

## 2.4 Цепи с параллельным соединением приемников (резонанс токов)

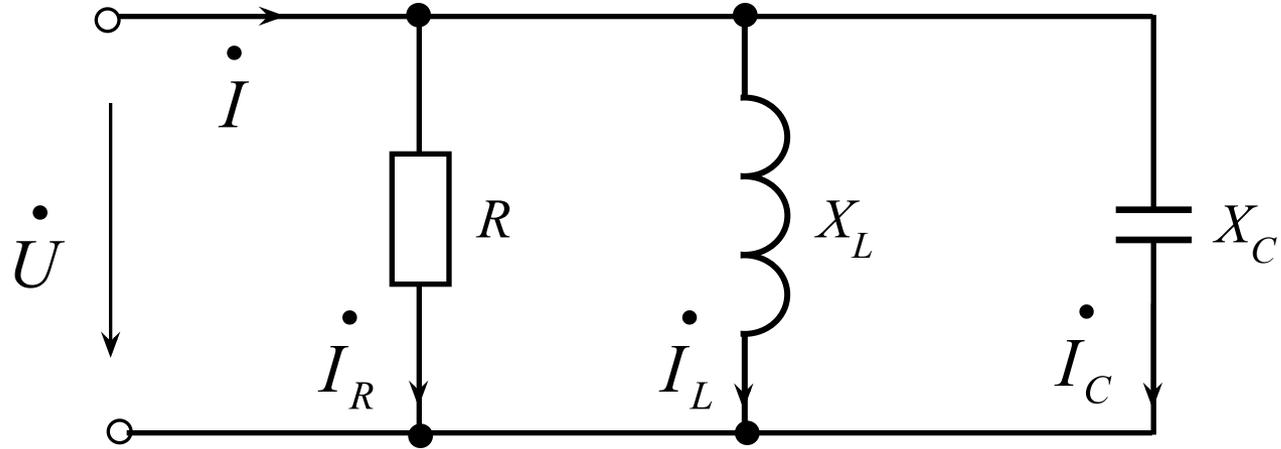
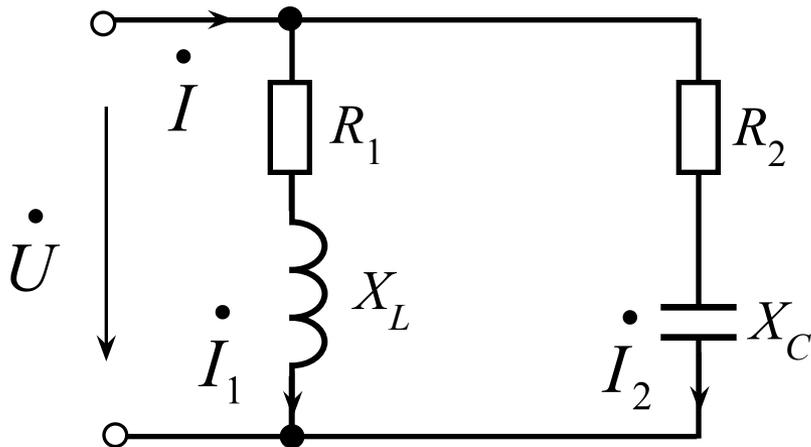


Схема замещения цепи с параллельным соединением приемников



Резонансный режим

$$\frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} = \frac{X_C}{R_2^2 + X_C^2}$$

## 2.5 Активная, реактивная и полная мощность

*Активная мощность*

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

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

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

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I_m U_m \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) dt = \frac{I_m U_m}{2} \cos \varphi = UI \cos \varphi$$

