

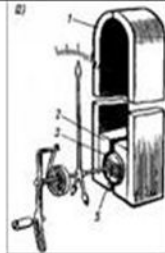


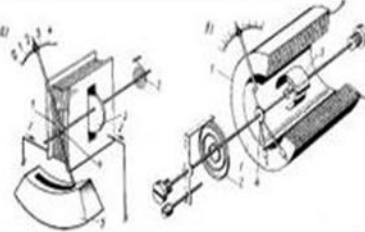
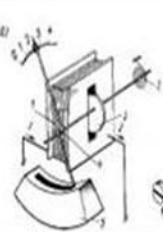
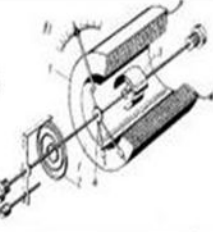
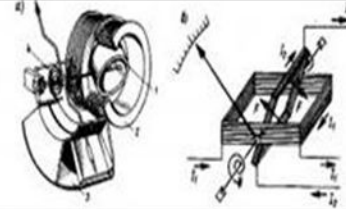

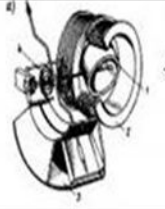
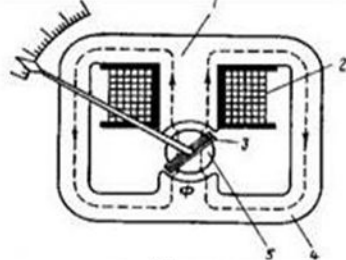


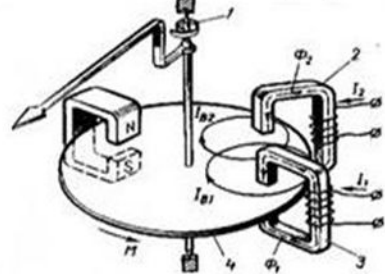

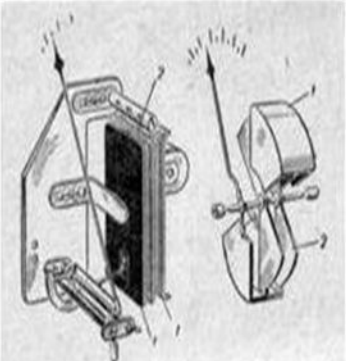

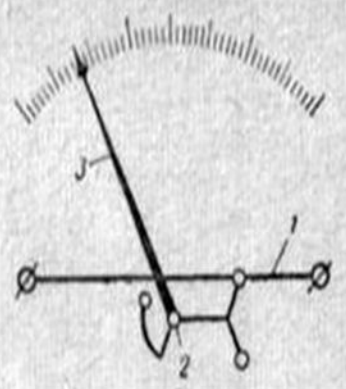


# \* Электроизмерительные приборы

Приборы	Условное обозначение	Принцип действия	Чувствительность прибора	Схема	Применение прибора
Магнитоэлектрические приборы	 - с подвижной рамкой  - логометр	Основано на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и поля контура с током. Возникающий момент вызывает перемещение подвижной части (катушки с током или постоянного магнита) относительно неподвижной	Чувствительность к перегрузкам (при перегрузке тонкая проволока катушки и спиральные пружины, подводящие к ней ток, могут сгореть).		Приборы магнитоэлектрической системы применяют для измерения тока и напряжения в электрических цепях постоянного тока. В частности, на э.п.с. и тепловозах их используют в качестве амперметров и вольтметров.
Электромагнитные приборы	  - логометр	Основано на взаимодействии магнитного поля, создаваемого катушкой 1 со стальным сердечником 3, помещенным в поле этой катушки.	Невысокая точность, малая чувствительность, неравномерность шкалы и зависимость показаний от внешних магнитных полей и частоты переменного тока.		Электромагнитные приборы используют для измерения тока и напряжения в промышленных установках переменного тока.
Электродинамические приборы	  - логометр	Основано на взаимодействии двух катушек, обтекаемых электрическим током.	Сильное влияние внешних магнитных полей на точность измерений, чувствительность к перегрузкам.		Электродинамические приборы применяют обычно в качестве точных лабораторных приборов, а также в качестве ваттметров и счетчиков электрической энергии в цепях постоянного тока.
Ферродинамические приборы	  - логометр	Основано на том же принципе, что и приборов электродинамической системы			Ферродинамические приборы используют в качестве щитовых амперметров, ваттметров и вольтметров, работающих в условиях тряски и вибраций (например, на э. п. с. переменного тока).
Индукционные приборы	  - логометр	Эта система характеризуется применением нескольких неподвижных катушек, питаемых переменным током и создающих вращающееся или бегущее магнитное поле, которое индуцирует токи в подвижной части прибора и вызывает ее движение.	Высокая стойкость к перегрузкам, большой вращающий момент и малая чувствительность к внешним магнитным полям.		Индукционные приборы, так же как и электродинамические, могут быть использованы в качестве амперметра, вольтметра и ваттметра.

<p>Электростатическая система</p>		<p>Принцип работы э/с измерительных приборов на взаимодействии заряженных электродов, разделенных диэлектриком.</p>	<p>Большая чувствительность из-за слабого собственного электрического поля; невысокая точность; возможность пробоя между электродами; необходимость экрана</p>		<p>Э/с вольтметры применяют в цепях с маломощными источниками и при лабораторных исследованиях в цепях высокого напряжения. Совместно с электронными усилителями э/с вольтметры используют как высокочувствительные электрометры и вольтметры переменного тока.</p>
<p>Тепловая система</p>		<p>Тепловые приборы основаны на удлинении тонкой металлической нити, по которой проходит ток, нагревающий нить</p>	<p>Стремясь увеличить чувствительность прибора, допускают довольно сильный нагрев нити при номинальном токе (до 300° С), что, естественно, уменьшает предел допустимой перегрузки прибора.</p>		<p>Тепловые приборы применяются как на постоянном, так и на переменном токе. Благодаря ничтожной индуктивности нити, показания тепловых приборов не зависят от изменения частоты в широких пределах. Это обстоятельство позволяет применять тепловые приборы в цепях переменного тока высокой частоты.</p>

# \* Магнитоэлектрические приборы

## Устройство и принцип действия.

Магнитоэлектрический измерительный механизм (рис. 321,а) выполнен в виде постоянного магнита 1, снабженного полюсными наконечниками 2, между которыми укреплен стальной сердечник 3. В кольцеобразном воздушном зазоре, образованном полюсными наконечниками и сердечником, помещена подвижная катушка 5, намотанная на алюминиевый каркас 6 (рис. 321,б). Катушка выполнена из очень тонкого провода и укреплена на оси, связанной со стрелкой спиральными пружинами 4 или растяжками. Через эти же пружины или растяжки осуществляется подвод тока к катушке.

При прохождении тока  $I$  по катушке на каждый из ее проводников будет действовать электромагнитная сила. Суммарное действие всех электромагнитных сил создает вращающий момент  $M$ , стремящийся повернуть катушку и связанную с ней стрелку при бора на некоторый угол  $\alpha$ .

Так как индукция  $B$  магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом, неизменна и не зависит от тока  $I$ , то

$$M = c_1 I$$

где  $c_1$  – постоянная величина, зависящая от конструктивных параметров данного прибора (числа витков катушки, ее размеров, индукции  $B$  в воздушном зазоре).

Повороту подвижной части измерительного механизма препятствует противодействующий момент  $M_{пр}$ , создаваемый спиральными пружинами или растяжками. Этот момент пропорционален углу закручивания, т. е. углу поворота  $\alpha$  подвижной части; при этом

$$M_{пр} = c_2 \alpha$$

где  $c_2$  – постоянная величина, зависящая от жесткости спиральных пружин или растяжек. Поворот подвижной части измерительного механизма и стрелки будет продолжаться до тех пор, пока вращающий момент  $M$ , создаваемый током  $I$ , не уравнивается противодействующим моментом  $M_{пр}$ . В момент равновесия  $M = M_{пр}$ , откуда получим:

$$\alpha = (c_1 / c_2) I = k I$$

Следовательно, угол поворота  $\alpha$  подвижной части пропорционален измеряемому току  $I$ . Поэтому магнитоэлектрические приборы имеют равномерную шкалу.

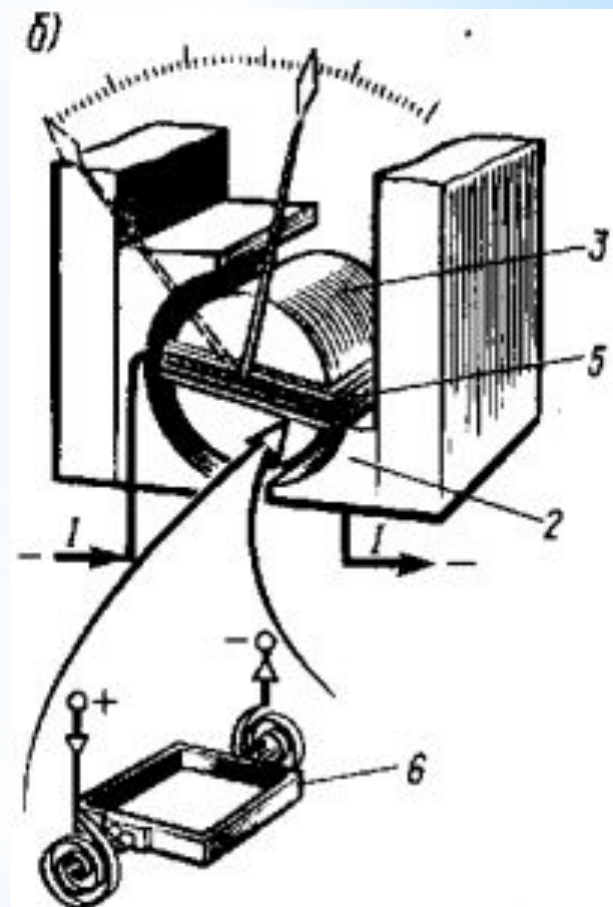
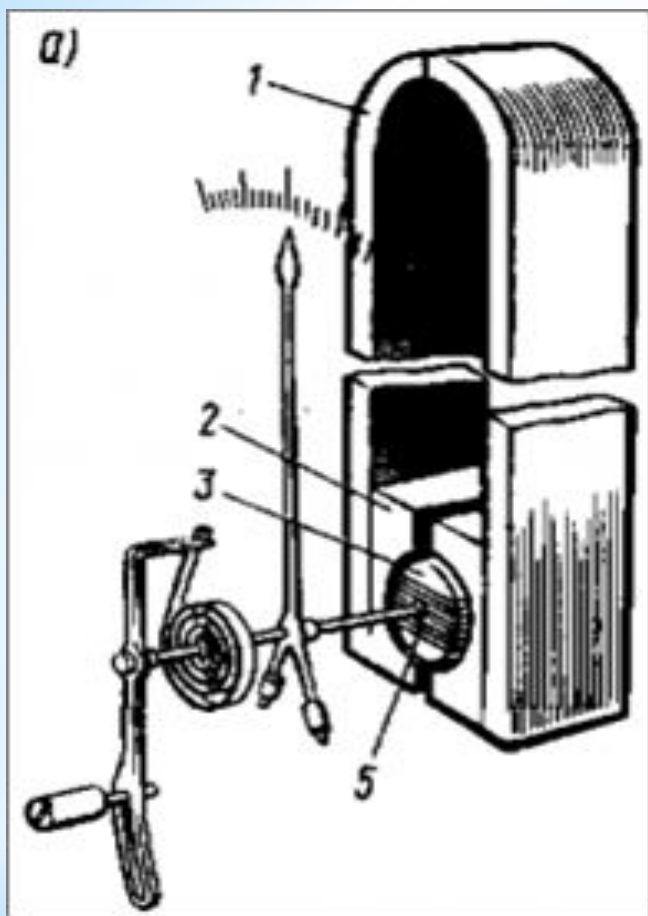
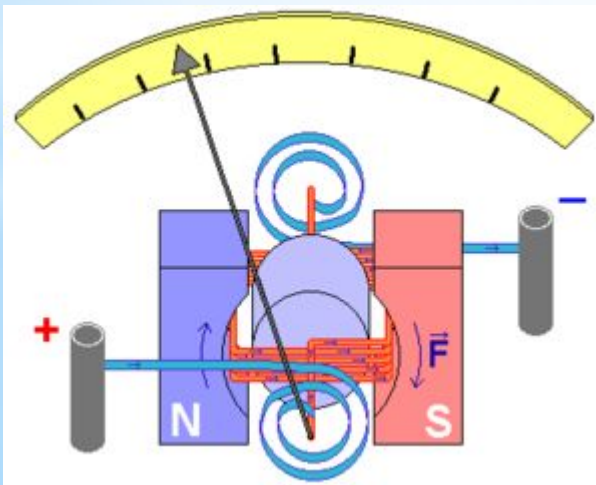


Рис. 321. Устройство магнитоэлектрического измерительного механизма

- 1 - постоянный магнит;
- 2 - полюсной наконечник;
- 3 - стальной сердечник;
- 5 - подвижная катушка;
- 6 - алюминиевый каркас.

