

Электрические измерения и приборы

Содержание

1. Погрешности электроизмерительных приборов
2. Основные электроизмерительные приборы
3. Измерение тока, напряжения, сопротивления
4. Расширение пределов измерений электроизмерительных приборов
5. Измерение мощностей
6. Измерение мощностей трехфазных приемников
7. Мультиметр и токоизмерительные клещи



Общие сведения

Измерение - это процесс определения физической величины с помощью технических средств.

Мера - это средство измерения физической величины заданного размера.

Измерительный прибор - это средство измерения, в котором вырабатывается сигнал, доступный для восприятия наблюдателем.

Меры и приборы подразделяются на **образцовые и рабочие**.

Образцовые меры и приборы служат для поверки по ним рабочих средств измерений.

Рабочие меры и приборы служат для практических измерений

Электроизмерительные приборы можно классифицировать по следующим признакам: **Классификация электроизмерительных приборов**

методу измерения;

роду измеряемой величины;

роду тока;

степени точности;

принципу действия.

Существует два метода измерения:

метод непосредственной оценки, заключающийся в том, что в процессе измерения

сразу оценивается измеряемая величина;

метод сравнения, или нулевой метод, служащий основой действия приборов сравнения:

мостов, компенсаторов.

По роду измеряемой величины различают электроизмерительные приборы: для измерения напряжения (вольтметры, милливольтметры, гальванометры);

для измерения тока (амперметры, миллиамперметры, гальванометры);

для измерения мощности (ваттметры);

для измерения энергии (электрические счетчики);

для измерения угла сдвига фаз (фазометры);

для измерения частоты тока (частотомеры);

для измерения сопротивлений (омметры), и т.д.

В зависимости от рода измеряемого тока различают приборы постоянного, переменного

однофазного и переменного трехфазного тока.

Погрешности электроизмерительных приборов

Измерением называется процесс сравнения заданной физической величины с некоторым ее значением, принятым за единицу. Измерение производится с помощью **измерительной аппаратуры**, включающей меры, измерительные приборы и измерительные преобразователи

Как бы тщательно не проводили измерение, всегда имеется разница между измеренным значением физической величины A_x и её действительным значением A .

Абсолютная погрешность:

$$\Delta A = A_x - A$$

Относительная погрешность:

$$\gamma \approx \frac{\Delta A}{A_x} 100\%$$

Класс точности прибора:

$$\gamma_{iA}^k = \frac{\Delta A}{A_i} 100\%$$

A_x - верхний предел измерения измерительного прибора

Образцовые и рабочие измерительные приборы делятся на следующие классы точности: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5.

Например, необходимо определить, в каких пределах лежит истинное значение измеряемого тока, если амперметр класса точности 2,5, рассчитанный на 10 А показал 4 А.

Наибольшая относительная погрешность амперметра:
$$\Delta I = \frac{\gamma_{iI} \cdot I_i}{100\%} = \frac{2,5 \cdot 10 \text{ А}}{100\%} = 0,25 \text{ А}$$

$$I = 4 \pm 0,25 \text{ А}$$

Т.е. истинное значение тока лежит в пределах от 3,75 А до 4,25 А

Основные электроизмерительные приборы

Амперметры – для измерения силы тока в цепи (кА, А, мА)

Вольтметры – для измерения напряжения в цепи (кВ, В, мВ)

Омметры – для измерения сопротивления в цепи (МОм, КОм, Ом)

Ваттметры – для измерения мощности в цепи (кВт, Вт)

Изображение электроизмерительных приборов на схемах

РА



амперметр

PV



вольтметр

PR



омметр

PW



ваттметр

Ваттметр

$$U_{\text{НОМ}} = 100 \text{ В}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 1 \text{ А}$$

$$n = 100$$

$$C_w = 100 * \frac{1}{100} = 1 \text{ Вт/дел}$$

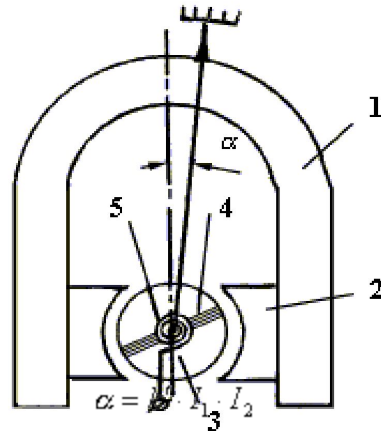


Магнитоэлектрическая система

Приборы этой системы содержат постоянный магнит - 1, к которому крепятся полюса - 2.

В межполюсном пространстве расположен стальной цилиндр - 3 с наклеенной на него рамкой - 4.

Ток в рамку подается через две спиральные пружины - 5. Принцип действия прибора основан на взаимодействии тока в рамке с магнитным полем полюсов.



Магнитоэлектрическая система

Это взаимодействие вызывает вращающий момент, под действием которого рамка и вместе с ней цилиндр повернутся на α .

Спиральная пружина, в свою очередь, вызывает противодействующий момент.

