

ТЕМА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ

Виды и методы измерений

Что есть измерение?

- Измерение это нахождение значения физической величины опытным путем с использованием специальных технических средств
- Целью измерения является получение количественной информации об измеряемой величине, а результатом - значение физической величины

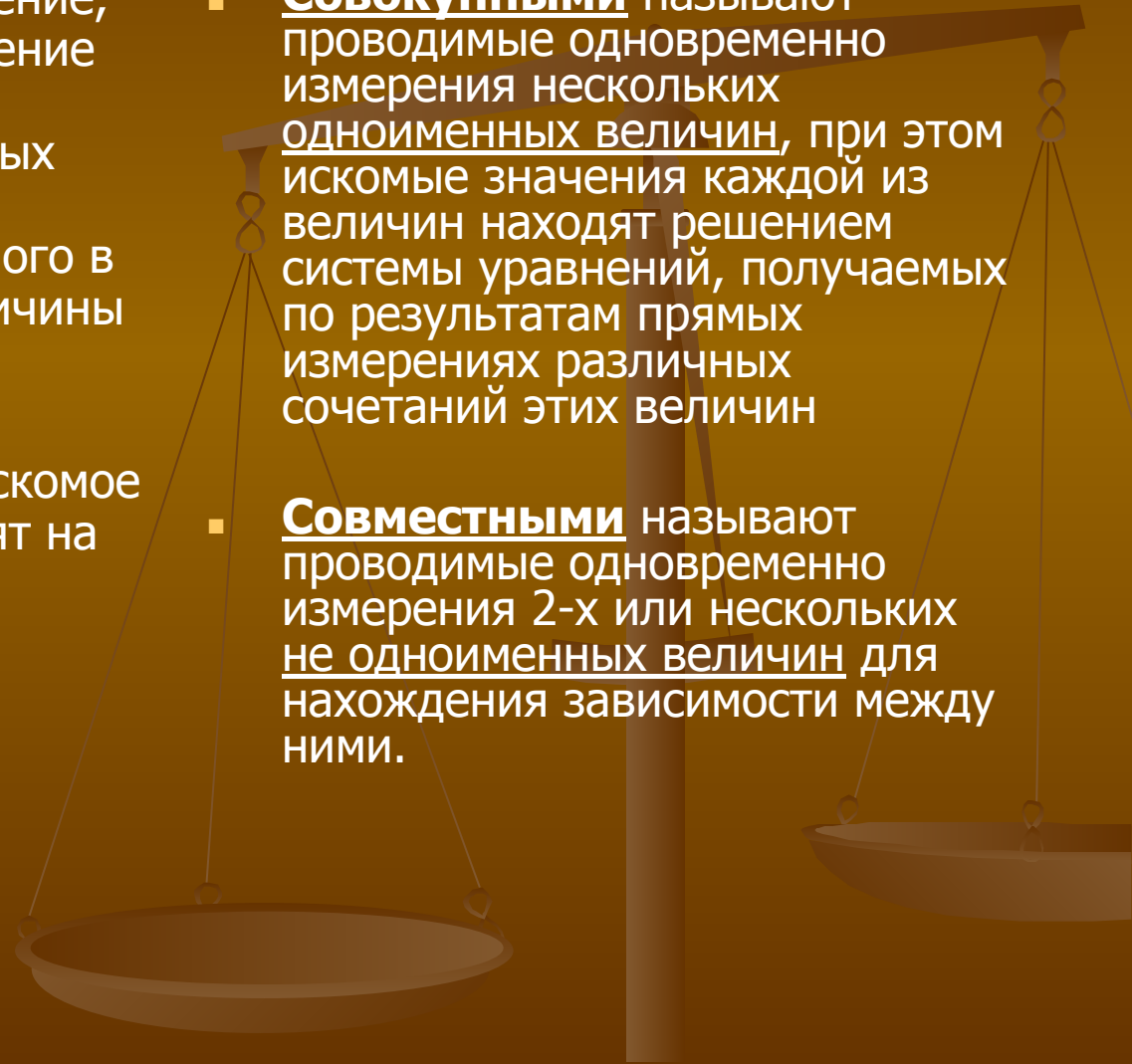
- Качество измерений определяется погрешностью (неопределенностью) результата измерения

Для проведения измерений необходимы:

- средства измерения
- метод или способ измерения

Какие виды измерений существуют?

