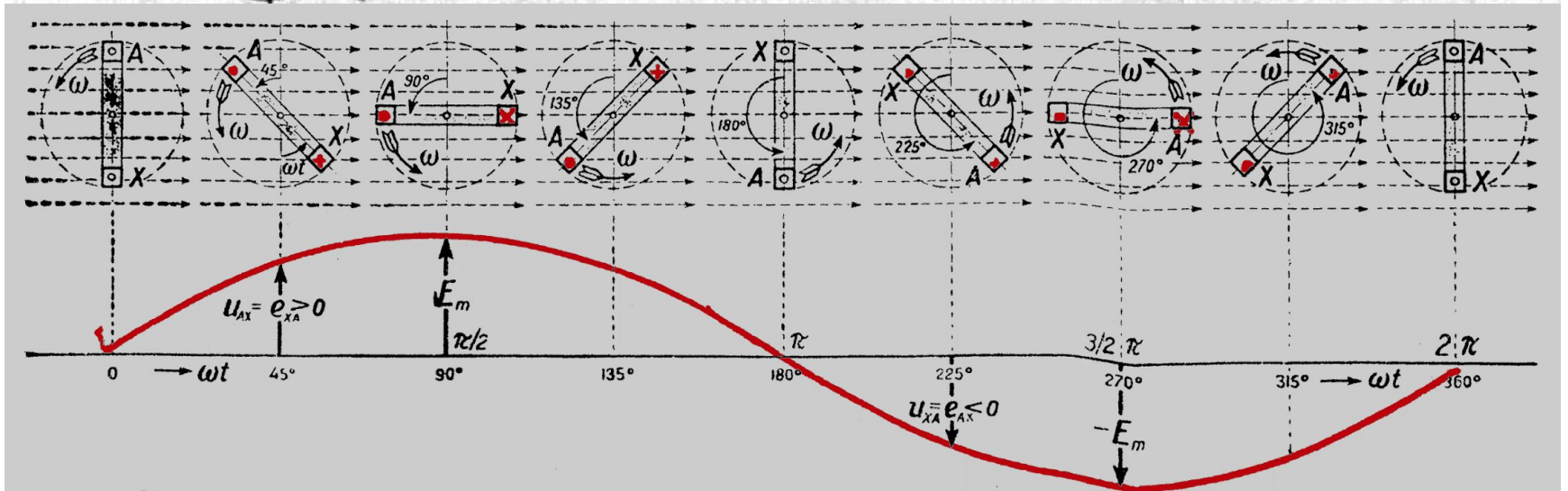
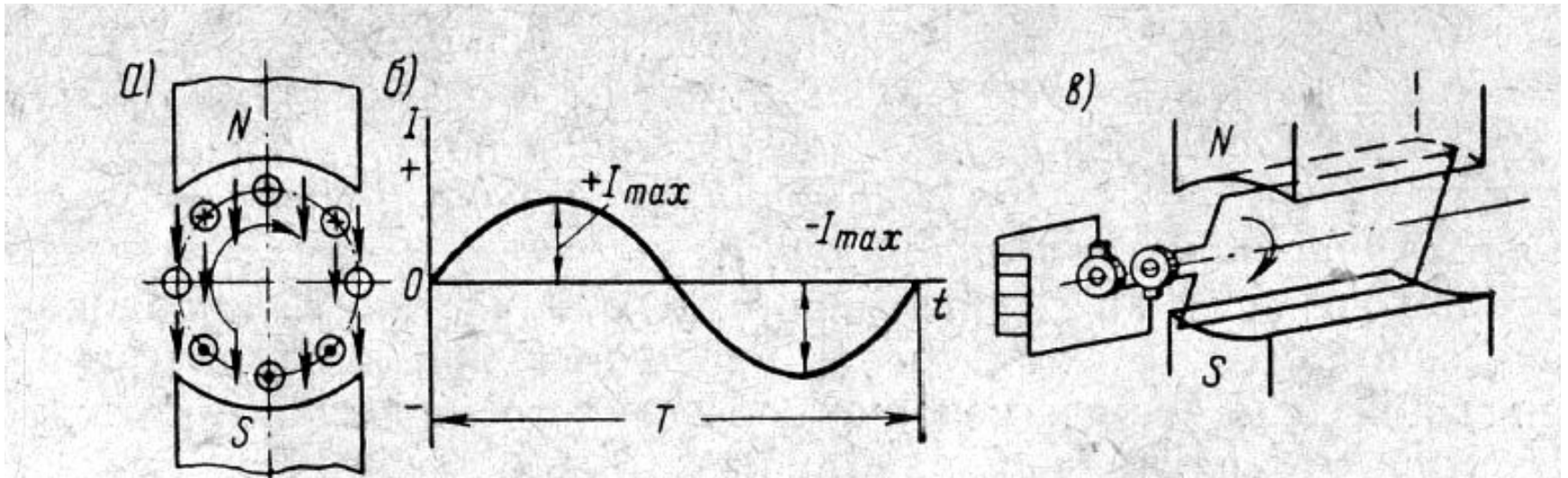


