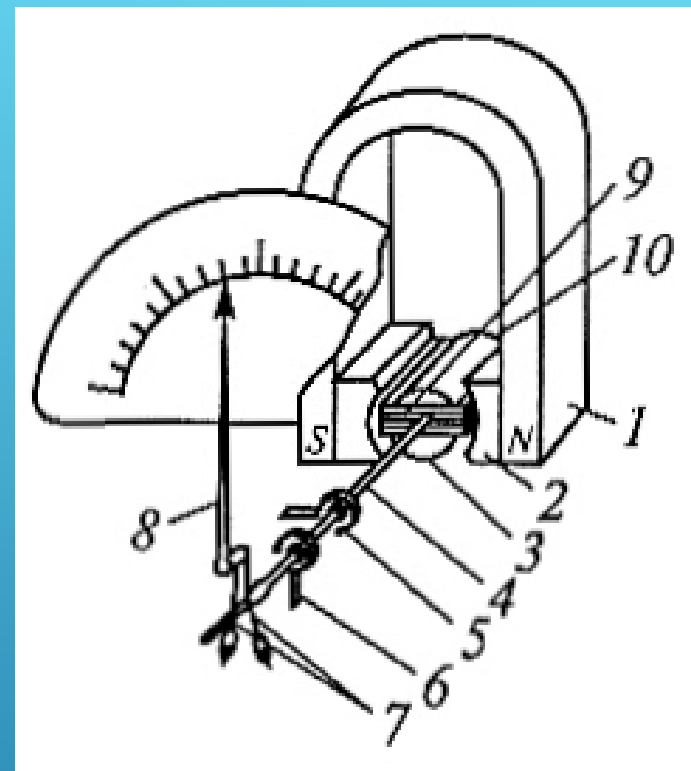


ЧАСТЬ 4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Several thin, parallel white lines of varying lengths and slopes are positioned in the lower right quadrant of the image, creating a sense of motion or a stylized graphic element.

- 1 - Постоянный магнит
- 2 - Магнитопровод с полюсными наконечниками
- 3 - Неподвижный сердечник
- 4 и 10 - Полуоси
- 5 и 6 - Спиральные пружины
- 7 - Передвижные грузики
- 8 - Стрелка
- 9 - Подвижная прямоугольная катушка



ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Электромагнитная энергия в контуре с током I , находящимся в поле магнита, равна $W_{эм} = I\psi$ (ψ – потокосцепление катушки).

Тогда момент

$$M_{вр} = I \frac{d\psi}{d\alpha}$$

Полное изменение потокосцепления

$$d\psi = BSwd\alpha$$

Поэтому $M_{вр} = BSwl$.

ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

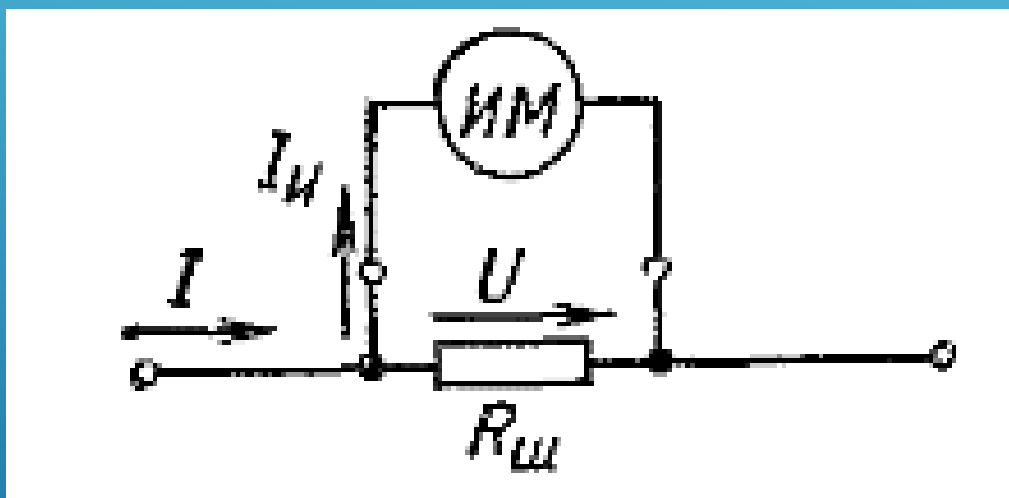
Противодействующий момент $M_{пр} = W\alpha$, и из условия равенства моментов получим уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = \frac{BS_w}{W} I = S_I \cdot I$$

► где S_I – чувствительность прибора по току.

ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Шунт – это сопротивление небольшого номинала специального исполнения, являющееся простейшим преобразователем тока в пропорциональное ему напряжение, используемое для расширения пределов измерения амперметров на постоянном токе.

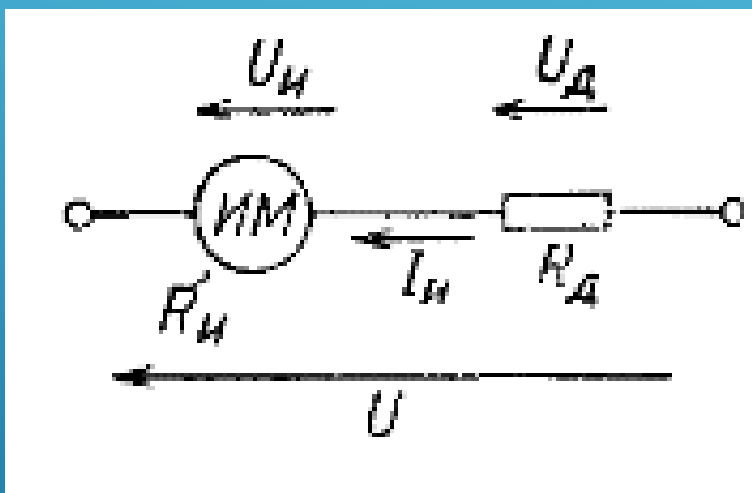


$$I_u = I (R_{ш} / R_{ш} + R_{и})$$

$$R_{ш} = R_u / (n - 1)$$

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА ПМЭС

Добавочные резисторы являются измерительными преобразователями напряжения в ток, а на значение тока непосредственно реагируют измерительные механизмы вольтметров.

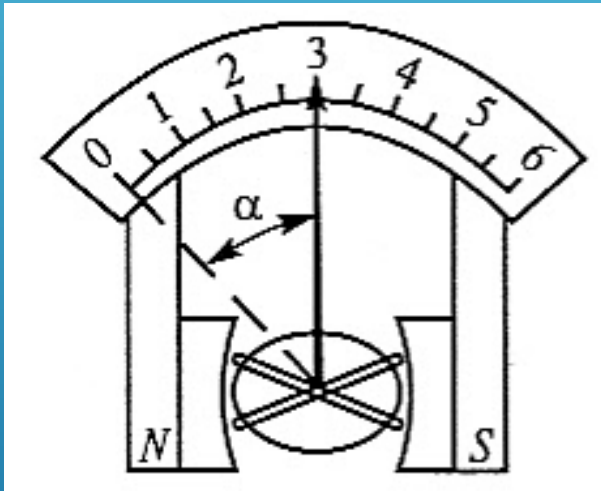


$$I_u = U / (R_u + R_d)$$

$$R_d = R_u \cdot (n - 1)$$

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПМЭС

Логометры – электромеханические приборы, измеряющие отношение двух электрических величин, обычно двух токов: $\alpha = f(I_1/I_2)$, что позволяет сделать их показания независимыми в известных пределах от напряжения источника питания.

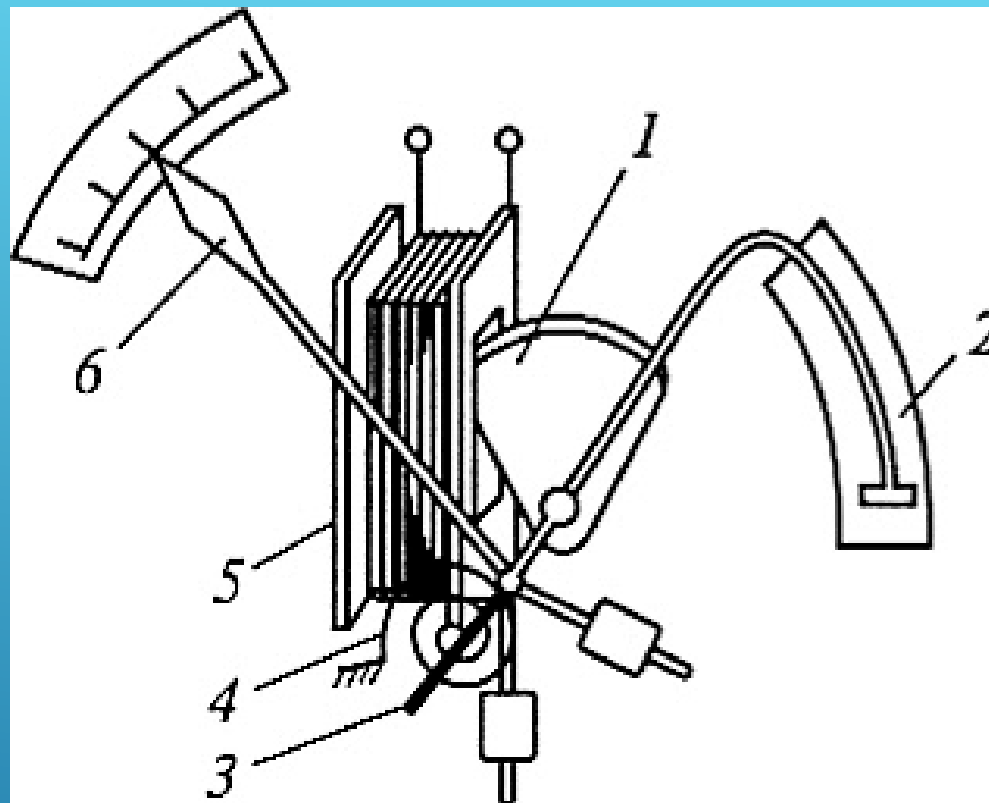


$$M_{вр} = I_1 f_1(\alpha); M_{нр} = I_2 f_2(\alpha),$$

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

ЛОГОМЕТРЫ

- 1 - Сердечника
- 2 - Успокоитель
- 3 - Ось сердечника
- 4 - Спиральная пружина
- 5 - Воздушный зазор катушки
- 6 - Стрелка



ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

Энергия поля катушки с током I выражается формулой $W_{\text{эм}} = LI^2/2$, поэтому вращающий момент

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

Из условия равенства вращающего и противодействующего моментов получим уравнение шкалы прибора

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

ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

Прибор содержит две катушки, причём сердечники обеих катушек имеют общую ось. Токи в катушках направлены так, что моменты, создаваемые ими, направлены встречно – следовательно, один момент является вращающим, другой противодействующим.

Энергия катушек определяется выражениями

$$W_1 = \frac{L_1 I_1^2}{2}, W_2 = \frac{L_2 I_2^2}{2}$$

поэтому моменты будут равны:

$$M_1 = \frac{I_1^2}{2} \cdot \frac{dL_1}{d\alpha} = I_1^2 \cdot f_1(\alpha), M_2 = \frac{I_2^2}{2} \cdot \frac{dL_2}{d\alpha} = I_2^2 \cdot f_2(\alpha)$$

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЛОГОМЕТР

Прибор уравновешен при условии $M_1=M_2$, т.е.

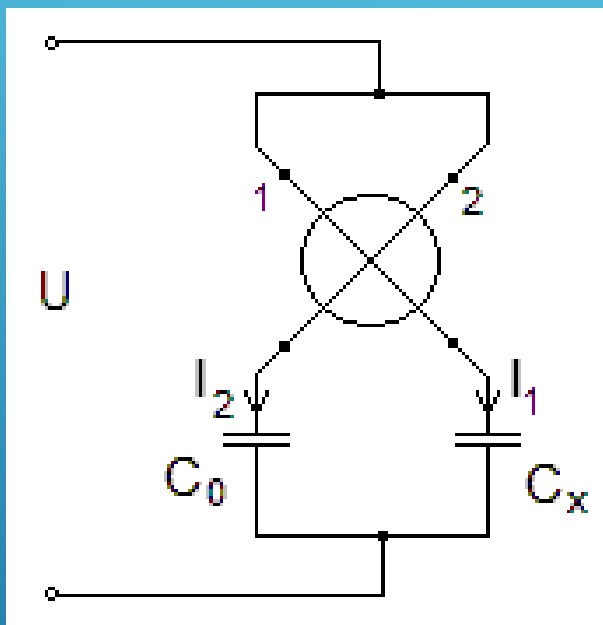
$$I_1^2 \cdot f_1(\alpha) = I_2^2 \cdot f_2(\alpha)$$

Отсюда получим уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = f\left(\frac{I_1^2}{I_2^2}\right) = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2$$

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЛОГОМЕТР

Пример использования электромагнитного логометра – **фарадометр** (измеритель ёмкости), схема которого приведена на рисунке.

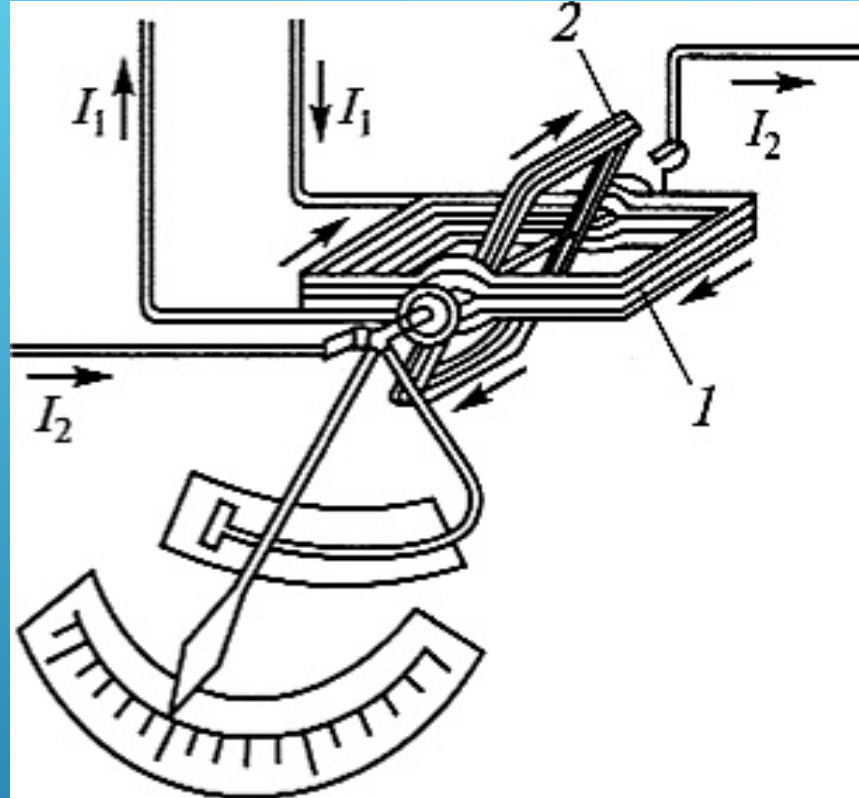


$$I_1 = U \omega C_x, I_2 = U \omega C_0$$

$$\alpha = f \left(\frac{U \omega C_x}{U \omega C_0} \right)^2 = f \left(\frac{C_x}{C_0} \right)^2$$

ФАРАДОМЕТР

- ▶ 1. Неподвижная катушка
- ▶ 2. Подвижная катушка



ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

- ▶ Электромагнитная энергия системы двух катушек с токами I_1 и I_2

$$W_{\text{эм}} = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M I_1 I_2$$

- ▶ Вращающий момент

$$M_{\text{вр}} = \frac{dW_{\text{эм}}}{d\alpha} = I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha}$$

ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

- ▶ После приравнивания, вращающего и противодействующего моментов получаем уравнение шкалы прибора

$$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha}$$

- ▶ Учитывая, что взаимная индуктивность M катушек зависит от расположения подвижной катушки относительно неподвижной, можно представить уравнение в общем виде:

$$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 f(\alpha)$$

ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

- ▶ Это уравнение действительно для случая работы ПЭДС на постоянном токе. На переменном токе показания ПЭДС зависят от произведения действующих значений токов I_1 и I_2 и от сдвига по фазе между этими токами:

$$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \cdot \cos \psi \cdot f(\alpha)$$

- ▶ При последовательном соединении катушек $I_1=I_2=I$, $\psi=0$, $\cos \psi=1$ и уравнение примет вид:

$$\alpha = \frac{1}{W} I^2 \cdot f(\alpha)$$

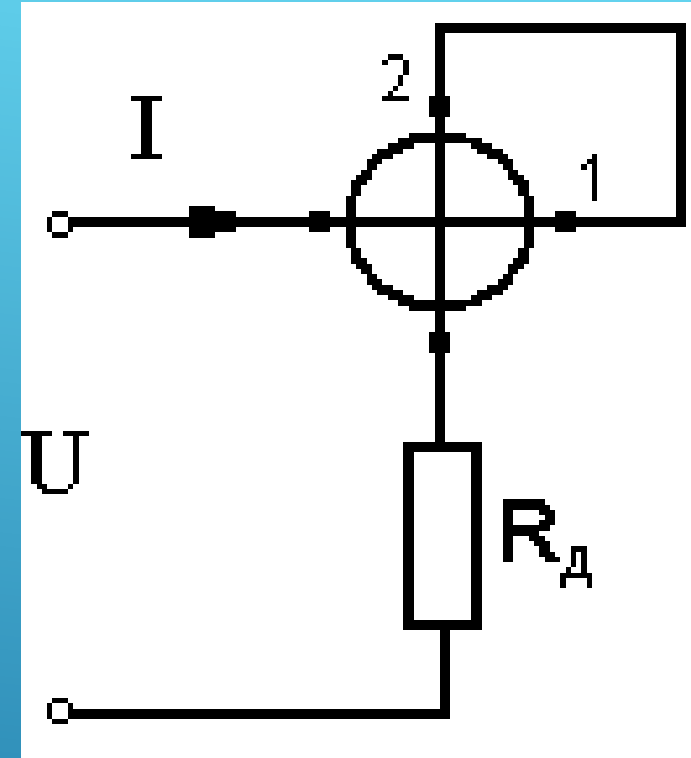
ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

► I. Измерение напряжения

- 1 – неподвижная катушка (токовая цепь);
- 2 – подвижная катушка (цепь напряжения).

