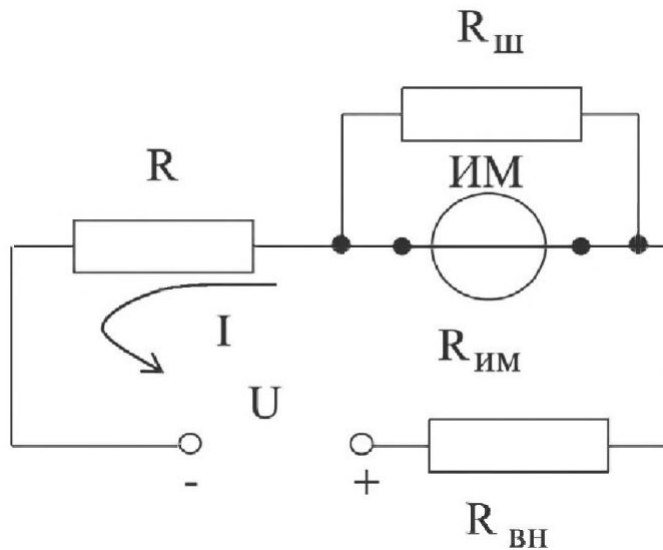


# Измерение постоянного тока

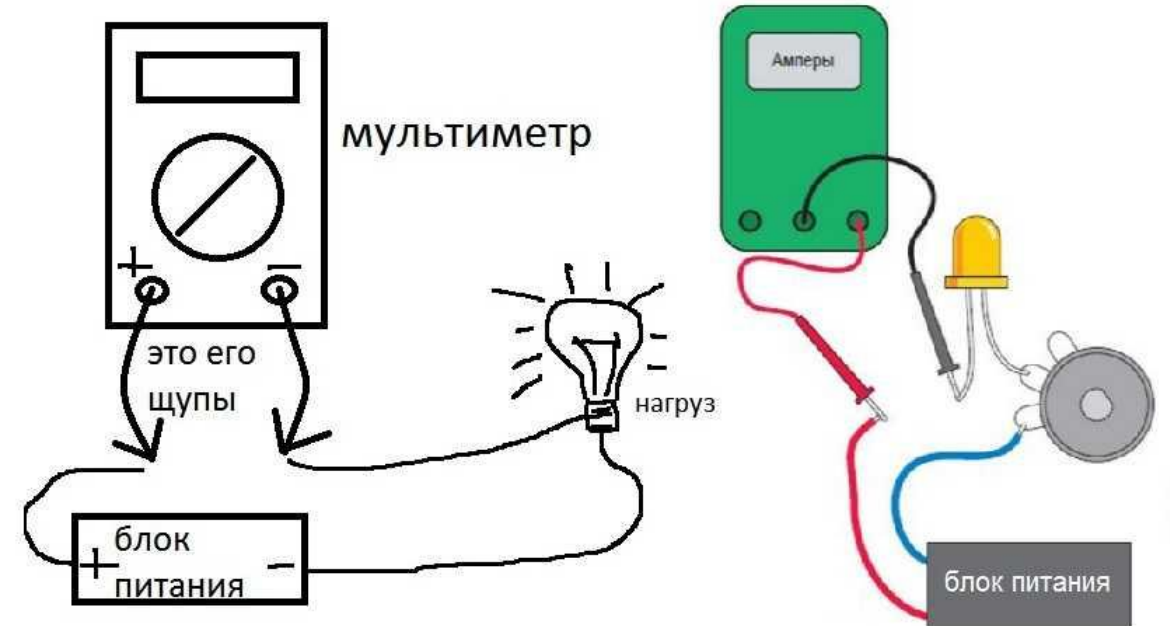
## Магнитоэлектрические амперметры постоянного тока

## Цифровые приборы для измерения постоянного тока

1. Класс точности – 0,05...2,5
2. Минимальный ток полного отклонения – от  $5 \times 10^{-7}$  А до  $10^{-6}$  А
3. Пределы измерения – от  $10^{-12}$  А до 50 А и более



$$R_{\text{ш}} = R_{\text{им}} \frac{I_{\text{им}}}{I_{\text{ш}} - I_{\text{им}}}$$



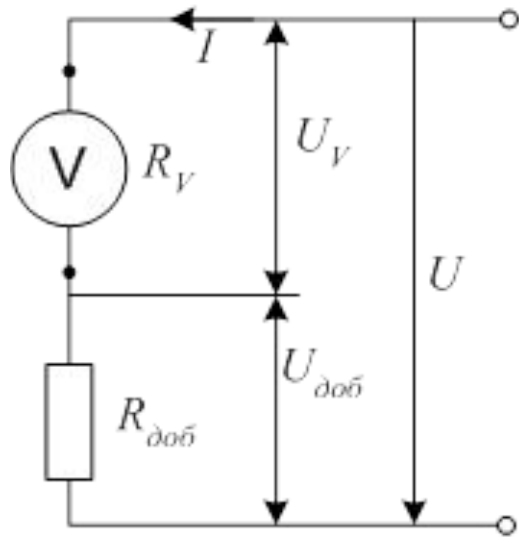
Сопротивление амперметров мало – включение их в электрическую цепь без нагрузки эквивалентно короткому замыканию!

