамка

При наклейке букв на рамку самое главное — обеспечить правильное взаимное расположение кернов относительно оси рамки. Это наиболее просто удастся сделать на специальном приспособлении (рис. 112). Рамку 7 надевают на вкладыши 3, разжимаемые эксцентриком 2 с помощью рычага 6, закрепляя ее в нужном положении. Собранные буквы крепят на рамке таким образом, чтобы керны попали в направляющие 4. Место рамки, на которое должна лечь буква, смачивают клеем БФ-4. Пружина 1 заставляет направляющие двигаться вперед. Лево́й рукой в это время надо слегка придерживать направляющую, а правой с помощью пинцета развернуть букву 5 вокруг своей оси до тех пор, пока ее края не окажутся параллельными краям рамки. Затем направляющие опускают, и буква оказывается плотно прижатой к рамке. Так же устанавливают и вторую букву. Собранный узел нагревается 2 ч в термостате при 80°C . Затем его охлаждают, направляющие отводят в исходное положение, вкладыши 3 сжимают, и рамка снимается.

Последней операцией является припаивание выводов обмотки рамки к пружинодержателю. Способы пайки выводов показаны на рис. 113. В тех случаях, когда пружины паяют раньше, чем наклеивают буквы на рамку, доступ к месту пайки затруднен. Когда пружина имеет 6—7 или более витков, один конец ее забрасывают за керн в сторону, противоположную месту пайки (рис. 114,а). При меньшем числе витков применяют другой способ (рис. 114,б). Пружинодержатель с помощью пинцета отгибают вместе с пружиной, а после окончания пайки его положение восстанавливается. Сам же процесс пайки проводят

следующим образом. Конец пружинодержателя залуживают, затем вокруг него 2—3 раза обматывают вывод рамки, с верхней стороны которого осторожно снимают изоляцию. Далее производят пайку. После

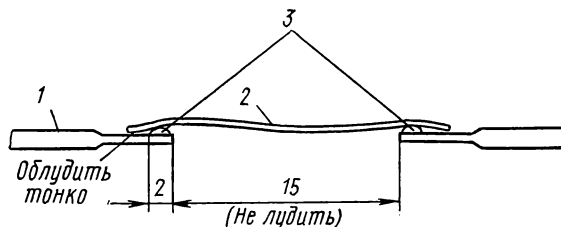


Рис. 113. Схема пайки токоподводов к держателю:
1, 2 — токоподводы, 3 — пружина

ее окончания пружинодержатель возвращается в нормальное положение.

При больших диаметрах проводов концы выводов зачищают от изоляции до того, как их наматывают на пружинодержатель. Провода диаметром более 0,2 мм просто накладывают на пружинодержатель.

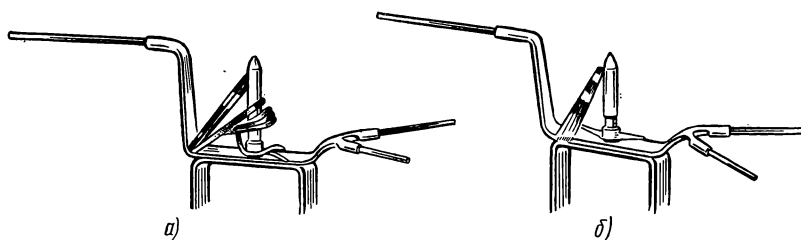


Рис. 114. Пайка выводов рамки:
а — при большом числе витков пружины, б — при малом числе витков пружины

После сборки производится проверка предварительного уравнивания подвижной части. Цель ее — приблизительно сбалансировать подвижную часть. В точном уравнивании ее нет необходимости, так как положение подвижной части все равно изменится в результате сгибания отдельных частей, их высыхания после склеивания и т. д.

§ 40. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА И ПРИЕМЫ СБОРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Измерительный механизм, преобразующий измеряемую величину в отклонение подвижной части, является самым ответственным узлом электроизмерительного прибора: от его качества зависят многие свойства приборов, как-то: чувствительность, большая или меньшая вос-

приемчивость к влиянию внешних магнитных полей, воздействие температуры окружающего воздуха и многие другие.

В отличие от сборки подвижных частей сборка измерительного механизма существенно зависит от системы прибора, так как нередко приходится производить операции, характерные именно для данной системы. В качестве примера можно назвать операцию регулировки путем размагничивания, применяемую только для магнитоэлектрических приборов.

Измерительные механизмы, даже принадлежащие к одной системе, резко отличаются друг от друга по многим признакам: так, магнитоэлектрические приборы имеют различную конструкцию и способ установки постоянного магнита (вне и внутри рамки, подвижной и неподвижной и т. д.); электромагнитные приборы выпускаются как с круглой, так и с плоской катушкой, с воздушным и магнитоиндукционным успокоителем и т. п.; способы установки подвижной части в приборах одной и той же системы тоже неодинаковы (керны с подпятниками, растяжки, подвес). Ясно, что при столь разнообразных конструкциях рекомендовать какую-то единую технологию сборки невозможно. Однако можно сформулировать некоторые общие принципы построения технологического процесса сборки, выполнение которых будет способствовать значительному улучшению качества измерительных механизмов. Эти требования сводятся в основном к следующему:

- подвижную часть прибора следует устанавливать строго concentрично с рабочей осью механизма, что обеспечит свободное, без трения перемещение подвижной части в нужных пределах;

- рабочий зазор должен оставаться постоянным или изменяться точно в заданных пределах;

- форма, взаимное расположение и физические параметры отдельных узлов и деталей измерительного механизма не должны изменяться в процессе эксплуатации;

- детали и узлы, входящие в сборку, должны быть надежно защищены от загрязнения;

- при подгонке собираемых деталей по месту должны быть исключены механические способы их обработки, иначе возможно попадание металлических частиц в опоры и рабочий зазор;

- все технологические указания и требования инструкций должны соблюдаться неукоснительно;

- процесс сборки должен обеспечивать получение взаимозаменяемых деталей. Это особенно важно при повторной сборке прибора.

Сборка измерительных механизмов с подвижной частью на наружных кернах. Прежде всего следует внимательно осмотреть керны и подпятники в бинокулярный микроскоп не менее чем с 60-кратным увеличением. Если при таком осмотре будут обнаружены хотя бы мельчайшие пылинки или ворсинки, то керны и подпятники следует тут же очистить папиросной бумагой и промыть в спирте. Для промывки подпятники помещаются в небольшой латунный стакан — гильзу 1 с дном из металлической сетки 3 (рис. 115). Гильзу 1 вставляют в другой стакан 2 большего размера, имеющий сплошное дно. Сетка 3 должна быть размещена на некотором расстоянии от дна стакана 2.

В этот стакан укладывают равномерно до 150—200 подпятников, заливают их спиртом и помещают стакан на 5 мин в резервуар, в котором создаются ультразвуковые колебания частотой 450 Гц. Под воздействием этих колебаний с наружной поверхности подпятника и из его кратера вымываются все посторонние частицы, которые попадают через отверстия в сетке 3 на дно стакана. После этого грязный спирт из стакана выливают, заполняют его чистым спиртом, и процесс промывки повторяется. После трехкратной промывки детали просушивают в термостате при комнатной температуре. Затем подпятник вновь осматривают в тот же микроскоп и, если при этом замечают отдельные пылинки, то их снимают под микроскопом с помощью тонкой латунной иглы.

После очистки подпятников производится комплектка обоймы и установка в нее подвижной части. Эту операцию нужно выполнять с большой осторожностью, чтобы не нарушить зазора между подвижными и неподвижными деталями. Величину зазора проверяют специальными шаблонами, и обнаруженные дефекты устраняют рихтовкой.

В магнитоэлектрических приборах нерабочие стороны рамки должны одинаково отстоять от торцевых сторон сердечника. Для этого верхний и нижний подпятники вывинчивают до тех пор, пока их концы не окажутся заподлицо с обоймой. Подвижную часть помещают в обойму и укладывают на верхнюю часть сердечника, нижний подпятник подводят к керну, который осторожно вводят в кратер камня, затем этот подпятник ввинчивают и подвижную часть поднимают настолько, чтобы зазоры между рамкой и сердечником были сверху и снизу одинаковы. После этого, поддерживая подвижную часть за стрелку, ввинчивают верхний подпятник и укладывают верхний керн в кратер камня.

Таким же образом достигается нужное положение ферромагнитного сердечника и подвижного элемента в магнитоиндукционных успокоителях электромагнитных приборов.

В обойме, собранной с подвижной частью, нужно с помощью лупы с 5-кратным увеличением просмотреть зазоры между сердечником и рамкой. Они должны быть равномерными и абсолютно чистыми. В полностью скомплектованном приборе увидеть эти зазоры будет уже невозможно.

После сборки подвижной части и закрепления подпятников устанавливают на нуль стрелку и подвижную часть, ставят пружинодержатель в среднее положение и выгибают на уровне пружинодержателя конец наружного винта пружины так, чтобы он, выходя за пружинодержатель, слегка касался его. Затем устанавливают измерительный механизм в такое положение, чтобы ось вращения подвижной части

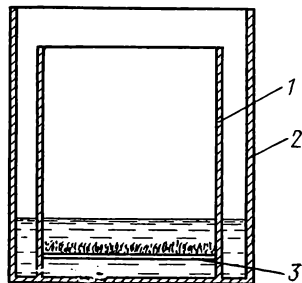


Рис. 115. Стакан для промывки подпятников на ультразвуковой установке:

1 — гильза, 2 — стакан, 3 — металлическая сетка

была расположена горизонтально. Тогда плоскость пружины займет вертикальное положение. (Конец пружины нельзя изгибать петлей или обрезать, так как при этом нарушатся ее упругие свойства.) Затем производят пайку и вслед за ней — рихтовку пружины. Цель ее — обеспечить равномерный шаг спирали и расположение пружины в плоскости, перпендикулярной к оси подвижной части.

Сборка измерительных механизмов с подвижной частью на внутренних кернах. Регулируемый нижний подпятник убирают внутрь сердечника, на последний надевают обмотку, и в верхний подпятник вставляют kern. Обойму берут левой рукой и укладывают горизонтально, одновременно придерживая подвижную часть пальцами для того, чтобы не дать верхнему керну выйти из кратера подпятника. В этом положении выдвигают нижний подпятник, и нижний kern направляют в кратер камня.

Эта операция принадлежит к числу наиболее трудных. Нужно следить за тем, чтобы подвижная часть не была зажата в камнях и чтобы рабочая часть не выходила за их торцы. Если же рабочая часть вышла за торец камня, надо вынуть ее из обоймы, просмотреть керны в бинокулярную лупу и, только убедившись, что они находятся в хорошем состоянии, продолжать сборку.

Сам же процесс пайки пружины к пружинодержателю производится так же, как и в приборах с наружными кернами.

Установка осевого зазора (люфта). Операция образования осевого зазора между керном и камнем подпятника является одной из самых важных при сборке измерительного механизма. При отсутствии зазора подвижная часть оказывается зажата в подпятниках, от этого сжимается kern и деформируется кратер камня. Если же зазор чрезмерно велик, то ось прибора смещается с вертикального положения и, во-первых, увеличивается площадь трущихся поверхностей и возникает слишком большое трение, а во-вторых, появляется погрешность от опрокидывания, достигающая значительной величины. Такой прибор трудно поддается уравниванию. Зазор между керном и камнем подпятника для приборов с установкой подвижной части на полуосях должен составлять 0,025—0,03 мм, а для приборов, подвижная часть которых устанавливается на осях, — 0,03—0,04 мм. Величину зазора регулируют перемещением подпятника. Эту операцию могут выполнять только высококвалифицированные рабочие, так как точно соблюсти такой маленький зазор очень трудно.

Сборка измерительных механизмов с подвижной частью на растяжках. Сборку измерительных механизмов с подвижной частью на растяжках можно проводить в отдельном небольшом помещении, где легко поддерживать надлежащую чистоту и порядок, а всю дальнейшую работу по комплектовке прибора — выносить в общий сборочный цех. Такая организация сборки обеспечивает чистоту измерительного механизма.

На сердечник 9 симметрично надевают рамку 10 и удерживают ее в этом положении с помощью клиньев, вставленных между рамкой и сердечником в точках А. Свободные концы растяжек 7 протягивают пинцетом через отверстия 4 и 13 обоймы 5, а сами растяжки — по оче-

реди сквозь втулки 6 и 12. Затем втулки ввинчивают в обойму так, чтобы зазоры между заточками на их концах и держателями 8 и 11 составляли 0,2 мм, и закрепляют в этом положении стопорными винтами 17. На наружных фланцах втулок 6 и 12 с помощью винтов 1 и 16 и планок (штифтов) 2 и 15 крепятся амортизационные пружины 3 и 14. Втулки позволяют повернуть пружины в положение, показанное на рис. 116. Растяжка 7, охватывая штифт 2, огибает пружину 3 и направ-

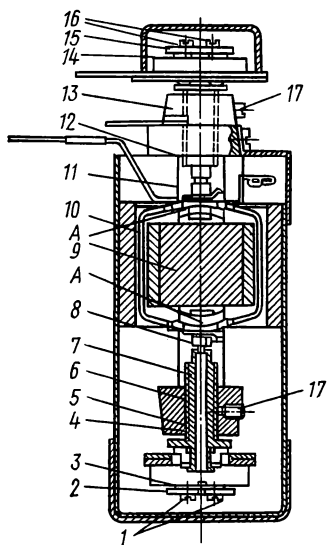


Рис. 116. Обойма для сборки измерительного механизма с подвижной частью на растяжках:

1, 16 — винты, 2, 15 — планки, 3, 14 — пружины, 4, 13 — отверстия, 5 — обойма, 6, 12 — втулки, 7 — растяжка, 8, 11 — держатели, 9 — сердечник, 10 — рамка, 17 — стопорные винты

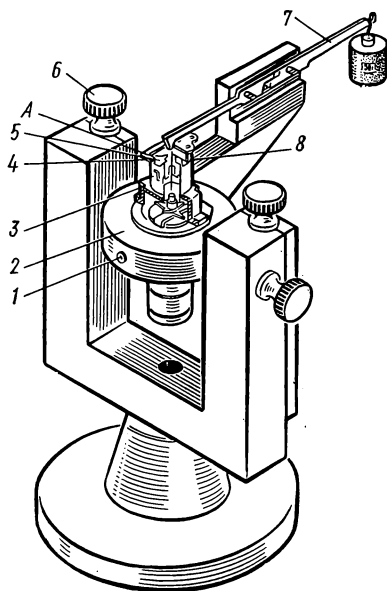


Рис. 117. Приспособление для натяга растяжек:

1, 6 — винты, 2 — кольцо, 3 — обойма, 4 — растяжка, 5 — пружина, 7 и 8 — рычаги; А — точка припаивания

ляется к месту припайки. На этой операции рамку нужно располагать так, чтобы вся растяжка находилась в одной плоскости. При таком взаимном расположении растяжек и пружин обеспечивается точное уравнивание подвижной части и надежное возвращение указателя в нулевое положение.

Заключительная операция по установке подвижной части — это обеспечение натяга растяжек. Для выполнения этой операции обойму с рамкой, растяжками и амортизационными пружинами закрепляют стопорным винтом 1 в кольцо 2 на специальном приспособлении (рис. 117). Поворачивая ее вокруг оси, придают ей такое положение, при

котором пружина 5 и рычаг 7 располагаются, как указано на рисунке. Рычаг 7 должен нажимать на пружину именно там, где растяжка ее огибает. Этого можно добиться, если наклонить обойму 3 вместе с кольцом 2 вперед или назад и зафиксировать стопорным винтом 6.

На конец рычага 8 подвешивают заданный груз. Плечи рычагов 7 и 8 рассчитаны так, что нажим рычага 7 на пружину 5 соответствует определенной величине груза на рычаге 8. Свободный конец растяжки 4 немного натягивают, поддерживают в таком положении пинцетом и припаивают к пружине в точке А. После этого груз с рычага 8 снимают, рычаг 7 отбрасывается вверх, ослабляет винт 6, освобождает кольцо 2 и поворачивает обойму 3, обеспечивая нужный натяг нижней растяжки. Наконец, обойму вынимают из приспособления, а клинья убирают из зазора между рамкой и сердечником.

После установки подвижной части регулируют величину боковых зазоров между рамкой и сердечником. Это удастся произвести на глаз, так как равномерность зазоров обеспечивается самой конструкцией механизма. Зазоры же между буксами и внутренней поверхностью втулок регулируются путем перемещения букс до совмещения их диаметров с заточенными концами втулок. Для смещения букс перемещают амортизационные пружины, на которых крепятся растяжки.

Отрегулировав зазоры, заливают нитрозмалью крепежные винты и закрепляют их контргайками.

Сборка измерительных механизмов с подвижной частью на подвесе. Из-за высокой чувствительности таких механизмов величина вращающего момента, возникающего под действием даже мельчайших частичек железа, осевших на подвижной части, может оказаться соизмеримой с величиной противодействующего момента. Поэтому при сборке их нужно соблюдать особо строгие меры.

Крепление подвижной части в одной точке не дает возможности уравновесить прибор. Его равновесие зависит от положения центра тяжести подвижной части. Чтобы прибор находился в равновесии, центр тяжести должен лежать на оси подвеса. Равновесие прибора проверяют до начала сборки. Затем регулируют положение рамки, которая должна быть симметрична по отношению к плоскости сердечника или внутрирамочного магнита. Зазоры между рамкой, имеющей прямоугольную форму, и магнитом следует делать одинаковыми по всей высоте сердечника. Рамку круглой формы следует располагать concentрично сердечнику, а токоподводы — симметрично друг другу. Подвижная часть должна находиться в чистом состоянии. При нарушении этих требований отклонение подвижной части выходит за допустимые пределы. По положению рамки регулируется и фиксируется положение уровня на корпусе прибора.

После регулировки равновесия подвижной части прибор очищают от пыли и помещают в термостат для просушивания.

При последующей сборке подвижная часть прибора будет работать совместно с магнитной системой. Магнитные узлы обычно поступают на сборку в намагниченном виде. Поэтому измерительный механизм после сборки прежде всего подвергают регулировке размагничиванием. Для этой цели применима схема, показанная на рис. 118. По катушке L

с магнитопроводом, выполненным из трансформаторной стали, пропускается переменный ток определенной величины, которая устанавливается автотрансформатором *АТр*. Ток, при котором происходит полное размагничивание измерительного механизма *ИМ*, контролируется образцовым миллиамперметром, который включается в схему последовательно с механизмом, источником питания и регулирующим резистором *r*.

Завершающей операцией при сборке измерительных механизмов с подвижной частью на подвесе является так называемое термическое старение. Цель этой операции — снять механические напряжения в деталях, для чего измерительные механизмы стационарных электроизмерительных приборов классов

2,5; 1,5; 1 помещают в термостат и нагревают до температуры 60—80°C, а затем охлаждают на воздухе в течение 2—3 ч. Измерительные механизмы переносных электроизмерительных приборов классов 0,5 и 0,2 проходят три цикла старения. Каждый такой цикл включает в себя нагрев механизма в специальном термостате до температуры 80°C и последующее охлаждение его при комнатной температуре в течение 3 ч.

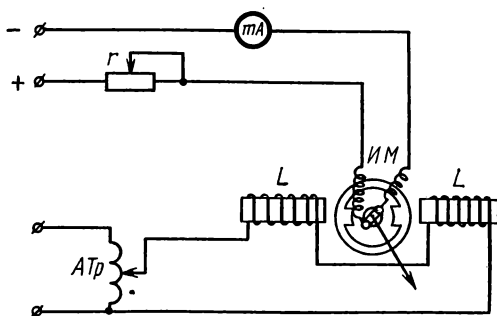


Рис. 118. Установка для регулировки измерительного механизма размагничиванием

§ 41. МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ

При сборке всякого электроизмерительного прибора возникает необходимость в проведении монтажных работ. Количество, трудность операций и объем работ зависят от типа и назначения прибора. Щитовые приборы имеют, как правило, очень простую схему соединения измерительного механизма с токоподводящими зажимами. Монтаж многопредельных переносных приборов гораздо более сложен, так как измерительный механизм у таких приборов соединяется не только с зажимами, но и с добавочными сопротивлениями и шунтами, преобразователями, выпрямителями, переключателями пределов и другими деталями.

Монтаж электрических соединений может проводиться либо до, либо после установки измерительного механизма в корпус электроизмерительного прибора. Независимо от этого монтажные работы всегда начинают с подготовки монтажных проводов, в качестве которых обычно используют либо голые медные провода, которые при монтаже помещают в линонсилловые или полихлорвиниловые трубки, либо изолированные медные провода марок МГВ, ПМВ Ø 0,5—1 мм. Эти провода поступают на электроприборостроительные заводы в бухтах, поэтому перед монтажом их режут на куски. В зависимости от количества про-

водов, необходимых для монтажа, их резка производится по-разному. При мелкосерийном производстве для этой цели применяют обычные ножницы, при крупносерийном и массовом производстве — автоматы, которые одновременно снимают изоляцию с проводов.

Снятие изоляции с проводов или их зачистка зависит от типа и сечения провода. Очень удобна зачистка путем обжига электроножами. Электронож представляет собой нихромовую пластинку, которая на-

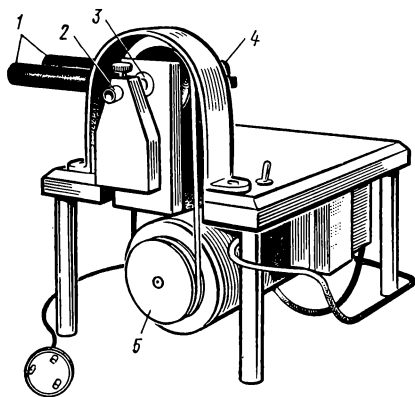


Рис. 119. Установка для снятия изоляции с одножильных проводов:

1 — рукоятка, 2 — направляющая втулка, 3 — цанга, 4 — шпиндель, 5 — электродвигатель

гревается от понижающего трансформатора мощностью 80—100 Вт при напряжении 12 В. Провод устанавливают по упору на нож и поворачивают вокруг оси. При этом изоляция обжигается, и ее отделившийся конец снимают специальным пинцетом. Этот способ обеспечивает высокую производительность труда, так как позволяет осуществлять одновременную зачистку 10—15 проводов.