*Реактивная мощность*

$$Q = UI \sin \varphi$$

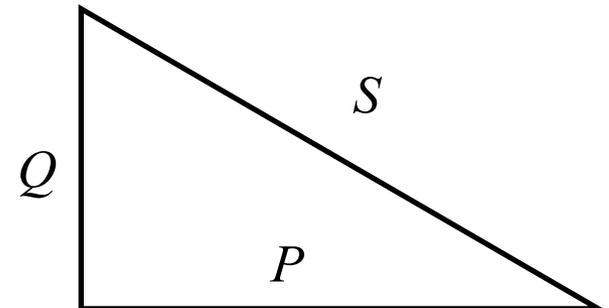
*Полная мощность*

$$S = U \cdot I$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

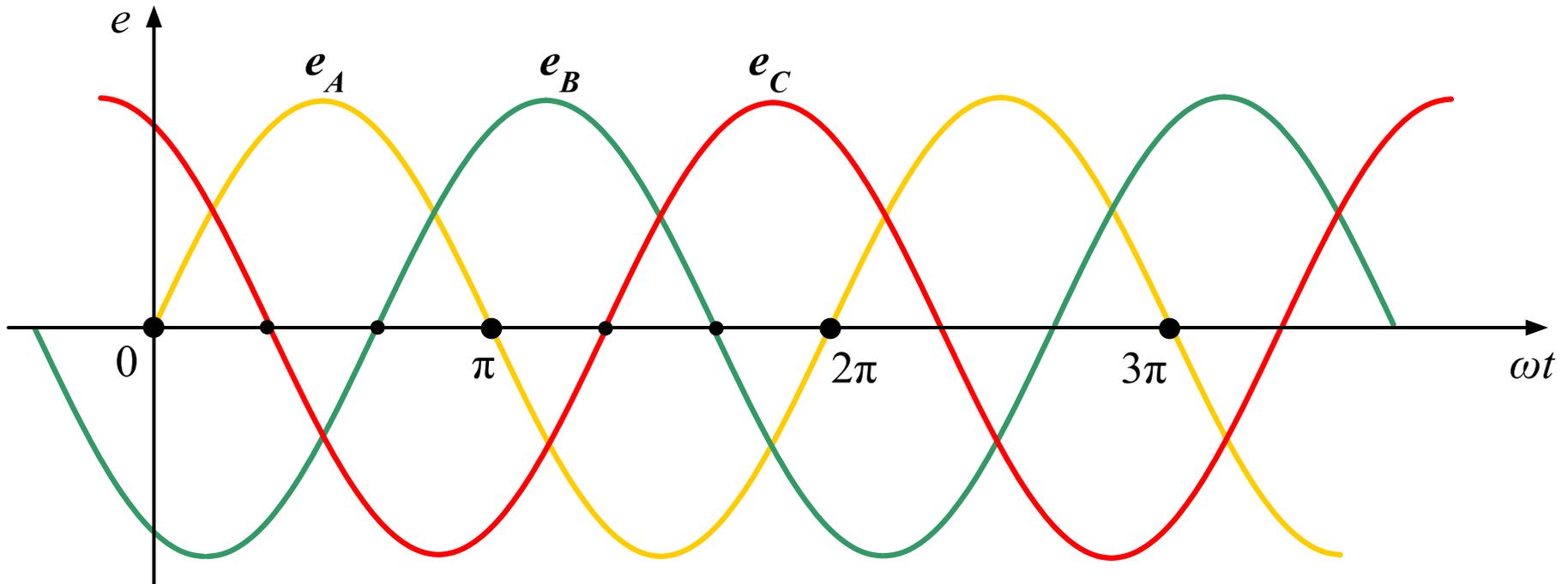
*Коэффициент мощности*

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$



## 2.6 Трехфазные цепи

*Трехфазная симметричная система ЭДС* – это совокупность трех синусоидальных ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе на  $120^\circ$ .



