

Лекция №7

ТЕМА:

Методы и средства измерения частоты, временных интервалов и фазового сдвига.

Методы и средства измерения мощности, энергии и количества электричества.

Задание на самостоятельное изучение

- 1 Цифровые измерительные приборы**
- 2 Методы и средства магнитных измерений**

ПЛАН (часть 1):



- 1 Общие сведения**
- 2 Методы и средства измерения частоты**
- 3 Методы и средства измерения временных интервалов**
- 4 Методы и средства измерения фазовых сдвигов**

Низкочастотный поддиапазон включает:

- инфразвуковые частоты (менее 20 Гц);
- звуковые частоты (20 Гц – 20 кГц);
- ультразвуковые частоты (20 – 200 кГц).

Высокочастотный поддиапазон включает:

- высокие частоты (200 кГц – 30 МГц);
- ультравысокие частоты (30 – 300 МГц);
- сверхвысокие частоты (более 300 МГц).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЧАСТОТОМЕРЫ

СХЕМА УСТРОЙСТВА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ЛОГОМЕТРА

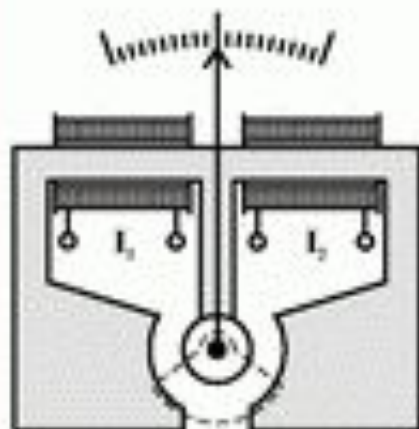
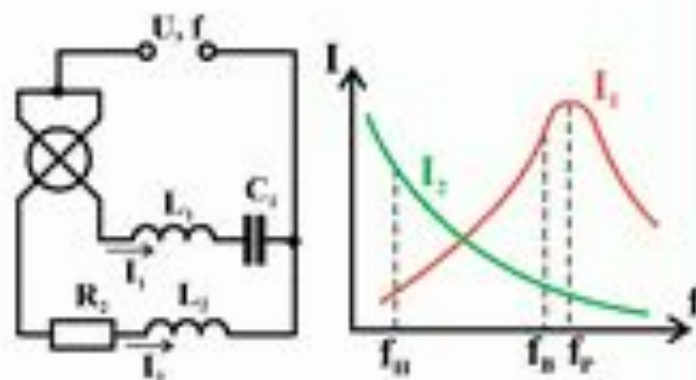
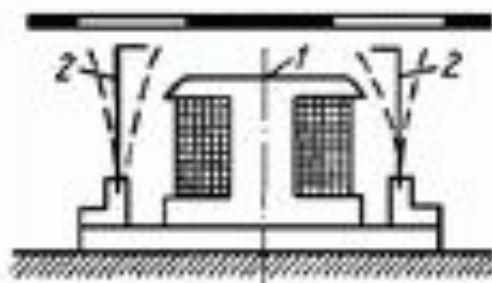


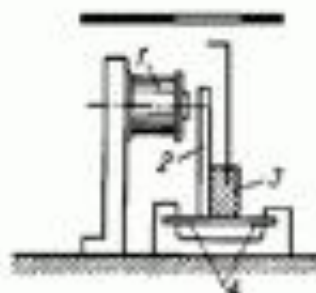
СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ И
ДИОГРАММА ТОКОВ ЧАСТОТОМЕРА



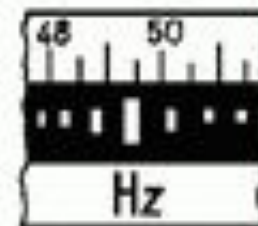
ВИБРАЦИОННЫЙ (РЕЗОНАНСНЫЙ) ЧАСТОТОМЕР



ЧАСТОТОМЕР
С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ
ВОЗБУЖДЕНИЕМ



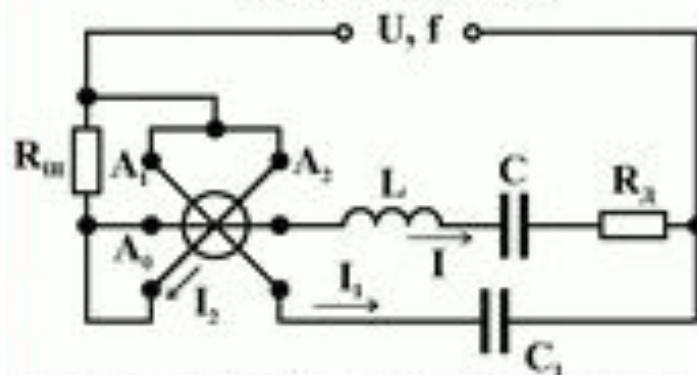
ЧАСТОТОМЕР
С КОСВЕННЫМ
ВОЗБУЖДЕНИЕМ



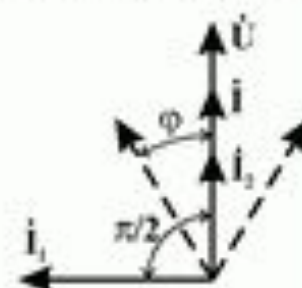
ВИД ШКАЛЫ
ЧАСТОТОМЕРА

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ЧАСТОТОМЕР

СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



При резонансе ($\omega = \omega_0$) ток I совпадает по фазе с направлением U

$$M_1 = II_1 \cos(\alpha + \frac{\pi}{2}) = II_1 \cos \frac{\pi}{2} \sin(\alpha + \frac{\pi}{2}) = 0$$

$$M_2 = II_2 \cos(\alpha) \sin \alpha = I_1 I_2 \sin \alpha$$

Рамка A_2 становится в положение $\alpha = 0$

При отклонении частоты от резонансной

$$M_1 = II_1 \cos \varphi \sin(\alpha + \frac{\pi}{2})$$

$$M_2 = I_1 I_2 \sin \alpha$$

$$\frac{I_1 \cos \varphi}{I_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \frac{\pi}{2})} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{\omega L - \frac{1}{\omega C}} \quad \alpha = F(\varphi)$$

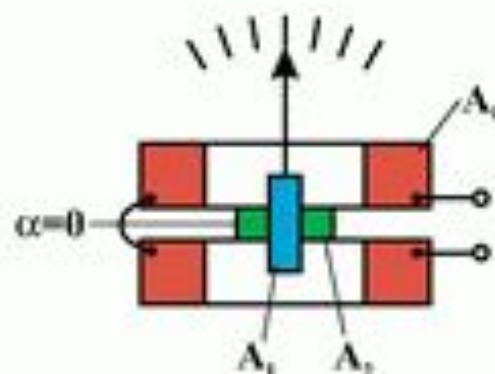
Номинальные значения частот f_0

$$f_0 = (25 - 2500) \text{ Гц}$$

Пределы измерения частотомеров

$$\Delta f = (-0,1 - +0,1) f_0$$

СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ЧАСТОТОМЕРА



ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИЙ ЧАСТОТОМЕР

СХЕМА УСТРОЙСТВА
МЕХАНИЗМА ЧАСТОТОМЕРА

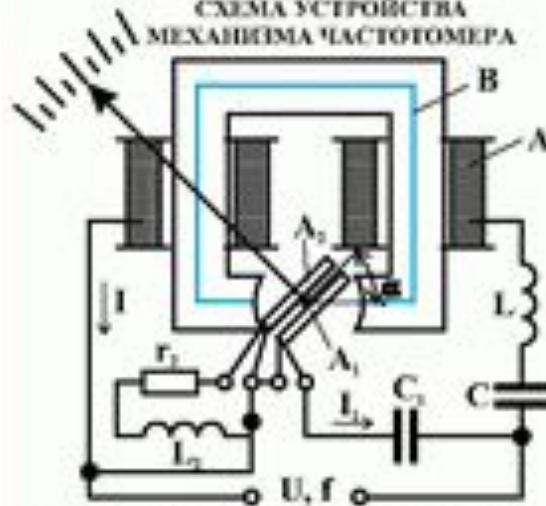
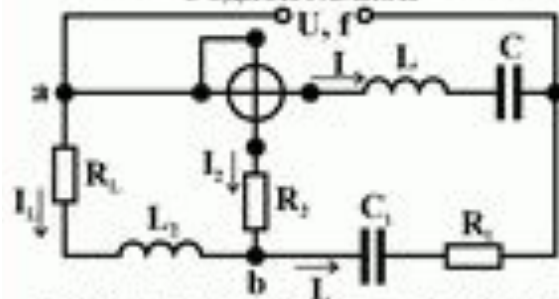
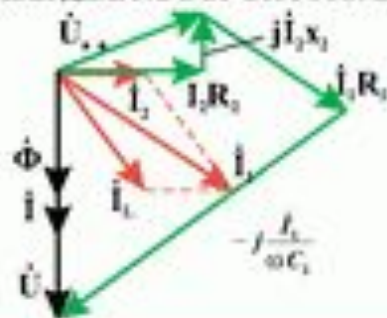


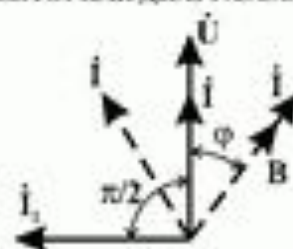
СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ ЧАСТОТОМЕРА
С ОДНОЙ РАМКОЙ



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА ЧАСТОТОМЕРА



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



ПРОТИВОДЕЙСТВУЮЩИЙ МОМЕНТ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРУЖИНЫ

$$M_{\text{пр}} = -K_H \omega U^2 \frac{X_2}{Z_2^2} \alpha$$

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ

$$M_e = B I_1 \omega_1 S_1 \cos(BI_1) = K_e U^2 \frac{X}{Z^2} \omega$$

ХАРАКТЕРИСТИКА ШКАЛЫ

$$\alpha = K_e \frac{\Delta f}{f_0}$$

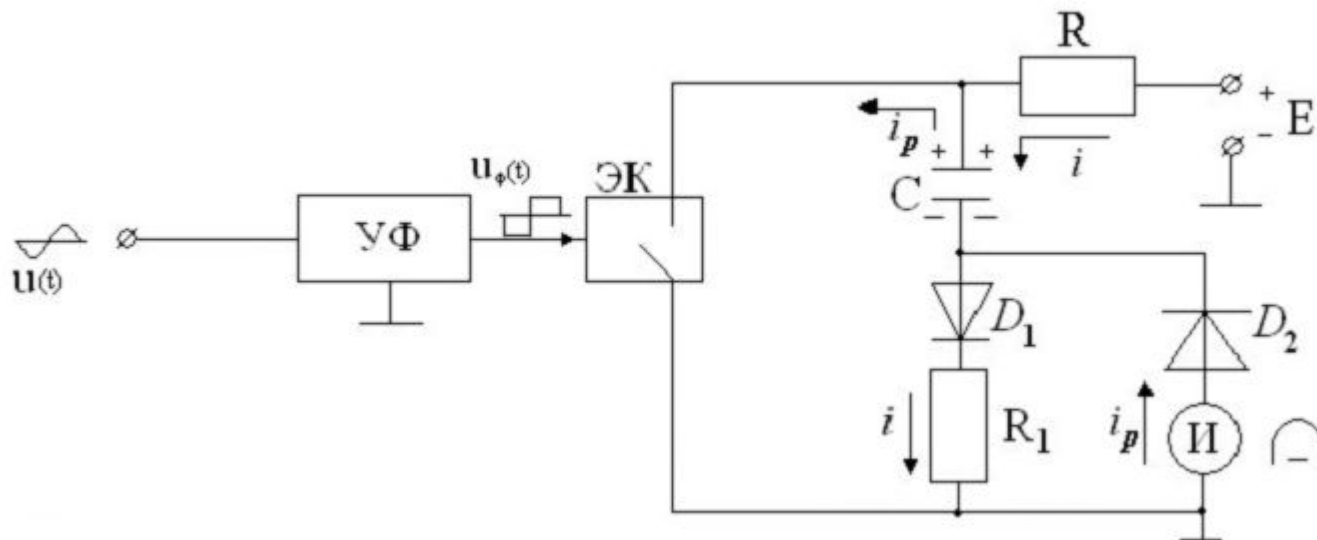
ШКАЛА ФАЗОМЕТРА



Диапазон ω_0 - (15÷2000) Гц

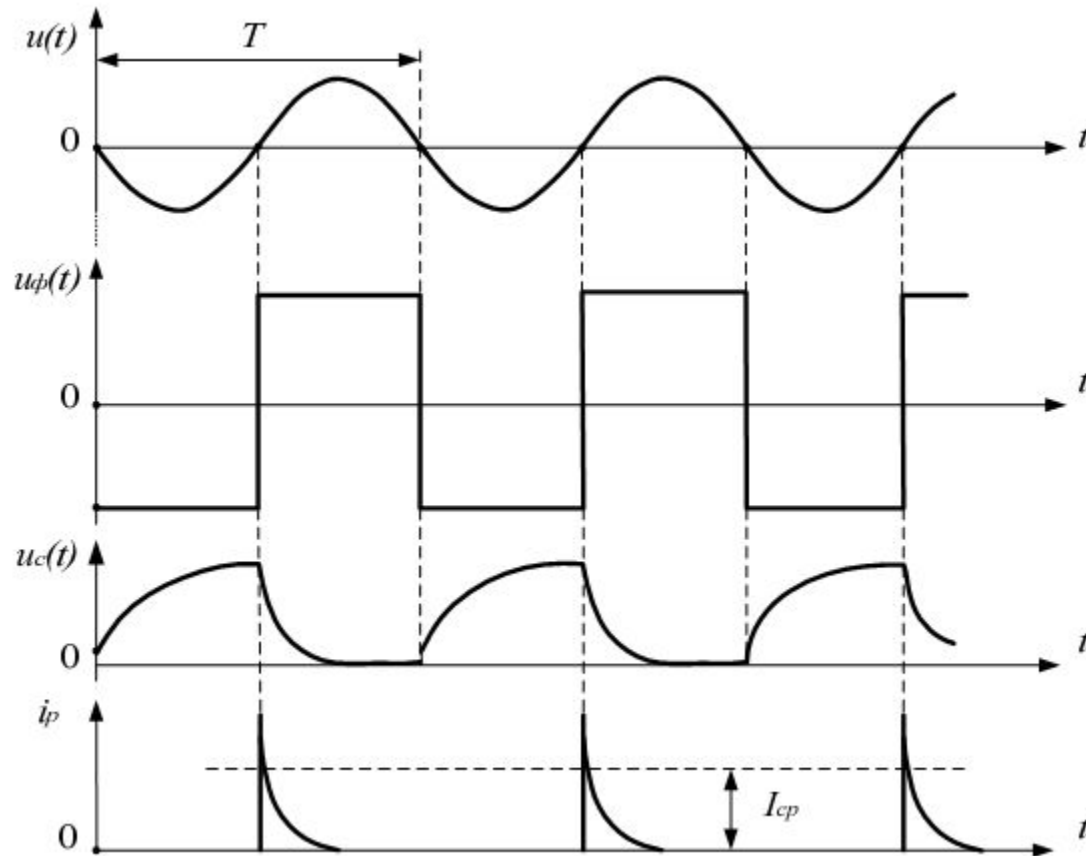
Диапазон δ - ±10% 01202

Схема электронного конденсаторного частотомера



УФ – усилитель-формирователь; **ЭК** – электронный ключ;
D1, D2 – полупроводниковые диоды; **И** – измеритель магнитоэлектрической системы; **R, R1** – постоянные сопротивления

Временная диаграмма сигналов электронного конденсаторного частотомера:



$u(t)$ – входной сигнал; $u_c(t)$ – напряжение на конденсаторе C ;

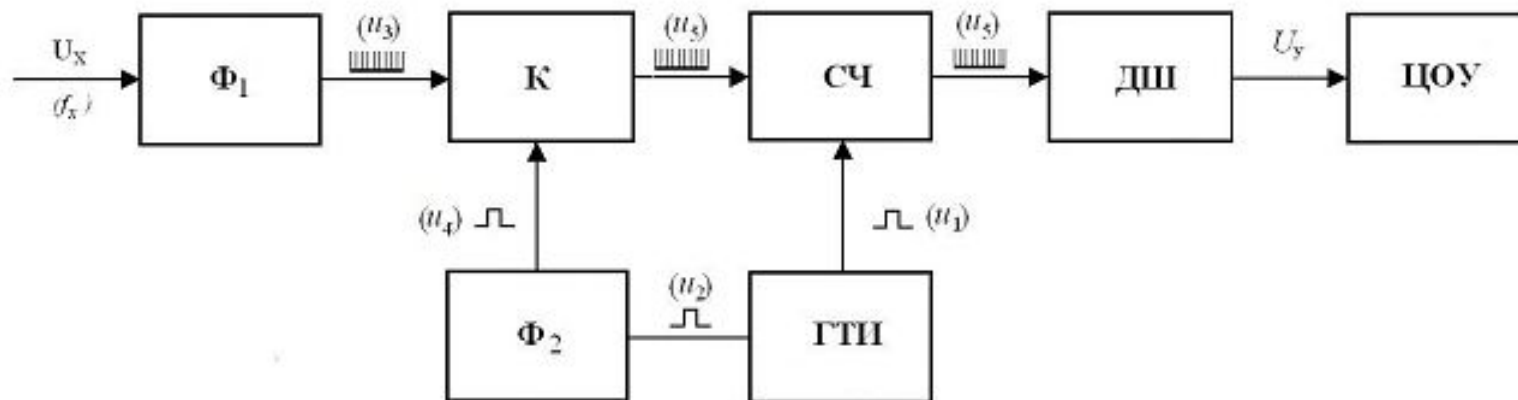
$u_{\phi}(t)$ – напряжение на выходе усилителя – формирователя;

i_p – ток разряда

Напряжение, частота которого измеряется $u(t)$, подается на вход усилителя-формирователя УФ, усиливающего входное напряжение и формирующего из него прямоугольное напряжение. Этим напряжением управляется схема электронного ключа ЭК. При отрицательных сигналах ЭК разомкнут, а при положительных замкнут. При разомкнутом состоянии ключа в течение половины периода конденсатор C через $D1$ заряжается до значения E . Ток заряда i_3 . При замыкании ЭК конденсатор C разряжается через замкнутый ключ, ИМ и диод $D2$.

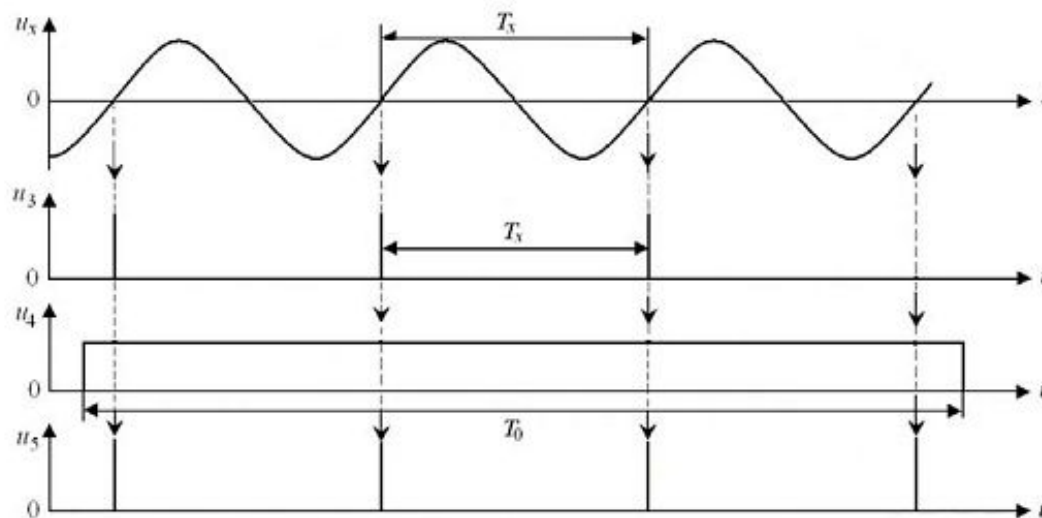
Структурная схема цифрового частотомера

Принцип действия основан на подсчете числа импульсов частотой f_x за интервал времени T_0



Φ_1, Φ_2 – формирователи; ГТИ – генератор тактовых импульсов;
К – ключ; ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;
СЧ – счетчик импульсов; f_x – измеряемая частота
ДШ – дешифратор;

Временные диаграммы работы цифрового частотомера



$$N = \frac{T_0}{T_x} = T_0 f_x,$$

где $f_x = \frac{1}{T_x}$ – частота входного напряжения.

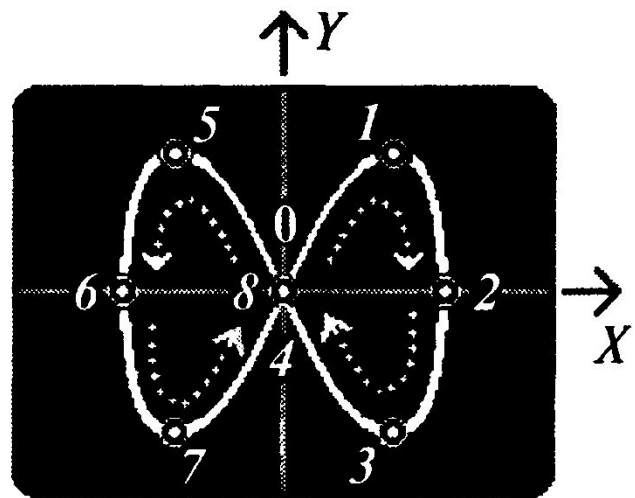
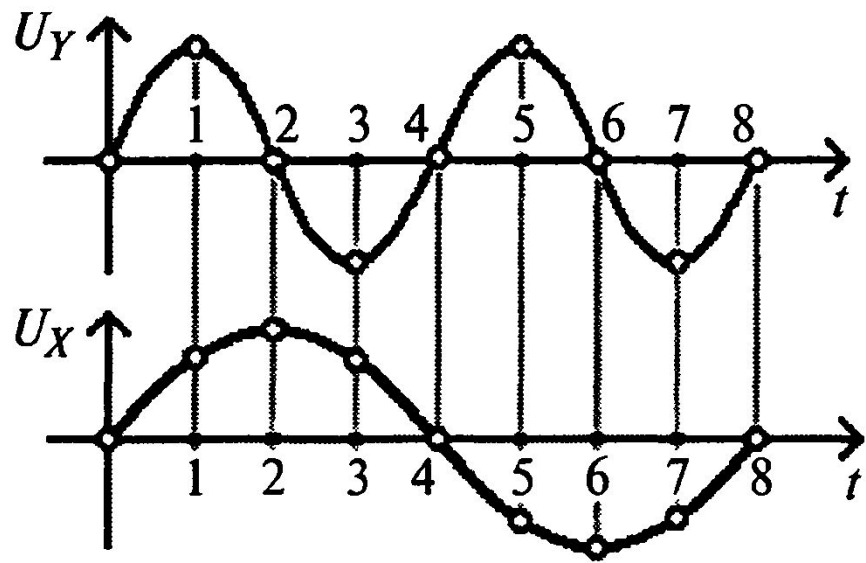
Если длительность интервала $T_0 = 1$ с, то число N дает непосредственное значение измеряемой частоты. В практических схемах частотомеров также предусматривается возможность задания других значений T_0 из ряда $T_0 = 10^m$ с, где m – целое положительное или отрицательное число. Это дает возможность измерять кратные или дольные значения f_x .

Запуск прибора осуществляет **генератор тактовых импульсов** ГТИ, вырабатывающий импульсные напряжения U_1 и U_2 . Импульс U_1 переводит **счетчик** СЧ в исходное состояние (срабатывает на «ноль»). Импульс U_2 воздействует на **формирователь** Ф2, который вырабатывает нормированный импульс U_4 с длительностью T_0 . Импульс U_4 подается на **ключ** К и открывает его на время T_0 . Периодическое напряжение U_x (его частота f_x измеряется) подается на **формирователь** Ф1, который формирует импульсное напряжение U_3 , подаваемое на **ключ** К. Ф1 вырабатывает один импульс в начале каждого периода входного напряжения. Импульсы U_3 «проходят» через **ключ** К, пока действует импульс U_4 . На **счетчик импульсов** СЧ подается серия импульсов U_5 , число которых N зависит от длительности импульса U_4 (T_0) и периода входного напряжения (T_x):

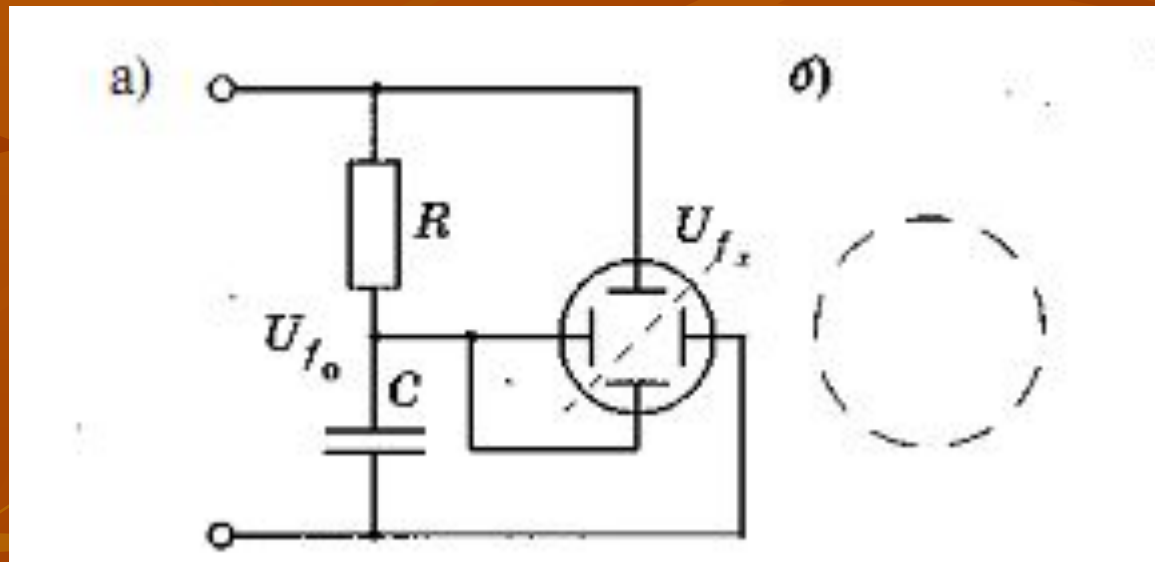
$$N = \frac{T_0}{T_x} = T_0 f_x,$$

где $f_x = \frac{1}{T_x}$ – частота входного напряжения.

