

Лекция по теме: «Конструктивные схемы и принцип действия электроизмерительных приборов»

Цель: ознакомиться с конструктивными схемами, принципами действия основных электроизмерительных приборов и научиться пользоваться ими.

Основная классификация электроизмерительных приборов

В зависимости от способа, который используется для сравнения измеряемой величины с единицей измерения, электроизмерительные приборы подразделяются на *приборы непосредственной оценки* (вольтметр) и *приборы сравнения*, служащие для сравнения измеряемой величины с известными, которые иногда монтируются в прибор (мост для измерения сопротивления).

По способу получения отсчета измерительные приборы подразделяются на *приборы с непосредственным отсчетом*, *управляемым отсчетом* и *самопишущие*.

Электроизмерительные приборы классифицируются по роду измеряемой величины: амперметр, вольтметр и т. д.

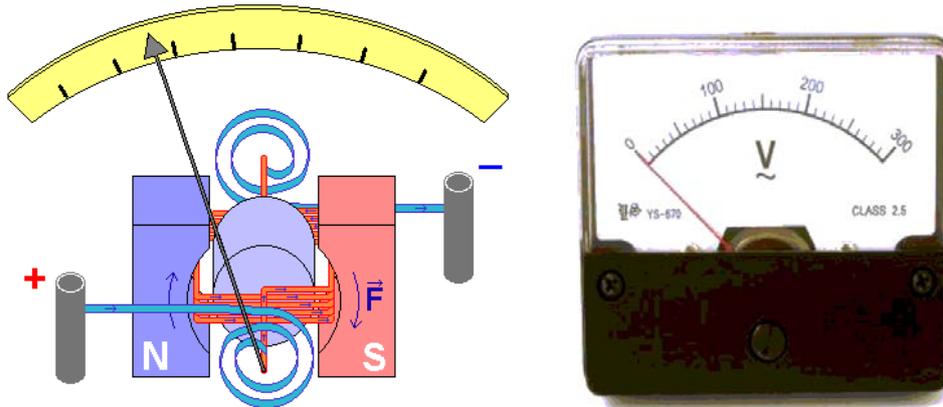
Классификация по роду тока: *приборы постоянного, переменного, постоянно–переменного тока*.

Приборы с непосредственным отсчетом, кроме того, подразделяются

1. по принципу действия в зависимости от системы: *приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, электростатической систем; цифровые и т.д.*
2. по степени точности: *приборы классов (см. ниже) точности 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 .*

Краткое описание приборов и их принципа действия

1. Магнитоэлектрическая система



Принцип работы основан на взаимодействии тока, протекающего по обмотке подвижной катушки, с магнитным полем постоянного магнита.

Основные детали: постоянный магнит и подвижная катушка(рамка), по которой проходит ток, пружины.

При прохождении тока через рамку возникает вращающий момент, под действием которого подвижная часть прибора поворачивается вокруг своей оси на некоторый угол φ .

Вращающий момент приборов магнитоэлектрической системы прямо пропорционален силе тока:

$$M_{вр.} = k_1 \cdot I,$$

где: $k_1 = B \cdot S \cdot n$, B – магнитная индукция поля постоянного магнита, S – площадь катушки, n – число витков катушки.

Противодействующий момент создается спиральными пружинами и пропорционален углу поворота рамки:

$$M_{пр.} = k_2 \cdot \varphi,$$

где k_2 - коэффициент, характеризующий упругие свойства пружины.

При равновесии подвижной части прибора вращающий момент равен противодействующему. Из этого условия равновесия для приборов магнитоэлектрической системы $\varphi \sim I$, и поэтому их шкалы равномерны.

Поворачиваясь, катушка отклоняет стрелку прибора. Магнитоэлектрические приборы служат только для измерения постоянного

тока и напряжения, так как направление поворота рамки зависит от направления тока в ней. Если по катушке пропустить переменный ток частотой 50 Гц, то направление вращающего момента станет меняться сто раз в секунду, подвижная часть не будет успевать за током и стрелка не отклонится. Приборы данной системы пригодны для использования в цепях постоянного тока.

2. Электромагнитная система



Принцип работы основан на взаимодействии магнитного поля неподвижной катушки с сердечником из ферромагнитного материала, внесенного в это поле.

Основные детали: неподвижная катушка и подвижный сердечник из ферромагнетика.

Вращающий момент, действующий на подвижную часть прибора, пропорционален квадрату силы тока:

$$M_{вр.} = C \cdot I^2,$$

где C – коэффициент, зависящий от числа витков катушки, материала, формы сердечника и его положения относительно подвижной части. При равновесии подвижной части прибора угол поворота оказывается пропорционален квадрату тока.

