

Лекция № 1

Электрические измерительные приборы и измерения.

Общие сведения.

Электрические измерительные приборы служат для измерения:

различных электрических величин:	Силы тока, напряжения, сопротивления, мощности, энергии...
неэлектрических величин:	Температуры, давления, влажности, скорости, уровня жидкости, толщины материала и т.д.

Абсолютная погрешность прибора: разность между измеренным и действительным значением величины.

$$\Delta A = I_{\text{изм}} - I$$

Приведенная погрешность прибора $\gamma_{\text{пр}}$: отношение абсолютной погрешности ΔA к наибольшему значению величины $A_{\text{макс}}$ которую можно измерить при данной шкале прибора:

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

Основная погрешность прибора: это приведенная погрешность прибора, находящегося в нормальных рабочих условиях (температура 20°C, отсутствие вблизи прибора ферромагнитных масс, нормальное рабочее положение шкалы и т.д.)

В зависимости от допускаемой основной погрешности электроизмерительные приборы делятся на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

Цифра класса точности показывает величину допускаемой основной погрешности $\Delta A_{\text{макс}}$ прибора в процентах вне зависимости от знака погрешности.

Класс точности:

$$K = \frac{\Delta A_{\text{макс}}}{A_{\text{макс}}} \cdot 100\%$$

Прибор, у которого класс точности выражен меньшим числом, позволяет выполнять измерения с большей точностью.

$$\Delta A_{\text{макс}} = \pm \frac{K \cdot A_{\text{макс}}}{100}$$

<i>Электроизмерительные приборы классифицируются:</i>	<i>Примеры:</i>
1. По роду измеряемой величины	Амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры, счетчики, электротермометры, электротехометры
2. Принципу действия	Электромагнитные, магнитоэлектрические, ферродинамические, индукционные, выпрямительные, термоэлектрические, электронные, вибрационные, электростатические.
3. Степени точности	0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.
4. Роду измеряемого тока	Переменный ток, постоянный ток, переменный и постоянный ток.
5. Делятся на эксплуатационные группы	А, Б, В.

Технические требования к электроизмерительным приборам:

1. Точность и надежность в работе и низкая стоимость
2. Потребление по возможности малой мощности
3. Способность не вносить заметных изменений в электрические параметры измеряемой цепи
4. Более равномерные деления в пределах рабочей части шкалы
5. Способность выдерживать возможно большую перегрузку
6. Продолжительный срок службы без ухудшения своих качеств
7. Надежная изоляция токоведущих частей от корпуса
8. Показания практически не должны зависеть от влияния внешних факторов
9. Стрелки приборов должны быстро устанавливаться у соответствующего деления шкалы

Применение групп приборов.

Группа		Температура окружающего воздуха, °С.
А*		От 0 до + 35
Б		От - 30 до + 40
В	В ₁	От - 40 до + 50
	В ₂	От - 50 до + 60

*Знак группы А на шкале прибора не наносится.

Условные обозначения электроизмерительных приборов.

(по роду измеряемой величины)

Название прибора	Измеряемая величина	Условное обозначение
амперметр	Сила тока	Ⓐ
вольтметр	Напряжение	Ⓥ
омметр	Электрическое сопротивление	ⓞ
ваттметр	Электрическая мощность	Ⓦ
частотомер	Частота тока	ⓗz

(по принципу действия прибора)

Система прибора	Условное обозначение
магнитоэлектрическая	
индукционная	
термоэлектрическая	
выпрямительная	
электромагнитная	
электродинамическая	
ферродинамическая	

(по роду измеряемого тока)

Род тока	Условное обозначение
Переменный	~
Постоянный	—
Переменный и постоянный	~ / —
Трехфазный	~ ~ ~

(по положению прибора при измерении)

Положение прибора при измерении	Условное обозначение
Вертикальное	┌
Горизонтальное	└
Под углом 30°	└ 30°

Прочие обозначения.

<i>Наименование</i>	<i>Условное обозначение</i>
Класс точности, например 1,5	1,5
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением, например, 2000 В	
Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу не соответствует нормам.	
Год выпуска.	1966
Заводской номер.	21226
Эксплуатационная группа.	

