

# Электротехника и электроника

---

## *Лекция 3*

### **Трёхфазные электрические цепи синусоидального тока**

# **Трёхфазные электрические цепи**

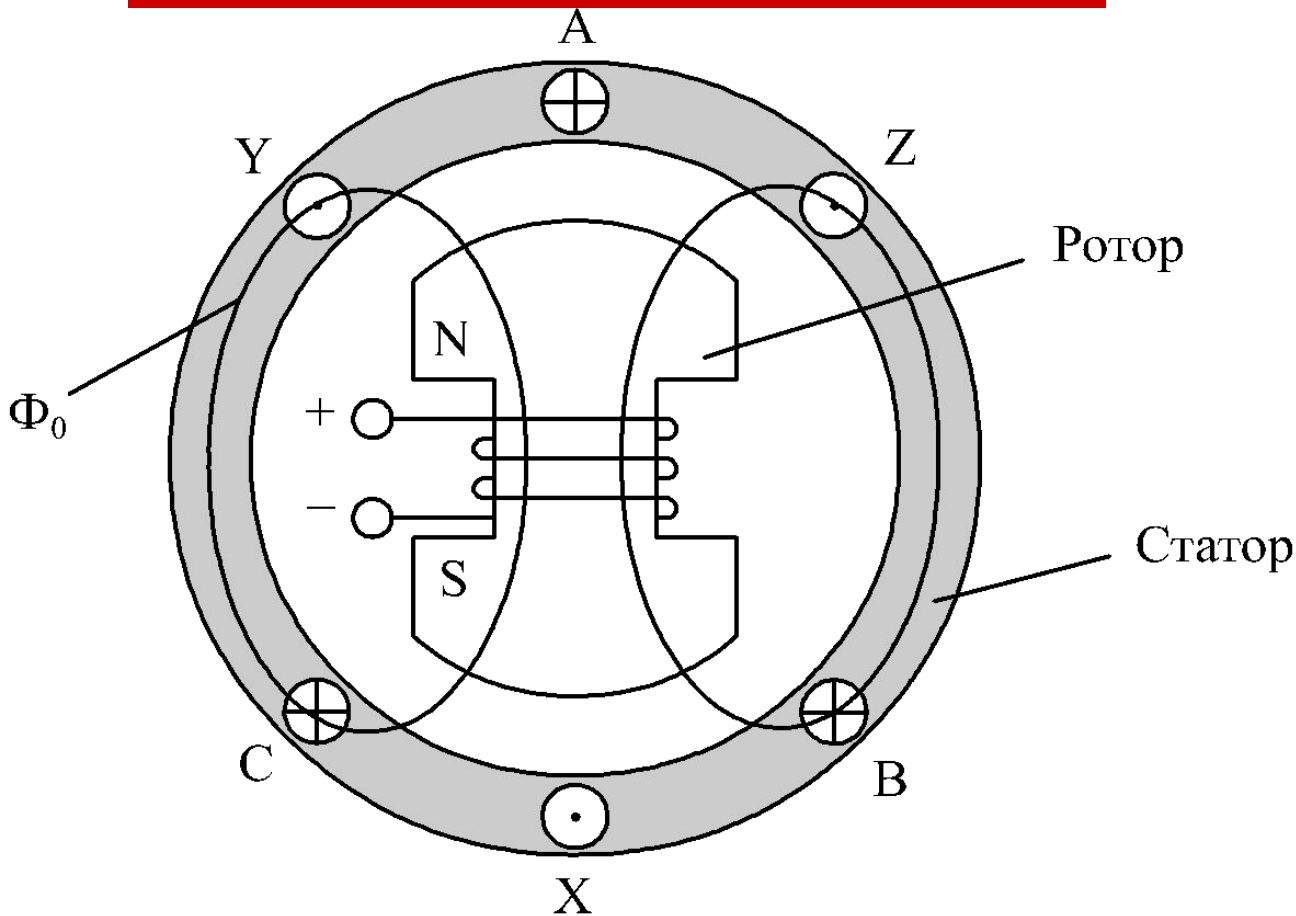
---

**Представляют собой совокупность трёх электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, различающиеся по фазе и создаваемые общим источником энергии.**

**У трёхфазных цепей есть ряд преимуществ по сравнению с однофазными:**

- 1. Экономичность передачи энергии**
  - 2. Возможность получения кругового вращающего момента магнитного поля**
  - 3. Два разных напряжений в одной установке**
-

# Получение трехфазной системы ЭДС



- Основные элементы трехфазной цепи:**
1. Трёхфазный генератор
  2. Линии передачи
  3. Приёмники

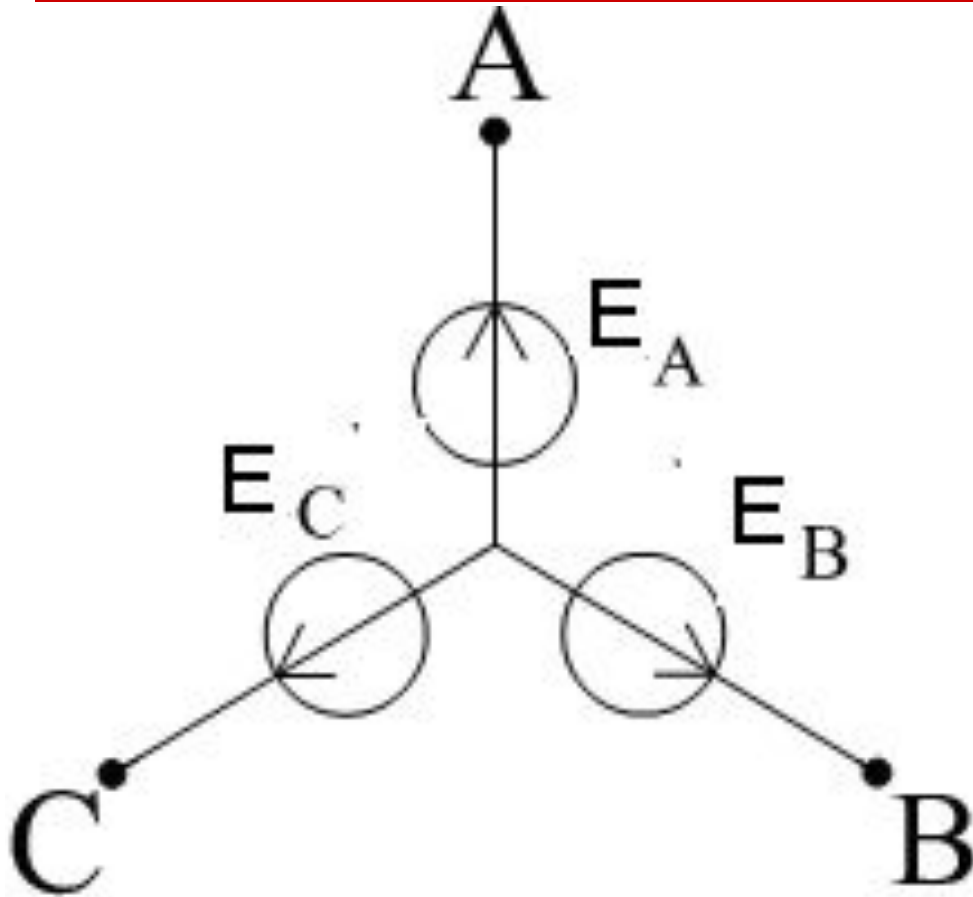
- Основные элементы генератора:**
1. неподвижный статор (состоит из трёх обмоток).
  2. Вращающийся ротор (электромагнит)