Так как вращающий момент пропорционален току,

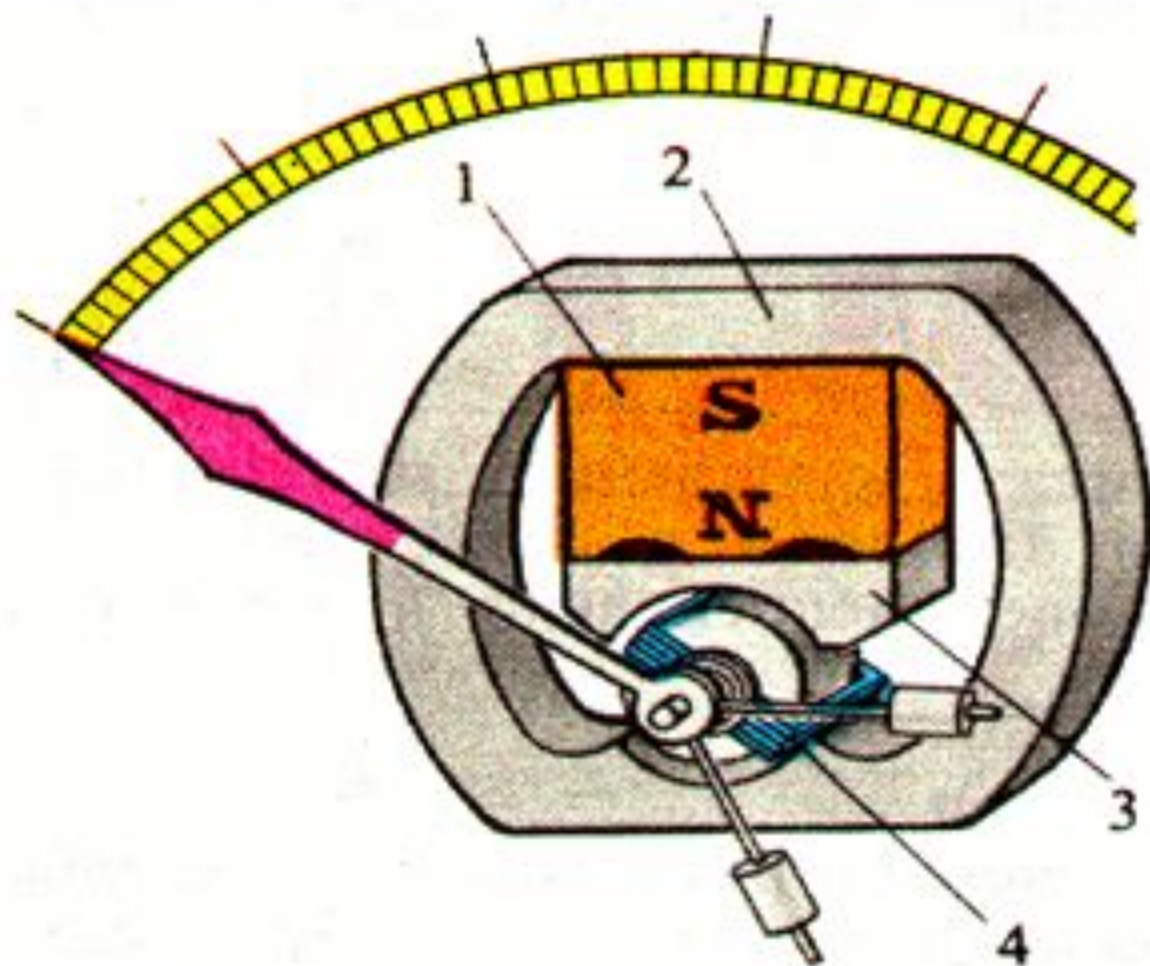
$$M = k \cdot I,$$

, а противодействующий момент пропорционален углу закручивания пружин

$$M_{\text{пр}} = D \alpha, \text{ то можно написать:}$$

$$M = M_{\text{пр}} = k \cdot I = D \alpha,$$

где k и D - коэффициенты пропорциональности. Угол отклонения подвижной части прибора пропорционален току.



Магнитоэлектрический механизм с внешним магнитом:

1 — постоянный магнит, *2* — магнитопровод, *3* — полюсные наконечники, *4* — подвижная катушка

Электромагнитная система

Приборы этой системы имеют неподвижную катушку - 1 и подвижную часть в виде стального сердечника - 2,

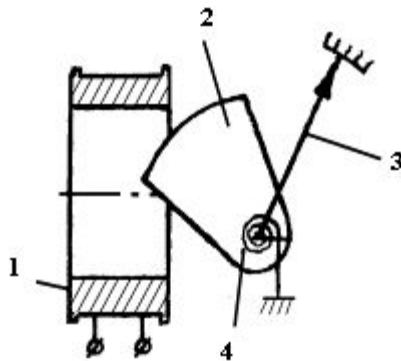
связанного с индикаторной стрелкой - 3 противодействующей пружины - 4.

Измеряемый ток, проходя по катушке, намагничивает сердечник и втягивает его в катушку.

При равенстве вращающего и тормозящего моментов система успокоится. По углу поворота подвижной части определяют измеряемый ток.

Среднее значение вращающего момента пропорционально квадрату измеряемого тока:

$$M_{\varphi} = kI^2$$

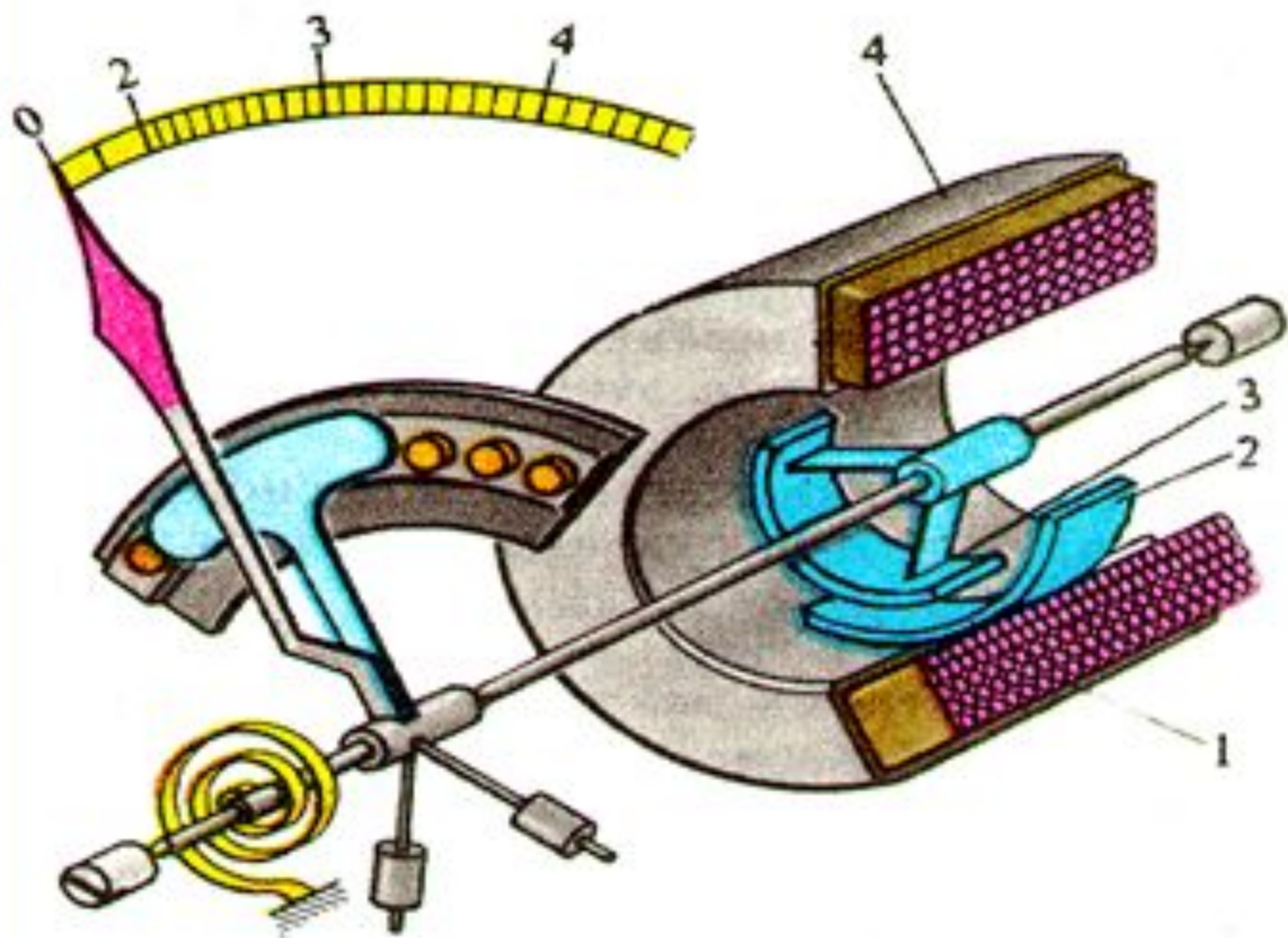


Электромагнитная система

Так как, тормозящий момент, создаваемый спиральными пружинами, пропорционален углу поворота подвижной части, уравнение шкалы прибора запишем в виде:

$$\alpha = k'I^2$$

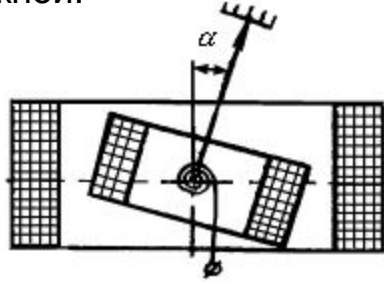
Другими словами, угол отклонения подвижной части прибора пропорционален квадрату действующего значения переменного тока.



Электромагнитный механизм с круглой катушкой:
1 — катушка, 2 и 3 — сердечники, 4 — экран.

Электродинамическая система

Эта система представляет собой две катушки, одна из которых неподвижная, а другая - подвижная. Обе катушки подключаются к сети, и взаимодействие их магнитных полей приводит к повороту подвижной катушки относительно неподвижной.



..... Электродинамическая система

Из
уравнения

$$\alpha = k' \cdot I_1 \cdot I_2$$

видно, что шкала электродинамической системы имеет квадратичный характер. Для устранения этого недостатка подбирают геометрические размеры катушек таким образом, чтобы подучить шкалу, близкую к равномерной.

Эти системы чаще всего используются для измерения мощности, т.е. в качестве ваттметров, тогда:

$$\alpha = k^1 \cdot I \cdot U \cos \varphi = k^1 \cdot P$$

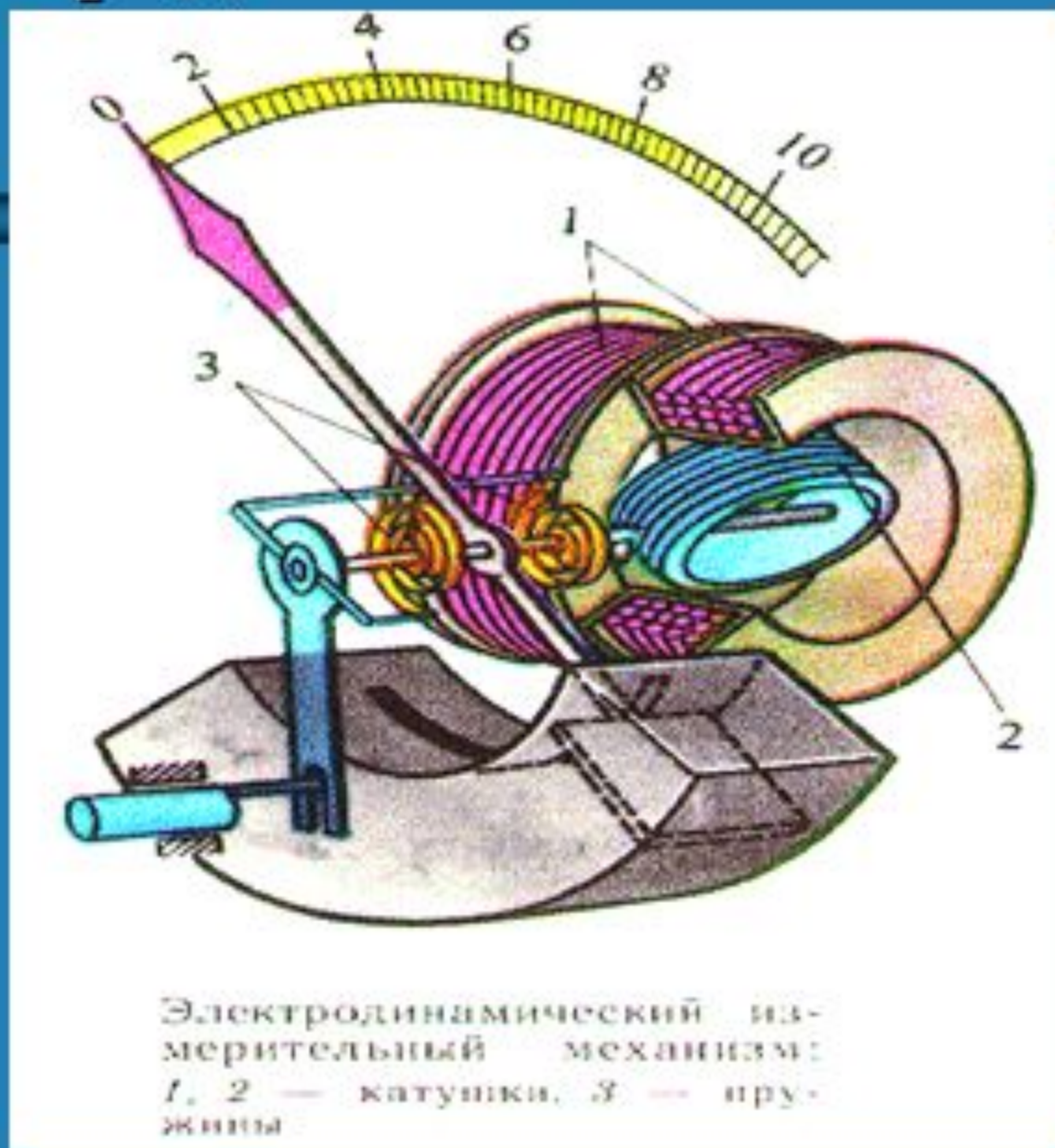
В этом случае шкала ваттметра равномерная.

