

Переменный ток

Лекция подготовлена
Мамаевой Ириной Алексеевной

План лекции «Переменный ток»

- 1.1. Определения «переменный ток – это...; активное сопротивление – это величина ...; реактивное сопротивление – это величина ...»
- 1.2. Виды нагрузки в цепи переменного тока.
- 1.3. Особенности поведения элементов в электрической цепи с переменной ЭДС (в цепи переменного тока). Определения «емкостное сопротивление – это величина... ; индуктивное сопротивление – это величина ...»
- 1.4. Полное сопротивление цепи переменного тока при последовательном соединении RLC.
- 1.5. Закон Ома для полной цепи переменного тока.
- 1.6. Энергетические характеристики цепи переменного тока.
- 1.7. Действующие значения тока и напряжения.

НАГРУЗКА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

РЕАКТИВНАЯ

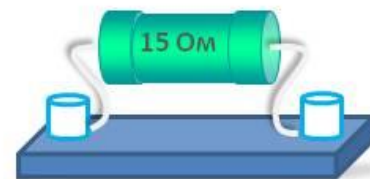
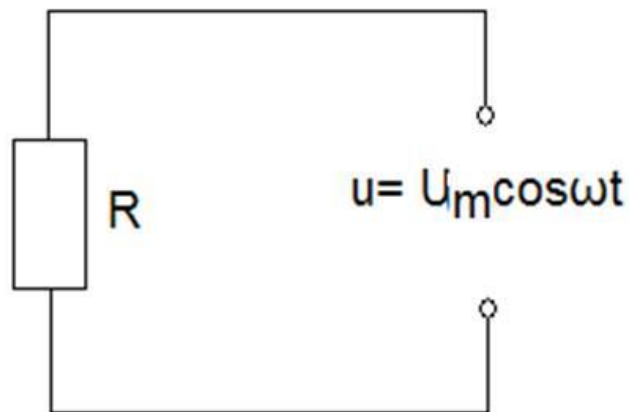
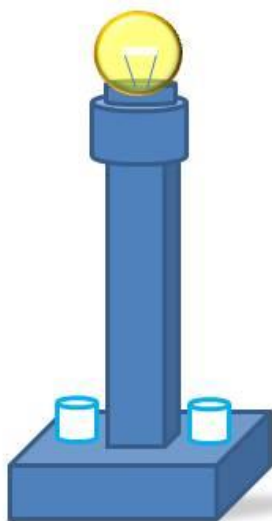
АКТИВНАЯ

Индуктивная

Ёмкостная

АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- Электрические устройства, преобразующие электрическую энергию во внутреннюю, называются активными сопротивлениями.



АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

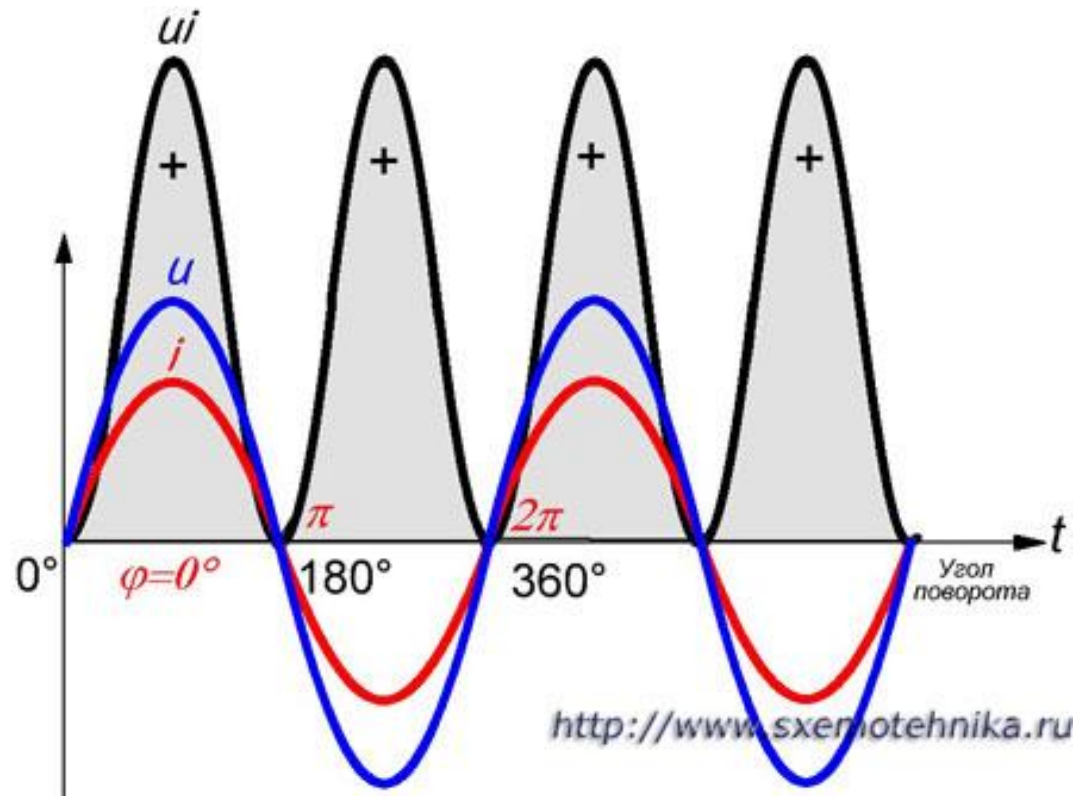
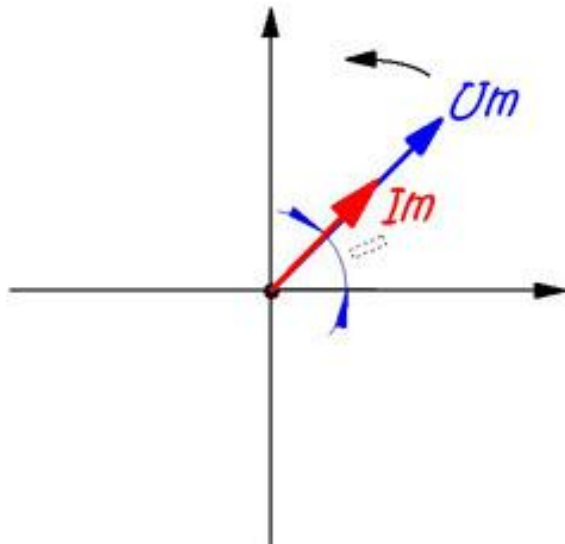
- МГНОВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ на зажимах цепи меняется по гармоническому закону:

$$u = U_m \cos \omega t$$

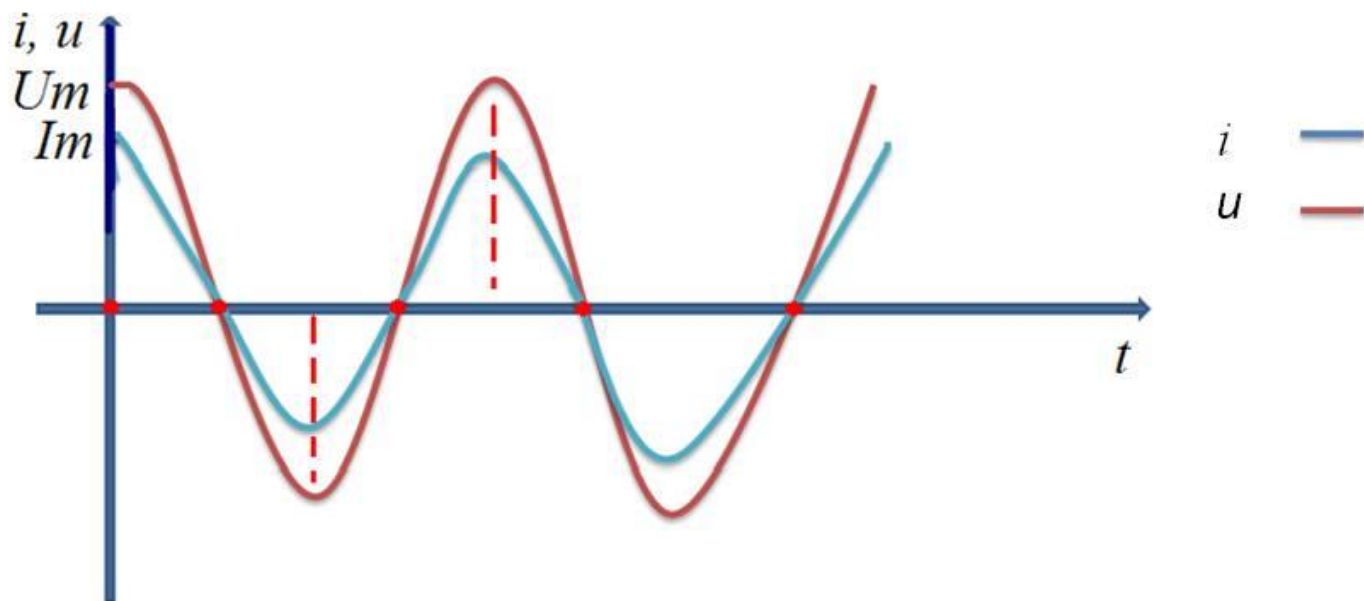
- МГНОВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cos \omega t}{R} = I_m \cos \omega t$$

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$



АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



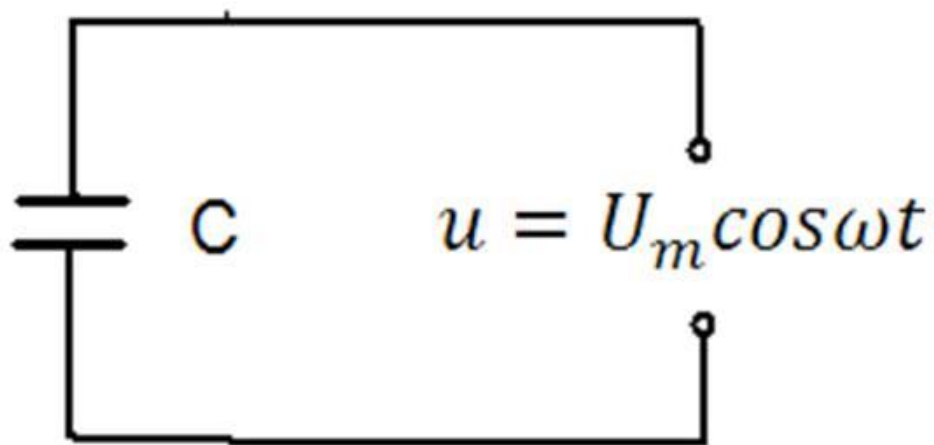
$$u = U_m \cos \omega t$$

$$i = I_m \cos \omega t$$

Векторная диаграмма для тока и напряжения: ток I_m и напряжение U_m на сопротивлении R изменяются в одинаковой фазе

ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- Емкостное сопротивление - величина, характеризующая сопротивление, оказываемое переменному току электрической емкостью



ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

$$U = \frac{q}{C} \Rightarrow q = UC \quad u = U_m \cos \omega t$$

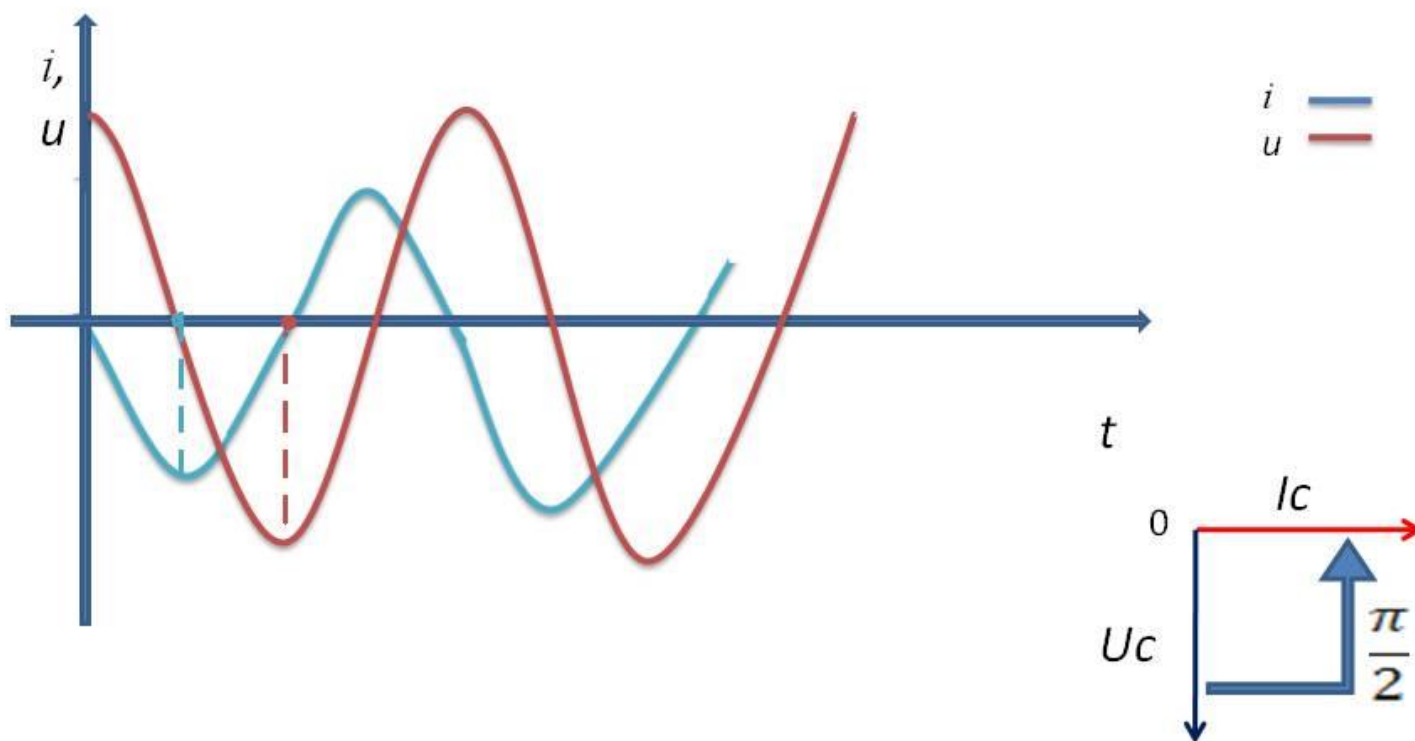
$$i = q' = (U_m C \cos \omega t)' = -U_m C \omega \sin \omega t$$

$$I_m = U_m C \omega$$

$$X_c = \frac{U_m}{U_m C \omega}$$

$$X_c = \frac{1}{C \omega}$$

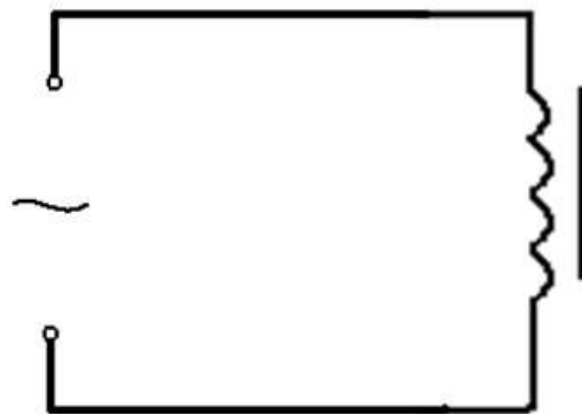
ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



Векторная диаграмма для тока и напряжения: ток I_C , проходящий через конденсатор C опережает напряжение на конденсаторе U_C на $\pi/2$.

ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Индуктивное сопротивление- величина, характеризующее сопротивление, оказываемое переменному току индуктивностью цепи



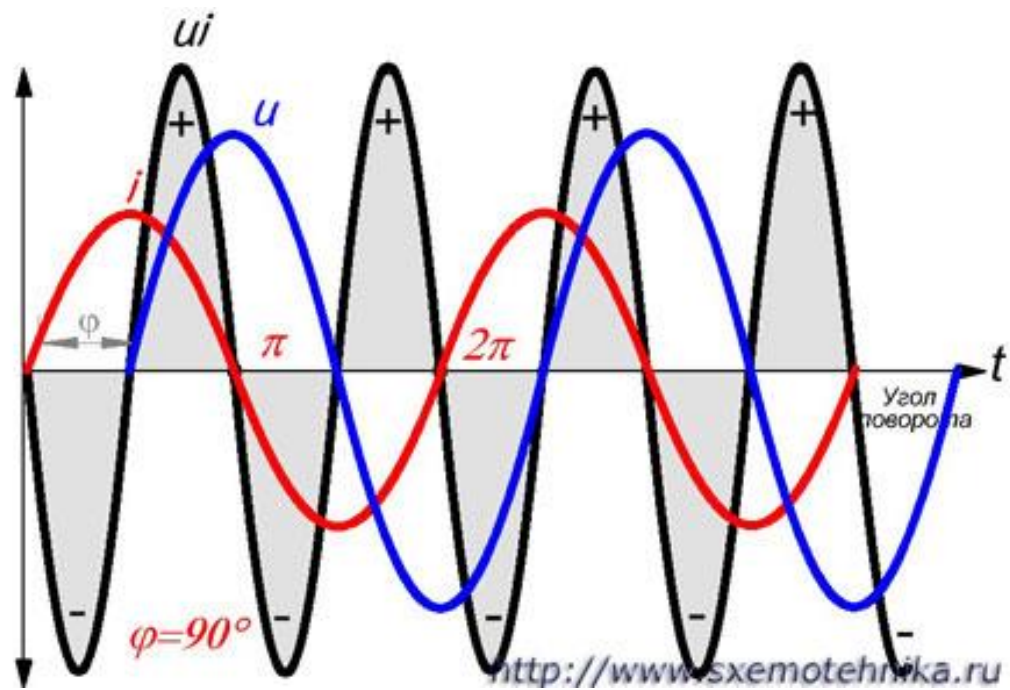
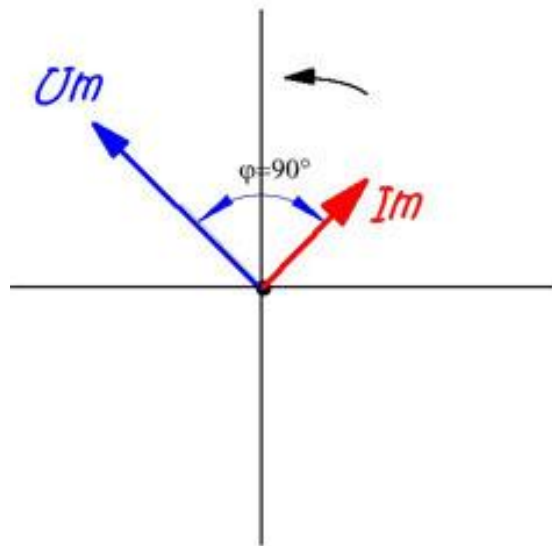
ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

$$i = I_m \sin \omega t = I_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$u = U_m \cos \omega t \quad U_m = L \omega I_m$$

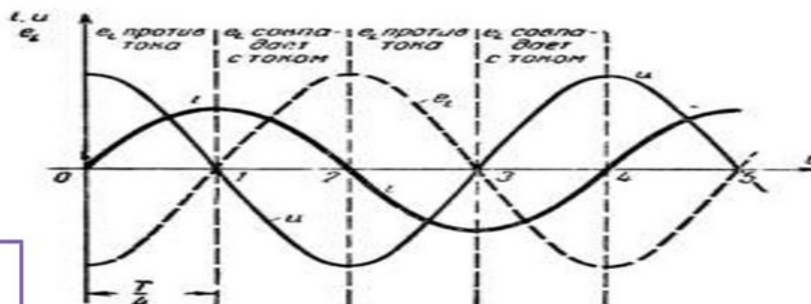
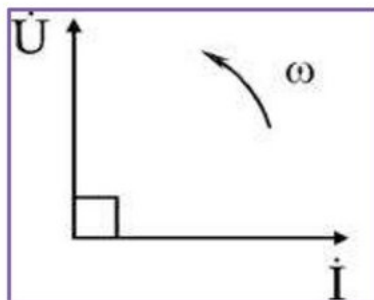
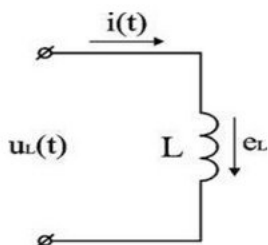
$$X_L = \frac{L \omega I_m}{I_m}$$