**A, B, C – начала фаз**

**X, Y, Z – концы фаз**

# Система ЭДС трехфазного генератора

---



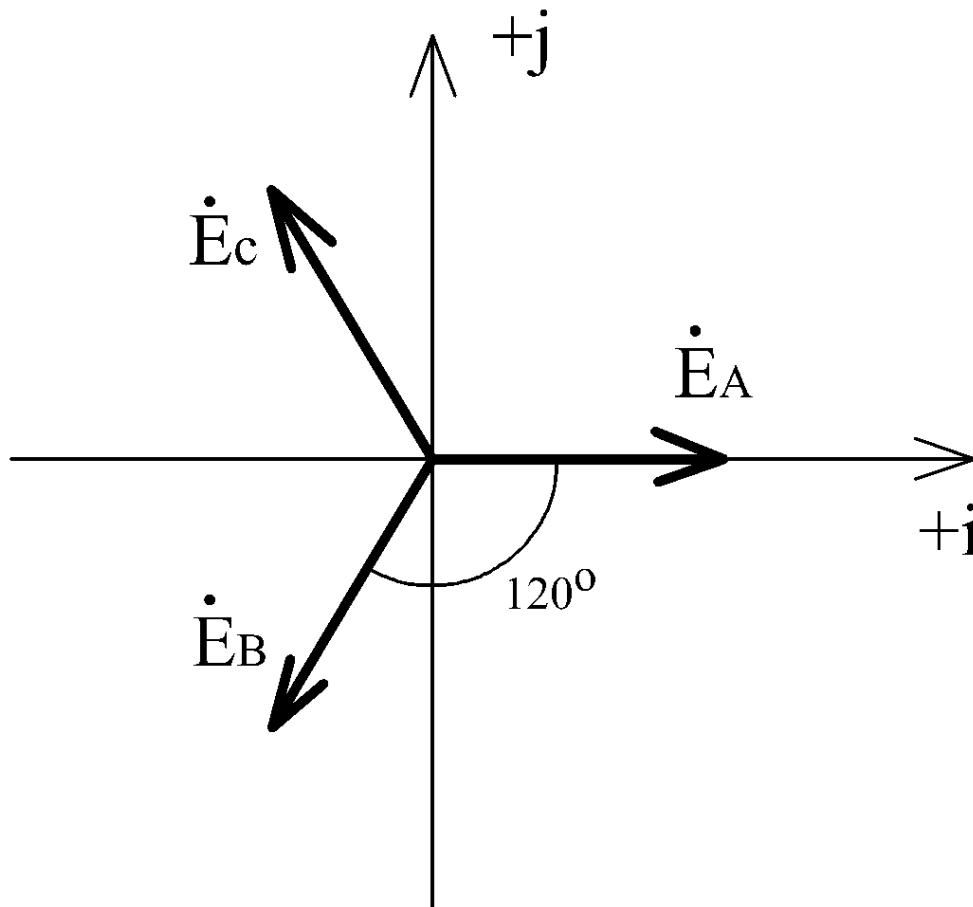
$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

---

# Векторная диаграмма симметричной системы ЭДС



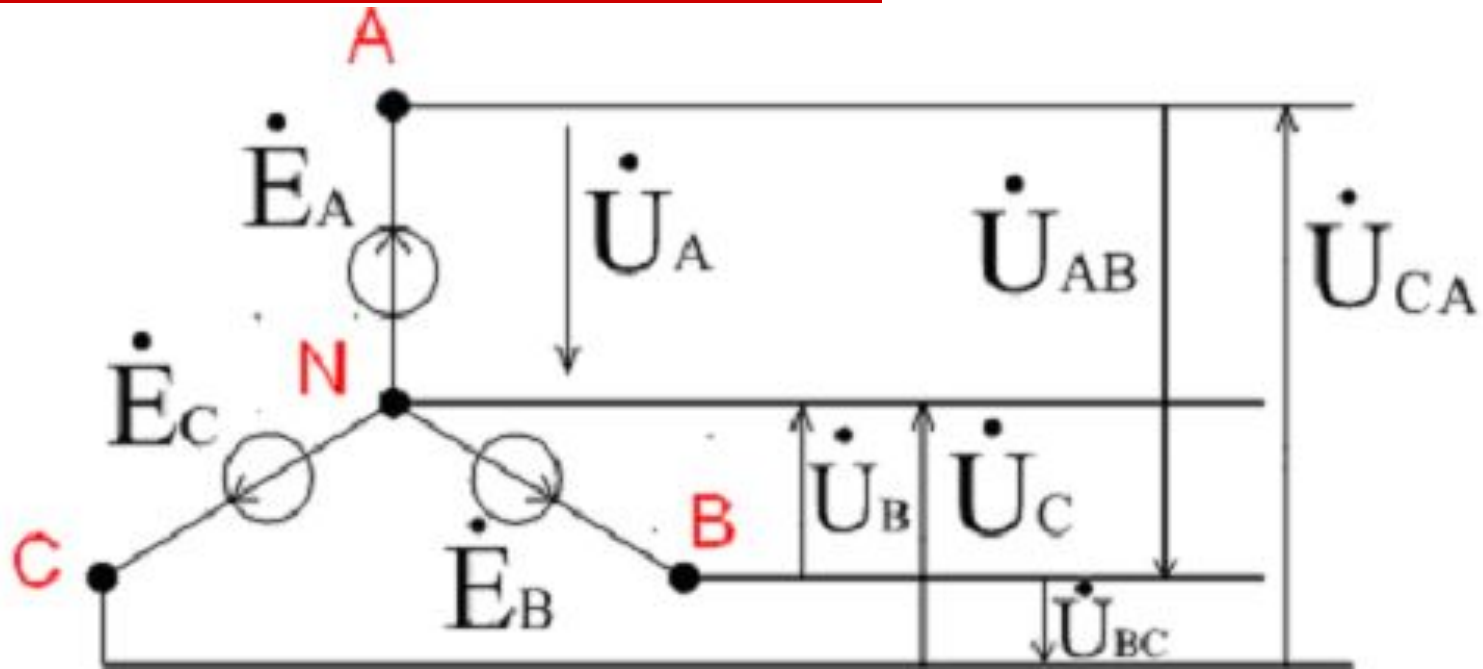
$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$$