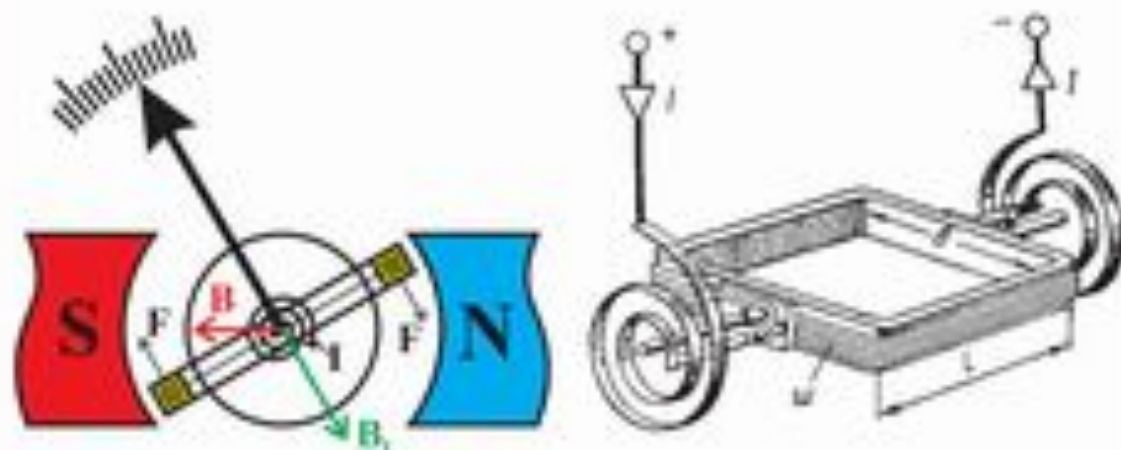
## Гальванометр

Высокочувствительный электроизмерительный прибор, предназначенный для измерений слабых токов, малых напряжений и количеств электричества



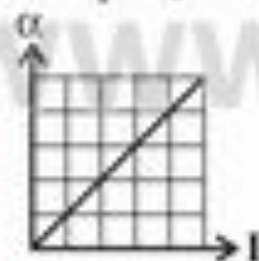
Представляет собой проводящую рамку, закреплённую на оси в магнитном поле постоянного магнита. При отсутствии тока в рамке она удерживается пружиной в некотором нулевом положении. Если же по рамке протекает ток, то рамка отклоняется на угол, пропорциональный силе тока, зависящий от жёсткости пружины и индукции магнитного поля. Стрелка, закреплённая на рамке, показывает значение тока в тех единицах, в которых отградуирована шкала гальванометра.

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Вращающий момент

$$M_{\text{в}} = BS\omega I = \psi_{\text{в}} I$$



Характеристика  
шкалы  
механизма

$B$  - магнитная индукция

$S$  - площадь рамки

$\omega$  - число витков рамки

$\psi_{\text{в}} = BS\omega$  - удельное потокоцепление

$I$  - ток в рамке

Противодействующий момент

$$M_{\text{п}} = -W \cdot \alpha$$

Характеристика шкалы

$$\alpha = \frac{\psi_{\text{в}} I}{W}$$

Чувствительность

$$S_{\text{с}} = \frac{d\alpha}{dI} = \frac{\psi_{\text{в}}}{W}$$

Момент успокоения

$$M_{\text{р}} = -\frac{\psi_{\text{в}}^2}{r} \frac{d\alpha}{dt} = -p \frac{d\alpha}{dt}$$

$r$  - сопротивление цепи рамки.

## Чувствительность прибора

Постоянная величина  $k$  называется чувствительностью прибора, она характеризуется углом поворота стрелки в градусах или в делениях шкалы, приходящимся на единицу изменения измеряемой величины.

Величина, обратная чувствительности,  $c=1/k$  называется постоянной прибора, или ценой деления. Если умножить отсчет по шкале на цену деления прибора  $c$ , то можно определить значение измеряемой величины. Для устранения колебаний подвижной системы прибора при переходе стрелки из одного положения в другое электроизмерительные приборы снабжают воздушными или магнитно-индукционными демпферами.

Воздушный демпфер (рис. 322, а) выполнен в виде цилиндрической камеры, внутри которой перемещается крыло 1 в виде поршня, связанного с подвижной системой. При перемещении подвижной части происходит торможение движущегося в камере 2 крыла, и колебания подвижной части быстро затухают.

Магнитно-индукционный демпфер (рис. 322, б) выполнен в виде неподвижного постоянного магнита 3, который при повороте подвижной системы прибора индуцирует вихревые токи в металлическом (алюминиевом) секторе 4, установленном на оси прибора.

Взаимодействие этих токов с магнитом создает согласно правилу Ленца силу, тормозящую подвижную систему и обеспечивающую быстрое затухание колебаний стрелки. В магнитоэлектрических приборах роль демпфера выполняет алюминиевый каркас 6 катушки (см. рис. 321,б). При повороте подвижной части прибора изменяется магнитный поток, пронизывающий каркас катушки. Благодаря этому в каркасе индуцируются вихревые токи, взаимодействие которых с магнитным полем магнита создает тормозной момент, обеспечивающий быстрое успокоение подвижной части.

Для того чтобы любой электроизмерительный прибор обеспечил требуемую точность измерений, необходимо, чтобы отклонение подвижной системы прибора определялось только вращающим моментом, создаваемым катушкой, и противодействующим усилием пружины. Для устранения влияния силы тяжести, создающей погрешности при измерениях, подвижную систему прибора (рис. 323) уравнивают противовесами 5 (рис. 323, а), представляющими собой стержни с перемещающимися по ним грузиками.



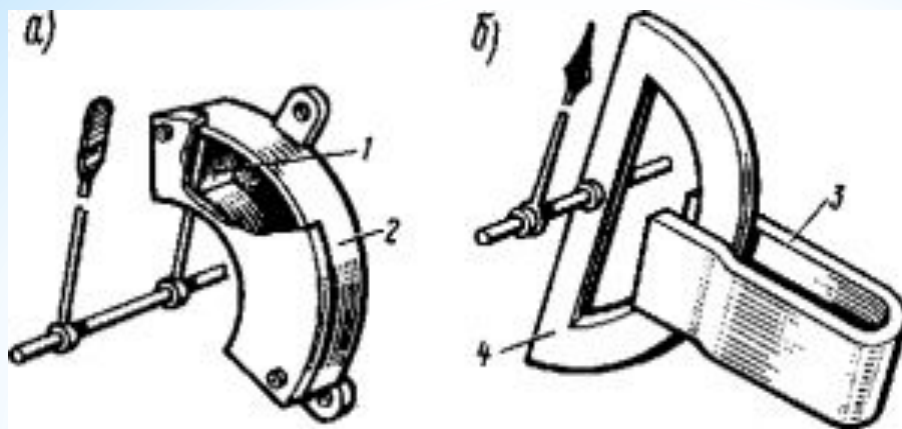


Рис. 322. Воздушный (а) и магнитно-индукционный (б) демпферы

1 - крыло;            3 - постоянный магнит;  
 2 - камера;        4 - металлический (алюминиевый) сектор.

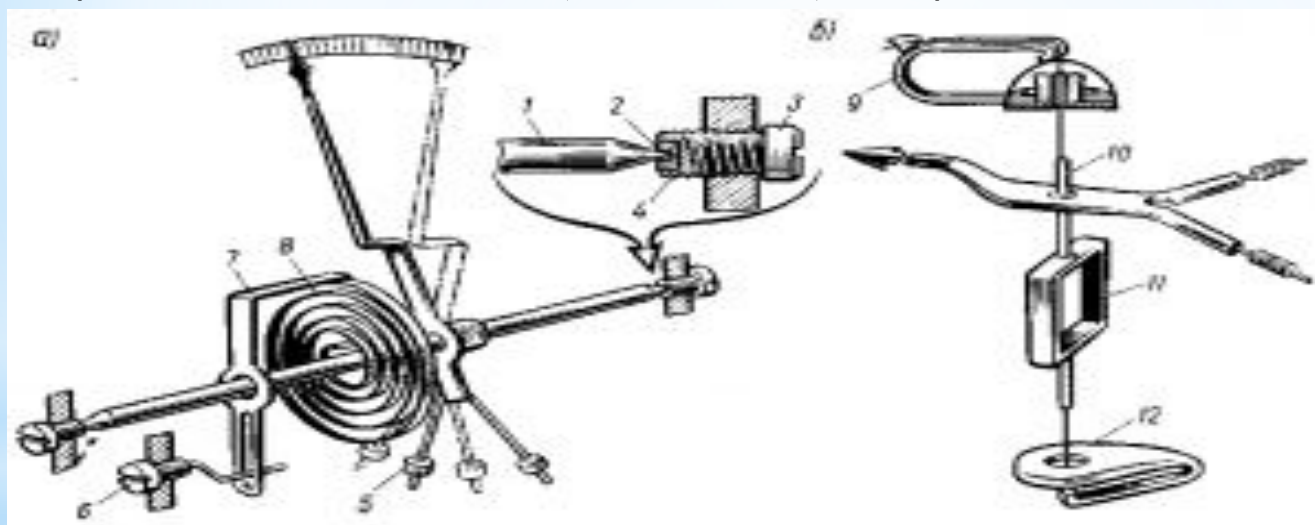


Рис. 323. Устройство подвижной части электроизмерительного прибора

1 - стальной наконечник;    5 - противовес;                            9 и 12 - плоские пружины;  
 2 - вкладыш;                6 - винт;                                    10 - растяжка;  
 3 - стопорный винт;        7 - поводка;                                11 - подвижная часть.  
 4 - подпятка;                8 - спиральная пружина;

Для уменьшения влияния трения оси приборов снабжают тщательно отполированными стальными наконечниками 1, выполненными из материала с высокой износостойкостью (закаленная сталь, вольфрамомолибденовый сплав и пр.). Наконечники вращаются в подпятниках 4, выполняемых с вкладышами 2 из корунда, агата, рубина и т. п. Зазоры между наконечниками и подпятником регулируются стопорным винтом 3. Электроизмерительные приборы обычно снабжают корректором – приспособлением, позволяющим устанавливать стрелку в нулевое положение. Корректор состоит из винта 6, выходящего из корпуса, и поводка 7, при помощи которых можно смещать на некоторое расстояние точку закрепления спиральной пружины 8, создающей противодействующее усилие. В большинстве современных электроизмерительных приборов подвижная часть 11 подвешивается на двух растяжках 10 – упругих металлических лентах, которые служат для подвода тока к катушке прибора и одновременно создают противодействующий момент (рис. 323,б). Растяжки прикреплены к двум плоским пружинам 9 и 12, расположенным во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Кроме рассмотренного выше измерительного механизма с внешним (по отношению к катушке) постоянным П-образным магнитом, существуют механизмы с магнитами другой формы (цилиндрической, в виде призмы, а также с вnutрирамочными неподвижными и подвижными магнитами).

**Применение прибора.** Приборы магнитоэлектрической системы применяют для измерения тока и напряжения в электрических цепях постоянного тока. В частности, на э.п.с. и тепловозах их используют в качестве амперметров и вольтметров. В амперметрах и вольтметрах катушка прибора имеет различное сопротивление и включается по различным схемам

Для уменьшения проходящего по катушке тока и компенсации влияния температуры на показания прибора в вольтметрах последовательно с катушкой включают добавочный резистор, который обычно встраивается в корпус прибора. Сопротивление этого резистора значительно больше сопротивления катушки, и он выполнен из материала, электрическое сопротивление которого весьма мало зависит от температуры (константан, манганин и пр.). В амперметрах параллельно катушке прибора часто включают образцовый резистор, называемый шунтом.

Сопротивление шунта значительно меньше сопротивления катушки прибора, вследствие чего измеряемый ток в основном проходит по шунту. Шунты и добавочные резисторы служат для расширения пределов измерения приборов.

Из принципа действия магнитоэлектрического прибора следует, что направление отклонения его стрелки зависит от направления тока  $I$ , проходящего по катушке. Следовательно, при включении этих приборов в цепь постоянного тока должна быть соблюдена правильная полярность, при которой стрелка отклоняется в требуемую сторону. Для переменного тока магнитоэлектрические приборы непригодны, так как при питании катушки переменным током среднее значение создаваемого ею вращающего момента равно нулю и стрелка прибора будет стоять на нуле, испытывая чуть заметные колебания.

Достоинством приборов магнитоэлектрической системы являются равномерность шкалы, высокая точность и независимость показаний от посторонних магнитных полей. К недостаткам их относятся непригодность для измерения переменного тока, необходимость соблюдения полярности при включении и чувствительность к перегрузкам (при перегрузке тонкая проволока катушки и спиральные пружины, подводящие к ней ток, могут сгореть).

# \* Электромагнитные приборы

## Электромагнитные приборы и их Устройство.

Принцип работы приборов этой системы основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого катушкой 1 со стальным сердечником 3, помещенным в поле этой катушки. Электромагнитный измерительный механизм выполняют с плоской (рис. 324, а) или круглой (рис. 324, б) катушкой.

В приборах с плоской катушкой сердечник установлен на оси, несущей стрелку. При прохождении тока по катушке 1 сердечник 3 будет намагничиваться и втягиваться в катушку, поворачивая ось и стрелку. Повороту оси препятствует спиральная пружина 2. Когда усилие, создаваемое пружиной, уравнивает усилие, созданное катушкой, подвижная система прибора остановится и стрелка зафиксирует на шкале определенный ток.

Вращающий момент, воздействующий на подвижную часть прибора, пропорционален силе притяжения  $F$  электромагнита, под действием которой сердечник втягивается в катушку.

Сила притяжения  $F$ , пропорциональна квадрату индукции  $v$ , создаваемой магнитным полем катушки; следовательно, она пропорциональна квадрату тока  $I$  в катушке. Поэтому вращающий момент

$$M = c_1 I^2$$

где  $c_1$  — постоянная величина, зависящая от конструктивных параметров прибора (числа витков и размеров катушки, материала и формы сердечника) и положения сердечника относительно катушки.

При втягивании сердечника в катушку вращающий момент  $M$  изменяется пропорционально  $I^2$ .

