

1. Классификация измерительных приборов и погрешности измерений
2. Устройство электроизмерительных приборов

### 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Для контроля режима электрических цепей приходится измерять ряд физических величин: ток, напряжение, мощность, энергию. В цепях переменного тока помимо этого измеряют также частоту, сдвиг по фазе и контролируют форму кривой напряжения и тока.

Измерение — это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Технические средства, которые служат для измерения электрических величин, называются электроизмерительными приборами. Во многих отраслях техники электроизмерительными приборами пользуются также для измерения и контроля неэлектрических величин.

От измерительных приборов, применяемых в электрических цепях, прежде всего требуется, чтобы они не вносили заметных искажений в режим цепи. Поэтому электроизмерительные приборы должны потреблять минимальную мощность и не оказывать существенного влияния на сопротивление цепи.

Приборы, показания которых являются непрерывными функциями измеряемых величин, называют аналоговыми (в них отсчет значения измеряемой величины производится по шкале). Измерительные приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации и дающие показания в цифровой форме, называют цифровыми.

На практике часто применяют суммирующие приборы, в которых значения измеряемой величины суммируются по времени или по другой независимой переменной, например счетчик электрической энергии. Суммирующие измерительные приборы дают значения суммы двух или нескольких величин, подводимых по различным каналам, например ваттметр, суммирующий мощность нескольких электрических генераторов.

Полученное из опыта значение измеряемой величины может отличаться от ее действительного значения. Это может быть обусловлено конструктивными недостатками прибора, несовершенством технологии его изготовления, а также влиянием различных внешних факторов. Разность между показанием прибора  $X$  и истинным значением измеряемой величины  $X_0$  называется абсолютной погрешностью измерительного прибора:

$$\Delta = X - X_0 \quad (6.1)$$

Относительная погрешность измерения  $\delta$  определяется обычно в процентах к истинному значению  $X_0$ , но так как отклонения  $X$  от  $X_0$  сравнительно малы, то можно считать, что

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta}{X} \cdot 100\%. \quad (6.2)$$

Поскольку величина  $X$  при измерении может принимать любые значения в пределах от 0 до  $X_N$ , где  $X_N$  — верхний предел диапазона измерения прибора (номинальное значение), то оценить качество прибора по значению абсолютной или относительной погрешности невозможно. Поэтому было введено понятие приведенной погрешности

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N}. \quad (6.3)$$

Значение приведенной погрешности, выраженное в процентах определяет класс точности прибора:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%$$

По степени точности даваемых показаний электроизмерительные приборы делятся на классы, обозначаемые соответственно числами: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0, определяющими максимальную погрешность прибора в процентах при полном отклонении указателя.

Электроизмерительные приборы классифицируют по целому ряду признаков. Здесь приведены лишь некоторые из них:

1. По виду измеряемой величины. Классификация в этом случае производится по наименованию единицы измеряемой величины. На шкале прибора пишут полное его наименование или начальную латинскую букву единицы измеряемой величины, например: амперметр — А, вольтметр — V, ваттметр — W и т. д. К условной букве наименования прибора может быть добавлено обозначение кратности основной единицы: миллиампер — тА, киловольт — kV, мегаватт — MW и т. д.

2. По физическому принципу действия измерительного механизма прибора, т. е. по способу преобразования электрической энергии в механическое действие подвижной части прибора (табл. 6.1).

3. По роду измеряемого тока. Эта классификация позволяет определить, в цепях какого тока можно применять данный прибор (табл. 6.2).







На приборах переменного тока указывают номинальное значение частоты, или диапазон частот, на которые они рассчитаны, например, 120 Гц; 45-550 Гц. Если на приборе не указан диапазон рабочих частот, значит он предназначен для работы в установках с частотой 50 Гц.

4. По классу точности. Класс точности прибора является его обобщенной характеристикой. Допускаемая относительная погрешность меньше в точках шкалы, ближайших к номинальному значению.

На шкале электроизмерительного прибора отмечают: измеряемая им физическая величина, класс точности прибора, род тока, для которого прибор предназначен, рабочее положение (вертикальное или горизонтальное), величина напряжения, при котором испытывалась изоляция прибора, система прибора.

Таблица 6.1

Условные обозначения, указывающие принцип действия измерительного механизма прибора

Тип прибора	Условное обозначение
Магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический логометр с подвижными рамками	
Магнитоэлектрический с подвижным магнитом	
Электромагнитный	
Электромагнитный логометр	
Электродинамический	



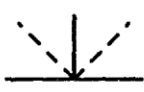



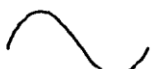
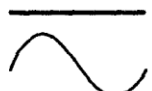


Электродинамический логометр	
Ферродинамический	
Ферродинамический логометр	
Индукционный	
Электростатический	
Вибрационный (язычковый)	
Термоэлектрический	
Термоэлектрический с магнитоэлектрическим измерительным механизмом	
Выпрямительный с магнитоэлектрическим измерительным механизмом	

Таблица 2

Условные обозначения, указывающие род тока, для которого предназначен прибор

Род тока	Условное обозначение
Постоянный	
Переменный (однофазная система)	
Постоянный и переменный	
Трёхфазная система (общее обозначение)	
Трёхфазная система (при несимметричной нагрузке фаз)	

## 2. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Согласно ГОСТу, электроизмерительные приборы должны удовлетворять следующим требованиям:

- погрешность прибора не должна превышать его класс точности и изменяться в процессе эксплуатации;
- на показания прибора не должны влиять внешние поля и изменения температуры;
- шкала или ее рабочая часть должна быть по возможности равномерной и проградуирована в практических единицах;
- прибор должен иметь хорошую успокоительную систему, чтобы колебания стрелки прибора быстро прекращались;
- прибор должен быть стойким к перегрузкам и иметь хорошую изоляцию.