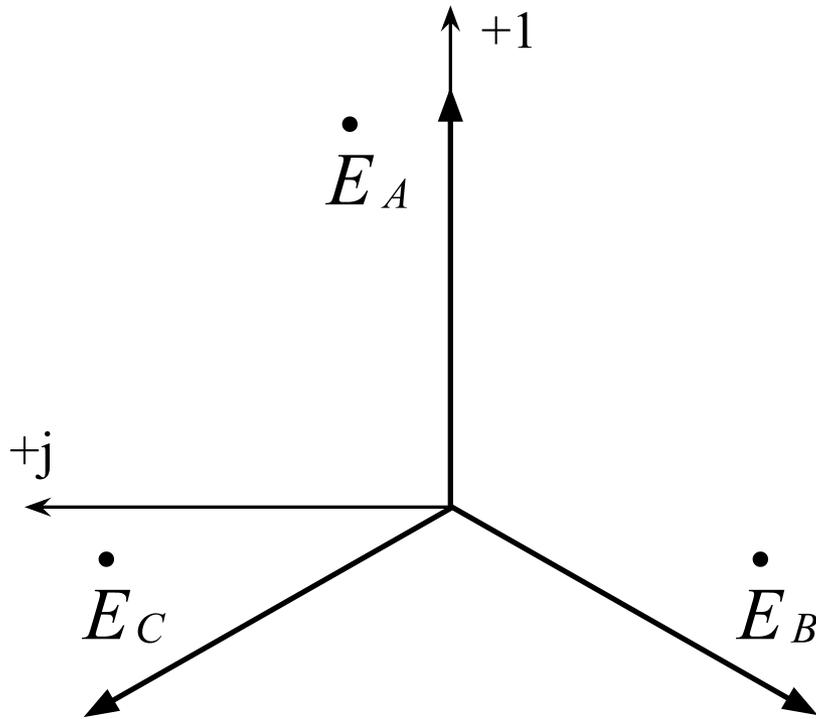
Графики мгновенных значений ЭДС

Синусоидальные функции времени:

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$



Векторная диаграмма

Комплексные числа:

$$\dot{E}_A = E e^{j0^\circ}$$

$$\dot{E}_B = E e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{E}_C = E e^{j120^\circ}$$

Совокупность трехфазной системы ЭДС, трехфазной нагрузки и соединительных проводов называют **трехфазной цепью**.

**Фаза** – участок трехфазной цепи, по которому протекает одинаковый ток (или аргумент синусоидально изменяющейся величины).