# **Электрические цепи переменного тока**

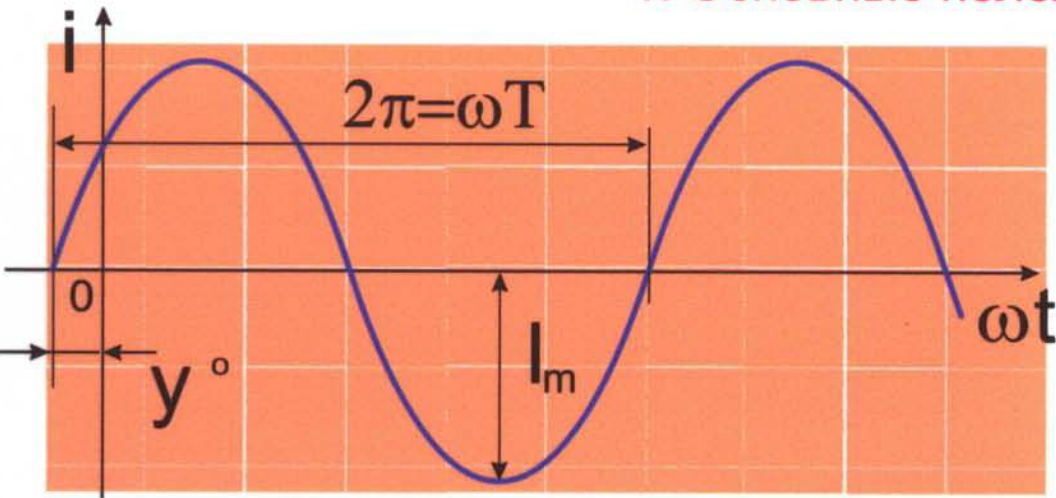
# Получение переменного тока



Синусоидальная кривая изменения э.д.с., индуцируемой в обмотке, равномерно вращающейся в однородном магнитном поле

# Синусоидальный ток

## 1. Основные положения

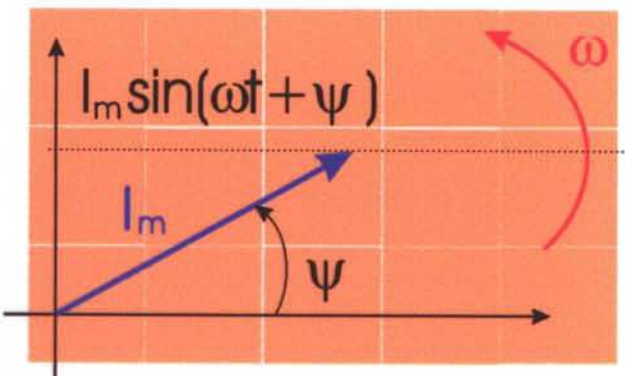


$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

- $I_m$  - амплитудное значение тока
- $T, c$  - период синусоиды
- $1/T = f, Гц$  - циклическая частота
- $\omega = 2\pi f, 1/c$  - круговая частота
- $\psi, Град(рад)$  - начальная фаза

Действующее значение тока - это величина постоянного тока, эквивалентного данному переменному по механическому и тепловому воздействию.

