**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

**1.2. Классификация приборов непосредственной оценки**

Основной характеристикой прибора является система измерительного механизма – способ преобразования измеряемой электромагнитной величины в силу, перемещающую подвижную часть электроизмерительного прибора. Различают магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, ферродинамическую, электростатическую, термоэлектрическую и другие системы.

В зависимости от возможных значений токов и напряжений  в измеряемых цепях приборы непосредственной оценки подразделяют на микроамперметры, миллиамперметры, амперметры, килоамперметры, милливольтметры, вольтметры и киловольтметры.

Приборы для измерения силы тока включают в цепь последовательно, а для измерения напряжения – параллельно участку цепи (нагрузке, источнику напряжения и т. д.) [2].

**1.2.1. Приборы магнитоэлектрической системы**

Приборы магнитоэлектрической системы бывают двух разновидностей: с подвижной рамкой (рис. 1.1, *а*) и с подвижным магнитом (рис. 1.1, *б*) [2].

|  |  |
| --- | --- |
| http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image002.gif | **Устройство.** Измерительный механизм приборов магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой (рис. 1.1, *а*) состоит:  – из неподвижного цилиндрического сердечника 1, установленного строго по центру;  – из подвижной рамки 2 – легкого алюминиевого каркаса с обмоткой из тонкой (0,02–0,2 мм) медной или алюминиевой проволоки;  – из полюсных наконечников 3, 7;  – из постоянного магнита, изготовленного из высококачественной стали 5;  – из магнитопроводов 4, 6.  В воздушном зазоре между полюсными наконечниками создается магнитное поле с постоянной магнитной индукцией http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image004.gif. |

Измеряемый ток http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image006.gif пропускают в обмотку рамки через две спиральные пружины, создающие противодействующий момент.

Специальные успокоители не применяются: колебание прекращается под воздействием поля постоянного магнита. В целях увеличения момента успокоения на рамку иногда наматывают несколько короткозамкнутых витков.

Кроме приборов с подвижной рамкой применяют, но значительно реже, приборы с подвижным или внутрирамочным магнитом. Подвижной магнит жёстко крепят на оси, он перемещается в магнитном поле, пропорциональном протекающему току.

При непосредственном включении приборов в измеряемую цепь можно измерить небольшие токи (15–30 мА) или напряжения (от 45 мВ до нескольких вольт). Для расширения пределов измерений применяются дополнительные устройства: шунты и добавочные резисторы.

**Принцип действия*.*** Подвижная часть перемещается в результате взаимодействия поля постоянного магнита с магнитным полем проводника с током.

На рамку действуют силы http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image008.gif, направление которых определяют по правилу левой руки. Под действием этих сил рамка поворачивается на угол http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image010.gif:

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image012.gif,                                            (1.1)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image013.gif – магнитная индукция в зазоре; http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image015.gif– сила тока, протекающего по рамке; http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image017.gif – длина стороны рамки; http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image019.gif – число витков обмотки рамки.

Создается вращающий момент:

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image021.gif,                                            (1.2)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image023.gif – ширина рамки.

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image025.gif,                                 (1.3)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image027.gif – площадь рамки.

При повороте рамки возникает противодействующий момент:

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image029.gif,                                           (1.4)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image031.gif – удельный противодействующий момент упругого элемента измерительного механизма.

Противодействие вращению рамки оказывает пружина.

В установившемся режиме http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image033.gif. Поэтому угол поворота рамки

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image035.gif,                                    (1.5)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image037.gif – чувствительность прибора по току.

Из формулы видно, что угол отклонения http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image039.gif пропорционален току http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image040.gif,   
т. е. шкала прибора равномерная.

Угол отклонения можно выразить через входное сопротивление прибора http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image042.gif и напряжение, приложенное на его зажимах:

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image044.gif,                      (1.6)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image046.gif – постоянная прибора по току; http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image048.gif – постоянная прибора по напряжению.

При изменении направления измеряемого тока меняется направление отклонения рамки, в связи с этим следует учитывать полярность тока.

Из-за инерционности подвижной части прибор не реагирует на переменный ток промышленной частоты, если отсутствует постоянная составляющая. В противном случае прибор показывает её значение (рис. 1.2).

**Достоинства:**

– высокая чувствительность, обусловленная сильным собственным магнитным полем, поэтому даже при малых токах создается достаточный вращающий момент. Ток полного отклонения: 0,01 мкА;

– высокая точность вследствие высокой стабильности элементов измерительного механизма (ИМ). Класс точности: 0,05 или 0,1;

– малая потребляемая мощность (до десятых долей Ватта).

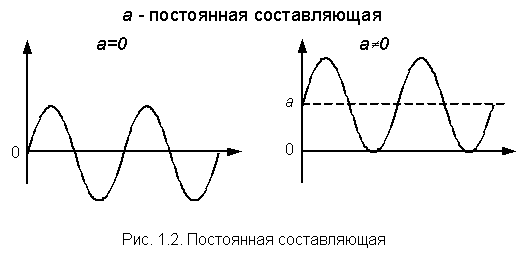
– незначительное влияние внешних магнитных полей благодаря сильному собственному магнитному полю;

– хорошее успокоение, объясняемое наличием постоянного магнита;

– равномерная шкала (у приборов с подвижной рамкой);

– простая конструкция, устойчивость к перегрузкам (у приборов с подвижным магнитом), так как измеряемый ток протекает непосредственно по катушке, а не по спиральным пружинам;

– чувствительность прибора не зависит от угла поворота рамки.