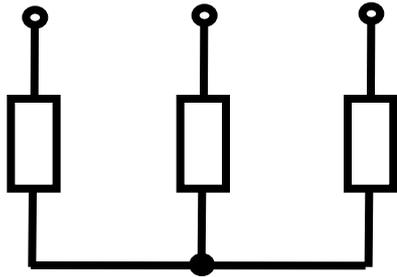


Схема звезда

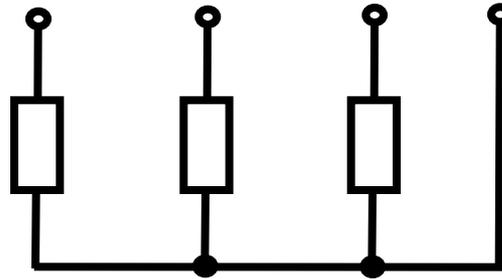


Схема звезда с  
нейтральным проводом

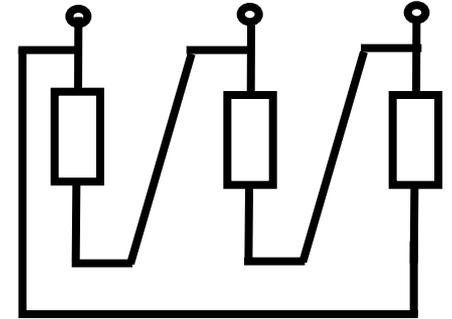


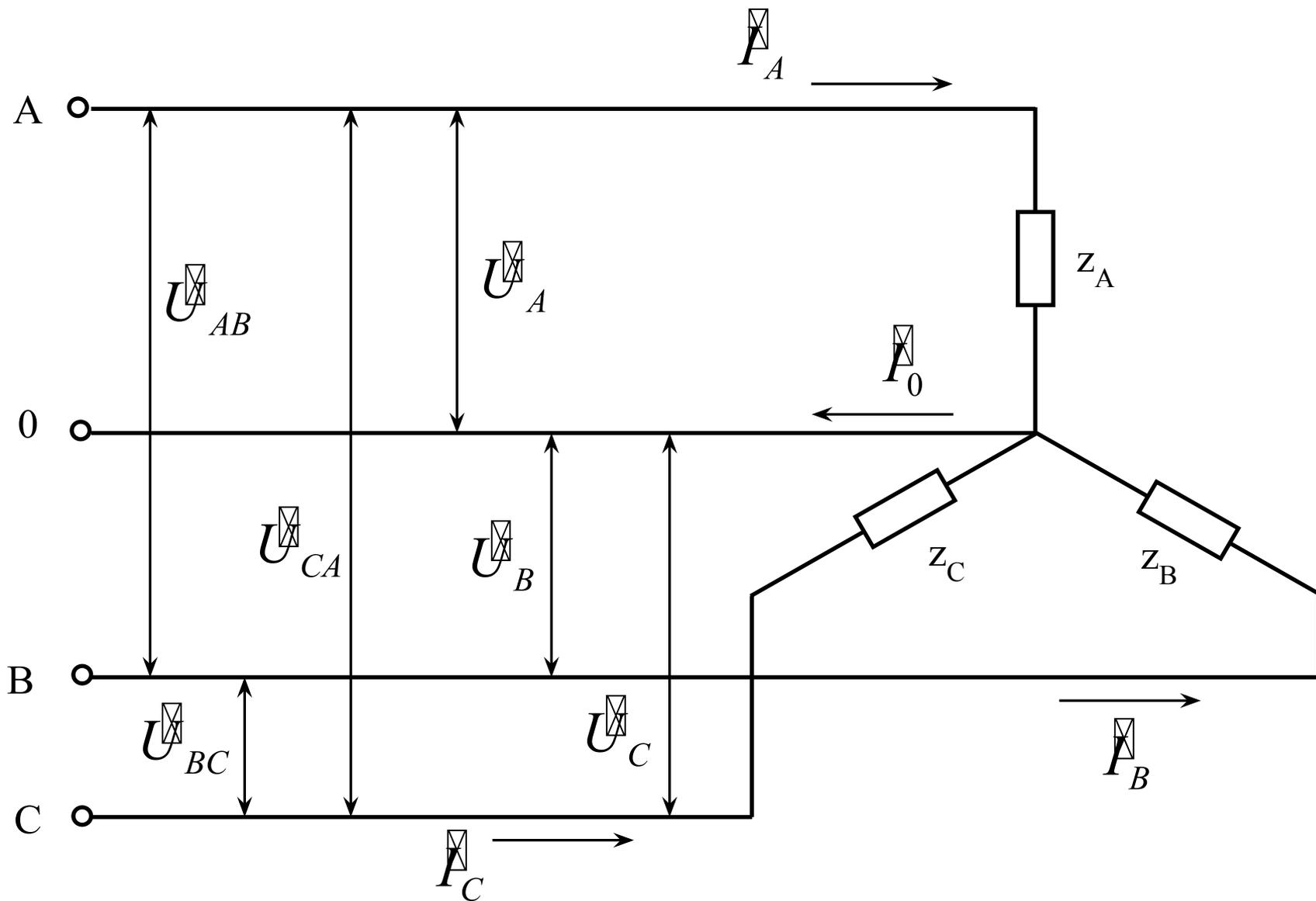
Схема треугольник

**Линейный ток** – ток, текущий по линейному проводу.

**Линейное напряжение** – напряжение между линейными проводами.

Каждая из трех обмоток генератора называется **фазой генератора**;  
каждая из трех нагрузок – **фаза нагрузки**;  
протекающие по ним токи – **фазные токи** генератора или нагрузки;  
напряжение на фазе генератора или нагрузке – **фазное напряжение**.

# Схема соединения звезда



$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_{\text{л}}$  – линейное напряжение

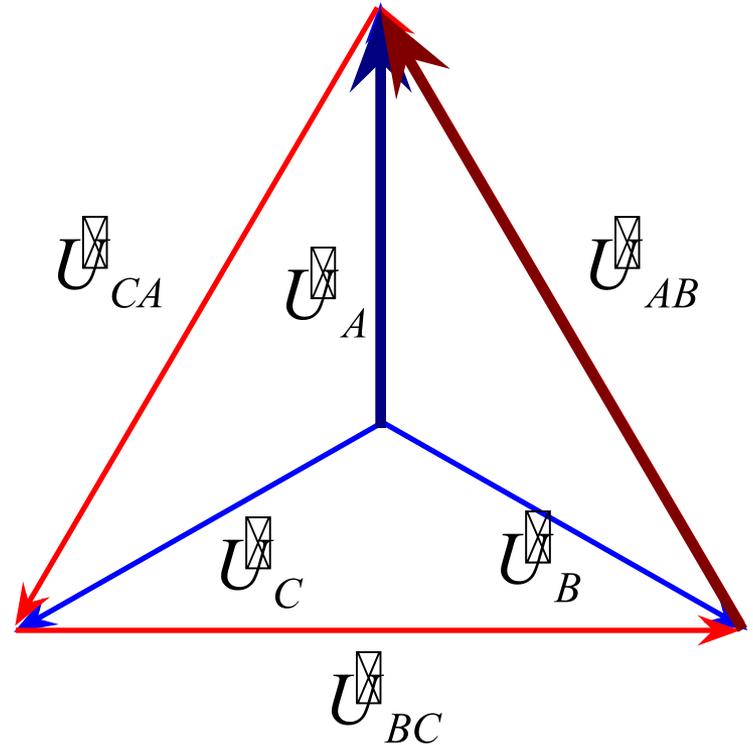
$U_A = U_B = U_C = U_{\text{ф}}$  – фазное напряжение

$$\left. \begin{aligned} \vec{U}_{AB} &= \vec{U}_A - \vec{U}_B; \\ \vec{U}_{BC} &= \vec{U}_B - \vec{U}_C; \\ \vec{U}_{CA} &= \vec{U}_C - \vec{U}_A. \end{aligned} \right\}$$

$$U_{AB} = U_A \cdot 2 \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_A$$

