

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: 1) Приобрести навыки работы с электроизмерительными приборами. 2) Научиться определять технические возможности электроизмерительных приборов по условным обозначениям на шкале, уметь производить электрические измерения. 3) Научиться обрабатывать результаты измерений.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: набор электроизмерительных приборов различных систем и классов точности: амперметров, вольтметров, гальванометров.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Для систематического наблюдения за режимом работы электрооборудования и учета электроэнергии, вырабатываемой генераторами и потребляемой приемниками, в электрические цепи включают различные измерительные приборы. Эти приборы измеряют ток, напряжение, мощность, частоту, электрическую энергию и т. д. Некоторые электроизмерительные приборы применяют для определения состояния электрооборудования (контроль изоляции, измерение сопротивлений).

По сравнению с другими видами измерительной техники электрические измерения отличаются высокой чувствительностью, большой точностью, простотой и надежностью. Благодаря этому электроизмерительные приборы в настоящее время используют для измерения многих неэлектрических величин, для контроля и автоматизации различных производственных процессов, а также при экспериментальных исследованиях в различных отраслях науки и техники.

Отсчетное устройство средства измерения обязательно имеет шкалу, нанесенную на циферблат прибора. Технические требования к циферблатам и шкалам приборов установлены ГОСТ 5365-83. На шкалу (рис. 1) наносятся отметки, обычно в виде короткой вертикальной черты, соответствующие некоторым значениям измеряемой величины. Интервал между двумя соседними отметками шкалы называют делением шкалы. Отметки шкалы, у которых проставлены числа (на шкале рис. 1 это числа 0; 2; 4; 6; 8 и 10), называют числовыми отметками шкалы. Шкалы могут быть равномерными (деления постоянной длины) и неравномерными (деления непостоянной длины). На рисунке 1 изображена неравномерная шкала. Наименьшее значение измеряемой величины, указанное на шкале, называется начальным значением шкалы X_H . В нашем случае (рис. 1) X_H — 0. Наибольшее значение измеряемой величины, указанное на шкале, называют конечным значением шкалы X_K .

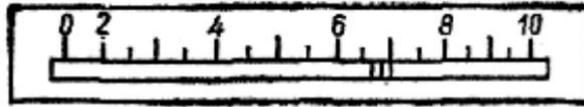


Рисунок 1 - Шкала прибора с отсчётным устройством

Для шкалы, изображенной на рисунке 1, $X_K = 10$. По шкале прибора можно определить диапазон показаний прибора и диапазон измерений прибора.

Диапазоном показаний называют область значений шкалы, ограниченную конечным и начальным значениями шкалы.

В рассматриваемом случае диапазон показаний равен 0-10.

Область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений, называют **диапазоном измерений**.

Обычно при равномерной шкале диапазон измерений и диапазон показаний совпадают. Однако при неравномерной шкале диапазон показаний не совпадает с диапазоном измерений. Для определения диапазона измерений, т.е. верхнего и нижнего предела, на шкалах таких приборов обычно ставят точку в начале и конце диапазона измерений, если наибольшее значение измеряемой величины диапазона измерений не совпадает с конечным значением шкалы. На шкале, изображенной на рисунке 1, диапазон измерений равен 2—10.

Наименьшее значение диапазона измерений (в нашем случае числовая отметка 2) называют нижним пределом измерений, а наибольшее значение диапазона измерений (отметка 10) — верхним пределом измерений. На рассматриваемой шкале верхний предел измерения совпадает с конечным значением шкалы и равен 10.

Отсчет значения измеряемой величины по шкале прибора производится с помощью указателя. Различают два вида указателей:

- 1) стрелочный указатель выполнен в форме копья, обеспечивающий отсчет показаний с необходимой точностью;
- 2) световой указатель в виде луча света, образующего на шкале световое пятно с индексом, по которому производится отсчет показаний.

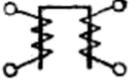
Все электроизмерительные приборы классифицируются по следующим признакам:

- А) по роду измеряемой величины: амперметры, вольтметры, ваттметры, омметры, частотомеры и др.;
- Б) по роду тока: приборы постоянного тока, переменного тока, приборы постоянного и переменного тока;
- В) по принципу действия: магнитоэлектрические, электромагнитные, электростатические, электродинамические и др.

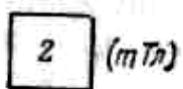
Г) по степени точности: 0, 05; 0, 1; 0, 2; 0, 5; 1, 0; 1, 5; 2, 5; 4, 0
(8 классов точности).

По символам, которые наносятся на шкалу прибора, можно определить назначение и технические возможности электроизмерительных приборов. Приведем некоторые, наиболее часто встречающиеся, условные обозначения на шкалах приборов:

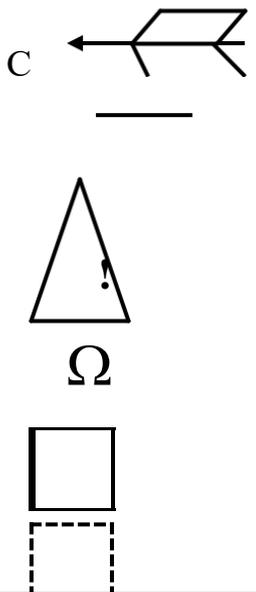
Таблица 1 - Условные обозначения на шкале