$$I_x = \frac{U_x}{R_K}$$

# Измерение постоянного напряжения

Магнитоэлектрические  
вольтметры постоянного тока

1. Класс точности – 0,1 ... 2,5
2. Ток полного отклонения – от 1 до 5 мА
3. Пределы измерения – от 1 мВ до 500 кВ



$$R_{д} = \frac{U}{I_{им}} - R_V$$

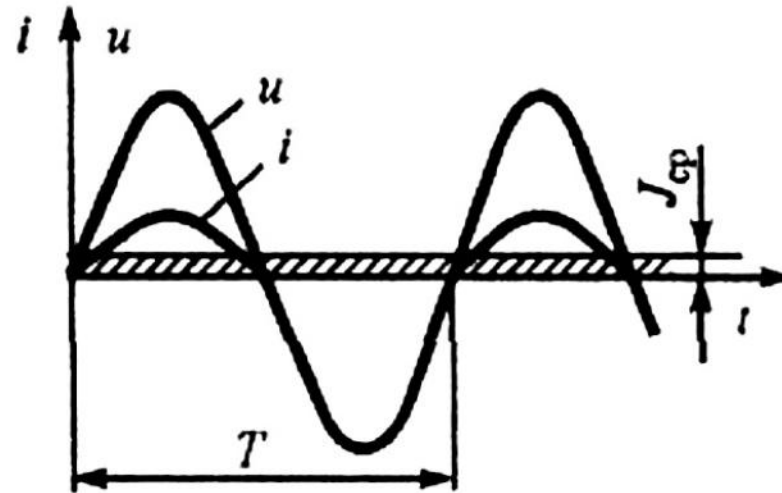
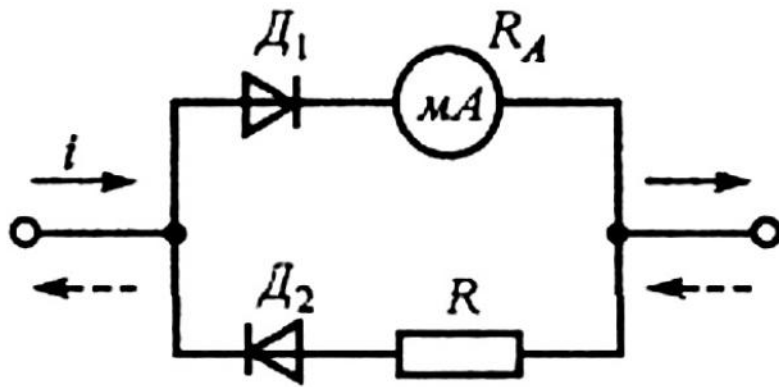
Цифровые вольтметры для  
измерения постоянного  
напряжения

1. С АЦП двухтактного интегрирования, погрешность – до  $\pm 0,005\%$ . Повышенная помехоустойчивость, но наименее быстродействующие из всех – типичное время преобразования – 1...1000 мс.
2. С АЦП последовательного приближения, погрешность – до  $\pm 0,001\%$ . Среднее быстродействие – типичное значение времени преобразования – 1...10 мкс.
3. С параллельным АЦП. Высокое быстродействие, достигающее  $\sim 10$  нс; большая сложность (количество компараторов в схеме равно числу уровней квантования, и равно  $2^n$ , где  $n$  – разрядность выходного кода, и, как следствие, невысокая точность (8-10 двоичных разрядов); высокая стоимость – из-за высокой стоимости составляющих элементов;

И другие...

# Измерение переменного тока

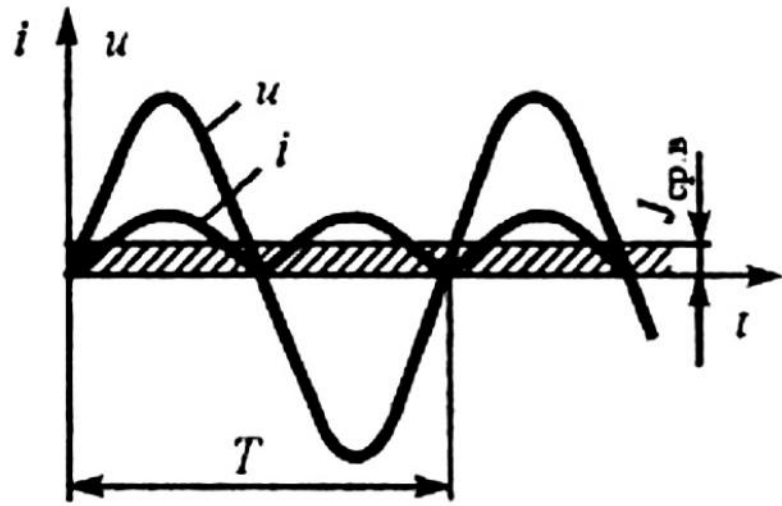
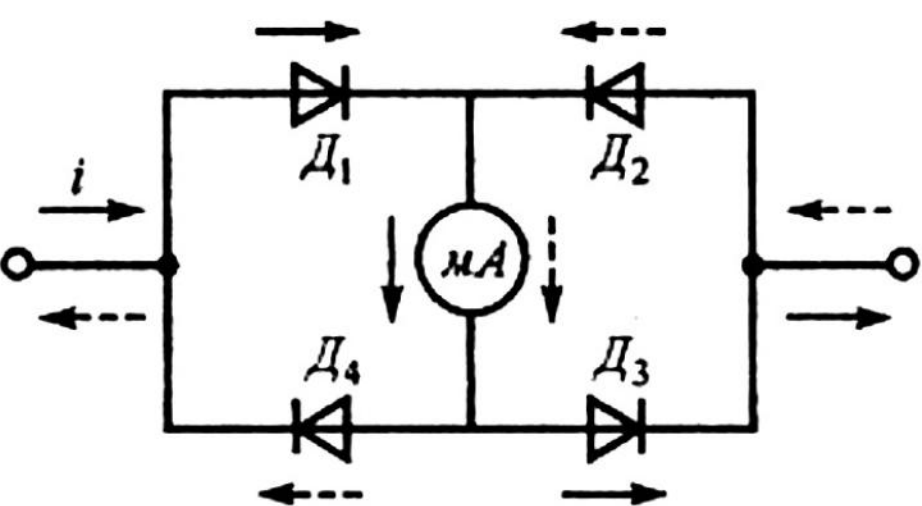
Магнитоэлектрические амперметры с однополупериодным выпрямителем