Эмалевую изоляцию с тонких проводов диаметром менее 0,1 мм удобно снимать тонкой наждачной шкуркой, смоченной трихлорэтиленом. Эмалированные провода $\varnothing 0,2$ —2 мм зачищают на станках, один из которых изображен на рис. 119. Электродвигатель 5 приводит

во вращение шпиндель 4, снабженный пружинящей цангой 3, на которой крепятся ножи. С помощью рукояток 1 цанга 3 разжимается, ножи раздвигаются, и между ними через направляющую втулку 2 вводится зачищаемый провод. При опускании рукояток 1 ножи зажимают провод. Выдергивая его, можно снять с него изоляцию.

При зачистке одиночных монтажных проводов применяют щипцы, на одной губке которых установлены прижимы. Раскрываясь, они сжимают провод. На другой губке размещены ножи, которые надрезают изоляцию и снимают ее.

С многожильных проводов изоляцию снимают путем обжига. Конiec провода нагревают в муфельной печи до 700—850°C. При этом изоляция отгорает и легко снимается с поверхности провода. После этого провод промывают спиртом или трихлорэтиленом.

При зачистке проводов нельзя допускать их механических повреждений, так как при этом увеличивается их электрическое сопротивление и уменьшается механическая прочность. Длина зачищенных участков должна выбиrаться в соответствии со способом крепления провода.

Чтобы концы оплетки не разлохмачивались, их закрепляют клеем, нитками или полихлорвиниловыми трубками. При большом числе монтажных проводов на них надевают трубки разного цвета, которые одновременно служат для отличия монтажных цепей. При монтаже схем

средней сложности используют провода одного цвета, но для отличия монтажных цепей они снабжаются бирками.

После зачистки поверхность проводов подвергают лужению. Лужение производят с помощью флюсов, в качестве которых используют вещества, растворяющие пленку окиси на поверхности металла: вазелиновую пасту, паяльный лак, твердую канифоль или ее 24%-ный раствор в 75%-ном растворе спирта, в который добавлен хлористый цинк. Этот раствор фильтруют и кипятят в продолжение 2 ч. Полученный флюс поступает к рабочим местам в стеклянных флаконах, снабженных стеклянными палочками, форму и размер которых выбирают с таким расчетом, чтобы необходимое количество флюса можно было набрать за один раз.

Более перспективным является лужение проводов в ванне с расплавленным припоем, температура которого постоянно поддерживается равной 240—250°C. Вынимая оттуда провода, их надо встряхнуть или протереть сухой тряпочкой, чтобы удалить с их поверхности лишнюю канифоль.

При прокладке монтажных проводов часто возникает необходимость изгибать их. Эту операцию проводят на шаблонах. Шаблон представляет собой деревянную доску, в которую забиты шпильки или штифты по определенной технологической схеме. Шпильки (штифты) образуют ломаную линию, выступая над поверхностью доски на 5—10 мм. По этой линии и укладывают изгибаемый провод. После снятия с шаблона он сохраняет полученную форму. Большое применение нашли универсальные шаблоны, которые очень удобны при частых изменениях формы монтажных проводов.

Монтажные провода для экономии места обычно собирают в жгуты. Это делают на специальном шаблоне, снабженном стальными штифтами. Порядок раскладки проводов определяется специальной таблицей, прилагаемой к шаблону. В этой таблице приведены порядковые номера, марки, сечения и расцветка проводов, а также номера точек подключения. Те же номера указаны на штифтах. Провод закрепляют на начальном штифте, протягивают по контуру жгута до конечного штифта и закрепляют на нем. Оба штифта имеют один и тот же номер.

Если в состав жгута входят голые или экранированные провода, то их обматывают киперной лентой или заключают в хлорвиниловую трубку для того, чтобы изолировать от токопроводящих частей.

Соединяют провода в жгуты при помощи ниток, ленты из лакоткани или клея. Последний способ применяют чаще всего. При склеивании применяют лаки, высыхающие при комнатной температуре. К ним относится, например, раствор 100 г нитроцеллюлозы и 10 г глицеральной кислоты в 40—50 мл ацетона. Клей хранят в закрытом сосуде и в случае загустения разжижают растворителем РДВ с добавкой 20% ацетона. Склеенный жгут высушивают в течение от 40 мин до 2 ч в зависимости от клеяемого материала и сорта клея.

В тех случаях, когда конец монтажного провода зажимают винтом, его, предварительно облудив, сгибают в кольцо. Эту операцию проводят или вручную, с помощью круглогубцев, или на специальном приспособлении (рис. 120), ось которого опускается в штифт 7 до упора.

Между этим штифтом и упорным клином 5 вводят зачищенный конец провода до соприкосновения с упором 6. С помощью рукоятки 1 поворачивается кольцо, на котором закреплен рабочий штифт, закручивающий провод 4 вокруг штифта 7. После этого ось поднимается под действием пружины, и провод со штифта 7 снимается. Кольцо должно закручиваться в направлении вращения винта.

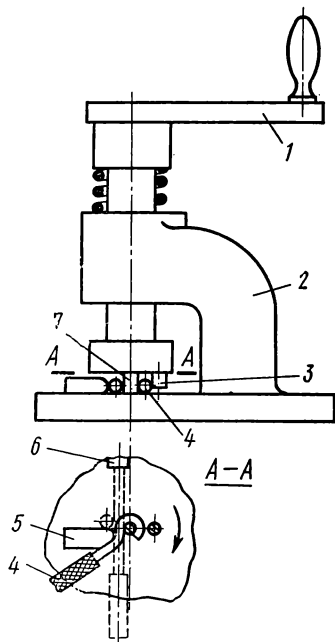


Рис. 120. Приспособление для оконцевания проводов:
1 — рукоятка, 2 — станина, 3 — рабочий штифт, 4 — провод, 5 — упорный клин, 6 — упор, 7 — оформляющий штифт

После этих подготовительных мероприятий монтажные провода крепят к выводам деталей. Главным здесь является высокая механическая прочность и хорошая электропроводность соединений. Этого можно достичь при сочетании надежного крепления концов спаиваемых проводников с правильными приемами выполнения пайки. При хорошем закреплении провода механические нагрузки воспринимаются не только слоем припоя, соединяющим спаиваемые детали, но и самими деталями и проводами, которые имеют механическую прочность, несравненно более высокую, чем припой. Поэтому механическая прочность зависит главным образом от качества крепления проводов, а припой обеспечивает высокую электропроводность.

Для крепления проводов к лепесткам деталей на них делают специальные отверстия. Способ крепления проводов к контактам определяется требованиями, предъявляемыми к прочности монтажа. В щитовых приборах, которые не предназначены для работы в условиях тряски, вибраций, ударов, для нормального крепления провода достаточно завести его конец плоскогубцами или пинцетом

в отверстие лепестка, как это показано на рис 121, а. Если же прибор предназначен для работы в ненормальных условиях, то крепление провода должно быть более надежным, чтобы при трясках, вибрациях и т. д. он не оторвался от лепестка. Поэтому в таких приборах провод не просто продевают в отверстие лепестка, но два-три раза обгибают вокруг него и обжимают (рис. 121, б). Толстые провода (диаметром более 1 мм) достаточно продеть в отверстие лепестка и загнуть. Однако при пайке должен быть обеспечен плотный прижим загнутого конца провода к лепестку. Иначе придется увеличить слой припоя, а это повлечет за собой снижение механической прочности. Длина зачищенного конца провода должна быть минимальной, чтобы не тратить времени на обрезку излишка провода, увеличивая тем самым продолжительность операции.

Провода при креплении не должны быть натянуты во избежание разрушения от вибраций и для того, чтобы облегчить замену вышедших из строя деталей.

В процессе монтажа может, как исключение, возникнуть необходимость сращивания или ответвления проводов. В этом случае провода при пайке должны соединяться между собой в скрутку. Сращивание проводов показано на рис. 121,в, ответвление — на рис. 121,г.

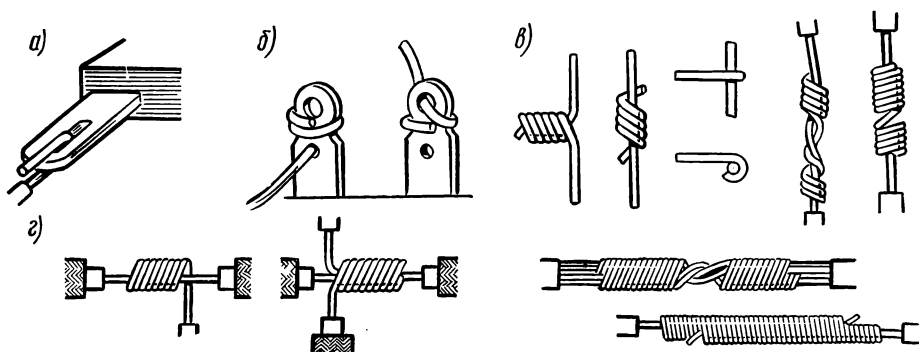


Рис. 121. Крепление проводов к выводам деталей и соединение их между собой: а, б — крепление, в — сращивание, г — ответвление

После пайки места соединения должны сохранять постоянную величину сопротивления, не превышающую сопротивления цельного проводника. Места сращивания и ответвления следует надежно изолировать несколькими слоями изоляционной ленты или лакоткани. При большой длине проводников их можно прикреплять к специальным колодкам или к другим неподвижным частям прибора.

При пайке используют припой ПОС-40 и жидкий канифольевый флюс или паяльный лак ПТИ. Наибольший эффект дает трубчатый припой, представляющий собой пустотелую оловянно-цинковую трубку, заполненную канифольевым флюсом. Этот припой лучше других тем, что, во-первых, при его использовании значительно повышается производительность труда, так как припой и флюс накладываются не по очереди, а одновременно; по этой же причине улучшается качество пайки и благодаря применению торцевого паяльника облегчается пайка труднодоступных мест; при таком способе пайки обеспечивается правильная дозировка флюса, уменьшаются его потери и устраняется возможность загрязнения.

После пайки проверяют качество изоляции каждого провода в отдельности, между проводами жгута, между проводами и металлическими деталями. Сопротивление изоляции измеряют мегомметром, а электрическую прочность ее испытывают на специальной установке (см. ниже, в § 58).

В последнее время в монтажную практику начали внедряться печатные схемы, которые позволяют уменьшить объем многих трудоемких работ и обеспечивают применение высокопроизводительных автоматизированных и механизированных способов нанесения схем.

§ 42. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ОБЩЕЙ СБОРКЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Под общей (окончательной) сборкой приборов понимают заключительную операцию по сборке прибора из предварительно собранных деталей и узлов.

Первой из операций по общей сборке электроизмерительных приборов является установка измерительного механизма в корпус. Перед установкой необходимо внимательно осмотреть измерительный механизм, обратив особое внимание на чистоту зазоров, форму и расположение пружин, растяжек, сектора магнитоиндукционного успокоителя, зеркала, а также на качество крепления деталей. При необходимости корпус и детали измерительного механизма тщательно очищают.

Следующая операция — установка шкалы — производится по-разному — в зависимости от типа ее. В стрелочных щитовых приборах классов 1,0; 1,5; 2,5 крепят к неподвижным колодкам простые плоские шкалы с помощью специальных шкальных винтов, под головку которых ставят шайбы, предохраняющие покрытие основания шкалы. Затем проверяют расстояние между шкалой и стрелкой, которое должно быть одинаковым по всей длине шкалы. Согласно нормам это расстояние для шкал, длина которых не превышает 60 мм, должно быть равно 1,5 мм, а для остальных шкал — не более $0,01 l + 1$ мм, где l — длина стрелки в мм. Для проверки этого расстояния очень удобен ступенчатый щуп — лесенка.

В переносных стрелочных приборах классов 0,1; 0,2; 0,5 применяют плоскую зеркальную шкалу, в теле которой имеется дугообразный вырез, закрытый сзади зеркалом. Такую шкалу тоже крепят с помощью шкальных винтов с шайбами, но здесь дополнительно устанавливают направляющие штифты, которые поддерживают шкалу в строго определенном положении относительно измерительного механизма. Это необходимо потому, что шкалы таких приборов снимают для нанесения делений, а потом снова ставят на место. Механические направляющие штифты устанавливают заранее в механическом цехе.

В приборах со световым отсчетом, в том числе с цилиндрической и конической шкалами, монтаж последних несколько облегчен, так как они не нуждаются в специальных операциях по регулированию взаимного положения стрелки и шкалы. В таких приборах основное — это размещение зеркала на подвижной части.

После установки шкалы проверяют качество собранных деталей. Детали корпуса и крышек не должны иметь царапин, пятен, сколов, трещин, а стекло — пузырей. Резиновые прокладки и лапки крепления стекла не должны выступать за край окна. Шкала не должна иметь повреждений окраски, посторонних вкраплений, царапин; цифры и отметки на ее поверхности должны быть четкими, зеркало — чистым. Винтовые соединения должны быть законтрены; места пайки находиться в чистом виде и покрыты лаком. На всех деталях и узлах не должно быть никаких пылинок, ворсинок, частичек грязи, крупинок припоя.

Помимо этой общей проверки производят специальную проверку,

характерную для данного конкретного вида приборов. Так, магнито-электрические приборы проверяют на отсутствие частичек железа. В приборах с магнитоиндукционным успокоителем проверяют положение его сектора в зазоре. В электростатических приборах нужно следить за взаимным положением подвижных и неподвижных электродов. В приборах со световым указателем контролируют положение последнего и четкость светового пятна, в приборах с арретиром — правильность его действия. В приборах с креплением подвижной части на кернах главное — это величина зазора между кернами и подпятниками, в приборах с растяжками — правильное их положение, в приборах с подвесом — установка уровня при надлежащем взаимном расположении неподвижной и подвижной частей. В заключение проверяется уравновешенность подвижной части и отклонение стрелки корректором. При положительных результатах прибор закрывают и пломбируют.

Контрольные вопросы

1. Что такое неразъемные соединения?
2. В чем состоит сущность пайки деталей? Опишите этот процесс.
3. Для чего применяется сварка? Что такое дуговая сварка? Как она производится? Приведите и объясните схему конденсаторной сварки.
4. Как осуществляется склеивание деталей?
5. Какие детали можно соединять клепкой? Как производится эта операция?
6. Что такое разъемные соединения? Как происходит их сборка?
7. Каковы особенности сборки подвижных частей?
8. Как производится пайка пружин, растяжек, подвесов, токоподводов?
9. Опишите процесс сборки измерительных механизмов с подвижной частью на наружных и внутренних кернах, на растяжках, на подвесе.
10. Какие монтажные работы производятся при сборке электроизмерительных приборов?
11. Что такое общая сборка прибора? Из каких основных операций она состоит?

Глава VIII

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ РЕГУЛИРОВКЕ И ГРАДУИРОВКЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

§ 43. РЕГУЛИРУЕМЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Регулируемые резисторы — реостаты — широко используют для регулирования тока и напряжения при работе с электроизмерительными приборами.

Реостаты по своему конструктивному оформлению бывают рычажные и движковые — со скользящим контактом (рис. 122).

Рычажный реостат позволяет регулировать ток в цепи только ступенчато, а движковый обеспечивает плавную регулировку тока или напряжения цепи. В лабораторной практике наибольшее распространение получили проволочные движковые реостаты. Их изготавливают из голой константановой или другой проволоки с большим удельным сопротивлением.

Проволоку навивают на основание из изолирующего и огнеупорного материала: шифера, керамики. Перед намоткой проволоку оксидируют для изоляции витков друг от друга; оксидный слой служит доста-

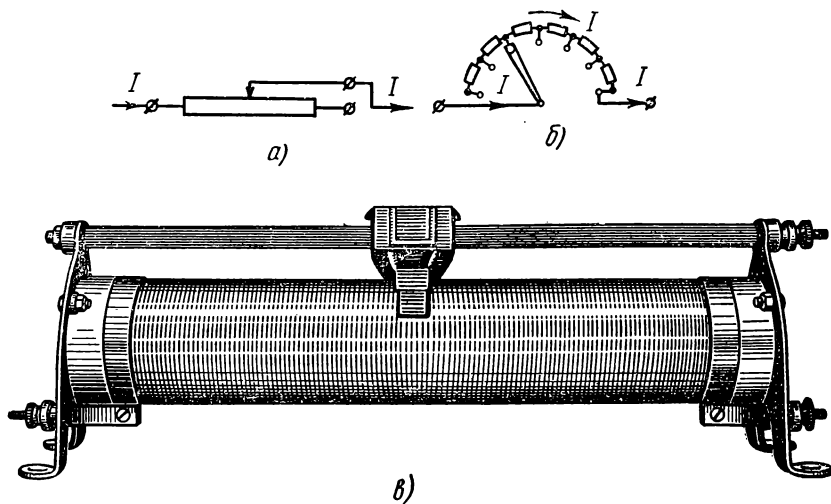


Рис. 122. Реостаты:

а — схема движкового реостата, б — схема рычажного реостата, в — общий вид движкового реостата

точной изоляцией при незначительной разности потенциалов между соседними витками. Реостаты наматывают из проволоки разных диаметров; они рассчитаны на различные сопротивления и токи. На каждом реостате указывают номинальное сопротивление и наибольший длительно допустимый ток нагрузки. По этим двум параметрам и выбирают реостаты.

В табл. 9 приведены ориентировочные данные движковых реостатов, имеющих длину около 400 мм (малая модель) и около 550 мм (большая модель).

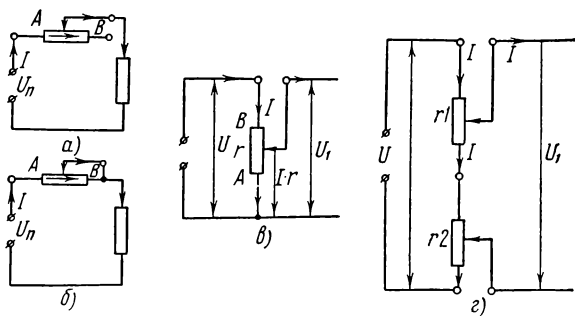


Рис. 123. Схемы включения реостатов для регулирования:

а, б — тока, в, г — напряжения

Регулировочные реостаты часто выполняют сдвоенными. Одиночный реостат имеет три зажима, а сдвоенный — шесть зажимов. В зависимости от задачи регулирования (тока или напряжения) реостаты по-разному включают в цепь.

Для регулирования тока реостат включают в цепь последовательно. Перемещая скользящий контакт, изменяют сопротивление цепи и, следовательно, при неизменном приложенном напряжении регулируют величину тока.

На рис. 123, а и б показаны схемы включения одиночных реостатов для регулирования тока. Эти схемы обеспечивают возможность плавного изменения тока в цепи. Схема рис. 123, в исключает возможность разрыва цепи при плохом прилегании скользящего контакта к виткам реостата.

Параметры одиночных реостатов для регулирования тока выбирают по напряжению питания U_n и по пределам регулирования тока от I_{\min} до I_{\max} . Номинальное сопротивление реостата должно быть:

$$r_n \geq \frac{U_n}{I_{\min}},$$

а его номинальный ток I_n должен быть равен или больше верхнего предела тока в цепи I_{\max} , т. е. $I_n \geq I_{\max}$.

Когда реостат полностью включен, его движок находится в точке В — в цепи будет наименьший ток I_{\min} . По мере передвижения ползун-

ка к точке A ток будет возрастать. При этом нужно очень внимательно следить, чтобы не перегрузить реостат током.

Т а б л и ц а 9

Примерные данные движковых реостатов

Номинальный ток, А	Номинальное сопротивление, Ом		Номинальный ток, А	Номинальное сопротивление, Ом	
	малой модели	большой модели		малой модели	большой модели
0,20	4300	6600	2,60	48,0	73,0
0,35	2200	3400	3,00	35,0	53,0
0,45	1290	1960	3,40	26,0	40,0
0,60	820	1250	4,00	20,0	31,0
0,75	545	830	4,50	16,0	24,0
0,90	380	580	5,00	12,5	19,0
1,00	280	424	5,50	10,5	16,0
1,40	160	245	5,50	10,5	16,0
1,70	100	155	6,20	8,5	13,0
2,10	68	104	7,00	7,0	11,0

При приближении движка к точке A реостат может быть выведен из строя в результате перегрузки током. Поэтому в такой схеме нужно обязательно установить ограничитель перемещения движка к точке A , т. е. исключить возможное полное выведение реостата. Один последовательно включенный реостат не может обеспечивать необходимую плавность регулирования тока.

Более плавную регулировку тока в цепи можно достигнуть с помощью вдвоенных или нескольких реостатов, включаемых по различным схемам.

Для плавного регулирования напряжения реостат включают по схеме делителя напряжения (рис. 123,б).

При перемещении движка изменяется величина падения напряжения I_r , снимаемого с реостата. Когда движок находится в точке A , снимаемое падение напряжения равно нулю. Если же переместить движок в точку B , снимаемое падение напряжения будет равно напряжению сети. Таким образом, по указанной схеме можно довольно плавно регулировать напряжение U_1 в пределах от нуля до напряжения U питающей сети. Для этого нужно только подобрать соответствующий реостат. Сопротивление его должно быть тем больше, чем плавнее нужно регулировать напряжение. Разумеется, выбранный реостат должен быть рассчитан и по допустимой нагрузке.

На практике регулирование напряжения чаще всего осуществляется с помощью вдвоенных реостатов (рис. 123,в). Такая схема дает возможность весьма плавно регулировать напряжение. Для обеспечения плавности регулирования один из реостатов, например $r1$, должен иметь номинальное сопротивление в 10—20 раз меньше сопротивления другого реостата $r2$. Общее сопротивление обоих реостатов должно быть таким, чтобы при данном напряжении питающей сети они могли

оставаться длительное время включенными и при этом не нагревались выше допустимой температуры.

При регулировании очень малых или больших токов, а также для особо плавного регулирования напряжения приходится усложнять схемы включения реостатов.

Рычажные реостаты используют главным образом в схемах регулирования больших токов. Их часто включают в сочетании с движковыми реостатами или другими вспомогательными устройствами.

§ 44. НАГРУЗОЧНЫЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

Нагрузочные трансформаторы. Для получения больших значений переменного тока при относительно невысокой затрате мощности применяют так называемые нагрузочные трансформаторы, у которых первичная обмотка рассчитана на напряжение сети, а вторичная — на напряжение 6—12 В. Трансформаторы эти изготовляют с номинальной мощностью от сотен ватт до нескольких киловатт.

Нагрузочные трансформаторы дают возможность получать большие переменные токи при малых напряжениях и, следовательно, при незначительной затрате мощности.

Измерительные трансформаторы. Измерительные трансформаторы применяются для расширения пределов измерения в цепях переменного тока и обеспечения безопасности измерений при высоком напряжении.

По назначению измерительные трансформаторы подразделяются на трансформаторы тока и трансформаторы напряжения.

Трансформаторы тока предназначены для расширения пределов измерения по току.

Схема устройства и включения трансформатора тока показана на рис. 124. Первичная обмотка состоит из малого числа витков w_1 медного провода сечением, соответствующим номинальному первичному току. Трансформаторы тока изготовляют на номинальные первичные токи от долей ампера до десятков тысяч ампер. Зажимами Л1 и Л2 (линия) первичная обмотка включается последовательно в цепь и по ней протекает измеряемый переменный ток I_1 .

Вторичная обмотка, выполненная из медного провода сечением, соответствующим номинальному вторичному току, имеет число витков w_2 . Обычно количество витков w_2 больше числа витков w_1 первичной обмотки. Согласно ГОСТу вторичный номинальный ток I_2 для всех трансформаторов тока равен 5 А.

К зажимам вторичной обмотки И1 и И2 (измерительные приборы) подключают последовательно соединенные обмотки амперметров и то-

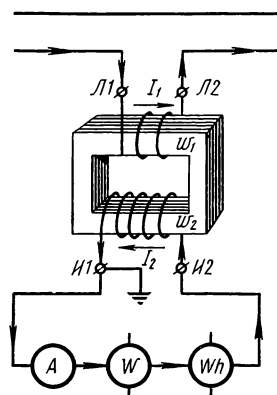


Рис. 124. Устройство и схема включения трансформатора тока

ковые обмотки ваттметров, счетчиков, фазометров и т. п. Поскольку сопротивление токовых обмоток измерительных приборов мало, трансформатор тока практически работает в режиме, близком к короткому замыканию.

Когда измеряемый ток I_1 протекает по первичной обмотке w_1 , в сердечнике появляется переменный магнитный поток Φ , индуцирующий э. д. с. E_1 и E_2 в обеих обмотках. Если при этом вторичная обмотка замкнута на токовые обмотки измерительных приборов, то под воздействием э. д. с. E_2 в ней появляется вторичный ток I_2 , находящийся в определенном соотношении с первичным измеряемым током I_1 . Отношение номинальных первичного $I_{1н}$ и вторичного $I_{2н}$ токов называют номинальным коэффициентом трансформации трансформатора тока, т. е.

$$k_{iн} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} \approx \frac{w_2}{w_1}. \quad (43)$$

Этот коэффициент является основным параметром трансформатора тока и указывается на его заводском щитке.

По номинальному коэффициенту трансформации и по показанию измерительного прибора можно определить значение измеряемой величины. Так, например, по показанию I_2 амперметра, включенного во вторичную обмотку трансформатора тока, и номинальному коэффициенту трансформации $k_{iн}$ значение измеряемого тока I_1 равно:

$$I_1 = k_{iн} I_2.$$

Шкалы приборов, предназначенных для работы с трансформатором тока, обычно градуируют с учетом номинального коэффициента трансформации, т. е. непосредственно в значениях первичного тока. На шкале такого прибора обязательно делается соответствующая надпись, например, «С трансформатором тока 1000/5» — это означает, что шкала данного прибора проградуирована с учетом номинального коэффициента трансформации:

$$k_{iн} = \frac{1000}{5} = 200.$$

Значение измеряемого тока в этом случае отсчитывают непосредственно по шкале прибора. Коэффициент трансформации несколько изменяется с изменением первичного тока и зависит от величины и характера вторичной нагрузки.

Отношение первичного тока I_1 ко вторичному I_2 называется действительным коэффициентом трансформации:

$$k_i = \frac{I_1}{I_2}. \quad (44)$$

Действительный коэффициент трансформации k_i является величиной, изменяющейся и неизвестной для различных нагрузок трансформатора тока, поэтому градуировка измерительных приборов, включаемых через трансформаторы тока с учетом $k_{iн}$, а не k_i , неизбежно влечет за собой погрешности измерений f_i .

Относительная погрешность измерений f_i называется погрешностью по току или погрешностью коэффициента трансформации. Она может быть определена выражением

$$f_i = \frac{k_{iH} I_2 - k_i I_2}{k_i I_2} \cdot 100 = \frac{k_{iH} - k_i}{k_i} \cdot 100.$$

Учитывая, что в современных трансформаторах тока, особенно лабораторных, k_i и k_{iH} отличаются между собой весьма незначительно, относительную погрешность по току иногда выражают в таком виде:

$$f_i = \frac{k_{iH} - k_i}{k_{iH}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{k_i}{k_{iH}}\right) \cdot 100. \quad (45)$$

Кроме погрешности по току трансформаторам тока присуща еще так называемая угловая погрешность, под которой подразумевают угол δ_i между вектором первичного тока I_1 и вектором вторичного тока I_2 , повернутым на 180° . Угловая погрешность выражается в угловых минутах и считается положительной, если вектор вторичного тока I_2 , повернутый на 180° , опережает вектор первичного тока I_1 . В противном случае она отрицательна. Погрешность по току влияет на погрешность всех измерительных приборов, включенных через трансформатор тока, а угловая погрешность — только на фазочувствительные приборы (ваттметры, счетчики, фазометры).

По допустимым значениям погрешностей трансформаторы тока делятся на следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3 и 10.

Число, обозначающее класс точности трансформатора тока, соответствует допустимому значению относительной погрешности при $I_1 = (1 - 1,2)I_{1H}$. При токах $I_1 = I_{1H}$ (0,1—0,2) допускаются несколько большие погрешности. Угловая погрешность также нормируется для различных значений первичного тока. Для трансформаторов классов точности 3 и 10 угловая погрешность не нормируется. Кроме указания класса точности, трансформаторы тока характеризуют еще значение номинальной вторичной нагрузки.

Под номинальной вторичной нагрузкой подразумевается наибольшее сопротивление z_2 обмоток измерительных приборов и соединительных проводников, включенных во вторичную цепь трансформатора, при котором его погрешности не выходят за допустимые пределы. Номинальная вторичная нагрузка z_2 указывается на заводском щитке трансформатора.

Трансформаторы тока согласно ГОСТу изготовляют на номинальные нагрузки: 0,2—0,6—0,8—1,2—2 Ом. Иногда на щитке трансформатора номинальная нагрузка указывается не в омах, а в вольтамперах. В таких случаях значение z_2 определяют из выражения:

$$z_2 = \frac{S_H}{I_{2H}^2},$$

где S_H — номинальная мощность трансформатора, В·А; I_{2H} — номинальный вторичный ток, А.

Если сопротивление вторичной нагрузки сделать равным бесконечности — разомкнуть вторичную обмотку, то размагничивающий ток вторичной обмотки станет равным нулю ($I_2 w_2 = 0$) и вся намагничивающая сила первичной обмотки $I_1 w_1$ пойдет на намагничивание сердечника.

Магнитный поток возрастет, и э. д. с. во вторичной обмотке может достигнуть значений, опасных как для обслуживающего персонала, так и для самого трансформатора. Помимо этого, увеличение магнит-

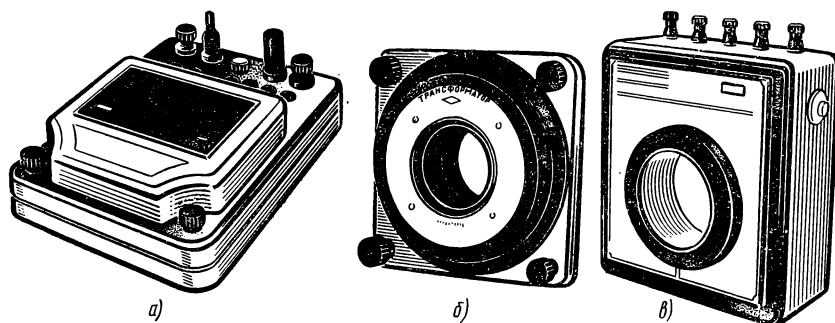


Рис. 125. Многопредельные лабораторные трансформаторы тока:
а — И-54, б — УТТ5, в — УТТ6

ного потока вызовет резкое повышение активных потерь (пропорциональных квадрату индукции) в сердечнике, которые, в свою очередь, создадут перегрев стали сердечника. Вот почему категорически запрещается разрывать цепь вторичной обмотки включенного в сеть трансформатора тока.

Чтобы обеспечить возможность нужных переключений во вторичной цепи при включенной первичной обмотке, лабораторные трансформаторы тока имеют специальные устройства в виде штепселя, пластинки и т. п., которыми предварительно замыкают накоротко вторичную обмотку.

Сердечники трансформаторов бывают стержневыми или кольцевыми; первичная обмотка может быть многовитковой и одновитковой — стержневой; изоляцию между первичной и вторичной обмотками делают сухой (фарфор, прессшпан и другие сухие изоляционные материалы) или масляной.

На рис. 125, а, б, в показан внешний вид современных переносных лабораторных многопредельных трансформаторов тока типов УТТ и И-54 с кольцевыми сердечниками из пермаллоя. На сердечнике равномерно намотана вторичная обмотка на 5 А и первичная — на несколько пределов измерения. Для измерения больших первичных токов через отверстие в корпусе трансформатора пропускают гибкий провод соответствующего сечения, наматывая такое количество витков, чтобы получить номинальную намагничивающую силу первичной обмотки трансформатора ($I_1 w_1$).

В трансформаторах И-54 переключение пределов измерения производят при помощи штепселя, изменяющего число витков первичной обмотки.

Измерительные клещи представляют собой разновидность трансформатора тока и используются для измерений без предварительного разрыва цепи тока.

Основной частью измерительных клещей является разъемный сердечник, набранный из тонких листов электротехнической стали, на

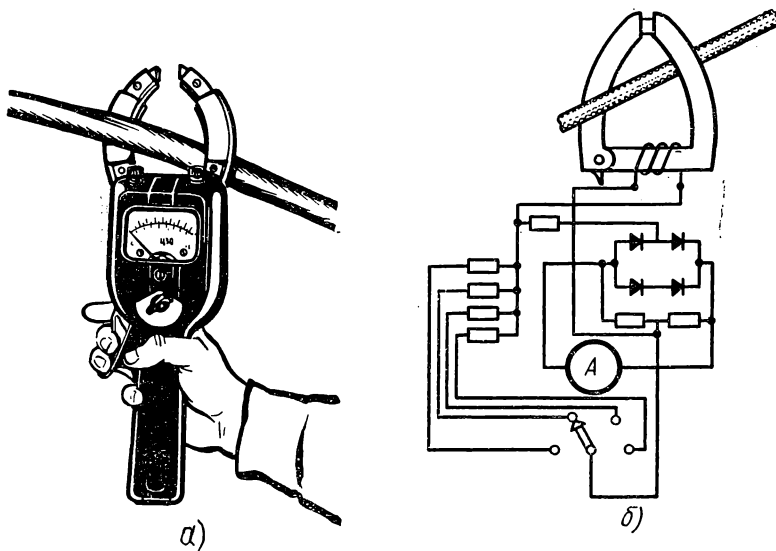


Рис. 126. Измерительные клещи:
а — внешний вид, б — принципиальная схема

которой насажена вторичная обмотка, замкнутая на измерительный прибор, смонтированный, как правило, на самих клещах. Половины сердечника скреплены шарнирным механизмом.

Специальным пружинящим механизмом обе половины сердечника плотно прижимаются одна к другой, чем обеспечивается замкнутость и малое сопротивление магнитной цепи.

Первичной обмоткой служит цепь тока, провод которой охватывается половинами разъемного сердечника. Измерительные клещи представляют собой обычный стержневой (одновитковый) трансформатор тока.

На рис. 126 показан внешний вид низковольтных измерительных клещей. Наша промышленность изготавливает такие многопредельные измерительные клещи типа Ц-30, рассчитанные на токи 15, 30, 75, 300 и 600 А и предназначенные для измерений в цепях с напряжением, не превышающим 600 В. В качестве измерителя в них использован выпрямительный амперметр с многопредельным шунтом и рычажным переключателем пределов измерений.

Для измерений в цепях напряжением до 10 кВ промышленность изготавливает клещи типа КЭ-44 с пределами измерений 25, 50, 100, 250 и 500 А. В высоковольтных измерительных клещах рукоятки надежно изолированы от сердечника фарфоровыми или гетинаксовыми изоляторами.

Трансформаторы напряжения предназначены для расширения пределов измерений по напряжению.

Схема устройства и включения трансформатора напряжения показана на рис. 127. Первичная обмотка высшего напряжения состоит из

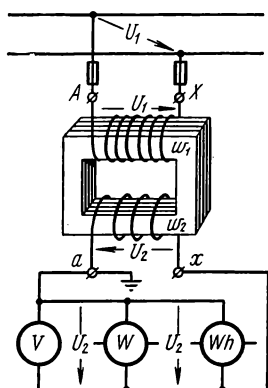


Рис. 127. Устройство и схема включения трансформатора напряжения

большого числа витков медного тонкого провода $\varnothing 0,1-0,2$ мм. Эта обмотка имеет зажимы, обозначаемые $A-X$, и включается через предохранители в сеть высокого напряжения. Вторичная обмотка низшего напряжения состоит из относительно малого числа (сотни) витков медного провода $\varnothing 0,8-1$ мм. К зажимам этой обмотки, обозначаемым буквами $a-x$, подключаются вольтметры и обмотки напряжения ваттметров, счетчиков, фазометров.

Под действием напряжения U_1 , приложенного к первичной обмотке, по ней протекает переменный ток, вызывающий в сердечнике переменный магнитный поток, который пронизывает обе обмотки и индуцирует в них э. д. с. E_1 и E_2 .

Поскольку сопротивление параллельных обмоток измерительных приборов достаточно велико, то трансформатор напряжения работает в режиме, близком к холостому ходу. Вследствие того что падение напряжения во вторичной обмотке из-за малого собственного потребления параллельных цепей измерительных приборов незначительно, напряжение U_2 на зажимах вторичной обмотки пропорционально напряжению U_1 .

Отношение номинального первичного напряжения $U_{1н}$ к номинальному вторичному $U_{2н}$ называют номинальным коэффициентом трансформации трансформатора напряжения:

$$k_{ун} = \frac{U_{1н}}{U_{2н}} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Этот коэффициент указывается на щитке трансформатора.

Согласно ГОСТ 1983—43 и ГОСТ 9032—59 трансформаторы напряжения изготовляют на номинальные первичные напряжения, соответствующие шкале стандартных напряжений, принятой в СССР. Номинальное вторичное напряжение для всех трансформаторов равно 100 В, а для лабораторных трансформаторов — 100 и 100 $\sqrt{3}$ В.

По номинальному коэффициенту трансформации $k_{ун}$ и показаниям вольтметра, включенного во вторичную обмотку трансформатора, можно определить значение измеряемого напряжения:

$$U_1 = k_{\text{ун}} U_2.$$

Обычно приборы, предназначенные для включения через трансформаторы напряжения, градуируют уже с учетом номинального коэффициента трансформации и по их шкале сразу получают значение измеряемых величин. В этих случаях на шкалу прибора наносят соответствующую надпись, например, «С трансформатором напряжения 10 000/100». Из-за потерь в стали магнитопровода и из-за неизбежных падений напряжений в обмотках коэффициент трансформации не остается постоянным, а несколько изменяется как в зависимости от U_1 , так и в зависимости от нагрузки во вторичной цепи.

Отношение первичного напряжения U_1 ко вторичному U_2 называют действительным коэффициентом трансформации:

$$k_u = \frac{U_1}{U_2}.$$

Действительный коэффициент трансформации k_u может быть равен номинальному $k_{\text{ун}}$ только при некоторых отдельных режимах работы.

Ввиду этого градуировка измерительных приборов, включенных через трансформатор напряжения с учетом $k_{\text{ун}}$, неизбежно сопряжена с появлением погрешностей в показаниях приборов.

Относительная погрешность f_u трансформатора напряжения, называемая погрешностью по напряжению, как следует из сказанного выше, равна:

$$f_u = \frac{k_{\text{ун}} U_2 - k_u U_2}{k_u U_2} \cdot 100 = \frac{k_{\text{ун}} - k_u}{k_u} \cdot 100.$$

Или, поскольку в современных трансформаторах $k_{\text{ун}}$ и k_u разнятся весьма незначительно, то

$$f_u = \frac{k_{\text{ун}} U_2 - k_u U_2}{k_{\text{ун}} U_2} \cdot 100 = \left(1 - \frac{k_u}{k_{\text{ун}}}\right) \cdot 100. \quad (46)$$

Вектор напряжения U_2 , повернутый на 180° , опережает или отстает от вектора первичного напряжения U_1 на угол δ_u , характеризующий угловую погрешность трансформации напряжения. Эта погрешность считается положительной, если вектор U_2 опережает вектор U_1 , в противном случае она считается отрицательной. Как и в трансформаторах тока, угловая погрешность δ_u имеет значение только для фазочувствительных приборов (ваттметров, счетчиков, фазометров). По допустимым значениям погрешностей трансформаторы напряжения делят на четыре класса точности: 0,2; 0,5; 1 и 3.

Чтобы погрешности не превосходили допустимых значений, нельзя перегружать трансформатор по мощности в сравнении с его номинальной мощностью S_n , указываемой на заводском щитке.

При выборе трансформатора напряжения всегда нужно стремиться, чтобы нагрузка во вторичной цепи $S_2 = I_2 U_2$ была не больше его номинальной мощности S_n .

Конструкции трансформаторов напряжения весьма разнообразны.

В зависимости от назначения их изготовляют однопредельными или многопредельными, переносными или стационарными, для внутренней или для наружной установки, однофазными или трехфазными, с сухой изоляцией на напряжения до 3 кВ или с масляной на напряжения выше 3 кВ.

В трансформаторах с масляной изоляцией сердечник с обмотками помещен в стальной бак, заполненный трансформаторным маслом; выводы высокого и низкого напряжений сделаны на верхней крышке бака.

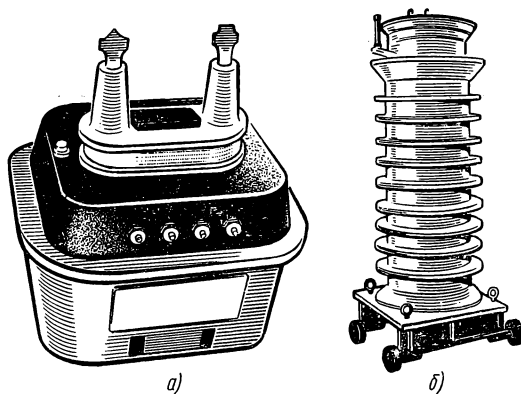


Рис. 128. Трансформаторы напряжения:
а — И-50 — лабораторный класса 0,2, б — НКФ-110 — высоковольтный для наружной установки класса 1

В качестве примера на рис. 128,а показан переносный многопредельный лабораторный трансформатор напряжения типа И-50. Этот трансформатор имеет номинальные первичные напряжения 10—15 кВ, номинальные вторичные напряжения 100 и $\frac{100}{\sqrt{3}}$ В; его номинальная мощность 15 В · А и класс точности 0,2. Переключение пределов измерения осуществляется вставками, соединяющими секции первичной обмотки в различные последовательно-параллельные комбинации.

На рис. 128,б показан внешний вид однофазного трансформатора напряжения типа НКФ-110 и 110 кВ для наружной установки, номинальной мощностью 500 В · А, класса точности 1.

Лабораторные автотрансформаторы. Для плавного регулирования переменного напряжения и небольших переменных токов (до 10 А) используют автотрансформаторы.

В лабораторной практике широко распространены автотрансформаторы типа ЛАТР-1 (рис. 129) для регулирования напряжения от нуля до 250 В при напряжении сети 127 или 220 В и максимальном токе нагрузки до 9 А и типа ЛАТР-2 для тех же напряжений сети, но с допустимым током нагрузки 2 А. Эти автотрансформаторы снабжены кольцеобразным стальным сердечником с однослойной медной обмоткой из провода сечением, соответствующим номинальному току нагрузки. По обмотке, имеющей очищенную от изоляции дорожку, перемещается

угольный контакт, поворачиваемый рукояткой, выведенной на верхнюю часть корпуса. Под рукояткой помещена шкала, проградуированная в значениях снимаемого напряжения.