Напряжение U_5 , содержащее N импульсов сосчитанных СЧ, подается на **дешифратор** ДШ. Последний преобразует его в управляющее напряжение U_y , воздействующее на **цифровое отсчетное устройство** ЦОУ. ЦОУ индицирует результат измерения в цифровой форме.



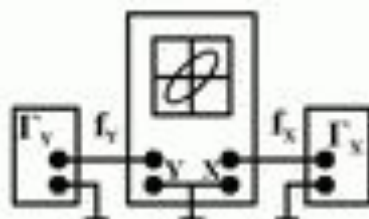
Схемы измерения частоты (а) и изображение на экране ЭЛО (б) в режиме круговой развертки



$$f_x/f_0 = 9$$

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ С ПОМОЩЬЮ ФИГУР ЛИССАЖУ

СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ



УСЛОВИЕ НЕПОДВИЖНОСТИ
ФИГУР ЛИССАЖУ

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

$$2. \quad F = f_2 - n f_1 > 16, \quad *)$$

f_1 - большая из частот,

n - наибольшее целое число, при котором отношение *) имеет смысл.

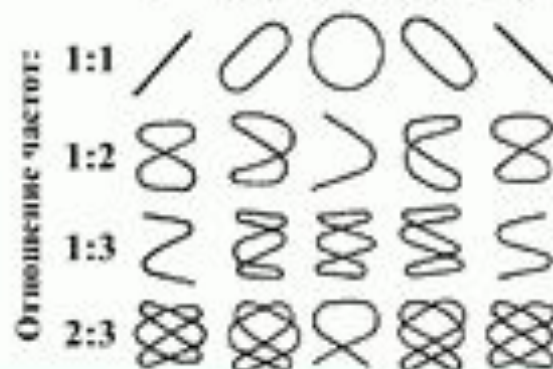
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОЙ ИЗ ЧАСТОТ ПО ИЗВЕСТНОЙ ВТОРОЙ

$m_y f_y = m_x f_x$ m_y и m_x - соответственно наибольшее число пересечений фигуры Лиссажу с линиями, параллельными осям Y и X

ФИГУРЫ ЛИССАЖУ

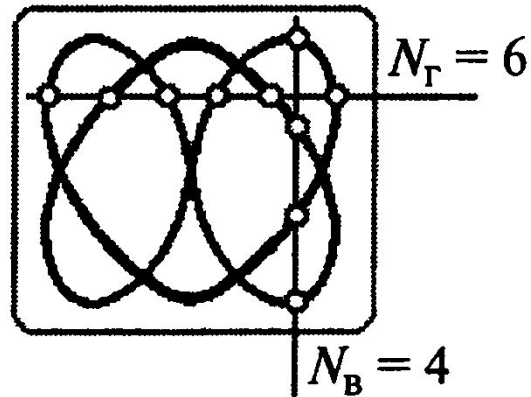
СДВИГ ФАЗ:

0 $\pi/4$ $\pi/2$ $3\pi/4$ π

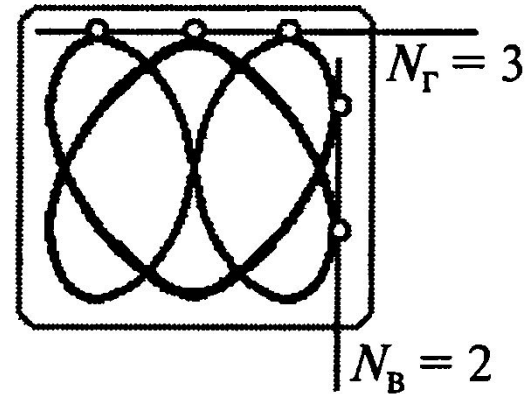


Метод фигур Лиссажу.

Используется для измерения частоты синусоидальных напряжений



a)



б)

$$f_{\text{Y}}/f_{\text{X}} = N_{\Gamma}/N_{\text{В}}$$

Измерение временных интервалов

СХЕМА ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ

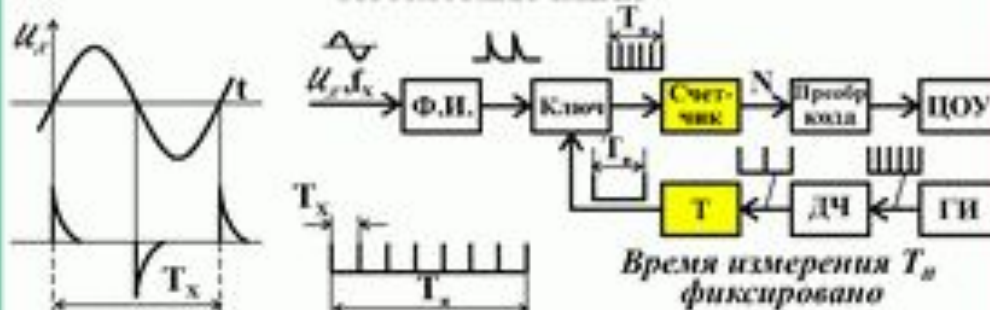
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА



Миллисекундомер $1 \rightarrow 10^4$ мс, класс точности 0,005/0,0005

ЦИФРОВОЙ ЧАСТОТОМЕР

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА



Интервал времени измерения T_m заполняется импульсами измеряемой частоты f_x

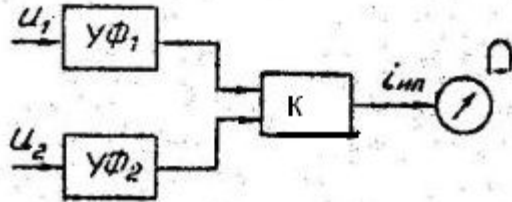
Число импульсов $N = \frac{T_m}{T_x} = T_m f_x$ $f_x = \frac{N}{T_m} = N f_m$ $f_m = \frac{1}{T_m}$

Погрешность квантования $\delta_x = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{T_m f_x} = \pm \frac{T_x}{T_m}$

Минимальное значение измеряемой частоты при заданной погрешности квантования δ_x

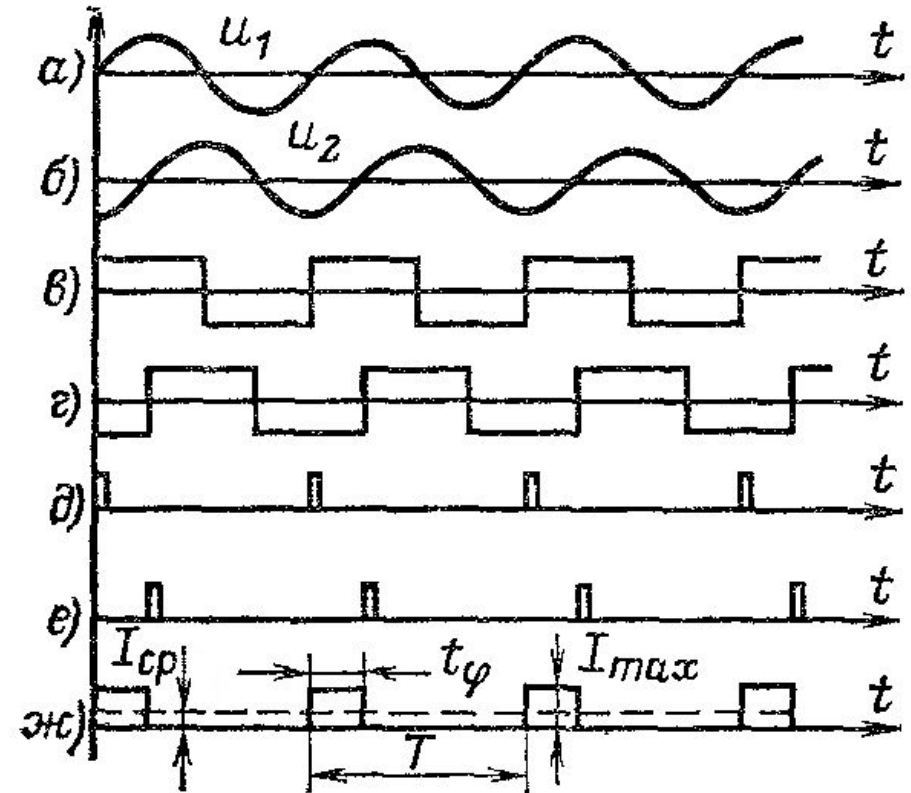
$$f_{x\min} \geq \frac{1}{T_m \cdot \delta_x}$$

Электронный фазометр



$$\varphi = \frac{\tau}{T} 360^\circ$$

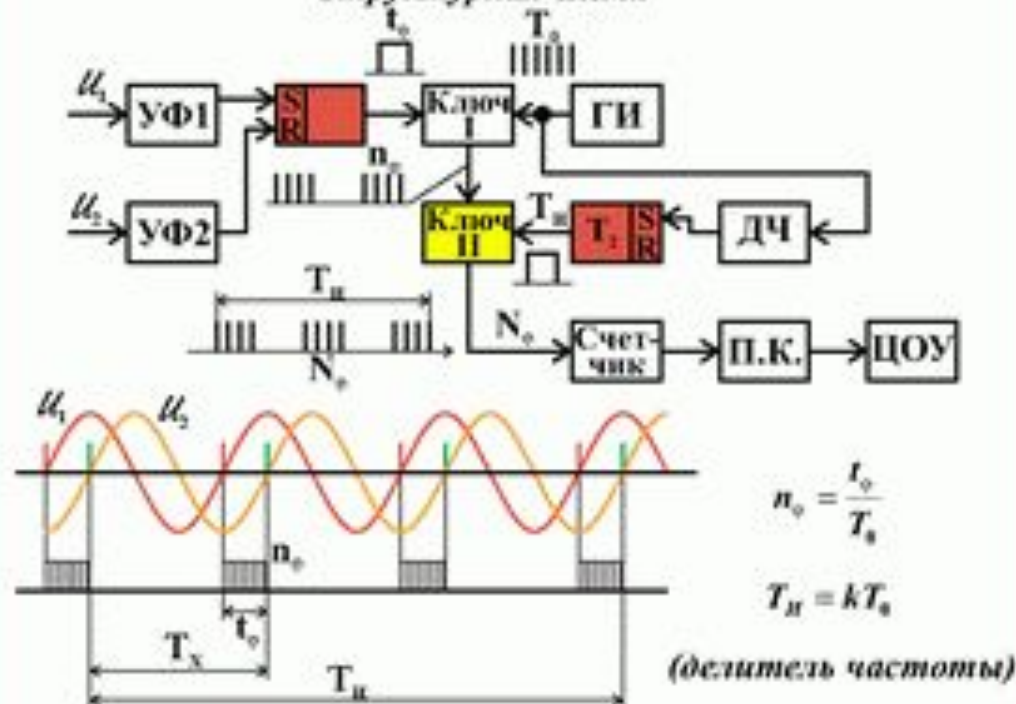
$$I_{\varphi} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{изм} dt = \frac{\varphi}{360^\circ} I_{м}$$



ЦИФРОВОЙ ФАЗОМЕТР

ИЗМЕРЕНИЕ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ ФАЗЫ

Структурная схема



Если T_m кратно T_x , то число пачек импульсов, поступающих в счетчик

$$a = \frac{T_m}{T_x}$$

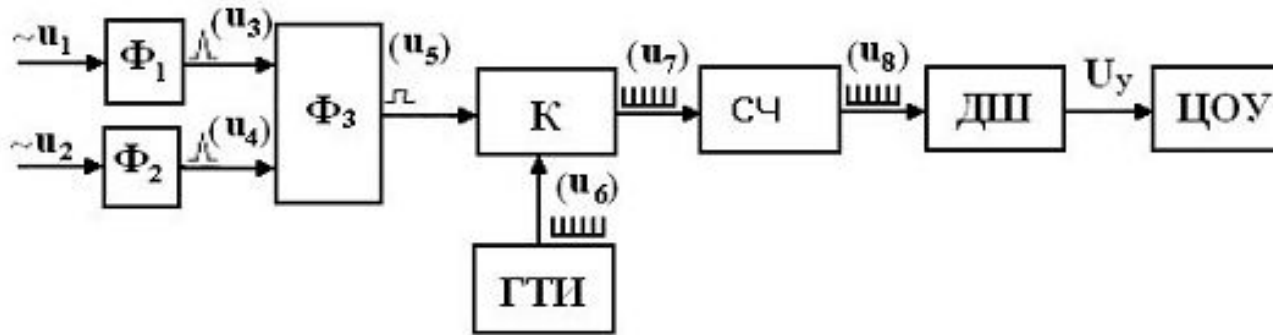
Число импульсов, поступающих в счетчик за T_m

$$N_0 = a n_0 = \frac{T_m}{T_x} \cdot \frac{t_0}{T_s} = \frac{kT_x}{T_x} \cdot \frac{t_0}{T_s} = k \frac{t_0}{T_x} = k n_0$$

Фазовый сдвиг $\varphi = 2\pi n_0 = 2\pi \frac{N_0}{k}$ не зависит от T_x и T_s

Упрощенная структурная схема цифрового фазометра:

Принцип действия - преобразование фазового сдвига в соответствующий интервал времени, а также измерение этого интервала цифровым методом.



Φ₁, Φ₂, Φ₃ – формирователи;

u₁ и u₂ – периодические входные напряжения, между которыми измеряется сдвиг по фазе;

К– ключ;

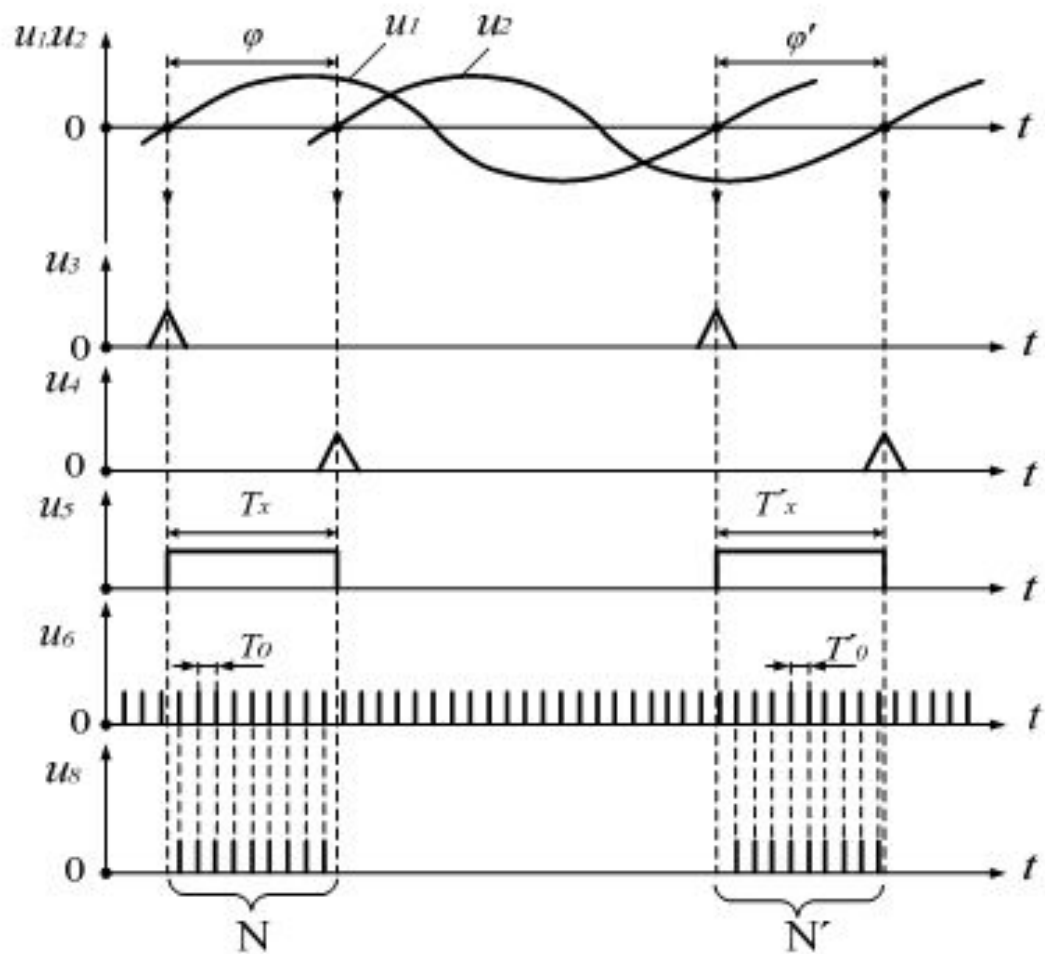
ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;

ГТИ – генератор стабильных высокочастотных импульсов

ДШ – дешифратор;

СЧ – счетчик импульсов;

Временные диаграммы цифрового фазометра



Напряжения U_1 и U_2 поступают на **формирователи** Φ_1 и Φ_2 , которые вырабатывают импульсы u_3 и u_4 , соответствующие моментам перехода входных сигналов через ноль. Импульсы u_3 и u_4 воздействуют на **формирователь** Φ_3 (первый как старт-импульс, а второй как стоп-импульс), на выходе которого образуется импульс u_5 с длительностью T_x , соответствующей измеряемому фазовому сдвигу φ . Импульс u_5 открывает **ключ** K на интервал времени T_x , и в течение этого времени через K на счетчик импульсов СИ с генератора ГТИ поступают импульсы. Частота поступающих импульсов

$$f_0 = \frac{1}{T_0}.$$

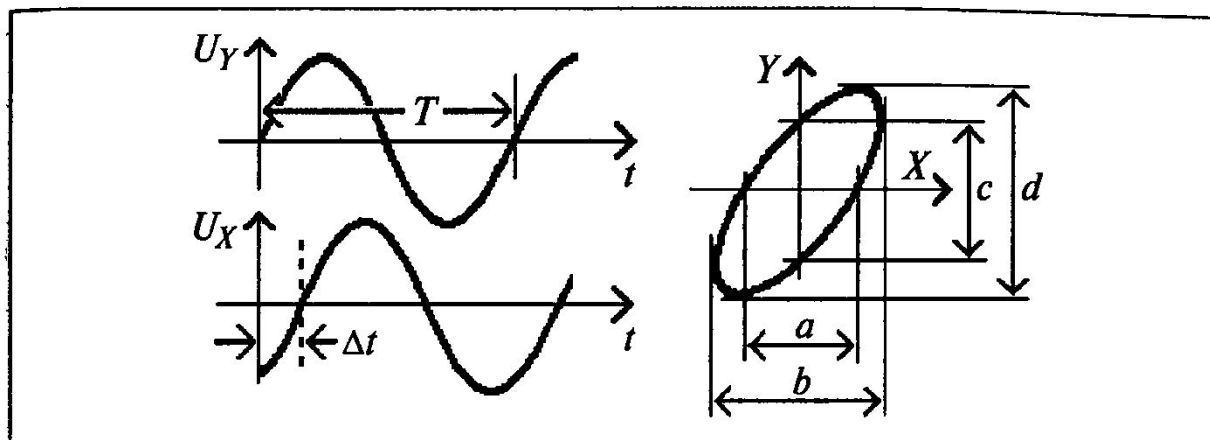
Число импульсов N , сосчитанное СЧ, определяется соотношением

$$N = \frac{T_x}{T_0}.$$

Измеряемый фазовый сдвиг $\varphi = K \cdot N$
где K – коэффициент пропорциональности

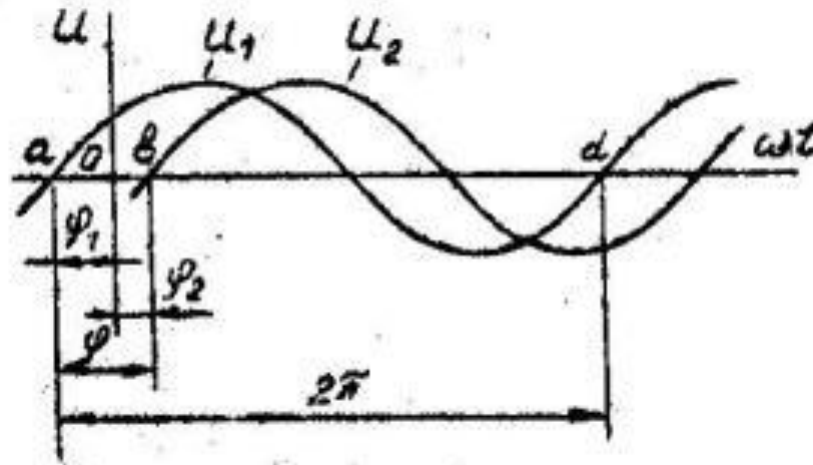
$$\varphi = \frac{\tau}{T} 360^\circ$$

Метод эллипса.



$$\varphi = \arcsin(a/b) = \arcsin(c/d).$$

Метод линейной развертки



$$\varphi = \frac{ab}{ad} 360^\circ$$

Схема измерения угла сдвига фаз компенсационным методом

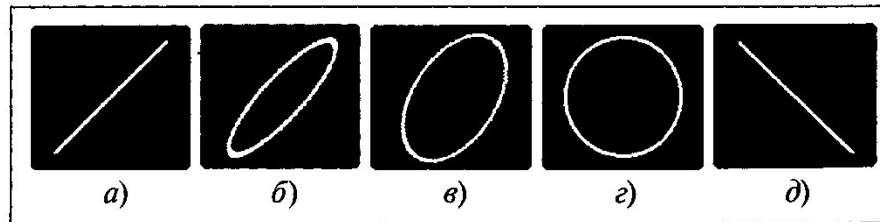
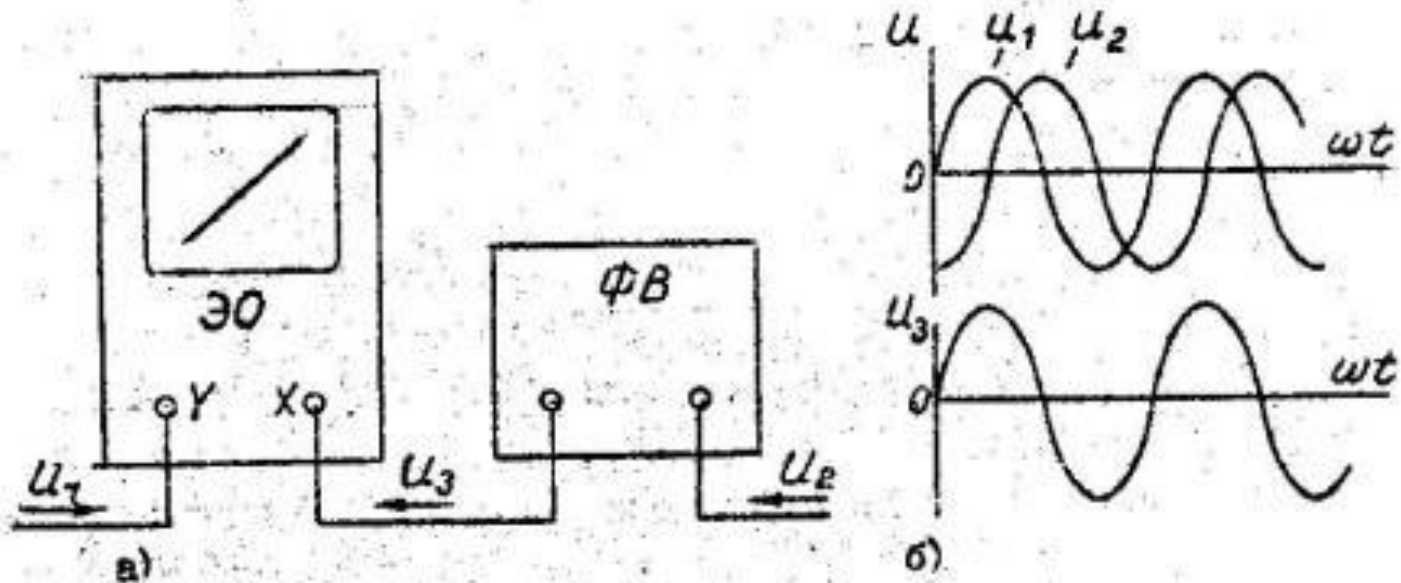
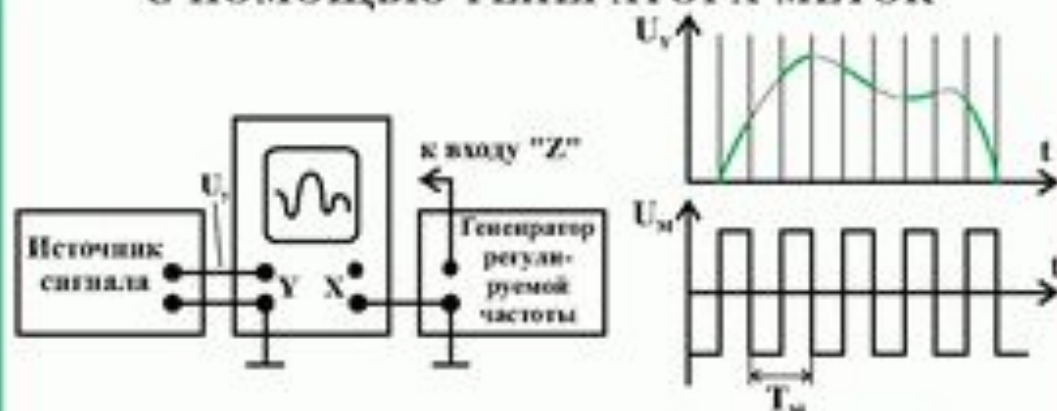


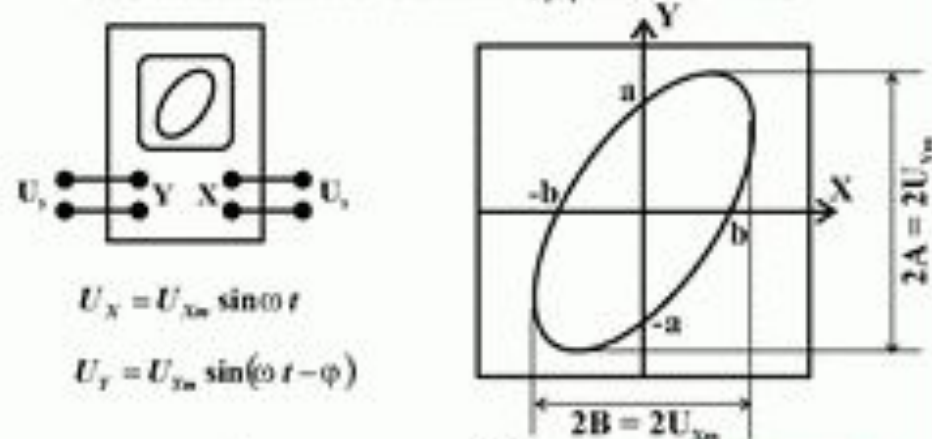
Рис. 4.11. Изображения на экране в методе эллипса при различных сдвигах фаз:

$a - 0^\circ$; $b - 30^\circ$; $в - 60^\circ$; $г - 90^\circ$; $д - 180^\circ$

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТОРА МЕТОК



ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА СДВИГА ФАЗ



$$U_X = U_{xm} \sin \omega t$$

$$U_Y = U_{ym} \sin(\omega t - \varphi)$$

При $U_X = 0, \quad \omega t = 0 \quad U_Y = U_{ym} \sin(-\varphi) = -a$

$\omega t = \pi \quad U_Y = U_{ym} \sin \varphi = a$

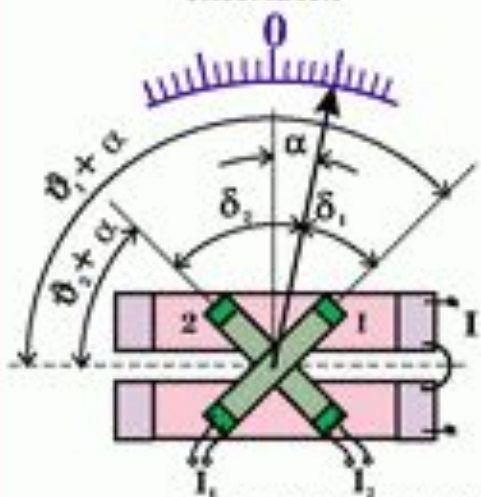
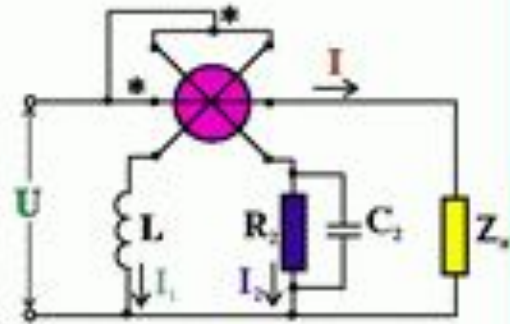
$$\sin \varphi = \frac{2a}{2A}$$

При $U_Y = 0, \quad \omega t = \varphi \quad U_X = U_{xm} \sin \varphi = b$

$\omega t = \pi + \varphi \quad U_X = -U_{xm} \sin \varphi = -b$

$$\sin \varphi = \frac{2b}{2B}$$

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ОДНОФАЗНЫЙ ФАЗОМЕТР
 ЛОГОМЕТР ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ФАЗОМЕТРА



ПОЛЕ НЕПОДВИЖНЫХ КАТУШЕК РАВНОМЕРНОЕ

$$M_1 = -I I_1 \cos(\hat{I} \hat{I}_1) M_{20} \sin(\vartheta_1 + \alpha)$$

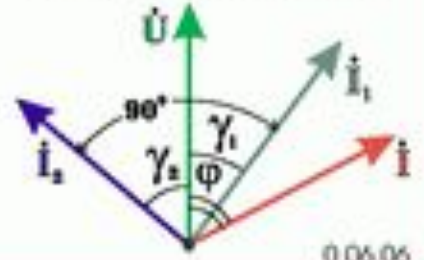
$$M_2 = I I_2 \cos(\hat{I} \hat{I}_2) M_{20} \sin(\vartheta_2 + \alpha)$$

$I_1 = I_2 \quad \gamma_1 = \gamma_2 \quad \delta_1 = \delta_2 \quad M_{10} = M_{20} \quad 2\gamma = 2\delta = \frac{\pi}{2}$

УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ МОМЕНТОВ ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА

$$\frac{\sin(\varphi + \gamma)}{\cos(\varphi + \gamma)} = \frac{\sin(\alpha + \delta)}{\cos(\alpha + \delta)}$$

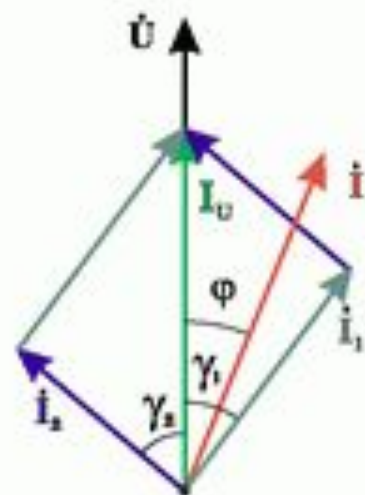
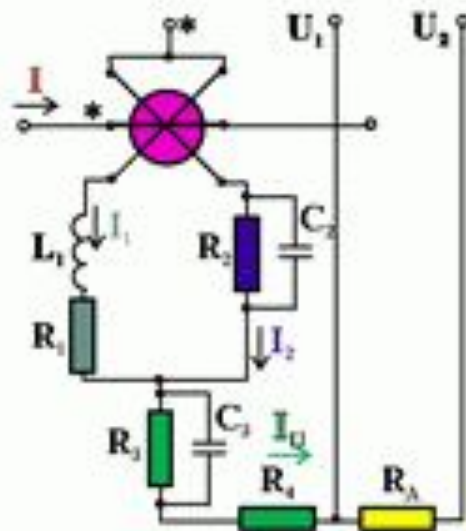
$$\alpha = \varphi$$



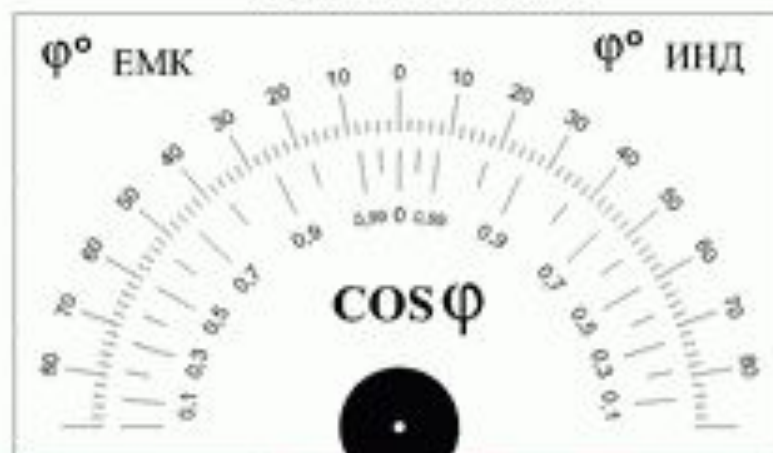
РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ФАЗОМЕТРОВ

СХЕМА ФАЗОМЕТРА

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА

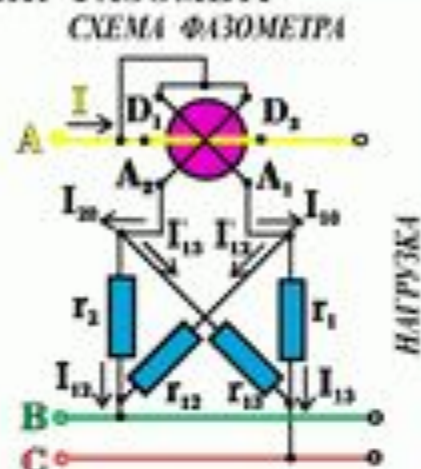


ВИД ШКАЛЫ ФАЗОМЕТРА

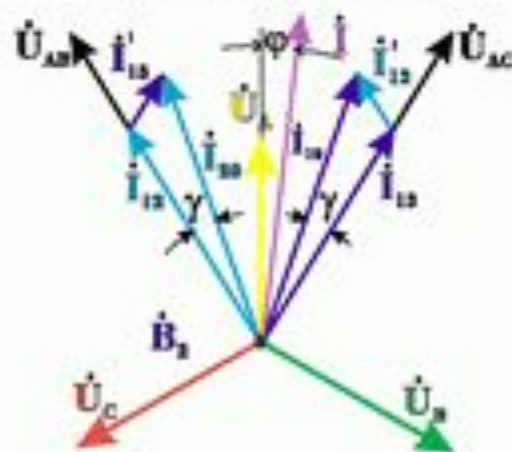


0.06.07

ФЕРРОДИНАМИЧЕСКИЙ ФАЗОМЕТР
 МЕХАНИЗМ ФЕРРОДИНАМИЧЕСКОГО
 ЛОГОМЕТРА



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



ВРАЩАЮЩИЕ МОМЕНТЫ

$$M_1 = K_1 B_1 I_{12} \cos(\widehat{B_1 I_{12}}) = K_1 B_1 I_{12} \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$M_2 = K_2 B_2 I_{13} \cos(\widehat{B_2 I_{13}}) = K_2 B_2 I_{13} \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$B_1 = I f_1(\omega); \quad B_2 = I f_2(\omega)$$

$$I_{12} = \frac{U_{12}}{r_2}; \quad I_{13} = \frac{U_{13}}{r_1}; \quad M_1 = M_2$$

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

ХАРАКТЕРИСТИКА ШКАЛЫ ФАЗОМЕТРА

$$\frac{r_1 \cos(30^\circ + \varphi)}{r_2 \cos(30^\circ - \varphi)} = \frac{K_1 f_1(\omega)}{K_2 f_2(\omega)} = \frac{K_1}{K_2} f(\omega)$$

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

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

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФАЗОМЕТР

СХЕМА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ФАЗОМЕТРА

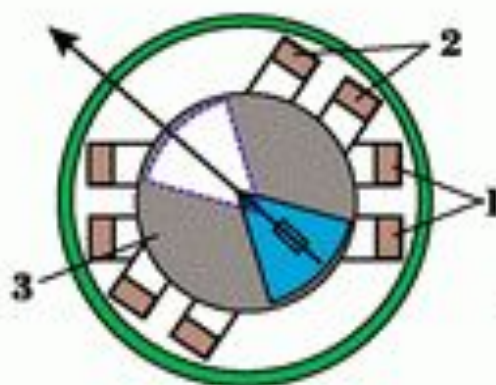
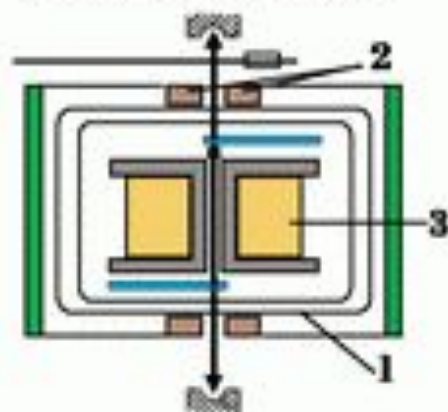
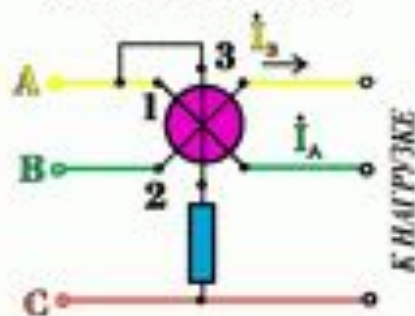
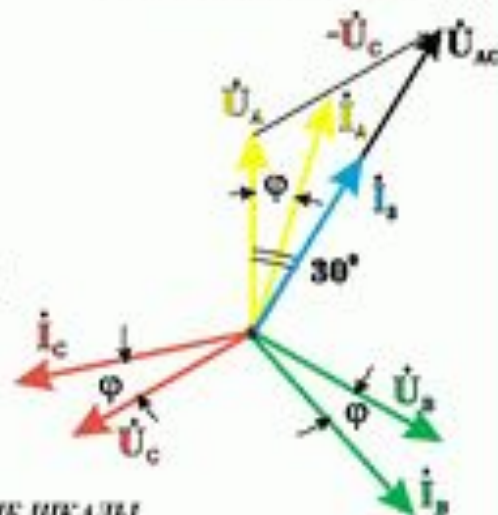


СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



УРАВНЕНИЕ ШКАЛЫ

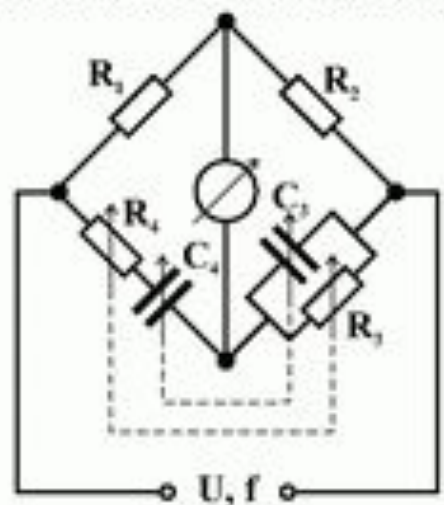
$$\frac{I_A \cos(30^\circ - \varphi)}{I_B \sin \varphi} = \frac{\cos(30^\circ - \alpha)}{\sin \alpha}$$

$$\alpha = \varphi$$

ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ $\theta = 360^\circ$

ЧАСТОТОМЕРНЫЕ МОСТЫ

СХЕМА ЧАСТОТОНАЗВИСИМОГО МОСТА



УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3 + \frac{C_3}{\omega}}{R_4 + \frac{C_4}{\omega}} \quad \text{- удовлетворяется постоянно}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{R_1 R_4 C_3 C_4}$$