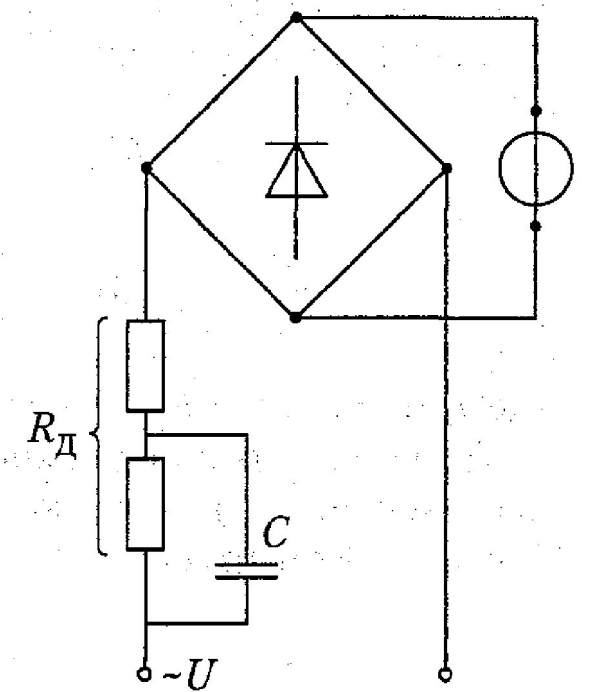
$$I_{cp} = \frac{I_{max}}{T} \int_0^{T/2} \sin(\omega t) dt = \frac{I_{max}}{\pi} = 0,318 I_{max}$$

# Магнитоэлектрические амперметры с двухполупериодным выпрямителем

# Магнитоэлектрические вольтметры с выпрямителем



$$I_{\text{ср}} = \frac{2I_{\text{max}}}{T} \int_0^{T/2} \sin(\omega t) dt = \frac{2I_{\text{max}}}{\pi} = 0,636I_{\text{max}}$$



# Магнитоэлектрические амперметры и вольтметры с выпрямителем

1. Класс точности – 1,5 и 2,5
2. Пределы измерения – от 2 мА до 600 А и от 0,3 до 600 В для частот до 100 кГц
3. Неравномерность шкалы в начальной части (0—15 %), что связано с нелинейностью реальных прямых вольт-амперных характеристик диодов
4. Подверженность влиянию температуры окружающей среды вследствие температурной зависимости вольт-амперных характеристик диодов
5. При одном и том же действующем значении, но при разной форме измеряемого тока угол поворота подвижной части будет разным

# Электромагнитные амперметры и вольтметры

1. Класс точности – 0,5
2. Пределы измерения – от 5 мА до 10 А и от 0,5 до 600 В для частот до 1500 Гц
3. Поворот подвижной части одинаков как при постоянном, так и при переменном токе, имеющем действующее значение, равное значению постоянного тока
4. Показания прибора не зависят от формы кривой измеряемого тока
5. Зависимость угла поворота подвижной части нелинейная
6. Чувствительны к внешним магнитным полям

# Электродинамические амперметры и вольтметры

1. Класс точности – 0,1 и 0,2
2. Пределы измерения – от 5 мА до 20 А и от 1,5 до 600 В для частот до 1500 Гц
3. При последовательном соединении катушек поворот подвижной части одинаков при постоянном, синусоидальном и несинусоидальном токе действующем значении
4. Зависимость угла поворота подвижной части нелинейная

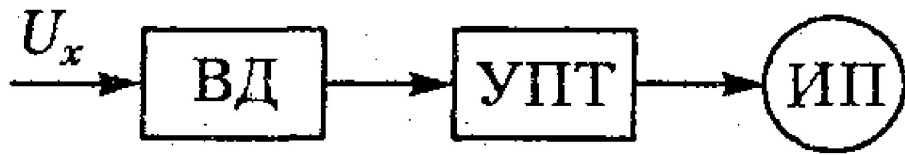
# Электростатические вольтметры

1. Класс точности – 0,5; 1 и 1,5
2. Пределы измерения – от 30 В до 75 кВ для частот до 30 МГц
3. Зависимость угла поворота подвижной части от напряжения нелинейная
4. Поворот подвижной части одинаков при постоянном и при переменном напряжении, имеющем действующее значение, равное значению постоянного напряжения
5. Показание прибора не зависит от формы кривой, измеряемого напряжения.



# Электронные вольтметры

Измерение постоянного  
напряжения

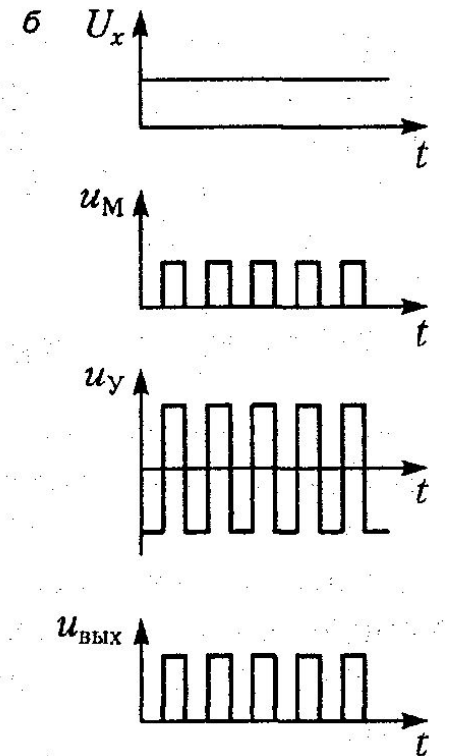
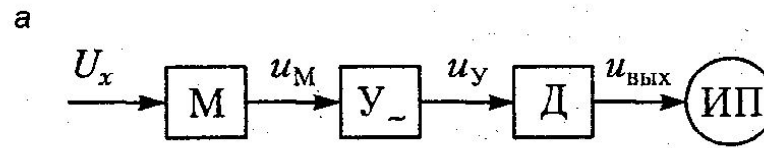