Отсчет по этой шкале дает только ориентировочное значение снимаемого напряжения. Чтобы точнее знать напряжение, нужно подключить

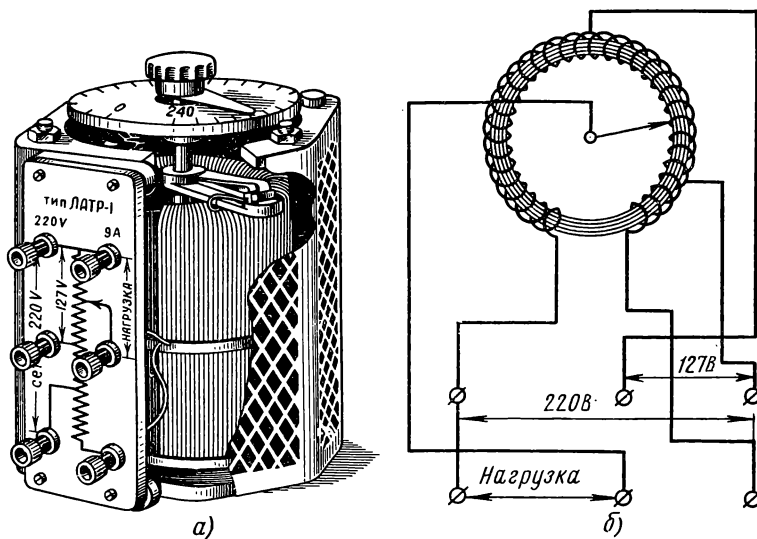


Рис. 129. Лабораторный автотрансформатор ЛАТР-1:
а — внешний вид, б — схема

вольтметр. В этом отношении удобнее автотрансформатор РНШ, внешний вид и схема которого показаны на рис. 130. Для контроля напряжения питающей сети и снимаемого напряжения в этих автотрансформаторах вмонтирован вольтметр класса точности 1,5, включаемый с помощью переключателя ПР. Для защиты автотрансформатора служат предохранители П. Точность регулирования напряжения автотранс-

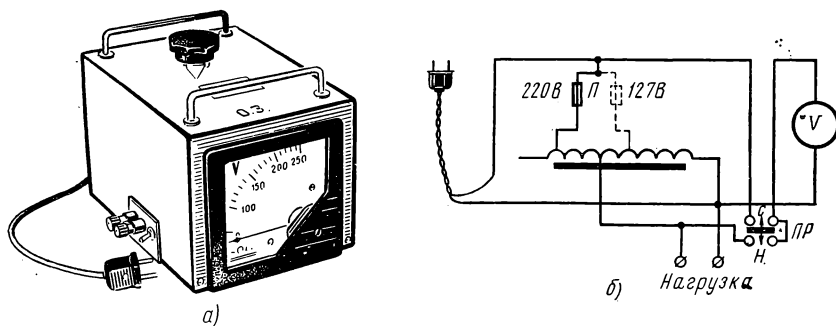


Рис. 130. Лабораторный трансформатор РНШ:
а — внешний вид, б — схема

форматорами ЛАТР и РНШ не выше 1—1,5 В, т. е. малейшее возможное перемещение движка приводит к изменению снимаемого напряжения на 1—1,5 В.

§ 45. ФАЗОУКАЗАТЕЛИ И ФАЗОРЕГУЛЯТОРЫ

Фазоуказатели. При включении ваттметров и других фазочувствительных приборов (счетчиков, фазометров) в сеть трехфазного тока весьма важно соблюдать последовательность чередования фаз. Для определения этой последовательности существуют специальные приборы, называемые фазоуказателями (рис. 131).

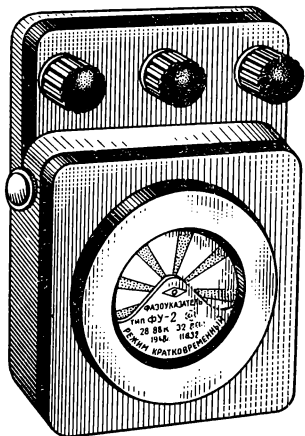


Рис. 131. Фазоуказатель

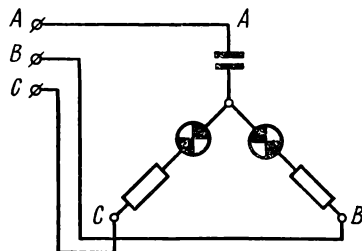


Рис. 132. Схема лампового фазоуказателя

Принцип действия этого прибора состоит в следующем: над тремя катушками, насаженными на сердечники, которые набраны из листовой электротехнической стали, и расположенными пространственно под углами в 120° одна относительно другой, помещен на оси легкий алюминиевый диск. При включении катушек в сеть трехфазного тока образуется вращающееся магнитное поле, увлекающее диск. Направление вращения диска зависит от направления вращения поля, а оно, в свою очередь, определяется последовательностью фаз трехфазного тока. При правильном чередовании фаз диск вращается по часовой стрелке, в противном случае — против часовой стрелки. Если при включении фазоуказателя в сеть и нажатии кнопки, расположенной сбоку, диск начинает вращаться против часовой стрелки, то нужно переключить любые две фазы, и диск начнет вращаться по часовой стрелке — последовательность чередования фаз будет соответствовать порядку расположения зажимов указателя.

При отсутствии фазоуказателя последовательность фаз можно определить при помощи лампового фазоуказателя. Две лампы накаливания одинаковой мощности и на одно и то же номинальное напряжение

соединяют вместе с конденсатором в звезду по схеме рис. 132. При включении схемы в сеть, последовательность фаз которой определяется, одна из ламп загорится ярко, а другая тускло. Ярко будет гореть лампа, включенная в фазу, отстающую от фазы, в которую включен конденсатор. Например, если конденсатор включен в фазу *A*, то ярко должна гореть лампа, включенная в фазу *B*.

Фазорегуляторы. В лабораторной практике и, в частности, при проверке ваттметров, фазометров и счетчиков переменного тока, помимо регулирования величины тока и напряжения, приходится менять угол сдвига по фазе между током и напряжением. Известно, что величина этого угла определяется характером нагрузки (активное сопротивление, индуктивность или емкость), однако регулировка (особенно плавная) сдвига фаз изменением характера нагрузки весьма затруднительна. Для этой цели используют специальные устройства, называемые фазорегуляторами.

Фазорегулятор представляет собой обычный асинхронный двигатель трехфазного тока с контактными кольцами, у которого ротор заторможен, а обмотки статора подключены к сети трехфазного тока. При этом образуется вращающееся магнитное поле, которое при вращении пересекает обмотку ротора и индуцирует в ней электродвижущую силу той же частоты. Величина э. д. с., наведенной в обмотке ротора, определяется соотношением чисел витков обмоток ротора и статора, а фаза зависит от положения ротора, который можно поворачивать относительно статора на 360° .

На рис. 133 дана схема взаимного расположения обмоток статора 2 и ротора 1 двигателя. Если катушки обмоток статора *AA*, *BB*, *CC* и ротора *aa*, *bb*, *cc* пространственно совпадают, то никакого сдвига по времени между э. д. с. обеих обмоток не будет.

Если ротор и его обмотки пространственно сместить (с помощью червяка) на какой-то угол ϕ в сторону вращения магнитного поля статора, как указано стрелкой на рис. 133, то вращающееся магнитное поле будет пересекать катушки обмотки ротора позже, чем обмотки статора, и наведенные в них э. д. с. будут отставать по фазе на этот угол ϕ . При повороте ротора в противоположном направлении искусственно создается опережающий сдвиг э. д. с. обмотки ротора относительно э. д. с. обмотки статора. Таким образом можно плавно регулировать сдвиг фаз в пределах от чисто индуктивного до чисто емкостного.

На рис. 134 показан серийно изготавливаемый нашей промышленностью фазорегулятор ФР-52/4 мощностью 1 кВ·А при напряжении 380/220 В.

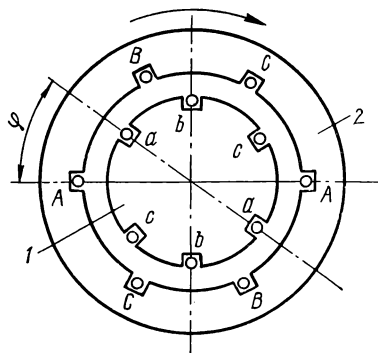


Рис. 133. Схема устройства фазорегулятора:
1 — ротор, 2 — статор

Питая последовательные цепи электроизмерительных приборов от сети, к которой подключена обмотка статора фазорегулятора, а параллельные цепи схемы — от обмотки его ротора, можно получить в исследуемой схеме любой сдвиг фаз.

Для регулирования сдвига фаз между током и напряжением изготовляют также специальные вдвоенные синхронные генераторы, имеющие на одной оси два индуктора и соответственно два статора. Один

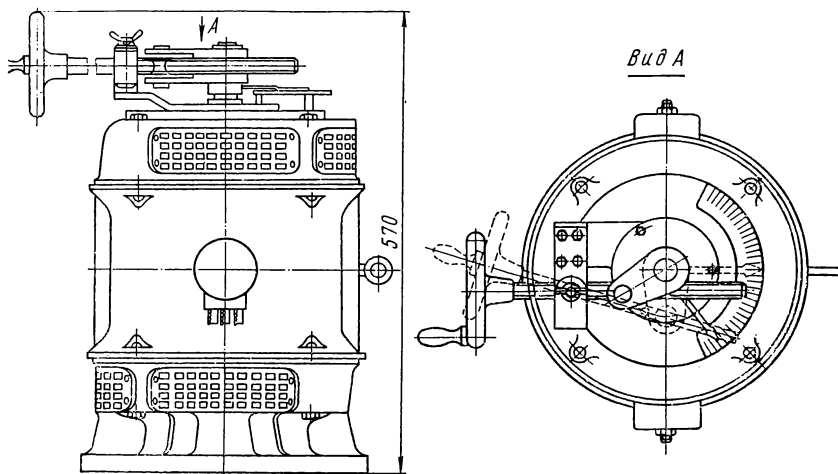


Рис. 134. Фазорегулятор ФР-52/4

из статоров сделан так, что с помощью червячной передачи его можно поворачивать на определенный угол вокруг оси вращения индукторов. В зависимости от взаимного расположения статоров будут сдвинуты по фазе э. д. с., наведенные в их обмотках. Такие установки находят применение только в крупных специализированных лабораториях.

В мелких лабораториях и мастерских по ремонту электроизмерительной аппаратуры иногда приходится обходиться без фазорегуляторов, не говоря уже о более сложных средствах регулирования сдвига фаз. В этих случаях можно использовать свойства симметричной трехфазной системы для получения вполне определенных углов сдвига фаз.

Из векторной диаграммы, изображенной на рис. 135, видно, что, используя различные включения последовательных и параллельных цепей приборов между линейными и фазными напряжениями, можно получить

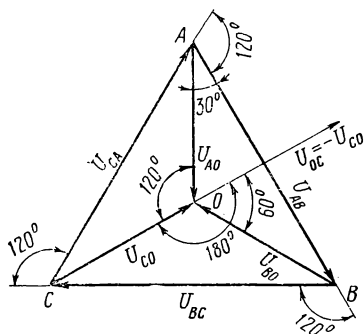


Рис. 135. Векторная диаграмма напряжений симметричной трехфазной системы

углы сдвига 30, 60, 90, 120, 180° и др. Например, включив токовую цепь прибора под фазное напряжение U_{AO} , а цепь напряжения под линейное напряжение U_{AB} — между током в приборе и приложенным к нему напряжением, получим сдвиг фаз в 30°; при включении токовой цепи прибора под фазное напряжение $U_{OC} = -U_{CO}$, а параллельной цепи — под фазное напряжение U_{BO} будет сдвиг фаз между током и напряжением в приборе, равный 60°. Угол между напряжениями U_{AB} и U_{CO} , как это видно на рис. 135, составляет 90°.

Таким образом, соответствующим подключением токовых и параллельных цепей получают нужные углы сдвига фаз. Плавно регулировать сдвиг фаз при этом, конечно, нельзя.

§ 46. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Многие измерительные приборы и устройства, предназначенные для электрических измерений, работают от источников питания. Часто для одного измерительного прибора или устройства необходимо несколько разных источников питания. Например, в осциллографах требуются различные по величине, частоте и роду тока напряжения.

Источники питания различаются по роду тока, частоте, форме кривой напряжения, величине напряжения, мощности. По роду тока источники подразделяются на источники постоянного тока и переменного тока, промышленной, звуковой и высокой частот.

Источники постоянного тока. Они должны прежде всего отличаться постоянством развиваемой ими э. д. с. В лабораторной практике и особенно в передвижных измерительных установках в качестве источников постоянного тока используют обычно аккумуляторные батареи и батареи сухих гальванических элементов, например, типа 102-АМЦ-У-1 (анодная, угольно-марганцево-цинковая, универсальная, начальное напряжение 102 В, начальная емкость 1 А·ч). Раньше подобные сухие батареи обозначались «БАС», т. е. батарея анодная сухая.

Машинные генераторы постоянного тока используют только в отдельных случаях.

Аккумуляторы, применяемые в измерительной практике, выпускают двух видов: кислотные (свинцовые) и щелочные (железо-никелевые или кадмиево-никелевые). Щелочные аккумуляторы отличаются большей механической и электрической прочностью; они допускают перегрузку, хорошо переносят транспортировку и не боятся кратковременных коротких замыканий. Среднее значение напряжения при разряде у щелочного аккумулятора (одного элемента) равно 1,2 В, а у кислотного — 1,8—2 В. В зависимости от потребного напряжения отдельные аккумуляторы соединяют в батареи.

Следует иметь в виду, что аккумуляторы нельзя нагружать током, превышающим десятичасовой разрядный ток. При невыполнении этого условия напряжение аккумулятора резко падает.

Кривая нормального разряда у разных аккумуляторов имеет различную форму: у кислотных она в начале и в конце разряда имеет резкое колено, а во все остальные моменты времени идет почти параллельно оси времени. Это значит, что напряжение на зажимах кислотного

го аккумулятора почти постоянно в течение всего времени разряда. У щелочных аккумуляторов кривая нормального разряда, хотя и не очень круто, но все время падает, т. е. напряжение на зажимах щелочного аккумулятора не вполне стабильно. Для стабилизации этого напряжения такой аккумулятор не следует нагружать током, превышающим 0,01—0,1 десятичасового разрядного тока. Э. д. с. исправного аккумулятора достаточно устойчива — колебания ее не превышают 0,01 %.

Кроме аккумуляторов и сухих элементов, в качестве источников питания все более широкое распространение получают различные выпрямители. Для обеспечения стабильности напряжения выпрямитель работает в комплекте со стабилизатором. Стабилизация напряжения может быть до выпрямления или после него. Схемы стабилизации напряжения до его выпрямления проще, но они не обеспечивают стабильности выше 0,5—2 %. Поэтому, когда требуется достигнуть довольно высокой стабильности напряжения, применяют более сложные схемы стабилизации выпрямленного напряжения, а иногда одновременно стабилизацию и выпрямленное переменное напряжение. Схемы выпрямления, как и схемы стабилизации напряжения, весьма разнообразны.

Для представления о возможностях и характеристиках стабилизированных источников питания и стабилизаторов напряжения, используемых в измерительной практике, приведем краткие характеристики некоторых из них (табл. 10 и 11).

Под стабилизированным источником питания понимают источник постоянного или переменного тока, обеспечивающий постоянное по величине напряжение независимо от изменений подключенной нагрузки.

Стабилизатором напряжения называют устройство, включаемое между источником питания и нагрузкой, которое обеспечивает постоянное по величине напряжение на выходе независимо от колебания напряжения источника.

Для питания вспомогательных цепей в измерительной практике используют также параметрические стабилизаторы, основанные на применении цепей с нелинейными сопротивлениями (бареттеры, лампы накаливания, полупроводниковые термосопротивления, газовые стабилизаторы).

Источники переменного тока. В качестве источников переменного тока промышленной частоты, главным образом при проверке приборов переменного тока, применяют либо специальные машинные генераторы, либо электрическую сеть. В необходимых случаях используют трансформаторы, а для устранения высших гармоник — фильтры.

Для некоторых измерений, особенно при использовании мостовых схем, целесообразно применять переменный ток звуковой частоты, источниками которого обычно являются электронные генераторы ГЗ (генераторы звуковых колебаний). Источники переменного тока бывают с фиксированной или регулируемой частотой генерируемых колебаний.

Для работы источников переменного тока, как правило, требуется вспомогательный источник питания. В качестве такого источника обыч-

Краткие характеристики стабилизированных источников питания

Тип	Краткая характеристика
Универсальный источник питания УИП-1	<p>Подключается к сети переменного тока 50 Гц; напряжение 127 или 220 В; потребляемая мощность 1500 В·А.</p> <p>Напряжение на выходе: стабилизированные выпрямленные напряжения 20—600 В при токе нагрузки 600 мА и 0—400 В при токе нагрузки до 5 мА; нестабилизированные переменные напряжения 2,15; 2,5; 4 и 5 В при $I = 4$ А; 12; 6 и 24 В при $I = 10$ А; 6,3 В при $I = 25$ А.</p> <p>Нестабильность выходных напряжений 0—400 В и 100—600 В не превышает $\pm 0,5\%$ при изменении питающего напряжения от —15 до 5%.</p>
Выпрямитель стабилизированный ВС-11	<p>Габариты прибора 480×380×280 мм; масса 45 кг</p> <p>Подключается к сети переменного тока; напряжение 220 В; потребляемая мощность не более 200 В·А.</p> <p>Напряжения на выходе: стабилизированное напряжение постоянного тока 150—300 В при токе нагрузки 10—100 мА; нестабилизированное переменное напряжение 6,3 В при токе нагрузки до 2,5 А.</p>
Выпрямитель стабилизированный ВС-12	<p>Нестабильность выходного напряжения не превышает 2,5%.</p> <p>Габариты прибора 500×300×240 мм, масса 30 кг</p> <p>Подключается к сети переменного тока; напряжение 220 В; потребляемая мощность не более 480 В·А.</p> <p>На выходе стабилизированное постоянное напряжение 0—75 В и 150—300 В при токах нагрузки соответственно до 5 мА и 30—300 мА. Плавная регулировка напряжений.</p>
Выпрямитель стабилизированный ВС-13	<p>Нестабильность выходных напряжений не превышает $\pm 0,1\%$ в диапазоне 150—300 В и $\pm 0,2\%$ при 0—75 В.</p> <p>Габариты прибора 700×410×410 мм, масса 50 кг</p> <p>Подключается к сети переменного тока; напряжение 220 В; потребляемая мощность не более 310 В·А.</p> <p>На выходе стабилизированное напряжение 6,3 В при токе нагрузки до 5 А.</p> <p>Нестабильность выходного напряжения не превышает $\pm 0,2\%$.</p> <p>Габариты прибора 700×410×410 мм, масса 50 кг</p>

но служит сеть переменного тока (50 Гц) напряжением 127, 220 или 380 В.

Основные требования, которым должны удовлетворять эти генераторы: устойчивость частоты и амплитуды, синусоидальность формы кривой и достаточная мощность на выходе.

Синусоидальность формы кривой характеризуется коэффициентом искажения γ , представляющим собой отношение действующих значений всех гармоник к действующему значению основной гармоники, т. е.

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100.$$

Краткая характеристика стабилизаторов напряжения

Тип	Назначение	Краткая характеристика
Феррорезонансный стабилизатор С11-300	Для поддержания необходимого постоянства переменного тока технической частоты	<p>Подключается к сети переменного тока; напряжение 127 или 220 В; частота 50 Гц; потребляемая мощность до 850 В·А.</p> <p>На выходе три стабилизированных переменных напряжения: $198 \text{ В} \pm 1,5\%$; $220 \text{ В} \pm 1,5\%$ и $242 \text{ В} \pm 1,5\%$ при выходной мощности до 300 В·А.</p> <p>Нестабильность выходного напряжения не выше $\pm 1,5\%$ при колебании напряжения сети до $\pm 10\%$. Изменение выходного напряжения в зависимости от нагрузки при номинальном напряжении сети не превышает $\pm 5\%$. Искажение формы кривой выходного напряжения не должно превышать 4%.</p> <p>Габариты прибора $331 \times 241 \times 210$ мм, масса 23 кг</p>
Стабилизатор напряжения постоянного тока У1136 (относится к стабилизаторам компенсационного типа)	Для питания цепей электроизмерительных приборов при их поверке на потенциометрах	<p>Подключается к сети переменного тока технической частоты; напряжение 127 или 220 В.</p> <p>Стабилизированное напряжение на выходе от 0,1 до 450 В с плавной регулировкой в любом из следующих пределов регулирования: 3—7,5—15—30—75—150—300—450 В.</p> <p>Нестабильность выходного напряжения не превышает $\pm 0,01\%$ при изменении напряжения сети на $\pm 10\%$ и токе нагрузки: до 300 мА на пределах 3—7,5—15—30—75 В; до 150 мА на пределах 150—300 В; до 30 мА на пределе 450 В. Точность установки любого значения напряжения в рабочем диапазоне составляет не менее 0,1% от величины соответствующего предела выходного напряжения. Изменение напряжения на выходе стабилизатора («дрейф») не превышает 0,02% за 1 ч после 10 мин прогрева.</p> <p>Габариты прибора $495 \times 275 \times 305$ мм; масса 20 кг</p>

В современных звуковых генераторах коэффициент искажения не превышает 3%. Генераторы колебаний звукового диапазона могут быть машинными, зуммерными или электронными. В настоящее время в большинстве случаев используют электронные звуковые генераторы ЗГ-10, ЗГ-11 и ЗГ-12, основные параметры которых следующие:

Погрешность по частоте	$\pm (0,02\% + 1) \text{ Гц}$
Номинальная выходная мощность	0,5 Вт
Максимальная выходная мощность	5 Вт
Нелинейные искажения:	
при $P_{\text{ном}} = 0,5 \text{ Вт}$	ниже 0,7%
при $P_{\text{макс}} = 5 \text{ Вт}$	» 1,4%
при $P_{\text{макс}} = 5 \text{ Вт}$ и нагрузке 5000 Ом	» 2%
Выходное сопротивление на согласованные нагрузки	50, 200, 600 и 5000 Ом
Неравномерность частотной характеристики относительно уровня на 400 Гц:	
на частотах 50—10 000 Гц	не более $\pm 1 \text{ дБ}$
на частотах 20—20 000 Гц	» » $\pm 3,5 \text{ дБ}$
Предел выходного вольтметра	60 В

§ 47. ОСОБЕННОСТИ ГРАДУИРОВКИ ЩИТОВЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Измерительные приборы классов 1,0; 1,5; 2,5 градуируют с помощью образцовых приборов классов 0,1; 0,2; 0,5, в качестве которых используют магнитоэлектрические, электродинамические и реже электромагнитные приборы. Образцовый прибор должен быть выше градуируемого не менее, чем на три класса, и тип его должен соответствовать роду тока, на котором ведется градуировка.

Магнитоэлектрические образцовые приборы нашли практически повсеместное применение при градуировке приборов на постоянном, а электродинамические — на переменном токе. Значительно реже для этих целей используют электромагнитные приборы классов 0,2 и 0,5.

Все эти приборы работают в сочетании с образцовой аппаратурой: магазинами сопротивления, измерительными трансформаторами тока и напряжения.

Измерительные трансформаторы тока служат для градуировки амперметров и ваттметров переменного тока в тех случаях, когда величина рабочего тока превосходит 15 А. Они применяются вместе с электродинамическими приборами классов 0,2 и 0,5, имеющими предел измерения 5 А.