Выбор параметров моста

$$C_3 = C_4 = C = \text{const}$$

$R_1 = R_4 = R_p$ - сдвоенные многодекадные магазины проводимости

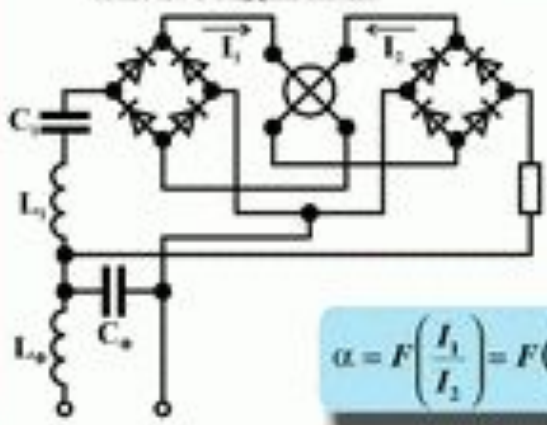
$$g_{p\omega} = \frac{1}{R_p}$$

Градуировочная характеристика моста

$$\omega^2 = \frac{1}{C^2} g_p^2$$

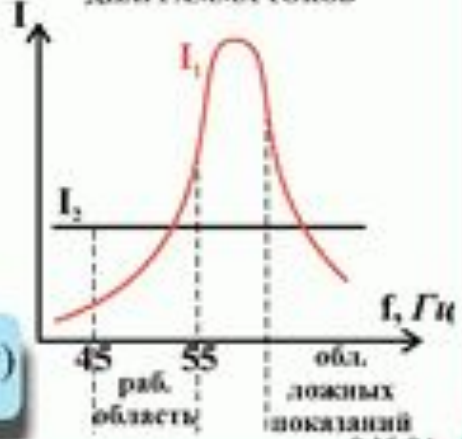
ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ ЧАСТОТОМЕР

СХЕМА СОЕДИНЕНИЙ



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

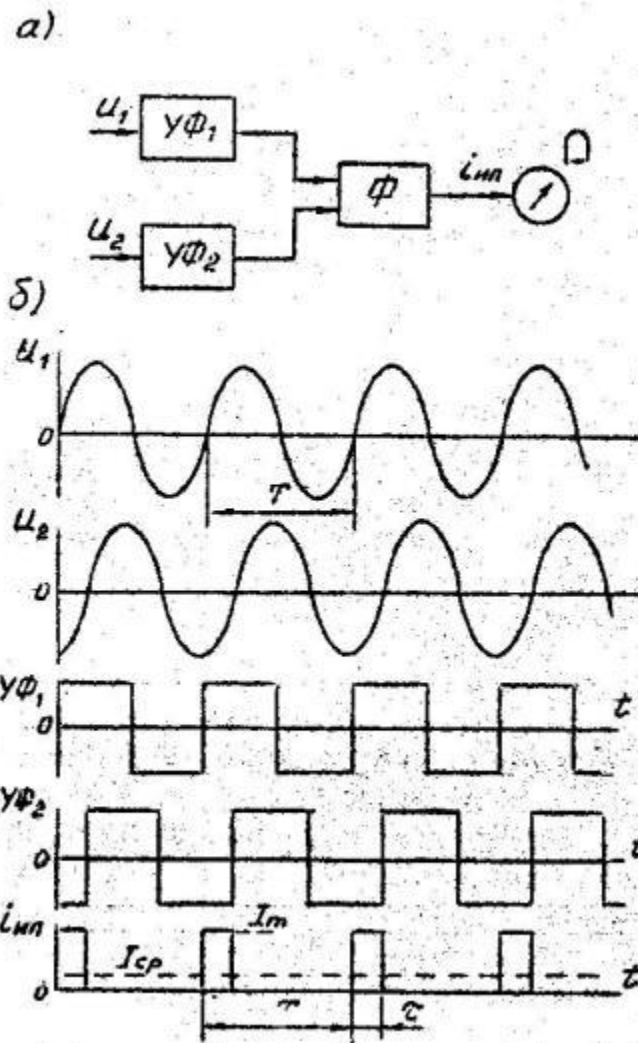
ДИАГРАММА ТОКОВ



Электронный фазометр

$$\varphi = \frac{\tau}{T} 360^\circ$$

$$I_{\varphi} = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} i_{\text{ин}} dt = \frac{\varphi}{360^\circ} I_m$$



ПЛАН (ЧАСТЬ 2):

- 1** Методы и средства измерения мощности в цепях постоянного тока, активной и реактивной мощности в однофазных цепях переменного тока.
- 2** Методы и средства измерения активной и реактивной мощности в трехфазных цепях переменного тока.
- 3** Методы и средства измерения (учета) энергии в цепях постоянного и переменного тока.
- 4** Средства измерения количества электричества.

Аналитические выражения мощности как основа методов измерений мощности и энергии

Активная P и реактивная Q мощности однофазного тока определяются выражениями:

$$P = UI \cos \varphi, \quad Q = UI \sin \varphi,$$

где U и I — действующие значения напряжения и тока; φ — угол сдвига между этими величинами.

$$P = UI, \quad P = I^2 R_H, \quad P = U^2 / R_H.$$

Реактивная мощность для трехфазной цепи в общем случае:

$$Q = U_{1\phi} I_{1\phi} \sin \varphi_1 + U_{2\phi} I_{2\phi} \sin \varphi_2 + U_{3\phi} I_{3\phi} \sin \varphi_3,$$

а при полной симметрии системы

$$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \sin \varphi.$$

Активную мощность трехфазной цепи можно выразить следующим образом:

для симметричной системы

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi;$$

для трехпроводной асимметричной системы

$$P = U_{1,3} I_1 \cos \gamma + U_{2,3} I_2 \cos \delta$$

или

$$P = U_{2,1} I_2 \cos \rho + U_{3,1} I_3 \cos \lambda,$$

или

$$P = U_{1,2} I_1 \cos \alpha + U_{3,2} I_3 \cos \beta;$$

для четырехпроводной асимметричной системы

$$P = U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi_1 + U_{2\phi} I_{2\phi} \cos \varphi_2 + U_{3\phi} I_{3\phi} \cos \varphi_3.$$

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

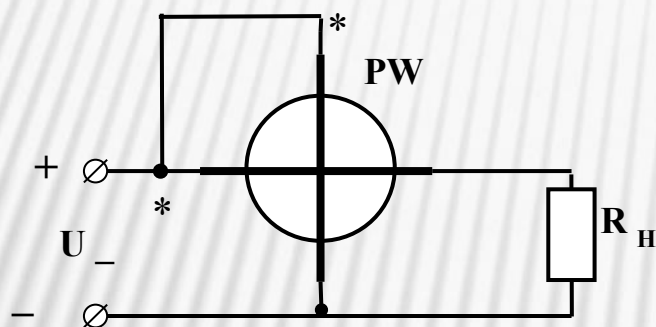


Рисунок 1

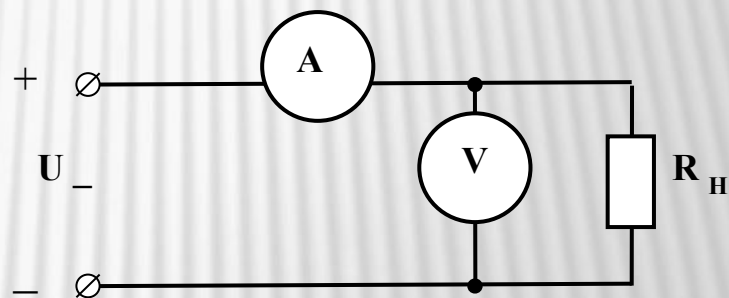


Рисунок 2

Классификация ваттметров

По назначению и диапазону частот: низкочастотные (и постоянного тока), радиочастотные.

В зависимости от способа функционального преобразования измерительной информации и её вывода оператору:

1. аналоговые (показывающие и самопишущие)
2. цифровые.

Ваттметры низкой частоты и постоянного тока используются преимущественно в сетях электропитания промышленной частоты для измерения потребляемой мощности, могут быть **однофазные и трехфазные**.

Отдельную подгруппу составляют **варметры** — измерители реактивной мощности.

Цифровые приборы обычно совмещают возможность измерения активной и реактивной мощности.

Ваттметры радиодиапазона по назначению делятся на два вида:

1. **проходящей мощности**, включаемые в разрыв линии передачи,
2. **поглощаемой мощности**, подключаемые к концу линии в качестве согласованной нагрузки.

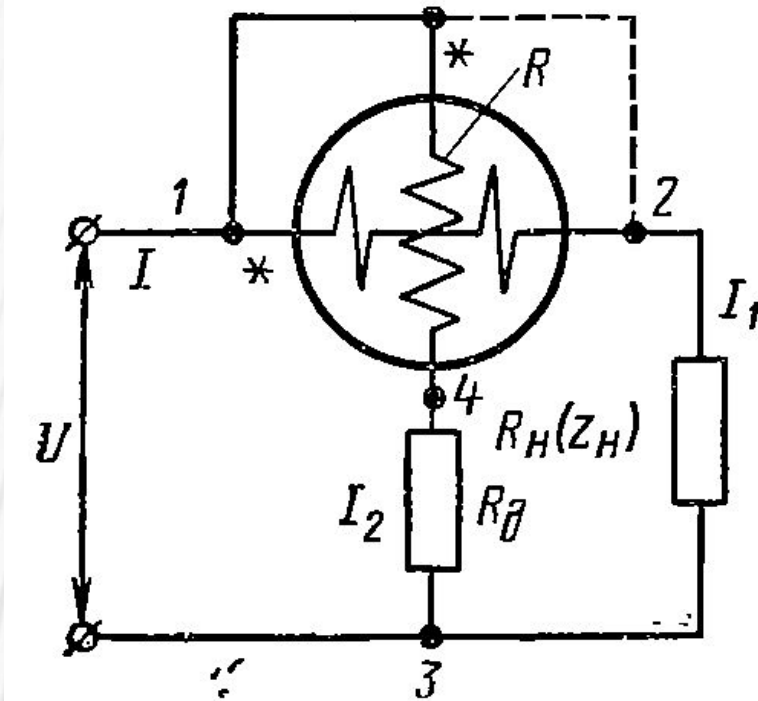
Аналоговые НЧ-ваттметры электродинамической или ферродинамической системы имеют в измерительном механизме две катушки, одна из которых подключается последовательно нагрузке, другая параллельно. Взаимодействие магнитных полей катушек создает вращающий момент, отклоняющий стрелку прибора, пропорциональный произведению силы тока, напряжения и косинуса или синуса разности фаз (для измерения соответственно активной или реактивной мощности).

•**ПРИМЕРЫ:** Ц301, Д8002, Д5071

Цифровые НЧ-ваттметры имеют в качестве входных цепей два датчика по току и по напряжению, подключаемые соответственно последовательно и параллельно нагрузке, датчики могут быть на основе измерительных трансформаторов, термопар. Информация с датчиков через АЦП передается на вычислительное устройство, в котором рассчитываются активная и реактивная мощность, далее итоговая информация выводится на цифровое табло и, при необходимости, на внешние устройства (для хранения, печати данных и т. д.).

•**ПРИМЕРЫ:** М1 2010А, СР3010, ЩВ02

Схема включения электродинамического ваттметра



$$\alpha = \frac{1}{W} I_1 I_2 \frac{\partial M_{1,2}}{\partial \alpha}.$$

$$\alpha = \frac{1}{W z_B} UI \cos(\varphi - \delta) \frac{\partial M_{1,2}}{\partial \alpha},$$

$I_2 = U/R_B$, $R_B = R + R_H$. Тогда

$$\alpha = \frac{1}{WR_B} UI_1 \frac{\partial M_{1,2}}{\partial \alpha} = kP \frac{\partial M_{1,2}}{\partial \alpha},$$

где $k = \text{const}$; P — мощность.

СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ВАТТМЕТРА (А) И ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ (Б, В), ПОЯСНЯЮЩИЕ ЕГО РАБОТУ

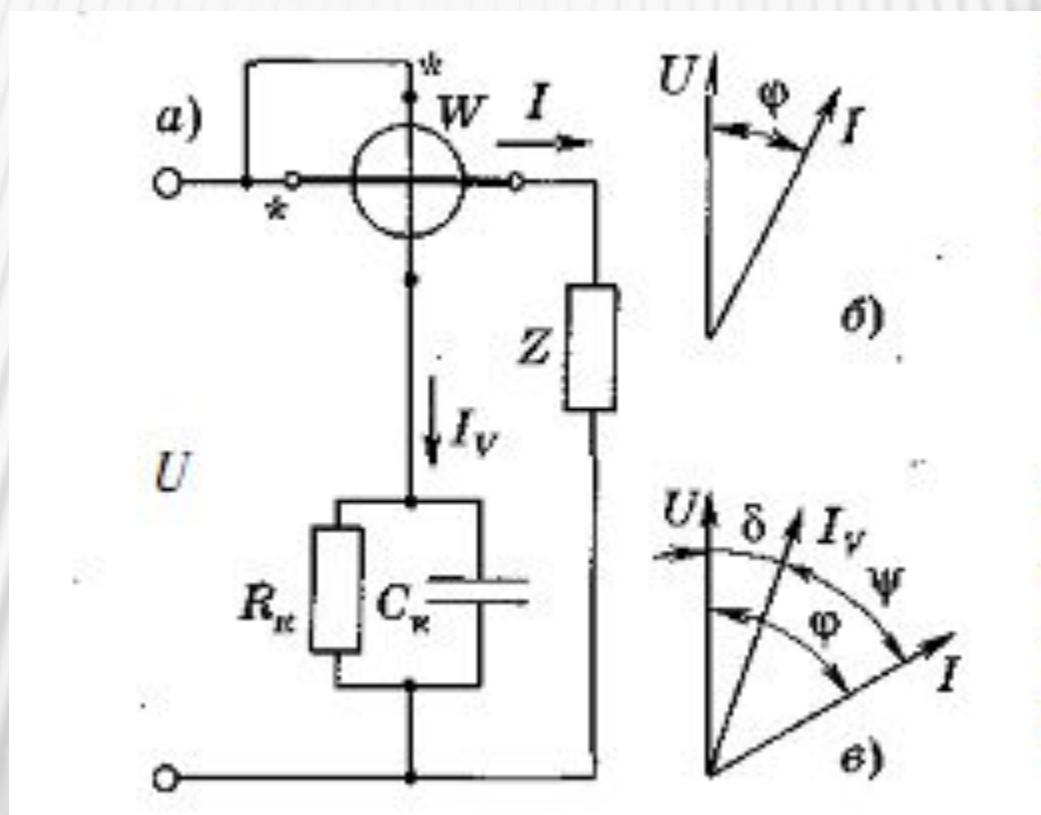
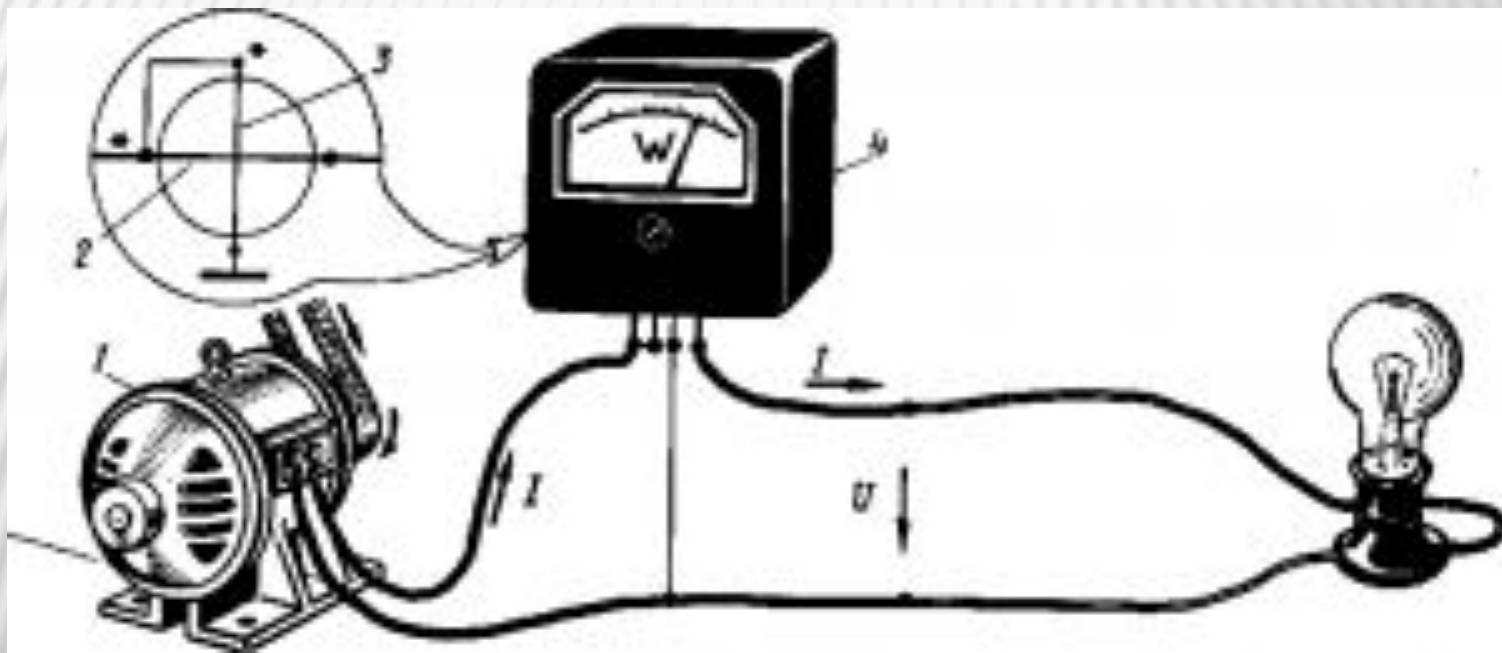
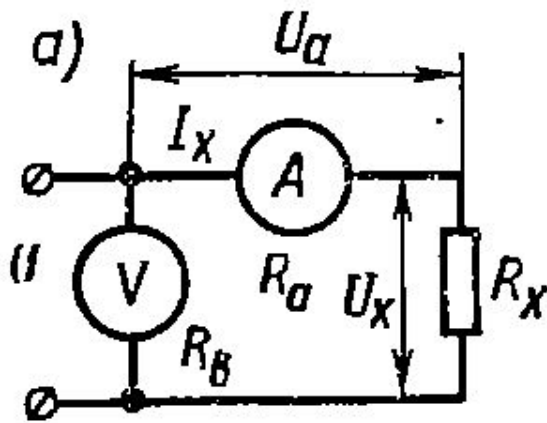


Схема для измерения мощности

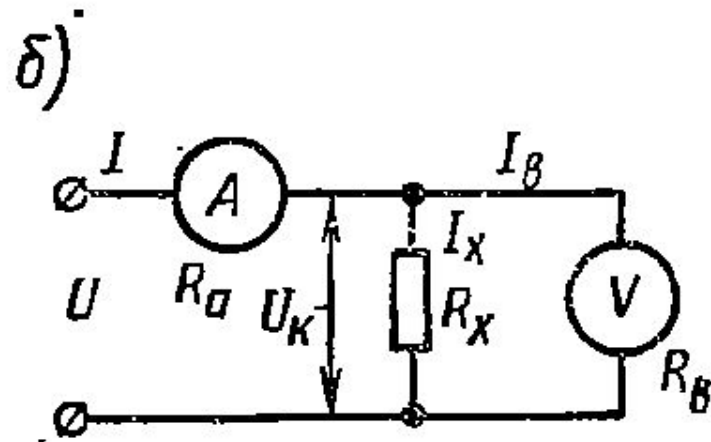


Косвенные методы измерений мощности



$$P_H = P - I^2 R_a,$$

$$\gamma_{01} = (P - P_H) / P_H = R_a / R_H.$$



$$P_H = P - (U^2 / R_B),$$

$$\gamma_{02} = \frac{U^2 / R_B}{U^2 / R_H} = \frac{R_H}{R_B}.$$

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ОДНОФАЗНЫХ ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

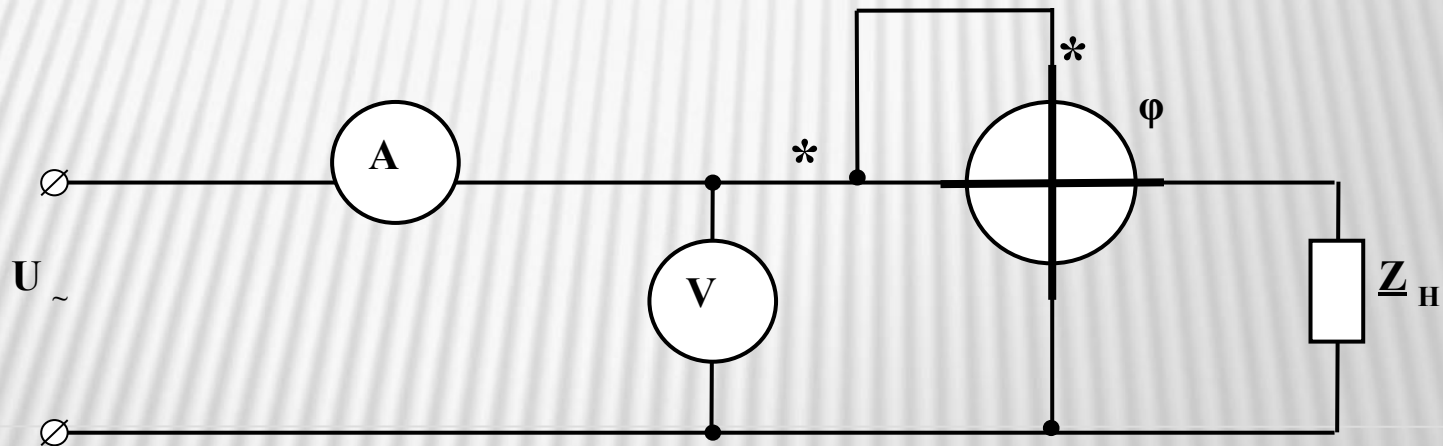
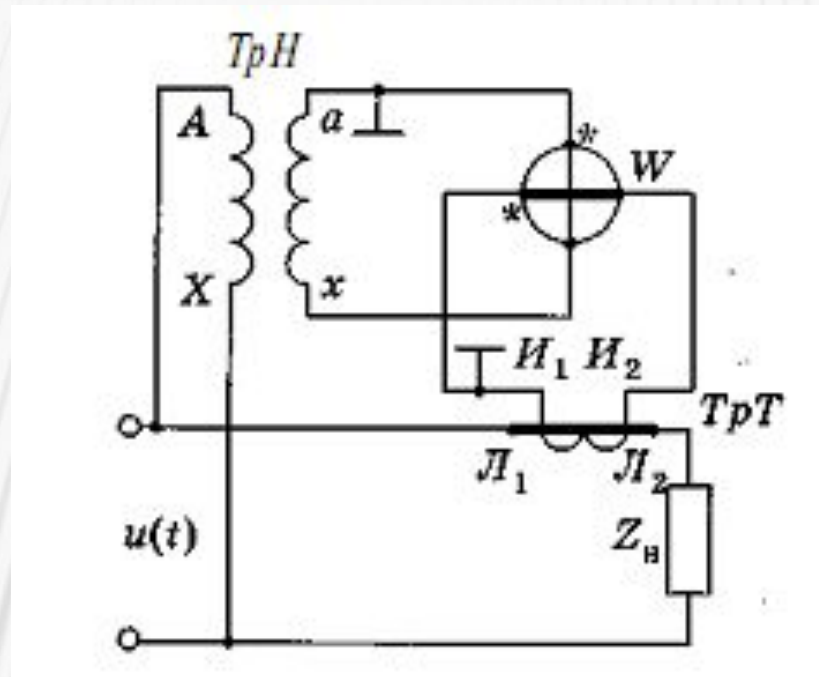


СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ВАТТМЕТРА ЧЕРЕЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



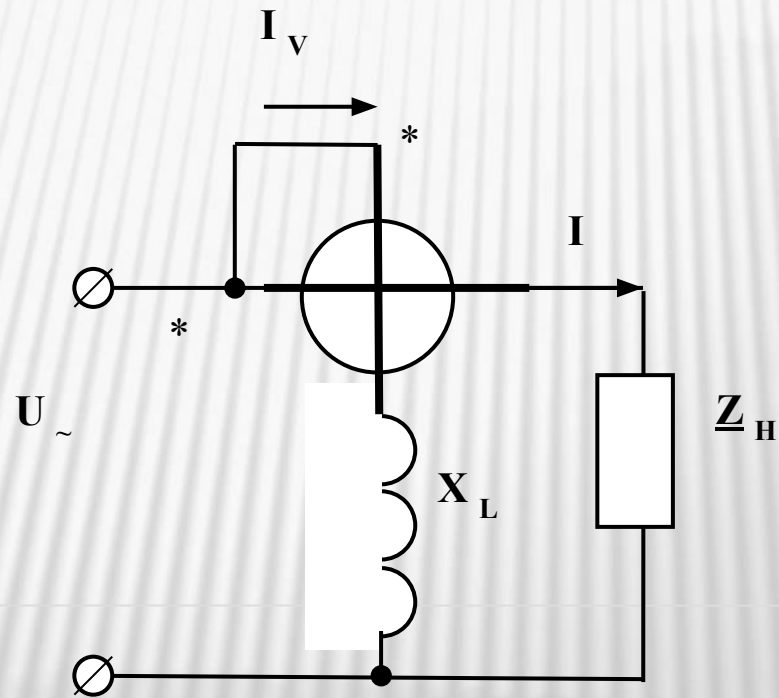
$$P_X = P_W K_{U_{ин}} K_{I_{ин}}$$

Где P_X — измеренное значение активной мощности в цепи нагрузки;

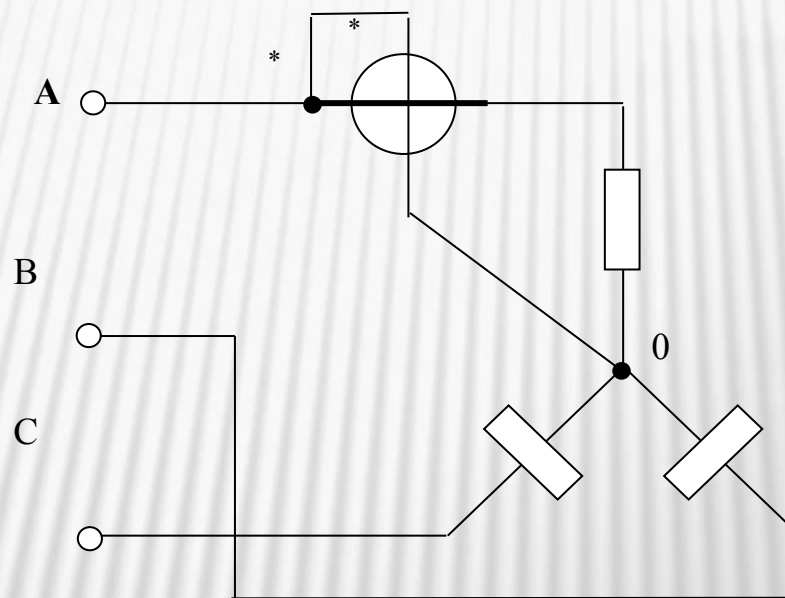
P_W — показание ваттметра;