Условное обозначение	Наименование
	Прибор магнитоэлектрический
	Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой
	Прибор электромагнитный
	Логометр электромагнитный
	Прибор электродинамический
	Прибор ферродинамический
	Логометр ферродинамический
	Прибор индукционный
	Прибор электростатический
	Прибор магнитоэлектрический с выпрямителем (выпрямительный прибор)

Продолжение таблицы 1

Условное обозначение	Наименование
	<p>Прибор магнитоэлектрический с электронным преобразователем (электронный прибор)</p>
	<p>Прибор магнитоэлектрический с неизолированным термопреобразователем</p>
	<p>Ток постоянный</p>
	<p>Ток переменный (однофазный)</p>
	<p>Ток постоянный и переменный</p>
	<p>Ток переменный (трёхфазный)</p>
	<p>Положение прибора под углом</p>
	<p>Положение прибора вертикальное</p>
	<p>Положение прибора горизонтальное</p>
	<p>Класс точности прибора</p>
	<p>Изоляция прибора испытана при 2 кВ</p>
	<p>Магнитная индукция (выраженная в миллитеслах), вызывающая изменение показаний</p>
<p>Fe3</p>	<p>Щит стальной (3 мм)</p>
<p>NFe</p>	<p>Щит нестальной, любой толщины</p>
<p>FeNFe</p>	<p>Щит стальной, любой толщины</p>

Продолжение таблицы 1

Условное обозначение	Наименование
	<p>Ориентирование прибора в земном магнитном поле</p> <p>Внимание! В паспорте указаны особенности эксплуатации прибора</p> <p>Внутреннее сопротивление прибора (Ом)</p> <p>Прибор защищён от внешних магнитных полей</p> <p>Прибор защищён от внешних электрических полей</p>

Знать эти условные обозначения необходимо для того, чтобы без дополнительной документации определить технические возможности прибора.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ

На практике наиболее широкое распространение получили измерительные приборы непосредственной оценки (прямого отсчета). В каждом электроизмерительном приборе этого типа независимо от назначения и принципа действия имеются электрические цепи и измерительный механизм. В простейшем приборе, например, в амперметре, электрическая цепь представляет собой катушку, включаемую последовательно в линию, где необходимо измерить величину тока. В более сложных приборах измерительные цепи содержат, кроме катушек, конденсаторы, резисторы и т. п.

Измерительный механизм прибора имеет подвижную часть, каждому положению которой соответствует определенное значение измеряемой величины. С подвижной частью связана стрелка или другое указательное устройство (световой луч, цифровой счетный механизм). Перемещение подвижной части измерительного механизма происходит в результате взаимодействия магнитных (или электрических) полей в приборе. Это взаимодействие создает вращающий момент, зависящий от значения измеряемой величины.

Вращающий момент $M_{вр}$ должен быть уравновешен для того, чтобы подвижная часть вместе со стрелкой занимала определенное положение,

соответствующее значению измеряемой величины. В большинстве случаев противодействующий момент M_{np} в электроизмерительных приборах создается механическими приспособлениями (пружины, растяжки и др). Величина этого момента пропорциональна углу закручивания. При установившемся отклонении $M_{вр} = M_{np}$.

Чтобы подвижная часть прибора после внезапного нарушения равновесия моментов, вызванного изменением измеряемой величины, быстро (без колебаний) заняла новое положение, электроизмерительные приборы обычно снабжаются успокоителями (демпферами).

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Принцип действия магнитоэлектрических приборов основан на взаимодействии поля постоянного магнита и проводников с током. В воздушном зазоре 1 (рис. 2) между неподвижным стальным цилиндром 2 и полюсными наконечниками NS неподвижного постоянного магнита расположена алюминиевая рамка с катушкой 3, состоящей из w витков изолированной проволоки.

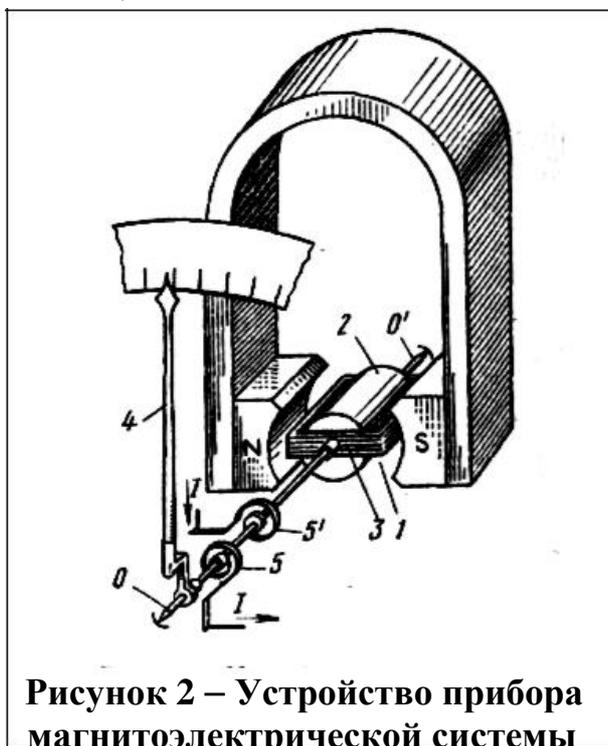


Рисунок 2 – Устройство прибора магнитоэлектрической системы

Катушка жестко соединена с двумя полуосями O и O' , сидящими в подшипниках. На полуоси O закреплены указательная стрелка 4 и две спиральные пружинки 5 и 5', через которые к катушке подводится измеряемый ток. Полюсные наконечники NS и стальной цилиндр 2 обеспечивают в зазоре 1 равномерное и радиальное распределение индукции B магнитного поля. В результате взаимодействия магнитного поля с током в проводниках катушки 3 создается вращающий момент. Рамка с катушкой при этом поворачивается, и стрелка отклоняется на угол α . Электромагнитная сила $F_{эм}$, действующая на каждую из двух сторон