## 2. Представление синусоиды вращающимся вектором

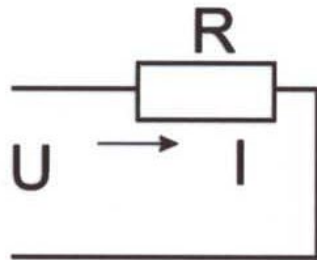


Проекция вращающегося вектора на неподвижную ось изменяется во времени по синусоидальному закону. Каждой синусоиде можно поставить в соответствие вращающийся вектор. Обычно векторные диаграммы строятся для действующих значений.

Положительное направление вращения векторов принято против часовой стрелки !

# Однофазные цепи синусоидального тока

## 6. Активное сопротивление в цепи синусоидального тока

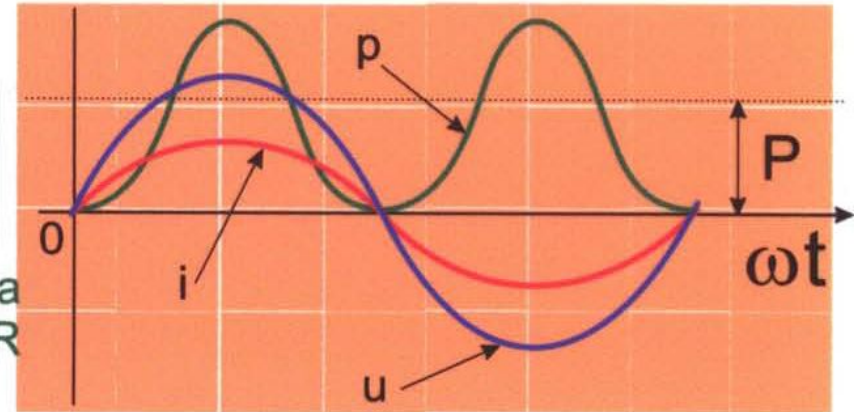
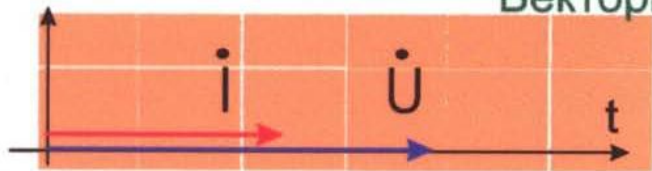


### Закон Ома

$$u = U_m \sin \omega t \quad \frac{u}{i} = \frac{U}{I} = R$$

$$i = I_m \sin \omega t$$

Векторная диаграмма участка с R



Волновая диаграмма участка с R

На участке с активным сопротивлением ток и напряжение совпадают по фазе !

## 7. Мощность участка с активным сопротивлением

$$P = UI \quad \text{- Формула расчета мощности}$$

Мгновенное значение мощности:

$$p = ui = U_m I_m \sin^2 \omega t = UI (1 - \cos 2\omega t)$$

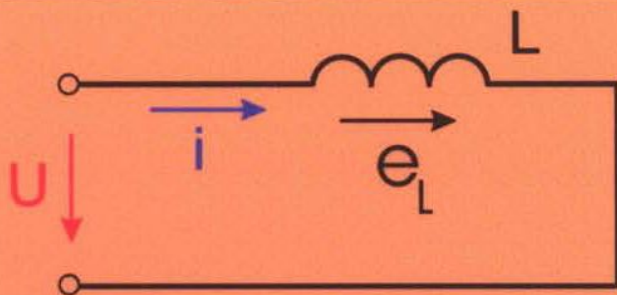
Среднее значение мощности:

$$P = \frac{1}{2p} \int_0^{2p} p \, d\omega t = \frac{UI}{2p} \int_0^{2p} (1 - \cos 2\omega t) \, d\omega t = UI$$

В электрических схемах активным сопротивлением моделируют необратимое преобразование в электротехнических устройствах электрической энергии источника в механическую, тепловую, энергию излучения и химических реакций.