ВД — входной многопредельный делитель  
напряжения

УПТ — усилитель постоянного тока

ИП — магнитоэлектрический прибор

Высокочувствительный вольтметр  
постоянного напряжения

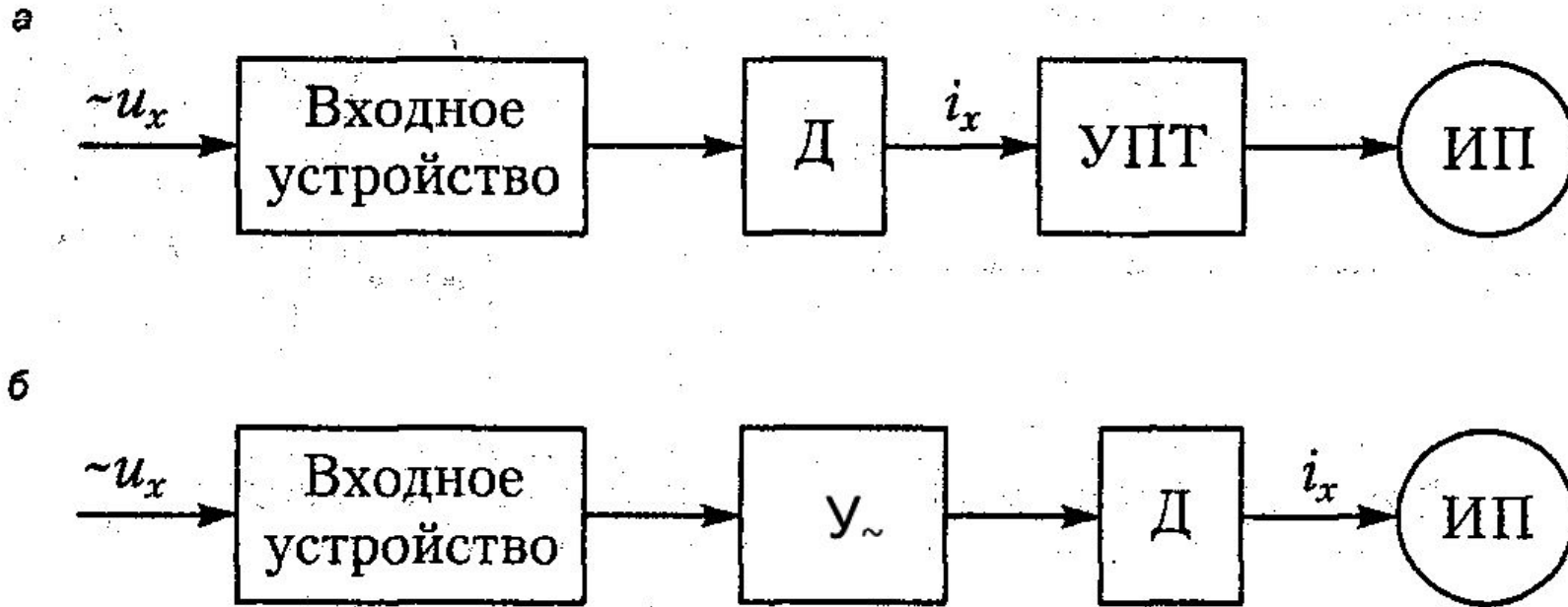


М — модулятор

У~ — усилитель переменного тока

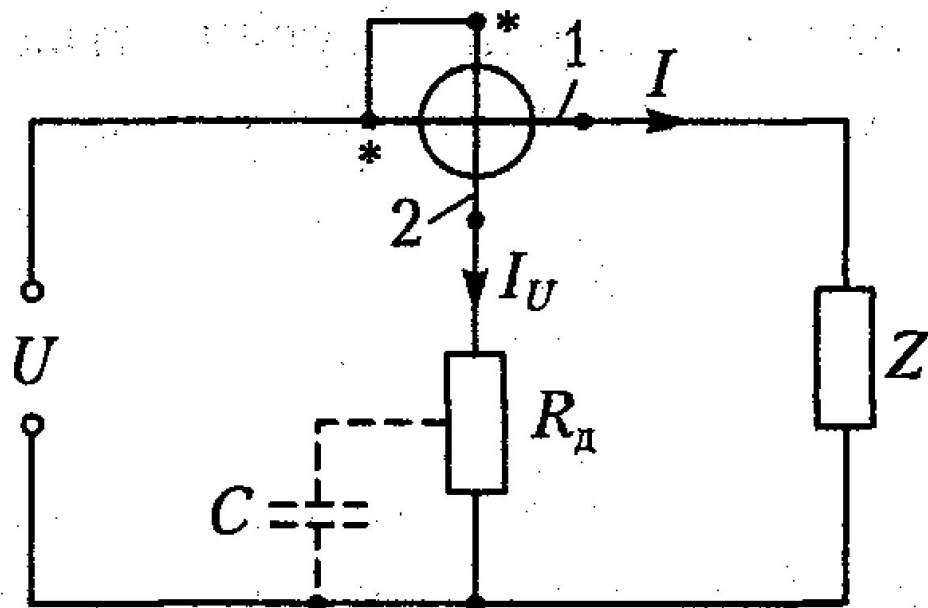
Д — амплитудный детектор

## Электронные вольтметры переменного



$У_{\sim}$  — усилитель переменного тока  
Д — амплитудный детектор

# Измерение активной мощности в однофазной ЦЕПИ



$$\alpha = \frac{IU_U}{W} \frac{dL_{12}}{d\alpha} \cos \varphi = \frac{IU}{W(R_U + R_D)} \frac{dL_{12}}{d\alpha} \cos \varphi = \frac{P}{W(R_U + R_D)} \frac{dL_{12}}{d\alpha}$$

$$\delta = \sqrt{k \left( \frac{P_H}{P_W} \right)^2 + \left( \frac{P_W - P_H}{P_H} \right)^2}$$