**Недостатки:**

) *приборов с подвижной рамкой*:

– сложность и высокая стоимость конструкции;

– низкая перегрузочная способность, обусловленная перегревом противодействующих (токоведущих) пружин и изменением их свойств;

) *приборов с подвижным магнитом*:

– большая масса;

– инерционность подвижной части;

– температурные влияния на точность измерения.

**Область применения:**

– в многопредельных, широкодиапазонных вольтметрах, амперметрах в цепях постоянного тока;

– в гальванометрах – высокочувствительных измерительных приборах с неградуированной шкалой;

– в логометрах (двухрамочных механизмах);

– в сочетании с преобразователями переменного тока в постоянный приборы используют при измерении в цепях переменного тока и при измерении сопротивлений.

**1.2.2. Приборы электромагнитной системы**

Среди приборов электромагнитной системы различают приборы с плоской (рис. 4, *а*) и с круглой катушкой (рис. 1.3, *б*) [2].

**Устройство:**

– неподвижная плоская (рис. 1.3, *а*) или круглая (рис. 1.3, *б*) катушка 1;

– подвижный ферромагнитный сердечник 2из магнитомягкого материала, жестко связанный с осью;

– ось 3;

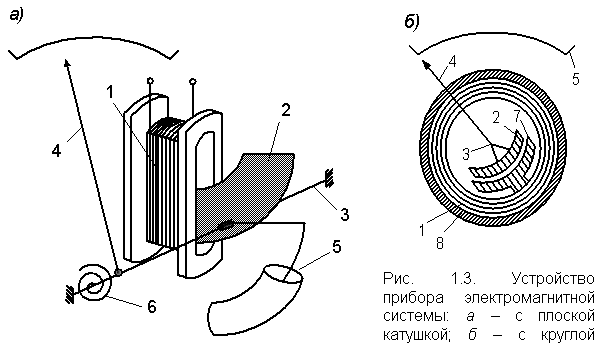
– стрелка 4;

– успокоитель 5;

– спиральная противодействующая пружина 6;

– неподвижный сердечник 7;

– экран 8.



Катушки амперметров наматывают медным проводом диаметром 0,6 мм и более. Приборы для измерения силы тока до 5 А имеют обмотку из 40–50 витков медного провода диаметром до 1 мм. При токе около 250 А катушку выполняют из медной шины. Катушки вольтметров наматывают медным изолированным проводом диаметром 0,08–0,15 мм (при напряжении свыше 100 В) и 0,4 мм (при напряжении до 15 В).

**Принцип действия.** Передвижение подвижной части измерительного механизма происходит в результате взаимодействия магнитных полей неподвижной катушки и одного или нескольких подвижных сердечников из ферромагнитных материалов.

При протекании тока по катушке **в приборах с плоской катушкой** (рис. 1.3, *а*) возникает магнитное поле, сердечник намагничивается и втягивается в щель каркаса катушки, поворачивая ось со стрелкой.

**В приборах с круглой катушкой** (рис. 1.3, *б*) вращающий момент создается при взаимодействии подвижной и неподвижной пластин. При протекании тока по катушке вращающий момент создается при взаимодействии подвижной и неподвижной пластин. Обе пластины намагничиваются одинаковой полярностью и взаимодействуют друг с другом. Подвижной сердечник смещается (отталкивается), поворачивая стрелку*.*

Противодействующий момент создается спиральной пружиной.

Сила http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image005.gif, действующая на сердечник, пропорциональна магнитной индукции в щели катушки http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image007.gif и в сердечнике http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image009.gif:

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image011.gif, (1.7)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image014.gif – коэффициент пропорциональности.

Приближенно индукция пропорциональна силе протекающего тока , поэтому

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image018.gif.(1.8)

Вращающий момент http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image020.gif.

Противодействующий момент http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image022.gif.

При равенстве моментов http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image024.gif.

Шкала прибора – квадратичная, сжатая вначале. При измерении переменного тока её показания пропорциональны действующему значению напряжения.