При работе с трансформатором тока следует помнить, что его вторичную обмотку нельзя разрывать при работе. Если все же по какой-либо причине это приходится делать, то зажимы вторичной обмотки надо предварительно замкнуть накоротко, а если этого сделать не удастся, то трансформатор следует размагнитить, для чего сначала ток в его обмотке плавно увеличивают до номинального значения, а затем уменьшают до нуля. При этом вторичная обмотка трансформатора должна быть замкнута на сопротивление 10 Ом.

Измерительные трансформаторы напряжения применяют при градуировке высоковольтных приборов, главным образом электростати-

ческих вольтметров. Во вторичную цепь трансформатора напряжения включают электродинамические или электромагнитные вольтметры классов 0,2 и 0,5.

Образцовую аппаратуру, предназначенную для градуировки щитовых электроизмерительных приборов, выпускают для работы в тех же условиях, что и применяемые вместе с ней приборы.

§ 48. ОСОБЕННОСТИ ГРАДУИРОВКИ ОБРАЗЦОВЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Так как образцовый прибор должен быть на 2—3 класса точнее градуируемого, для градуировки электроизмерительных приборов классов 0,1; 0,2 и 0,5 приходится использовать аппаратуру, имеющую класс точности не ниже 0,015—0,05, например компенсаторы постоянного тока, в которых применяются образцовые меры сопротивлений и э. д. с. — катушки сопротивлений и нормальные элементы.

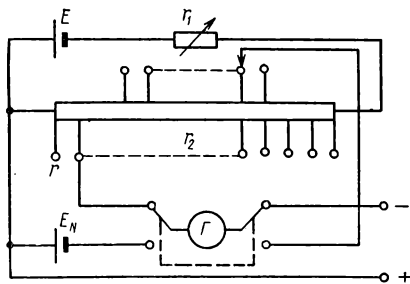


Рис. 136. Принципиальная схема компенсатора постоянного тока

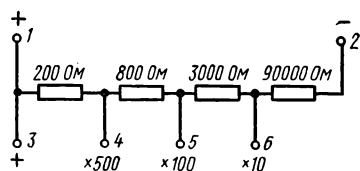


Рис. 137. Делитель напряжения:
1—6 — зажимы

Принцип действия компенсатора постоянного тока виден из схемы, приведенной на рис. 136. К зажимам подключается неизвестная э. д. с. или напряжение, которое сравнивается с падением напряжения на декае сопротивлений r . Это падение напряжения создается рабочим током, протекающим по сопротивлениям декады под влиянием э. д. с. батареи E . Величина тока устанавливается реостатом r_1 в соответствии с э. д. с. нормального элемента E_N . Влияние температуры на нее устраняется с помощью вспомогательной декады сопротивлений r_2 . О величине рабочего тока или измеряемой э. д. с. или напряжении можно судить по показаниям гальванометра Γ .

При непосредственных измерениях э. д. с. и напряжений порядка 1,9 В применяют высокоомные компенсаторы, а при измерениях э. д. с. и напряжений до 0,2 В — низкоомные. Расширение пределов высокоомного компенсатора осуществляется с помощью делителей напряжения, схема одного из которых приведена на рис. 137. Измеряемое напряжение подводится к зажимам 1 и 2. Зажим 3 подсоединяется к положительному зажиму компенсатора, а отрицательный зажим послед-

него — к одному из трех зажимов: 4, 5 или 6 — в зависимости от величины измеряемого напряжения (значение его определяется путем умножения показаний компенсатора на множитель, указанный на зажиме 4, 5 или 6 делителя напряжения).

Компенсатор является прибором наивысшего класса точности, поэтому к его эксплуатации предъявляются повышенные требования, строгое соблюдение которых обязательно. Компенсатор должен содержаться в отдельном помещении при температуре, указанной на его паспорте. Работу на компенсаторе можно начинать не раньше, чем через сутки после его установки, для того чтобы все его элементы приняли одинаковую температуру.

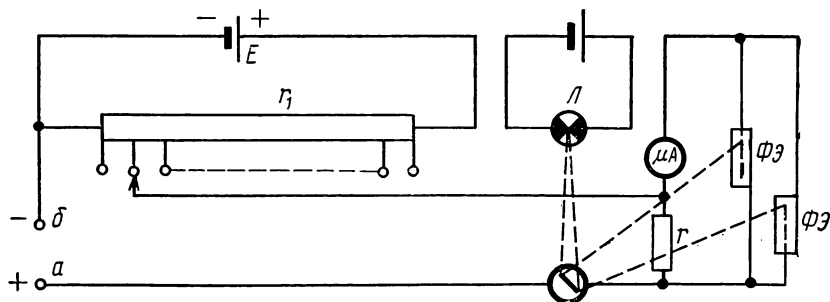


Рис. 138. Упрощенная схема полуавтоматического компенсатора

Гальванометр и нормальный элемент должны быть надежно защищены от сотрясения.

Источники питания должны отличаться высокой стабильностью. Регулировка тока и напряжения в схеме должна быть плавной.

Градуировочные операции облегчаются и время на их проведение сокращается при работе на полуавтоматических компенсаторах. Такой компенсатор имеет семь пределов измерения по напряжению: 30—37,5—45—60—75—150 мВ, 1500 мВ, что позволяет градуировать приборы с ценой деления, кратной 1—2—2,5—3—4—5, а также два дополнительных предела для измерения точных сопротивлений. В его комплект входит делитель напряжения, позволяющий расширить пределы измерения до 600 В. На таком компенсаторе можно градуировать на постоянном токе приборы классов 0,2 и 0,5 с очень широким диапазоном пределов измерения: вольтметры от 20 мВ до 600 В, амперметры от 20 мкА до 50 А, ваттметры на напряжение 30—600 В и ток 0,1—50 А.

Упрощенная схема полуавтоматического компенсатора приведена на рис. 138. Он включает в себя как бы два компенсатора: декадный и автоматический, в состав которого входят фотоэлементы ФЭ, резистор r , микроамперметр μA , гальванометр и лампа L . Батарея E создает рабочий ток в цепи декадного компенсатора, к соответствующему зажиму которого подключено переключателем измеряемое сопротивление. К зажимам a и b подается напряжение, основная часть ко-

торого компенсируется декадой r_1 , а остальная часть, возникшая, в частности, из-за погрешности градуируемого прибора, вызывает в цепи гальванометра ток, который отклоняет его зеркальце и изменяет направление светового луча между фотоэлементами ФЭ. В результате такого изменения через резистор r потечет ток, величина которого фиксируется по микроамперметру. Подвижная часть гальванометра перестанет отклоняться только тогда, когда падение напряжения на резисторе r , вызванное этим током, уравнивает некомпенсированную часть напряжения на зажимах a и b . Шкала прибора градуируется сразу в поправках к делениям шкалы.

§ 49. ПОВЕРОЧНЫЕ УСТАНОВКИ

В лабораториях и мастерских по ремонту и поверке электроизмерительных приборов применяют комплектные поверочные установки. В таких установках регулирующие и нагрузочные устройства, измерительные и контрольные приборы, а также коммутационная и защитная аппаратура различного рода скомплектованы и смонтированы в виде одного стенда с пультом управления. Изготавливают и переносные поверочные установки.

Схемы поверочных установок, их конструктивное оформление, количество одновременноверяемых приборов, предельные значения токов и напряжений, которые можно получить от них, весьма разнообразны.

Выбор типа поверочной установки определяется условиями и задачами работы.

При относительно незначительном количествеверяемых приборов, но при их большом разнообразии желательно иметь универсальную поверочную установку для различных приборов: амперметров, вольтметров, ваттметров, счетчиков, фазометров. В случае массовой поверки однородных приборов целесообразнее использовать специализированные установки, например, установку для поверки только амперметров, только счетчиков и т. п.

Установки, предназначенные для поверки фазочувствительных приборов (ваттметры, счетчики электрической энергии, фазометры), изготавливают по схемам с отдельными цепями тока и напряжения.

На рис. 139 показан внешний вид двух наиболее распространенных комплектов поверочных установок.

Установка У1134 (рис. 139, а) предназначена для регулировки, градуировки и поверки на переменном токе частотой 50 Гц электроизмерительных приборов переменного тока классов точности 1; 1,5 и 2,5 по образцовым приборам классов точности 0,2 и 0,5. Установка позволяет поверять амперметры с пределами измерения 0,5—50 А, вольтметры до 600 В, однофазные и трехфазные счетчики активной и реактивной энергии, ваттметры и фазометры с указанными выше пределами по току и напряжению.

Установка имеет две независимые цепи: цепь тока и цепь напряжения с пределами возможных нагрузок до 50 А по току и до 600 В по напряжению.

Включенный в схему установки фазорегулятор дает возможность плавно изменять угол сдвига фаз между напряжением и током в пределах $\pm\pi/2$. Одновременно можно подключить к установке четыре поверяемых счетчика.

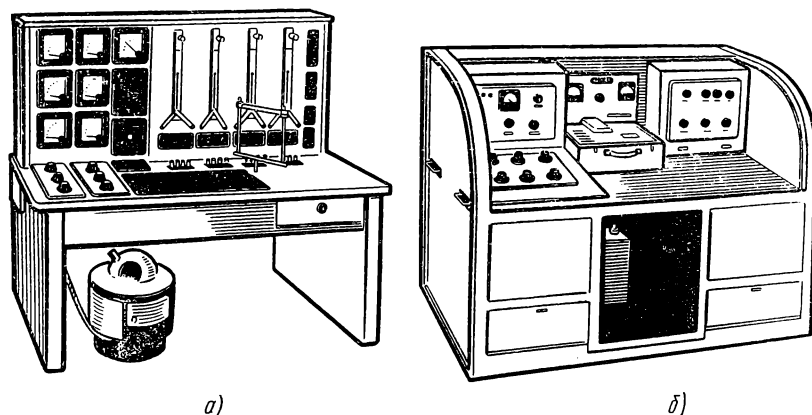


Рис. 139. Поверочные установки:
а — У1134 переменного тока, б — У302 постоянного тока

Универсальная компенсационная установка У302 (рис. 139, б) предназначена для градуировки и поверки компенсационным методом на постоянном токе приборов классов точности 0,1; 0,2 и 0,5; она позволяет регулировать ток в пределах от 300 мкА до 30 А; напряжение от 30 мВ до 450 В. На установке можно измерять сопротивления в пределах 10^{-3} — 10^5 Ом.

Контрольные вопросы

1. Каковы конструкция регулируемых резисторов (реостатов) и их основные схемы включения?
2. Для каких целей служат измерительные трансформаторы? Приведите и опишите схемы их включения. Что такое коэффициент трансформации?
3. Как устроен лабораторный автотрансформатор?
4. Что такое фазоуказатели и фазорегуляторы? Как они устроены и для чего применяются?
5. Какие вы знаете источники постоянного и переменного тока?
6. В чем состоят особенности градуировки щитовых и образцовых электроизмерительных приборов?
7. Для чего служат поверочные установки?

Глава IX

РЕГУЛИРОВКА И ГРАДУИРОВКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ

§ 50. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

При изготовлении электроизмерительных приборов у многих из его элементов обнаруживается значительный разброс параметров. Так, из-за несоответствия фактического диаметра провода номинальному разброс сопротивлений подвижной рамки или неподвижной катушки доходит до $\pm(10—20)\%$ от номинального значения, хотя число витков ее сохраняется постоянным. В электромагнитных приборах не удается сразу с необходимой точностью получить нужную величину сечения подвижной части и рабочего зазора между подвижной и неподвижной частями измерительного механизма. Поэтому в процессе сборки всегда возникает необходимость привести электрические и механические параметры прибора в соответствие с техническими требованиями. Эта операция называется регулировкой прибора. Способы регулировки зависят прежде всего от системы прибора, а также от многих его свойств.

При производстве прибора одной из самых ответственных операций является градуировка, т. е. нанесение на его шкалу отметок, соответствующих определенным значениям измеряемой величины. Градуировку производят либо вручную, либо с применением заранее изготовленных стандартных шкал, либо с помощью вспомогательной шкалы, либо на градуировочных машинах.

При ручной градуировке градуируемый и образцовый приборы включают в одну и ту же цепь, по показаниям образцового прибора судят о значениях измеряемой величины, и на шкалу градуируемого прибора карандашом наносят отметки, соответствующие этим значениям. После градуировки проверяют правильность нанесения отметок, для чего устанавливают по градуируемому прибору значения измеряемой величины и проверяют эти значения по образцовому прибору. Нанесение отметок и проверка их правильности должны производиться под лупой, обладающей трех-четырёхкратным усилением.

После проверки шкалу снимают с испытуемого прибора и передают на специальную машину, где по нанесенным отметкам вычерчивают деления и при необходимости делают соответствующие надписи. Этот способ прост и универсален, так как он не требует применения сложных средств градуировки и позволяет производить градуировку любых приборов независимо от шкалы, класса точности, назначения, сис-

темы и т. д. Однако производительность его чрезвычайно низка. Поэтому при массовом производстве электроизмерительных приборов, особенно невысокого класса точности, рекомендуется устанавливать стандартные шкалы.

В этом случае заранее приготовленную шкалу со всеми необходимыми делениями и надписями располагают на измерительном приборе в процессе его сборки, и все деления этой шкалы проверяют по образцовому прибору. Если величина приведенной погрешности нигде не выходит за пределы класса точности, то прибор считается градуированным. В противном случае производятся необходимые регулировки. Этот метод тоже достаточно прост и экономичен, поэтому его можно считать наиболее перспективным.

В тех случаях, когда ручная градуировка невозможна, например, по соображениям безопасности, а применение стандартных шкал экономически невыгодно, например, при малом количестве градуируемых шкал или специфическом характере шкалы, применяется метод градуировки электроизмерительного прибора с помощью вспомогательной шкалы, в качестве которой обычно используют линейку с миллиметровыми делениями или полоску миллиметровой бумаги, закрепленную на шкале градуируемого прибора. Включив градуируемый прибор в общую цепь с образцовым, отсчитывают по линейке или миллиметровой бумаге значение измеряемой величины в миллиметрах, а по шкале образцового прибора — его показания в единицах измеряемой величины. Закончив градуировку, отключают прибор от цепи, наносят на шкалу отметки, соответствующие сделанным записям, снимают шкалу с прибора и передают на машину для вычерчивания.

Применение специальных градуировочных машин позволяет повысить точность градуировки и увеличить производительность труда на этой операции и улучшить качество шкалы, так как дает возможность вычерчивать шкалу, не вынимая ее из прибора. Этот способ применяется для приборов высоких классов точности.

§ 51. РЕГУЛИРОВКА И ГРАДУИРОВКА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Как указывалось в § 7, соотношения между током, протекающим по рамке, и отклонением подвижной части прибора, зависят от размеров рамки, удельного противодействующего момента пружины или растяжки и от магнитной индукции в зазоре между полюсами магнита и цилиндрическим сердечником. Изменение размеров рамки и удельного противодействующего момента приведет к нарушению нормальной работы прибора. Поэтому регулировке подвергается магнитная индукция в зазоре. Эта операция, известная как размагничивание магнитной системы прибора, осуществляется по схеме рис. 118, описанной ранее, но вместо измерительного механизма между размагничивающими катушками помещают электроизмерительный прибор, на шкалу которого наносят начальную и конечную отметки. С помощью реостата *1* в цепи прибора устанавливается требуемый ток, величина которого контролируется образцовым миллиамперметром. При чрезмерной величине

магнитной индукции в зазоре стрелка прибора перейдет конечную отметку шкалы. Тогда с помощью автотрансформатора ток в катушках 2 сначала увеличивают от нуля до максимального значения, а затем снова уменьшают до нуля. Так повторяется до тех пор, пока стрелка прибора не встанет на конечную отметку.

В приборах, снабженных магнитным шунтом, можно в небольших пределах регулировать индукцию в зазоре перемещением магнитного шунта, т. е. некоторым изменением величины воздушного зазора.

Для вольтметров имеет значение не ток, потребляемый прибором, а падение напряжения в обмотке, поэтому и размагничивание вольтметров ведется не по току, а по напряжению: на выходе реостата подключаются параллельно друг другу образцовый и испытуемый приборы. С помощью реостата по образцовому прибору устанавливают определенное напряжение, соответствующее конечной отметке шкалы регулируемого прибора. В остальном методика размагничивания остается такой же, как и для амперметров, милли- и микроамперметров.

Во всех многопредельных приборах, а также в однопредельных приборах высокой точности с температурной компенсацией широко применяют способ регулирования сопротивления обмотки. Так как многопредельные приборы имеют одинаковый ток потребления на всех пределах измерения, достаточно отрегулировать сопротивление на первом пределе измерения. Если резисторы, предназначенные для расширения пределов измерения, подогнаны с требуемой степенью точности, то потребляемый прибором ток не будет выходить за допустимые пределы. Регулировка сопротивления на первом пределе измерения производится с помощью специального подгоночного резистора; изменяя его сопротивление, доводят ток на этом пределе измерения до номинального.

После регулировки электроизмерительных приборов проводится их градуировка. В зависимости от типа, назначения, класса точности и других факторов эту операцию осуществляют по-разному.

Градуировку микроамперметров, миллиамперметров и амперметров классов 1,0; 1,5; 2,5 производят с помощью одноименных приборов классов 0,2 и 0,5, имеющих те же пределы измерения, по схеме, показанной на рис. 140. Сначала стрелки обоих приборов ставят на нуль, и приборы включают в схему. По образцовому прибору A_0 устанавливают значения тока, соответствующие градуируемым точкам, и на шкалу градуируемого прибора A_n наносят соответствующие отметки. Затем шкалу снимают и передают на машину для вычерчивания. После градуировки проверяют ее правильность так, как это было описано в предыдущем параграфе.

Градуировку приборов классов 0,1; 0,2 и 0,5 производят с помощью компенсатора постоянного тока (рис. 141). От компенсатора в цепь градуируемого прибора A_n поступает ток, величина которого ограничивается образцовой катушкой сопротивления KC класса 0,01. Регулятором r плавно увеличивают ток в цепи прибора A_n до тех пор, пока стрелка или световой указатель гальванометра не встанет на нуль. При токе, отмеченном в этот момент прибором A_n , наносят на шкалу этого прибора отметку против конца стрелки. Таким же образом наносят остальные необходимые отметки.

Многопредельные приборы градуируют только на основном пределе измерения, который обладает наибольшей чувствительностью.

После градуировки производится проверка погрешности.

Градуировку милливольтметров и вольтметров классов 1,0; 1,5; 2,5 производят по такой же методике, как и амперметров тех же классов точности, но регулятор, образцовый и градуируемый приборы включаются параллельно друг другу.

Милливольтметры и вольтметры классов 0,2 и 0,5 градуируют с помощью компенсатора постоянного тока, как и амперметры соответствую-

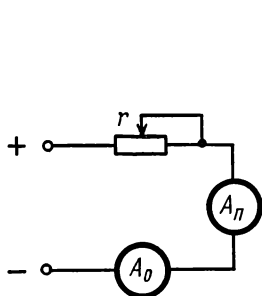


Рис. 140. Схема градуировки щитовых амперметров

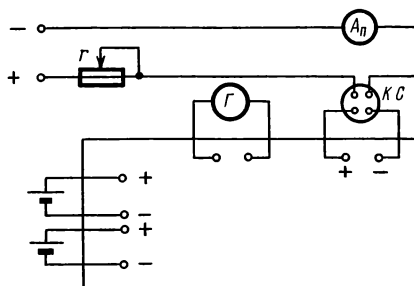


Рис. 141. Схема градуировки образцовых амперметров с помощью компенсатора

ющих классов, но компенсатор, регулятор и градуируемый прибор включают в цепь параллельно. При градуировке приборов с пределом измерения до 2 В компенсатор включают в цепь непосредственно, а при градуировке приборов с более высокими пределами — через делитель напряжения, чьи зажимы имеют обозначения коэффициентов (10, 100, 500), на которые надо умножить показания компенсатора, чтобы получить действительное значение измеряемой величины. Соответствующий коэффициент устанавливают переключателем декад. Методика градуировки такая же, как и для амперметров тех же классов.

Градуировка приборов, предназначенных для измерения нескольких величин (вольтамперметров, вольтметров, милливольтмиллиамперметров), может быть произведена с помощью комбинированных схем, сочетающих в себе схемы для градуировки амперметров и вольтметров. Одна из таких схем показана на рис. 142 для вольтамперметров и милливольтмиллиамперметров классов 1,0; 1,5; 2,5. Образцовый прибор I_0 с помощью переключателя Π может включаться либо последовательно, либо параллельно градуируемому. Градуировка тока и напряжения производится так же, как и в описанных выше случаях.

При градуировке комбинированных приборов классов 0,1; 0,2; 0,5 применяются комбинированные схемы с компенсатором, одна из которых приведена на рис. 143. На этой схеме показано положение переключателя $\Pi 1$ при градуировке прибора I по току. Измерительная цепь компенсатора K через переключатель $\Pi 2$ подключена к за-

жимам одной из катушек сопротивления $KС-1—KС-3$, а прибор I включается последовательно с этой катушкой.

Для градуировки по напряжению переключатель $П1$ переводят в правое положение, а измерительную цепь компенсатора K вместе с

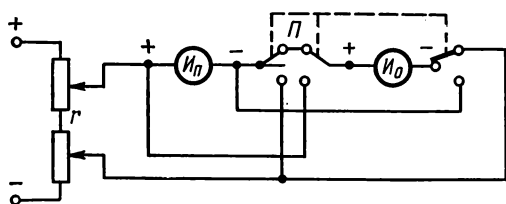


Рис. 142. Схема градуировки щитовых комбинированных приборов

градуируемым прибором отключают от катушек сопротивления и подключают к делителю напряжения r .

В зависимости от того, имеет ли градуируемый прибор единую шкалу для всех измеряемых величин или отдельную шкалу для каждой из них, приемы

градуировки несколько различны. Так, для многопредельного вольт-амперметра, имеющего отдельные шкалы для тока и для напряжения, градуировка производится для самых чувствительных начальных пределов, отдельно по току и отдельно по напряжению, а для многопредельного вольтамперметра, имеющего общие шкалы для напряжения и тока, градуировку производят на самом чувствительном пределе измерения одной величины и все отградуированные точки проверяют на самом чувствительном пределе измерения другой величины. На всех остальных пределах и в том, и в другом случае проверяют погрешность на конечной отметке шкалы.