Под действием момента  $M$  подвижная часть прибора будет поворачиваться до тех пор, пока этот момент не будет уравновешен противодействующим моментом  $M_{пр} = c_2 \alpha$ , созданным пружинами или растяжками. В момент равновесия  $M = M_{пр}$ , откуда

$$\alpha = (c_1/c_2) I^2 = k I^2$$

где  $k$  — постоянная величина.

Следовательно, в приборах с электромагнитным измерительным механизмом угол поворота а подвижной части и стрелки пропорционален квадрату тока, проходящего по катушке. Поэтому такой прибор имеет неравномерную (квадратичную) шкалу. Для сглаживания этой неравномерности сердечнику придается особая лепестко-образная форма, вследствие чего форма магнитного поля и усилие, создаваемое катушкой, изменяются по мере втягивания сердечника.

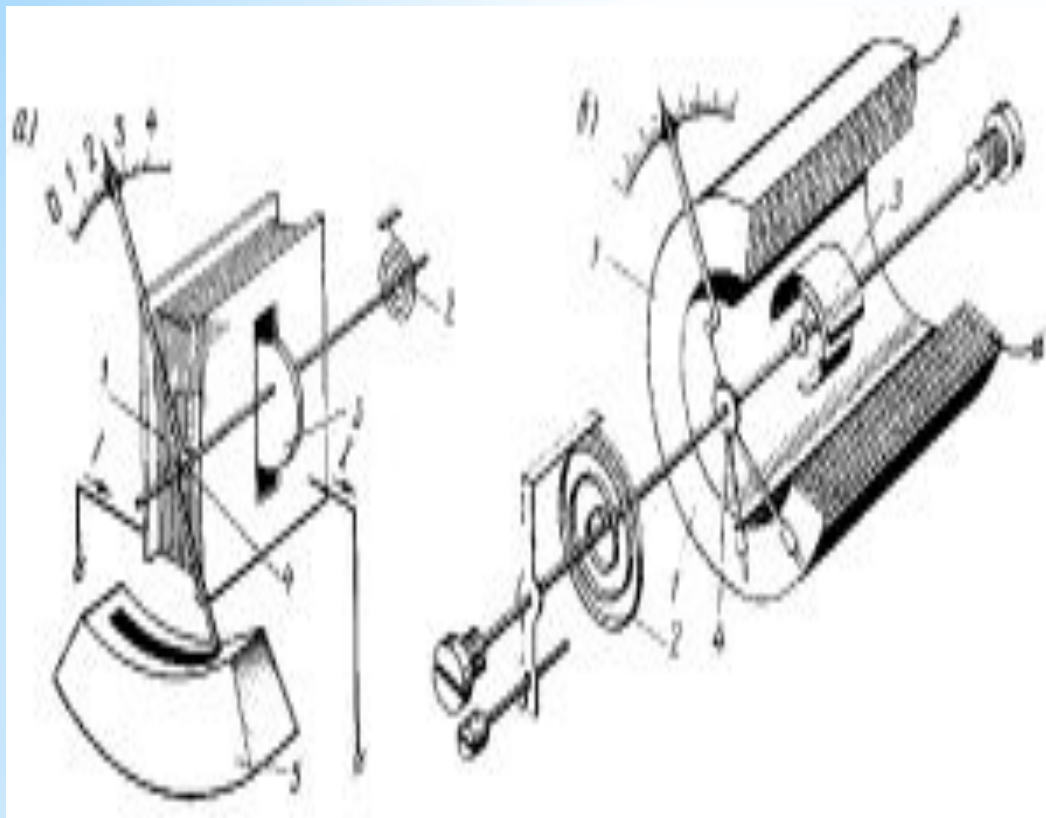


Рис. 324. Устройство электромагнитных измерительных механизмов с плоской (а) и круглой (б) катушками

- 1 - катушка;
- 2 - спиральная пружина;
- 3- стальной сердечник;
- 4 - стрелка;
- 5 - демпфер.

Устранение колебаний подвижной системы прибора при переходе стрелки из одного положения в другое осуществляется демпфером 5.

В приборах с круглой катушкой подвижная система поворачивается в результате взаимодействия двух стальных намагничивающихся пластинок 3, расположенных внутри катушки 1. Одна из них укреплена на оси прибора, а другая – на внутренней поверхности каркаса катушки. При прохождении тока по катушке пластины намагничиваются, и их одноименные полюсы оказываются расположенными друг против друга. Между ними возникают силы отталкивания и создается вращающий момент, поворачивающий ось со стрелкой 4.

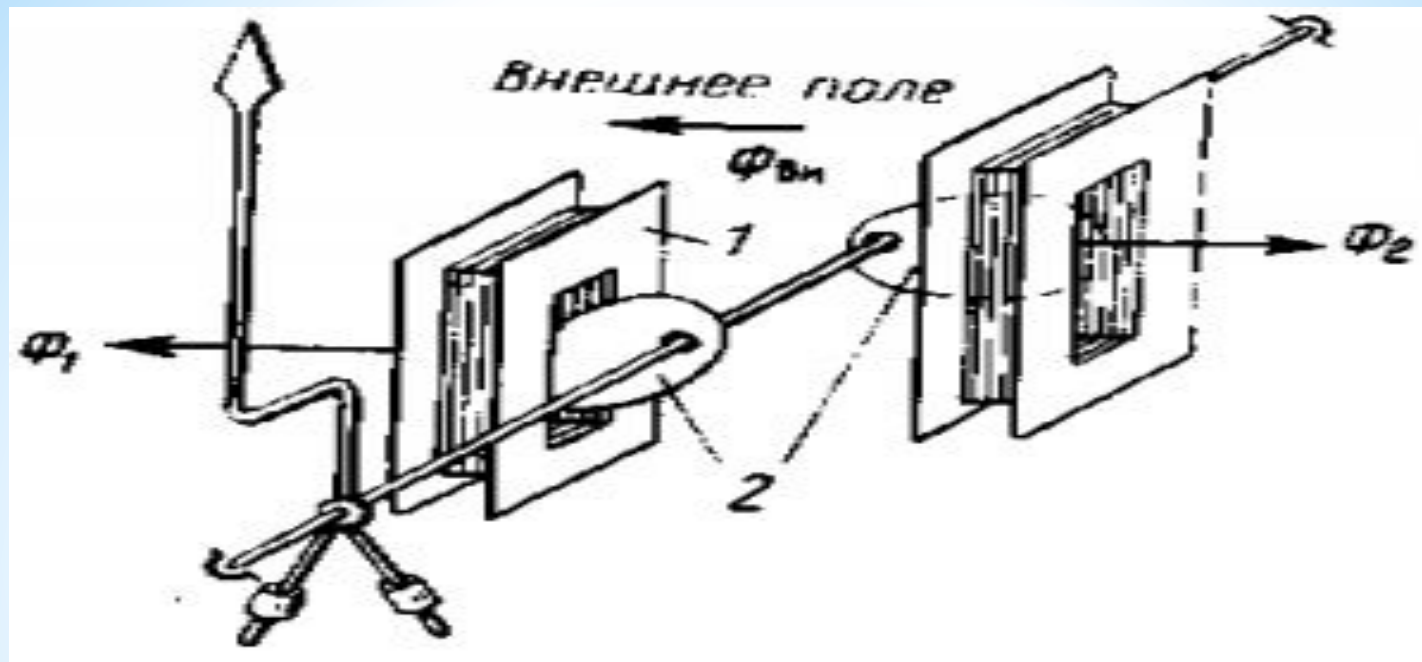


Рис. 325. Устройство астатического измерительного механизма

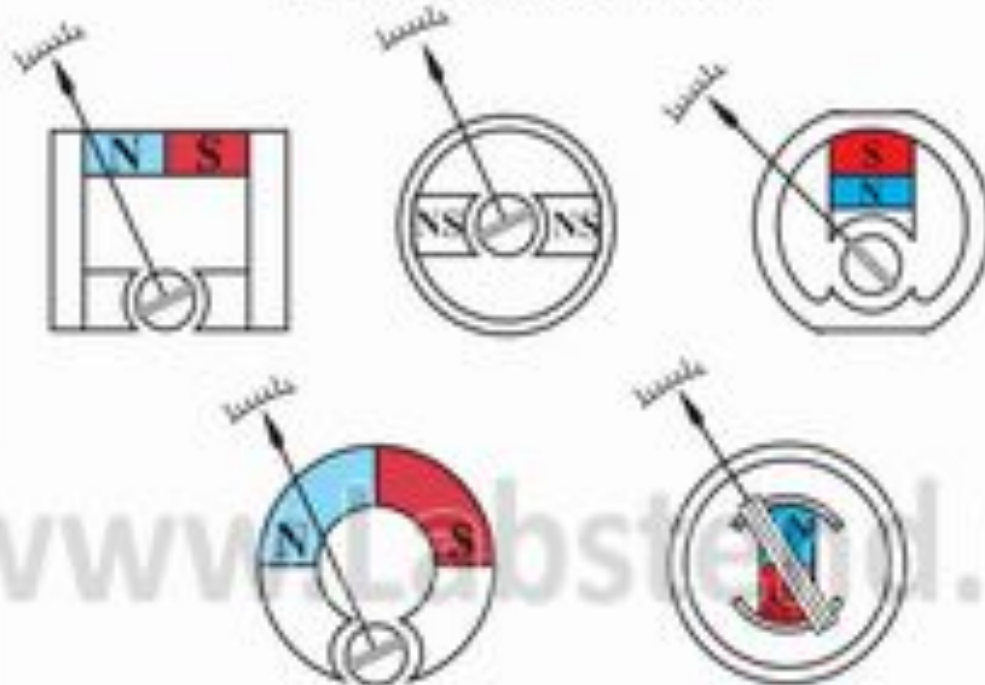
### Астатические приборы.

Катушки электромагнитных приборов создают относительно слабое магнитное поле, так как силовые линии этого поля проходят в основном по воздуху. Поэтому такие приборы весьма чувствительны к влиянию внешних магнитных полей. Для защиты от этих влияний электромагнитные приборы окружают стальными экранами или выполняют астатическими.

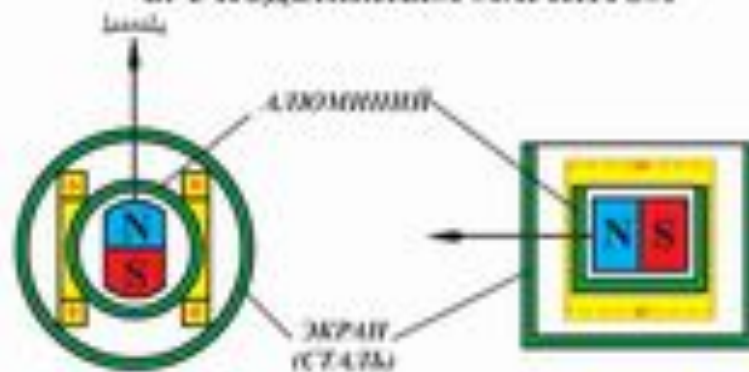
В астатическом приборе имеются две плоские катушки 1 и два сердечника 2, расположенные на общей оси (рис. 325). Обмотки катушек включают так, чтобы направления их магнитных потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  были противоположны. Вращающие моменты действуют на подвижную систему прибора в одинаковом направлении. Поэтому внешний магнитный поток  $\Phi_{вн}$  будет усиливать поле одной катушки и ослаблять поле другой; создаваемый же ими суммарный вращающий момент будет оставаться неизменным.

# КОНСТРУКЦИИ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

## А. С ПОДВИЖНОЙ РАМКОЙ

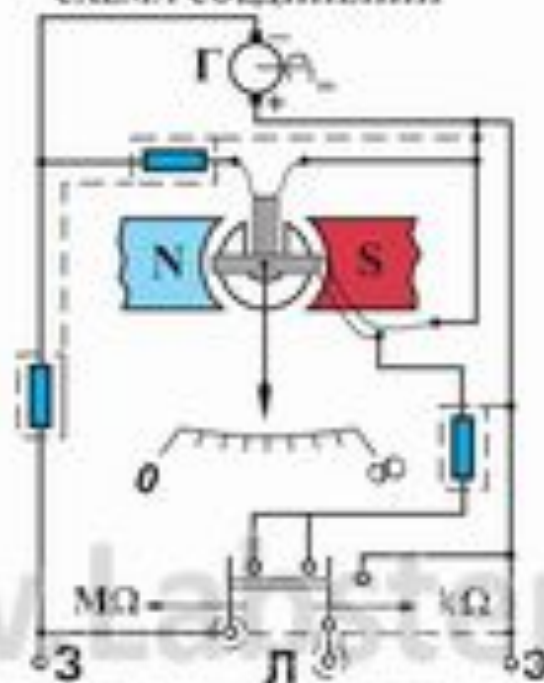


## Б. С ПОДВИЖНЫМ МАГНИТОМ

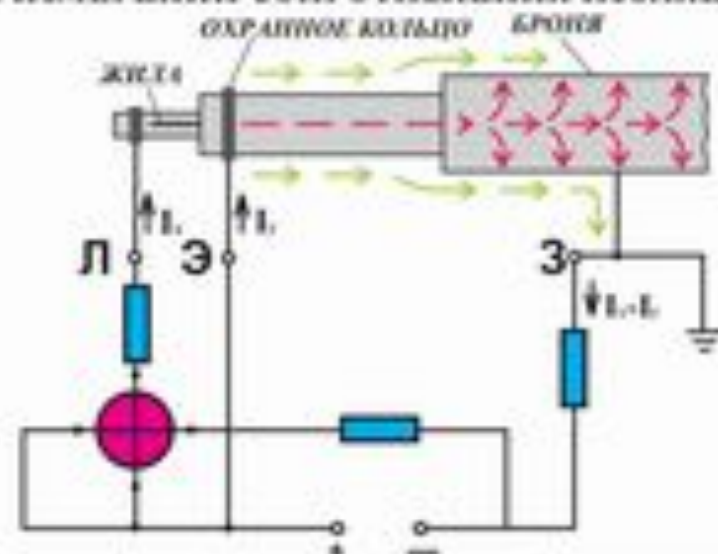


# МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕГАОММЕТР

## СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ



## СХЕМА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЯ





# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЧАСТОТОМЕРЫ

СХЕМА УСТРОЙСТВА  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО  
ЛОГОМЕРА