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$$

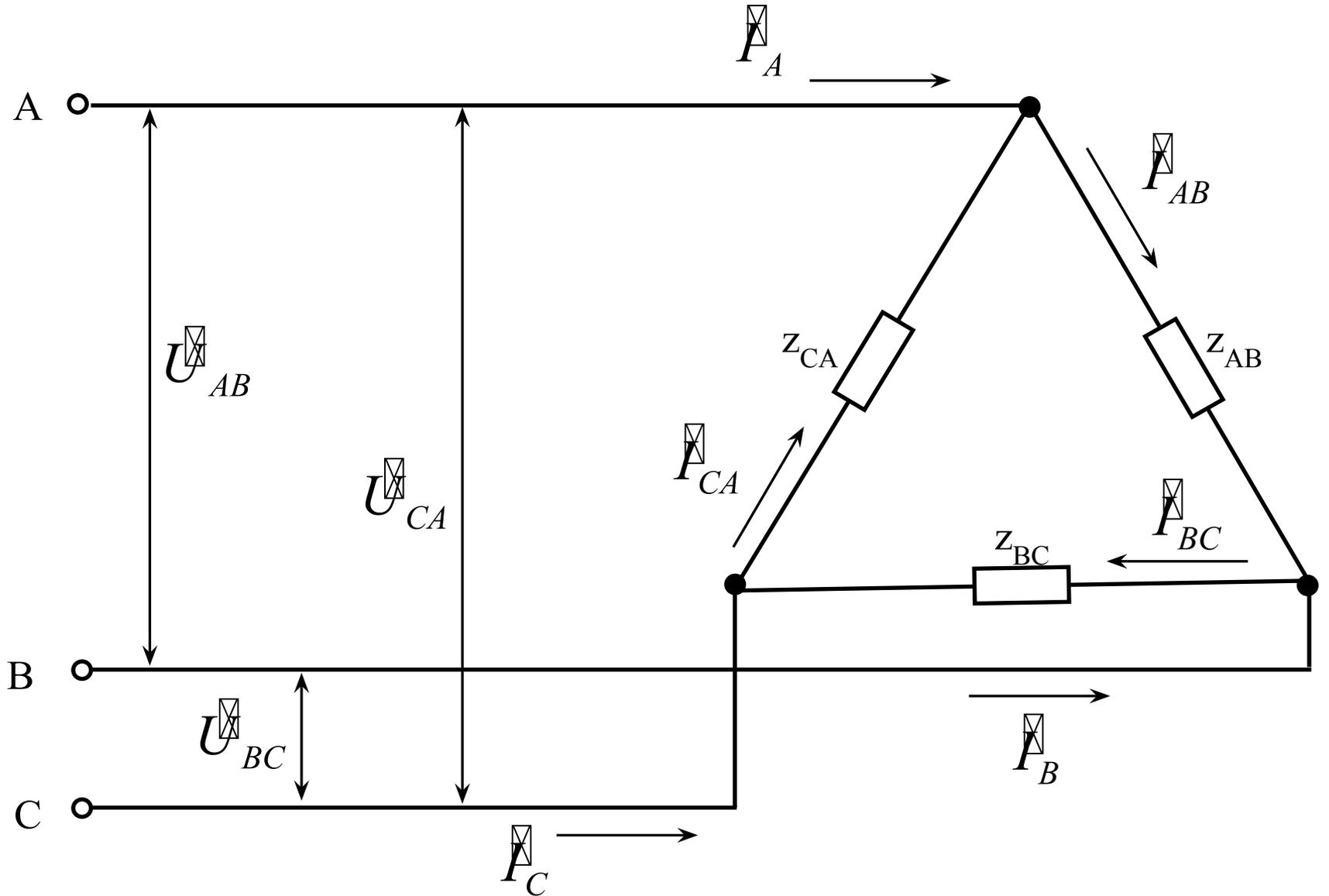
$$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$$