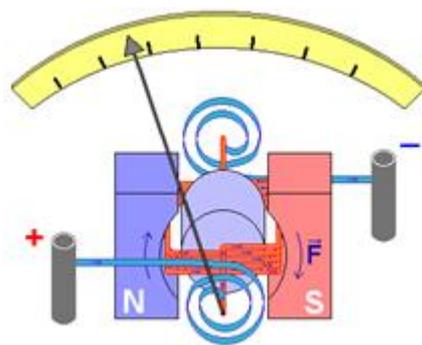
Лекция № 2

1. 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.

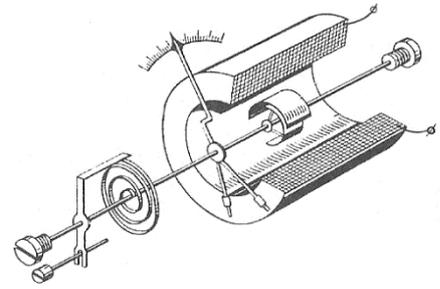
При равновесии подвижной части прибора вращающий момент равен противодействующему. Из этого условия равновесия для приборов магнитоэлектрической системы $\varphi \sim I$, и поэтому их шкалы равномерны.

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.

Действие приборов электромагнитной системы основано на втягивании железного сердечника в неподвижную катушку при прохождении по ней измеряемого тока.

Электромагнитные приборы пригодны для измерений как в цепях постоянного, так и в цепях переменного тока. Однако они применяются преимущественно для измерений в цепях переменного тока.

Основными достоинствами электромагнитных приборов являются: пригодность для постоянного и переменного токов, простота конструкции, малая чувствительность к перегрузкам, возможность изготовления для измерения больших токов без применения дополнительных устройств и сравнительно невысокая стоимость.

К недостаткам этих приборов относятся: неравномерность шкалы, зависимость точности показаний от внешних магнитных полей и сравнительно малая точность.

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.

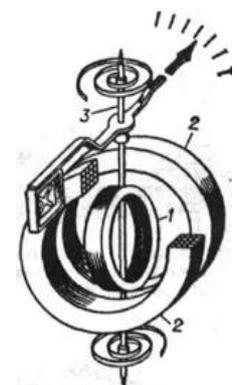


Схема электродинамического измерительного прибора:

- 1 - подвижная катушка;
- 2 - неподвижная катушка;
- 3 - ось подвижной части

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.

Достоинствами электродинамических приборов являются пригодность для измерения постоянного и переменного тока, равномерность шкалы у ваттметров и относительно высокая точность по сравнению с другими приборами, предназначенными для измерений в цепях переменного тока.

К недостаткам относится сильное влияние внешних магнитных полей на точность измерений, чувствительность к перегрузкам и относительно высокая стоимость.

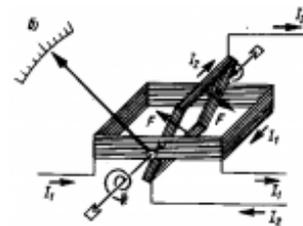
Электродинамические приборы применяют обычно в качестве точных лабораторных приборов, а также в качестве ваттметров и счетчиков электрической энергии в цепях постоянного тока.

При прохождении по катушкам токов I_1 и I_2 возникают электродинамические силы F которые стремятся повернуть подвижную катушку относительно неподвижной на некоторый угол.

Вращающий момент, действующий на подвижную катушку,

$$M = c_1 I_1 I_2$$

где c_1 — постоянная величина, зависящая от параметров катушек (числа витков и размеров), их формы и взаимного расположения. Повороту подвижной катушки противодействует момент



$M_{np} = c_2 \alpha$. В момент равновесия $M = M_{np}$, откуда

$$\alpha = (c_1/c_2) I_1 I_2 = k I_1 I_2$$

где k — постоянная величина.

При переменном токе мгновенное значение вращающего момента M пропорционально произведению мгновенных значений токов i_1 и i_2 , проходящих по катушкам. Средний же за период вращающий момент

$$M_{cp} = c_1 I_1 I_2 \cos \varphi$$

где I_1 и I_2 — действующие значения токов i_1 и i_2 ; φ — угол сдвига фаз между ними.

Поэтому при переменном токе $\Delta = k I_1 I_2 \cos \varphi$.