В распределительных устройствах шины различных фаз имеют различную окраску:

- жёлтый – фаза А
- зелёный – фаза В
- красный – фаза С
- синий – нейтральный провод

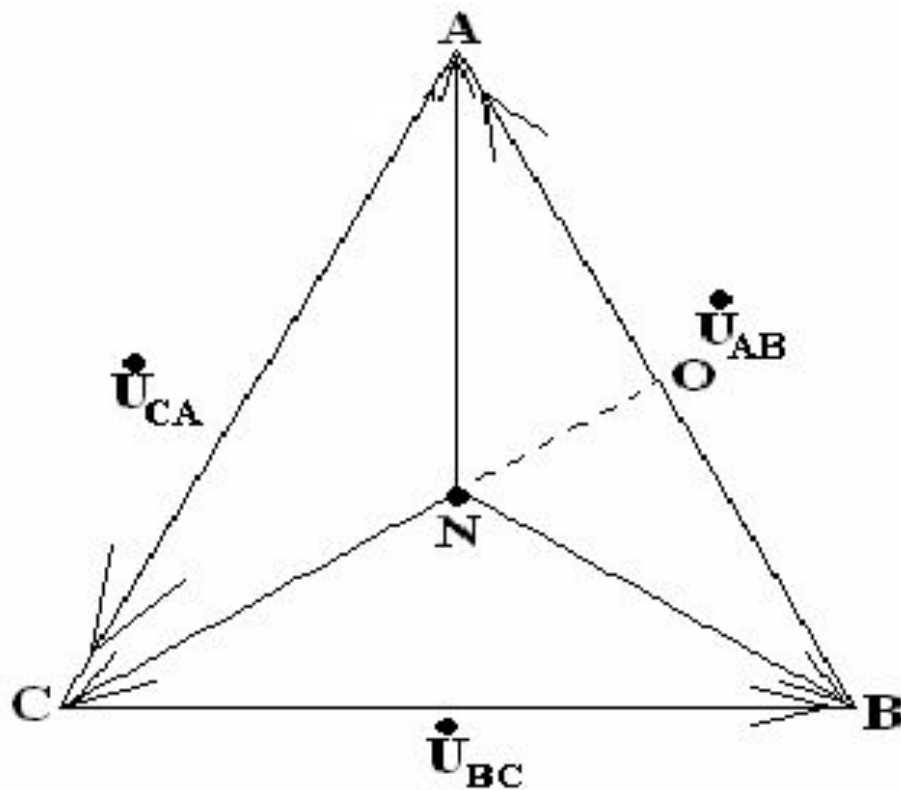
# Способы соединения фаз источников питания