При измерении переменного тока или напряжения сердечник одновременно с изменением магнитного поля рабочей катушки перемагничивается. Знак угла поворота (направление вращающего момента) подвижной части не зависит от направления тока в катушке, что позволяет измерять переменные токи и напряжения без дополнительных преобразователей.

|  |  |
| --- | --- |
| **http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image026.gif** | **Устройство прибора с астатическим измерительным механизмом** (рис. 1.4) [2]. Для устранения воздействия на приборы внешних магнитных полей их помещают в металлический корпус. В лабораторных приборах с этой же целью применяют астатический измерительный механизм (рис. 1.4), состоящий:  – из двух катушек 1, 6;  – из двух сердечников 4, 5, насаженных на одну ось 3 со стрелкой 2.  **Принцип действия.** Обмотки катушек включены встречно по отношению к измеряемому току (напряжению). Их магнитные потоки *Ф1* и *Ф2* направлены противоположно. Но сердечники конструктивно укреплены на оси так, что вращающие моменты, создаваемые магнитными полями, направлены в одну сторону. Внешнее магнитное поле *Ф3* имеет направление, ослабляющее поле*Ф1* и усиливающее поле *Ф2* в одинаковой степени. Поэтому общий вращающий момент не изменяется, а внешнее магнитное поле не влияет на показания прибора. |

**Достоинства:**

– возможность измерения переменного тока без использования дополнительных преобразователей;

– устойчивость к кратковременным перегрузкам (до стократной перегрузки по току в приборах специальной конструкции);

– простота конструкции, относительная дешевизна.

**Недостатки:**

– неравномерность шкалы;

– восприимчивость к внешним магнитным полям;

– относительно низкая чувствительность;

– невысокая точность показаний;

– большое потребление энергии.

**Область применения:**

– в щитовых приборах для измерения токов и напряжений на подвижных и стационарных объектах;

– в переносных приборах для измерения токов и напряжений в устройствах автоматики, телемеханики, связи и энергетики;

– в лабораторных приборах для измерения параметров реле автоблокировки и других устройств в контрольно-измерительных пунктах (КИП).

**1.2.3. Приборы электродинамической системы**

|  |  |
| --- | --- |
| http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image030.gif | **Устройство:** Измерительный механизм (рис. 1.5) [2] включает:  – подвижную катушку 1;  – неподвижную катушку 2, которая разделена на две части, расположенные на некотором расстоянии друг от друга для создания равномерного магнитного поля ;  – ось 3;  – стрелку 4.  На оси прибора жестко закреп­лены подвижная катушка, указательная стрелка с балансными грузиками, магнитоиндукционный или воздушный успокоитель и концы двух противодействующих токопроводящих пружин. Противоположные концы пружин соединены с неподвижной катушкой. Одна из пружин соединена с рычажком корректора для установки стрелки на нуль. |

Катушки приборов электродинамической системы, в зависимости от рода измеряемой величины, имеют свои особенности. У амперметров неподвижную катушку наматывают медным проводом диаметром 1–1,5 мм (несколько десятков витков), а подвижную – тонким алюминиевым проводом диаметром десятые доли миллиметра (до 250 витков). У вольтметров неподвижная катушка разделена на две части, каждая содержит по 1700 витков изолированного медного провода диаметром 0,2–0,27 мм. Подвижная катушка состоит из 200 витков алюминиевого изолированного провода такого же диаметра. У ваттметров неподвижная катушка такая же, как у амперметров, а подвижная, как у вольтметров.

**Принцип действия.** Перемещение подвижной части прибора происходит в результате взаимодействия магнитных полей подвижной и неподвижной катушек, по которым протекает измеряемый ток. При этом подвижная катушка стремится изменить свое положение таким образом, чтобы направления магнитных полей совпали. Возникающий вращающий момент пропорционален силе взаимодействия магнитных полей:

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image032.gif;                                                       (1.9)

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image034.gif,                                                   (1.10)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image036.gif и http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image038.gif коэффициенты пропорциональности, http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image041.gif зависит от конструкции прибора.

Отсюда

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image043.gif.                              (1.11)

Равновесие подвижной части прибора наступает при равенстве вращающего и противодействующего моментов: http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image045.gif, т. е.

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image047.gif.                                      (1.12)

Угол поворота подвижной катушки

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image049.gif.                                 (1.13)

При изменении полярности тока изменяются направления токов в обеих катушках, а направление вращающего момента не изменяется, что позволяет применять эти приборы для измерений в цепях переменного и постоянного токов.

При измерении переменного тока

http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image051.gif,                                    (1.14)

где http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image052.gif угол сдвига фаз токов http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image053.gif и http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/YAT/TELECOMM/METR_SERT/METOD/LAB/ris/clip_image054.gif.

Шкала прибора квадратична, начальные 20 % шкалы считают нерабочими. При измерении малых токов до 0,5 А катушки амперметра соединяют последовательно, а при измерении больших токов свыше 0,5 А – параллельно. Катушки вольтметра соединяют последовательно друг с другом. Шкала прибора квадратична. Катушки ваттметра соединяют параллельно друг с другом. Шкала ваттметра линейна.

**Достоинства:**

– высокая точность;

 – пригодность для измерений разных физических величин в цепях переменного и постоянного токов.

**Недостатки:**

– малая чувствительность;

– чувствительность к перегрузкам;

– чувствительность к воздействию внешних магнитных полей;

– большая потребляемая мощность;

– ограниченный частотный диапазон (до 1,5 кГц).

**Область применения:**

– в приборах для измерения постоянных и переменных токов и напряжений;

– в качестве образцовых приборов (класс точности 0,1; 0,2 и 0,5) при поверке и градуировке.