катушки, равна $wBLI$. Вращающий момент, создаваемый парой сил $F_{эм}$, $M_{вр} = F_{эм}d = wBLId = C_1I$, где d и L — ширина и длина рамки (катушки); C_1 — коэффициент, зависящий от числа витков w , размеров катушки и магнитной индукции B . Повороту рамки противодействуют спиральные пружинки 5 и 5', создающие противодействующий момент, пропорциональный углу закручивания α :

$$M_{пр} = C_2\alpha,$$

где C_2 — коэффициент, зависящий от жесткости пружинок. Стрелка устанавливается на определенном делении шкалы при равенстве моментов

$$M_{вр} = M_{пр}, \text{ т. е. когда } C_1I = C_2\alpha.$$

Угол поворота стрелки

$$\alpha = \frac{C_1I}{C_2} = C \cdot I$$

пропорционален величине тока; следовательно, у приборов магнитоэлектрической системы шкала равномерная, что является их достоинством.

Направление вращающего момента (определяемое правилом левой руки) изменяется при изменении направления тока. Поэтому при включении прибора нужно соблюдать полярность включения.

При включении прибора магнитоэлектрической системы в цепь переменного тока на катушку действуют быстро изменяющиеся по величине и направлению механические силы, среднее значение которых равно нулю. В результате стрелка прибора не будет отклоняться от нулевого положения. Поэтому эти приборы нельзя применять непосредственно для измерений в цепях переменного тока.

В приборах магнитоэлектрической системы успокоение (демпфирование) стрелки происходит благодаря тому, что при перемещении алюминиевой рамки 5 в магнитном поле постоянного магнита NS в ней индуктируются вихревые токи. Направление этих токов по правилу Ленца таково, что они противодействуют вращению рамки и быстро успокаивают ее колебания.

Измерительные приборы магнитоэлектрической системы находят применение также при измерениях в цепях переменного тока. При этом в цепь подвижной катушки включают преобразователи переменного тока в постоянный или пульсирующий ток. Наибольшее распространение получили детекторная и термоэлектрическая системы.

На (рис. 3, а) показана принципиальная схема для измерения переменного тока прибором детекторной системы.

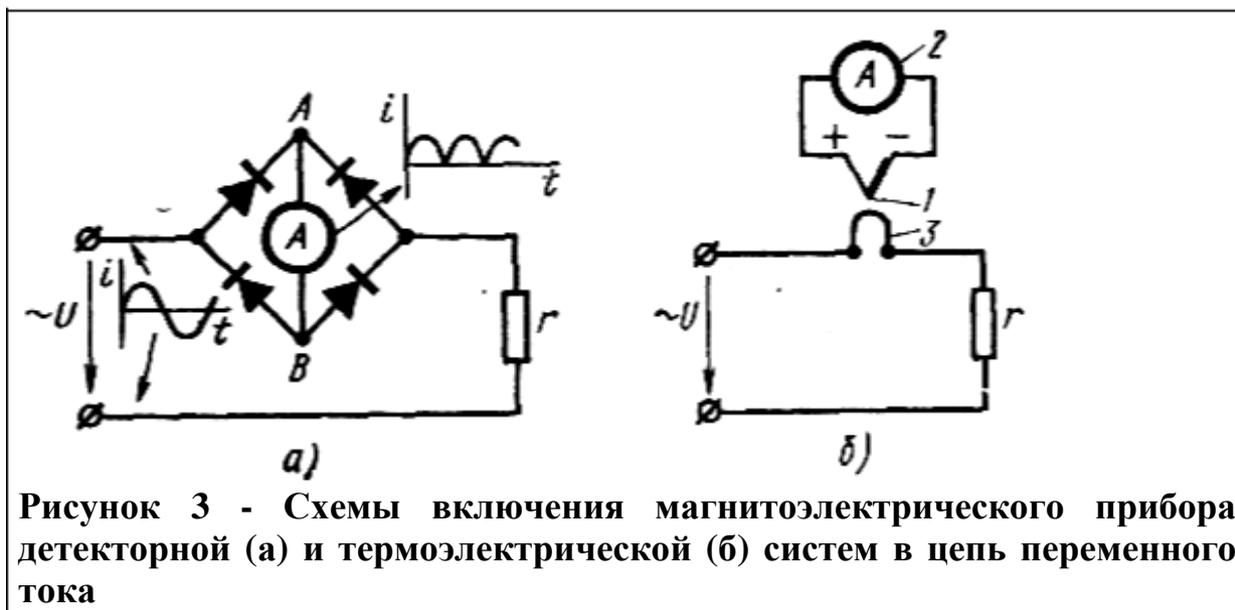


Рисунок 3 - Схемы включения магнитоэлектрического прибора детекторной (а) и термоэлектрической (б) систем в цепь переменного тока

Измерительный прибор включен в диагональ AB моста, собранного из четырех выпрямительных полупроводниковых диодов. При переменном токе в цепи в диагонали AB возникает пульсирующий ток, не меняющий своего направления. Этот ток, взаимодействуя с магнитным полем постоянного магнита, создает изменяющийся по величине, но действующий в одном направлении вращающий момент, пропорциональный току.