- **Прямым** называют измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных с использованием прибора, проградуированного в единицах измеряемой величины
- **Косвенным** называют измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными посредством прямых измерений.
- **Совокупными** называют проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при этом искомые значения каждой из величин находят решением системы уравнений, получаемых по результатам прямых измерений различных сочетаний этих величин
- **Совместными** называют проводимые одновременно измерения 2-х или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними.



Методы прямых измерений

- **Методы непосредственной оценки** – это методы, при которых значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия

- **Методы сравнения с мерой** – это методы, основанные на сравнении измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой

В зависимости от способа сравнения различают

1. дифференциальный метод
2. нулевой метод
3. метод замещения

О погрешностях измерения

- Погрешность это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины
- По форме погрешности делят на абсолютную и относительную

$$\Delta = A - A_{\text{ист}}$$

$$\delta = \frac{\Delta}{A_0} 100\%$$

- По источникам погрешности делят на инструментальную, методическую и субъективную
- По характеру погрешности делят на систематическую и случайную

ТЕМА 2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

СИ – это технические устройства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики



3.1. Статические характеристики и параметры СИ

- **Уравнением преобразования** называют однозначную функциональную зависимость между выходной величиной y и входной величиной x , которая может быть выражена аналитически – $y=f(x)$ или графически
- **Чувствительность** СИ определяет скорость изменения выходной величины при изменении входной
- **Порогом чувствительности** СИ называют изменение входной величины, вызывающее наименьшее изменение выходной величины, которое может быть обнаружено с помощью данного СИ без каких-либо дополнительных устройств
- Область значений между верхним и нижним пределами определяет **диапазон измерений**
- **Погрешность средства измерения** разделяют на основную погрешность и дополнительную погрешность
- **Входное сопротивление**
- **Выходное сопротивление**
- **Время успокоения прибора** – промежуток времени с момента включения измеряемой величины до момента, когда указатель отсчетного устройства не будет удаляться от установившегося отклонения более, чем на 1% длины шкалы
- **Время измерения** - время, необходимое для обработки входного сигнала и его индикации

Электродинамический измерительный механизм

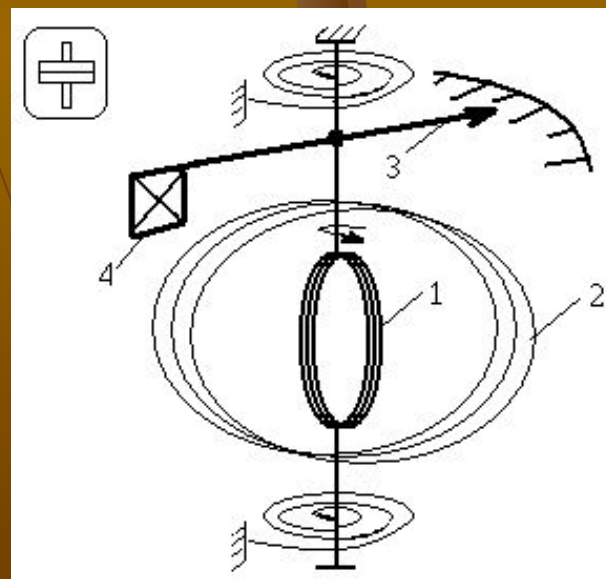
Принцип действия

электродинамического ИМ основан на взаимодействии магнитных потоков, созданных токами двух катушек:

- подвижной катушки 1, закрепленной на оси вращения с возвратными пружинами (Рис. 1, слева вверху указано обозначение данного ИМ);
- неподвижной катушки 2, состоящей из двух частей, между которыми проходит ось подвижной катушки;