Основным достоинством прибора является высокая точность измерения.

К недостаткам относятся малая перегрузочная способность, низкая чувствительность к малым сигналам,

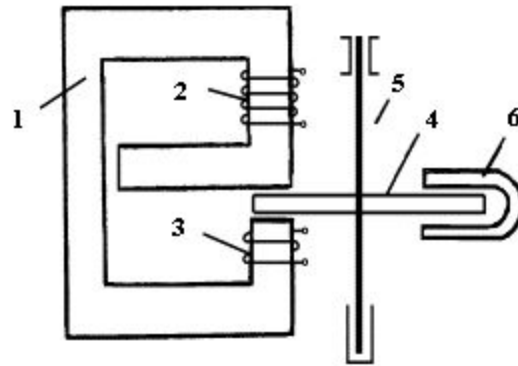
заметное влияние внешних магнитных полей.

Электродинамический механизм



Индукционная система

Приборы индукционной системы получили широкое распространение для измерения электрической энергии. Принципиальная схема прибора. Электрический счетчик содержит магнитопровод - 1 сложной конфигурации, на котором размещены две катушки; напряжения - 2 и тока - 3. Между полюсами электромагнита помещен алюминиевый диск - 4 с осью вращения - 5.



Индукционная система

Принцип действия индукционной системы основан на взаимодействии магнитных потоков, создаваемых катушками тока и напряжения с вихревыми токами, наводимыми магнитным полем в алюминиевом диске.

Вращающий момент, действующий на диск, определяется выражением:

$$M_{\varphi} = k_4 \Phi_U \Phi_I \sin \psi,$$

где Φ_U - часть магнитного потока, созданного обмоткой напряжения и проходящего через диск счетчика;
 Φ_I - магнитный поток, созданный обмоткой тока; ψ - угол сдвига между Φ_U и Φ_I . Магнитный поток Φ_U пропорционален напряжению $\Phi_U = k_2 \cdot U$

Магнитный поток Φ_I пропорционален току: $\Phi_I = k_3 \cdot I$

Для того чтобы счетчик реагировал на активную энергию, необходимо выполнить условие:

$$M_{BP} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k_4 \cdot P,$$

В этом случае

т.е. вращающий момент пропорционален активной мощности нагрузки.

Противодействующий момент создается тормозным магнитом - 6 и пропорционален скорости вращения диска:

$$M_{BP} = M_{PP}$$

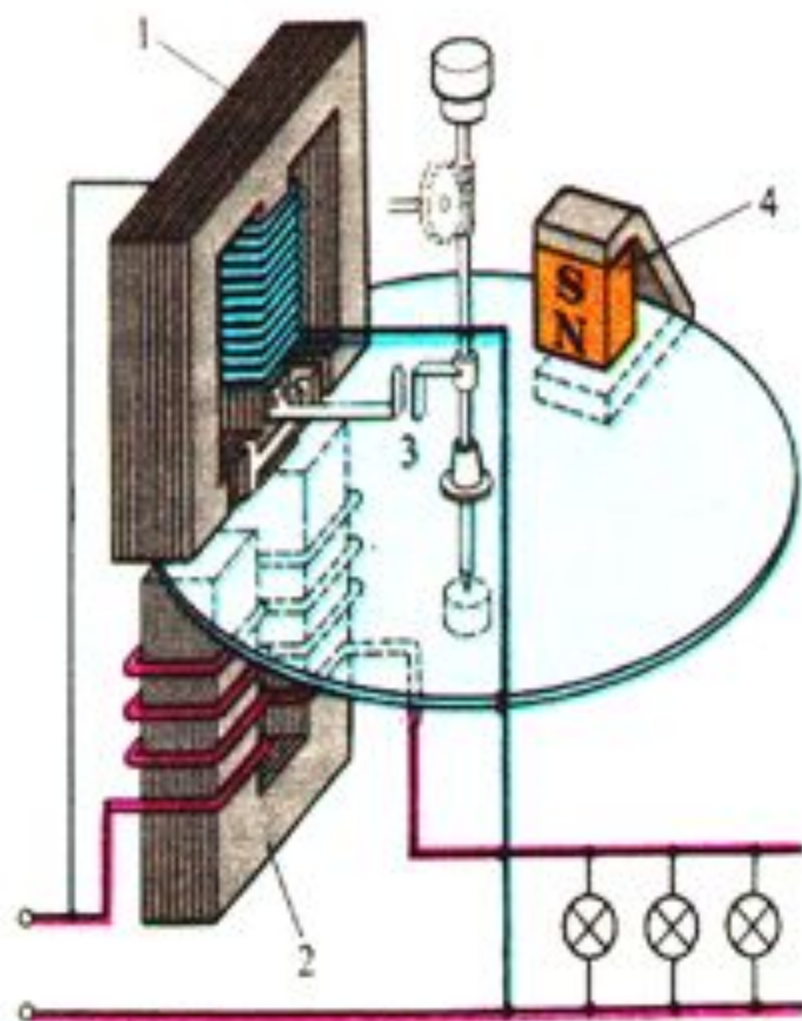
$$M_{PP} = k_5 \cdot \frac{d\alpha}{dt}$$

В установившемся режиме $M_{вр} = M_{пр}$ и диск вращается с постоянной скоростью. Приравняв два последних уравнения и решив полученное уравнение относительно угла поворота диска

$$\alpha = \frac{k_4}{k_5} \int_0^t P dt = k_6 W$$

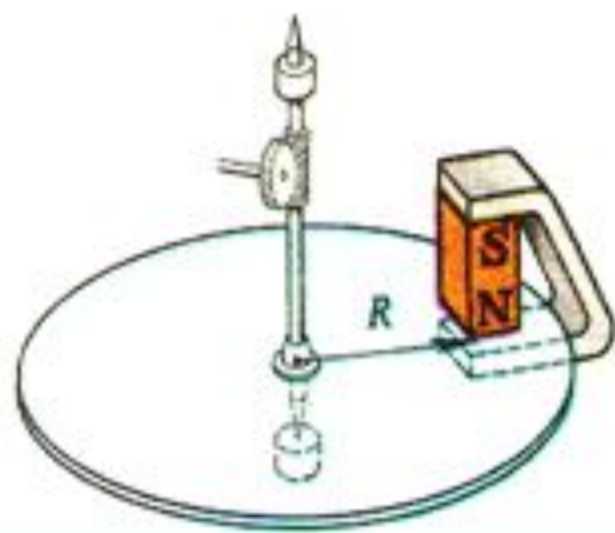
Таким образом, угол поворота диска счетчика пропорционален активной энергии. Следовательно, число оборотов диска n тоже пропорционально активной энергии.