Отклонение стрелки прибора пропорционально среднему значению вращающего момента за период, а следовательно, среднему значению тока. Если в цепи действует синусоидальный ток, то шкалу прибора можно отградуировать в действующих значениях тока, поскольку между средним и действующим значениями тока существует определенное соотношение. При отклонении формы кривой тока от синусоиды правильное измерение действующих значений при указанной выше градуировке шкалы оказывается невозможным.

В приборах термоэлектрической системы в качестве преобразователя используется термопара 1. Измерительный прибор 2 соединен со свободными концами термопары, а рабочие концы, образующие ее горячий спай, нагреваются измеряемым током проволочного нагревательного элемента 3 (рис. 3, б).

Количество тепла Q , выделяемого в нагревателе, пропорционально квадрату действующего значения тока. Температура нагрева горячего спая термопары и ее ЭДС находятся в прямой зависимости от величины Q . В связи с этим отклонение стрелки измерительного прибора, пропорциональное ЭДС термопары, также находится в прямой зависимости от квадрата действующего значения тока.

Вольтметры и амперметры детекторной и термоэлектрической систем применяются для измерений в цепях переменного тока промышленной частоты (50 Гц) и повышенных частот.

Достоинства приборов магнитоэлектрической системы:

- 1) точность показаний;
- 2) малая чувствительность к посторонним магнитным полям;
- 3) незначительное потребление мощности;
- 4) равномерность шкалы.

К недостаткам следует отнести:

- 1) необходимость применения специальных преобразователей при измерениях в цепях переменного тока и чувствительность к перегрузкам (тонкие токопроводящие пружинки 5 и 5' из фосфористой бронзы при перегрузках нагреваются и изменяют свои упругие свойства).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИСТЕМА

Принцип действия электромагнитных приборов основан на втягивании стального сердечника в неподвижную катушку при существовании в ней тока. Неподвижный элемент прибора — катушка 1, выполненная из изолированной проволоки, включается в электрическую цепь (рис. 4).

Подвижный элемент — стальной сердечник 2, имеющий форму лепестка, эксцентрично укреплен на оси O . С этой же осью жестко соединены указательная стрелка 3, спиральная пружинка 4, обеспечивающая противодействующий момент, и поршень 5 успокоителя. Ток в витках катушки 1 образует магнитный поток, сердечник 2 намагничивается и втягивается в катушку. При этом ось O поворачивается, и стрелка прибора отклоняется на угол α .

Магнитная индукция B в сердечнике (при отсутствии насыщения) пропорциональна току катушки. Сила F , с которой сердечник втягивается в катушку, зависит от величины тока и магнитной индукции B в сердечнике. Приблизительно принимают, что сила F , а следовательно, и обусловленный ею вращающий момент пропорциональны квадрату тока в катушке:

$$M_{\text{вр}} = CI^2.$$

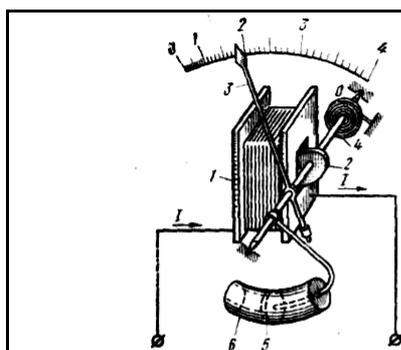


Рисунок 4 - Устройство прибора электромагнитной системы

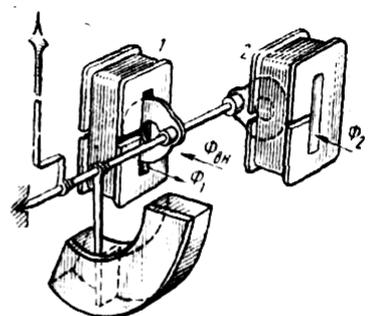


Рисунок 5 - Устройство астатического механизма электромагнитной системы прибора

Противодействующий момент, уравнивающий вращающий момент, пропорционален углу α . В связи с этим угол отклонения стрелки находится в квадратичной зависимости от тока; шкала прибора оказывается неравномерной.

Для успокоения подвижной части прибора обычно применяют воздушный демпфер. Он состоит из изогнутого цилиндра 6 и поршня 5, шток которого укреплен на оси O . Сопротивление воздуха, оказываемое перемещению поршня в цилиндре, обеспечивает быстрое установление стрелки на определенном делении шкалы.

Достоинства приборов электромагнитной системы:

- 1) простота конструкции;
- 2) пригодность для измерения в цепях постоянного и переменного тока;
- 3) надежность в эксплуатации.

К недостаткам следует отнести:

- 1) неравномерность шкалы;
- 2) влияние посторонних магнитных полей на точность показаний. Последнее обусловлено тем, что магнитное поле катушки расположено в воздушной среде и поэтому его индукция невелика.