$K_{U_{ин}}$ $K_{I_{ин}}$ — номинальные коэффициенты трансформации соответственно трансформаторов напряжения и тока.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ОДНОФАЗНЫХ ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

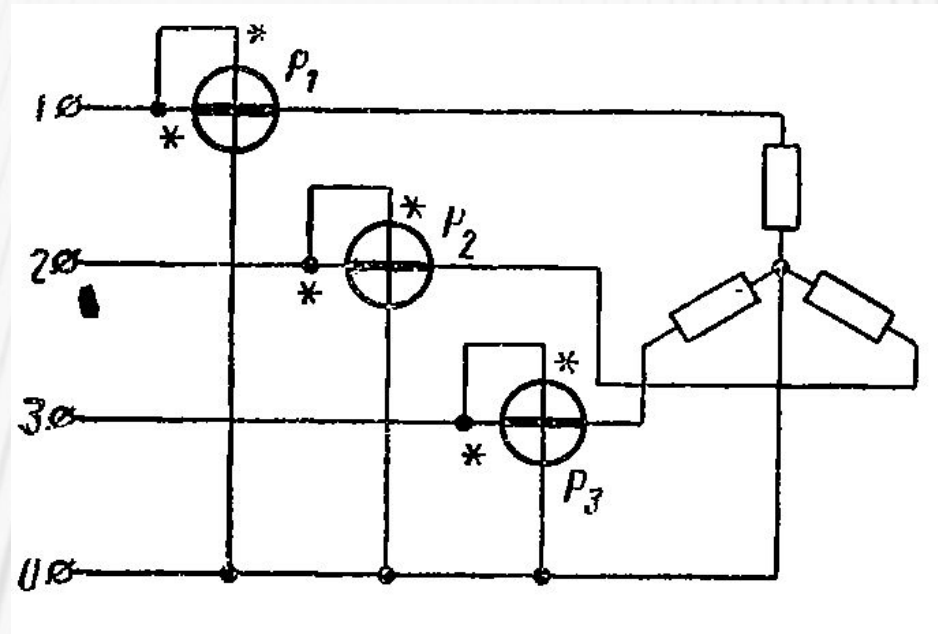


МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



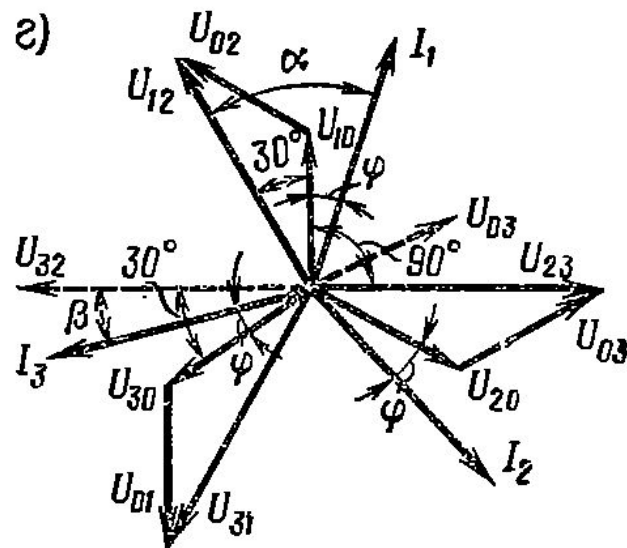
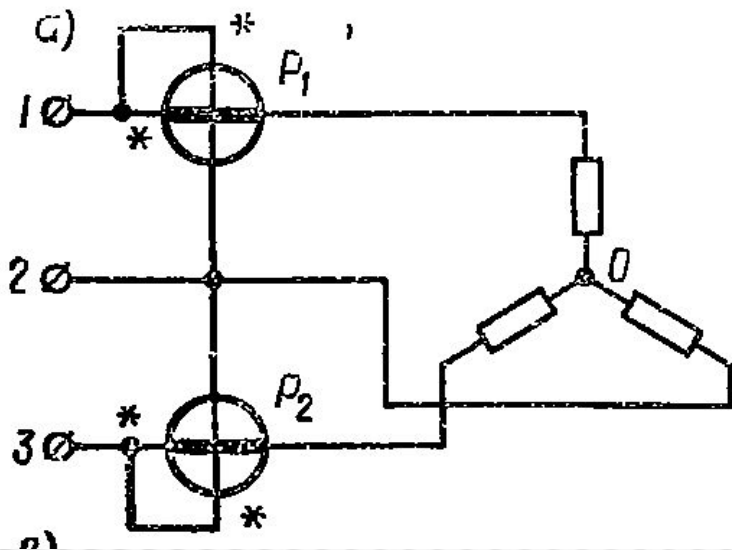
$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi;$$

Метод трех приборов



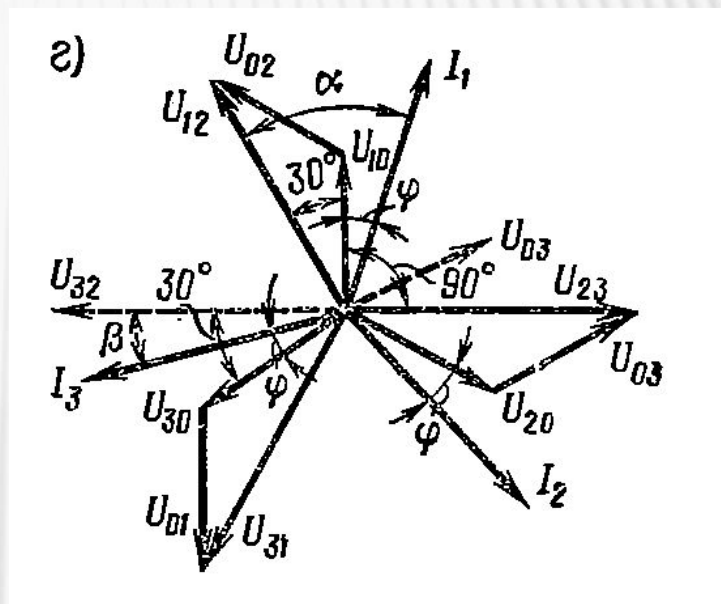
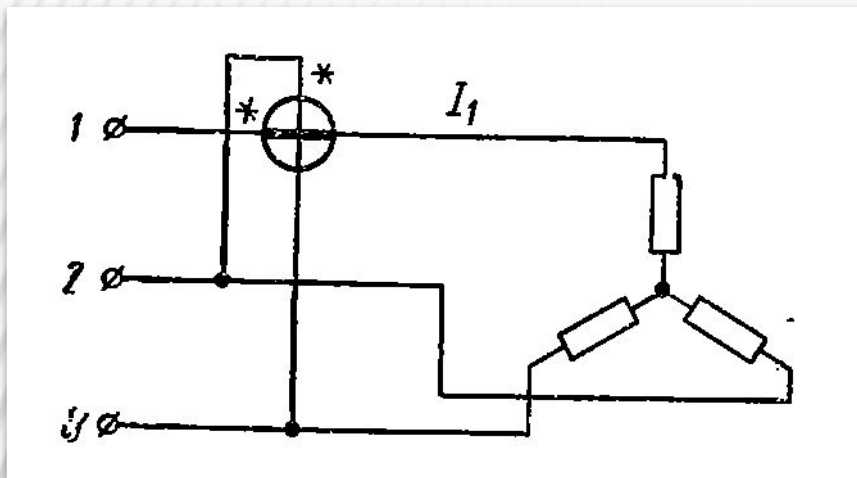
$$P = U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi_1 + U_{2\phi} I_{2\phi} \cos \varphi_2 + U_{3\phi} I_{3\phi} \cos \varphi_3.$$

Метод двух приборов



$$\left. \begin{aligned} P_1 &= I_1 U_{1,2} \cos(30^\circ + \varphi); \\ P_2 &= I_3 U_{3,2} \cos(30^\circ - \varphi). \end{aligned} \right\}$$

Методы и средства измерения реактивной мощности в трехфазных цепях переменного тока



$$P_{\text{вт}} = I_1 U_{2,3} \cos(90 - \varphi) = I_1 U_{2,3} \sin \varphi.$$

$$Q = \sqrt{3} P_{\text{вт}} = \sqrt{3} I_{\text{л}} U_{\text{л}} \sin \varphi,$$

I_1 и $U_{2,3}$ — линейные ток и напряжение.

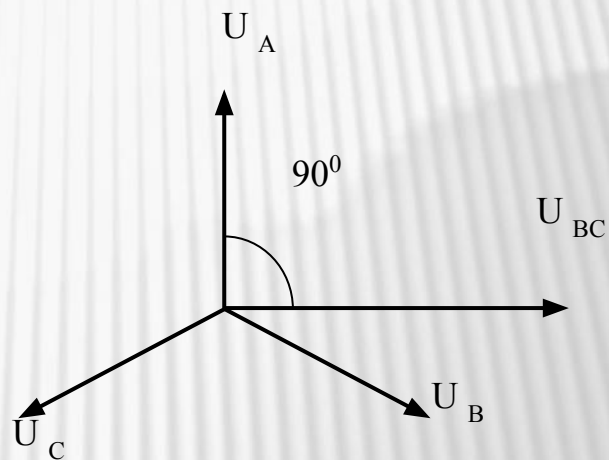
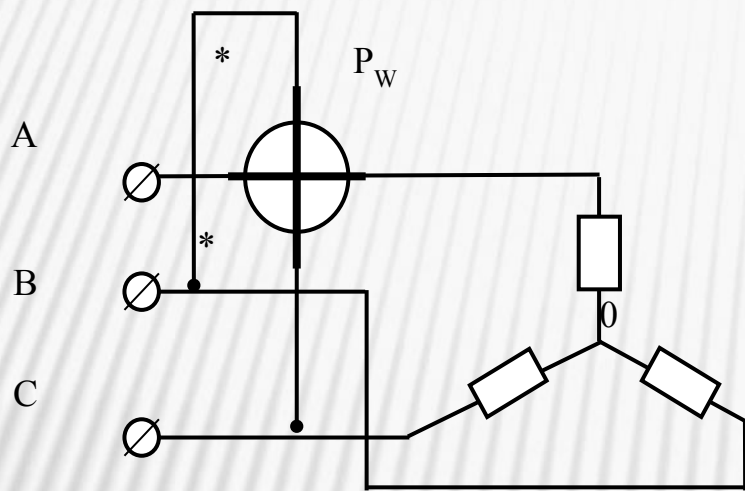
СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Баллистические гальванометры применяют для измерения малых количеств электричества, протекающих в течение коротких промежутков времени.

Кулонметры служат для измерения количества электричества в импульсах тока, протекающих за время от 0,05 до 2 секунд при амплитуде тока от 20 до 200мА. Особенностью работы кулонметра является необходимость постоянства амплитуды импульса измеряемого тока, т.е. применение его ограничивается измерением количества электричества прямоугольных импульсов.

Счетчики ампер-часов применяются для измерения количества электричества, протекающего в течение длительного времени. Их используют, например, для учета количества электричества, протекающего в цепи нагрузки аккумуляторных батарей, для учета количества электричества в электролизных цехах и т.п. Счетчики ампер-часов бывают магнитоэлектрические, электронные и электролитические.

Методы и средства измерения реактивной мощности в трехфазных цепях переменного тока



ВЫВОДЫ:

- 1. Мощность в цепях постоянного тока измеряется двумя методами: прямым (с помощью ваттметров электродинамической и ферродинамической системы) и косвенным (с помощью двух приборов: амперметра и вольтметра).**
- 2. Измерение активной мощности в однофазных цепях переменного тока осуществляется двумя методами: прямым (с помощью ваттметров электродинамической и ферродинамической системы) и косвенным (с помощью трех приборов: амперметра, вольтметра и фазометра).**
- 3. Измерение реактивной мощности в однофазных цепях переменного тока осуществляется только прямым методом с помощью варметра.**

ВЫВОДЫ:

4 Измерение активной мощности в трехфазных цепях переменного тока осуществляется тремя методами: методом одного прибора (в трехфазных симметричных цепях); методом трех приборов (в несимметричных трех- и четырехпроводных цепях); методом двух приборов (в симметричных и несимметричных трехпроводных цепях трехфазного тока (без нулевого провода) при любом соединении фаз нагрузки (звездой или треугольником)).

5 Измерение реактивной мощности в трехфазной цепи осуществляется с помощью обычных однофазных ваттметров, включаемых по специальным схемам с замененными напряжениями.

6 Электрическую энергию в цепях постоянного тока учитывают с помощью электродинамических счетчиков, представляющих собой приборы на основе электродинамического механизма без противодействующих устройств.

7 Для измерения количества электричества применяют баллистические гальванометры, кулонметры и счетчики ампер-часов.