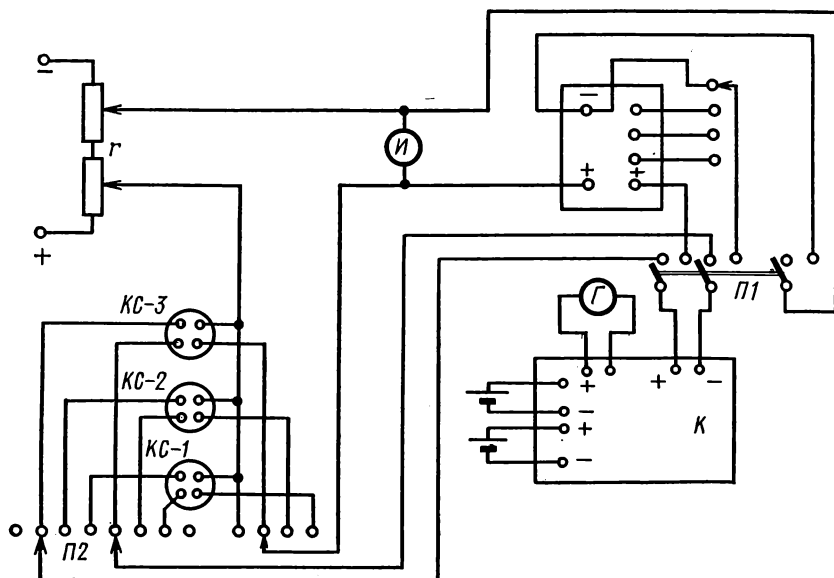


Рис. 143. Схема градуировки образцовых комбинированных приборов

Градуировку омметров производят с помощью магазинов сопротивлений классов 0,1 и 0,2. На приборе проверяют положение указателя на начальной отметке шкалы. После этого к зажимам «Измеряемое сопротивление» подключают магазин сопротивлений, на котором в нужной последовательности устанавливаются значения сопротивлений, соответствующие градуируемым точкам омметра. На шкалу наносят отметки согласно положениям стрелки омметра в каждой градуируемой точке.

Градуировка гальванометров (рис. 144) заключается в определении его основных параметров: постоянной по току, внутреннего и

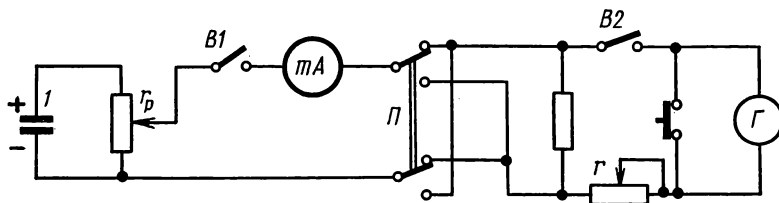


Рис. 144. Схема градуировки гальванометра

внешнего критического сопротивлений, периода свободных колебаний. Замыкая выключатели $B1$ и $B2$ и ставя переключатель Π в какое-либо положение, резистором r_p задают такой ток в цепи гальванометра G , при котором его указатель отклонится на всю шкалу. После этого выключатель $B2$ размыкают и одновременно включают секундомер. Подсчитав число полных колебаний n подвижной части гальванометра за некоторое время t , можно определить период свободных колебаний:

$$T_0 = \frac{t}{n}, \text{ с.}$$

Внутреннее сопротивление гальванометра измеряют с помощью одинарного моста. При этом подвижная часть должна быть заперта арретиром. Измеряя сопротивление, нужно следить за тем, чтобы ток в цепи гальванометра не достиг величины, опасной для токоподводов и подвеса.

При определении внешнего критического сопротивления замыкают выключатели, а переключатель ставят в одно из положений, указанных на рис. 144. На магазине сопротивлений r подбирают величину сопротивления, заведомо больше критического. Регулятором r_p в цепи гальванометра G устанавливают такой ток, при котором его указатель отклонится примерно до середины шкалы. Затем резко отключают выключатель $B1$, и ток в цепи гальванометра исчезает. Указатель начинает двигаться к нулевой отметке, но достигает ее не сразу, а после нескольких колебаний. Эти колебания объясняются тем, что в цепь гальванометра включено очень большое сопротивление — магазин r . Уменьшая сопротивление этого магазина и проделывая ту же операцию, можно найти такое его значение r_m , при котором указатель плав-

но вернется на нулевую отметку, ни разу не переходя ее. Зная это сопротивление, можно определить внешнее критическое сопротивление гальванометра (в омах) как

$$r_k = r_m + r_n,$$

где r_n — сопротивление образцового резистора, Ом.

Полное критическое сопротивление гальванометра можно определить как сумму внешнего критического сопротивления и сопротивления рамки r_p :

$$r_n = r_k + r_p.$$

Постоянная гальванометра по току определяется по той же схеме (см. рис. 144). С помощью магазина устанавливают в цепи гальванометра сопротивление, равное критическому. Включают выключатели $B1$ и $B2$, ставят переключатель P в одно из положений и с помощью релостата r_p в цепи образцового миллиамперметра mA устанавливают ток I , при котором указатель гальванометра отклонится на расстояние α_1 . Затем переключатель P переводят в другое положение. При том же токе I указатель пройдет в обратную сторону расстояние α_2 . Этих данных достаточно для определения постоянной гальванометра по току:

$$C_I = \frac{2 I l r_n}{r_n (\alpha_1 + \alpha_2)}, \quad \frac{A/мм}{м},$$

здесь l — расстояние между шкалой и зеркалом гальванометра, м; расстояния α_1 и α_2 даны в мм.

Зная постоянную гальванометра по току, можно определить его постоянную по напряжению как

$$C_U = C_I r_n, \quad \frac{В/мм}{м},$$

а также баллистическую постоянную по электрическому заряду:

$$C_Q = 0,432 C_I T_0, \quad \frac{Кл/мм}{м}$$

и баллистическую постоянную по магнитному потоку:

$$C_\Phi = 10^{-8} C_Q r_n, \quad \frac{Вб/мм}{м}.$$

Для переносных гальванометров эти постоянные определяют в единицах измеряемой величины, приходящихся на одно деление шкалы: А/дел, В/дел, Кл/дел, Вб/дел.

§ 52. РЕГУЛИРОВКА И ГРАДУИРОВКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ И ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Регулировка и градуировка электродинамических и ферродинамических приборов заключается в получении требуемого соотношения между токами в подвижной и неподвижной катушках и отклонением

подвижной части. Этого можно достигнуть одним способом: изменением противодействующего момента, т. е. регулировкой длины пружин.

Точность показаний в электродинамических и ферродинамических приборах зависит также от сопротивления катушек, величина которых может в большей или меньшей степени отличаться от расчетной. Регулировка сопротивления осуществляется подбором шунтов для неподвижной и добавочных сопротивлений для подвижных катушек.

В астатических электродинамических приборах дополнительно изменяют взаимное положение секций неподвижной катушки, устраняя тем самым влияние внешних магнитных полей.

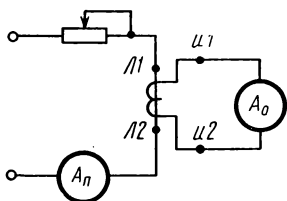


Рис. 145. Схема градуировки электродинамических амперметров

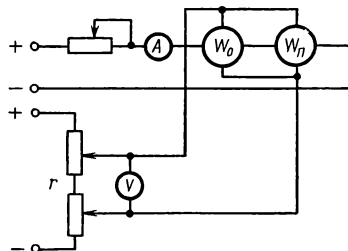


Рис. 146. Схема градуировки щитовых электродинамических ваттметров

В ферродинамических приборах нелинейность характеристик ферромагнитного сердечника приводит к тому, что действительное значение вращающего момента сильно отличается от его среднего значения. Регулировка момента состоит в изменении величины рабочих зазоров.

Миллиамперметры и амперметры электродинамической системы классов 1,0; 1,5; 2,5 с пределами измерения до 10—15 А градуируют по схеме рис. 140, но к зажимам цепи подводится синусоидальный ток, а приборы с пределом измерения выше 15 А — по схеме, приведенной на рис. 145. Градуируемый прибор A_n включают последовательно с первичной обмоткой трансформатора тока, а образцовый прибор A_0 с пределом измерения 5А — в его вторичную обмотку. Сила тока в цепи градуируемого прибора определяется при такой схеме как

$$I_1 = k_i I_2,$$

где I_1 и I_2 — токи в цепях соответственно градуируемого и образцового прибора, А; k_i — коэффициент трансформации трансформатора тока.

Миллиамперметры и амперметры электродинамической системы классов 0,1; 0,2; 0,5 градуируют так же, как и магнитоэлектрической системы тех же классов.

Градуировку электродинамических вольтметров производят так же, как и магнитоэлектрических, но к схеме подводят не постоянное, а синусоидальное напряжение.

Градуировку ваттметров, предназначенных для работы как на постоянном, так и на переменном токе, ведут с помощью образцовых

ваттметров по схеме рис. 146. Делителем напряжения с помощью контрольного вольтметра V устанавливают номинальное значение напряжения параллельных обмоток образцового W_0 и градуируемого W_n ваттметров. Ток в последовательных катушках обоих ваттметров изменяют с помощью резистора r , по ваттметру устанавливают величину мощности для каждого из этих значений тока и наносят соответствующие отметки на шкалу прибора W_n .

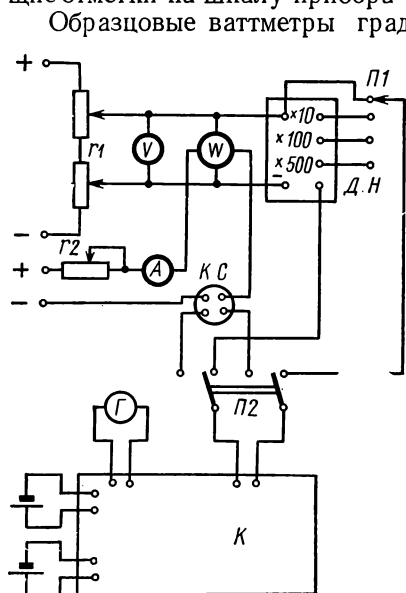


Рис. 147. Схема градуировки образцовых ваттметров

Образцовые ваттметры градуируют с помощью компенсатора постоянного тока (рис. 147). Перед градуировкой с помощью переключателя $P1$ устанавливают необходимый коэффициент делителя напряжения, исходя из номинального напряжения параллельной катушки ваттметра. Затем переключатель $P2$ ставят в правое положение и регулятором $r1$ к подвижной катушке ваттметра подводится номинальное напряжение, фиксируемое по компенсатору K , которое контролируется по вольтметру V и в течение всего процесса регулировки поддерживается постоянным. Напряжение U_k на зажимах компенсатора связано с напряжением на параллельной катушке U_n через коэффициент k делителя напряжения $ДН$:

$$U_k = \frac{U_n}{k}.$$

Подав на параллельную катушку ваттметра номинальное напряжение, переводят переключатель $P2$ в левое положение, регулятором $r2$ по компенсатору K устанавливают поочередно все значения тока в последовательной катушке ваттметра, соответствующие градуируемым точкам, и каждый раз делают на шкале необходимые отметки. Но компенсатор позволяет измерить не ток, а напряжение. Чтобы подсчитать ток в неподвижной катушке ваттметра, последовательно с ней включают образцовую катушку сопротивления $K.C.$ Протекая по этой катушке, ток I вызовет падение напряжения в ее сопротивлении r . Это напряжение и измеряется компенсатором. Ток в катушке можно найти по закону Ома: $I = \frac{U}{r}$. Тогда мощность, соответствующая каждой из градуируемых точек ваттметра, определится как

$$P = I U_{n \text{ ном}},$$

где $U_{n \text{ ном}}$ — номинальное значение напряжения параллельной обмотки ваттметра.

В процессе градуировки следует периодически переводить в правое

положение переключатель $\Pi 2$ и проверять значение напряжения U_n , которое из-за разных причин может отклониться от номинального.

Градировку однофазных и трехфазных ферродинамических ваттметров производят с помощью образцового электродинамического ваттметра по схемам, приведенным на рис. 148 и 149. Рассмотрим порядок градуировки на примере однофазного ваттметра (рис. 148). Регулято-

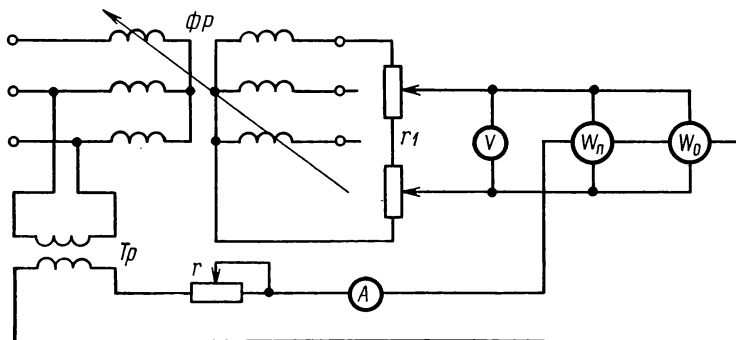


Рис. 148. Схема градуировки щитовых электродинамических ваттметров

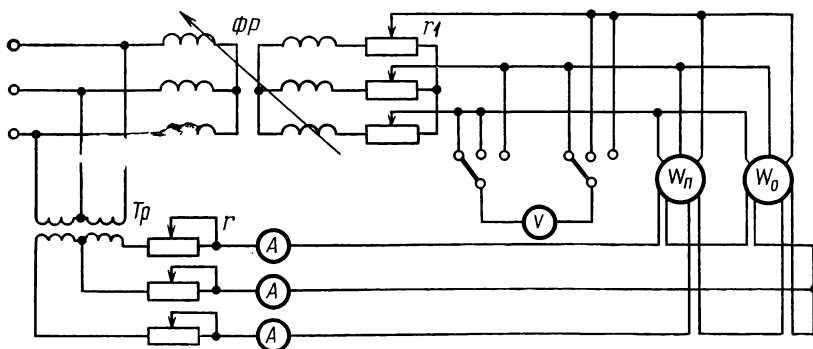


Рис. 149. Схема градуировки трехфазного ферродинамического ваттметра

ром напряжения $r1$ на параллельные обмотки градуируемого W_n и образцового W_0 ваттметров подается номинальное напряжение, величина которого контролируется по вольтметру V . Реостатом r устанавливают номинальный ток в последовательных катушках обоих ваттметров. Этот ток определяется амперметром A . Поворачивая ротор фазорегулятора ΦP , добиваются максимального отклонения стрелки образцового ваттметра W_0 . Не изменяя положения ротора, уменьшают ток в последовательных обмотках, устанавливая нужные значения мощности

по образцовому ваттметру и нанося соответствующие отметки на шкалу поверяемого ваттметра W_n .

По окончании градуировки, кроме обычной проверки погрешности на всех отградуированных точках, проверяют фазорегулятор, для чего ротор поворачивают на 90° от положения, в котором он находится при градуировке. При этом стрелки обоих ваттметров должны встать на нуль.

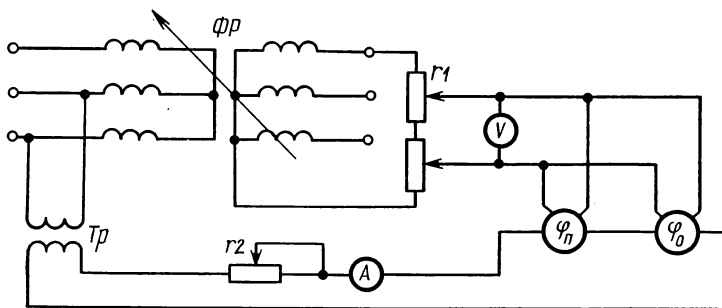


Рис. 150. Схема градуировки однофазного фазометра

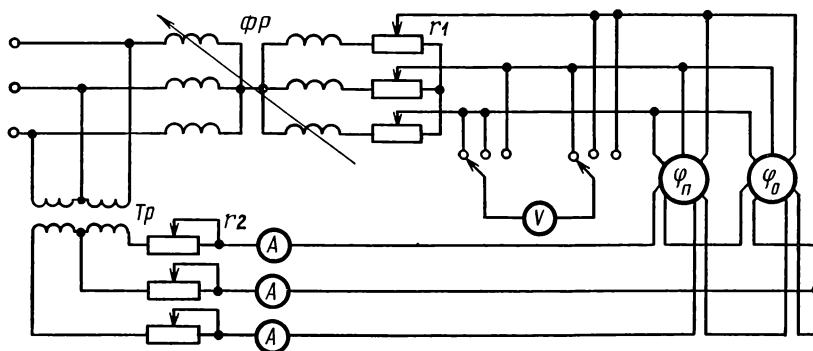


Рис. 151. Схема градуировки трехфазного фазометра

Градуировку однофазных и трехфазных фазометров ведут соответственно по схемам рис. 150 и 151. Рассмотрим эту операцию на примере однофазного фазометра. Реостатами $r1$ и $r2$ по контрольным приборам: вольтметру V и амперметру A устанавливают номинальные значения напряжений и токов в обмотках градуируемого φ_n и образцового φ_o фазометров. Затем поворачивают ротор фазорегулятора в такое положение, при котором стрелка образцового фазометра встанет на нуль. Отметку $\varphi = 0$ наносят на шкалу градуируемого прибора. Поворачивая ротор фазорегулятора последовательно в обе стороны от этой точки, по образцовому фазометру фиксируют все значения угла φ и наносят их на шкалу градуируемого прибора.

§ 53. РЕГУЛИРОВКА И ГРАДУИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРИБОРОВ

Цель градуировки электромагнитных приборов — добиться требуемого соотношения между током в неподвижной катушке и отклонением подвижной части. Это может быть достигнуто либо изменением удельного противодействующего момента, создаваемого спиральными пружинами, либо изменением положения ферромагнитного сердечника внутри катушки. Первый путь связан с изменением длины пружин, а следовательно, и ее параметров, и поэтому неэффективен.

В астатических приборах в дополнение к этому регулируют взаимное положение сердечников, находящихся внутри обеих секций, чтобы устранить влияние внешних магнитных полей на показания прибора.

В многопредельных вольтметрах регулируют величину сопротивления на самом первом пределе измерения. Предварительно этот вольтметр должен быть прогрет в течение 15 мин током номинальной величины.

Градуировку миллиамперметров, амперметров и вольтметров классов 1,0; 1,5; 2,5 производят с помощью соответствующих электродинамических приборов классов 0,2 и 0,5 по тем же схемам, по которым ведут градуировку электродинамических приборов тех же классов.

Приборы классов 0,2 и 0,5 градуируют на компенсаторах постоянного тока, как и электродинамические, с той лишь разницей, что отметки, соответствующие градуируемым точкам шкалы, наносят не против конца указателя, а посередине между положениями, которые он занимает сначала при одном, а затем при противоположном направлении тока в приборе; тем самым уменьшается погрешность, которая возникает в результате перемагничивания сердечника при работе прибора на переменном токе. Направление тока в катушке прибора изменяют специальным переключателем, включенным последовательно с градуируемым прибором.

§ 54. РЕГУЛИРОВКА И ГРАДУИРОВКА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

В электростатических приборах отклонение подвижной части связано с изменением емкости системы подвижных и неподвижных пластин. А емкость зависит главным образом от площади пластин и от расстояния между ними. Увеличение площади пластин экономически невыгодно, поэтому электростатические приборы регулируют обычно путем изменения расстояния между подвижной и неподвижной пластинами. Для придания шкале равномерного характера форму и взаимное расположение пластин специально подбирают. В приборах с магнитоиндукционным успокоителем регулируют, кроме того, время успокоения подвижной части. Для этой цели постоянный магнит, являющийся частью успокоителя, размагничивают в переменном магнитном поле.

Градуировка вольтметров с пределами измерения до 300 В осуществляется по тем же схемам, что и градуировка вольтметров других систем. Она может проводиться как на постоянном, так и на переменном токе. Градуировку же вольтметров на более высокие пределы, а также киловольтметров невозможно вести ни вручную, ни с применением стандартных шкал, так как напряжение, на которое рассчитаны эти приборы и при котором ведут градуировку, опасно для жизни. В связи с этим приходится пользоваться вспомогательной шкалой, причем установка, на которой проводится градуировка, должна быть заклю-

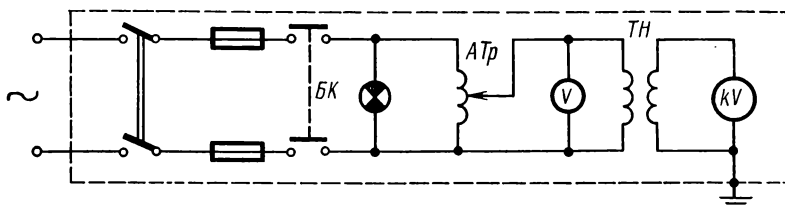


Рис. 152. Схема градуировки высоковольтного электростатического вольтметра

чена в защитный металлический корпус, снабженный надежной блокировкой и сигнализацией. Корпус такой установки вместе с одним из зажимов, к которому подключают прибор, должен быть надежно заземлен. К этой операции допускаются только лица, прошедшие специальный инструктаж.

Одна из схем градуировки высоковольтных электростатических вольтметров приведена на рис. 152. Градуируемый прибор kV подключают к зажимам обмотки высокого напряжения измерительного трансформатора напряжения $ТН$ класса 0,1 и 0,2. Вторая его обмотка питается от сети переменного тока через автотрансформатор $АТр$. Величину напряжения на этой обмотке измеряют образцовым вольтметром V класса 0,2 или 0,5. Напряжения U_1 и U_2 на образцовом V и градуируемом kV вольтметрах связаны соотношением $U_1 = k_u U_2$, где k_u — коэффициент трансформации измерительного трансформатора напряжения, указываемый на его паспорте.

Вся схема заключена в металлический заземленный корпус, в котором сделана застекленная откидная дверца, предназначенная для установки и подключения вольтметра kV . Как только дверца открывается, расположенные на ней блок-контакты $БК$ разывают цепь низковольтной обмотки измерительного трансформатора и доступ тока в цепь прекращается.