Для ослабления влияния посторонних магнитных полей в некоторых приборах применяют две катушки 1 и 2 (рис. 5) и два сердечника, установленные на общей оси и действующие в одном направлении вращающие моменты

$$M_{вр1} + M_{вр2} = M_{вр.рез} .$$

Катушки расположены так, что их магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 направлены в противоположные стороны. Постороннее магнитное поле $\Phi_{вн}$ ослабляет поток Φ_1 (уменьшая вращающий момент $M_{вр1}$ и одновременно усиливает поток Φ_2 , увеличивая вращающий момент $M_{вр2}$.

В результате общий вращающий момент $M_{вр.рез}$ остается неизменным и зависит только от измеряемого тока. Приборы такой конструкции называются астатическими. Для уменьшения погрешности измерений, вносимых посторонними магнитными полями, некоторые приборы экранируют, помещая их в стальные корпуса.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Приборы этой системы (рис. 6, а) состоят из двух катушек: неподвижной 1 и подвижной 2. Подвижная катушка укреплена на оси OO' и расположена внутри неподвижной катушки. На оси OO' подвижной катушки укреплены указательная стрелка 3 и спиральные пружинки 4 и 4', через которые подводится ток к катушке 2. Эти пружинки одновременно создают противодействующий момент $M_{пр}$,

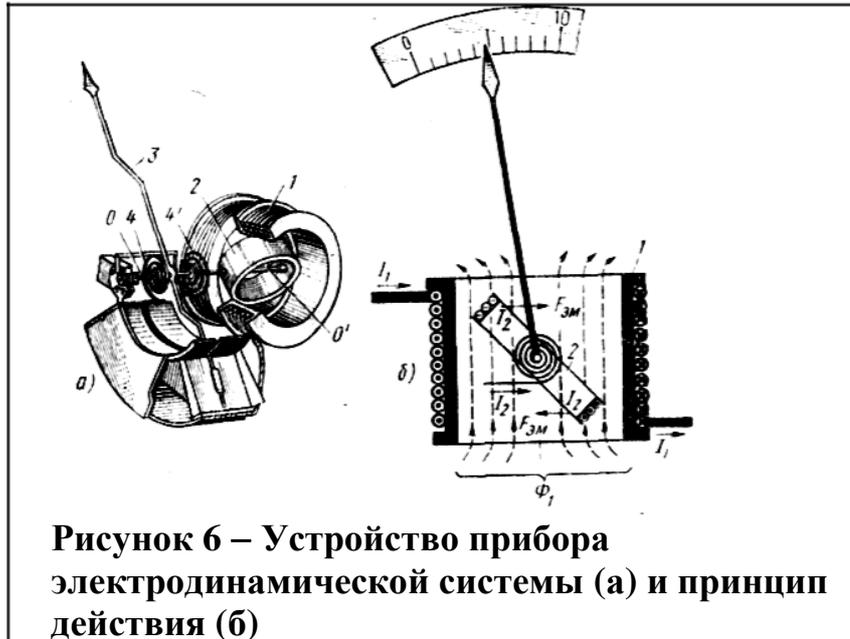


Рисунок 6 – Устройство прибора электродинамической системы (а) и принцип действия (б)

пропорциональный углу закручивания α . Принцип действия прибора (рис. 6, б) основан на взаимодействии тока I_2 подвижной катушки с магнитным потоком Φ_1 неподвижной катушки.

При постоянном токе электромагнитная сила $F_{эм}$, действующая на проводники подвижной катушки, пропорциональна току I_2 и магнитной индукции B_1 . Поскольку индукция B_1 пропорциональна току I_1 неподвижной катушки, вращающий момент, действующий на подвижную катушку, пропорционален произведению токов катушек:

$$M_{вр} = C' B_1 I_2 = C'' I_1 I_2,$$

где C' и C'' — коэффициенты пропорциональности. При переменном токе вращающий момент пропорционален произведению мгновенных значений токов:

$$i_1 = I_1 m \sin \omega t \quad i_2 = I_2 m \sin(\omega t + \psi).$$

Показание прибора в этом случае определяется средним за период значением вращающего момента:

$$M_{вр} = \frac{1}{T} \int_0^T C'' i_1 i_2 dt = C I_1 I_2 \cos \psi.$$

Здесь C — коэффициент, зависящий от числа витков, геометрических размеров и расположения катушек; I_1 и I_2 — действующие значения токов в катушках; ψ — угол сдвига фаз между векторами токов I_1 и I_2 .

При равенстве моментов ($M_{вр} = M_{нр}$) подвижная катушка отклоняется на угол α и стрелка указывает на шкале числовое значение измеряемой электрической величины. Для успокоения подвижной части прибора используют воздушные демпферы. Электродинамические приборы применяют, главным образом, для измерения мощности в цепях переменного тока.

Достоинства приборов электродинамической системы:

- 1) высокая точность (обусловленная отсутствием ферромагнитных сердечников).
- 2) возможность использования для измерения электрических величин в цепях постоянного и переменного тока.

Недостатками приборов являются:

- 1) чувствительность к перегрузкам;
- 2) влияние посторонних магнитных полей на точность измерений;
- 3) неравномерность шкалы;

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Энергия, запасенная системой заряженных пластин электростатического прибора при фиксированном напряжении

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

может изменяться только вследствие изменения емкости. Поэтому такие приборы могут быть построены на основе изменения расстояния между пластинами, активной площади пластин или среды между ними. Во всех случаях с поворотом подвижной части прибора должна изменяться энергия W за счет изменения емкости C .