Вследствие этого шкала приборов электромагнитной системы неравномерна. Вследствие квадратичной зависимости направление отклонения стрелки прибора не зависит от направления тока, и,

следовательно, могут применяться в цепях как постоянного, так и переменного токов.

3. Электродинамическая система

Принцип работы основан на взаимодействии двух катушек(рамок), по которым течет ток. Одна из них неподвижна, а другая подвижна. Перемещение катушек относительно друг друга обуславливается тем, что проводники, по которым протекают токи одного направления, притягиваются, а с токами противоположных направлений – отталкиваются.

Вращающий момент, действующий на подвижную катушку, пропорционален произведению силы тока в подвижной I_n и неподвижной I_n катушках:

$$M_{вр.} = C \cdot I_n \cdot I_n ,$$

где C – коэффициент, зависящий от числа витков катушек, размеров и формы катушек и их взаимного расположения. Из условия равновесия несложно определить, что угол поворота стрелки пропорционален токам, протекающим через катушки и шкалы амперметра и вольтметра электродинамической системы неравномерны, а для ваттметров равномерны.

4. Электростатическая система



Принцип работы основан на действии электростатического поля, созданного между двумя неподвижными электродами, на подвижный электрод.

Когда к неподвижным электродам приложено напряжение, подвижный электрод стремится расположиться так, чтобы емкость была наибольшей, вследствие чего подвижная часть отклоняется от первоначального положения. Вращающий момент, действующий на

подвижную часть прибора, пропорционален квадрату напряжения. Вследствие этого шкала приборов электростатической системы неравномерна.

5. Цифровые измерительные приборы



Основой цифрового вольтметра является аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В настоящее время имеется множество схемотехнических принципов построения АЦП, однако общим из них является сравнение измеряемой величины с набором эталонов. Основными характеристиками АЦП являются точность преобразования (число разрядов в выходном коде) и быстродействие.

Можно условно разделить АЦП на два класса: последовательного счета, когда выходной код определяется равенством измеряемого напряжения с дискретно растущим эталонным напряжением и параллельного, когда сигнал сравнивается с набором эталонных напряжений.

Цифровой амперметр можно реализовать установив на входе цифрового вольтметр калиброванный резистор небольшой величины, через который протекает измеряемый ток. Падение напряжения на входном резисторе, пропорциональное протекающему току, измеряется цифровым вольтметром, табло которого соответствующим образом градуируется.

Общие элементы приборов

Шкала

Шкала обычно представляет собой светлую поверхность с черными делениями и цифрами, соответствующими определенным значениям измеряемой величины. Форма шкалы зависит от конструкции прибора, класса точности и ряда других факторов.

На шкале каждого прибора наносятся следующие обозначения:

1. Обозначение единицы измеряемой величины.
2. Условное обозначение системы прибора (или принципа действия прибора).
3. Обозначение класса точности прибора.
4. Условное обозначение положения прибора.
5. Обозначение степени защищенности от магнитных и других влияний.
6. Величина испытательного напряжения изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу.
7. Год выпуска и заводской номер.
8. Обозначение рода тока.
9. Тип прибора.
10. Значение силы тока, соответствующее определенным значениям напряжения, и значения напряжения, соответствующие определенным значениям силы тока.

Указатель

Может быть выполнен в виде стрелки или светового пятна с темной нитью посередине. По форме стрелки бывают нитевидными, ножевидными и копьевидными.

Общие свойства приборов

Погрешность

Абсолютная погрешность – величина равная разности между измеренным $A_{из}$ и действительным A значениями измеряемой величины:

$$\Delta A = A_{из} - A.$$

Точность измерения оценивается обычно не абсолютной, а ***относительной погрешностью*** – выраженной процентным отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

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

А так как разница между A и $A_{из}$ обычно относительно мала, то можно считать, что

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{из}} \cdot 100\%$$

Для оценки точности электроизмерительных приборов служит **приведенная погрешность**, определяемая следующим выражением

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta A}{A_{пред}} \cdot 100\%$$

где $A_{пред}$ – номинальное значение шкалы прибора, т.е. максимальное значение шкалы на выбранном пределе измерения прибора. Приведенная погрешность определяет класс точности прибора.

Числа, указывающие класс точности прибора γ_0 , обозначают наибольшую допустимую приведенную погрешность в процентах ($\gamma_0 \geq \gamma_{пр. max}$). Т.е. при нормальной эксплуатации максимальное значение приведенной погрешности не должно превышать класс точности.

Пример: амперметр имеет предел измерения $I_{пред} = 5 \text{ A}$. Если максимальная абсолютная погрешность прибора $\pm 0,05 \text{ A}$, то приведенная

погрешность равна $\frac{0,05}{5}$, а класс точности прибора (или наибольшая допускаемая приведенная погрешность) равен

$$\gamma_0 = \frac{0,05}{5} \cdot 100\% = 1\%$$

На приборе данный класс точности обозначен цифрой 1. Эта погрешность характеризует только точность самого прибора, но не точность измерения.