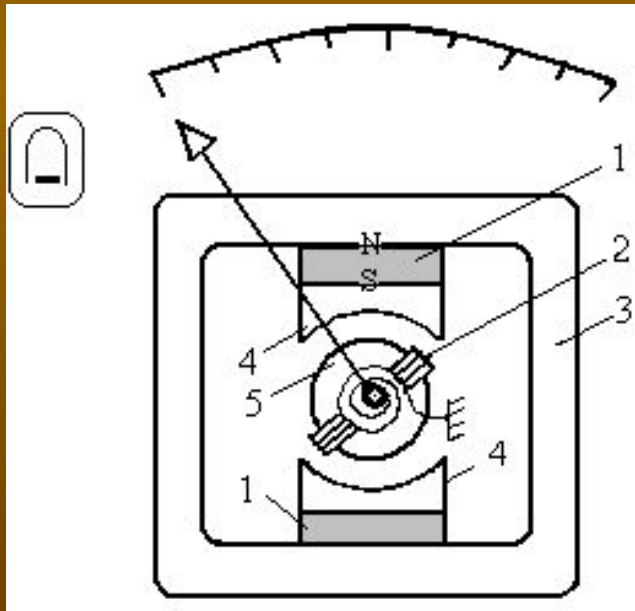
- Уравнение преобразования на постоянном токе

$$\alpha = \frac{1}{k} I_1 I_2 \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha} = \frac{I_2}{k} \left(\frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha} \right) I_1$$



Магнитоэлектрический измерительный механизм

- В магнитоэлектрическом механизме вращающий момент возникает в результате взаимодействия тока в катушке и магнитного поля постоянного магнита



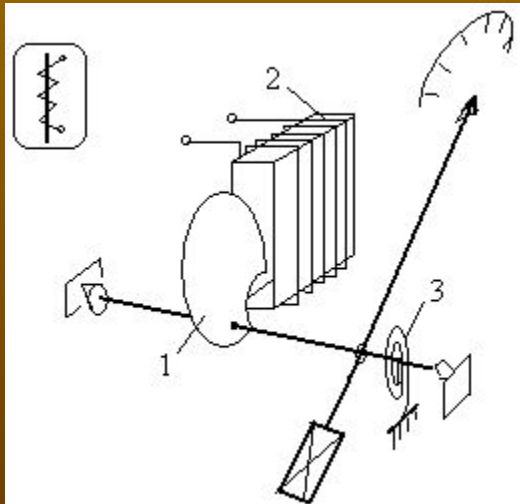
- Уравнение преобразования

$$\alpha = \frac{BSw}{k} I$$

- магнитоэлектрический ИМ обладает большой чувствительностью
- малым собственным потреблением мощности
- мало подвержен влиянию внешних магнитных полей
- имеет прямо пропорциональную зависимость между углом отклонения и током в рамке

Электромагнитный измерительный механизм

- Вращающий момент в электромагнитном ИМ возникает в результате взаимодействия ферромагнитного сердечника подвижной части механизма и магнитного поля плоской катушки с током



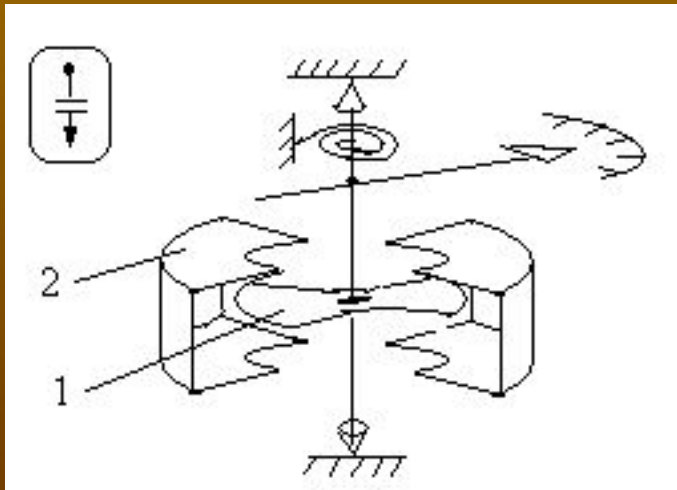
- уравнение преобразования ИМ на постоянном токе :

$$\alpha = \frac{1}{2k} I^2 \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

- уравнение на переменном токе имеет тот же вид, что и на постоянном, только теперь фигурирует действующее значение тока в катушке

Электростатический измерительный механизм

- Вращающий момент в электростатических механизмах возникает в результате взаимодействия двух систем заряженных проводников, одна из которых является подвижной



- Уравнение преобразования на постоянном токе

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

- При синусоидальном переменном токе уравнение преобразования имеет тот же вид, что и на постоянном токе, с заменой постоянного напряжения U на действующее значение U_d