Уравнение шкалы имеет вид :

$$\alpha = \frac{1}{W} I^2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$



ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

II. Измерение тока.

Катушки ИМ включаются последовательно.

Для расширения пределов измерения используются:

- ▶ на постоянном токе – шунты
- ▶ на переменном токе – измерительные трансформаторы тока.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ



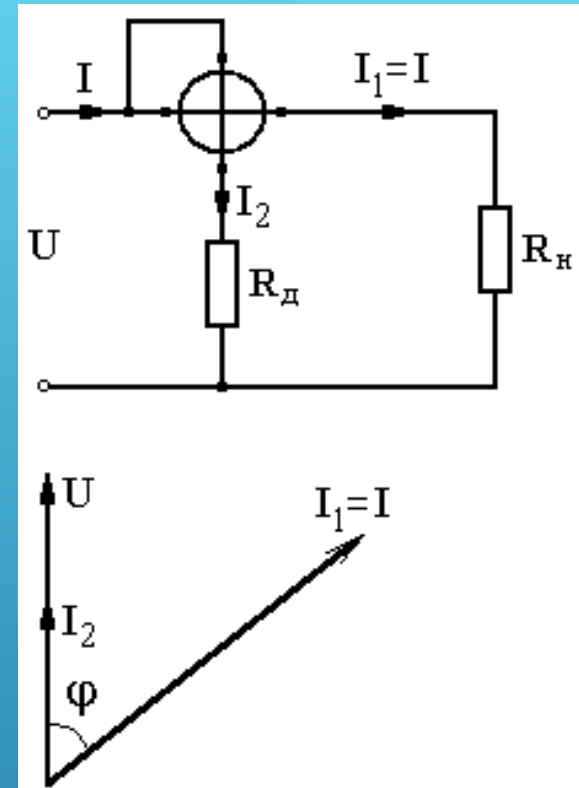
► III. Измерение мощности (ваттметр).

Для цепи постоянного тока:

$$M_{ep} = I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} = \frac{UI}{R_{02} + R_d} \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

уравнение шкалы

$$\alpha = P \frac{1}{WR} \frac{dM_{12}}{d\alpha} = f(P)$$



ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

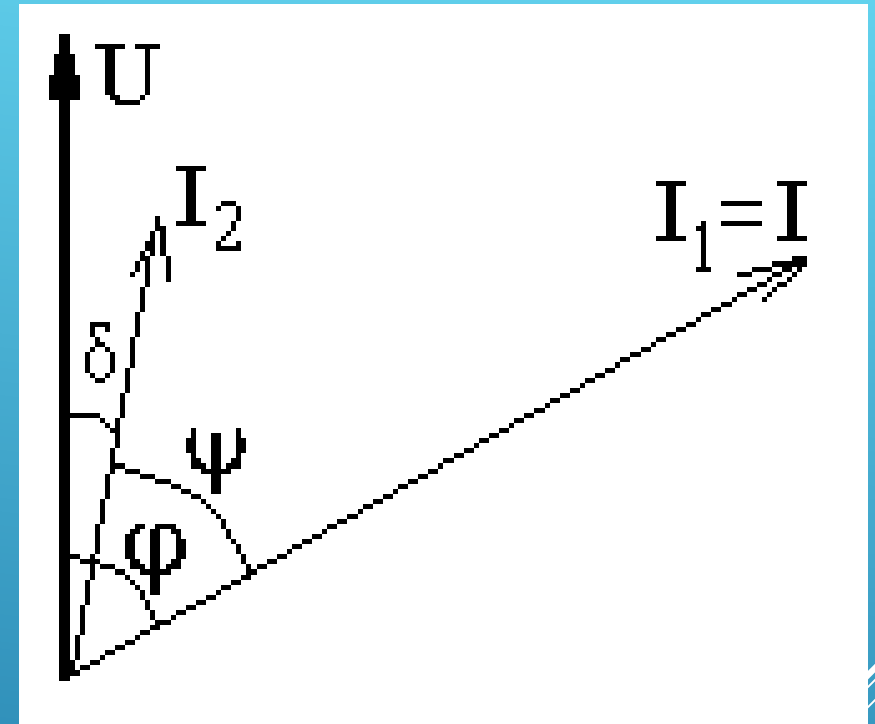
► III. Измерение мощности (ваттметр).

Для цепи однофазного переменного тока:

$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{UI \cos \phi}{R_{02} + R_{\delta}} \frac{dM_{12}}{d\alpha} = f(P)$$

С учетом индуктивности уравнение шкалы примет вид:

$$\alpha = \frac{1}{W} \cdot K \cdot UI \cos(\phi - \delta)$$



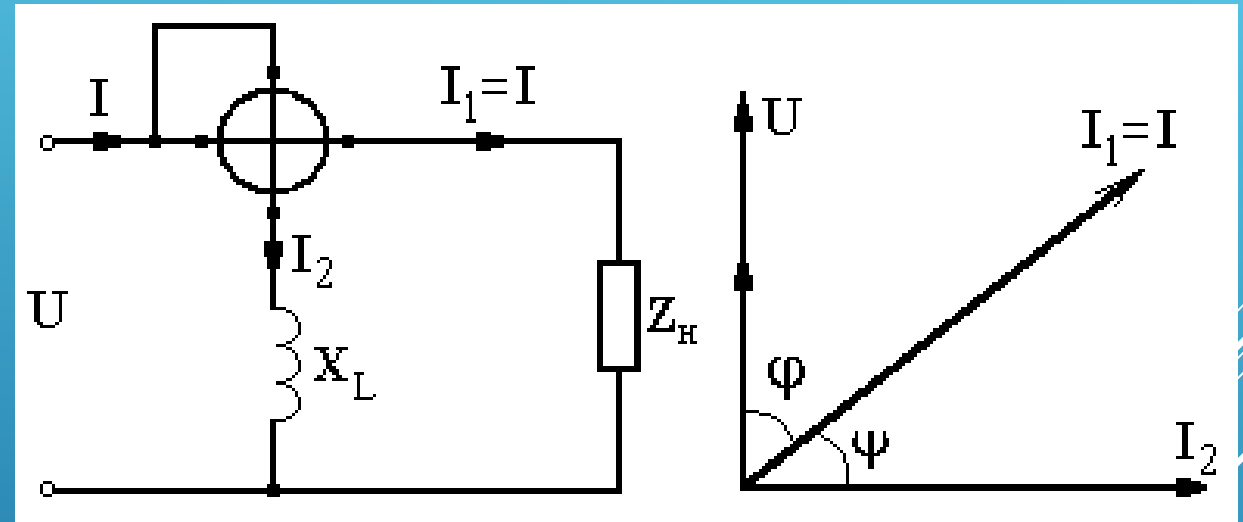
ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

► IV. Измерение реактивной мощности

Как известно, реактивная мощность $Q = UI \sin \phi$.