Пример расчета погрешности измерений по классу точности прибора

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta I}{I_{пред}} \cdot 100\%$$

$$\Delta I = \frac{I_{\text{пред.}} \cdot \gamma_{\text{пр.}}}{100\%}$$

$$\gamma = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\% = \frac{\gamma_{\text{пр.}} \cdot I_{\text{пред.}}}{I} \leq \frac{\gamma_0 \cdot I_{\text{пред.}}}{I}$$

где γ_0 – класс точности, ΔI – абсолютная погрешность при измерении на данном пределе, $I_{\text{пред.}}$ – предельное значение силы тока, I – измеряемая величина тока, γ – относительная погрешность измерения.

Пусть $\gamma_{\text{пр}} = 0,2\%$; $I_{\text{пред}} = 8\text{ A}$; $I = 2\text{ A}$. Тогда

$$\gamma = \frac{0,2\% \cdot 8}{2} = 0,8\%$$

Следует иметь в виду, что каждый, даже самый лучший прибор, имеет некоторую погрешность измерения. По степени точности приборы делят на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4, причем самый точный прибор имеет класс 0,05. Погрешность тем меньше, чем ближе измеряемая величина к номинальному значению прибора. Поэтому предпочтительно использовать такие приборы, у которых во время измерения стрелка будет находиться во второй половине шкалы.

Цена деления шкалы

Шкалы приборов имеют деления. Для перевода числа делений в единицы измеряемой величины необходимо отсчет по шкале умножить на цену деления шкалы для данного предела измерения.

Цена деления – это число единиц измеряемой величины, приходящееся на одно деление шкалы.

Чтобы определить цену деления шкалы, нужно предел измерения прибора разделить на общее число делений шкалы.

Пример: предельное значение силы тока $I_{\text{пред.}} = 75\text{ A}$, шкала амперметра имеет 150 делений. В этом случае цена деления шкалы:

$$C_I = 0,5\text{ A/дел.}$$

Определение внутреннего сопротивления прибора

При некоторых измерениях необходимо учитывать или подбирать определенное значение внутреннего сопротивления.

Чтобы определить внутреннее сопротивление прибора, пользуются данными, приведенными на шкале прибора: для вольтметра – силой тока, соответствующей пределу вольтметра, для амперметра – падением напряжения, соответствующему пределу амперметра.

Расчет внутреннего сопротивления прибора производится по закону Ома для

участка цепи:
$$I = \frac{U}{R}$$

Пример: Допустим, на шкале прибора имеется следующая таблица:

mA	0,15	0,3	0,6-1,5	6-60
mV	15	45	65	75

Предельное значение амперметра $I_{пред.} = 6 \text{ mA}$, которому соответствует напряжение на шкале прибора $U_{шкалы} = 75 \text{ mV}$.

Тогда внутреннее сопротивление амперметра на пределе измерения 6 mA равно:

$$R_A = \frac{U_{шкалы}}{I_{пред.}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3}} = 12,5 \text{ Ом}$$

Электроизмерительные приборы — класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин. В группу электроизмерительных приборов входят также кроме собственно измерительных приборов и другие средства измерений — меры, преобразователи, комплексные установки.

Применение

Средства электрических измерений широко применяются в энергетике, связи, промышленности, на транспорте, в научных исследованиях, медицине, а также в быту — для учёта потребляемой электроэнергии. Используя специальные датчики для преобразования неэлектрических величин в

электрические, электроизмерительные приборы можно использовать для измерения самых разных физических величин, что ещё больше расширяет диапазон их применения.

Классификация

Наиболее существенным признаком для классификации электроизмерительной аппаратуры является измеряемая или воспроизводимая физическая величина, в соответствии с этим приборы подразделяются на ряд видов:

- **амперметры** — для измерения силы электрического тока;
- **вольтметры** — для измерения электрического напряжения;
- **омметры** — для измерения электрического сопротивления;
- **мультиметры** (иначе тестеры, авометры) — комбинированные приборы
- **частотомеры** — для измерения частоты колебаний электрического тока;
- **магазины сопротивлений** — для воспроизведения заданных сопротивлений;
- **ваттметры и варметры** — для измерения мощности электрического тока;
- **электрические счётчики** — для измерения потреблённой электроэнергии
- и множество других видов

Кроме этого существуют классификации по другим признакам:

- **по назначению** — измерительные приборы, меры, измерительные преобразователи, измерительные установки и системы, вспомогательные устройства;
- **по способу представления результатов измерений** — показывающие и регистрирующие (в виде графика на бумаге или фотоплёнке, распечатки, либо в электронном виде);

- **по методу измерения** — приборы непосредственной оценки и приборы сравнения;
- **по способу применения и по конструкции** — щитовые (закрепляемые на щите или панели), переносные и стационарные;
- **по принципу действия:**
 1. электромеханические;
 2. магнитоэлектрические;
 3. электромагнитные;
 4. электродинамические;
 5. электростатические;
 6. ферродинамические;
 7. индукционные;
 8. магнитодинамические;
 9. электронные;
 10. термоэлектрические;
 11. электрохимические.