Индукционный механизм



Устройство индукционного счетчика:
1, 2 — электромагниты, 3 — диск, 4 — постоянный магнит

Диск и тормозной магнит счетчика



Электрическая цепь с электроизмерительными приборами

Мультиметр 711204

ВАТТМЕТР

МИЛЛИАМПЕРМЕТР

Индуктивная катушка

Схема цепи:

- Q - выключатель
- FU1, FU2 - предохранители
- PW1 - источник питания
- PA1 - ваттметр
- PV1 - вольтметр
- R_n - резистор
- L_n - индуктивная катушка
- $f = 50 \text{ Гц}$ - частота

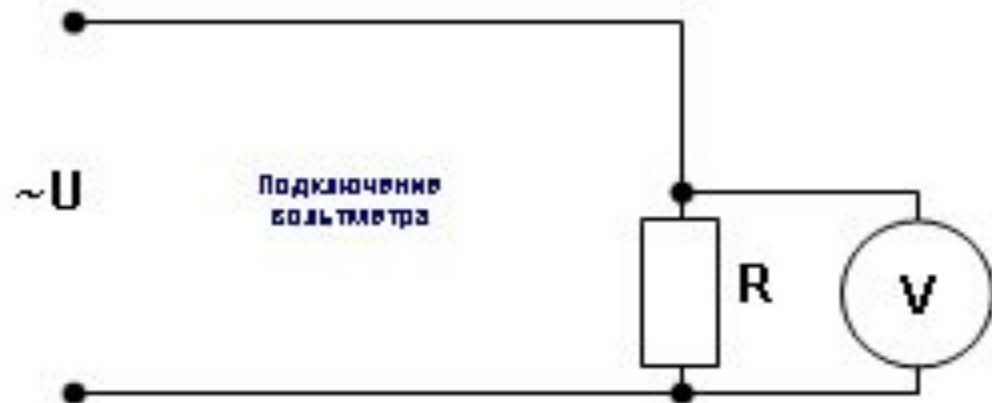
	U, В	I, А	P, Вт
Резистор			
Конденсатор	38,7	0,35	0
Индуктивная катушка	39,8	0,61	

Измерение силы тока, напряжения, сопротивления

Измерение силы тока осуществляется при помощи **амперметра** включенного в цепь **последовательно**. **Напряжение** измеряется **вольтметром** подключаемым **параллельно**. **Сопротивление** измеряется **омметром**.

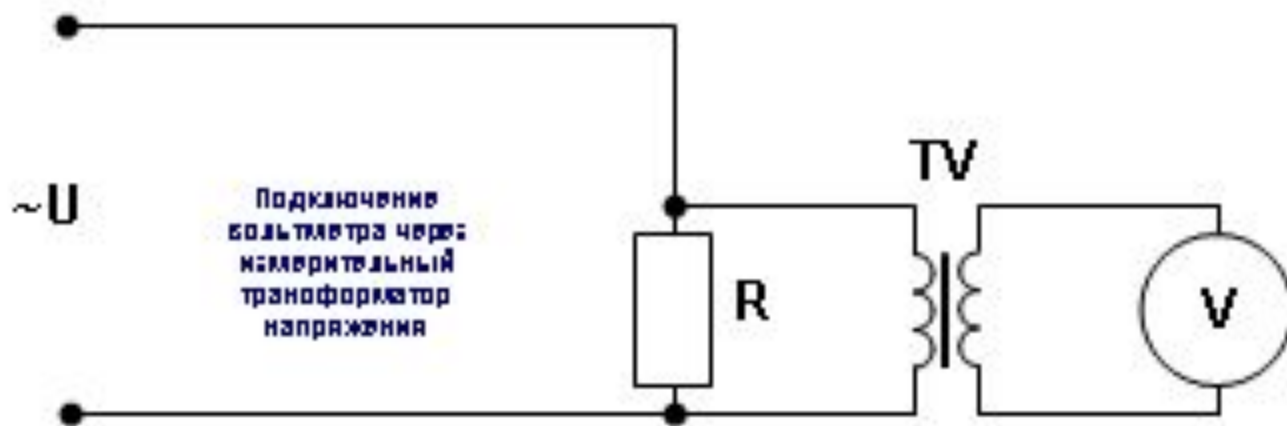
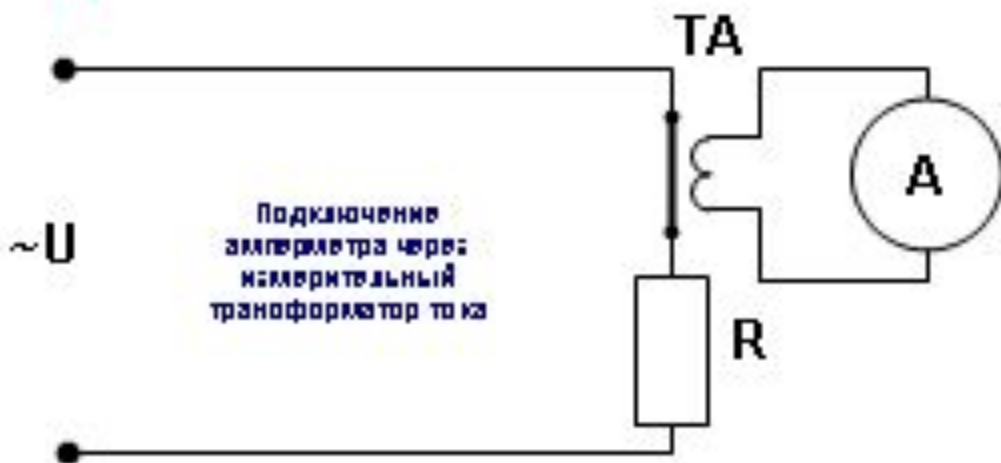
Для того чтобы не оказывать влияния на цепь, **амперметр** имеет очень малое сопротивление, а **вольтметр** - очень большое сопротивление.