Устройство вольтметра электростатической системы с переменным расстоянием между пластинами показано на рисунке 7. Измеряемое напряжение подключается к клеммам «А» и «Б» вольтметра, соединенным с двумя неподвижными изолированными пластинами «а» и «с». Между неподвижными пластинами на тонких бронзовых ленточках (пружинах) подвешена подвижная пластина «b» и электрически соединена с одной из неподвижных пластин. При включении напряжения эти пластины получают заряд одного знака, и подвижная пластина отталкивается от неподвижной. Вторая неподвижная пластина получает заряд противоположного знака, поэтому она притягивает к себе подвижную пластину. Таким образом, силы, действующие на подвижную пластину со стороны неподвижных, направлены в одну сторону. Поступательное перемещение подвижной пластины через тягу «d» преобразуется во вращательное движение оси и стрелки прибора.

Устройство электростатического вольтметра с переменной активной площадью показано на рисунке 8. Подвижные пластины «с» всегда получают заряды, противоположные по знаку зарядам неподвижных камер «а» и «b», и втягиваются в них. Успокаивающий момент создается, как правило, магнитоиндукционным способом.

Ценным свойством электростатических вольтметров является: отсутствие собственного потребления мощности при измерениях на постоянном токе и очень малое потребление мощности на переменном.



Рисунок 7 – Устройство вольтметра



Рисунок 8 – Устройство электро-статического вольтметра с пере-менной активной площадью нами

К достоинствам электростатических приборов можно отнести:

- 1) высокое входное сопротивление (на постоянном напряжении — практически бесконечное, а на низких и средних частотах составляет десятки мегаом и более), что означает чрезвычайно малое собственное потребление энергии от источника, измеряемого напряжения;
- 2) реакция на среднее квадратичное (действующее) значение напряжения (независимо от формы сигнала);
- 3) широкий диапазон частот измеряемых напряжений (до единиц — десятков мегагерц);
- 4) сравнительно высокая точность (типичные классы точности: 0,5-1,5);
- 5) простота конструкции и, следовательно, достаточная надежность.

Недостатки электростатических приборов:

- 1) нелинейная шкала;
- 2) малая чувствительность;
- 3) возможное значительное влияние внешних электрических полей, требующее экранирования механизма.

Основное применение электростатических приборов — измерения в высоковольтных цепях, в маломощных цепях, а также в цепях с высокочастотными сигналами.

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ



цифровой измерительный прибор (ЦИП) — это измерительный прибор, в котором входной сигнал преобразуется в дискретный выходной сигнал и представляется в цифровой форме. Под дискретным сигналом понимают прерывистый сигнал, в котором информация

содержится не в интенсивности носителя сигнала (например, в значениях напряжения, тока), а в числе элементов сигнала (например, в числе импульсов напряжения) и их взаимном расположении во времени или пространстве. Систему таких сигналов для представления информации называют кодом. Измеряемая величина, подаваемая на вход ЦИП, является величиной непрерывной, т. е. на конечном интервале она имеет бесчисленное множество значений. Непрерывную величину часто называют аналоговой величиной. Таким образом, в любом ЦИП входная аналоговая величина преобразуется в цифровую форму и представляется в виде ряда цифр на цифровом отсчетном устройстве. Процесс преобразования аналоговой формы сигнала в цифровую — называется аналого-цифровым преобразованием, а преобразователь, осуществляющий это преобразование, — аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

Обобщенная функциональная схема ЦИП показана на рисунке 9. Измеряемая величина $X_{изм}$ подается на входное устройство ВУ, предназначенное для масштабного преобразования входной величины и отделения ее от помех, если они имеются. Аналого-цифровой преобразователь преобразует величину X в код N , который подается на цифровое отсчетное устройство ЦОУ, где индицируется в виде ряда цифр; код N может выводиться и во внешние устройства, например в ЭВМ для дальнейшей обработки или хранения. Управляет работой ЦИП устройство управления УУ путем выработки определенной последовательности командных сигналов во все функциональные узлы ЦИП.

Аналого-цифровые преобразователи имеют важное самостоятельное значение. Они широко используются для связи первичных преобразователей электрических и неэлектрических величин с цифровыми вычислительными машинами, микропроцессорами и другими устройствами накопления и обработки результатов наблюдений. Отличие АЦП от ЦИП состоит в повышенном быстродействии и отсутствии цифрового отсчетного устройства.

По виду измеряемых величин ЦИП подразделяются на:

- 1) вольтметры постоянного и переменного тока;
- 2) омметры и мосты постоянного и переменного тока;
- 3) комбинированные приборы;
- 4) измерители частоты и интервалов времени;
- 5) специализированные ЦИП, предназначенные для измерения температуры, массы грузов, скоростей, времени срабатывания различных элементов и т. п.

Диапазон измеряемых посредством ЦИП величин обычно широкий и разбивается на ряд поддиапазонов. Выбор нужного поддиапазона в процессе измерения производится вручную или автоматически. Измерение на выбранном поддиапазоне всегда происходит автоматически.