Подвижная часть измерительного механизма прибора всегда располагается вертикально или горизонтально и укрепляется или на оси, или на растяжках, или на подвесе. В приборах, подвижная часть которых закреплена на оси, важную роль играют опорные подпятники, в которые для уменьшения трения впрессовывают либо опорные камни (обычно агат, корунд), либо бронзу (в приборах классов 1,5; 2,5 и 4,0).

Ось прибора обычно изготавливают из стали-серебрянки, немагнитной или нержавеющей стали. Наконечник оси конический. В некоторых конструкциях в торцовую часть оси запрессовывают керн из специальных твердых сплавов.

Противодействующий момент в большинстве приборов создается упругой спиральной пружиной. Пружину изготавливают из немагнитных сплавов, например бронзы. Одним концом она крепится к оси подвижной части прибора, а другим — к одной из деталей корпуса. Пружина создает момент, направленный противоположно вращающему моменту, под действием которого поворачивается ось подвижной части.

Для установки стрелки на нулевую отметку шкалы при отключенном состоянии прибора используется корректор — специальный цилиндр, при повороте которого происходит закручивание или ослабление спиральной пружины, а следовательно, перемещение стрелки. В большинстве приборов стрелка при выводе из равновесия подвижной части измерительного механизма должна достигать установившегося положения не более чем через 4 с. Для этого устанавливают успокоители, чаще всего магнитоиндукционного или воздушного типа. Магнитоиндукционные успокоители представляют собой группу неподвижных цилиндрических магнитов.

На оси подвижной части прибора закрепляют алюминиевую пластинку. При повороте оси пластинка пересекает магнитный поток, и в ней индуцируется ЭДС, пропорциональная угловой скорости вращения оси. Из-за этого в пластинке возникает ток, который взаимодействует с магнитным потоком, вследствие чего возникает момент, всегда направленный противоположно направлению вращения оси. Воздушный успокоитель представляет собой цилиндр, запаянный с одного конца. Внутри цилиндра находится поршень, жестко связанный с подвижной частью прибора. Зазор между поршнем и цилиндром невелик, и при быстрых перемещениях поршня давление внутри цилиндра не успевает выровняться с атмосферным. Это препятствует движению поршня, и колебания подвижной системы быстро затухают.

Для того чтобы центр тяжести подвижной части прибора совпадал с осью вращения, на специальных держателях, жестко связанных со стрелкой и осью, устанавливают противовесы — грузики с внутренней нарезкой. Изменение положения центра тяжести подвижной системы производится перемещением противовесов по нарезной части держателей.

И, наконец, основные технические и эксплуатационные характеристики прибора указывают, как обычно, условными знаками на лицевой стороне прибора. Если их невозможно разместить на шкале, они выносятся на табличку, устанавливаемую на крышке прибора или на боковых поверхностях корпуса.

## Приборы магнитоэлектрической системы

Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии рамки с током 3 с магнитным полем постоянного магнита М (рис. 1).

Полюсные наконечники служат для создания однородного магнитного поля, в котором может поворачиваться легкий стальной цилиндр 2 вместе с легкой алюминиевой рамкой, которая содержит обмотку. Измеряемый ток проходит в рамку через спиральные пружины 1, которые одновременно служат для создания противодействующего момента.

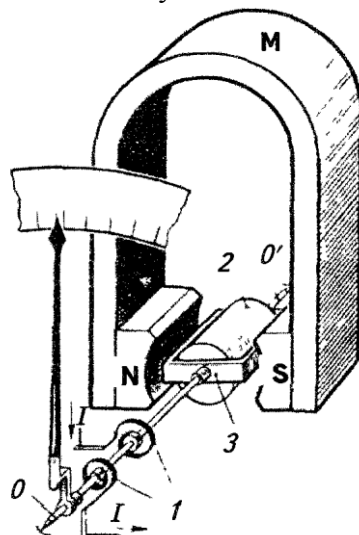


Рис. 1

При протекании тока через рамку возникают силы, создающие вращательный момент, который по мере ее поворота уравнивается механическим противодействующим моментом, создаваемым пружинами.

Если по обмотке с числом витков  $w$  протекает ток  $I$ , то создается вращающий момент

$$M_{\text{вр}} = BwIS, \quad (6.4)$$

где  $B$  — магнитная индукция в зазоре, в котором вращается рамка,  
 $S$  — площадь рамки.

Так как величины  $B$ ,  $w$  и  $S$  для данного прибора постоянные, то их произведение дает также постоянную величину. Следовательно, можно записать:

$$M = k_1 \cdot I$$

Под действием этого вращающего момента рамка поворачивается на угол  $\alpha$  и закручивает спиральную пружину, которая создает противодействующий момент:

$$M_{\text{пр}} = k_2 \alpha, \quad (6.5)$$

где  $k_2$  — постоянная, характеризующая жесткость пружины.

При некотором угле поворота рамки противодействующий момент пружины будет равен вращающему моменту, т. е.  $k_1 \cdot I = k_2 \cdot \alpha$ .

Обозначим  $k = \frac{k_1}{k_2}$  и получим:

$$\alpha = k \cdot I \quad (6.6)$$

где  $k$  — постоянная данного прибора по току, которая называется чувствительностью прибора. Таким образом, угол поворота стрелки магнитоэлектрического прибора пропорционален току в рамке и шкала такого прибора равномерна.

Механизм магнитоэлектрического прибора обычно используется для изготовления гальванометра и амперметра. Но ток, проходя по обмотке рамки, создает на ней падение напряжения  $U = IR$ , равное напряжению, приложенному к прибору, и угол поворота стрелки будет пропорционален этому напряжению: