

Электромеханические измерительные приборы

1. Основы теории и конструкции электромеханических измерительных приборов прямого действия.
2. Электромагнитные механизмы и приборы.
3. Магнитоэлектрические приборы.

1

Электромеханический измерительный прибор прямого действия (аналоговый прибор) представляет собой прибор, в котором положение подвижной части зависит от значения измеряемой величины.

Структурная схема такого прибора представлена на рис.1.

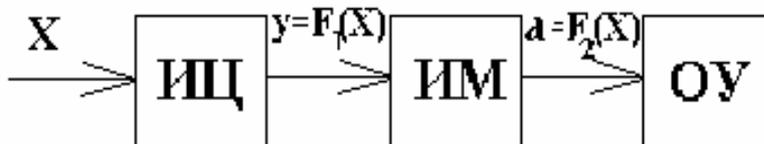


Рис.1

Где: ПЭ – *преобразующий элемент*. В нем происходит одно из ряда последовательных преобразований измеряемой величины X в функционально связанную с ней электрическую величину Y . Функцию ПЭ выполняет **измерительная цепь**.

ИМ - *измерительный механизм прибора*. Он состоит из элементов, взаимодействие которых вызывает перемещение подвижной части. В таком механизме электромагнитная энергия, пропорциональная величине Y , преобразуется в пропорциональную механическую энергию перемещения подвижной части.

ОУ – *отсчетное устройство*. Это часть конструкции прибора, предназначенная для отсчитывания значений измеряемой величины. Отсчетное устройство состоит из **шкалы** и **указателя**. На шкалы наносятся отметки, обычно в виде короткой вертикальной черты, соответствующие некоторым значениям измеряемой величины. Интервал между двумя отметками называется **делением шкалы**. Отметки, у которых проставлены цифры, называют **цифровыми отметками**. Шкалы могут быть **равномерными** (деления постоянной длины) и **неравномерными** (деления непостоянной длины).

Отсчет значения измеряемой величины по шкале прибора производится с помощью **указателя**. Различают два вида указателей: **указатель, представ-**

ляющий собой стрелку, конец которой выполнен в форме, обеспечивающей отсчет показаний с необходимой точностью и световой указатель в виде луча света («зайчик») образующего на шкале световое пятно с индексом, по которому производится отсчет показаний.

В приборах с указателем в виде стрелки, жестко скрепленной с подвижной частью измерительного механизма, отсчет значения измеряемой величины производится по положению указывающей части стрелки у шкалы прибора. В лабораторных приборах повышенных классов точности при использовании подобных указателей для уменьшения погрешности отсчета от *параллакса*, возникающего из-за того, что угол зрения наблюдающего относительно плоскости шкалы прибора отличается от прямого, применяют специальные приспособления. Наиболее распространенным из них является **зеркальная шкала**. (рис.2)

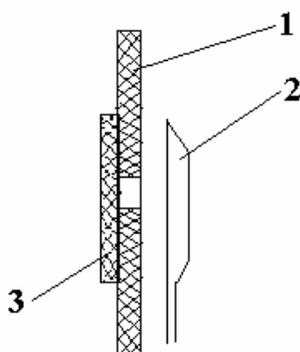


Рис.2

На циферблате 1 устанавливается на всю длину узкая полоска зеркала 3. Экспериментатор перед проведением отсчета совмещает отражение стрелки 2 в зеркале с самой стрелкой. Только после этого производится отсчет.

Общие узлы и детали электроизмерительных приборов.

В зависимости от назначения принципа действия аналоговые приборы имеют различные конструкции и типы измерительных механизмов. Несмотря на конструктивные различия приборов, они имеют много общих элементов.

1. **Корпус** прибора служит для крепления всех узлов и деталей и для предохранения их от внешних воздействий. Корпус может быть различной формы из металла, пластмассы или дерева.

2. **Неподвижная часть** у большинства приборов представляет собой катушку (с магнитопроводом или без). Некоторые приборы имеют подвижную часть, выполненную в виде постоянного магнита или проводника (пластины).

3. **Подвижная часть** приборов выполняется в виде постоянного магнита, катушки или проводника (диска). Для вращения ее крепят на оси в **опорах** (подпятниках) или подвешивают на **растяжках** или **подвесах**.

Для создания противодействующего момента большинство приборов снабжены токопроводящими спиральными или ленточными **пружинами**, выполненными из бронзы. Вращающий момент, возникающий в измерительном механизме, закручивает противодействующую пружину до тех пор пока вращающий момент не станет равным противодействующему. Чаще всего применяют две пружины, устанавливая их с разных сторон подвижной части механизма.

Растяжки применяются у приборов высокой точности. Они представляют собой металлические ленточки из бронзы, платины и др. Растяжки устанавливаются с обеих сторон подвижной части. Таким образом они не только создают противодействующий момент, но и укрепляют подвижную часть. Если растяжка устанавливается над подвижной частью прибора, она называется **подвесом**. Применение растяжек и подвесов позволяет исключить трение в подпятниках и повышает чувствительность измерительных механизмов.

4. **Успокоитель** необходим для обеспечения требуемого времени успокоения подвижной части прибора. В аналоговых приборах применяют **воздушные**, **магнитоиндукционные** и **жидкостные** успокоители.

Воздушный успокоитель (рис.3) представляет собой закрытую камеру 1, в которой перемещается легкое алюминиевое крыло или поршень 2, соединенное с осью прибора 3. При перемещении последней между частями камеры создается перепад давлений, вызывающий торможение крыла, способствующее успокоению подвижной части.

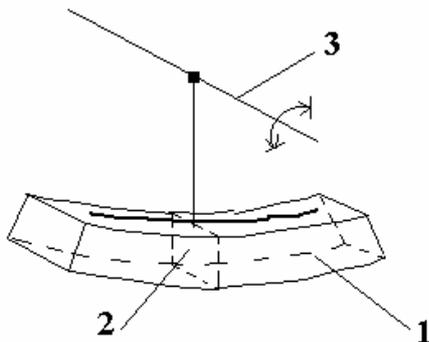


Рис.3

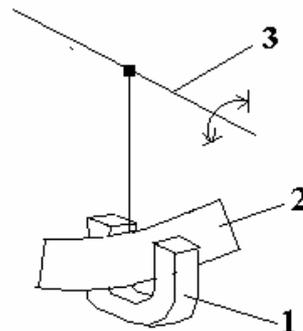


Рис.4

Магнитоиндукционный успокоитель (рис.4) состоит из постоянного магнита 1, между полюсами которого перемещается сердечник (лепесток) 2 из немагнитного материала. При перемещении подвижной части прибора 3 в сердечнике индуцируется ток, который, взаимодействуя с полем постоянного магнита, создает успокоительный момент.

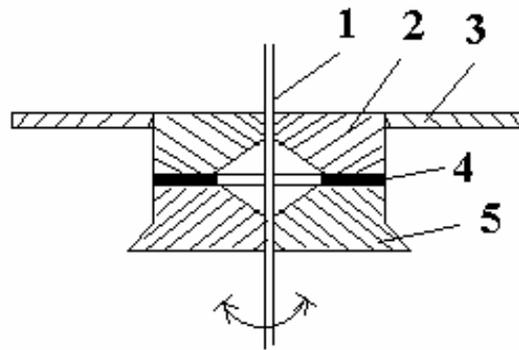


Рис.5

Жидкостный успокоитель (рис.5) использует свойства кремнийорганических жидкостей. Он состоит из двух дисков 2 и 5, один из которых укреплен на подвижной части прибора, а другой – на неподвижной (3). В зазоре между дисками за счет сил поверхностного натяжения удерживается невысыхающая кремнийорганическая жидкость (**полисилоксановая**) 4. Успокоение подвижного диска происходит а счет вязкости жидкости и из-за трения между ее слоями.

5. **Корректор** необходим для установки указателя против нулевой отметки шкалы при выключенном приборе. Иногда в результате механических изменений в узлах и деталях, изменений температуры стрелка смещается с нулевого положения. Влияние этих факторов можно устранить при помощи корректора, снабженного поводковым устройством, связывающим его с подвижной частью прибора. Корректирование осуществляется при помощи как специальной ручки, так и с помощью эксцентрика со шлицем под отвертку.

6. **Арретир** – позволяет неподвижно закрепить (или закоротить) подвижную часть прибора при его транспортировке или монтаже. Применяется в основном на приборах высокой точности.

7. **Ограничитель** – ограничивает ход стрелки в пределах шкалы. Представляет собой тонкий металлический стерженек, на который надета пластмассовая трубочка.

Моменты, действующие на подвижную часть прибора

Механические силы, действующие на подвижную часть прибора, создают *вращающий момент*. Его значение зависит от полученной после преобразования электрической величины $У$ и взаимного расположения подвижной и неподвижной частей измерительного механизма (углом α).

$$M_{вр} = y^n F(a) = dW_{э}/d\alpha$$

Где n – коэффициент, зависящий от типа прибора и в большинстве случаев равный 1 и 2;

$dW_{\text{э}}/d\alpha$ - производная электромагнитной энергии по углу перемещения подвижной части.

При воздействии на подвижную часть прибора только вращающего момента измеряемую величину определить невозможно, т.к. указатель будет перемещаться на бесконечный угол (прибор попросту зашкалит). Чтобы угол отклонения указателя от исходного состояния зависел от значения измеряемой величины, необходим **противодействующий момент**. Этот момент может создаваться в приборе при помощи **спиральных пружин** или **за счет закрутки растяжек (подвесов)** или за счет **взаимодействия поля катушек (в логометрах) и поля постоянного магнита**.

В первом случае противодействующий момент пропорционален углу закручивания пружины или растяжки

$$M_{\text{пр}} = \alpha W$$

Где **W** – **удельный противодействующий момент**, зависящий от размеров пружины и ее материала.

Перемещение подвижной части прибора прекратится, когда вращающий момент станет равным противодействующему.

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}$$

При достижении этого равенства подвижная часть и указатель устанавливаются в положение, соответствующее измеряемой величине. Значение **угла поворота подвижной части**

$$\alpha = (y^n / W) F(\alpha)$$

где $F(\alpha)$ – функция преобразования энергии в зависимости от угла закручивания противодействующей пружины в механизме прибора.

2

Принцип действия электромагнитных приборов основан на взаимодействии магнитного поля неподвижной катушки, создаваемого измеряемым током, с одним или несколькими подвижными ферромагнитными сердечниками. Устройство такого прибора показано на рис.6.

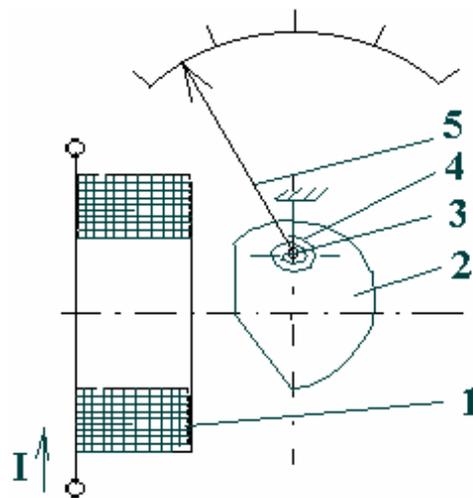


Рис.6

В конструкцию такого прибора входят **неподвижная катушка 1** круглой или плоской формы, **ферромагнитный сердечник 2**, выполненный в виде тонкой пластины, укрепленной на **оси 3**, и **противодействующая спиральная пружина 4**. **Указатель отсчетного устройства прибора (стрелка) 5** жестко укреплен на оси вращения сердечника. Успокоение подвижной части механизма – воздушное или жидкостное.

При включении такого прибора в измеряемую цепь на подвижный сердечник действует сила, втягивающая его в полость катушки до тех пор, пока энергия магнитного поля не станет наибольшей. Тогда вращающий момент будет пропорционален производной энергии поля по углу перемещения

$$M_{вр} = dW_{\text{э}}/d\alpha = \frac{1}{2} I^2 dL/d\alpha$$

Где $dW_{\text{э}}/d\alpha$ - производная энергии по углу;

$dL/d\alpha$ - производная индуктивности катушки по углу.

Угол отклонения подвижной части прибора определится как

$$\alpha = \frac{1}{2} I^2 / W \quad dL/d\alpha$$

Из этого можно сделать вывод, что шкала такого прибора *неравномерная*, что является его недостатком.

Вследствие того, что собственное магнитное поле прибора слабое, т.к. оно замыкается по воздуху, на работу прибора влияют посторонние поля. Для уменьшения этого применяют *экранирование* или *астатирование*.

С целью *экранирования* механизм помещают в ферромагнитную оболочку (экран) с высокой магнитной проницаемостью. При этом внешнее магнитное поле, замыкаясь по экрану, практически не проникает к механизму.

Для **астатирования** прибора его неподвижную катушку наматывают из двух секций, а на подвижной оси укрепляют два ферромагнитных сердечника, образующих с секциями катушки два механизма с одной подвижной частью. Если секции включить встречно, то при включении прибора будут возникать два одинаковых магнитных потока, направленные в противоположные стороны. Поэтому внешний (влияющий) магнитный поток ослабляет поток одной секции и усиливает другой, в связи с чем вращающий момент прибора останется неизменным.

Для измерения в цепях переменного тока применяют **электромагнитные логометры**. Механизм такого прибора состоит из двух несвязанных (в отличие от астатического электромагнитного механизма) неподвижных катушек и двух сердечников, укрепленных на общей оси. Общий вид электромагнитного логометра представлен на рис.7.

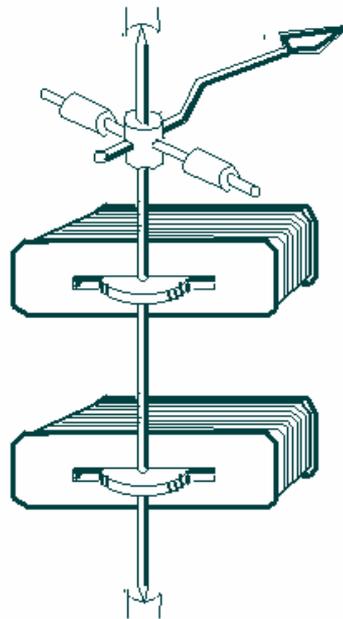


Рис. 7

Электромагнитные логометрические механизмы используют в основном **в фазометрах**.