Обозначения

В зарубежных странах обозначения средств измерений устанавливаются предприятиями-изготовителями, в России (и частично в других странах СНГ) традиционно принята унифицированная система обозначений, основанная на принципах действия электроизмерительных приборов. В состав обозначения входит прописная русская буква, соответствующая принципу действия прибора, и число — условный номер модели. Например: С197 — киловольтметр электростатический. К обозначению могут добавляться буквы М (модернизированный), К (контактный) и другие, отмечающие конструктивные особенности или модификации приборов.

- **В** — приборы вибрационного типа (язычковые)
- **Д** — электродинамические приборы
- **Е** — измерительные преобразователи

- **И** — индукционные приборы
- **К** — многоканальные и комплексные измерительные установки и системы
- **Л** — логометры
- **М** — магнитоэлектрические приборы
- **Н** — самопишущие приборы
- **П** — вспомогательные измерительные устройства
- **Р** — меры, измерительные преобразователи, приборы для измерения параметров элементов электрических цепей
- **С** — электростатические приборы
- **Т** — термоэлектрические приборы
- **У** — измерительные установки
- **Ф** — электронные приборы
- **Х** — нормальные элементы
- **Ц** — приборы выпрямительного типа
- **Ш** — измерительные преобразователи
- **Э** — электромагнитные приборы

Аналоговые и цифровые электроизмерительные приборы

Аналоговые электроизмерительные приборы

Для измерения напряжения, силы тока и сопротивления на постоянном токе применяются аналоговые магнитоэлектрические приборы с постоянным магнитом и многовитковой подвижной частью. Такие приборы стрелочного типа характеризуются погрешностью от 0,5 до 5%. Они просты и недороги (пример – автомобильные приборы, показывающие ток и температуру), но не применяются там, где требуется сколько-нибудь значительная точность.

Магнитоэлектрические приборы. В таких приборах используется сила взаимодействия магнитного поля с током в витках обмотки подвижной части, стремящаяся повернуть последнюю. Момент этой силы уравнивается

моментом, создаваемым противодействующей пружиной, так что каждому значению тока соответствует определенное положение стрелки на шкале. Подвижная часть имеет форму многовитковой проволочной рамки с размерами от 3x5 до 25x35 мм и делается как можно более легкой.

Подвижная часть, установленная на каменных подшипниках или подвешенная на металлической ленточке, помещается между полюсами сильного постоянного магнита. Две спиральные пружинки, уравнивающие крутящий момент, служат также токопроводами обмотки подвижной части.

Магнитоэлектрический прибор реагирует на ток, проходящий по обмотке его подвижной части, а потому представляет собой амперметр или, точнее, миллиамперметр (так как верхний предел диапазона измерений не превышает примерно 50 мА). Его можно приспособить для измерения токов большей силы, присоединив параллельно обмотке подвижной части шунтирующий резистор с малым сопротивлением, чтобы в обмотку подвижной части ответвлялась лишь малая доля полного измеряемого тока. Такое устройство пригодно для токов, измеряемых многими тысячами ампер. Если последовательно с обмоткой присоединить добавочный резистор, то прибор превратится в вольтметр. Падение напряжения на таком последовательном соединении равно произведению сопротивления резистора на ток, показываемый прибором, так что его шкалу можно проградуировать в вольтах.

Чтобы сделать из магнитоэлектрического миллиамперметра омметр, нужно присоединять к нему последовательно измеряемые резисторы и подавать на это последовательное соединение постоянное напряжение, например от батареи питания. Ток в такой схеме не будет пропорционален сопротивлению, а потому необходима специальная шкала, корректирующая нелинейность. Тогда можно будет производить по шкале прямой отсчет сопротивления, хотя и с не очень высокой точностью.

Гальванометры. К магнитоэлектрическим приборам относятся и гальванометры – высокочувствительные приборы для измерения крайне малых токов. В гальванометрах нет подшипников, их подвижная часть подвешена на тонкой ленточке или нити, используется более сильное магнитное поле, а стрелка заменена зеркальцем, приклеенным к нити подвеса. Зеркальце поворачивается вместе с подвижной частью, а угол его поворота оценивается по смещению отбрасываемого им светового зайчика на шкале, установленной на расстоянии около 1 м. Самые чувствительные гальванометры способны давать отклонение по шкале, равное 1 мм, при изменении тока всего лишь на 0,00001 мкА.