Омметр совмещает в себе функции амперметра и вольтметра имеет свой источник постоянного напряжения.



Расширение пределов измерений электроизмерительных приборов

Измерение **больших значений** силы тока (более 5А) и напряжения (более 1000В) в цепях переменного тока осуществляется при помощи амперметра и вольтметра, но **с применением измерительных трансформаторов тока и напряжения.**



Использование измерительного шунта ($r_{ш}$) для увеличения предела измерения тока

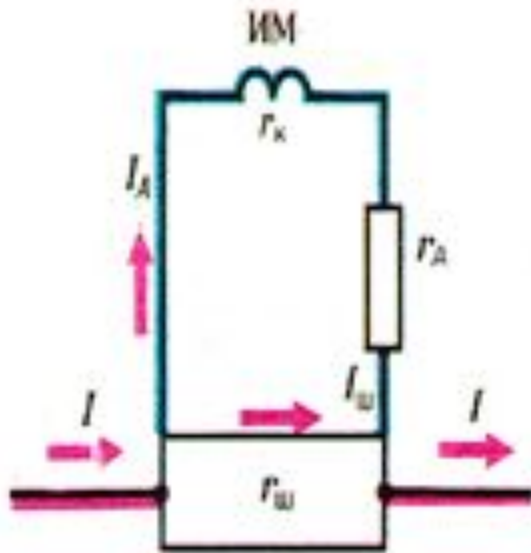
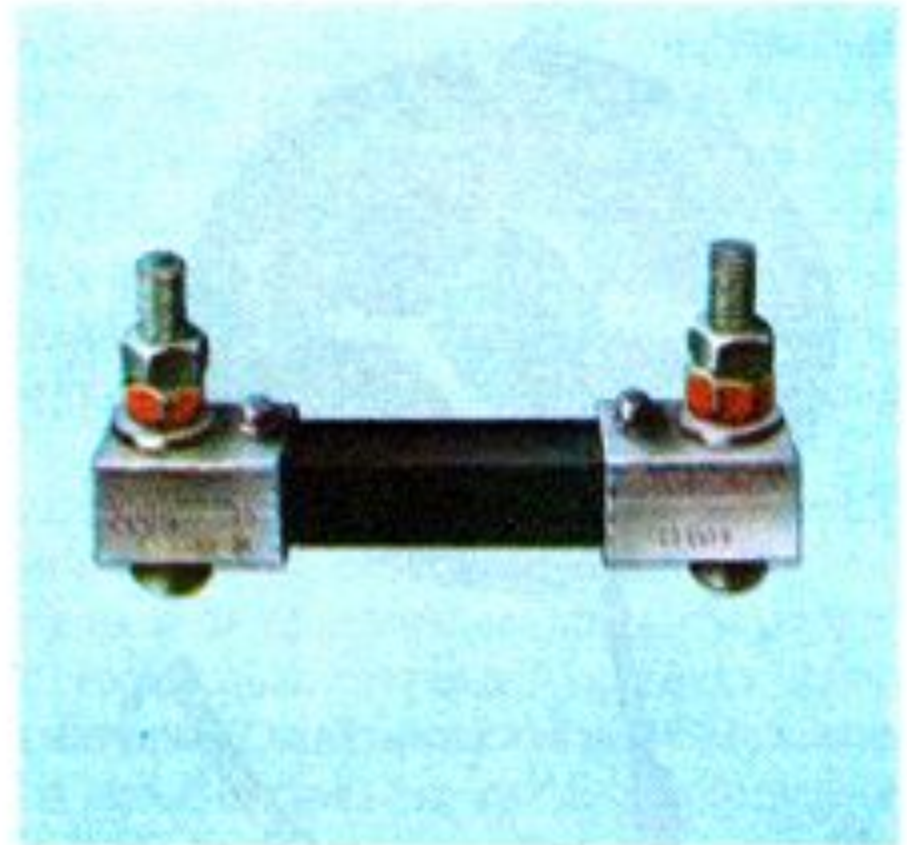


Схема соединений шунта с измерительным механизмом

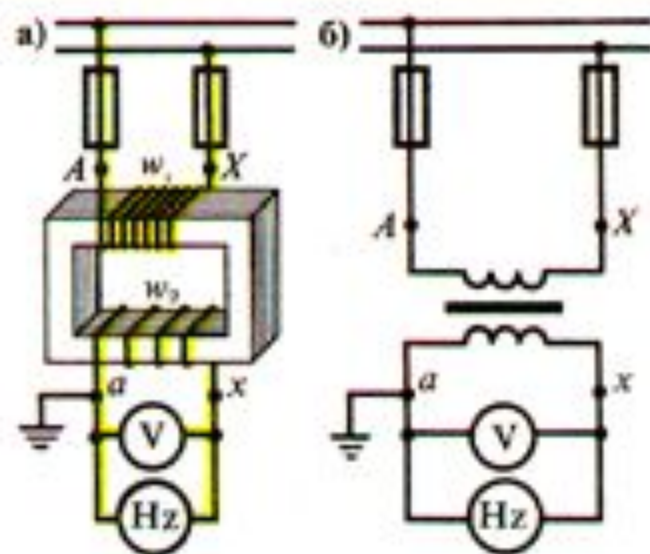
$$I_{ш} = I - I_A; I_{ш}R_{ш} = I_A R_A$$