Векторная диаграмма напряжений

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C + \vec{I}_0 = 0$$

# Схема соединения треугольник



$$I_A = I_B = I_C = I_{\text{л}}$$

– линейный ток

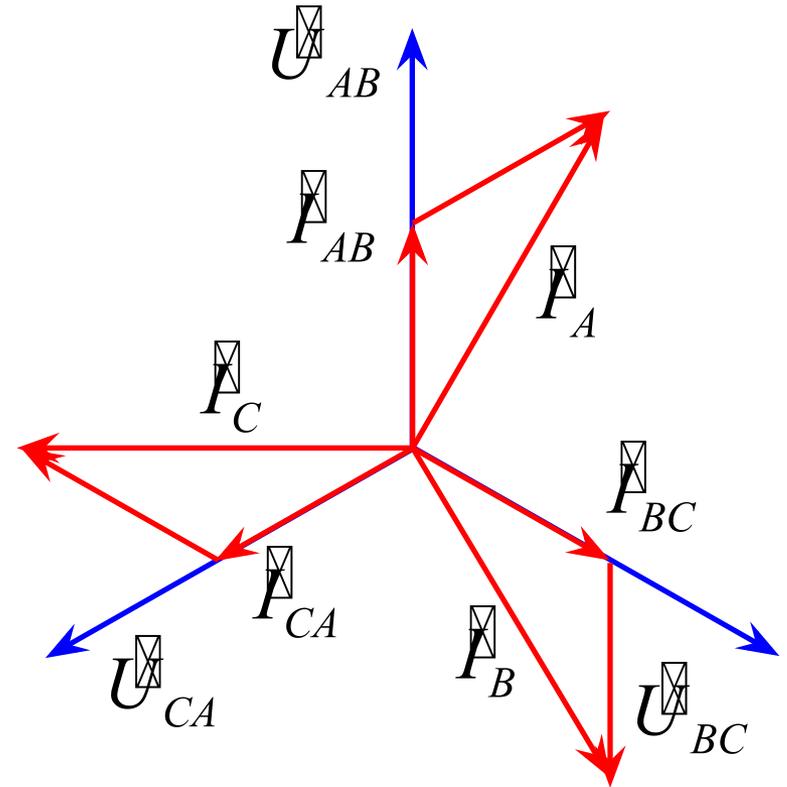
$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_{\phi}$$

– фазный ток

$$\left. \begin{aligned} \vec{I}_A &= \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; \\ \vec{I}_B &= \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \\ \vec{I}_C &= \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}. \end{aligned} \right\}$$

$$U_{\text{л}} = U_{\phi}$$

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi}$$



Векторная диаграмма  
напряжений и токов

## 2.7 Мощности трехфазной цепи

**Активная мощность** трехфазной системы – сумма активных мощностей фаз нагрузки и активной мощности в сопротивлении, включенном в нулевой провод.

$$P = P_A + P_B + P_C + P_0$$

**Реактивная мощность** трехфазной системы – сумма реактивных мощностей фаз нагрузки и реактивной мощности в сопротивлении, включенном в нулевой провод.

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_0$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ – полная мощность}$$

При равномерной нагрузке фаз:

$$\begin{cases} P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \phi_{\phi}; \\ Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \phi_{\phi}; \\ S = 3U_{\phi} I_{\phi}. \end{cases}$$

$$\begin{cases} P = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos \phi_{\phi}; \\ Q = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \sin \phi_{\phi}; \\ S = \sqrt{3}U_{л} I_{л}. \end{cases}$$

### 3. Магнитные цепи

$B$  – магнитная индукция, Тл;

$H$  – напряженность магнитного поля, А/м;

$\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость.