Значение вращающего момента M , созданного катушками электродинамического прибора, а следовательно, и угол поворота стрелки Δ пропорциональны произведению проходящих по катушкам токов I_1 и I_2 . Поэтому в зависимости от схемы включения катушек прибор может быть использован в качестве амперметра, вольтметра и ваттметра.

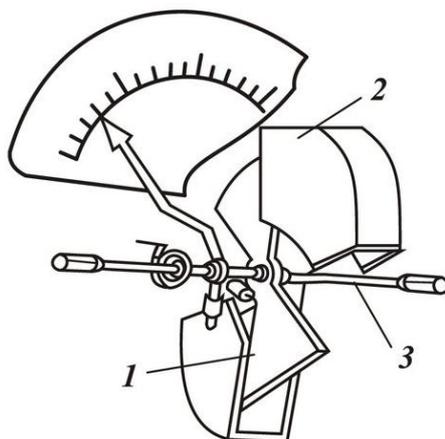
4. Электростатическая система

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.



- 1 - подвижная алюминиевая пластина
- 2 - электрически соединенные неподвижные пластины
- 3 - ось

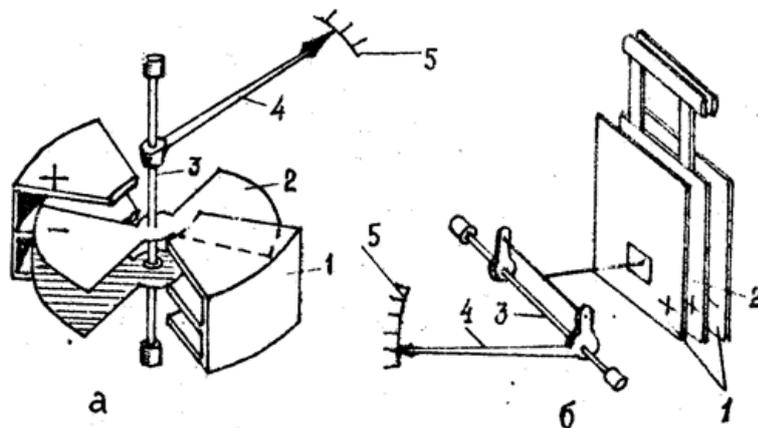


Рис.4. Устройство электростатических приборов: а - с изменяющейся рабочей площадью пластин; б - с изменяющимся расстоянием между пластинами.
1 - неподвижные пластины; 2 - подвижные пластины;
3 - оси; 4 - стрелка; 5 - шкала

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.

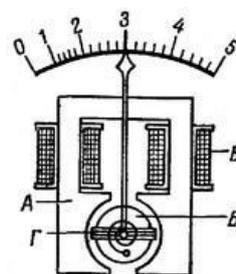
Цифровой амперметр можно реализовать установив на входе цифрового вольтметр калиброванный резистор небольшой величины, через который протекает измеряемый ток. Падение напряжения на входном резисторе, пропорциональное протекающему току, измеряется цифровым вольтметром, табло которого соответствующим образом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

6. Ферродинамическая система

Ферродинамический измерительный механизм

Магнитная цепь ферродинамического измерителя состоит из магнитопровода *A* и неподвижного цилиндрического сердечника *B*, выполненных из листовой стали.

Неподвижная катушка *B* с током I_1 возбуждает магнитный поток, который взаимодействует с током I_2 , в подвижной катушке *Г*, укрепленной на одной оси со стрелкой.



Принцип работы измерителя тот же, что и электродинамического. Присутствие стали усиливает магнитный поток и вращающий момент, что позволяет получить более прочную конструкцию. Внешнее поле практически не влияет на показания измерителя.

Ферродинамические приборы используют в качестве щитовых амперметров, ваттметров и вольтметров, работающих в условиях тряски и вибраций (например, на э. п. с. переменного тока). Кроме того, их применяют в качестве самопишущих приборов, так как они имеют значительный

вращающий момент, преодолевающий трение в записывающих устройствах.

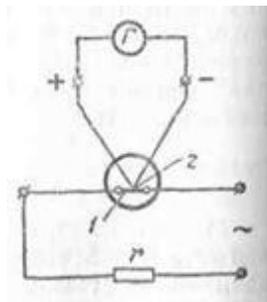
7. Термоэлектрическая система

Термоэлектрические измерительные приборы служат преимущественно для измерений переменных токов высокой частоты (до 25 МГц).