Основными достоинствами цифровых измерительных приборов являются:

- 1) высокое быстродействие;
- 2) широкий диапазон исследуемых напряжений — от 0,1 мкВ до 1000 В;
- 3) высокая чувствительность — 0,1 мкВ;
- 4) возможность сочетания ЦИП с ЭВМ и различными автоматическими устройствами;
- 5) широкие функциональные возможности, возможность измерения одним прибором нескольких различных параметров (например, постоянного и переменного напряжения, сопротивления постоянному току, параметров комплексного сопротивления).
- 6) сравнительно малые габариты и масса;
- 7) сравнительно малая инструментальная погрешность (0,1– 0,001 %);
- 8) возможность дистанционной передачи результатов измерения в виде кода без потерь точности.

К недостаткам этих приборов относятся:

- 1) сложность устройства ЦИП;
- 2) требование дополнительного источника питания (внешнего — электрической сети, или внутреннего — батареи);

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ

Комбинированные цифровые приборы (тестеры) позволяют измерять ряд электрических величин. Например, напряжений постоянного и переменного тока, сопротивления постоянному току, емкости, силы постоянного и переменного тока. Как правило, основой комбинированного прибора является цифровой вольтметр постоянного тока интегрирующего типа; кроме него прибор содержит ряд преобразователей различных электрических величин в напряжение постоянного тока (шунты, термоэлектрические преобразователи).

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ТЕСТЕРАМИ

Выберите нужный диапазон измерения, установив, функциональный переключатель на соответствующее деление шкалы «V».

Вставьте черный тестовый щуп в разъем «СОМ» и красный тестовый щуп в разъем «VΩ» (полярность будет отражена на дисплее).

Приложите тестовые щупы к соответствующим точкам измеряемого устройства и посмотрите на дисплее результат измерения (жидкокристаллический дисплей с разрядностью 3,5 цифры; максимальное количество отображений результатов измерений составляет 1999 единиц).

ПРИМЕЧАНИЕ:

а) Если вы заранее не знаете, в каком диапазоне может быть измеряемое вами напряжение, установите переключатель на самое высокое значение предела измеряемого диапазона, а затем, для повышения точности измерения, переставляйте на более низкие значения, пока не получите удовлетворительный результат измерения.

б) Когда на дисплее появляется только цифра "1", это означает, что напряжение в электрической цепи превышает заданный вами предел измеряемого диапазона. В таком случае установите функциональный переключатель на более высокое значение предела измеряемого диапазона.

с) Никогда не пытайтесь измерять напряжение более 1000 В! Хотя тестер и способен показывать более высокое напряжение, это может повредить внутреннюю схему.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

Для того чтобы производить измерения, необходимо по обозначениям на шкале прибора определить технические возможности измерительного прибора и не допускать измерений, на которые прибор не рассчитан. Прежде всего необходимо определить название прибора. Обычно название указано на шкале (рис. 11) либо размерность измеряемой величины, причём перед ней не указаны никакие цифры (рис. 10). Если название на шкале не указано, а перед размерностью написаны цифры, то название определяют по размерности включения пределов измерений прибора на имеющихся переключателях или клеммах. На практике очень часто применяются многопредельные приборы, электрическую схему которых можно изменять переключателем пределов соответствующим подключением проводников. Кроме того, изменение пределов измерения может быть достигнуто подключением шунтов в амперметрах и

добавочных сопротивлений в вольтметрах. Так как многопредельные приборы встречаются весьма часто, рассмотрим правила пользования такими приборами. Прежде всего, используя многопредельный прибор, необходимо выбрать такой предел измерения, чтобы иметь наименьшую погрешность.

Если прибор имеет несколько шкал, то необходимо выбрать соответствующую шкалу для данного предела. В случае, если многопредельный прибор имеет одну шкалу, то необходимо делать перерасчет показаний прибора для различных пределов измерения. Переключение пределов измерения, как уже говорилось, может производиться по-разному: переключением переключателя на приборе, подсоединением проводника на нужный предел. При этом один проводник, идущий от отрицательного полюса, подключается к клемме "-", другой проводник, идущий от клеммы с указанием предела измерений – положительный "+". При штепсельном подключении соблюдаются те же правила. В данной работе мы будем рассматривать лишь те электроизмерительные приборы, которыми измеряются ток и напряжение.

Далее необходимо определить чувствительность прибора и цену деления. **Чувствительностью S** называют отношение линейного или углового перемещения указателя α_1 к изменению измеряемой величины α_2 , вызывающему это перемещение:

$$S = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

Размерность чувствительности зависит от измеряемой величины (ток, напряжение, сопротивление и т.д.)

Обратной величиной чувствительности прибора является **цена деления C** :

$$C = S^{-1}$$

Цена деления определяет значение измеряемой величины, вызвавшей отклонение указателя на одно деление. У однопредельных приборов (имеют только две клеммы подключения и не имеют никаких переключателей), шкала проградуирована в единицах измеряемой величины. Цену деления таких приборов удобно определять по формуле

$$C = \frac{A_2 - A_1}{n}$$

где A_2 и A_1 значения, указанные на выбранных штрихах шкалы из диапазона измерений, n – количество делений между этими штрихами.



Рисунок 10 – Вольтметр однопредельный магнитоэлектрической системы

Пример 1. Определить цену деления прибора (рисунок 10).

По внешнему виду прибора определяем, что данный прибор – вольтметр однопредельный. Шкала проградуирована в единицах измеряемой величины. Прибор измеряет напряжение от 0 до 250 (В). Для определения цены деления выбираем $A_2=100$ (В) и $A_1=50$ (В). Количество делений между выбранными значениями $n=5$. Поэтому цена деления будет равной

$$C = \frac{100 - 50}{5} = 10(\text{В} / \text{дел}) .$$

Для многопредельных и комбинированных приборов цену деления удобно определять по формуле

$$C = \frac{A}{N^{\max}} ,$$

где A_{\max} – верхний предел измерения прибора (его определяют в зависимости от конструкции прибора по положению переключателя либо клемм включения), N – количество всех делений шкалы из диапазона измерения.