$$\bar{B} = \mu_0 \mu \bar{H} = \mu_a \bar{H}$$

**Диамагнетики** – вещества, у которых относительная магнитная проницаемость  $\mu < 1$ .

**Парамагнетики** – вещества, у которых  $\mu > 1$ .

**Ферромагнетики** – вещества, у которых  $\mu \gg 1$ .

**Магнитный поток** через некоторую поверхность – это поток вектора магнитной индукции через эту поверхность.

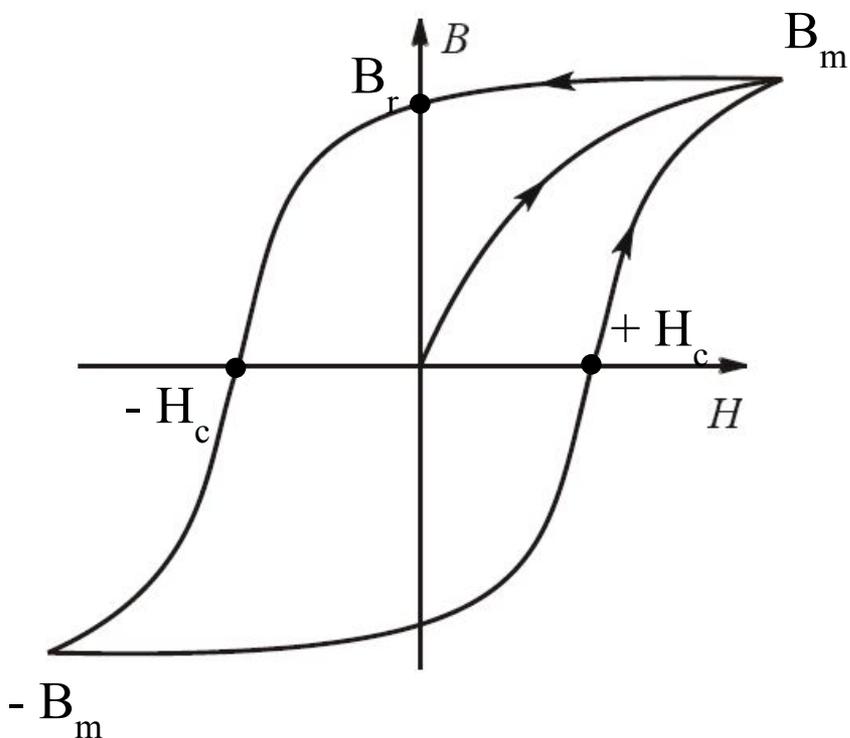
Единицей измерения магнитного потока является вебер (Вб).

$$\Phi = \int_S \bar{B} d\bar{S}$$

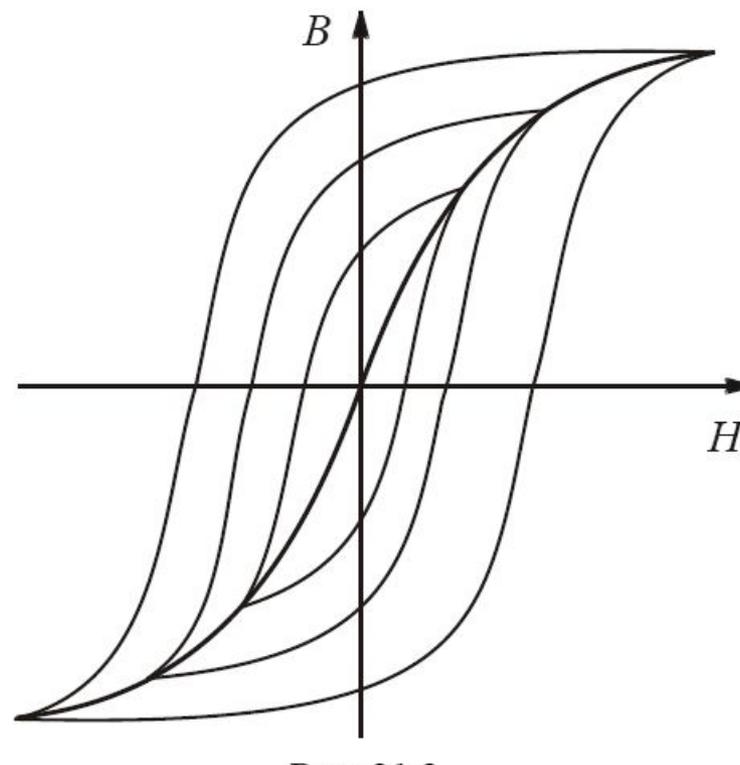
Свойства ферромагнитных материалов характеризуются зависимостью магнитной индукции  $B$  от напряженности магнитного поля  $H$ : *петля гистерезиса*.

**Явление гистерезиса** – отставание изменения магнитной индукции  $B$  от изменения напряженности магнитного поля  $H$ .

Гистерезис обусловлен внутренним трением областей самопроизвольного намагничивания.