Принцип действия такого прибора основан на использовании двух явлений:

- 1) выделении тепла при прохождении электрического тока по проводнику;
- 2) появлении постоянной э. д. с. при нагревании места спая термопары.

Термоэлектрический измерительный прибор представляет собой сочетание гальванометра магнитоэлектрической системы с термопреобразователем, состоящим из нагревателя и термопары. Схема прибора термоэлектрической системы:



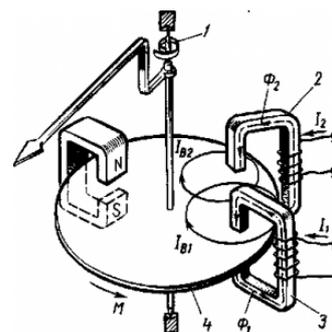
Измеряемый переменный ток протекает по нагревателю 1, который выделяет тепло, нагревающее место спая 2 термопары. На холодных концах термопары образуется термо-э. д. с, под действием которой в цепи гальванометра возникает измеряемый им электрический ток. Нагреватель с термопарой называют термопреобразователем.

Он помещается в одном корпусе с гальванометром или отдельно от него. Так как величина термо-э. д. с, возникающей на холодных концах термопары, зависит от тока, протекающего по нагревателю, то стрелка гальванометра показывает по шкале, отградуированной в единицах тока, силу протекающего в цепи переменного тока.

Термоэлектрические приборы изготовляют в виде щитовых и переносных. Главным их недостатком является малая перегрузочная способность термопреобразователя — они выдерживают перегрузку по току примерно в 1,5 раза.

8. Индукционная система

Устройство. Индукционный прибор состоит из двух неподвижных электромагнитов 2 и 3 и подвижного алюминиевого диска 4, укрепленного на одной оси со стрелкой.



При прохождении переменных токов I_1 и I_2 по катушкам электромагнитов создаются два магнитных потока Φ_1 и Φ_2 , сдвинутых один относительно другого по фазе, которые пронизывают диск.

Эти потоки при своем изменении индуцируют в диске вихревые токи $I_{в1}$ и $I_{в2}$. В результате взаимодействия вихревых токов с магнитными полями обоих электромагнитов (тока $I_{в1}$ с потоком Φ_2 и тока $I_{в2}$ с потоком Φ_1) возникает вращающий момент M , под влиянием которого происходит поворот подвижной части прибора. Противодействующий момент в вольтметрах, амперметрах и ваттметрах создается спиральной пружиной 1 или растяжками.

Электрический счетчик содержит магнитопровод - 1 сложной конфигурации, на котором размещены две катушки; напряжения - 2 и тока - 3. Между полюсами электромагнита помещен алюминиевый диск - 4 с осью вращения - 5.

Принцип действия индукционной системы основан на взаимодействии магнитных потоков, создаваемых катушками тока и напряжения с вихревыми токами, наводимыми магнитным полем в алюминиевом диске.

Применение. Индукционные приборы, так же как и электродинамические, могут быть использованы в качестве амперметра, вольтметра и ваттметра. Катушки электромагнитов включаются в этих случаях так же, как и катушки электродинамического прибора.

Достоинством индукционных приборов являются высокая стойкость к перегрузкам, большой вращающий момент и малая чувствительность к внешним магнитным полям.

К недостаткам относятся сравнительно невысокая точность и зависимость показаний от частоты переменного тока и температурных влияний.

Индукционные приборы используют, главным образом, в качестве ваттметров и счетчиков электрической энергии и в промышленных установках и на электровозах переменного тока.

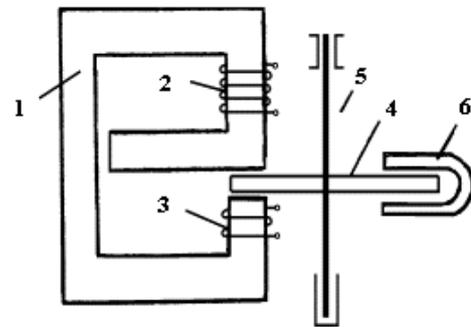


Рис. 3.6.1. Индукционная система