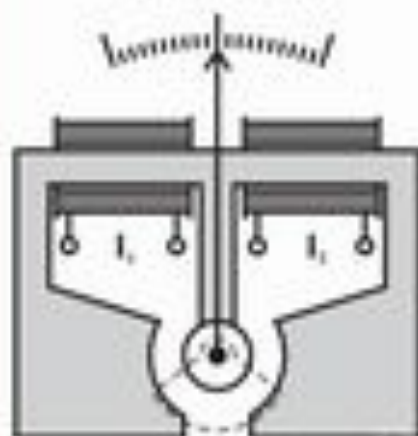
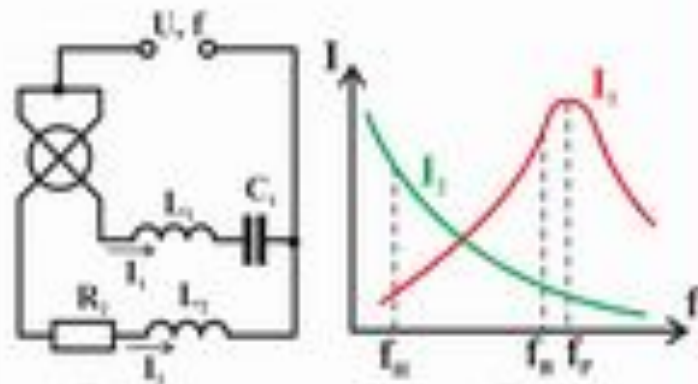
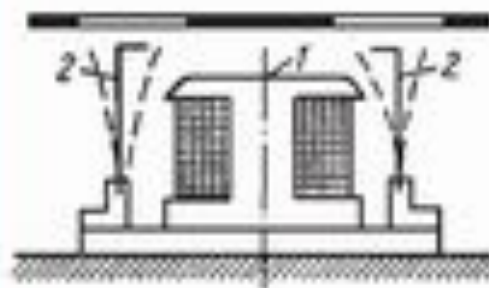


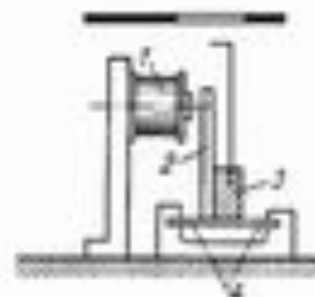
СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ И  
ДИОГРАММА ТОКОВ ЧАСТОТОМЕРА



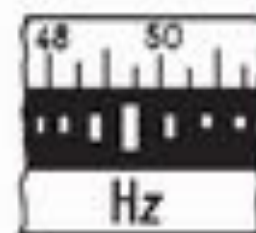
ВИБРАЦИОННЫЙ (РЕЗОНАНСНЫЙ) ЧАСТОТОМЕР



ЧАСТОТОМЕР  
С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ  
ВОЗБУЖДЕНИЕМ



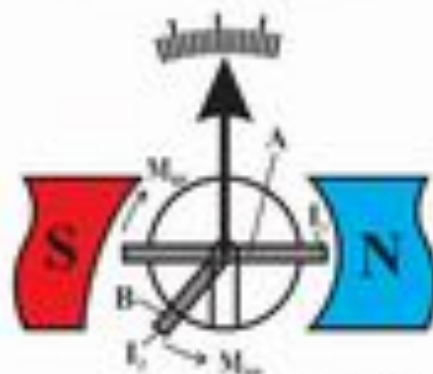
ЧАСТОТОМЕР  
С КОСВЕННЫМ  
ВОЗБУЖДЕНИЕМ



ВИД ШКАЛЫ  
ЧАСТОТОМЕРА

# МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛОГОМЕТРИЧЕСКИЕ ОММЕТРЫ

## ЛОГОМЕТР ОММЕТРА



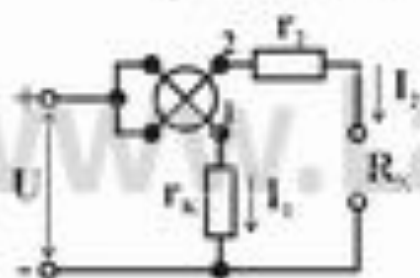
$$M_{оп} = B_1 S_1 w_1 I_1 = I_1 f_1(\alpha)$$

$$M_{пр} = B_2 S_2 w_2 I_2 = I_2 f_2(\alpha)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{f_1(\alpha)}{f_2(\alpha)}$$

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

ОММЕТР С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ  
(ИЗМЕРЕНИЕ БОЛЬШИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ)

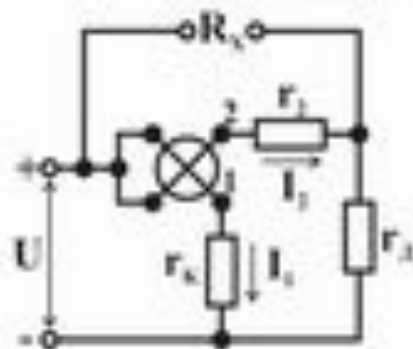


$$I_1 = \frac{U}{r_k + r_{о1}} \quad I_2 = \frac{U}{r_2 + r_{о2} + R_x}$$

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = F\left(\frac{r_2 + r_{о2} + R_x}{r_k + r_{о1}}\right)$$

$r_{о1}, r_{о2}$  - сопротивления рамок логометра

ОММЕТР С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ  
(ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ)



$$I_1 = \frac{U}{r_k + r_{о1}}$$

$$I_2 = \frac{U}{(r_2 + r_2 + r_{о2}) \left[ 1 + \frac{r_1(r_1 + r_{о1})}{R_x(r_2 + r_2 + r_{о2})} \right]}$$

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = \varphi(R_x)$$

**Применение.** Электромагнитные приборы используют, главным образом, для измерения тока и напряжения в промышленных установках переменного тока. При периодическом изменении тока, проходящего через прибор, усилие, создаваемое его катушкой, не будет изменяться по направлению, так как оно пропорционально квадрату тока. Угол отклонения стрелки определяется некоторым средним усилием  $F$ , значение которого пропорционально среднему квадратичному значению тока или напряжения. Следовательно, электромагнитные приборы в цепях переменного тока измеряют действующие значения тока или напряжения.

Катушка при измерениях может быть включена в электрическую цепь последовательно или параллельно двум точкам, между которыми действует некоторое напряжение. В первом случае прибор будет работать в качестве амперметра, во втором – в качестве вольтметра.

Достоинством приборов электромагнитной системы являются простота и надежность конструкции, невысокая стоимость, стойкость к перегрузкам и пригодность для измерений в цепях переменного и постоянного тока. К недостаткам относятся невысокая точность, малая чувствительность, неравномерность шкалы и зависимость показаний от внешних магнитных полей и частоты переменного тока.

# \* Электродинамические и ферродинамические приборы

Устройство и принцип действия электродинамического прибора.

Работа электродинамического прибора основана на взаимодействии двух катушек, обтекаемых электрическим током. Электродинамический измерительный механизм (рис. 326, а) состоит из двух катушек: неподвижной 2 и расположенной внутри нее подвижной 1. Подвижная катушка 1 связана с осью прибора со стрелкой и с двумя спиральными пружинами 4 (или растяжками), которые служат для создания противодействующего момента и подвода тока к подвижной катушке 1. В приборе применяется демпфер 3, аналогичный ранее рассмотренному.

При прохождении по катушкам токов  $I_1$  и  $I_2$  возникают электродинамические силы  $F$  (рис. 326,б), 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  $M_{пр} = c_2 \alpha$ . В момент равновесия  $M = M_{пр}$ , 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

$$M_{ср} = c_1 I_1 I_2 \cos \alpha$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – действующие значения токов  $i_1$  и  $i_2$ ;  $\alpha$  – угол сдвига фаз между ними.

Поэтому при переменном токе

$$\alpha = k I_1 I_2 \cos \alpha.$$

Значение вращающего момента  $M$ , созданного катушками электродинамического прибора, а следовательно, и угол поворота стрелки  $\alpha$  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.

При включении обеих катушек прибора последовательно в цепь измеряемого тока (рис. 327,а) прибор будет работать в качестве амперметра; при подключении катушек к двум точкам (рис. 327,б), между которыми действует подлежащее измерению напряжение, прибор будет работать в качестве вольтметра.

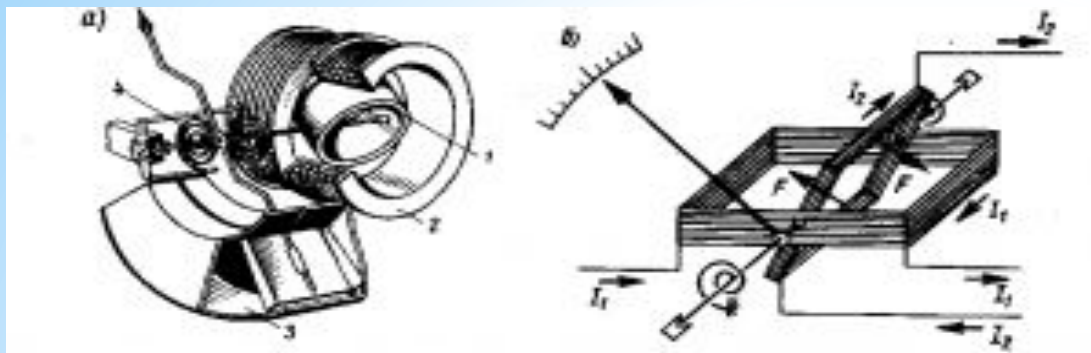


Рис. 326. Устройство (а) и принципиальная схема (б) электродинамического измерительного механизма  
 1 - подвижная катушка;  
 2 - неподвижная катушка;  
 3 - демпфер;  
 4 - спиральная пружина (растяжка).

При подключении же одной катушки последовательно, а другой параллельно приемнику электроэнергии (рис. 327, в) угол отклонения стрелки будет пропорционален произведению тока  $I$  и напряжения  $U$ , т. е. мощности  $P=UI$  и, следовательно, прибор будет работать в качестве ваттметра и измерять мощность, получаемую приемником. При переменном токе и включении катушек по схеме (см. рис. 327, б) угол сдвига фаз  $\alpha$  между токами  $I_1$  и  $I_2$  равен углу сдвига фаз  $\varphi$  между током  $I$  и напряжением  $U$ . Поэтому  $\alpha = kUI \cos\alpha = kP$  т. е. угол поворота стрелки пропорционален измеряемой мощности.

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.

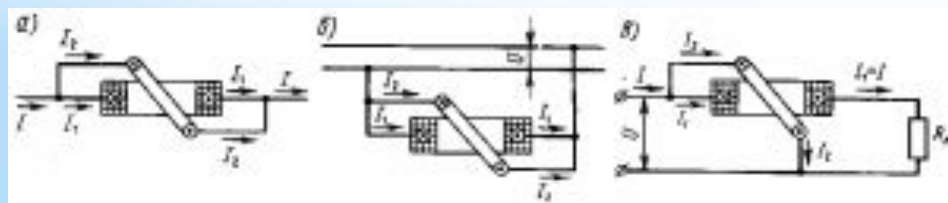


Рис. 327. Схемы включения электродинамического прибора в качестве амперметра (а), вольтметра (б) и ваттметра (в)

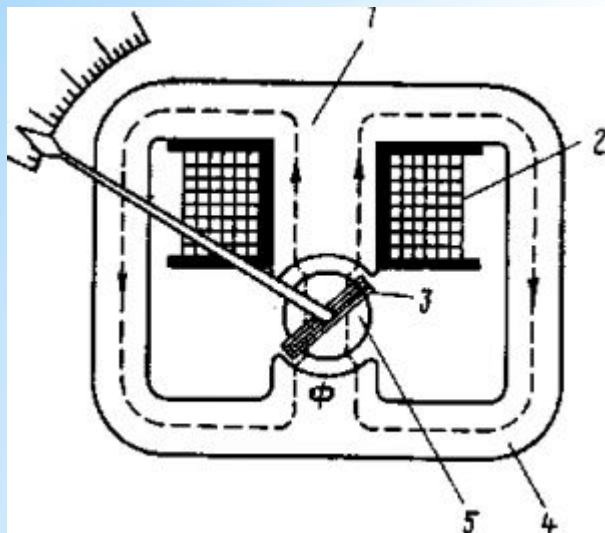


Рис. 328. Принципиальная схема ферродинамического измерительного механизма

- 1 - полюс;
- 2 - неподвижная катушка;
- 3 - подвижная катушка;
- 4 - ферромагнитный сердечник;
- 5 - неподвижный цилиндрический сердечник.

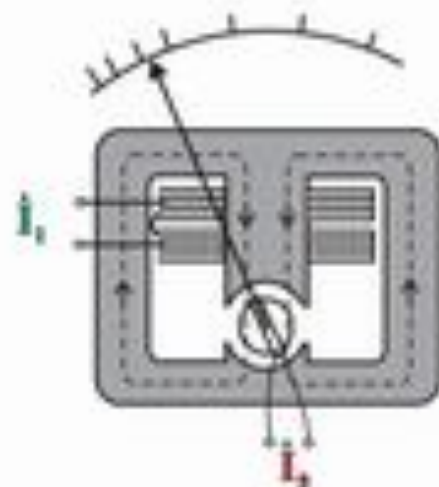
### Устройство и применение ферродинамических приборов.