Петля гистерезиса



Кривая намагничивания

## Основные законы магнитных цепей

**Принцип непрерывности магнитного потока** – линии магнитной индукции непрерывны и замкнуты.

Поэтому магнитный поток через замкнутую поверхность  $\Phi = 0$ .

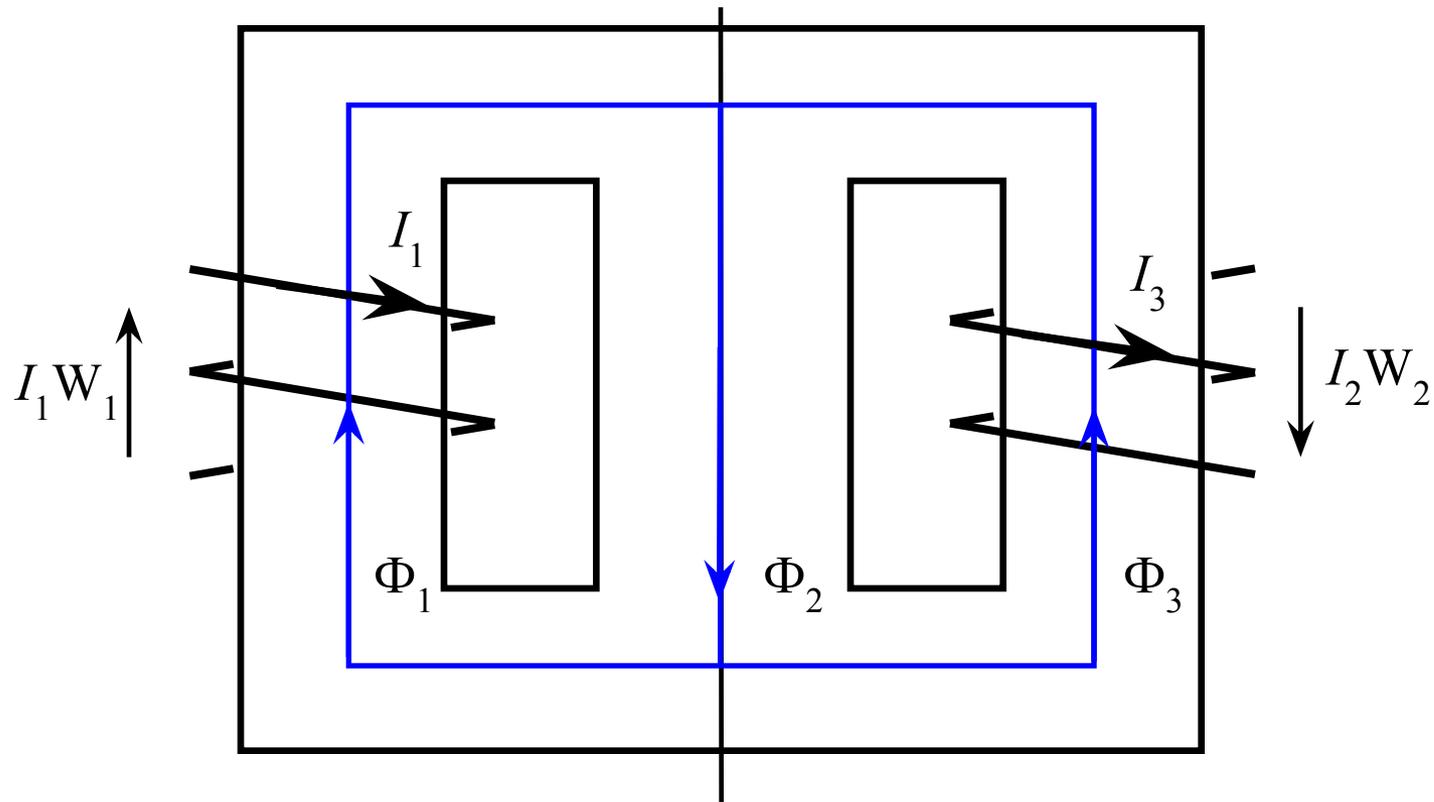
$$\Phi = \oint B dS = 0$$

**Закон полного тока** – линейный интеграл напряженности магнитного поля вдоль замкнутого контура равен алгебраической сумме токов, пронизывающих этот контур.

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \Sigma I$$

**Магнитодвижущая сила (МДС)** обмотки с током – произведение числа витков катушки  $W$  на протекающий по ней ток  $I$ .

$$F = W \cdot I$$



Разветвленная магнитная цепь