$$X_L = L \omega$$



ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

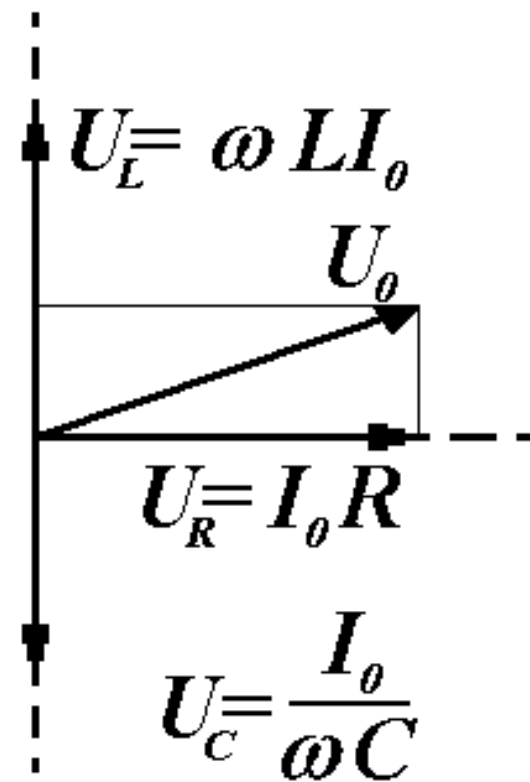
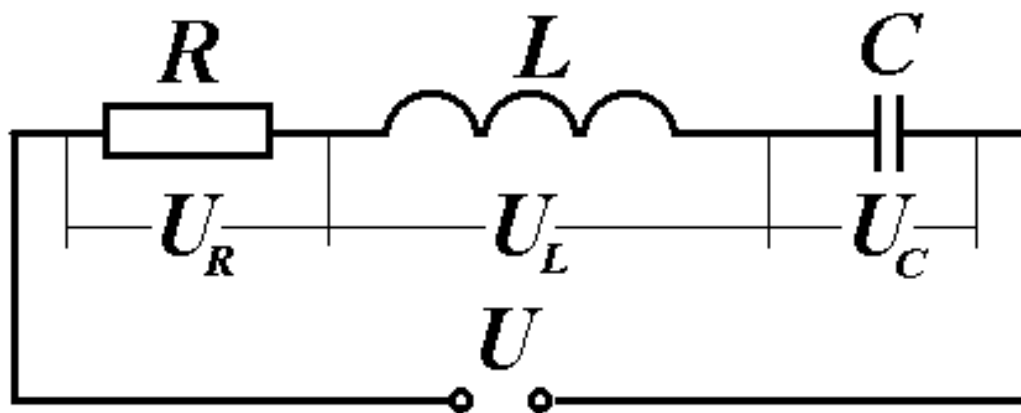
ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



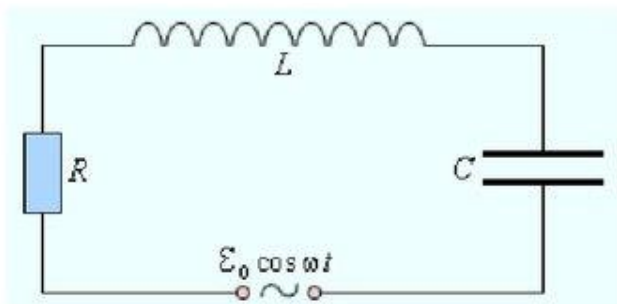
Векторная диаграмма для тока и напряжения: ток I , проходящий через катушку индуктивности L , отстает от напряжения на катушке U на $\pi/2$.

При включении катушки индуктивности в цепь переменного тока в цепи появляется сдвиг фаз между током и напряжением, причем ток отстает по фазе от напряжения на четверть периода

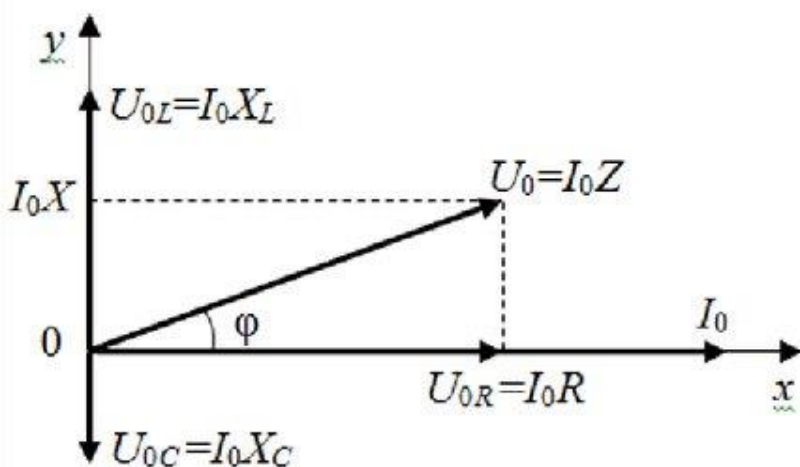
Последовательное соединение RLC-элементов в цепи переменного тока и векторная диаграмма напряжений



Метод векторных диаграмм



$$\vec{U}_0 = \vec{U}_{0R} + \vec{U}_{0L} + \vec{U}_{0C}$$

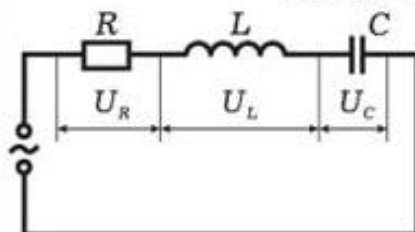


Векторная диаграмма сложения напряжений при последовательном соединении элементов L , C и R

1) Вектор \vec{U}_{0R} направлен вдоль оси Ox так как напряжение на активном сопротивлении колеблется в одной фазе с током.

2) напряжение на индуктивности опережает ток по фазе на $\pi/2$, вектор \vec{U}_{0L} повернут относительно оси Ox на угол $\pi/2$ против часовой стрелки, т.е. направлен вдоль положительного направления оси Oy .

3) напряжение на ёмкости отстаёт от тока по фазе на $\pi/2$, вектор \vec{U}_{0C} повернут относительно оси Ox на угол $\pi/2$ по часовой стрелке, т.е. направлен вдоль отрицательного направления оси Oy .