Пример 2. Определить цену деления и диапазон измерения (нижний и верхний пределы измерения) прибора (рисунок 11).

По положению переключателей определяем верхний предел измерения $A_{\max}=2,5$ (А). Число всех делений из диапазона измерения определяем по шкале: $N=100$ (значение в правом углу шкалы с точкой).

Цена деления прибора: $C = \frac{2,5}{100} = 0,025(\text{А} / \text{дел})$. Нижний предел A_{\min}

соответствует $N_1=10$ делениям шкалы (значение в левом углу шкалы с



Рисунок 11 – Амперметр двухпредельный электромагнитной системы

точкой). Поэтому $A_{\min} = N_1 \cdot C = 10 \cdot 0,025 = 0,25 \text{ (A)}$.

Чтобы снять A показания прибора, необходимо цену деления C умножить на количество делений n_1 , на которые отклонилась стрелка:

$$A = C \cdot n_1 .$$

Пример 3. Определить показания прибора (рисунок 11), если стрелка отклонилась на $n_1=30$ делений.

$$I = C \cdot n_1 = 0,025 \cdot 30 = 0,75 \text{ (A)} .$$

При отсчёте показаний прибора луч зрения должен быть перпендикулярен шкале, иначе возможна погрешность от параллакса (искажения от преломления на стекле).

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Абсолютная погрешность измерений оценивается исходя из класса точности прибора. Под классом точности γ понимают абсолютную погрешность, выраженную в процентах по отношению к верхнему пределу прибора. Обозначение класса точности 0, 2; 0, 5; 1, 0 и т. д. указывает, что погрешность показаний прибора соответствующего класса в любом месте диапазона измерений не превышает 0, 2%, 0, 5%, 1,

0% и т. д. Если обозначим через A максимально возможное показание прибора, а через γ класс точности прибора, то получим абсолютную погрешность прибора:

$$\Delta A = \frac{\gamma}{100} \cdot A_{max} .$$

Пример 4. Определить абсолютную погрешность прибора (рисунок 10).

Вольтметр имеет класс точности $\gamma=1,5$ шкала рассчитана на 250 (В), то ΔA будет

$$\Delta A = \pm 0,015 \cdot 250 = \pm 3,75 (В) .$$

Так как абсолютная погрешность зависит от класса, то она одинакова во всём диапазоне измерения прибора.

Пример 5. Определить абсолютную погрешность прибора (рисунок 11).

Амперметр имеет класс точности 0,5 , шкала рассчитана на 2,5 А. Отсюда абсолютная погрешность

$$\Delta A = \pm 0,005 \cdot 2,5 = \pm 0,0125 (А) .$$

Относительная погрешность (ε) есть отношение абсолютной погрешности ΔA к измеряемой величине A , выраженное в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\% .$$

Отсюда относительная погрешность будет тем больше, чем меньше измеряемая величина.

Если измерить ток, равный 2 (А) (рисунок 11), то $\varepsilon=0,0125/2 \cdot 100\%=0,625\%$, а при измерении тока в 0,5 (А) $\varepsilon=0,0125/0,5 \cdot 100\%=2,5\%$.

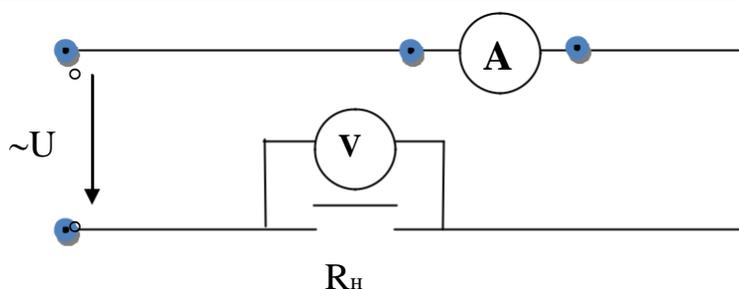


Рисунок 12 — Схема подключения к нагрузке амперметра и вольтметра

Поэтому при точных измерениях необходимо выбирать прибор, предел измерения которого достаточно близок к предполагаемому значению измеряемой величины!

Сила тока в цепи измеряется амперметрами, которые подключаются последовательно к нагрузке (рис. 12). Амперметры имеют малое

внутреннее сопротивление, чтобы заметно не изменять силу тока в цепи. Слабые токи измеряют милли - (микро) амперметрами (токи порядка 10^{-6}).

Электрическое напряжение измеряют вольтметром. Вольтметр подключается к нагрузке параллельно (рис. 12) тому участку цепи, на котором производят замер данной величины. Для того чтобы вольтметр заметно не изменял параметра цепи (сопротивления R измеряемого участка цепи) его внутреннее сопротивление должно значительно превосходить сопротивление участка цепи (порядка 10-20 раз).

Для измерений малых напряжений используют милливольтметры (10^{-3} В), а очень больших – киловольтметры (10^3 В).

Для измерения очень малых токов и напряжений применяют гальванометры. Цена деления этих приборов указывается на шкале.