$$R_{ш} = I_A R_A / I_{ш}$$

$$I_A / I_{ш} = K_{ш}$$

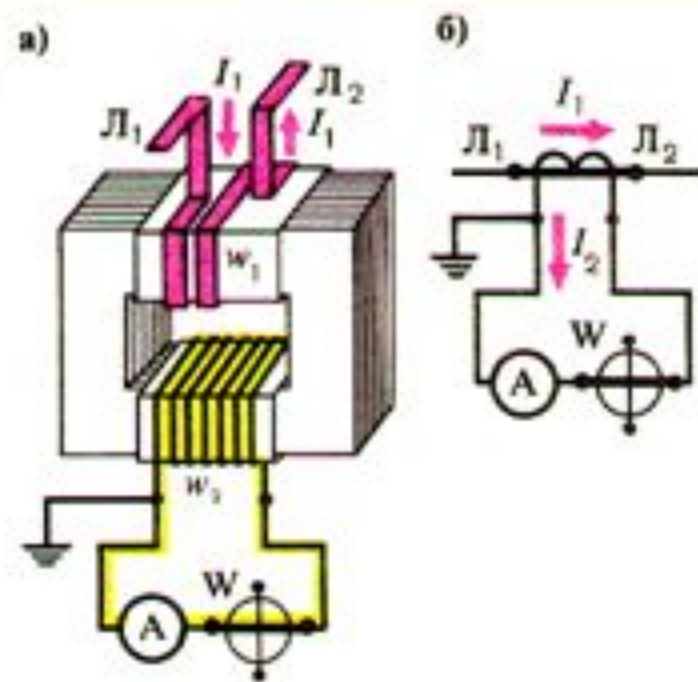


Использование измерительных трансформаторов напряжения и тока для включения приборов в однофазную цепь



Трансформатор напряжения, нагруженный вольтметром и частотомером:

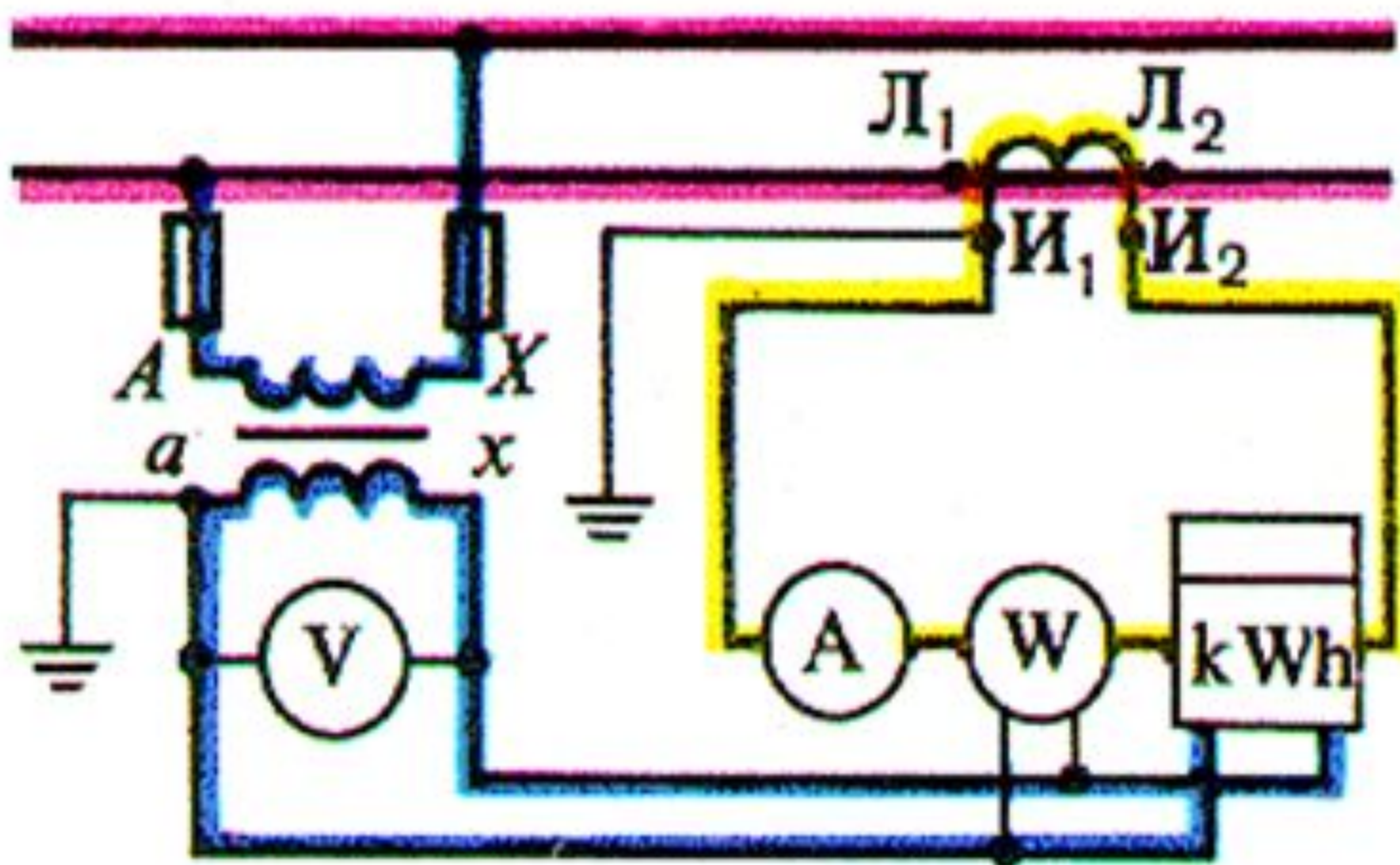
a — устройство, б — условное обозначение



Трансформатор тока:

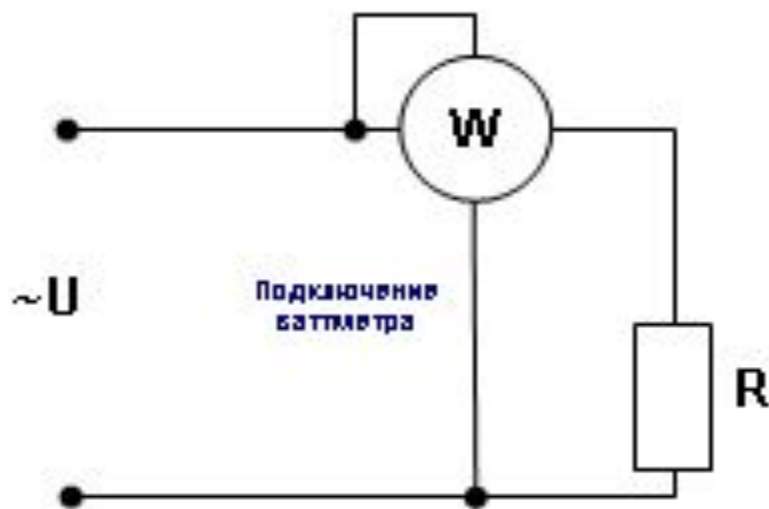
a — устройство, б — условное обозначение