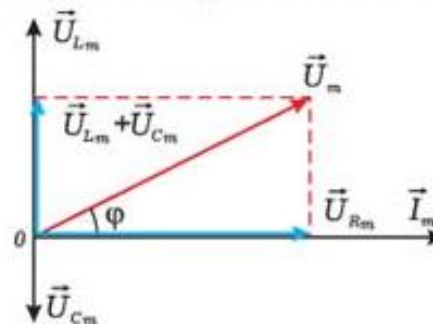
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ
ИЗ R, L И C- ЭЛЕМЕНТОВ

$$i = I_m \cos \omega t$$

$$u = U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \quad Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ



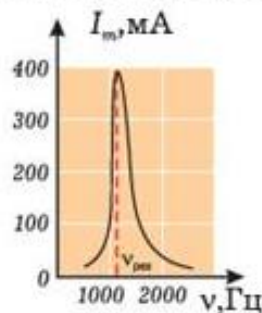
$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + (U_{Lm} - U_{Cm})^2}$$

$$U_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

РЕЗОНАНС В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ



$$U_L = -U_C, \quad I_m \rightarrow \max$$

$$X_L = X_C, \quad \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

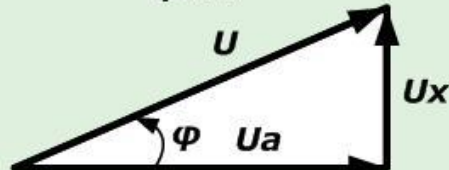
Активная и реактивная составляющие мощности, используемые в электронном счетчике

Треугольник сопротивлений
цепи



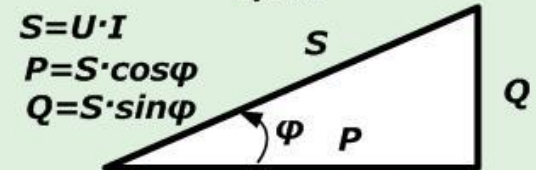
Z - полное сопротивление
 X - реактивное сопротивление
 R - активное сопротивление

Треугольник напряжений
цепи



U - общее падение напряжения
 Ux - реактивная составляющая
 Ua - активная составляющая

Треугольник мощностей
цепи

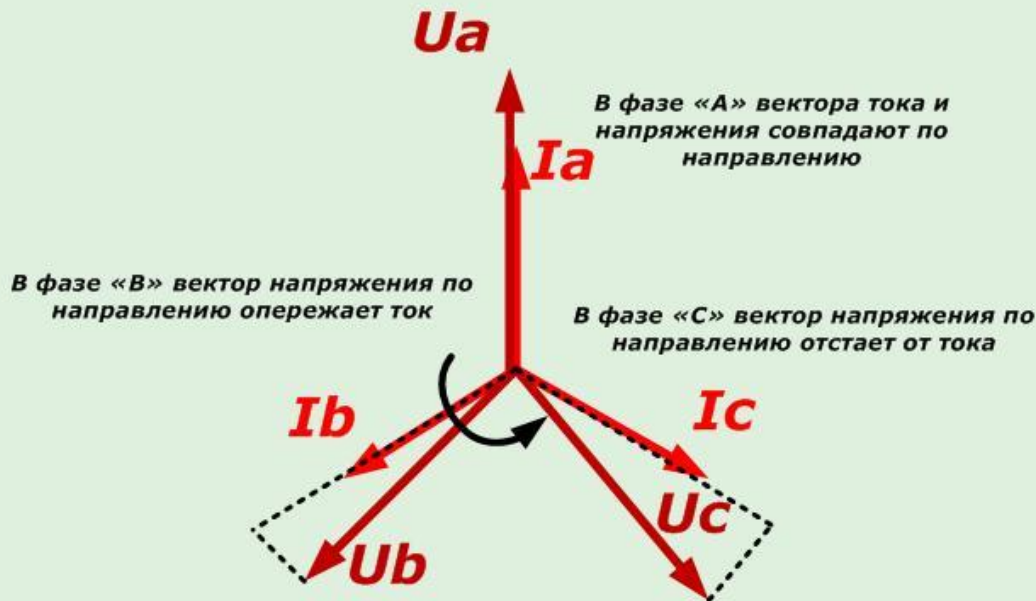


$$S = U \cdot I$$

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

S - полная мощность
 Q - реактивная составляющая
 мощности
 P - активная составляющая
 мощности



В фазе «В» вектор напряжения по
направлению опережает ток

В фазе «А» вектора тока и
напряжения совпадают по
направлению

В фазе «С» вектор напряжения по
направлению отстает от тока

В фазе «А» действует чисто
активная нагрузка

В фазе «В» действует активно-
индуктивная нагрузка

В фазе «С» действует активно-
емкостная нагрузка

**Векторная диаграмма токов и
напряжений в трехфазной схеме**

<http://elektrik.info>

Мощность тока в цепи переменного тока с активной и реактивной нагрузкой

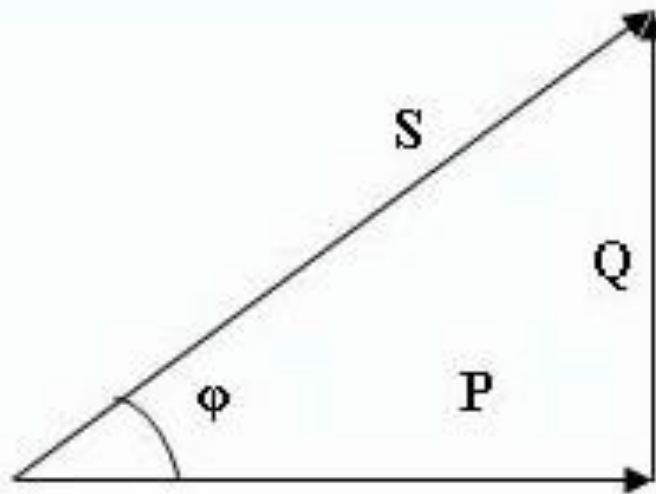
$$\cos\varphi = P/S.$$

P – активная мощность;