## Однофазные цепи синусоидального тока

## 8. Индуктивность в цепи синусоидального тока



Индуктивное реактивное сопротивление

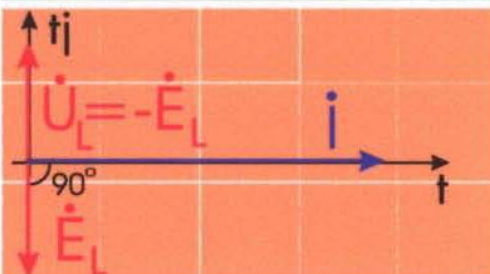
$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L$$

Закон Ома

$$U_L = I_L \cdot X_L$$

$$i = I_m \sin(\omega t); \quad u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

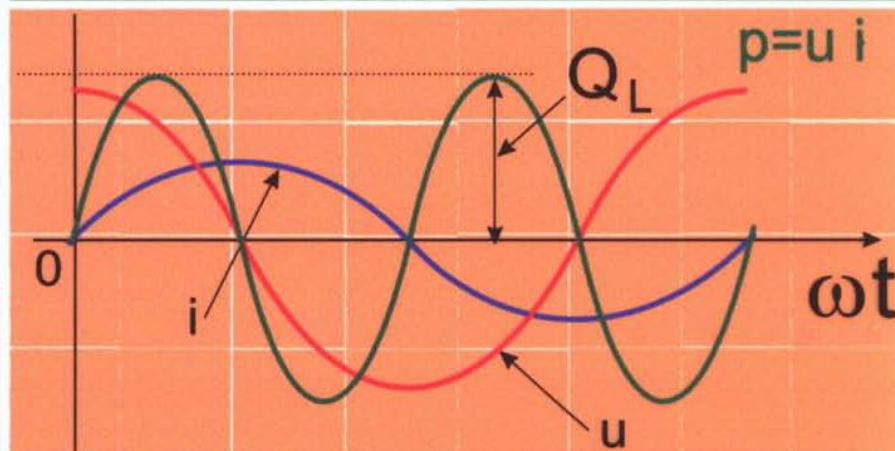
Векторная диаграмма



ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

Волновые диаграммы


 На участке с индуктивностью ток отстает по фазе от напряжения на  $90^\circ$ 

Индуктивная реактивная мощность

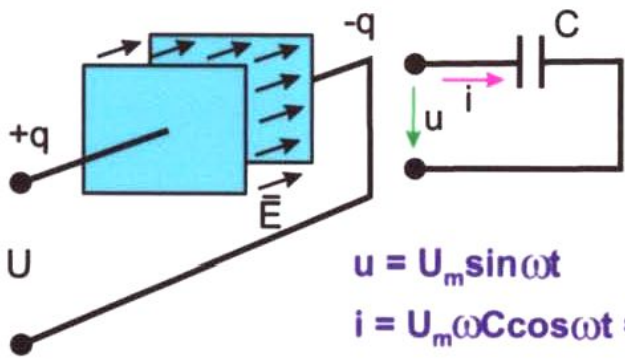
$$Q_L = U_L \cdot I_L$$

$Q_L$  характеризует периодический обмен энергией между источником и магнитным полем катушки.