## Соединение звездой



Фазным напряжением называют напряжение между началом и концом каждой фазы. Положительные направления:  $U_{AN}$ ,  $U_{BN}$ ,  $U_{CN}$  принято называть  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$   
Линейным напряжением называют напряжение между началами двух фаз  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$

# Векторная диаграмма линейных и фазных напряжений



$$OA = \frac{U_L}{2} = U_\phi \cos \frac{\pi}{6} = U_\phi \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow$$

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi$$

$$U_L = 660 \text{ В} \quad U_\phi = \frac{660}{\sqrt{3}} = 380 \text{ В}$$

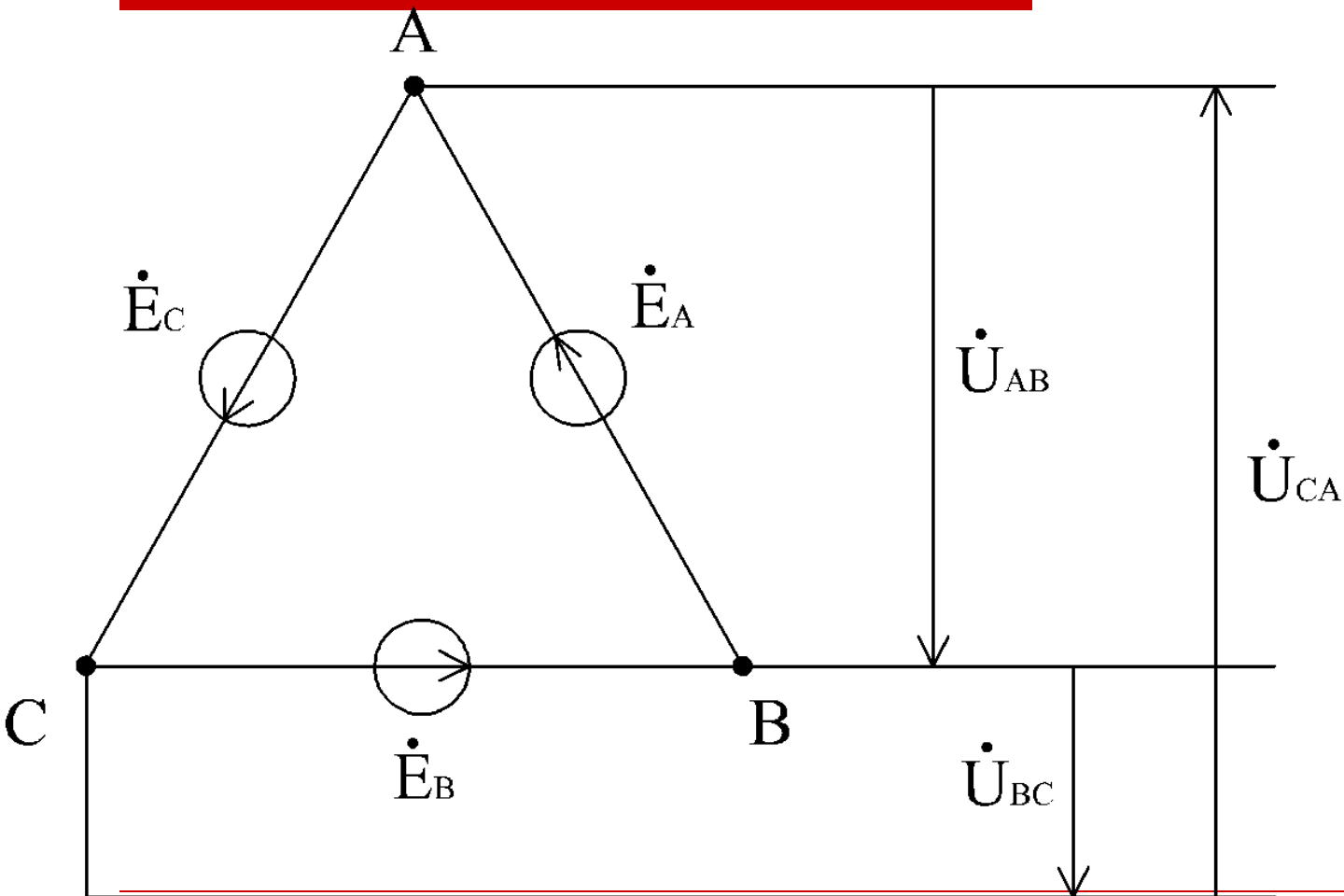
$$U_L = 380 \text{ В} \quad U_\phi = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

$$U_L = 220 \text{ В} \quad U_\phi = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В}$$

$$I_L = I_\phi$$

# Способы соединения фаз источников питания

## Соединение треугольником



Алгоритм  
соединения:

**A-Y**

**B-Z**

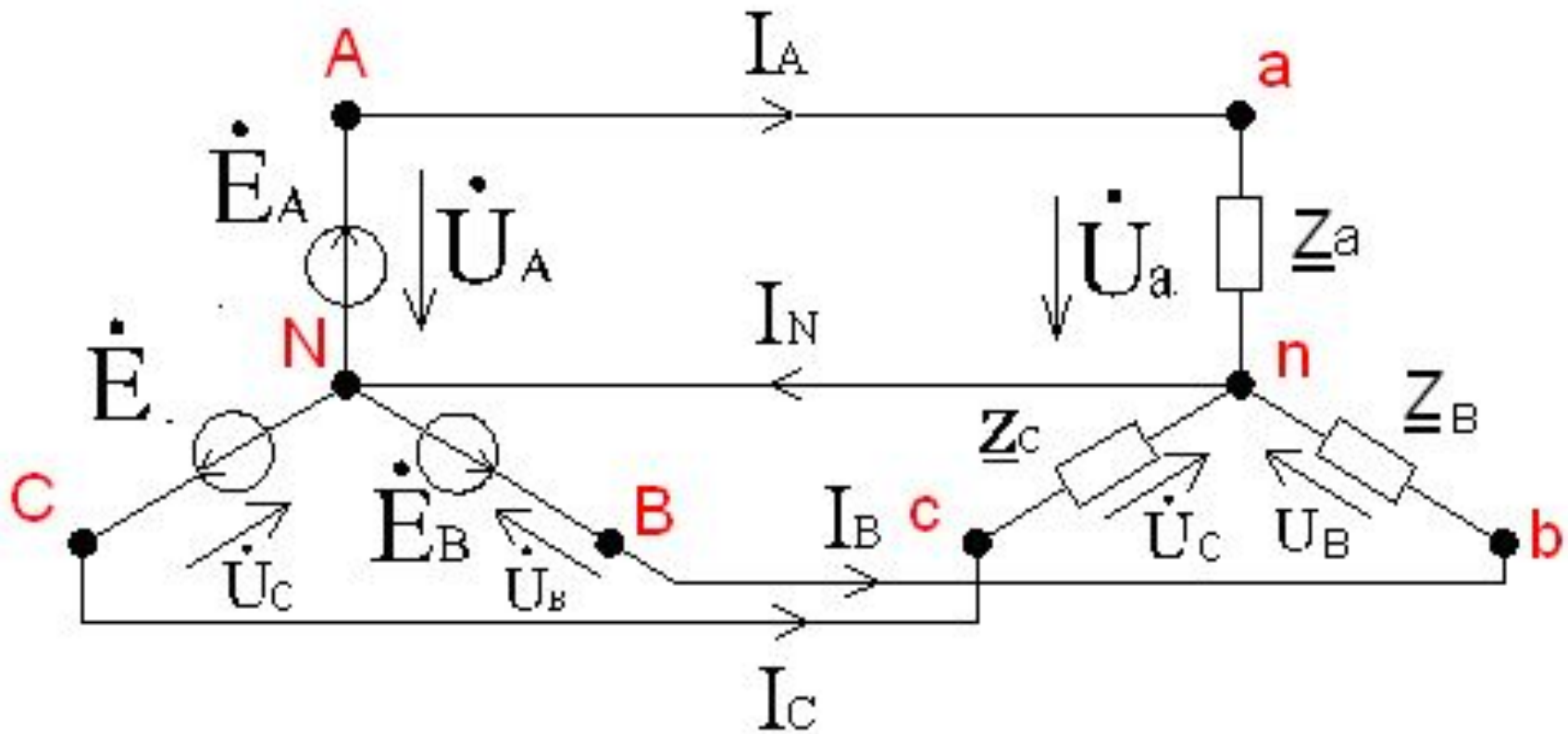
**C-X**

$$U_{Л} = U_{\Phi}$$