$P_H$  – мощность, потребляемая нагрузкой

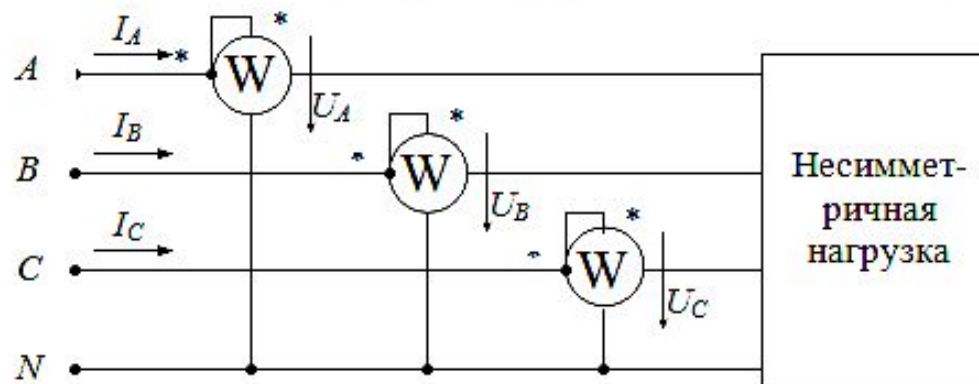
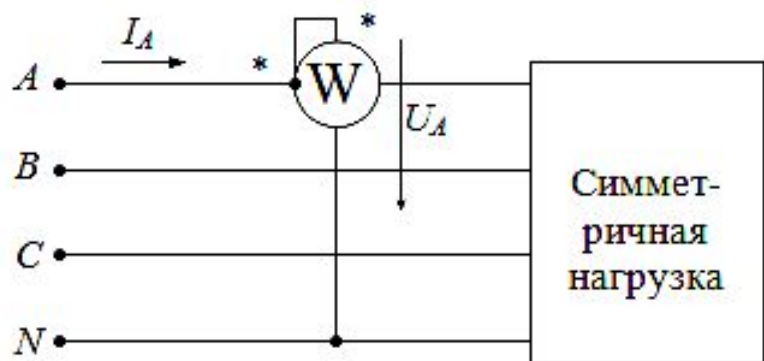
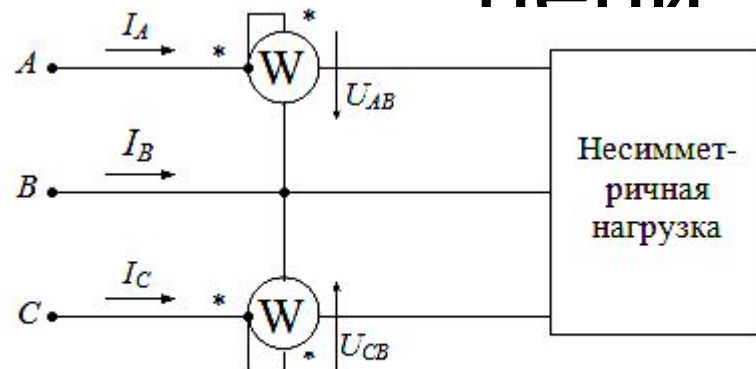
$P_W$  – значение мощности, измеренное ваттметром

$k$  – класс точности

1. Класс точности – 0,1; 0,2; 0,5
2. Пределы измерения – 5 и 10 А и от 30 до 600 В