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p \, d\omega t = 0$$

# Однофазные цепи синусоидального тока

## Емкость в цепи синусоидального тока



Ток конденсатора - ток периодического перезаряда его обкладок

$$i_c = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}$$

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$i = U_m \omega C \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$U_c = I_c X_c$$

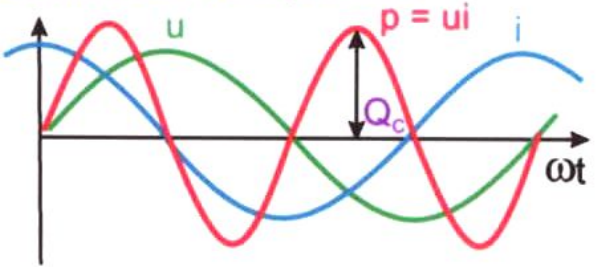
напряжение на конденсаторе

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

емкостное реактивное сопротивление

На участке с емкостью ток опережает напряжение по фазе на  $90^\circ$

Волновые диаграммы

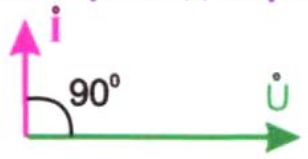


$$U_c I_c = Q_c$$

емкостная реактивная мощность

$Q_c$  характеризует периодический обмен энергией между электрическим полем конденсатора и источником

Векторная диаграмма

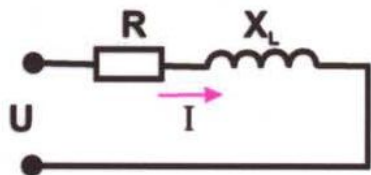


$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p d\omega t = 0$$

# Однофазные цепи синусоидального тока

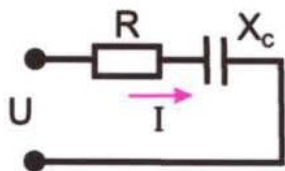
## Расчет простых цепей при последовательном соединении элементов

Схема и уравнения



$$i = I_m \sin \omega t$$

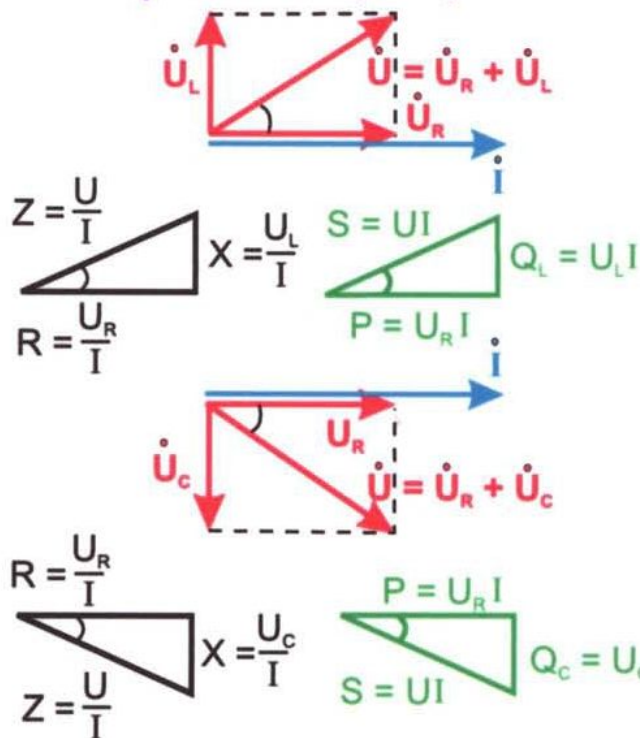
$$u = I_m Z \sin(\omega t + \phi)$$



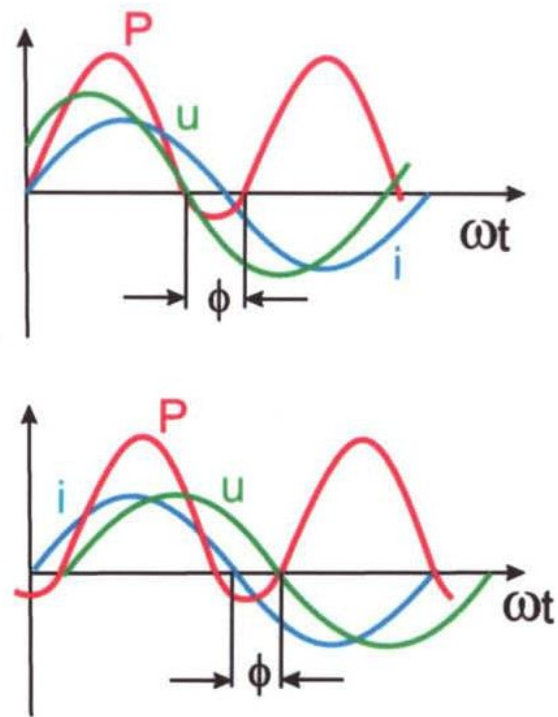
$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = I_m Z \sin(\omega t - \phi)$$

Треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей



Волновые диаграммы



$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ Ом, полное сопротивление цепи}$$

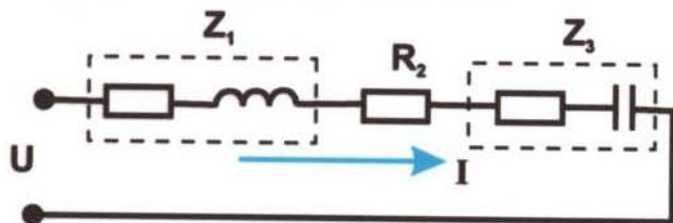
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ В·А, полная мощность цепи}$$

Треугольники сопротивлений и мощностей подобны треугольнику напряжений цепи

$S = UI$	$P = UI \cos \phi$	$Q = UI \sin \phi$
----------	--------------------	--------------------

# Однофазные цепи синусоидального тока

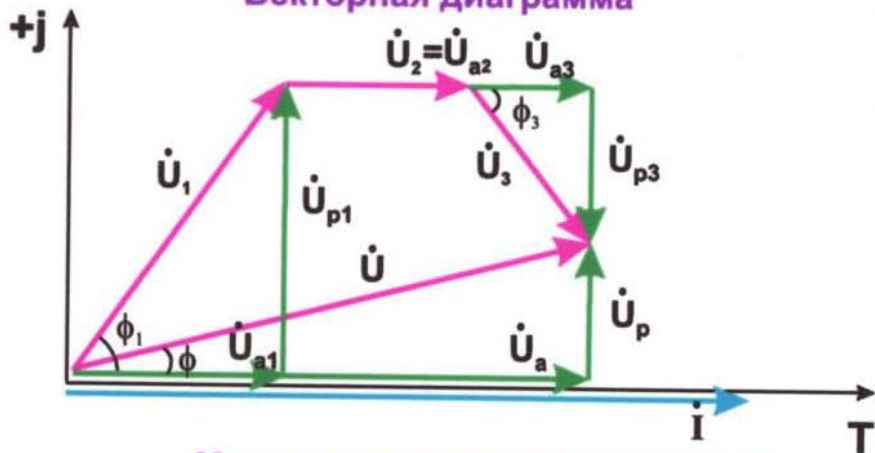
## Расчет общего случая последовательного соединения элементов



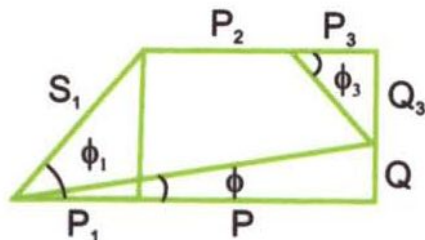
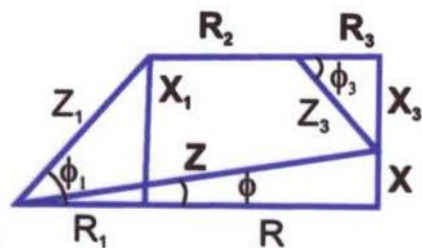
$$U = \sqrt{(\sum U_a)^2 + (\sum U_{pL} - \sum U_{pC})^2} = IZ$$

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_{L1} - X_{L2})^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Векторная диаграмма