Включение амперметра, вольтметра, ваттметра и счетчика в однофазную цепь через трансформаторы напряжения и тока

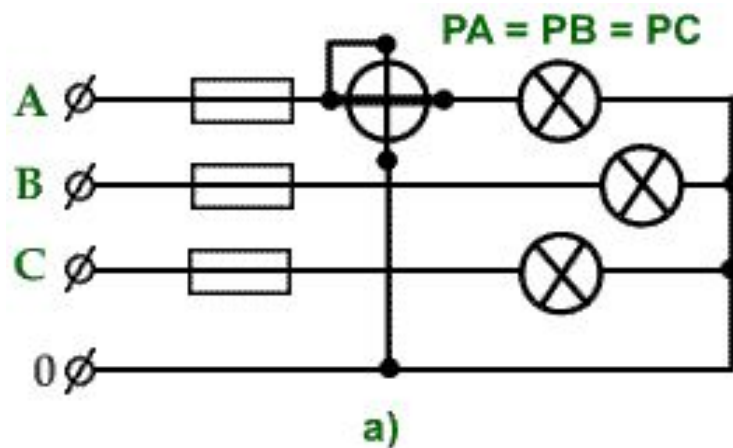


Измерение мощности

Ваттметр снабжен двумя измерительными элементами в виде двух катушек: **токовой** и катушки **напряжения**. По первой катушке течет ток, пропорциональный нагрузке, а по второй - пропорциональный напряжению в сети. **Токсовая катушка** ваттметра включается в цепь **последовательно**, а **катушка напряжения** - **параллельно** нагрузке, потребляемую мощность которой необходимо измерить.



Измерение мощности симметричного трехфазного приемника

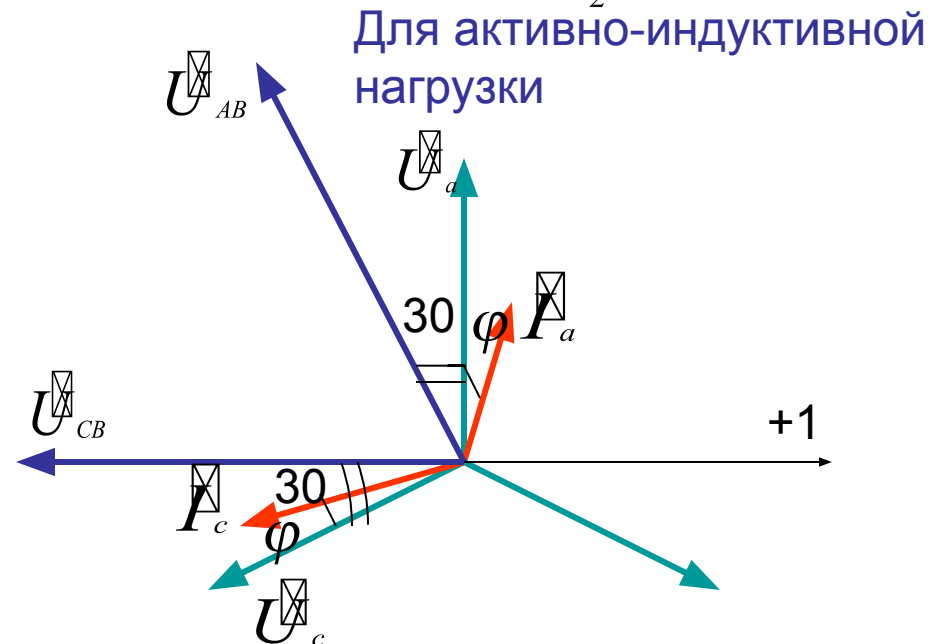
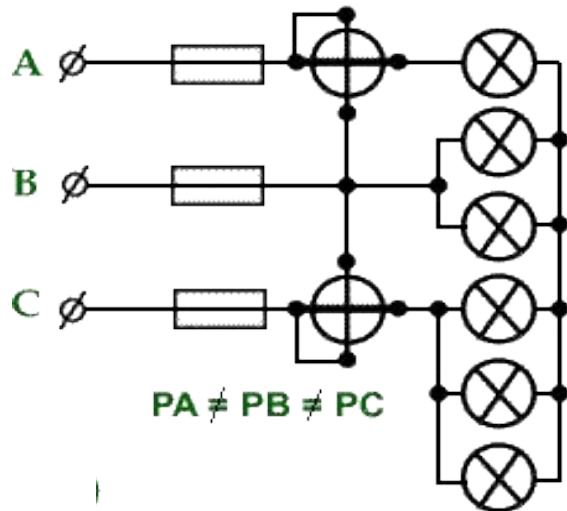


$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C$$

Измерение мощностей трехфазных приемников

$$U_a i_a + U_b i_b + U_c i_c = U_a i_a + U_b(-i_a - i_c) + U_c i_c = (U_a - U_b) i_a + (U_c - U_b) i_c = U_{AB} i_a + U_{CB} i_c.$$

$$P_{W1} + P_{W2} = U_{AB} I_a \cos(30 + \varphi) + U_{CB} I_c \cos(30 - \varphi) = U_{лл} \cos 30 \cos \varphi + U_{лл} \sin 30 \sin \varphi + U_{лл} \cos 30 \cos \varphi - U_{лл} \sin 30 \sin \varphi = 2 U_{лл} \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi = \sqrt{3} U_{лл} \cos \varphi = P_{3\phi}$$



$$(P_{W1} - P_{W2}) = U_{AB} I_a \cos(30 + \varphi) - U_{CB} I_c \cos(30 - \varphi) = U_{лл} \cos 30 \cos \varphi + U_{лл} \sin 30 \sin \varphi - U_{лл} \cos 30 \cos \varphi + U_{лл} \sin 30 \sin \varphi = 2 U_{лл} \sin 30 \sin \varphi = U_{лл} \sin \varphi$$

$$P_{W1} + P_{W2} = \sqrt{3} U_{лл} \cos \varphi = P_{3\phi}$$

$$\sqrt{3} (P_{W1} - P_{W2}) = \sqrt{3} U_{лл} \sin \varphi = Q_{3\phi}$$

Мультиметр и токоизмерительные клещи

Внешний вид современного мультиметра - прибора для измерения тока, напряжения и сопротивления



Токоизмерительные клещи