Уравнение шкалы

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{1}{W} \frac{dM_{12}}{d\alpha} I \frac{U}{X_L} \cos \psi = \\ &= \frac{1}{W} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \frac{UI \sin \phi}{X_L} = K \cdot Q\end{aligned}$$



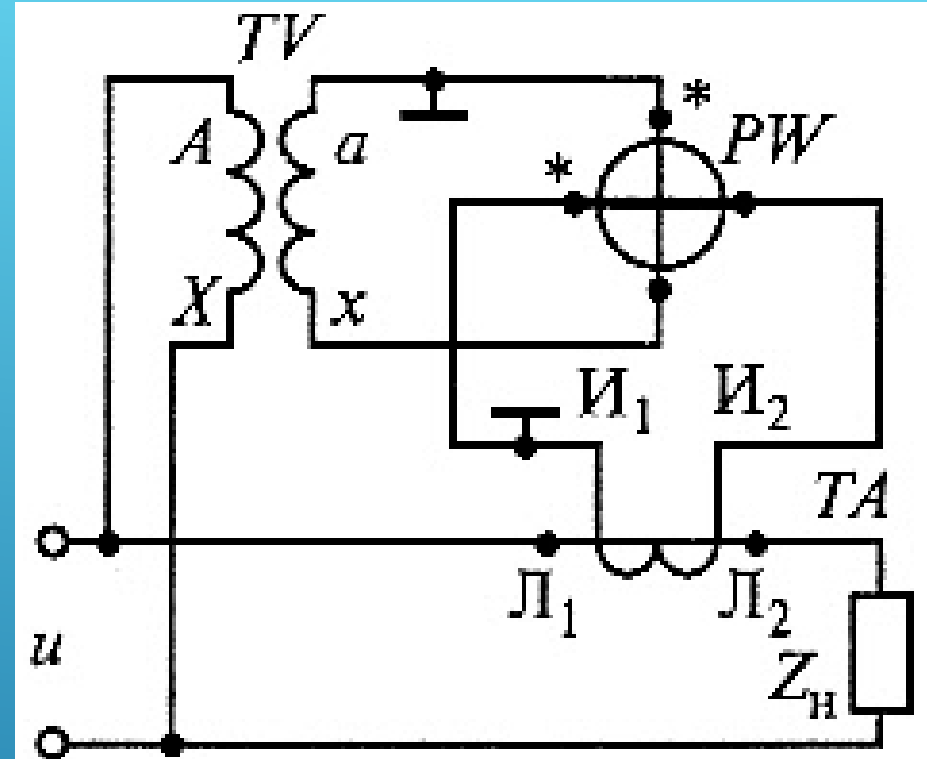
ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

► V. Подключение ваттметра к однофазной цепи

На рисунке обозначены:

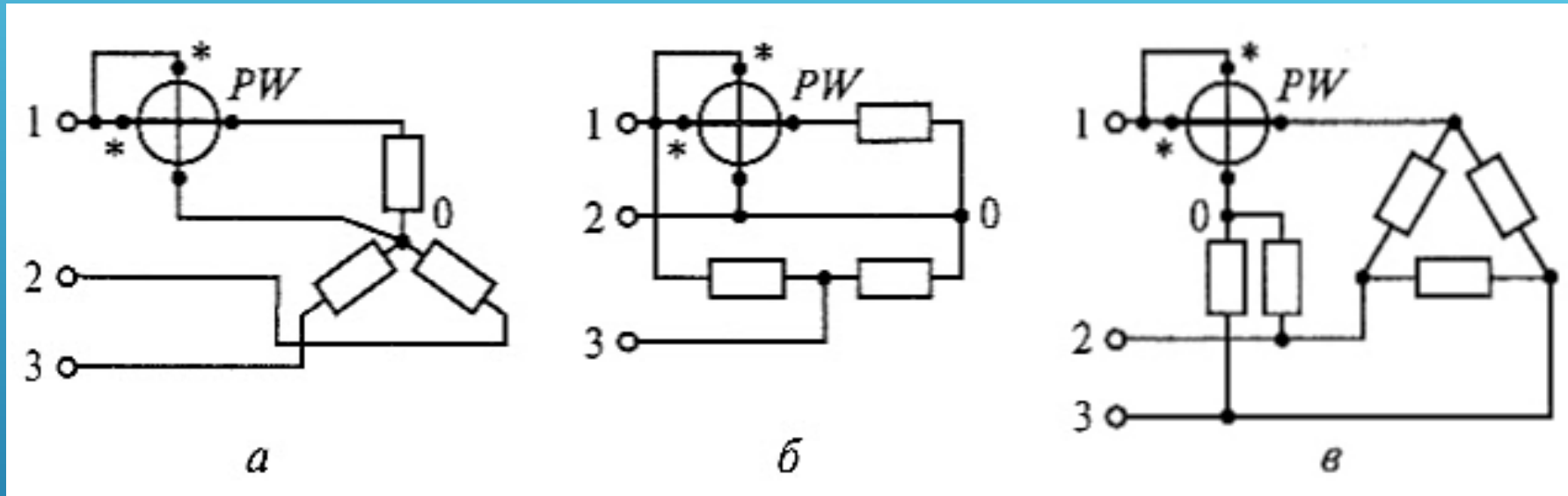
A, X – начало и конец первичной обмотки,
a, x – начало и конец вторичной обмотки
трансформатора напряжения;

L₁, L₂ – начало и конец первичной обмотки,
I₁, I₂ – начало и конец вторичной обмотки
трансформатора тока.



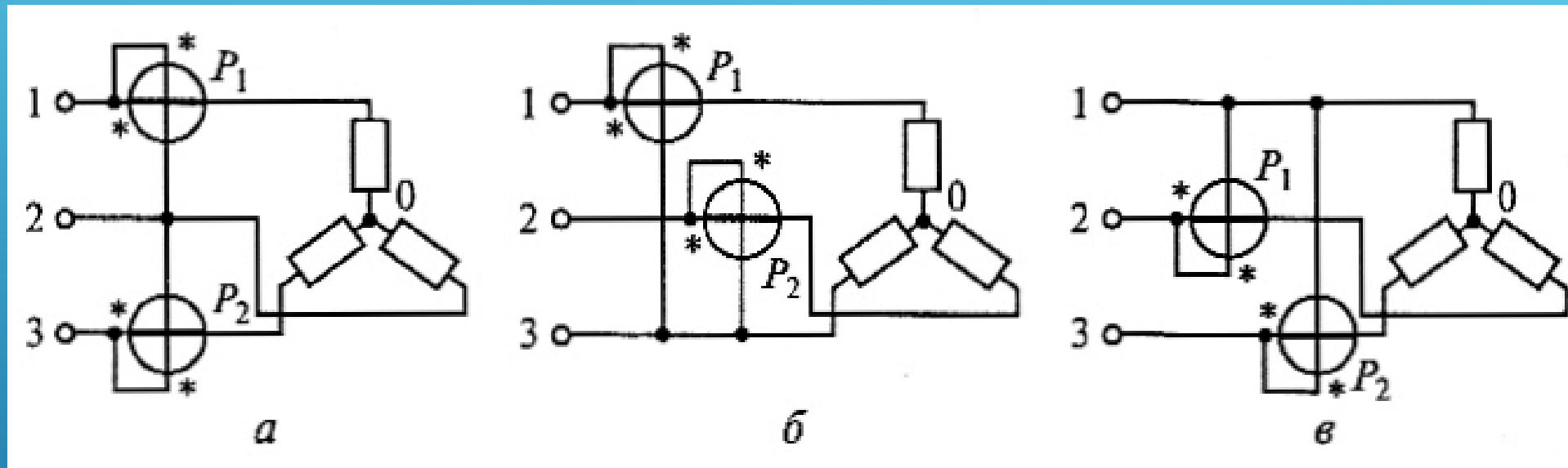
ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

- ▶ VI. Измерение мощности в трехфазных цепях (Метод одного прибора)



ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

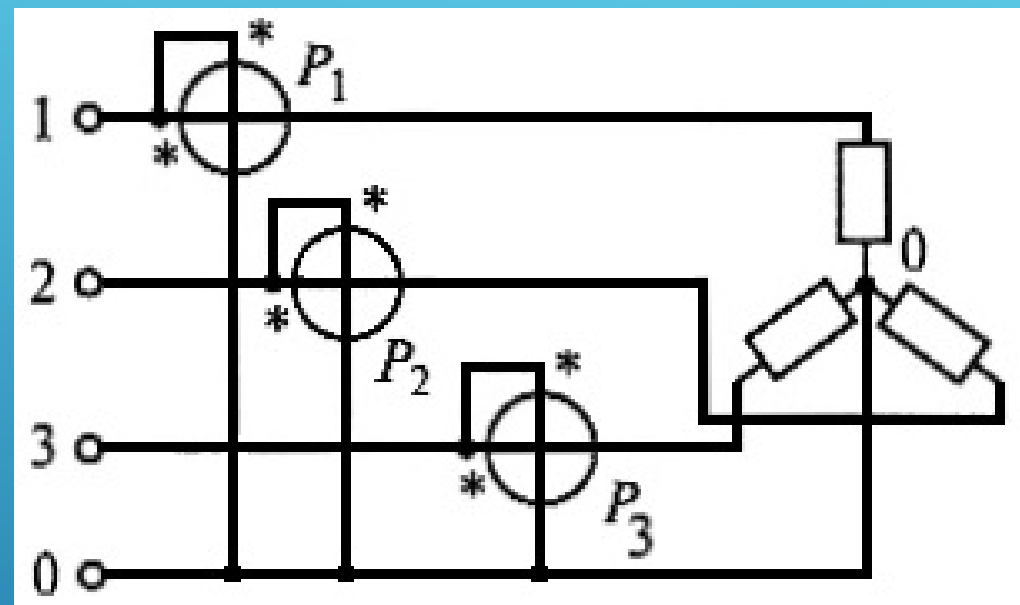
- ▶ VI. Измерение мощности в трехфазных цепях (Метод двух приборов)



**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

► VI. Измерение мощности в трехфазных цепях (Метод трех приборов)

В этом случае общая мощность при наличии нулевого провода будет равна арифметической сумме показаний трех ваттметров $P = P_1 + P_2 + P_3$.



ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

► VII. Измерение фазы

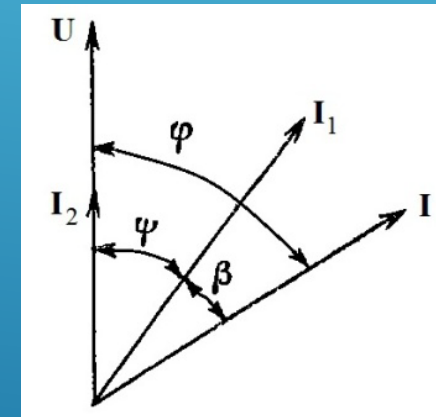
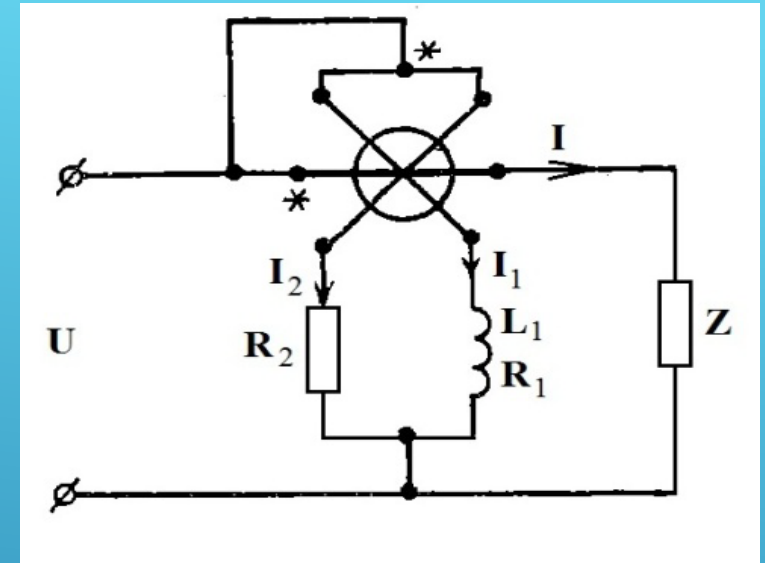
Вращающий и противодействующий моменты направлены навстречу друг другу:

$$M_{вр} = k_1 \cdot I \cdot I_1 \cdot \cos \beta \cdot \frac{dM_1}{d\alpha}, M_{пр} = k_2 \cdot I \cdot I_2 \cdot \cos \phi \cdot \frac{dM_2}{d\alpha}$$

и из условия их равенства получаем

$$\frac{k_1 \cdot I \cdot I_1 \cdot \cos(\phi - \psi)}{k_2 \cdot I \cdot I_2 \cdot \cos \phi} = \frac{dM_1/d\alpha}{dM_2/d\alpha}$$

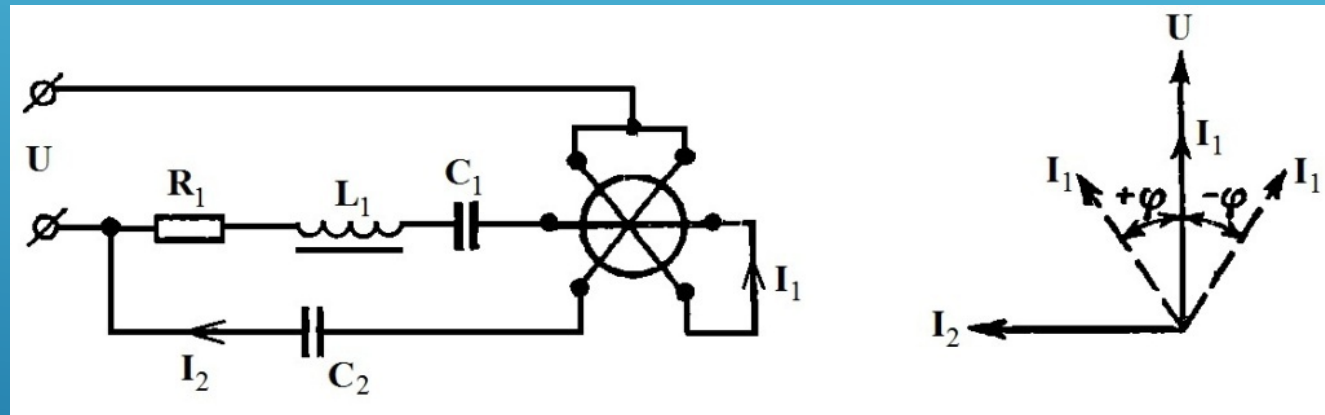
ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ



► VIII. Измерение частоты

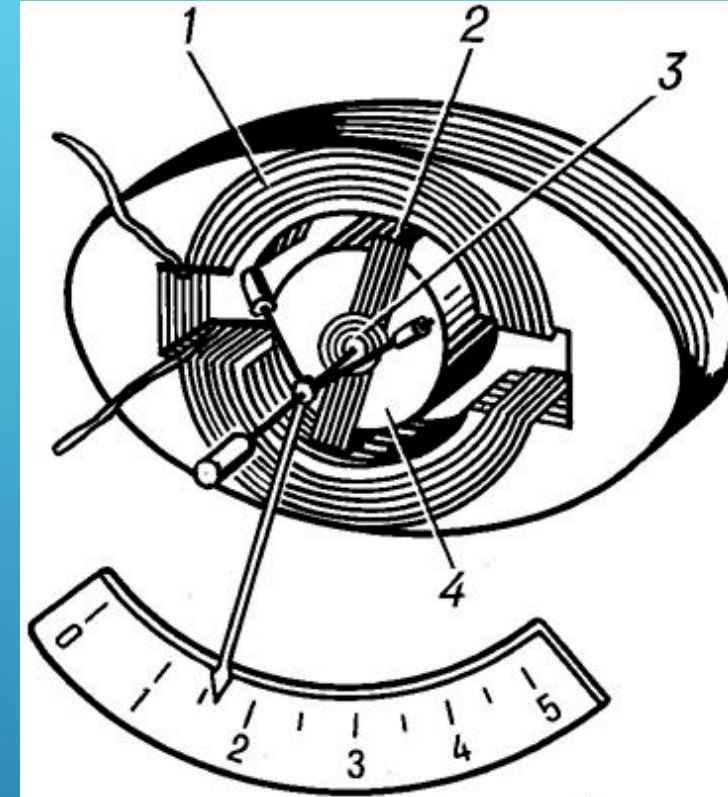
На подвижную часть действуют моменты, направленные навстречу друг другу, которые могут быть представлены так:

$$M_1 = k_1 I_1^2 F_1(\alpha), M_2 = k_2 I_1 I_2 \cos(I_1, I_2) F_2(\alpha)$$



ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

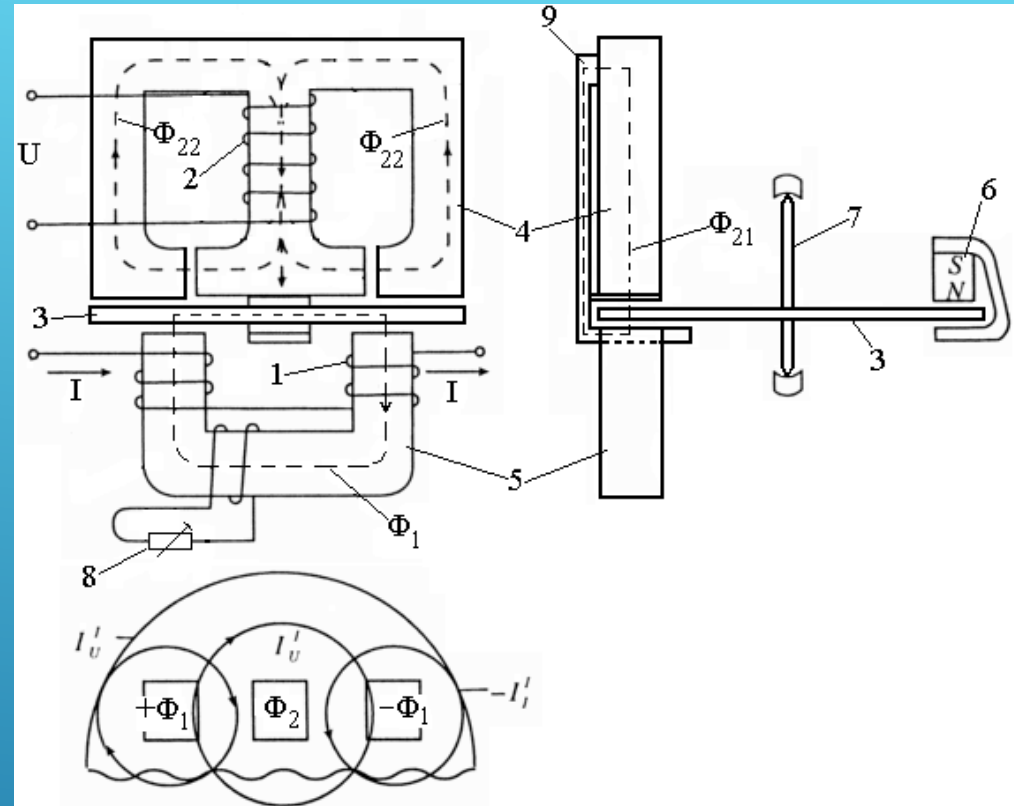
- ▶ 1 – неподвижная катушка на магнитопроводе;
- ▶ 2 – подвижная катушка;
- ▶ 3 – пружина;
- ▶ 4 – сердечник подвижной катушки



ПРИБОРЫ ФЕРРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Счетчик электроэнергии

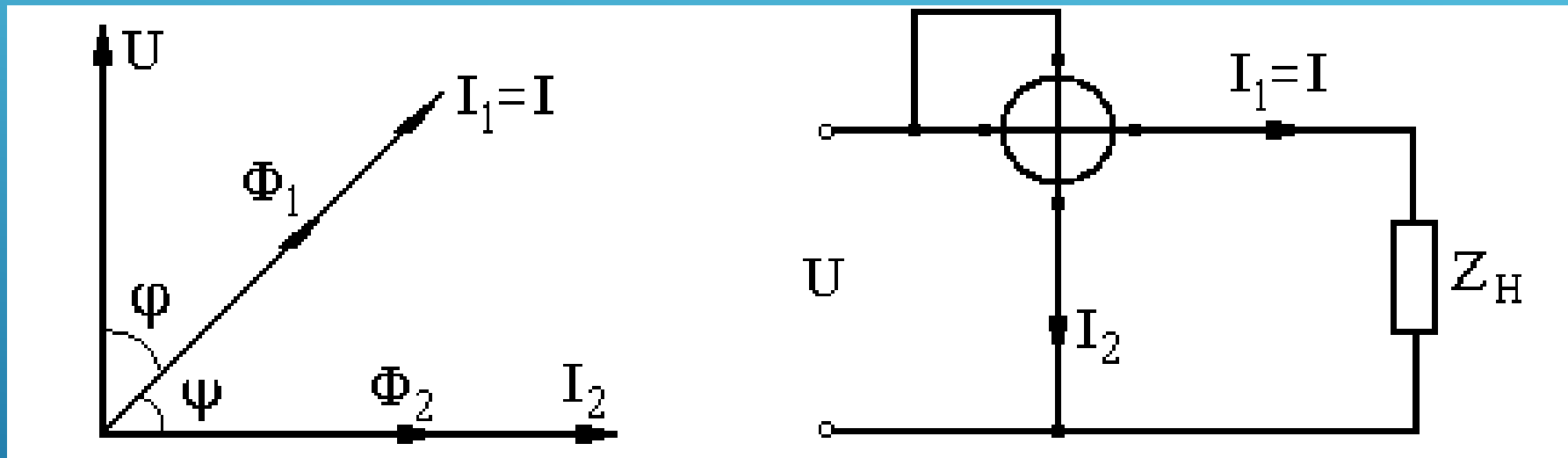
- ▶ 1 – Токовая обмотка
- ▶ 2 – Обмотка напряжения
- ▶ 3 – Диск
- ▶ 4 – Магнитопровод обмотки напряжения
- ▶ 5 – Магнитопровод токовой обмотки
- ▶ 6 – Постоянный магнит, создающий противодействующий момент
- ▶ 7 – Ось диска
- ▶ 8 – Сопротивление для регулирования угла фазового сдвига
- ▶ 9 – Ярмо (магнитопровод)



ПРИБОРЫ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.

Взаимодействие магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 с полем вихревых токов создает вращающий момент:

$$M_{BP} = k\Phi_1\Phi_2 \sin \psi$$



**ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА И
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ**

Вращающий момент пропорционален активной мощности:

$$M_{BP} = k_1 UI \cos \varphi = k_2 P$$

Вращающий момент пропорционален активной мощности:

$$M_{PP} = k_3 \Phi_M I_D$$

где Φ_M – поток магнита,

I_D – ток, наводимый в диске,

$I_D = E_D / z_D$, E_D – э.д.с., наводимая в диске,

$E_D = C_e \Phi_M n$, n – число оборотов диска.

Тогда $M_{PP} = k_4 n$.

СЧЕТЧИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Согласно условию равновесия:

$$M_{\text{ПР}} = M_{\text{БР}}, k_2 P = k_4 n \text{ или } P = \frac{k_4}{k_2} n.$$

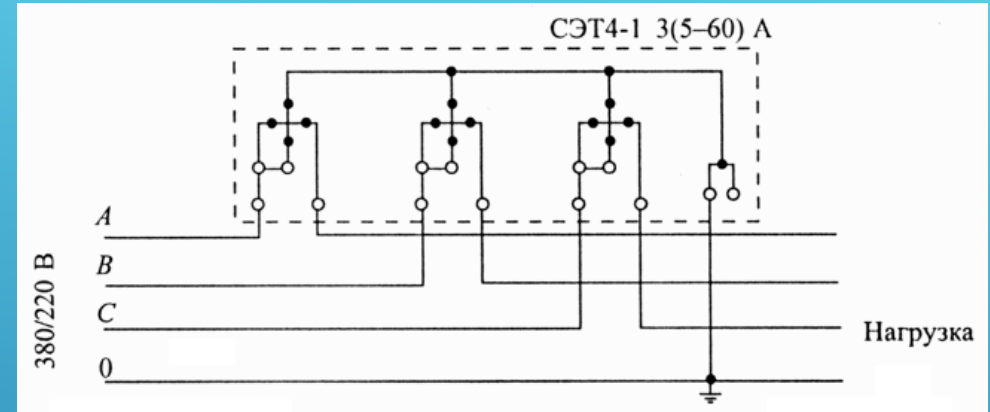
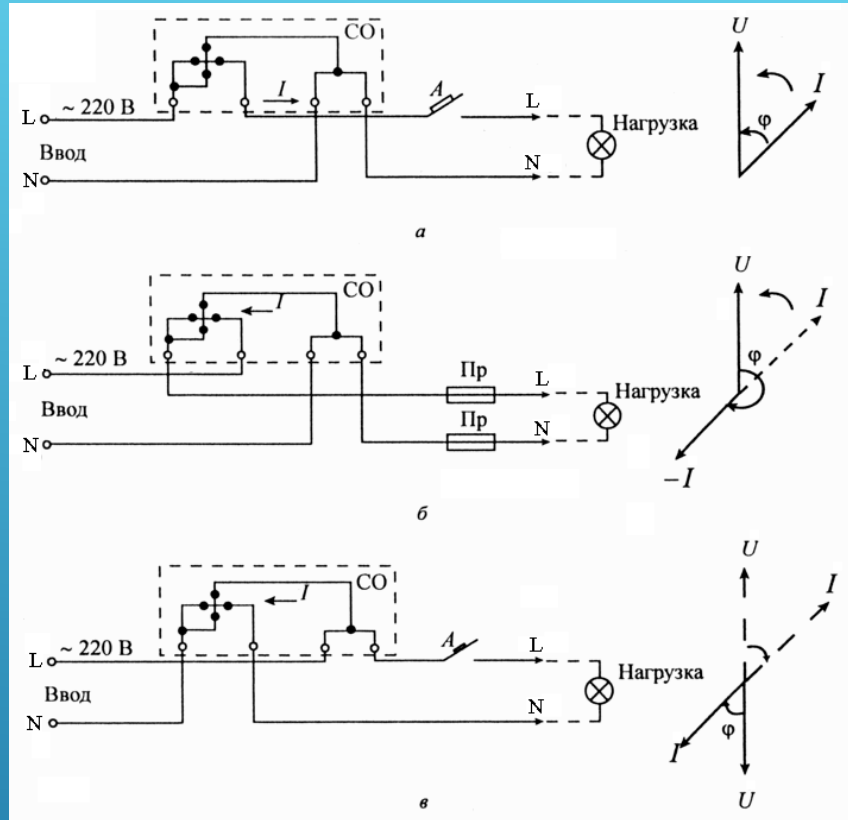
Энергия равна:

$$W = \int_{t1}^{t2} P dt = \int_{t1}^{t2} \frac{k_4}{k_2} n dt = CN$$

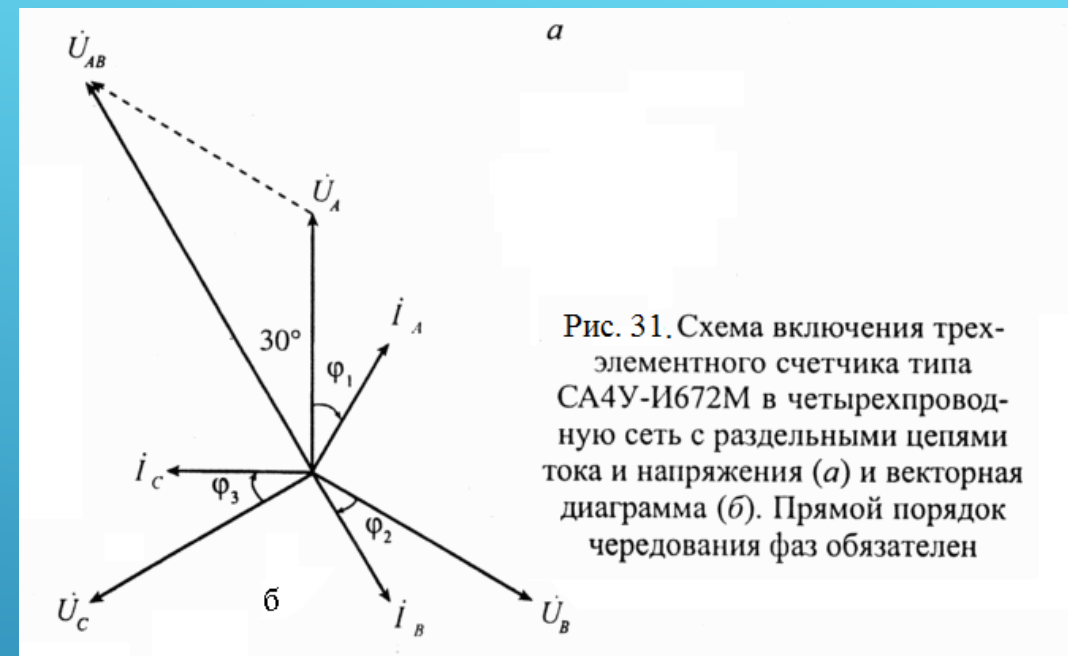
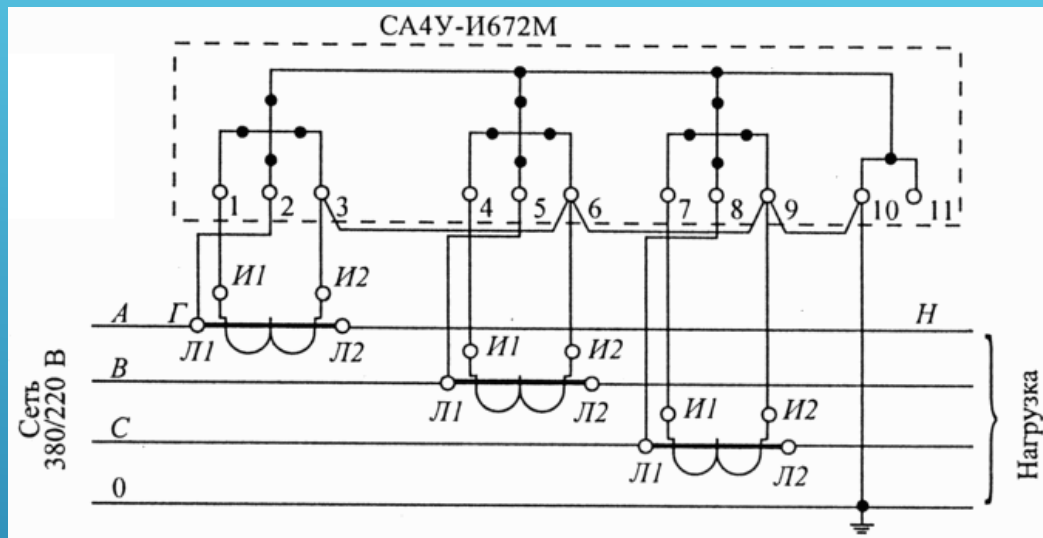
где С – конструктивная постоянная [Вт*с/об],

N – число оборотов.

СЧЕТЧИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ОДНО- И ТРЕХФАЗНЫХ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ОДНО- И ТРЕХФАЗНЫХ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

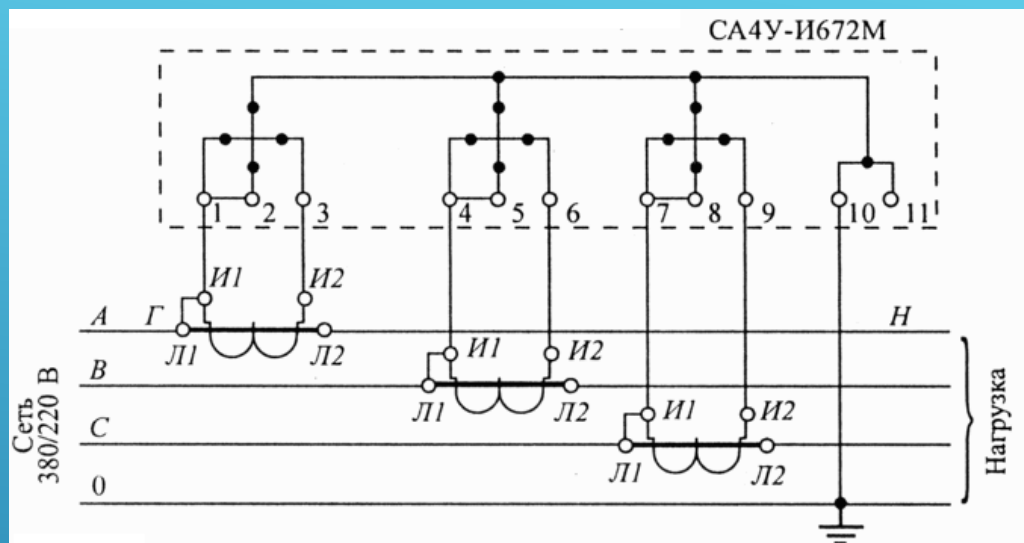
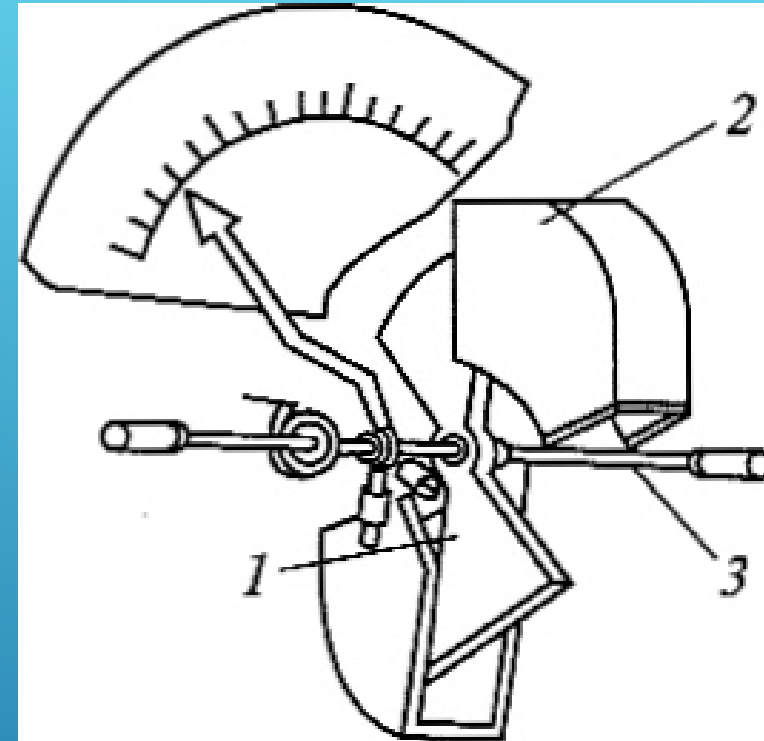


Рис. 32 . Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с совмещенными цепями тока и напряжения. Прямой порядок чередования фаз обязателен: Л1 – И1 – перемычки, установленные на ТТ; 1–2; 4–5; 7–8 – перемычки, установленные на счетчике

СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ОДНО- И ТРЕХФАЗНЫХ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- ▶ 1 – Подвижная алюминиевая пластина;
- ▶ 2 – Электрически соединенные неподвижные пластины;
- ▶ 3 – Ось со стрелкой;



ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Вращающий момент:

$$M_{\text{вп}} = \frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}$$

Из условия равенства вращающего и противодействующего моментов получаем уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = \frac{1}{2W} U^2 \frac{dC}{d\alpha}$$

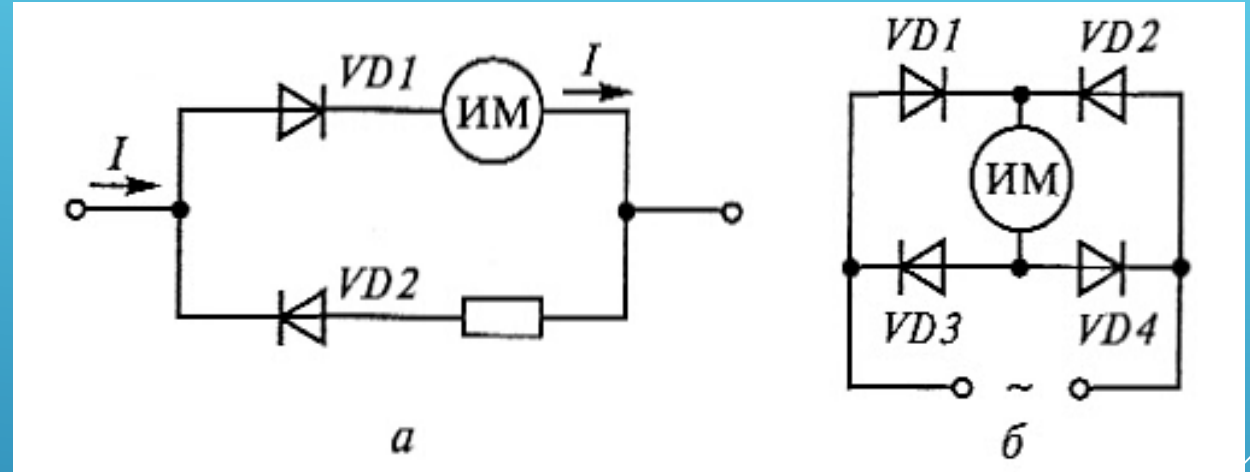
ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Подвижная часть магнитоэлектрического ИМ из-за своей инерционности реагирует на среднее значение момента:

$$M_{\text{вп}} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} m_t dt$$

С учетом того, что для ПМЭС $M_{\text{вп}} = \psi_0 I = BS\omega I$, получим:

$$M_{\text{вп}} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} BS\omega i(t) dt = \frac{1}{2} BS\omega I_{\text{ср}}$$



I. ПМЭС С ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

Из условия равенства вращающего и противодействующего моментов получаем уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{BSw}{W} I_{cp}$$

Прибор, таким образом, реагирует на среднее значение тока, но шкалу обычно градуируют в действующих значениях.

$$\alpha = \frac{BSw}{W} \cdot \frac{I}{K_{\phi}} = 0,45 \frac{BSwI}{W}$$

I. ПМЭС С ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

В цепи двухполупериодного выпрямления ток протекает в одном и том же направлении оба полупериода, и будет в два раза:

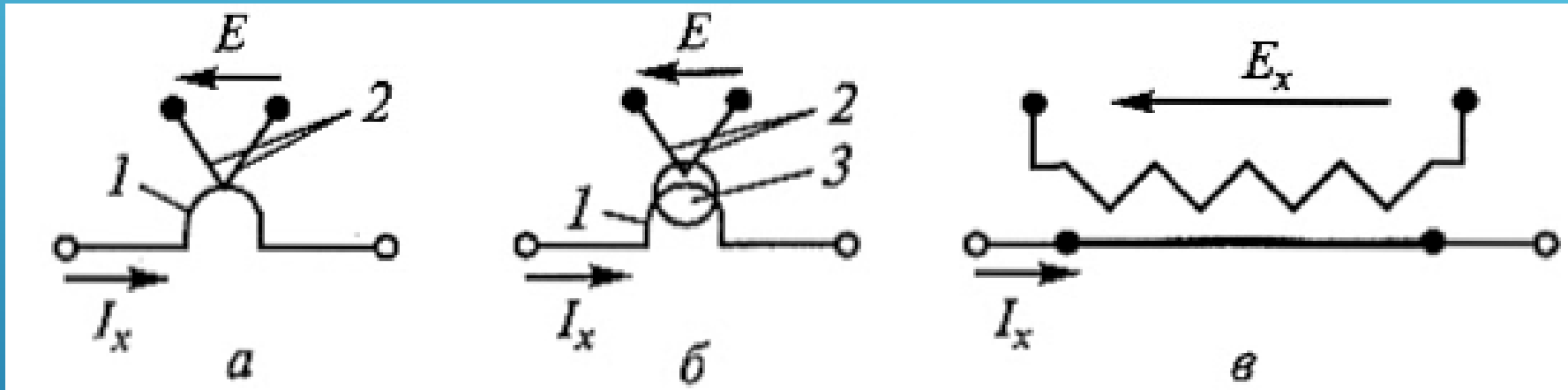
$$M_{ep} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} m_t dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} BS_{wi}(t) dt = BS_{wI}_{cp}$$

Уравнение шкалы примет вид:

$$\alpha = \frac{BS_w}{W} \cdot \frac{I}{K_\phi} = 0,45 \frac{BS_w I}{W}$$

I. ПМЭС С ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

Термоэлектрический преобразователь состоит из одной или нескольких термопар и нагревателя, по которому протекает измеряемый ток.



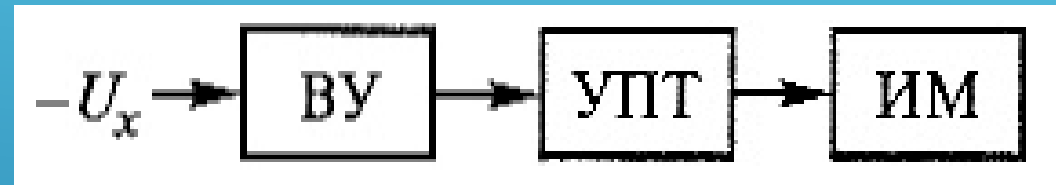
II. ПМЭС С ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Классификация:

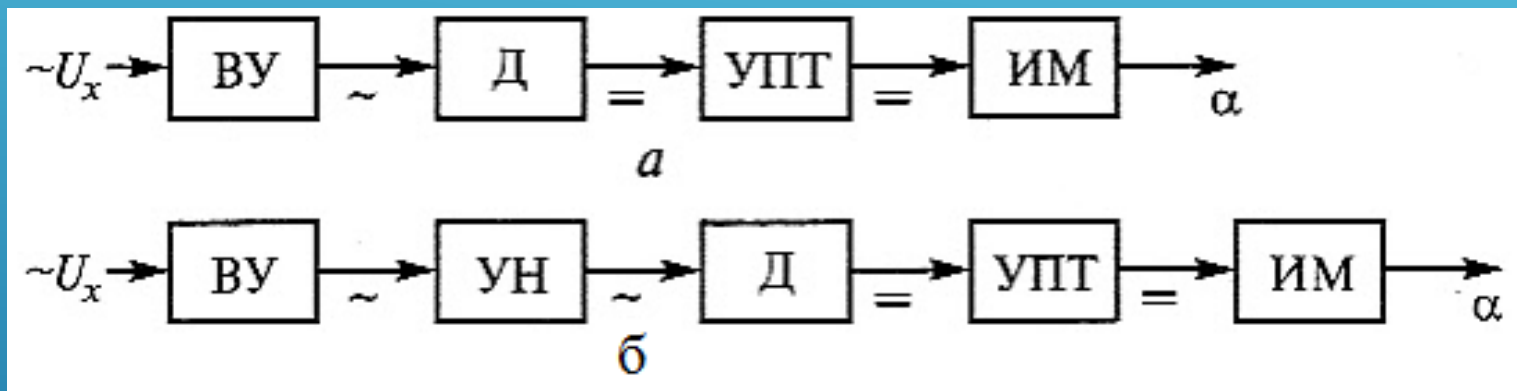
- 1 - По способу измерения;
- 2 - По назначению;
- 3 - По характеру измеряемого напряжения;
- 4 - По частотному диапазону.

III. ПМЭС С ЭЛЕКТРОННЫМИ ВХОДНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ (ЭЛЕКТРОННЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ)

- ▶ - ВУ – входное устройство (высокоомный делитель напряжения);
- ▶ - УПТ – усилитель постоянного тока,



ЭВ ПОСТОЯННОГО ТОКА



ЭВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