§ 55. СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В процессе изготовления прибора, сборки его узлов и деталей, при уравнивании и других операциях в отдельных деталях и их соединениях могут возникнуть механические напряжения и всевоз-

можные остаточные деформации. По мере эксплуатации приборов характер этих деформаций меняется, что вызывает изменение параметров прибора. Этому же способствует свойство магнитных сплавов менять с течением времени свою структуру. Поэтому приборы высоких классов точности после сборки необходимо стабилизировать, или подвергнуть искусственному старению нагревом. Для этого собранные приборы выдерживают в термостате при температуре 80°C в течение 4 ч, затем они поступают на регулировку, после которой приборы классов 1,0; 1,5; 2,5 передают на градуировку, а приборы классов 0,1; 0,2; 0,5 закрывают и ставят на стеллажи, где выдерживают при нормальных условиях в продолжение 1—3 месяцев. После этого проверяют показания прибора на конечной отметке шкалы. Если по сравнению с результатами предыдущей поверки показания изменились не более чем на половину основной погрешности, то приборы передают на градуировку. Отградуированные приборы закрывают и выдерживают еще 15—20 дней.

Контрольные вопросы

1. С какой целью производят регулировку приборов?
2. Что такое градуировка?
3. Как осуществляется ручная градуировка?
4. Для чего применяют стандартные шкалы?
5. В каких случаях используют вспомогательные шкалы?
6. Опишите последовательность градуировки магнитоэлектрических приборов.
7. Как ведется градуировка электро- и ферродинамических приборов?
8. Как градуируются электромагнитные приборы?
9. В чем особенности градуировки высоковольтных электростатических приборов?
10. Что такое стабилизация показаний приборов? Как она производится?

Глава X

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

§ 56. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В соответствии с ГОСТ 1845—59 предусмотрены три вида обязательных испытаний электроизмерительных приборов. Перед запуском в серию прибор должен пройти типовые испытания, цель которых установить соответствие прибора ГОСТам, техническим условиям и требованиям технического задания. Эти испытания проводят на заводе-изготовителе в присутствии представителей Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР. Результаты испытаний оформляют в виде протокола, по данным которого узаконивается тип прибора и выдается разрешение на его запуск в серию.

После изготовления каждый прибор проходит приемные испытания, цель которых—проверить соответствие прибора основным пунктам технических условий. Во время этих испытаний проверяют сопротивление и электрическую прочность изоляции, уравновешенность подвижной части, величину основной погрешности, влияние внешних факторов (электрических и магнитных полей, температуры); определяют температуру, до которой нагревается прибор под нагрузкой, а также устойчивость к перегрузкам, вибрациям, тряске, ударам и т. д. При этих испытаниях проверяют также наличие всех входящих в его комплект запасных частей. После того как прибор прошел приемные испытания, на нем ставят клеймо ОТК.

Некоторые взятые на выборку приборы, имеющие клеймо ОТК, подвергают периодически, не реже раза в год, контрольным испытаниям, которые проводят в заводской лаборатории в присутствии представителя Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР. В результате этих испытаний должно быть проверено, соответствуют ли приборы всем пунктам ГОСТа и технических условий.

§ 57. ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Определение сопротивления изоляции. Хорошее состояние изоляции между корпусом прибора и его токопроводящими частями обеспечивает безопасность обслуживающего персонала и нормальную работу самого прибора. Поэтому ГОСТ 1845—59 предъявляет жесткие требования к величине сопротивления изоляции и строго оговаривает условия, в которых проводят ее измерение. Так, для приборов групп

А и Б сопротивление изоляции токопроводящих частей относительно корпуса, измеряемое при температуре $+15 \text{ — } +25^\circ\text{C}$ и влажности 80%, должно быть не менее 20 МОм, а в приборах группы В аналогичные измерения должны проводиться в том же диапазоне температур, но при влажности 92—98%, и сопротивление этих приборов должно быть не менее 2 МОм.

Для измерения сопротивления изоляции используют мегомметр, работающий при номинальном напряжении 500 В. Один зажим мегомметра соединяют с зажимами испытуемого прибора, предварительно

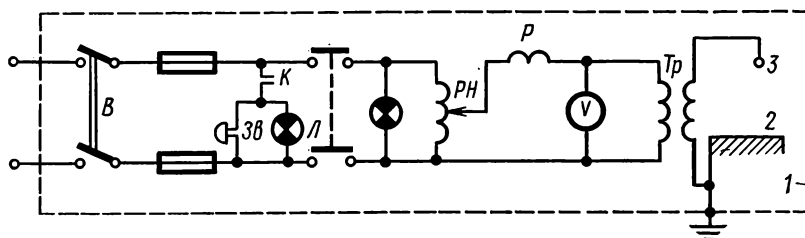


Рис. 153. Установка для определения электрической прочности изоляции

замкнутыми накоротко, а второй — с металлическими частями корпуса. При отсутствии на корпусе металлических частей прибор должен быть установлен на металлическом основании или помещен в металлический кожух, плотно соприкасающийся с корпусом прибора. С ним и соединяют второй зажим мегомметра.

Определение электрической прочности изоляции. Изоляция между токопроводящими частями и корпусом прибора должна выдерживать в течение одной минуты действие синусоидального напряжения частотой 50 Гц, величина которого зависит от номинального напряжения прибора. Для наиболее распространенных приборов, работающих в диапазоне 100—650 В, изоляция должна выдерживать напряжение 2 кВ. При наличии двух или более токопроводящих частей испытательное напряжение изоляции между ними выбирают по напряжению той части, для которой оно имеет наибольшее значение. Между параллельными и последовательными цепями однофазных и трехфазных ваттметров и фазометров оно должно быть равно 600 В, у переносных ваттметров и фазометров — не менее номинального.

Электрическую прочность изоляции определяют на специальных установках высокого напряжения (рис. 153). Отключая выключатель *В* и устанавливая регулятор напряжения *РН* в нулевое положение, открывают дверцу заземленного корпуса *1*, ставят прибор на металлическое основание *2* и подключают его к высоковольтному зажиму *3*. После этого дверцу закрывают, включают выключатель *В* и регулятором *РН* устанавливают требуемое значение напряжения, контролируемое по вольтметру *V*. При благоприятном течении испытаний по прошествии минуты регулятор снова переводят в нулевое положение, отключают установку с помощью выключателя, открывают дверцу корпуса и отключают прибор.

Если же в процессе испытания произойдет пробой изоляции прибора, то в первичной обмотке высоковольтного трансформатора *Тр* сильно возрастет ток, в результате чего сработает токовое реле *Р*, его контакт *К* замкнется и включит сигнализацию (лампу *Л* и звонок *Зв*). При появлении сигналов регулятор нужно быстро поставить на нуль, отключить выключатель и, открыв дверцу, снять бракованный прибор.

§ 58. ПРОВЕРКА УРАВНОВЕШЕННОСТИ ПОДВИЖНОЙ ЧАСТИ

В соответствии с ГОСТ 1845—59 изменение показаний (в процентах) при отклонении приборов со световым указателем на 5° и приборов со стрелочным указателем на 10° в обе стороны от рабочего положения не должно превышать класса точности. Для приборов специального назначения те же требования должны быть выдержаны при отклонении прибора на 45° .

Уравновешенность прибора проверяют на специальных установках, смонтированных на шарнирах и способных отклоняться на требуемый угол во все стороны. Установку включают в схему, подобную той, которую применяют при градуировке. Один или несколько испытуемых приборов вставляют в предназначенную для них обойму и подключают к схеме. Показания этих приборов в нормальном и наклонном положении сравнивают с показаниями образцового прибора. Наибольшее отклонение в показаниях прибора при его наклоне по сравнению с показаниями при нормальном положении характеризует неуравновешенность его подвижной части.

§ 59. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ И ВАРИАЦИИ ПОКАЗАНИЙ

Основная погрешность электроизмерительного прибора, т. е. разность между измеренным и действительным значениями измеряемой величины, определяется следующим образом. Прибор, предварительно прогретый в течение 15 мин, устанавливается в рабочее положение, причем стрелка его находится на нуле. Прибор должен быть защищен от влияния внешних магнитных и электрических полей и включен в схему, применяемую при градуировке. При выполнении этих требований основная погрешность прибора должна быть не больше его класса точности.

Наряду с проверкой основной погрешности прибора определяют вариацию его показаний, т. е. разность между действительными значениями измеряемой величины при ее увеличении и уменьшении для одной и той же отметки на шкале поверяемого прибора. Согласно ГОСТ 1845—59 вариация показаний для большинства электроизмерительных приборов не должна превышать класса точности.

§ 60. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

В соответствии с ГОСТ 1845—59 изменение показаний электроизмерительного прибора при изменении температуры окружающего воздуха от $+15$ до $+25^{\circ}\text{C}$ на каждые 10°C в пределах рабочего диапазона температур для приборов класса А не должно быть больше основной погрешности, для приборов класса Б—80%, а для приборов

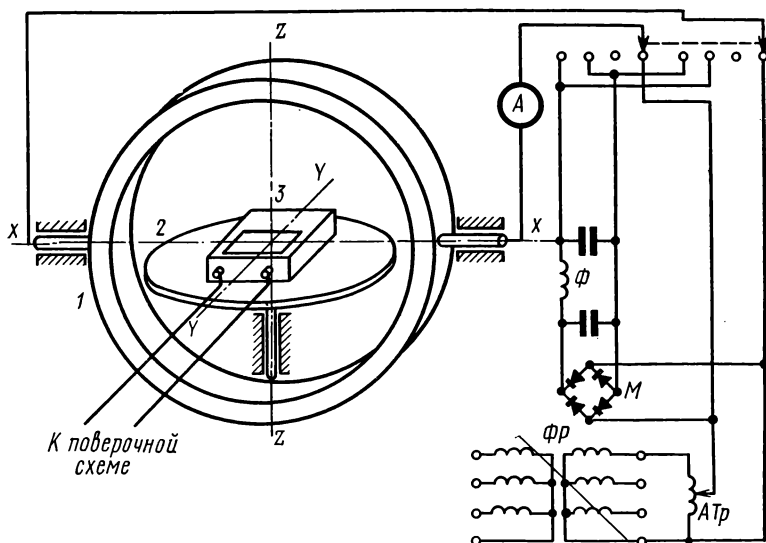


Рис. 154. Установка для испытания приборов на защищенность от внешних магнитных полей:

1 — катушка, 2 — поворотный стол, 3 — испытуемый прибор

класса Б — половины ее. Температуру измеряют в двух точках: посередине и в конце шкалы. Прибор помещают в термостат, позволяющий поддерживать температуру воздуха в пределах $+20$ — $+70^{\circ}\text{C}$, или в криостат, позволяющий получить очень низкие температуры, вплоть до -120°C . Прибор подключают к поверочной схеме, которая находится вне термостата или криостата, и при температуре 20°C снимают показания на обеих отметках шкалы. Затем прибор нагревают до любой температуры, находящейся в пределах рабочего диапазона температур, выдерживают при этой температуре 2 ч и вновь снимают показания на этих же двух точках шкалы. Снова охлаждают его до 20°C , выдерживают 4 ч и в третий раз на тех же двух точках шкалы снимают показания. В четвертый раз эти же операции продлевают после охлаждения в криостате до любой из рабочих температур и выдерживают при этой температуре в течение 2 ч. Наконец, прибор снова нагревают до 20°C , выдерживают 2 ч и опять снимают оба показания.

§ 61. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Воздействие внешних электрических и магнитных полей на работающий прибор приводит к резким искажениям его показаний. Поэтому в ГОСТ 1845—59 предусмотрены две категории защищенности электроизмерительных приборов от влияния внешних полей и установлены для каждой из них допустимые пределы изменений в показаниях прибора (см. табл. 7 в § 4). Определение влияния внешних полей проводится на тех же двух точках шкалы, что и определение влияния температуры, на установке, показанной на рис. 154, снаб-

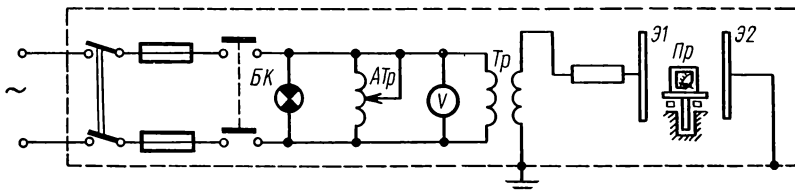


Рис. 155. Установка для испытания приборов на защищенность от внешних электрических полей

женной поворотным столом 2, на котором укладывается испытуемый прибор. При этом механизм его должен находиться в центре катушки 1, укрепленной на поворотных цапфах. Катушка может питаться либо постоянным (через выпрямительный мост M и фильтр Φ), либо переменным током (непосредственно от сети). От фазорегулятора ΦP через автотрансформатор $АТр$ подается ток нужной величины, о которой можно судить по показаниям амперметра A . Установив величину тока, при которой напряженность магнитного поля окажется равной 400 А/м, проверяют соответствие полученного отклонения подвижной части данным табл. 7.

Защищенность прибора от внешних электрических полей определяют по схеме рис. 155. Испытуемый прибор $Пр$ укладывают на столик, помещенный между электродами $\mathcal{E}1$ и $\mathcal{E}2$, к которым от вторичной обмотки повышающего трансформатора $Тр$ подается высокое напряжение, устанавливаемое с помощью автотрансформатора $АТр$ по контрольному вольтметру V , проградуированному в значениях вторичного высокого напряжения трансформатора $Тр$. Задав автотрансформатором такое напряжение, при котором напряженность электрического поля частотой 50 Гц для приборов с пределом измерения до 10 кВ составит 20 кВ/м, а для приборов с большим пределом измерения — 50 кВ/м, проверяют соответствие полученного отклонения подвижной части данным табл. 7.

Для обеспечения безопасности вся схема убрана в металлический заземленный корпус, в котором сделана дверца для облегчения доступа к столу. На дверце установлены блок-контакты $БК$, которые разрывают цепь, как только дверца открывается.

К операциям на такой установке допускаются только лица, прошедшие специальный инструктаж и имеющие допуск к высоковольтным установкам.

§ 62. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРЕВА ПОД НАГРУЗКОЙ

Перегрев обмотки электроизмерительного прибора может внести существенные искажения в показания из-за изменения ее сопротивления, а чрезмерный перегрев — даже повлечь за собой ее сгорание. Поэтому ГОСТ 1845—59 устанавливает строго определенное превышение температуры отдельных частей прибора над температурой окружающей среды и требует обязательно испытывать прибор на нагрев под нагрузкой. При этих испытаниях прибор должен находиться в рабочем положении, причем температура любой его части не должна в течение получаса меняться больше, чем на 1° . Испытания щитовых вольтметров групп Б и В следует вести при номинальном напряжении сети, в которой эти приборы будут работать, но не ниже 85 % от верхнего предела их измерения; испытания ваттметров, частотометров, омметров и фазометров — при номинальных напряжении и токе, а испытания всех остальных приборов — при напряжении и токе, равных верхнему пределу их измерения.

Температуру нагрева можно определить либо с помощью термометра сопротивления или термопары, присоединенной к самой нагретой точке прибора, либо методом сопротивления, который основан на изменении сопротивления провода при нагреве его.

§ 63. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА К ПЕРЕГРУЗКАМ

Согласно ГОСТ 1845—59 вольтметры, параллельные цепи ваттметров и счетчиков должны выдерживать нагрузку номинальным напряжением в течение 2 ч (при этом токи в последовательных цепях ваттметров и счетчиков тоже должны быть равны номинальным), переносные приборы — в течение 5 мин. Все остальные приборы должны нормально работать после перегрузки током, равным 120 % от номинального. Если после двухчасовой нагрузки (переносные приборы — после пятиминутной) с последующим охлаждением уравновешенность, основная погрешность, вариация показаний прибора находятся в норме, то прибор считается выдержавшим испытания.

Добавочные сопротивления и шунты не должны менять своего сопротивления больше, чем это диктуется нормами.

Кроме испытания на длительную нагрузку, прибор подвергают испытанию на кратковременную нагрузку. При этом приборы должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Щитовые амперметры и последовательные цепи щитовых ваттметров и фазометров должны выдерживать без повреждений 9 импульсов тока, в 10 раз превышающего номинальную величину, продолжительностью по 0,5 с каждый с интервалами между ними в 1 мин, и один импульс тока такой же величины, длящийся 5 с. Параллельные цепи

этих приборов должны находиться под номинальным напряжением.

2. Параллельные цепи всех щитовых приборов, а также последовательные цепи переносных и самопишущих приборов должны выдерживать 5 импульсов, в два раза превышающих номинальную величину, продолжительностью по 0,5 с каждый с интервалами между ними в 15 с.

3. Вольтметры с пределом выше 3 кВ, частотомеры, выпрямительные приборы и приборы, рассчитанные на работу в сетях частотой 65 Гц и выше, должны выдерживать, не повреждаясь, 5 импульсов с амплитудой в 1,5 раза больше номинальной, продолжительностью по 0,5 с с интервалом между ними в 15 с.

После этих испытаний прибор должен удовлетворять требованиям ГОСТа в отношении уравнивания подвижной части, основной погрешности и вариации показаний.

§ 64. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В зависимости от восприятия механических воздействий приборы принято делить на обыкновенные, тряско-, вибро-, ударопрочные, тряско- и виброустойчивые. Обыкновенные приборы в упаковке для перевозки должны выдерживать транспортную тряску в течение 2 ч с ускорением 30 м/с^2 и частотой ударов 80—120 в мин; тряскопрочные должны выдерживать тряску с ускорением 70 м/с^2 при той же частоте ударов и нормально работать после ее воздействия, а тряскоустойчивые—во время этой тряски; вибростойкие приборы должны нормально работать после окончания вибраций с ускорением до 14 м/с^2 при частоте 10—80 в мин, а виброустойчивые — во время таких вибраций; ударопрочные приборы должны выдерживать ударные сотрясения в соответствии с техническими условиями.

Вибропрочные и виброустойчивые приборы проходят испытания на вибрационных установках (рис. 156). Испытуемые приборы располагают на столе 7, установленном на пружине 6 внутри корпуса 1. В нижней части штока 5 крепится обойма 2, на которой установлены два эксцентрика 3 и 9, связанные между собой шестернями 4 и 8. Вал эксцентрика 3 гибкой передачей соединен с электродвигателем, который приводит эксцентрики во вращение (ни вал, ни электродвигатель на рисунке не показаны). Регулируя поворот эксцентриков, добиваются такого положения, чтобы в горизонтальном положении результирующая сила была равна нулю, а в вертикальном менялась от отрицательного до положительного максимума. Амплитуда и частота колебаний стола могут принимать любые нужные значения.

Тряскоустойчивые и тряскопрочные приборы подвергают испытаниям на специальной установке (рис. 157). В корпусе 1 расположены направляющие, по которым скользит шток 2. В верхней части его закреплен стол 5, а в полуось с роликом 4 — кулачок 3, вращаемый от электродвигателя 6 и поднимающий шток 2 вместе со столом, принуждая их падать. Высоту падения можно регулировать с помощью винта 7. Вместе с ней меняется и ускорение, воздействующее на стол 5. После

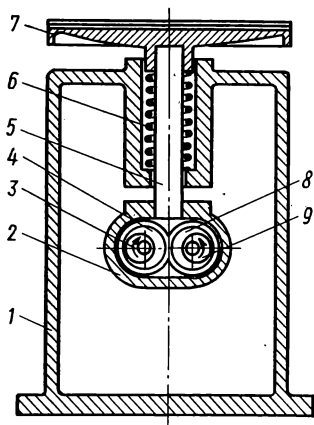


Рис. 156. Установка для испытания приборов на виброустойчивость:

1 — корпус, 2 — обойма, 3, 9 — эксцентрики, 4, 8 — шестерни, 5 — шток, 6 — пружина, 7 — стол

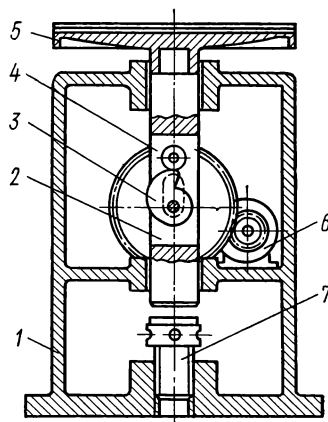


Рис. 157. Установка для испытания приборов на устойчивость к тряске:

1 — корпус, 2 — шток, 3 — кулачок, 4 — ролик, 5 — стол, 6 — электродвигатель, 7 — винт

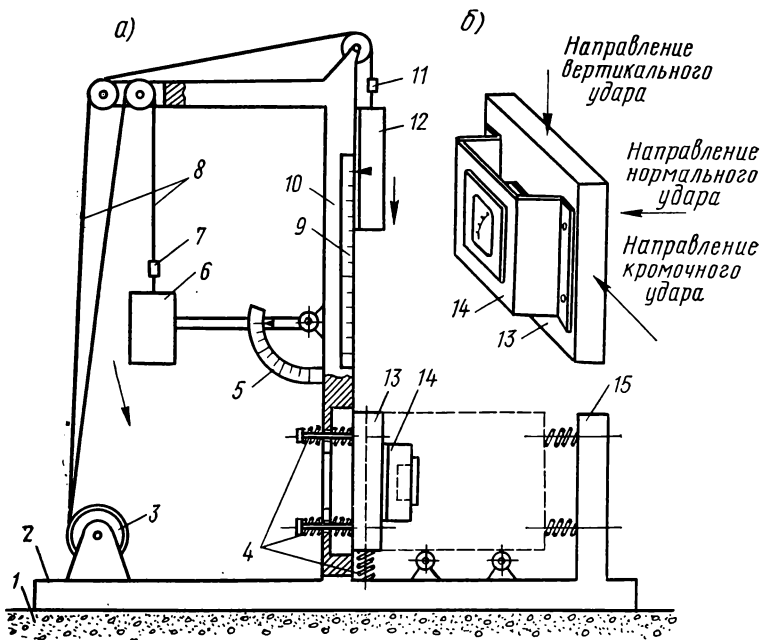


Рис. 158. Установка для испытания приборов на устойчивость к ударным нагрузкам:

а — схема установки, б — крепление прибора; 1 — фундамент, 2 — копер, 3 — лебедка, 4 — пружинные амортизаторы, 5, 9 — шкалы, 6 — маятник, 7, 11 — расцепители, 8 — канаты, 10, 15 — стойки, 12 — груз, 13 — плита, 14 — прибор

испытаний прибор должен соответствовать требованиям ГОСТа, что проверяется внешним осмотром.