Работа ферродинамических приборов основана на том же принципе, что и приборов электродинамической системы. Для усиления магнитного поля в ферродинамическом измерительном механизме применен магнитопровод из ферромагнитного материала. Неподвижная катушка 2 (рис. 328) размещается на полюсах ферромагнитного сердечника 4, а подвижная 3 поворачивается так же, как и в приборах магнитоэлектрической

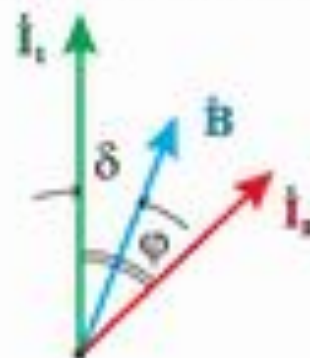
системы, — в воздушном зазоре между полюсами 1 и неподвижным цилиндрическим сердечником 5. При такой конструкции приборы защищены от влияния внешних магнитных полей. Кроме того, увеличиваются магнитные потоки, создаваемые катушками, и возрастает вращающий момент, действующий на подвижную систему.

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.

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ФЕРРОДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА

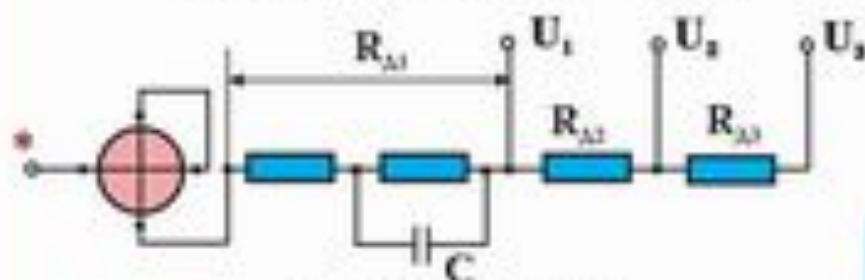


ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ

$$M_{\text{в}} = B S_2 i_2 \cos(\angle B I_2)$$

(ПРОТИВДЕЙСТВУЮЩИЙ МОМЕНТ  $M_{\text{в}} = W \alpha$ )

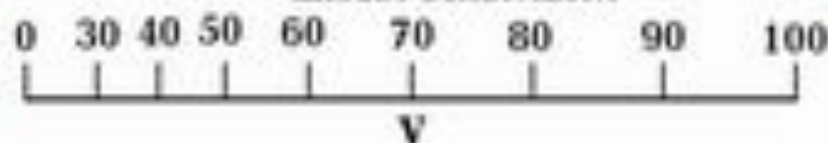
СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ ВОЛЬТМЕТРА



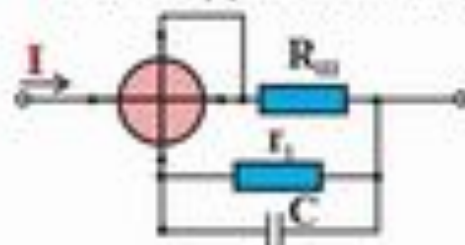
ХАРАКТЕРИСТИКА ШКАЛЫ ВОЛЬТМЕТРА

$$\alpha = K \frac{U^2}{R W}$$

ШКАЛА ВОЛЬТМЕТРА



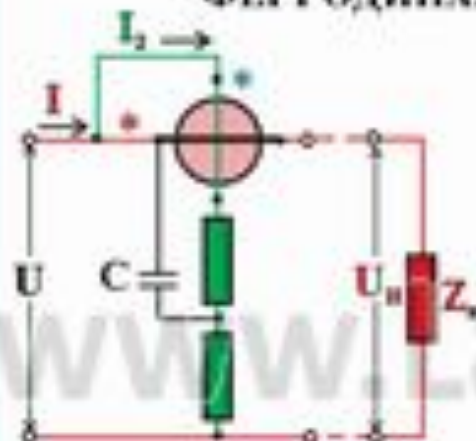
## ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИЕ АМПЕРМЕТРЫ



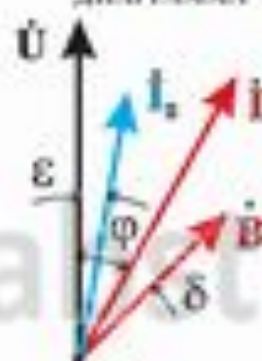
ХАРАКТЕРИСТИКА ШКАЛЫ

$$\alpha = \frac{K_{\text{в}}}{W} \frac{R_{\text{ш}}}{r_1 + R_{\text{ш}}} I^2$$

## ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИЕ ВАТТМЕТРЫ



ВЕКТОРНАЯ  
ДИАГРАММА

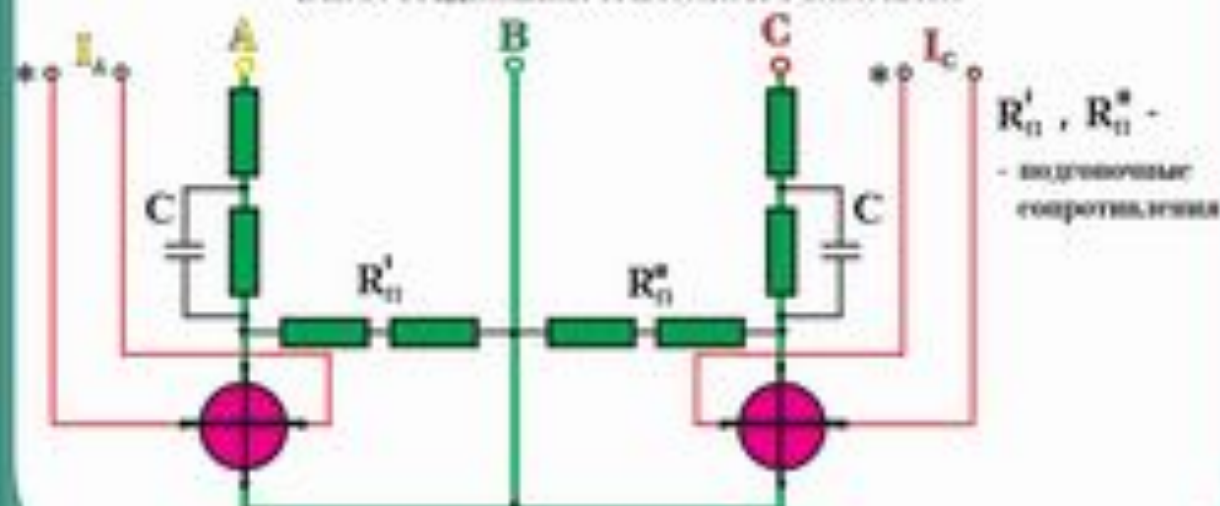


ХАРАКТЕРИСТИКА  
ШКАЛЫ

$$\alpha = \frac{K_{\text{в}}}{W Z_{\text{в}}} U I \cos \varphi$$

$Z_{\text{в}}$  - сопротивление  
параллельной  
цепи ваттметра

СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ ТРЕХФАЗНОГО ВАТТМЕТРА

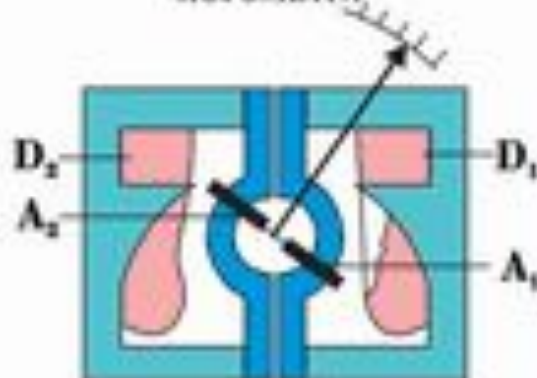


$R_{\text{н}}', R_{\text{н}}''$  -  
подрезанные  
сопротивления

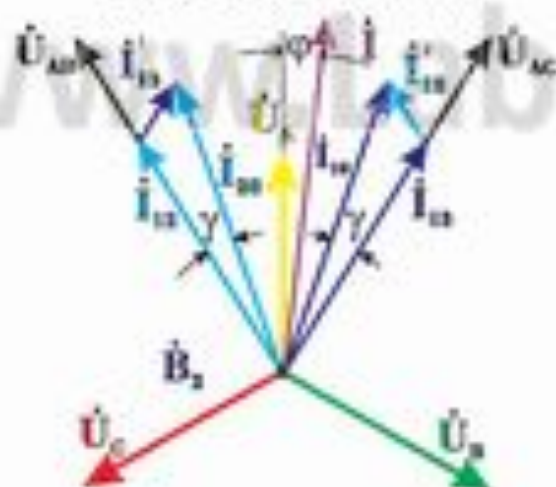


# ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИЙ ФАЗОМЕТР

МЕХАНИЗМ ФЕРРОДИНАМИЧЕСКОГО  
ЛОГОМЕТРА



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



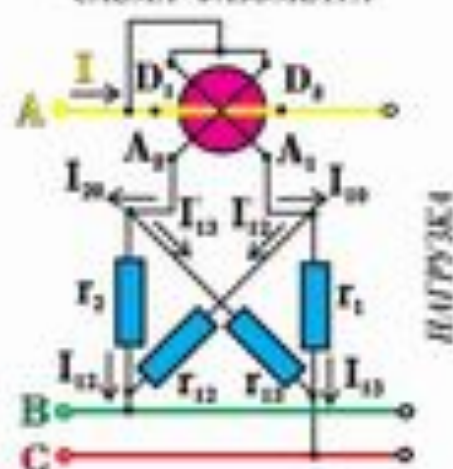
ХАРАКТЕРИСТИКА ШКАЛЫ ФАЗОМЕТРА

$$\frac{r_2 \cos(30^\circ + \varphi)}{r_1 \cos(30^\circ - \varphi)} = \frac{K_1 \int_1(\omega)}{K_2 \int_2(\omega)} = \frac{K_1}{K_2} f(\omega)$$

$$\alpha = F(\varphi)$$

ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ  $\cos \varphi$  0,5 - 1,0 - 0,5

СХЕМА ФАЗОМЕТРА



ВРАЩАЮЩИЕ МОМЕНТЫ

$$M_1 = K_2 B_1 I_{12} \cos(\widehat{B_1 I_{12}}) = K_2 B_1 I_{12} \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$M_2 = K_1 B_2 I_{21} \cos(\widehat{B_2 I_{21}}) = K_1 B_2 I_{21} \cos(30^\circ + \varphi)$$

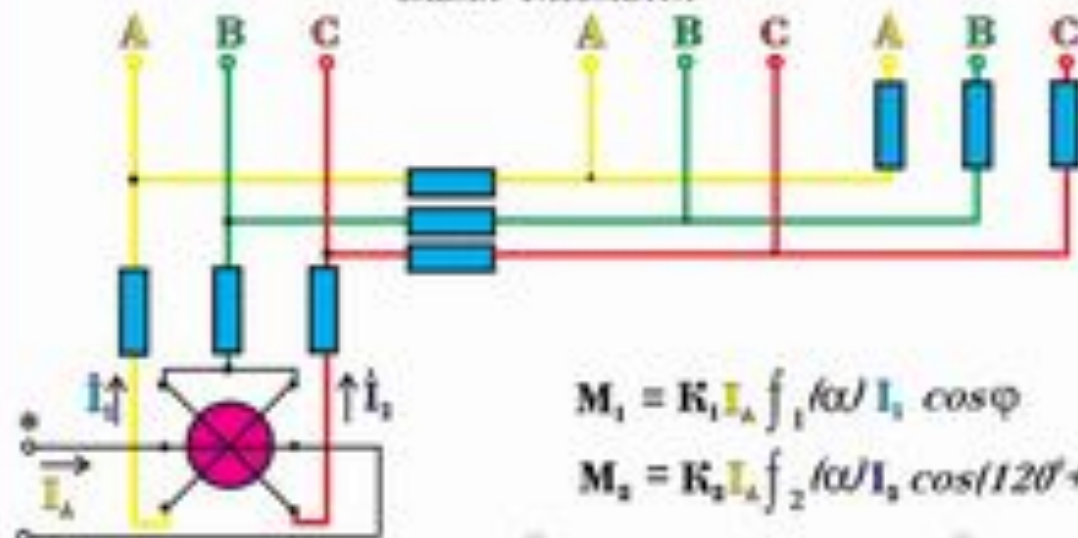
$$B_1 = I \int_1(\omega); \quad B_2 = I \int_2(\omega)$$

$$I_{12} = \frac{U_{AB}}{r_2}; \quad I_{21} = \frac{U_{BA}}{r_1}; \quad M_1 = M_2$$

$$\frac{K_1 B_1}{K_2 B_2} = \frac{r_2 \cos(30^\circ + \varphi)}{r_1 \cos(30^\circ - \varphi)}$$

# ТРЕХФАЗНЫЙ ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИЙ ФАЗОМЕТР

СХЕМА ФАЗОМЕТРА



$$M_1 = K_1 I_A f_1 (\omega) I_1 \cos \varphi$$

$$M_2 = K_2 I_A f_2 (\omega) I_2 \cos(120^\circ + \varphi)$$

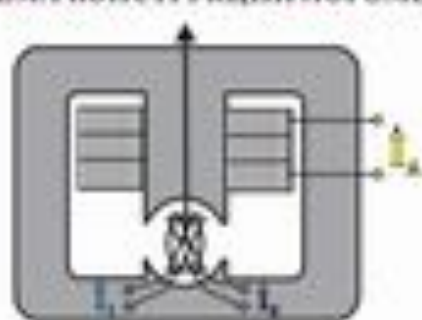
ВЕКТОРИНАЯ ДИАГРАММА



УРАВНЕНИЯ МОМЕНТОВ

$$\frac{K_1 I_1 f_1 (\omega)}{K_2 I_2 f_2 (\omega)} = \frac{\cos(120^\circ + \varphi)}{\cos \varphi}$$

СХЕМА КОНСТРУКЦИИ ЛОГОМЕТРА



ХАРАКТЕРИСТИКА ШКАЛЫ

$$K = f(\omega) = F(\varphi)$$

ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ  $\cos \varphi$

0,9емк - 1 - 0,2инд

Класс точности 1,5

# \* Индукционные приборы

Устройство. Индукционный прибор состоит из двух неподвижных электромагнитов 2 и 3 (рис. 329) 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  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , 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  $\Phi_2$  и тока  $I_{в2}$  с потоком  $\Phi_1$ ) 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.