Достоинства и недостатки электромагнитных приборов.

- Достоинства.**
1. Возможность применения в цепях как постоянного, так и переменного тока.
 2. Высокая перегрузочная способность.
 3. Возможность непосредственного измерения больших токов и напряжений.
 4. Простота конструкции.
 5. Высокая надежность.
 6. Невысокая стоимость.

- Недостатки.**
1. Неравномерная шкала.
 2. Невысокая чувствительность (особенно в начале диапазона измерений).
 3. Большое собственное потребление мощности.

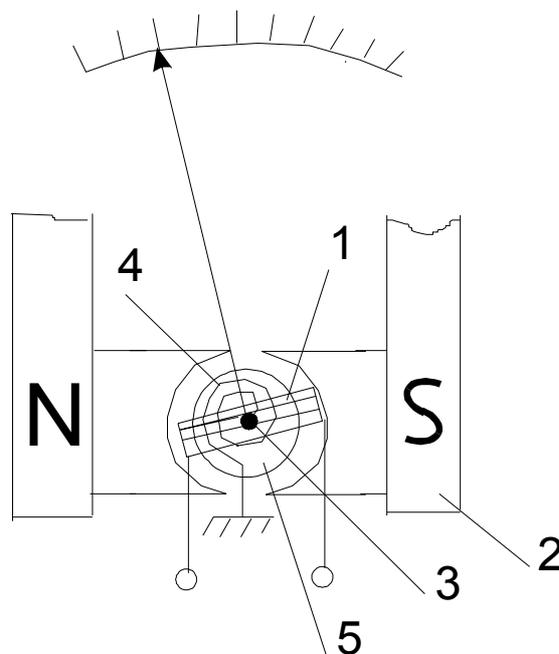
Примерами электромагнитных приборов могут служить электромагнитные амперметры и вольтметры ЭЗ65, установленные на лабораторном стенде.

3

Принцип действия магнитоэлектрических приборов основан на **взаимодействии поля постоянного магнита и поля контура с током**. Возникающий при этом вращающий момент поворачивает подвижную часть (катушку или постоянный магнит) относительно неподвижной. Соответственно, механизмы таких приборов выполняются с **подвижной катушкой (рамкой)** или с **подвижным магнитом**.

Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой имеет **постоянный магнит 2** (рис.8) с **полюсными наконечниками 3**.

Между наконечниками расположен неподвижный **сердечник цилиндрической формы 5** из магнитного материала. Магнит, полюсные наконечники и сердечник необходимы для создания радиального магнитного поля.



В пространстве между сердечником и полюсными наконечниками помещается прямоугольная **подвижная катушка (рамка) 1** из тонкого провода, иногда намотанного на алюминиевый каркас. Измеряемый ток подводится к

катушке через две **спиральные пружины 4**, создающие противодействующий момент. **Указатель (стрелка)**, укрепленная на **оси 3** и **шкала** образуют отсчетное устройство прибора.

При протекании измеряемого тока по подвижной рамке механизма, на часть витков, находящихся в равномерном магнитном поле, действуют силы, создающие **вращающий момент**:

$$M_{вр} = BS\omega I$$

где B - магнитная индукция в воздушном зазоре;

S - активная площадь катушки;

ω - число витков катушки;

I - ток, протекающий через катушку.

Установившееся положение подвижной катушки наступит при равенстве вращающего и противодействующего моментов, то есть

$$M_{вр} = M_{пр}$$

$$BS\omega I = \alpha W$$

Тогда **угол отклонения** указателя прибора

$$\alpha_y = BS\omega I / W = SI$$

То есть *отклонение подвижной части пропорционально силе тока*. Следовательно, шкала магнитоэлектрического прибора - равномерная.

***** Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом ИЗУЧИТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНО.**

Магнитоэлектрические приборы измеряют только постоянный ток, т.к. при переменном токе создаются то положительный, то отрицательный моменты, а поскольку стрелка обладает определенной инерцией, то она остается на месте.

Магнитоэлектрические измерительные механизмы применяют в амперметрах, вольтметрах, гальванометрах и иногда в омметрах.

Кроме однорамочных магнитоэлектрических приборов получили распространение также двухрамочные приборы - *логометры* (**ИЗУЧИТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНО**).

Достоинства и недостатки магнитоэлектрических приборов.

Достоинствами данных приборов являются : большая чувствительность, малое собственное потребление мощности, малое влияние внешних магнитных полей благодаря сильному собственному магнитному полю, равномерная шкала.

Недостатки: сложность конструкции, высокая стоимость, чувствительность к перегрузкам и изменениям тока, работа только на постоянном токе.