# Измерение активной мощности в трехфазной

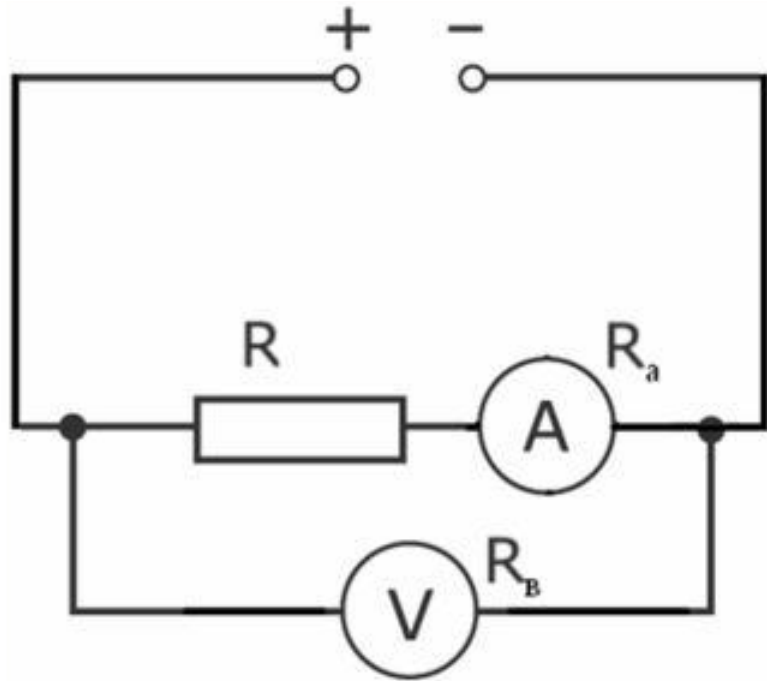
## СХЕМА



# Измерение сопротивления постоянному току

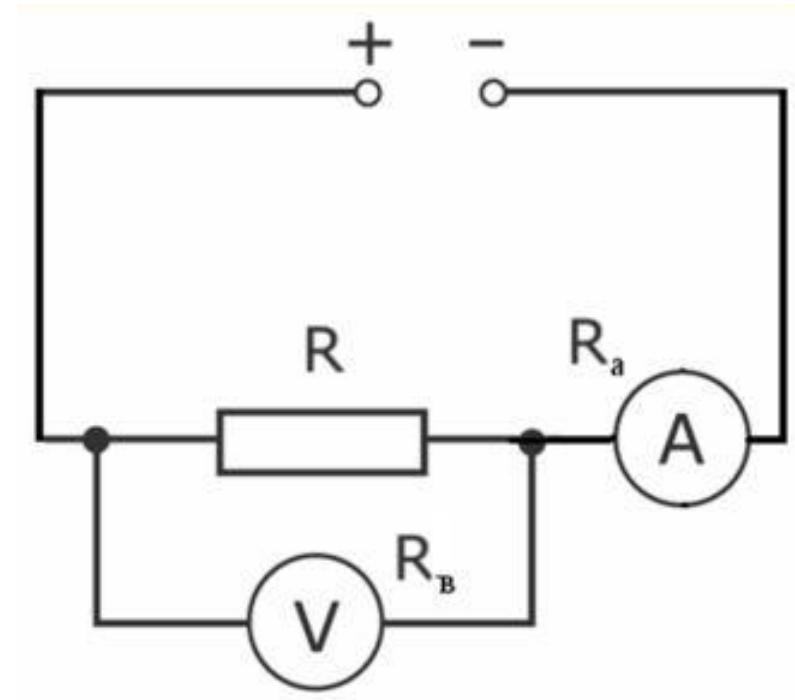
Метод амперметра и  
вольтметра

Большие  
сопротивления



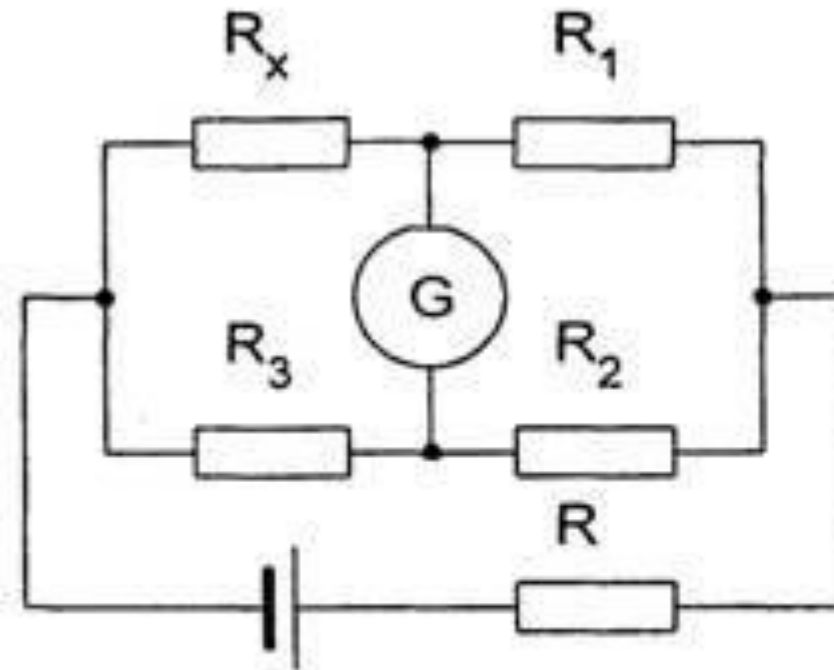
$$R = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$

Малые  
сопротивления



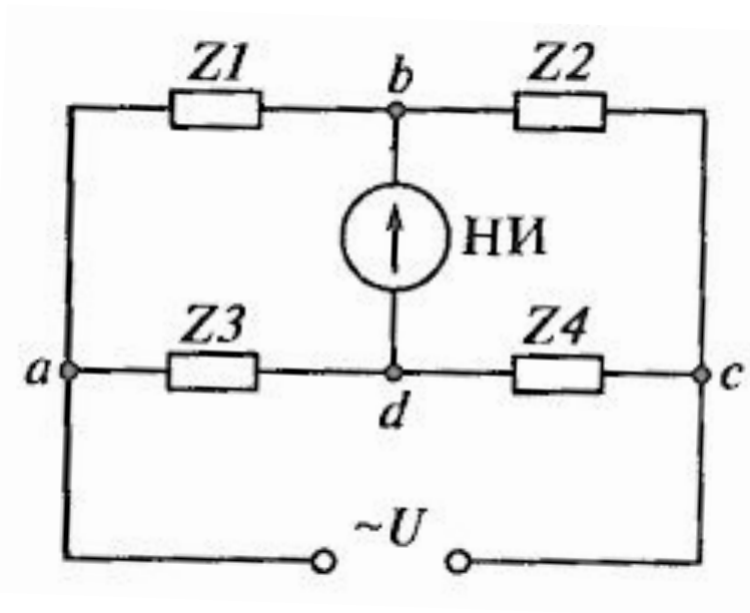
$$R = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_B}}$$