Среднее за период значение вращающего момента  $M$  пропорционально произведению действующих значений магнитных потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  и синусу угла сдвига фаз  $\alpha$  между этими потоками:

$$M = c I_1 I_2 \sin \alpha$$

где  $c$  — постоянная для прибора величина.

Чтобы получить наибольшее значение вращающего момента, угол сдвига фаз между потоками устанавливают  $90^\circ$  путем включения в цепи катушек дополнительных активных и реактивных сопротивлений. При этом условии средний вращающий момент в вольтметрах и амперметрах будет пропорционален произведению действующих значений токов  $I_1$  и  $I_2$ , протекающих по катушкам электромагнитов. Этой величиной будет определяться также и угол поворота стрелки:

$$\alpha = k I_1 I_2 \quad (103)$$

В ваттметрах  $\alpha = k U I \cos \alpha = k P$ , так как ток  $I_1$  пропорционален току  $I$  в цепи,  $I_2$  — напряжению  $U$ , а угол  $\alpha$  равен углу  $90^\circ - \alpha$ .

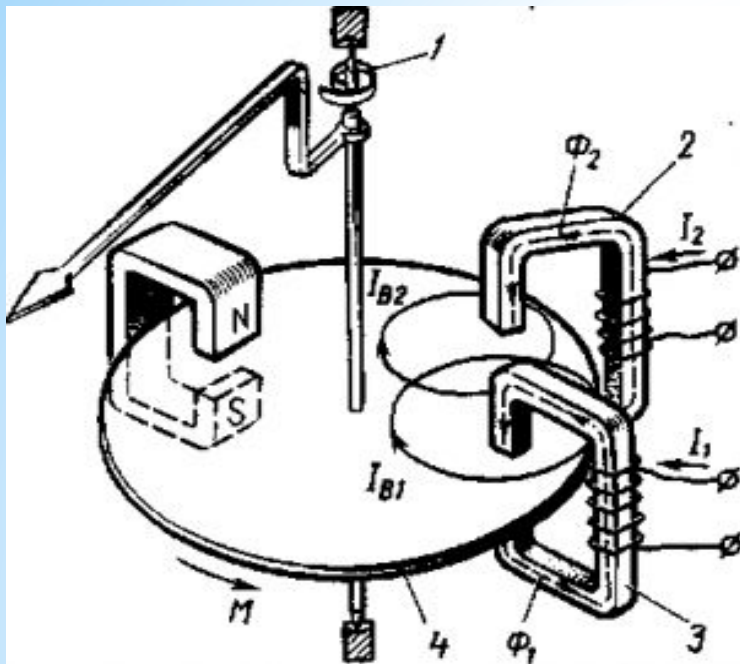


Рис. 329. Устройство индукционного измерительного механизма

- 1 - спиральная пружина;
- 2 и 3 - неподвижные электромагниты;
- 4 - подвижный алюминиевый диск.

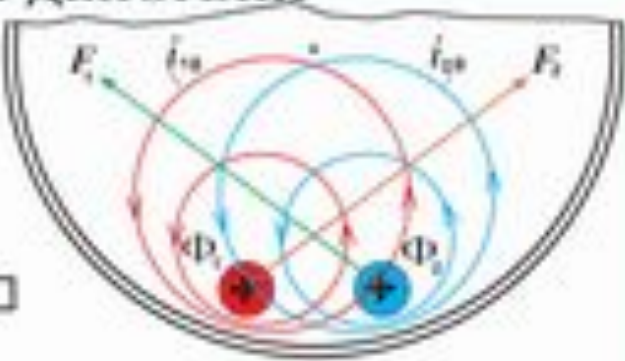
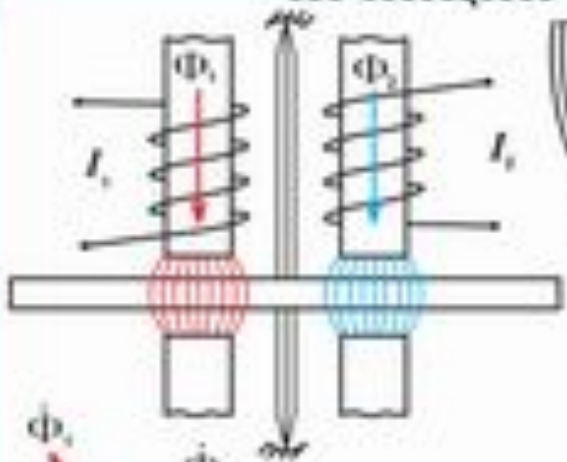
### Применение.

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 (см. рис. 327).

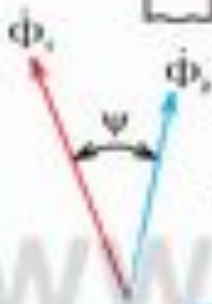
Достоинством индукционных приборов являются высокая стойкость к перегрузкам, большой вращающий момент и малая чувствительность к внешним магнитным полям. К недостаткам относятся сравнительно невысокая точность и зависимость показаний от частоты переменного тока и температурных влияний.

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

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ



Взаимодействие потоков и токов в диске.



$$\Phi_1 = \Phi_{m1} \sin \omega t$$

$$\Phi_2 = \Phi_{m2} \sin (\omega t - \psi)$$

$$F_1 = k \Phi_1 - i_{12}$$

Вращающий момент

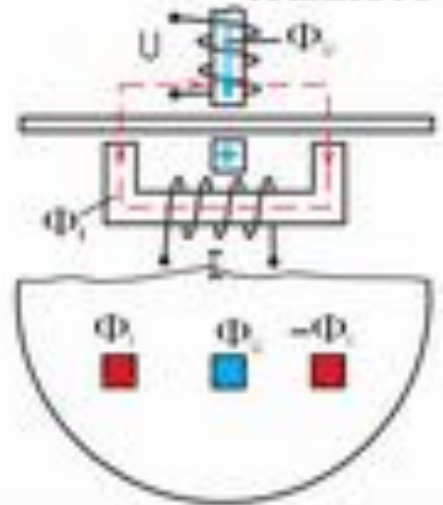
$$i_{12} = -\frac{C_2}{T_2} \int \Phi_{m1} \cos \omega t$$

$$i_{21} = -\frac{C_1}{T_1} \int \Phi_{m2} \cos (\omega t - \psi)$$

$$F_2 = k \Phi_2 - i_{21}$$

$$M_e = k_1 (F_1 - F_2) = C \frac{1}{T_1} \int \Phi_{m1} \Phi_{m2} \sin \psi$$

## ТРЕХПОТОЧНЫЙ МЕХАНИЗМ



$$M_e = C \frac{1}{T_1} \int \Phi_{m1} \Phi_{m2} \sin \psi$$

# ИНДУКЦИОННЫЙ СЧЕТЧИК С РАДИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ УСТРОЙСТВА И  
ВКЛЮЧЕНИЕ В ЦЕПЬ ОДНОФАЗНОГО СЧЕТЧИКА

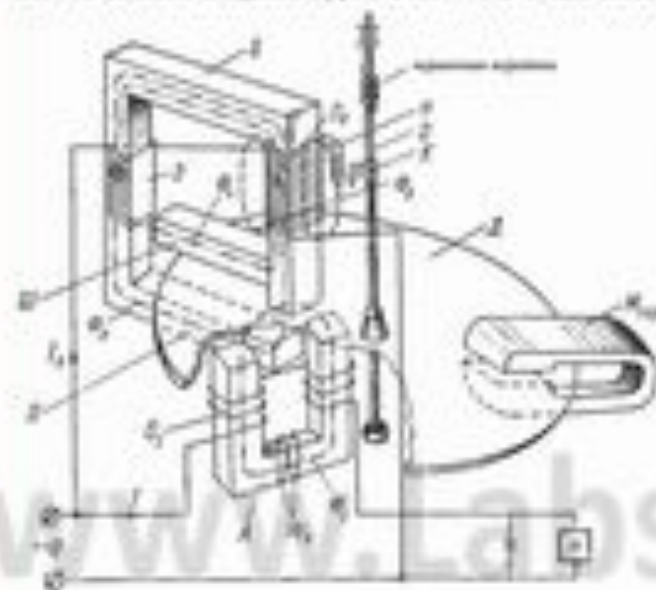
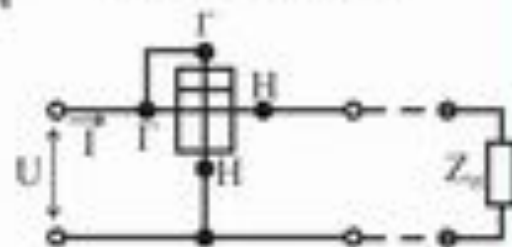
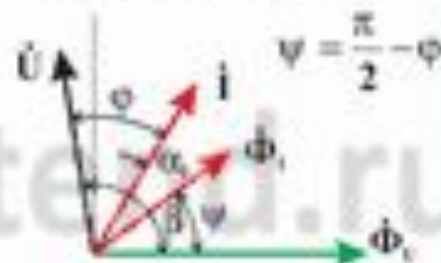


СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ



УПРОЩЕННАЯ  
ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ

$$M_s = c_1 f \Phi_1 \Phi_2 \sin(\Phi_1 \Phi_2) = c f U I \cos \varphi = c_p P$$

ТОРМОЗНОЙ МОМЕНТ

$$M_T = K_2 \Phi_m^2 \frac{d\alpha}{dt}$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = K_p P$$

$$\alpha \Big|_{t_0}^{t_1} = K_p \int_{t_0}^{t_1} P dt = K_p W$$

$$N = \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{K_p c W}{2\pi}$$

ПОСТОЯННАЯ СЧЕТЧИКА

$$C_p = \frac{W}{N} \quad [C_p] = \left[ \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}} \right]$$

# \* Логометры и электронные приборы

## Логометры.

В рассмотренных измерительных механизмах угол поворота  $\alpha$  подвижной части определяется значением тока, проходящего по их катушкам. Как следует из закона Ома, ток  $I$  зависит от напряжения  $U$ , питающего измерительную цепь. Однако при измерениях сопротивления, частоты переменного тока, температуры, давления и др. необходимо, чтобы угол  $\alpha$  зависел только от измеряемой величины, а изменение напряжения не оказывало влияния на результаты измерения. Поэтому для измерений указанных величин применяют логометры — показывающие электроизмерительные приборы, имеющие два измерительных механизма без противодействующих пружин, создающие два противоположно направленных момента. В результате этого угол поворота  $\alpha$  подвижной части логометра определяется только отношением токов в катушках этих механизмов. А так как изменение напряжения оказывает одинаковое влияние на эти токи, то угол  $\alpha$  в этом случае изменяться не будет.

Логометры могут быть выполнены с измерительными механизмами любой системы. Характерной особенностью их является отсутствие механических свойств, создающих противодействующий момент, вследствие чего их подвижная часть при отсутствии тока в катушках находится в состоянии безразличного равновесия.

На рис. 330 в качестве примера показана принципиальная схема магнитоэлектрического логометра, который применяется в мегаомметрах. Он состоит из двух катушек 1 и 2, расположенных под некоторым углом и жестко укрепленных на общей оси. К этим катушкам подводятся токи  $I_1$  и  $I_2$  через три эластичные спирали 5, не создающие при закручивании механического момента.

Постоянный магнит 3 имеет форму эллипса, поэтому в воздушном зазоре между магнитом и наружным кольцом 4 образуется неравномерное магнитное поле.

В результате взаимодействия токов  $I_1$  и  $I_2$  с магнитным полем возникают два противоположно направленных момента  $M_1$  и  $M_2$ , которые пропорциональны токам  $I_1$  и  $I_2$  и индукциям  $B_1$  и  $B_2$  в воздушном зазоре в тех местах, где находятся катушки.

При повороте подвижной части под действием разности  $M_1 - M_2$  значения индукций  $B_1$  и  $B_2$  изменяются, так как одна из катушек перемещается в область с увеличенным (или уменьшенным) воздушным зазором, а другая — в область с уменьшенным (или увеличенным) зазором. При этом изменяются моменты  $M_1$  и  $M_2$ . При некотором положении подвижной части моменты  $M_1$  и  $M_2$  уравниваются, в этом случае

$$I_1 / I_2 = B_2 / B_1$$

Таким образом, каждому определенному положению подвижной части логометра, характеризуемому отношением  $V_2/V_1$ , соответствуют определенные значения токов  $I_1$  и  $I_2$ , проходящих по его катушкам. При изменении этого отношения будет изменяться угол  $\alpha$ .

Если обе измерительные цепи, в которые включены катушки прибора, питаются одним и тем же напряжением  $U$ , то показания прибора не будут зависеть от  $U$ , так как при его изменении изменяются пропорционально токи  $I_1$  и  $I_2$ .