Свойства электростатического ИМ

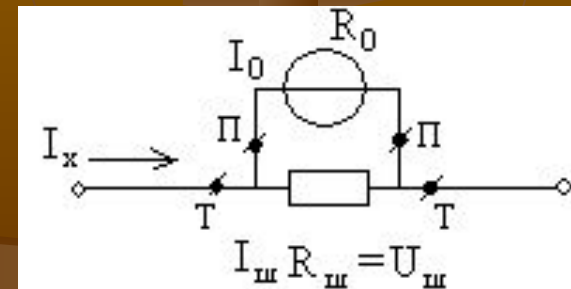
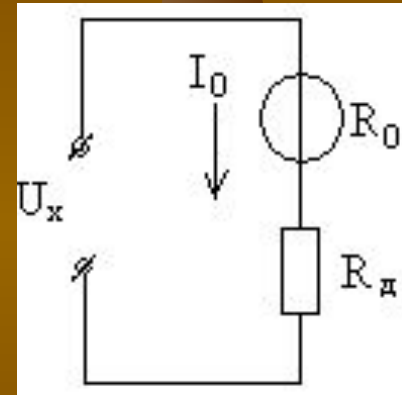
- Видно, что угол поворота электростатического механизма от измеряемого напряжения зависит нелинейно. Линейную зависимость получают путем изготовления пластин специальной формы, при которой является требуемой функцией от угла α .
- Электростатический механизм имеет малое собственное потребление мощности от измеряемой цепи (на постоянном токе потребление равно нулю).
- На результат измерения малое влияние оказывают температура окружающей среды, частота и форма измеряемого напряжения.
- Отсутствует влияние магнитных полей, но влияют внешние электростатические поля, для защиты от которых используют металлические экраны.

Масштабные преобразователи

Добавочный резистор и шунт

- Резистор, включенный последовательно с ИМ, вращающий момент которого зависит от тока, и используемый для измерения напряжения, называется добавочным резистором
- Резистор, включенный параллельно с ИМ, вращающий момент которого зависит от тока, называется шунтом.

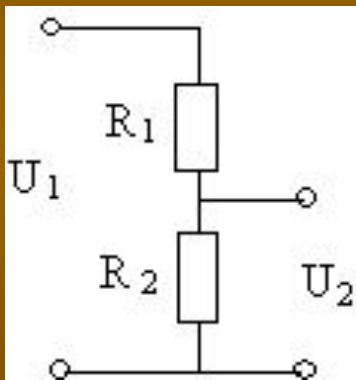
ИМ, например, магнитоэлектрический



Делители напряжения на постоянном токе

Делители напряжения предназначены для получения определенного соотношения между входным напряжением U_1 и выходным напряжением U_2 при $U_2 < U_1$.

- Простейший резисторный делитель не нагружен



Коэффициент преобразования

$$S = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

- резисторный делитель нагружен сопротивлением R_H , с которого и снимается напряжение

Коэффициент преобразования в этом случае

$$S_H = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} \left(1 + \frac{R_2}{R_H} \right)}$$

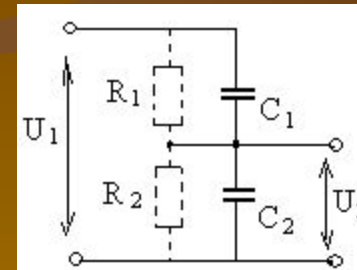
Делители напряжения на переменном токе

- На переменном токе в общем случае коэффициент преобразования является комплексной величиной

$$S = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 + \frac{Z_1}{Z_2}}$$

- Z_1, Z_2 - полные комплексные сопротивления соответствующих участков делителя.
- на переменном токе между напряжениями U_1 и U_2 появляется угол сдвига, который является *угловой погрешностью делителя*.

- Простейший конденсаторный делитель



- в пределе высоких частот

$$S_C = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

- пределе низких частот

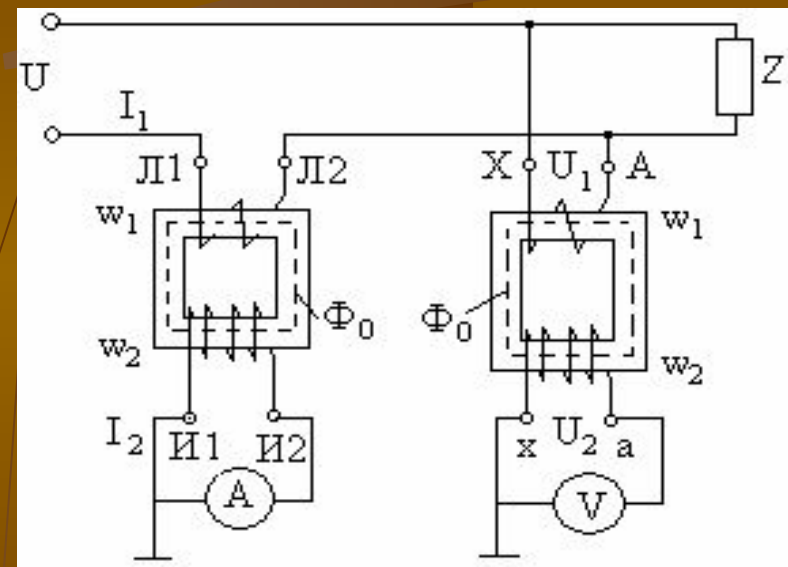
$$S_R = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

- R_1, R_2 –сопротивления изоляции конденсаторов

Измерительные трансформаторы переменного тока и напряжения

- Измерительные трансформаторы тока и напряжения применяют в качестве преобразователей больших переменных токов и напряжений в относительно малые величины, измерение которых возможно стандартными приборами с относительно небольшими пределами измерений.

■ Включение

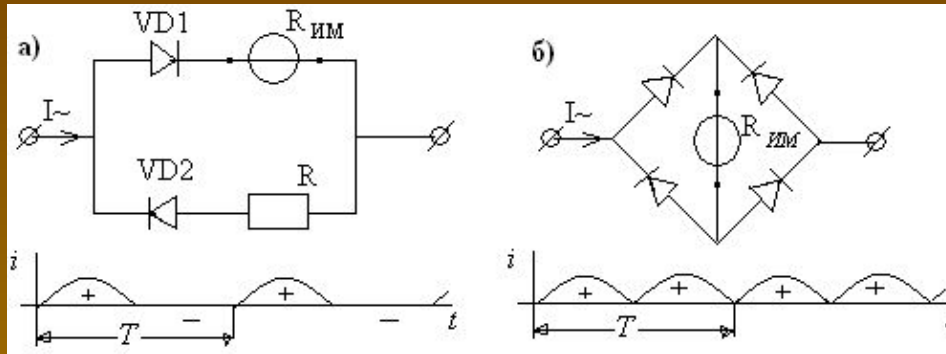


- Номинальный коэффициент трансформации

$$K_{\text{НОМ}} = w_2 / w_1$$

Измерительные выпрямители

- Неуправляемые измерительные выпрямители среднего значения однополупериодный (а) и двухполупериодный (б)



- Отсчет по ИМ пропорционален среднему значению переменного тока, чувствительность второй схемы в два раза выше, чем первой

- а)
$$\alpha = S \left(\frac{1}{T} \int_0^T i dt \right) = S \frac{1}{2} \left(\frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt \right) = S \frac{I_{cp}}{2} = S' I_{cp}$$

- б)
$$\alpha = S \left(\frac{1}{T} \int_0^T i dt \right) = S I_{cp} = 2S' I_{cp}$$

Компенсаторы постоянного тока – потенциометры

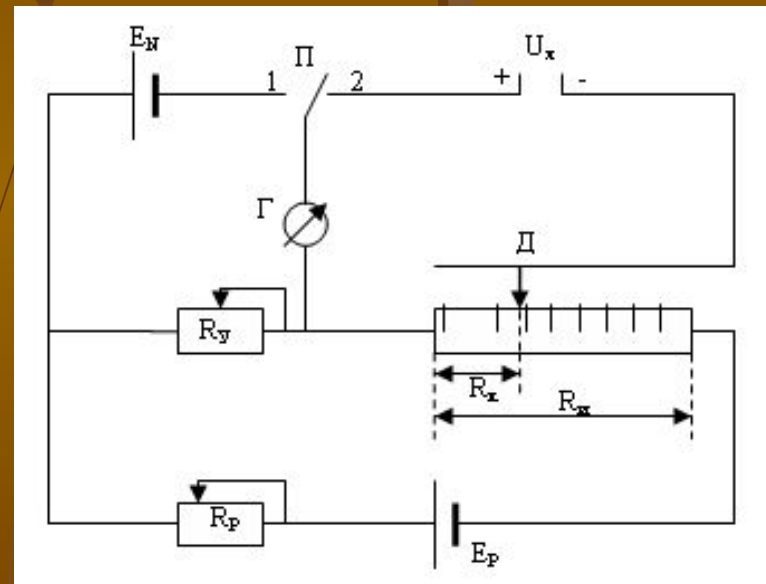
- В потенциометрах осуществляется непосредственное сравнение измеряемого напряжения U_x (или ЭДС) с известным падением напряжения U_k на образцовом сопротивлении R_k
- В результате сравнения измеряемое напряжение определяется как:

$$U_x = U_k = I_p R_k$$

где R_k и I_p это известное сопротивление компенсатора и ток в нем

$$I_p = E_N / R_y$$

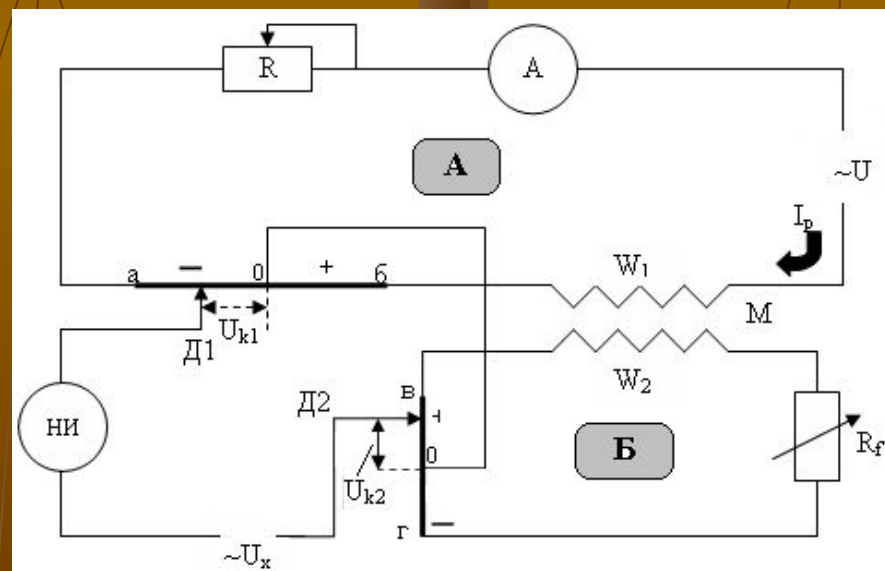
- Функциональная схема компенсатора



Компенсаторы переменного тока – потенциометры

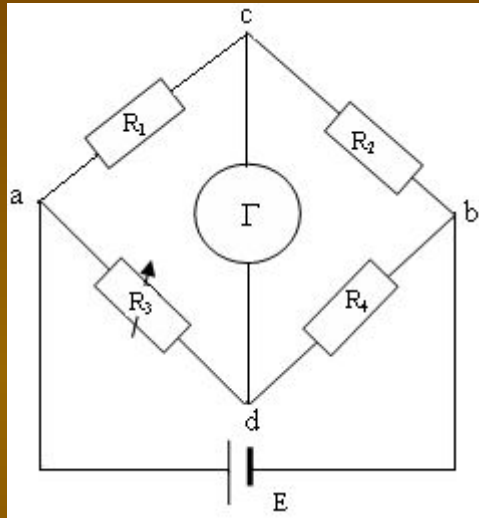
- Принцип действия компенсаторов переменного тока заключается в том, что измеряемое напряжение U_x или ЭДС уравниваются известным напряжением, создаваемым рабочим током на участке рабочей цепи, питаемой напряжением U .
- Для уравнивания двух напряжений переменного тока необходимо соблюдение следующих условий:
 - равенство напряжений по модулю;
 - противоположность по фазе;
 - равенство частот;
 - идентичность формы кривой напряжений.

- Функциональная схема прямоугольно-координатного компенсатора (потенциометра)



Мосты постоянного тока

- схема одинарного моста



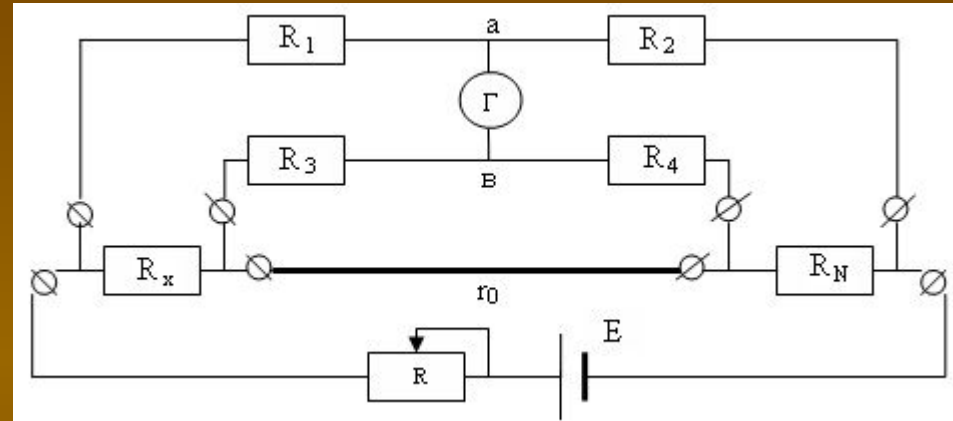
- Условие равновесия моста

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

- Измеряемое сопротивление

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}$$

- схема двойного моста



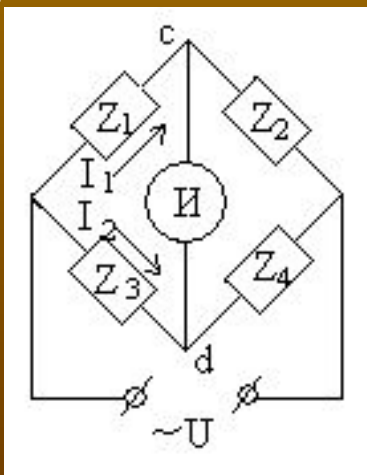
- Измеряемое сопротивление

$$R_x = \frac{R_1 R_N}{R_2} + \frac{R_4 r_0}{R_3 + R_4 + r_0} \left[\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right]$$

- Измерение сопротивлений с помощью мостов осуществляется с погрешностью 0,001-0,005 %.

Уравновешенные мосты переменного тока

- Мосты переменного тока применяют для измерения емкости, индуктивности, взаимной индуктивности, добротности и угла потерь для электроизоляционных материалов



- при равновесии моста переменного тока произведения комплексных сопротивлений противоположных плеч равны друг другу

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

- Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 полные комплексные сопротивления плеч моста

Измерение электрической мощности

- Мощность в электрической цепи – это энергия, потребляемая нагрузкой от источника в единицу времени

- Среднее значение за период называют *активной мощностью*:

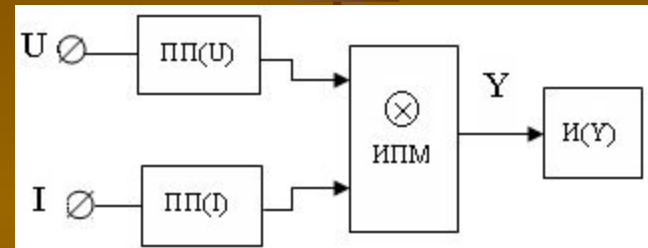
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

- При синусоидальном изменении u и i , при сдвиге фаз между ними φ , выражение для активной мощности синусоидального тока

$$P = UI \cos \varphi$$

где U и I действующие значения переменного напряжения и тока

- Приборы, реализующие электрический метод *прямого* измерения мощности в соответствии формулой имеют структурную схему



В качестве перемножителей в ваттметрах используют:

- электродинамический,
- электростатический
- индукционный ИМ,
- перемножители на преобразователях Холла, электронные лампы, диоды, транзисторы и интегральные микросхемы

Электродинамический ваттметр

- измерительным преобразователем мощности является электродинамический измерительный механизм
- Реализует метод *прямых* измерений активной мощности