Метод сравнения (мостовой) для измерения сопротивления постоянному току



$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

# Метод сравнения (мостовой) для измерения сопротивления переменному току

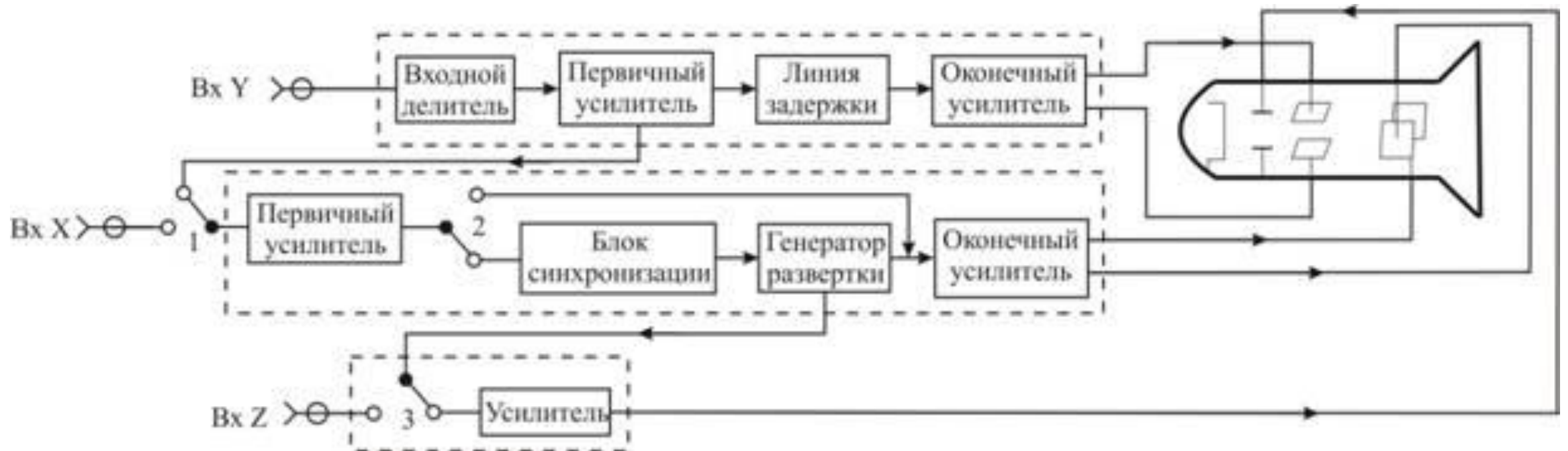


$$\begin{cases} Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \\ \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \end{cases}$$