Электронные приборы. Для измерения малых сигналов, а также для измерений в слаботочных цепях широкое распространение получили электронные приборы, представляющие собой сочетание электронного усилителя и магнитоэлектрического милливольтметра или системы цифровой индикации.

При измерении электронным прибором со стрелочной индикацией (рис. 331, а) измеряемая электрическая величина усиливается или ослабляется усилителем  $U$  и преобразуется в сигнал постоянного знака  $U=$ , который подается на милливольтметр, отградуированный с учетом коэффициента усиления усилителя.

Усилитель имеет очень большое входное сопротивление, т. е. потребляет небольшой ток из измеряемой сети.

При измерении электронным прибором с цифровой индикацией (рис. 331,б) измеряемая величина (напряжение постоянного тока  $U_x$ , постоянный ток  $I_x$  или сопротивление  $R_x$ ) подается на вход аналогового масштабного преобразователя (АМП), который преобразует ее в напряжение постоянного тока  $U=$ . Сигнал  $U=$  поступает на вход аналого-цифрового преобразователя АЦП, где происходит его измерение. Результат измерения с выхода АЦП выдается на устройство индикации УИ, где высвечивается измеряемая величина в цифровом значении.

Электронные приборы благодаря большому входному сопротивлению и малому потребляемому току находят широкое применение прежде всего для измерений в цепях различных электронных устройств управления, где использование обычных приборов может повлиять на режим работы измеряемой цепи. К таким цепям относятся системы управления тиристорами на тепловозах, электровозах и тяговых подстанциях, устройства радиосвязи и др.

Приборы с цифровой индикацией, кроме того, дают более точный отсчет измерений, независимый от человека, проводящего измерения.



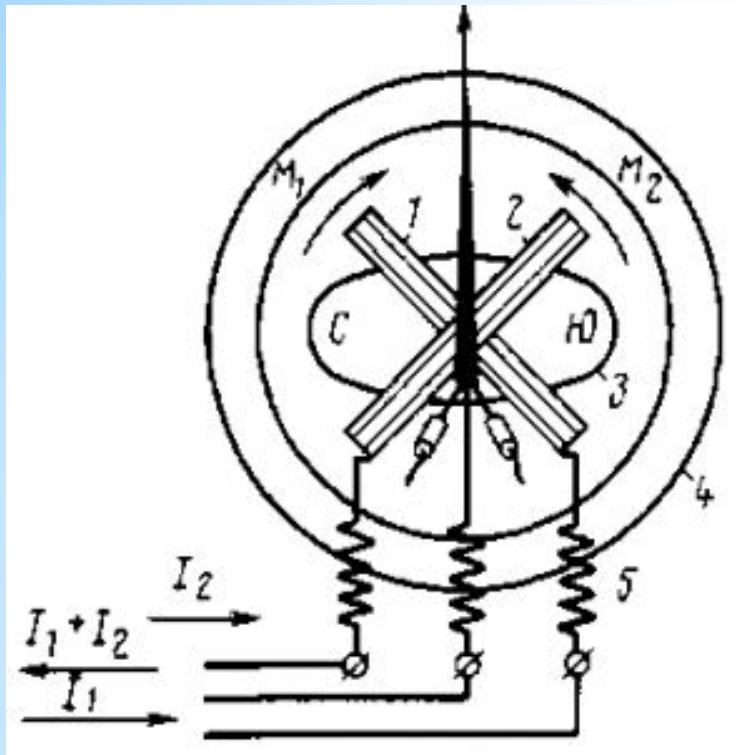


Рис. 330. Принципиальная схема магнитоэлектрического логометра  
 1 и 2 - катушки;  
 3 - постоянный магнит;  
 4 - наружное кольцо;  
 5 - эластичные спирали.

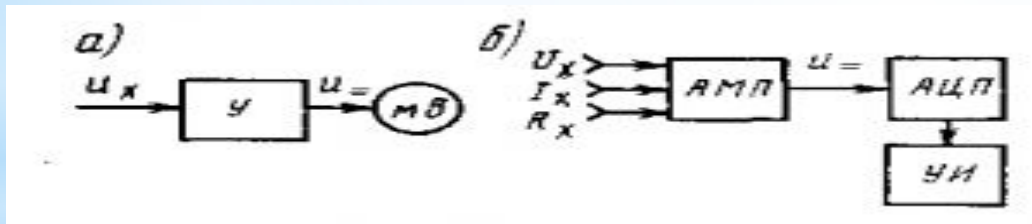
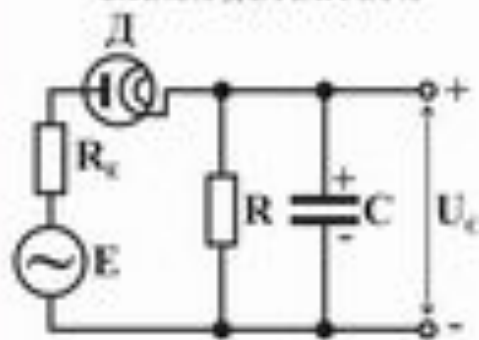


Рис. 331. Структурные схемы приборов со стрелочной (а) и цифровой (б) индикацией

## ДИОДНЫЙ АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР С ОТКРЫТЫМ ВХОДОМ

СХЕМА ДЕТЕКТОРА



$$E(t) = E_1 \sin \omega t$$

$$U_c = E(t) - U_c$$

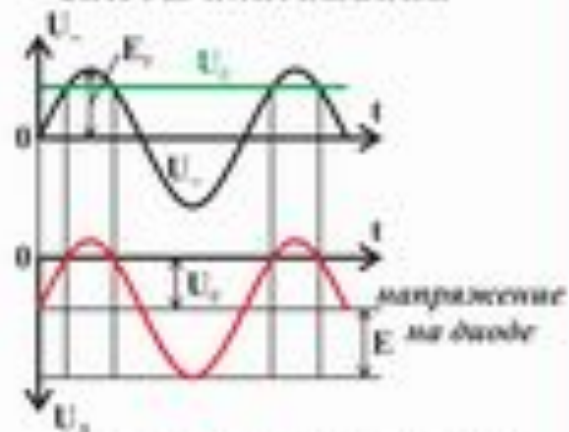
$$P_1 = \frac{U_c^2}{R} \quad \text{— мощность на сопротивлении } R$$

Мощность синусоидального сигнала

$$P_2 = \left( \frac{E_1}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{R_{\text{экв}}} \quad P_1 = P_2 \quad R_{\text{экв}} = \frac{R}{2}$$

Выходное напряжение ДАД равно напряжению на конденсаторе — положительному пиковому значению относительно нулевого уровня

ЭПОРЫ НАПРЯЖЕНИЙ



ЭПОРА НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ  
ПРЕДСМЕРЯЮЩЕМ НАПРЯЖЕНИИ

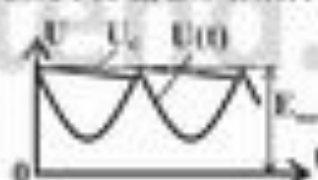
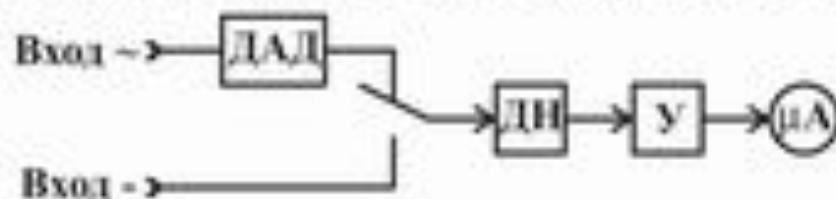
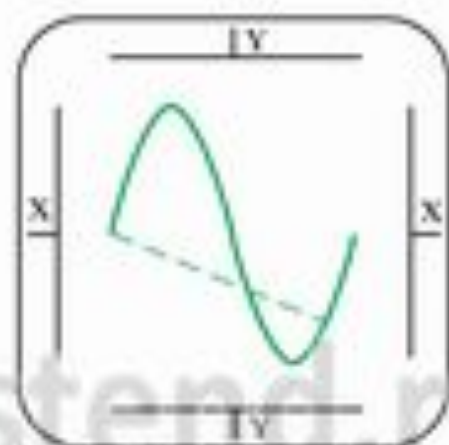
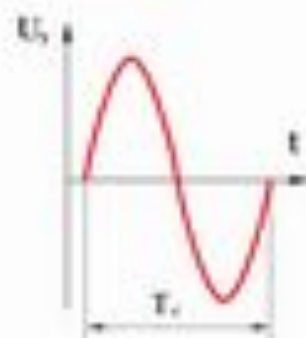


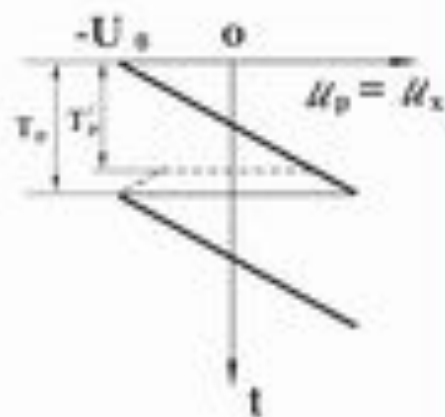
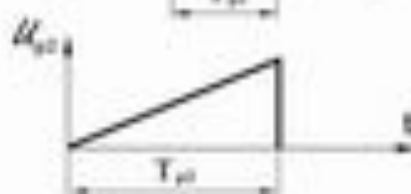
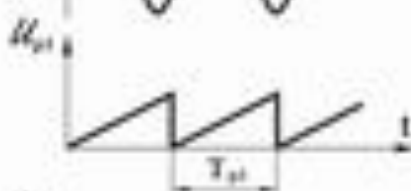
СХЕМА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛЬТМЕТРА



# РАЗВЕРТКА ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ЭКРАНЕ ОСЦИЛЛОГРАФА

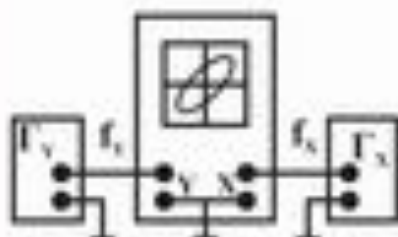


$$T_p = T_s$$



# ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ФИГУР ЛИССАЖУ

СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ



УСЛОВИЕ НЕПОДВИЖНОСТИ  
ФИГУР ЛИССАЖУ

$$1. \frac{f_2}{f_1} = \frac{p}{q}, \quad \text{где } p \text{ и } q - \text{некоторые целые числа}$$

$$2. \quad F = f_1 - pf_2 > 16, \quad *)$$

$f_1$  - большая из частот,

$p$  - наибольшее целое число, при котором отношение \*) имеет смысл.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОЙ ИЗ ЧАСТОТ ПО ИЗВЕСТНОЙ ВТОРОЙ

$m_1 f_1 = m_2 f_2$ ,  $m_1$  и  $m_2$  - соответственно наибольшее число пересечений фигуры Лиссажу с линиями, параллельными осям  $Y$  и  $X$

ФИГУРЫ ЛИССАЖУ

СДВИГ ФАЗ:

		0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$	$\pi$
Отношение частот:	1:1					
	1:2					
	1:3					
	2:3					

# \* Электростатическая система

Принцип работы э/с измерительных приборов на взаимодействии заряженных электродов, разделенных диэлектриком.

Конструктивно э/с приборы представляют собой разновидность плоского конденсатора, т. к. в результате перемещения подвижной части изменяется емкость системы. Практическое применение нашли приборы с поверхностным механизмом, т. е. когда изменение емкости осуществляется за счет изменения активной площади электродов. В приборах с линейным механизмом изменение емкости осуществляется за счет изменения расстояния между электродами.

Электростатические силы взаимодействия заряженных электродов создают вращающий момент, под действием которого подвижные электроды втягиваются в пространство между неподвижными и изменяют активную площадь электродов тем самым, меняя емкость  $C$ . Подвижные электроды втягиваются до тех пор, пока вращающий момент не станет равным противодействующему моменту.

Шкала прибора квадратичная, поэтому изменение полярности приложенного напряжения не изменяет направление вращения. При приложенном переменном напряжении прибор реагирует на среднее значение момента за период.

Достоинства э/с приборов: высокое входное напряжение; малая, но переменная входная емкость; малая мощность потребления; возможность использования в цепях постоянного и переменного тока; широкий частотный диапазон; независимость показаний от формы кривой измеряемого напряжения; показания прибора соответствуют среднеквадратичному значению измеряемого напряжения.

Недостатки э/с приборов: квадратичная шкала; чувствительность из-за слабого собственного электрического поля; невысокая точность; возможность пробоя между электродами; необходимость экрана.

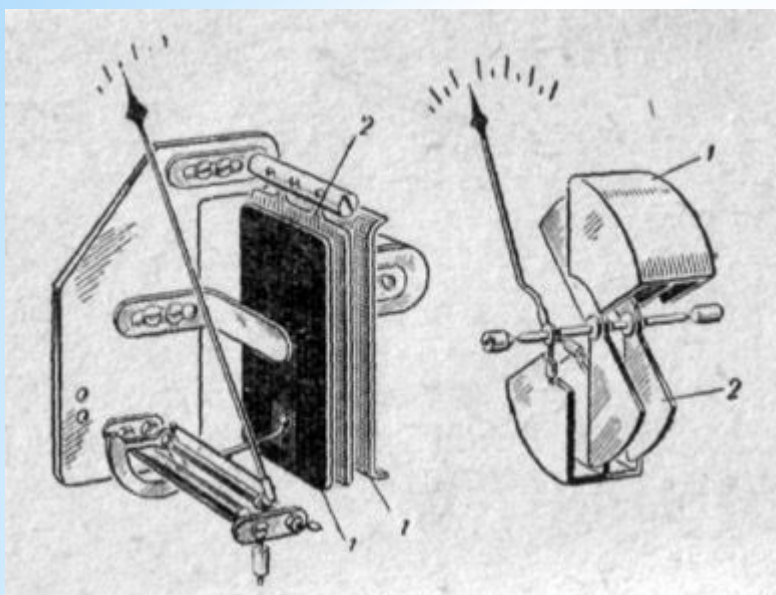


Рис. 188

1 - неподвижная пластина;  
2 - подвижная пластина.