Испытания на устойчивость к ударам ведут на копре (рис. 158), воспроизводящем ударные сотрясения, которым прибор может подвергаться при работе. От основания копра 2, закрепленного на фундаменте 1, отходят стойки 10 и 15. В нижней части стойки 10 на пружинных амортизаторах 4 установлена плита 13, обладающая большой массой. На той же стойке закреплен маятник 6 и специальные направляющие, по которым скользит груз 12. Маятник и груз поднимают на нужную высоту лебедкой 3 с канатами 8. Высоту подъема фиксируют по шкалам 5 и 9. Расцепители 7 и 11 отделяют маятник и груз от канатов. Прибор 14, установленный на плите 13, подвергают ударным сотрясениям, которые наносят в трех взаимно перпендикулярных направлениях: в боковой и горизонтальной плоскостях — грузом маятника, а в вертикальной плоскости — грузом 12. Число и интенсивность ударов задаются техническими условиями.

После испытаний проверяют прибор на его соответствие ГОСТу.

§ 65. ПРОВЕРКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ОТ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

В зависимости от того, насколько приборы защищены от влияния внешней среды, они делятся на обыкновенные, брызго-, водо- и пылезащищенные, герметические и взрывобезопасные.

Брызгозащищенные приборы проходят испытания «искусственным дождем», который создают в остекленной камере 2 (рис. 159). На основании камеры укреплен вращающийся стол 1, на котором располагаются испытываемые приборы. К установке подаются под давлением сжатый воздух и вода, которые из трубопроводов 5 попадают в смеситель 4 и далее в форсунку 3, расположенную под углом 45° к горизонту.

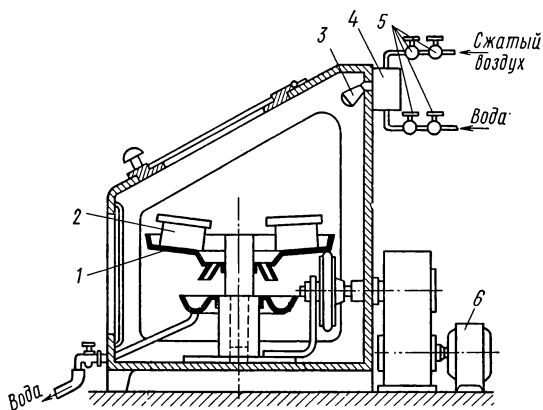


Рис. 159. Установка для испытания приборов «искусственным дождем»:

1 — стол, 2 — камера, 3 — форсунка, 4 — смеситель, 5 — трубопроводы, 6 — электродвигатели

Стол с приборами приводится во вращение электродвигателями 6, а смесь воды с воздухом, имеющая температуру на 5—10°С выше температуры приборов, обливает их из форсунки в течение 5 мин. Интенсивность «дождя» 5 мм/мин. О ней судят по количеству воды, протекающей за это время через камеру. По окончании испытания прибор вынимают из камеры, вытирают насухо, вскрывают и на глаз определяют, есть ли внутри корпуса вода.

Водозащищенные приборы подвергаются воздействию струи воды длиной 5 м в течение 5 мин. После этого внутри прибора воды быть не должно.

Герметические приборы испытывают одним из двух способов: либо под избыточным давлением, либо под вакуумом. При первом способе внутрь корпуса прибора через гибкий шланг подают сжатый воздух, а затем прибор погружают в сосуд с водой. При достаточно высоком давлении внутри корпуса на поверхности прибора не должно быть пузырьков воздуха. При втором способе испытываемые приборы погружают в бак с водой. Бак плотно закрывают крышкой, и из него выкачивают воздух. При разрежении на поверхности воды не должно быть воздушных пузырьков.

Испытания на влияние влажного воздуха проходят как отдельные детали и узлы, так и прибор в целом. Наиболее просто такие испытания можно провести в стеклянном сосуде с плотно притертой крышкой, на дно которого наливают воду, а поверх ее находится решетчатая подставка с испытываемыми деталями, узлами или прибором. Из-за постоянного испарения воды внутри этого сосуда влажность воздуха в нем всегда равна 100% и изменить ее не удастся. Этот недостаток, а также невозможность обеспечить внутри сосуда постоянную температуру явились причиной того, что для таких испытаний нашли широкое применение более дорогие, сложные, но зато гораздо более надежные установки, наподобие представленной на рис. 160, где в верхней части шкафа с двойными стенками находятся увлажнительные камеры, а в нижней — в специальных помещениях размещены полки 1 с установленными на них испытываемыми приборами 2. Полотняные сетки 4 непрерывно смачиваются горячей водой, которая поступает в увлажнительную камеру по трубкам опрыскивателя 3. Проходя через эти сетки, воздух увлажняется и нагревается электронагревателем 5 до нужной температуры. Из камер воздух поступает в помещения с приборами и вновь возвращается в увлажнительные камеры. Влажность воздуха контролируется психрометром. После испытаний прибор вытирают насухо, производят наружный осмотр, проверяют его изоляцию, вскрывают и осматривают изнутри.

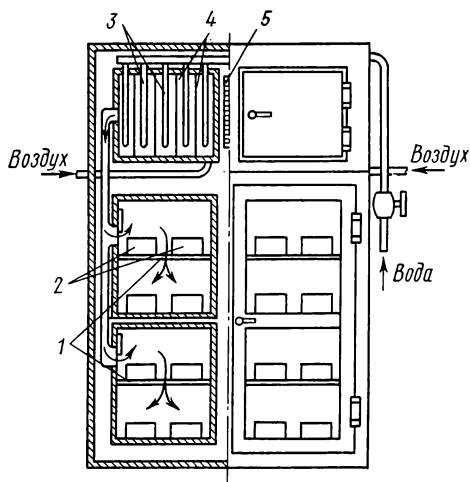


Рис. 160. Установка для испытания приборов на влияние влажного воздуха: 1 — полки, 2 — испытываемые приборы, 3 — опрыскиватель, 4 — полотняные сетки, 5 — электронагреватель

Пылезащищенные приборы испытывают в замкнутой трубе, в которую через дверцу на специальную полку устанавливают приборы, подвергающиеся испытанию. Туда же засыпают порошок ликоподия в размере 5 г/м^3 воздуха, находящегося в трубе. Этот воздух вместе с частицами порошка приводится вентилятором во вращение со скоростью 5 м/с . Испытания продолжаются в течение 15 мин, после чего приборы нужно вынуть, обернуть и вскрыть. Внутри них не должно быть частиц ликоподия.

Контрольные вопросы

1. Какие виды испытаний являются обязательными для приборов?
2. Как определяют сопротивление и электрическую прочность изоляции?
3. В чем состоит проверка уравновешенности подвижной части?
4. Каким способом определяют основную погрешность прибора?
5. Опишите последовательность операций по определению влияния температуры окружающего воздуха.
6. Как производят испытания на влияние внешних магнитных и электрических полей?
7. Как контролируют температуру нагрева обмотки?
8. Какие требования предъявляются к электроизмерительным приборам в отношении их устойчивости к перегрузкам и механическим воздействиям? Как проверяют выполнение этих требований?
9. Назовите и опишите испытания, которым подвергаются брызго-, водо- и пылезащищенные приборы.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Перечень важнейших нормативных материалов Государственного комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР

Наименование документа	Индекс или ГОСТ
Правила организации и проведения поверки мер и измерительных приборов и контроля за состоянием измерительной техники, соблюдением стандартов и технических условий	12—58
Инструкция по поверке магазинов емкостей и конденсаторов постоянной и переменной емкости	178—56
Инструкция по поверке частотомеров	180—63
Инструкция по поверке измерительных магазинов сопротивлений	182—55
Инструкция по поверке аппаратов, служащих для поверки измерительных трансформаторов	183—54
Инструкция по поверке амперметров, вольтметров и ваттметров	184—60
Инструкция по поверке шунтов	185—60
Инструкция по поверке гальванометров	187—60
Инструкция по поверке омметров, мегомметров и фарадметров	188—60
Инструкция по поверке потенциометров постоянного тока	189—61
Инструкция по поверке потенциометров переменного тока	190—56
Инструкция по поверке измерительных мостов постоянного тока	191—61
Инструкция по поверке мостов переменного тока	192—62
Инструкция по поверке измерительных трансформаторов	193—55
Инструкция по поверке фазометров	194—62
Инструкция по поверке электрических счетчиков активной и реактивной энергии	195—60
Обозначения основных электротехнических величин (буквенные)	ЕСКД
Приборы электроизмерительные. Общие технические требования	ГОСТ 1845—59
Нормальные элементы (меры электродвижущей силы)	ГОСТ 1954—64
Приборы измерительные. Циферблаты и шкалы. Технические требования	ГОСТ 5365—57
Счетчики электрические переменного тока	ГОСТ 6570—60
Катушки электрического сопротивления измерительные	ГОСТ 6864—62
Магазины сопротивления измерительные	ГОСТ 7003—64
Гальванометры постоянного тока	ГОСТ 7324—55
Омметры. Технические требования	ГОСТ 8038—60
Фазометры. Технические требования	ГОСТ 8039—60
Шунты калиброванные	ГОСТ 8042—61

Наименование документа	Индекс или ГОСТ
Ваттметры и варметры. Технические требования . . .	ГОСТ 8476—60
Приборы электроизмерительные. Сопротивления добавочные взаимозаменяемые. Технические требования . . .	ГОСТ 8623—60
Амперметры и вольтметры. Технические требования . .	ГОСТ 8711—60
Приборы электроизмерительные. Керны	ГОСТ 8913—58
Трансформаторы измерительные, лабораторные. Технические требования	ГОСТ 9032—59
Клещи электроизмерительные. Технические требования	ГОСТ 9071—59
Приборы электроизмерительные. Требования к упаковке	ГОСТ 9181—59
Приборы электроизмерительные. Пружины спиральные	ГОСТ 9233—59
Потенциометры постоянного тока измерительные . . .	ГОСТ 9245—59
Приборы электроизмерительные. Растяжки и подвески	ГОСТ 9444—60
Мосты переменного тока измерительные	ГОСТ 9486—60
Приборы электроизмерительные самопишущие	ГОСТ 9999—62

Примечание. Последние две цифры ГОСТа обозначают год утверждения документа.

**Допускаемые относительные погрешности счетчиков
электрической энергии переменного тока**

Условия нагрузки	Допускаемая относительная погрешность счетчиков, %, при классе точности			Примечание
	1	2	2,5	
Однофазные счетчики при $\cos \varphi = 1$:				
$I = 0,05 I_H$	± 2	$\pm 2,5$	—	—
$I = 0,1 I_H$	± 1	$\pm 2,0$	$\pm 3,5$	—
$I = (0,1-1,5) I_H$	± 1	—	—	—
$I = (0,1-2) I_H$	—	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	—
При $\cos \varphi = 0,5$:				
$I = 0,1 I_H$	± 2	$\pm 2,5$	—	—
$I = (0,2-1,5) I_H$	± 1	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$	—
Трехфазные счетчики при $\cos \varphi = 1$:				
$I = 0,05 I_H$	± 2	$\pm 2,5$	—	—
$I = 0,1 I_H$	± 1	$\pm 2,0$	$\pm 3,5$	—
$I = (0,1-1,2) I_H$	± 1	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	—
$I = (0,1-1,5) I_H$	± 1	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	—
При $\cos \varphi = 0,5$:				
$I = 0,1 I_H$	± 2	$\pm 2,5$	—	Для счетчиков непосредственного включения Для счетчиков, включаемых через трансформаторы Для счетчиков непосредственного включения
$I = (0,2-1,2) I_H$	± 1	± 2	$\pm 2,5$	
$I = (0,2-1,5) I_H$	± 1	± 2	$\pm 2,5$	

Продолжение прилож. 2

Допускаемые погрешности счетчиков реактивной энергии

Условия нагрузки	Допускаемая относительная погрешность счетчиков, %, при классе точности		Примечание
	2	3	
При $\cos \varphi = 1$:			
$I = 0,05 I_H$	± 3	± 4	Для счетчиков, включаемых через трансформаторы Для счетчиков непосредственного включения
$I = (0,1-1,2) I_H$	± 2	—	
$I = (0,1-1,5) I_H$	± 2	± 3	

Условия нагрузки	Допускаемая относительная погрешность счетчиков, %, при классе точности		Примечание
	2	3	
При $\cos \varphi = 0,5$:			
$I = 0,1 I_n$	± 3	± 4	— Для счетчиков, включае- мых через трансформато- ры
$I = (0,1-1,2) I_n$. . .	± 2	—	
$I = (0,2-1,5) I_n$. . .	± 2	± 3	—

**Данные наиболее распространенных магнитоэлектрических
гальванометров отечественного производства**

Тип	r_r , Ом	$r_{кр}$, Ом	C_I , А/мм $\times 10^{-9}$	C_U , В/мм/м $\times 10^{-9}$	C_Q , Кл/мм/м $\times 10^{-9}$	C_Φ , Вб/мм/м $\times 10^{-9}$	T_0 , с	Положение маг- нитного шунта
M17/1	12	40 0	3,2 10	0,17 0,12	—	—	6 —	Выведен »
M17/2	20	100 0	2,4 7,5	0,3 0,18	—	—	4 —	» Введен
M17/3	25	250 0—5	0,5 1,5	0,12 0,04	—	—	10 —	Выведен Введен
M17/4	35	630 60	2 5,5	1,2 0,5	—	—	4 —	Выведен Введен
M17/5	70	1 600	1,2	2	—	—	4	Выведен
M17/6	150	4 000	0,8	3	—	—	4	»
M17/7	350	10 000	0,5	5	—	—	4	»
M17/8	850	25 000	0,3	7,5	—	—	4	»
M17/9	1300	63 000	0,1	6,5	—	—	6	»
M17/10	2500	160 000	0,02	3	—	—	13	»
M17/11	—	40	1,8	0,1	—	1	—	»
I обмотка	15	0	6	0,07	—	0,7	20	Введен
II обмотка	300	1 600	0,3	—	3	—	—	Выведен
M17/12	20	250 0—6	0,4 1,4	0,1 0,03	—	0,8 0,3	18 —	» Введен

Примечание. r_r — внутреннее сопротивление гальванометра;
 $r_{кр}$ — внешнее критическое сопротивление;
 C_I — постоянная по току;
 C_U — постоянная по напряжению;
 C_Q — баллистическая постоянная;
 C_Φ — постоянная по магнитному потоку;
 T_0 — период свободных колебаний

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов В. О. Расчет и конструкция электроизмерительных приборов. М., Госэнергоиздат, 1956.
2. Арутюнов В. О. Электромеханические логометры. М., Госэнергоиздат, 1956.
3. Арутюнов В. О. Электрические измерительные приборы и измерения. М., Госэнергоиздат, 1958.
4. Арутюнов В. О. и др. Атлас конструкций электроизмерительных приборов непосредственной оценки. М., Госэнергоиздат, 1956.
5. Алукер Ш. М. и др. Электротехника в рисунках и чертежах. Ч. II. М., «Энергия», 1965.
6. Алукер Ш. М. Электрические измерения. М., «Колос», 1972.
7. Буловский П. И. и Поваляев А. В. Технология сборки электроизмерительных приборов. М., Оборонгиз, 1955.
8. Власов М. В., Пигин С. М., Червяков В. И. Сборка и регулировка электроизмерительных приборов. М., Госэнергоиздат, 1955.
9. Волохова В. А. и Ошер И. Н. Мосты постоянного и переменного тока. М., Госэнергоиздат, 1951.
10. Вострокнутов Н. Г. Техника измерений электрических и магнитных величин. М., Госэнергоиздат, 1958.
11. Вострокнутов Н. Г. Электрические счетчики и их эксплуатация. М., Госэнергоиздат, 1959.
12. Иванов Б. Н. и др. Технология приборостроения. М., Госэнергоиздат, 1960.
13. Марков И. П. Электронный осциллограф. М., Военное издательство Министерства обороны СССР, 1959.
14. Минин Г. П. Эксплуатация электроизмерительных приборов. М., Госэнергоиздат, 1958.
15. Михайлов П. А. Ремонт электроизмерительных приборов. М., «Энергия», 1964.
16. Попов В. С. Электротехнические измерения и приборы. М., Госэнергоиздат, 1963.
17. Рогожев Н. А. Технология и оборудование производства электроизмерительных приборов. М., Госэнергоиздат, 1956.
18. Чертов А. Г. Международная система единиц измерения. М., «Высшая школа», 1972.
19. Шилюнов М. А. Электрические контрольно-измерительные приборы (ремонт и испытания). М., Машгиз, 1959.
20. Шкурин Г. П. Справочник по электроизмерительным и радиоизмерительным приборам. Т. I и II. Военное издательство Министерства обороны СССР, 1960, 1964.
21. Единая система конструкторской документации. М., Стандартгиз, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Г л а в а I. Общие сведения об измерениях и электроизмерительной аппаратуре	5
§ 1. Основные понятия и определения	5
§ 2. Качественные показатели мер и электроизмерительных приборов	7
§ 3. Меры электрических величин	12
§ 4. Классификация и маркировка электроизмерительных приборов	19
§ 5. Принципиальные схемы устройства электроизмерительных приборов	27
§ 6. Детали и узлы электроизмерительных приборов	29
Г л а в а II. Приборы непосредственной оценки	35
§ 7. Магнитоэлектрические механизмы и приборы	35
§ 8. Магнитоэлектрические логометры	42
§ 9. Магнитоэлектрические гальванометры	43
§ 10. Магнитоэлектрические приборы с преобразователями	48
§ 11. Электромагнитные механизмы и приборы	60
§ 12. Электродинамические механизмы и приборы	64
§ 13. Электродинамические логометры	69
§ 14. Электростатические механизмы и приборы	70
§ 15. Индукционные механизмы и приборы	72
Г л а в а III. Приборы сравнения	79
§ 16. Одинарные мосты постоянного тока	79
§ 17. Двойные мосты постоянного тока	81
§ 18. Мосты переменного тока	85
§ 19. Потенциометры постоянного тока	86
§ 20. Потенциометры переменного тока	93
§ 21. Полуавтоматические и автоматические мосты и потенциометры	95
Г л а в а IV. Принцип работы и устройство регистрирующих приборов	98
§ 22. Назначение и классификация	98
§ 23. Самопишущие приборы	99
§ 24. Электромеханические (светолучевые) осциллографы	104
§ 25. Электроннолучевые осциллографы	109

Г л а в а V. Измерение электрических величин	114
§ 26. Методы измерений	114
§ 27. Измерение тока и напряжения	114
§ 28. Измерение мощности	116
§ 29. Измерение сопротивлений	120
§ 30. Измерение индуктивности, емкости и взаимоиנדуктивности	128
§ 31. Измерение коэффициента мощности и частоты	131
§ 32. Учет электрической энергии	134
Г л а в а VI. Технология сборки электроизмерительных приборов	137
§ 33. Основные понятия и определения	137
§ 34. Схемы сборки электроизмерительных приборов	137
§ 35. Особенности сборки электроизмерительных приборов	140
§ 36. Точность сборки электроизмерительных приборов	141
§ 37. Поточные методы сборки. Классификация поточных линий	144
Г л а в а VII. Правила и приемы сборки электроизмерительных приборов	146
§ 38. Сборка неразъемных и разъемных соединений	146
§ 39. Особенности сборки подвижных частей электроизмерительных приборов	154
§ 40. Основные правила и приемы сборки измерительных механизмов	161
§ 41. Монтажные работы	167
§ 42. Основные операции при общей сборке электроизмерительных приборов	172
Г л а в а VIII. Оборудование, применяемое при регулировке и градуировке электроизмерительных приборов	174
§ 43. Регулируемые резисторы	174
§ 44. Нагрузочные, измерительные трансформаторы и автотрансформаторы	177
§ 45. Фазоуказатели и фазорегуляторы	186
§ 46. Источники питания	189
§ 47. Особенности градуировки щитовых электроизмерительных приборов	193
§ 48. Особенности градуировки образцовых электроизмерительных приборов	194
§ 49. Поверочные установки	196
Г л а в а IX. Регулировка и градуировка электроизмерительных приборов непосредственной оценки	198
§ 50. Основные понятия и определения	198
§ 51. Регулировка и градуировка магнитоэлектрических приборов	199
§ 52. Регулировка и градуировка электродинамических и ферродинамических приборов	204
§ 53. Регулировка и градуировка электромагнитных приборов	209
§ 54. Регулировка и градуировка электростатических приборов	209

§ 55. Стабилизация показаний электроизмерительных приборов	210
Г л а в а X. Испытания электроизмерительных приборов	212
§ 56. Виды испытаний электроизмерительных приборов	212
§ 57. Испытания изоляции	212
§ 58. Проверка уравновешенности подвижной части	214
§ 59. Определение основной погрешности и вариации показаний	214
§ 60. Определение влияния температуры окружающего воздуха	215
§ 61. Определение влияния внешних магнитных и электрических полей	216
§ 62. Определение нагрева под нагрузкой	217
§ 63. Определение устойчивости электроизмерительного прибора к перегрузкам	217
§ 64. Определение устойчивости электроизмерительного прибора к механическим воздействиям	218
§ 65. Проверка защищенности электроизмерительных приборов от влияния внешней среды	220
Приложения	223
Литература	228

Алукер Шеел Моносович

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Редактор Сильвестрович Г. А.
Художник Шубенцов Е. Г.
Художественный редактор Алешина Н. Е.
Технический редактор Битюкова Н. А.
Корректор Малиновская М. М.

Т-06615 Сдано в набор 11/IX-75 г. Подп. к печати 23/III-76 г. Формат $60 \times 90^{1/16}$
Бум. тип. №1 Объем 14,5 печ. л. Усл. п. л. 14,5 Уч.-изд. л. 15,03 Изд.
№ ЭГ—250 Тираж 50 000 экз. Заказ № 667 Цена 48 коп.

План выпуска литературы издательства
«Высшая школа» (профтехобразование) на 1976 г. Позиция №34
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,
Издательство «Высшая школа»

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

48 коп.