$$Z_1 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_4}$$

# Исследование формы, частоты и фазы сигналов

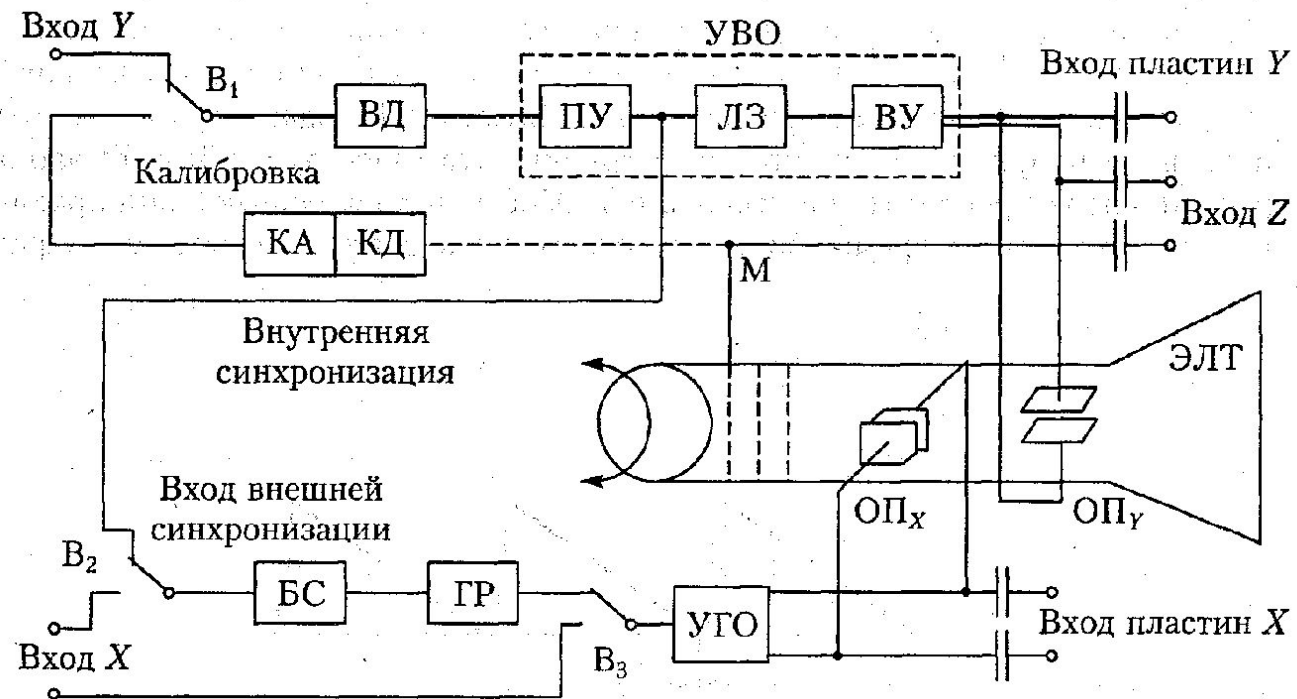
Осциллограф



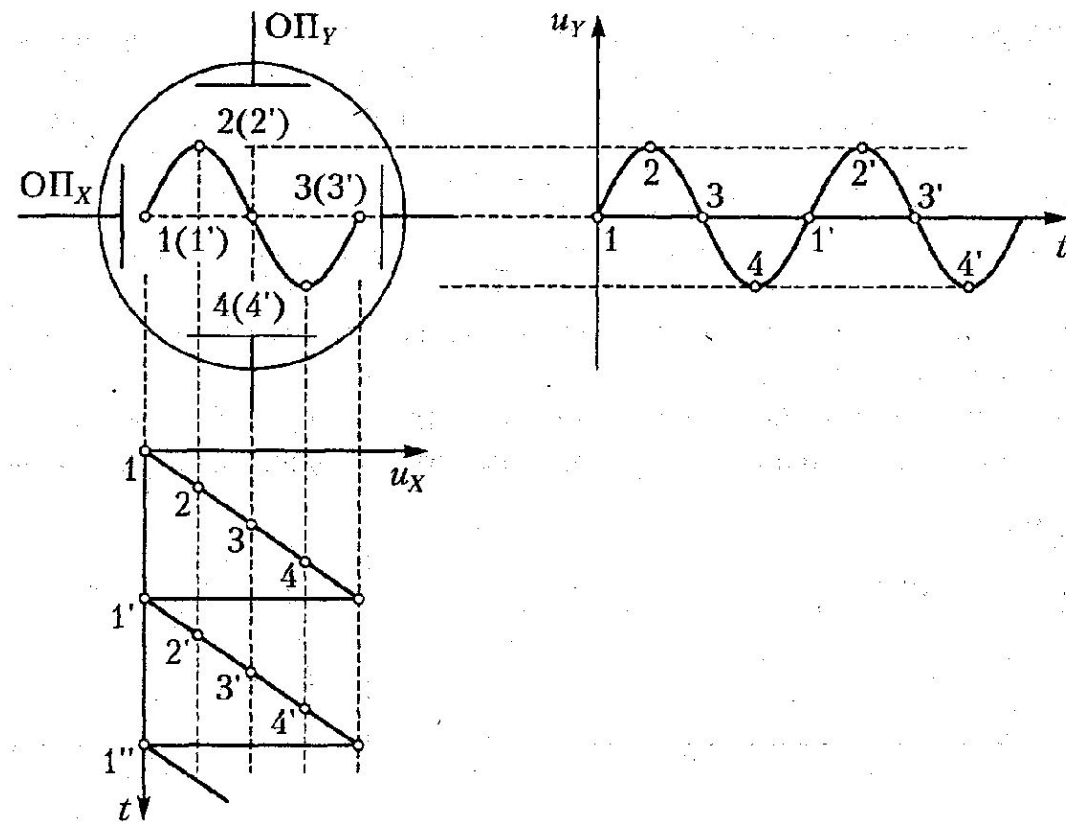
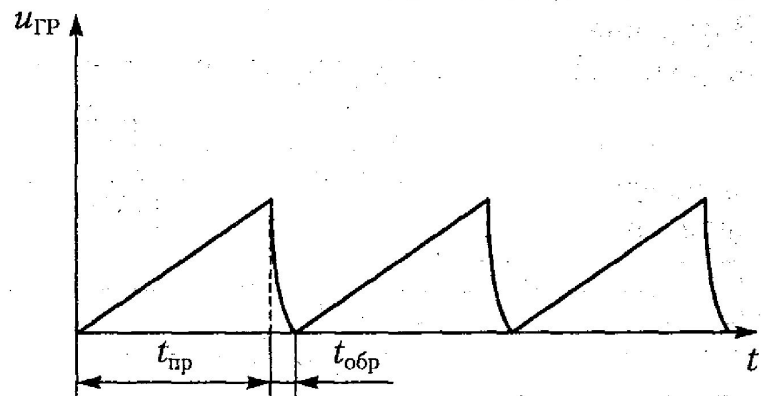


# Исследование формы, частоты и фазы сигналов

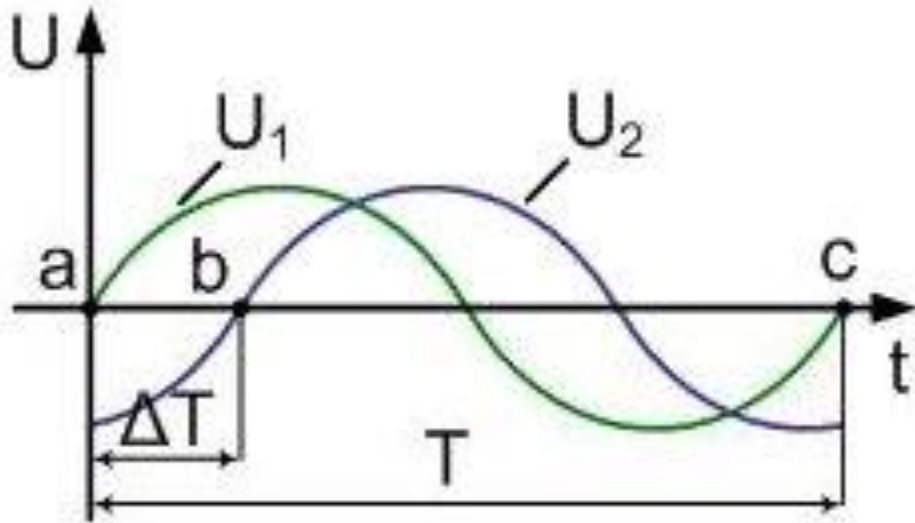
## Осциллогра



# Развертка переменного во времени сигнала

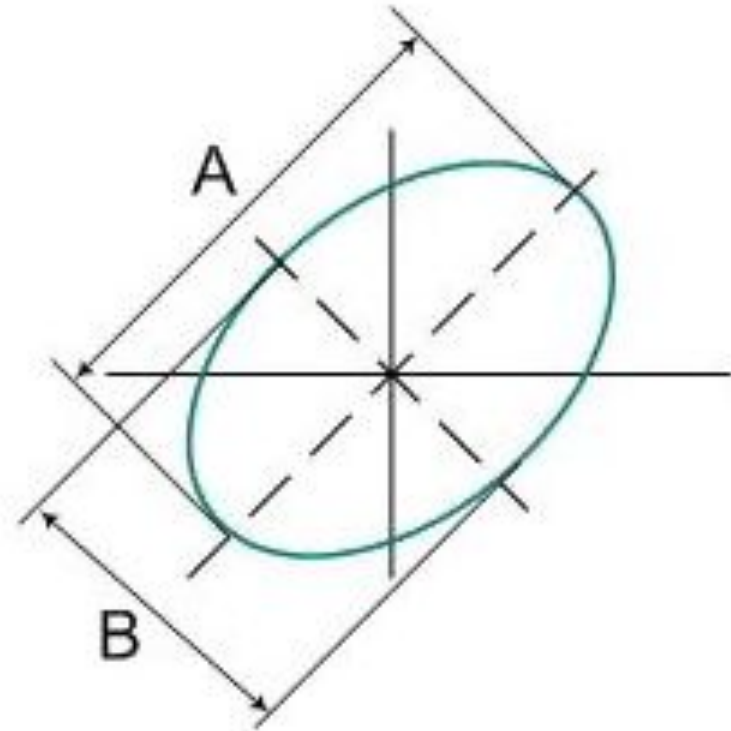


# Исследование формы, частоты и фазы сигналов



$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\varphi = 360^\circ \frac{\Delta T}{T} = 360^\circ \frac{ab}{ac}$$



$$\varphi = \text{arctg} \left( \frac{A}{B} \right)$$