Многоугольники сопротивлений и мощностей



$U_a$  - падения напряжения на активных сопротивлениях (активные составляющие)

$U_p$  - падения напряжения на реактивных сопротивлениях (реактивные составляющие)

$$\text{tg}\phi = (\sum U_L - \sum U_C) / (\sum U_a) = X / R = Q / P$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = UI \cos\phi$$

$$Q = Q_{1L} - Q_{3C} = UI \sin\phi$$

Закон Ома в комплексной форме

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = \dot{I}\dot{Z}$$

$$\dot{Z} = R_1 + R_2 + R_3 + j(X_{1L} - X_{3C}) = Ze^{j\phi}$$

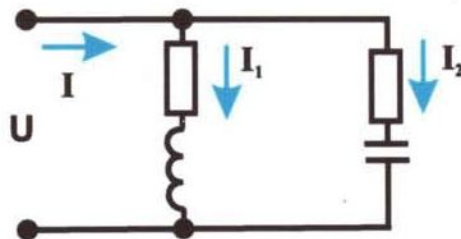
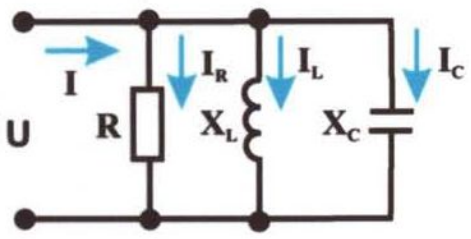
$\dot{Z}$  - комплексное сопротивление



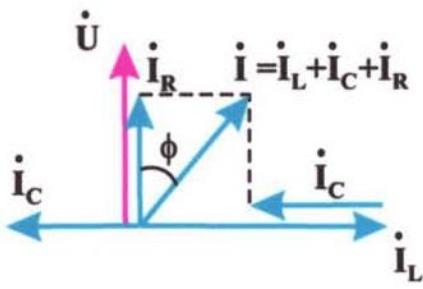
# Однофазные цепи синусоидального тока

## Расчет цепей при параллельном соединении ветвей

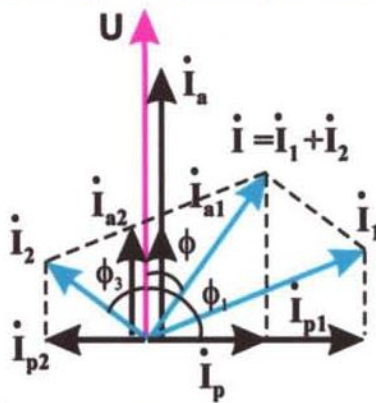
Ветви с идеальными элементами



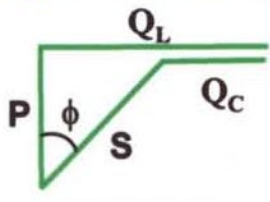
Векторная диаграмма



Векторная диаграмма



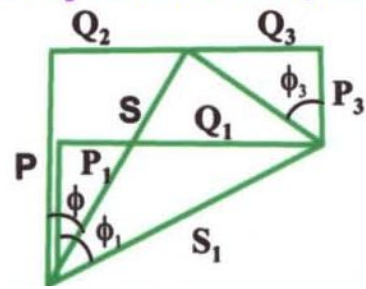
Многоугольник мощностей



$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$

$$\operatorname{tg} \phi = (I_L - I_C) / I_R = (Q_L - Q_C) / P$$

Многоугольник мощностей



$$I_a = I \cos \phi = P / U$$

активная составляющая тока, характеризует активную мощность ветви

$$I_p = I \sin \phi = Q / U$$

реактивная составляющая тока, характеризует реактивную мощность в ветви

$$I = \sqrt{(\sum I_a)^2 + (\sum I_{pL} - \sum I_{pC})^2}$$

многоугольник мощностей цепи подобен многоугольнику ее токов

$$P = P_1 + P_2 = UI \cos \phi$$

$$Q = Q_{1L} - Q_{2C} = UI \sin \phi$$

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