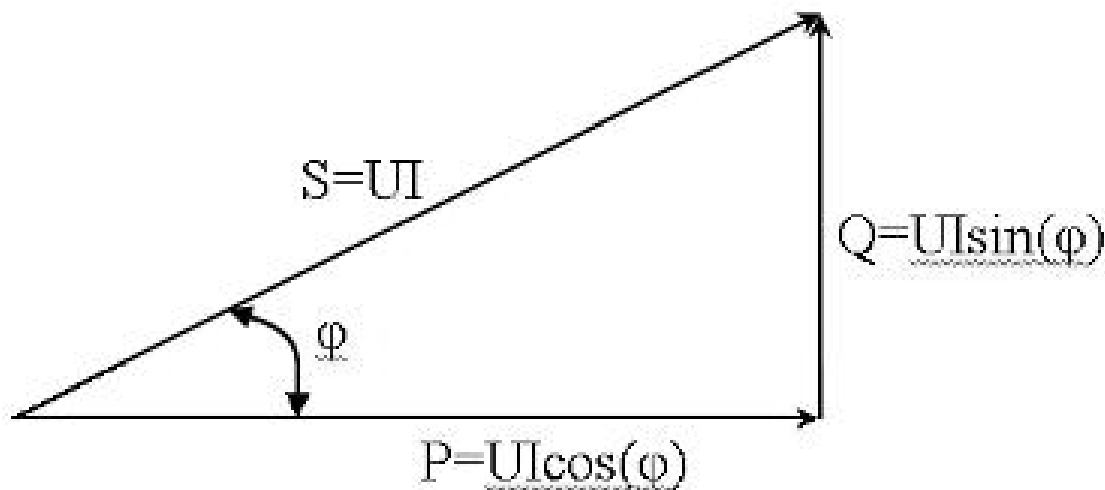
S – полная мощность;

Q – реактивная мощность.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



**Формулы
для расчета полной,
активной и реактивной
мощностей в цепи
переменного тока**



Мощность тока в цепи переменного тока с активной и реактивной нагрузкой = МОЩНОСТЬ переменного тока

1.9. Мощность переменного тока

Для цепей переменного тока различают активную, полную и реактивную мощности.

Активная мощность представляет собой действительную мощность переменного тока, аналогичную мощности, развиваемой постоянным током. Она производит полезную работу; может быть преобразована с помощью электродвигателей в механическую мощность, механическую энергию; измеряется в ваттах (Вт) и определяется по формуле

$$P = IU \cos \varphi. \quad (1.23)$$

Полной мощностью называют максимально возможную величину активной мощности, развиваемую переменным током при заданных значениях напряжения и силы тока и при наиболее благоприятных условиях, а именно, когда $\cos \varphi = 1$. Полная мощность обозначается латинской буквой S и измеряется в вольт-амперах ($B \cdot A$). Из определения полной мощности следует выражение

$$S = UI. \quad (1.24)$$

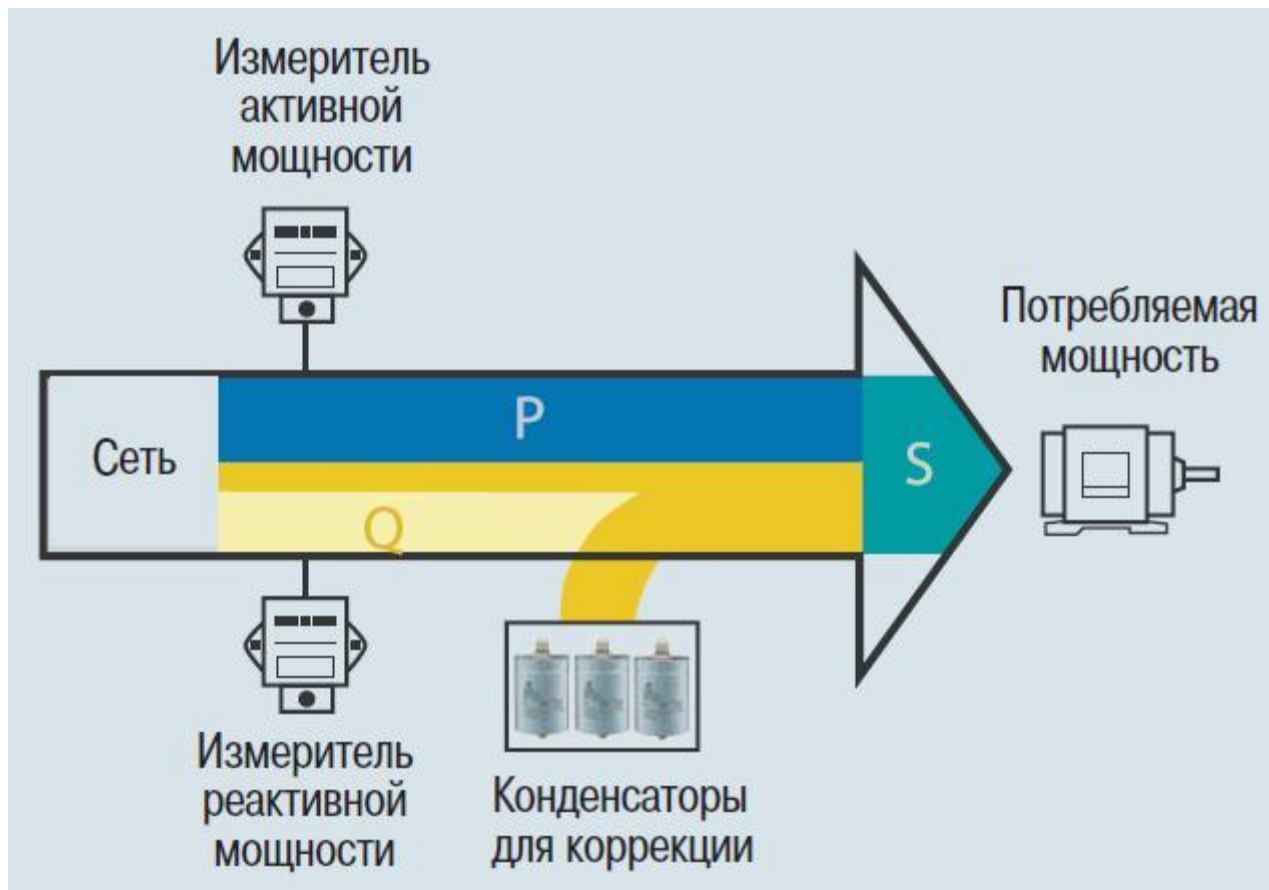
Сравнивая между собой формулы (1.23) и (1.24), находим соотношение между активной и полной мощностями:

$$P = S \cos \varphi, \quad (1.25)$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}. \quad (1.26)$$

Полной мощностью ($kB \cdot A$) принято измерять мощность генераторов переменного тока, машин, производящих электроэнергию, и трансформаторов, аппаратов, предназначенных для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения. Полная мощность этих машин определяется произведением номинальных (нормальных) величин их напряжения и силы тока (т.е. величин этих параметров, на которые рассчитаны машины). А активная их мощность зависит от коэффициента мощности, при котором они работают ($P = S \cos \varphi$). В свою очередь этот коэффициент мощности зависит от соотношения величин активного и реактивного сопротивления, включенных в цепь, иными словами, от характера электроприемников, питаемых данным генератором или трансформатором.

Реактивная мощность. Для рассмотрения реактивной мощности необходимо иметь представление об активной и реактивной составляющих переменного тока. Сравнивая между собой формулы для определения мощности переменного и постоянного тока, можно видеть, что на месте полной величины силы тока I в формуле мощности стоит выражение $I \cos \varphi$, где $\cos \varphi$ — величина, меньше единицы (и только в отдельных случаях равная ей). Отсюда следу-



Единица **измерений** активной мощности записывается, как P (Вт), реактивная, как Q (Вар)





Величины

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

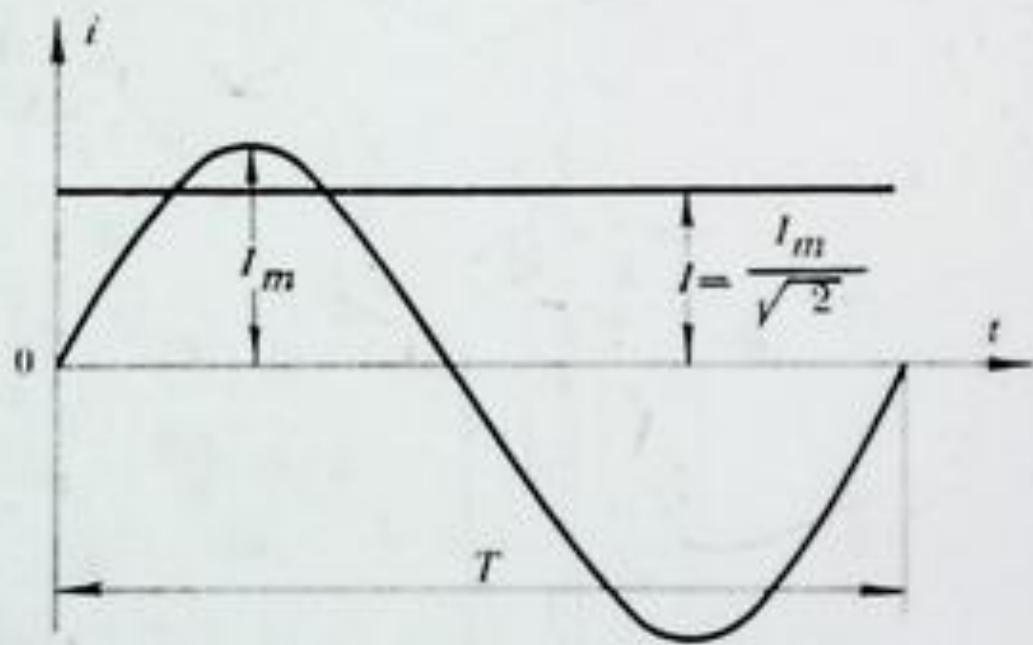
называются действующими (или эффективными) значениями тока и напряжения.

Действующее значение тока и напряжения

Действующее значение переменного тока равно значению такого эквивалентного постоянного тока, который, проходя через то же сопротивление, что и переменный ток, выделяет в нем за период то же количество тепла.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m$$



Действующее значение
синусоидального переменного тока

Основные понятия переменного тока

$$I_{\text{д}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

- Действующее значение силы тока
- Действующее значение напряжения

$$U_{\text{д}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

- Можно рассчитать амплитудное значение напряжения: $U_m = U_{\text{д}} \sqrt{2}$

$U_m = 220 \text{ В} \sqrt{2} \approx 310 \text{ В}$ Значит провода должны быть рассчитаны на 310 В.

Вольтметры и
амперметры, включаемые
в цепь переменного тока
показывают именно
действующие значения!

Спасибо работу!