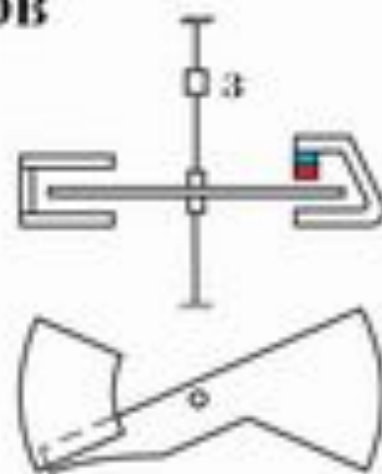
Прибор состоит из неподвижных 1 и подвижных 2 пластин (рис. 188). Измеряемое напряжение подводится к этим пластинам, в результате чего они притягиваются друг к другу. Движению пластин препятствует растяжение пружины, поэтому угол поворота стрелки пропорционален напряжению, подводимому к пластинам.

## Применение

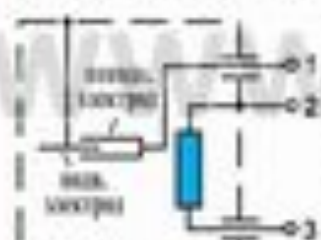
Э/с вольтметры применяют в цепях с маломощными источниками и при

лабораторных исследованиях в цепях высокого напряжения. Совместно с электронными усилителями э/с вольтметры используют как высокочувствительные электрометры и вольтметры переменного тока.

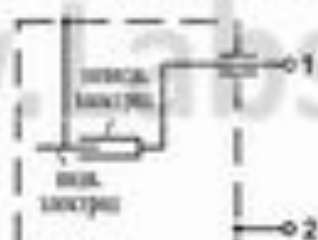
# УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛЬТМЕТРОВ



## СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛЬТМЕТРОВ



С защитным сопротивлением



Без защитного сопротивления



Схема оптического устройства электростатического вольтметра

Характеристика шкалы

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U^2$$



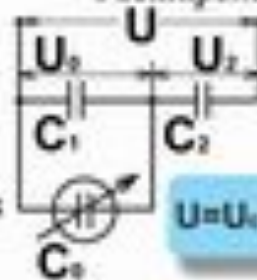
(Вид шкалы вольтметра)

Пределы измерения 10 В-15 кВ

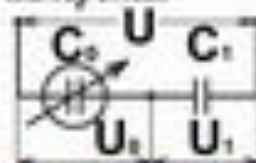
Классы точности:

0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5.

Расширение пределов измерения



$$U = U_1 \left(1 + \frac{C_0 + C_1}{C_0}\right)$$



$$U = U_1 \left(1 + \frac{C_1}{C_0}\right)$$

# ЭЛЕКТРОМЕТРЫ

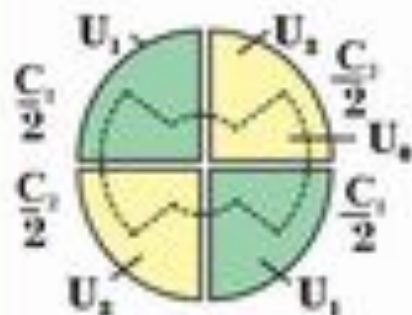
## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Вращающий момент

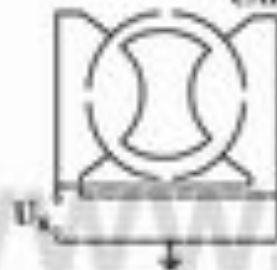
$$M_{вр} = \frac{1}{2} \frac{\partial C_1}{\partial \alpha} (U_1 U_2)^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial C_2}{\partial \alpha} (U_1 U_2)^2$$

При  $\frac{\partial C_2}{\partial \alpha} = -\frac{\partial C_1}{\partial \alpha} = \frac{\partial C}{\partial \alpha}$

$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} (U_1 U_2) \left[ U_2 - \frac{U_1 + U_2}{2} \right]$$



### СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕТРОВ



а) двойное включение  $U_1 = U_2 = U_x$ ;  $U_3 = 0$

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{1}{W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U_x^2$$

б) бысквитное включение  $U_1 = -U_2 = U$ ;  $U_3 = U_x$

$$\alpha = 2 \frac{1}{W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U U_x$$

Относительно  $U$ , шкала линейная

в) квадратное включение  $U_1 = 0$ ;  $U_2 = U$ ;  $U_3 = U_x$

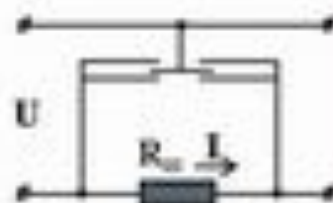
$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U_x \left( U - \frac{U_x}{2} \right)$$

При  $U \gg U_x$   $\alpha = \frac{1}{W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U U_x$

При переменном токе  $\alpha = \frac{1}{W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U_x U \cos(\hat{U} \hat{U}_x)$



Схема для измерения мощности





# \*Тепловая система

Принцип действия и устройство. Тепловые приборы основаны на удлинении тонкой металлической нити, по которой проходит ток, нагревающий нить. Измеряемый ток проходит по металлической нити, обычно из сплава платины с иридием, закрепленной с двух сторон неподвижно в точках. Примерно в середине она оттягивается второй металлической нитью, часто называемой мостиком, неподвижно закрепленной в точке.

Мостик в точке оттягивается тонкой шелковой нитью, перекинутой через ролик и закрепленной другим концом на плоской стальной пружине. На оси ролика укреплен стрелка. Когда тока в приборе нет, нить и мостик имеют небольшой провес, и стрелка стоит на нуле шкалы. Измеряемый ток, проходя по нити, нагревает ее, нить удлиняется, и точка, под влиянием натяжения пружины, перемещается в точку. По углу отклонения стрелки и судят о величине измеряемого тока.

Таким образом линейное удлинение нити превращается во вращательное движение оси со стрелкой. Соответствующим подбором длин нити, мостика, шелковой нити и диаметра ролика можно весьма небольшое удлинение, порядка десятых долей миллиметра, превратить в поворот оси на  $90^\circ$ . Длина платиноиридиевой нити обычно порядка 100 - 160 мм, диаметр ее не превышает 0,03 - 0,05 мм. Для успокоения подвижной части применяется алюминиевый сектор, закрепленный на оси и передвигающийся между полюсами постоянного магнита

Свойства и область применения. Тепловые приборы применяются как на постоянном, так и на переменном токе. Рассуждениями, аналогичными приведенным в разделе электродинамических приборов, можно доказать, что тепловые приборы на переменном токе показывают действующее значение измеряемой величины (тока или напряжения).

Благодаря ничтожной индуктивности нити, показания тепловых приборов не зависят от изменения частоты в широких пределах. Это обстоятельство позволяет применять тепловые приборы в цепях переменного тока высокой частоты. Вопрос перегрузки является для тепловых приборов особенно серьезным. Повышение температуры нити пропорционально квадрату силы тока

Стремясь увеличить чувствительность прибора, допускают довольно сильный нагрев нити при номинальном токе (до  $300^{\circ}\text{C}$ ), что, естественно, уменьшает предел допустимой перегрузки прибора. При 1,5 - 2-кратной силе номинального тока, даже кратковременной, нить прибора перегорает. Для расширения пределов измерения тепловых приборов можно применять шунты (для амперметров) и добавочные сопротивления (для вольтметров).

Однако, применение амперметров с шунтами в цепях высокой частоты нежелательно, так как шунт и нить обладают различной индуктивностью, что при изменениях частоты вызывает иное распределение токов между шунтом и нитью, и, следовательно, погрешность от изменения частоты. Поэтому для расширения пределов измерения на высокой частоте обычно применяют особо устроенные (высокочастотные) измерительные трансформаторы. Расход мощности у тепловых приборов довольно велик, особенно в вольтметрах. Так, для вольтметров на 150 V расход мощности составляет 20 - 30 W, у амперметров на 5 A-порядка 1-3 W.

На показания тепловых приборов сильно влияет изменение температуры окружающей среды, вызывающее дополнительное удлинение (или сокращение) нити. Для компенсации этого влияния применяются различные приспособления. Нагреваемая нить одним своим концом прикреплена к пружине. Эта пружина удерживается в натянутом состоянии проволокой АКУ которая имеет длину и температурный коэффициент примерно такой же, как и нагреваемая нить.

При повышении окружающей температуры удлиняется не только нагреваемая нить, но также и компенсационная проволока, отпуская при этом пружину, которая возвращает нить к первоначальному провесу. Погрешность от изменения частоты в цепях промышленной и повышенной частоты практически равна нулю. В цепях же высокой частоты (порядка 106 Hz) погрешность может достигать 3 - 5% от номинального значения. Погрешность от внешних магнитных долей в тепловых приборах не имеет места.

При монтаже приборов на распределительных щитах это обстоятельство необходимо учитывать и стремиться располагать шины и приборы так, чтобы поле, создаваемое токами, проходящими по шинам, не было перпендикулярно полю катушки прибора, так как в последнем случае погрешность от влияния внешнего поля будет наибольшей. Частично слияние внешних магнитных полей ослабляется благодаря железному кожуху, который выполняет роль магнитного экрана. Все же погрешность эта составляет обычно 1-2% при действии внешнего поля напряженностью , в 5 Oe, совпадающего по направлению с полем катушки.

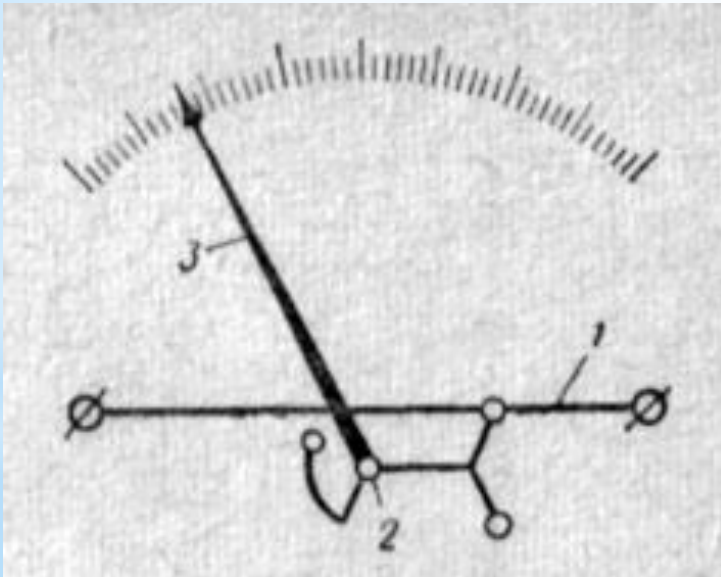
Само собой разумеется, что на прибор, включенный в цепь постоянного тока, влияет только постоянное по направлению поле, а на прибор, работающий в цепи переменного тока, влияет только переменное поле. Наибольшее влияние в последнем случае обнаруживается, если фазы внешнего поля совпадают с фазой поля катушки. В астатических приборах влияние внешнего поля невелико, так как внешнее магнитное поле влияет на собственные магнитные поля катушек в прямо противоположных направлениях.

Если внешнее поле однородно в пространстве, занятом обеими катушками, то вращающий момент одной системы увеличивается примерно на такую же величину, на какую вращающий момент другой системы уменьшается. Таким образом, результирующий вращающий момент всего прибора, под влиянием внешнего магнитного поля, остается практически неизменным. Погрешность от температуры в электромагнитных амперметрах не имеет места, если не считать небольшого изменения противодействующего момента пружинки.

Повышение температуры вызывает увеличение сопротивления обмотки катушки и, тем самым, увеличение общего сопротивления цепи. Амперметр, включенный последовательно в цепь, очевидно, измерит именно ту силу тока, которая проходит по цепи и которая обусловлена лишь приложенным напряжением и общим сопротивлением цепи. У вольтметров погрешность от температуры определяется соотношением сопротивлений медной проволоки катушки и манганиновой проволоки добавочного сопротивления.

Если сопротивление катушки и добавочное сопротивление примерно одинаковы, то погрешность от температуры будет составлять около 2% на  $10^{\circ}\text{C}$ . В вольтметрах на 150 V, и выше добавочное сопротивление в 5-7 раз больше сопротивления катушки, и погрешность от температуры в этом случае едва достигает 0,3 - 0,4% на  $10^{\circ}\text{C}$ . При применении электромагнитного вольтметра на переменном токе может возникнуть также погрешность вследствие изменения частоты сети.

Погрешность эта обусловлена изменением индуктивного сопротивления вольтметра. Погрешность от частоты при практически имеющих место изменениях промышленной частоты очень незначительна. Поляризованные электромагнитные приборы. К электромагнитным приборам относятся также приборы, применяемые только на постоянном токе, с постоянным магнитом. Сердечник из мягкого железа, насаженный на ось под некоторым углом (обычно в  $45^{\circ}$ ), помещается внутри катушки, по которой проходит измеряемый ток.



1-проволка; 2-ось вращения; 3- стрелка

Через туго натянутую платиновую проволоку 1 проходит измеряемый ток, который нагревает ее. Вызываемое этим удлинение приводит к вращению стрелки 3 вокруг оси 2.

Приборы этой системы применяются для грубых измерений переменных токов высокой частоты.