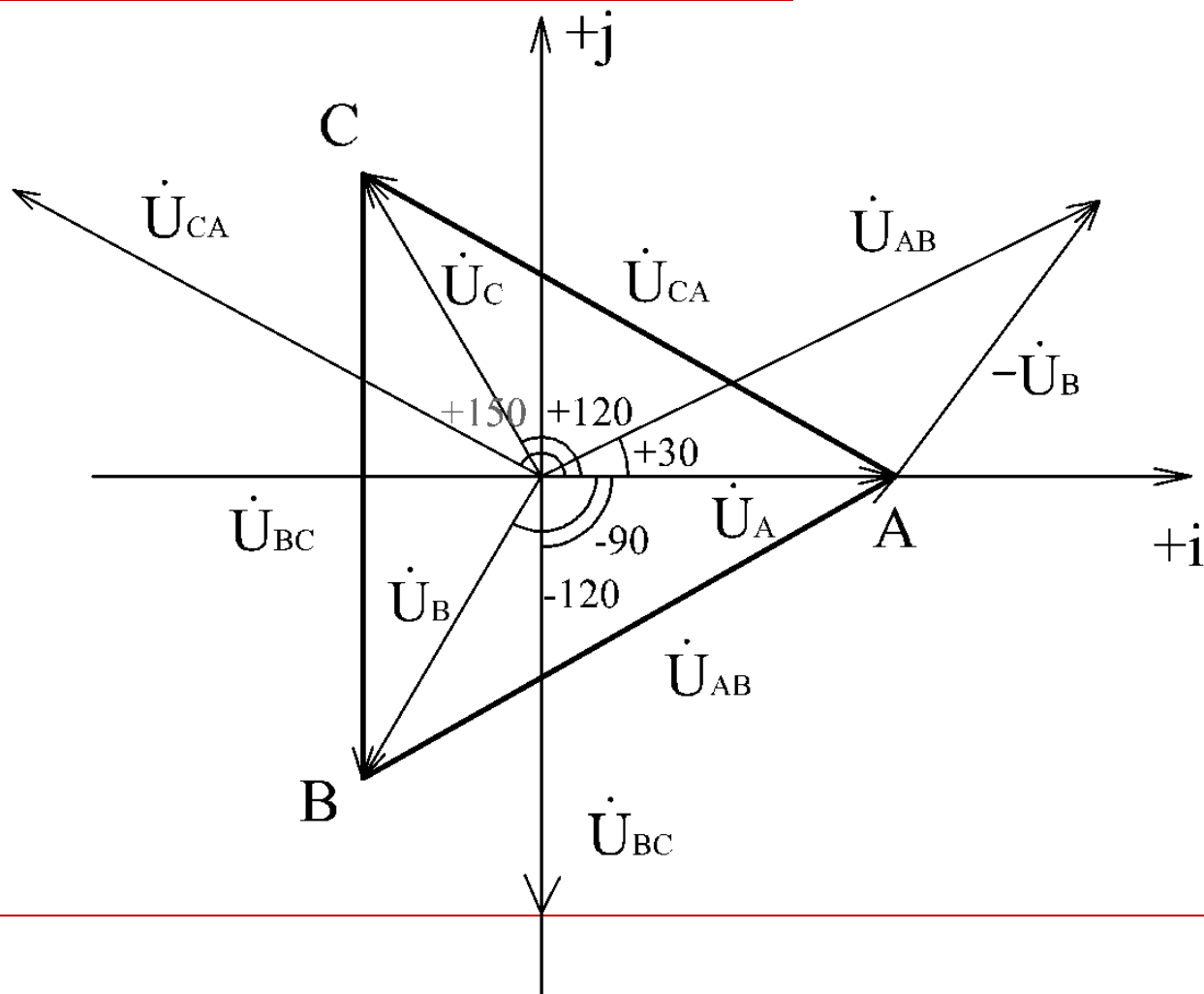
$$I_{Л} = \sqrt{3}I_{\Phi}$$



# Соединение обмоток источника и фаз приёмника звездой

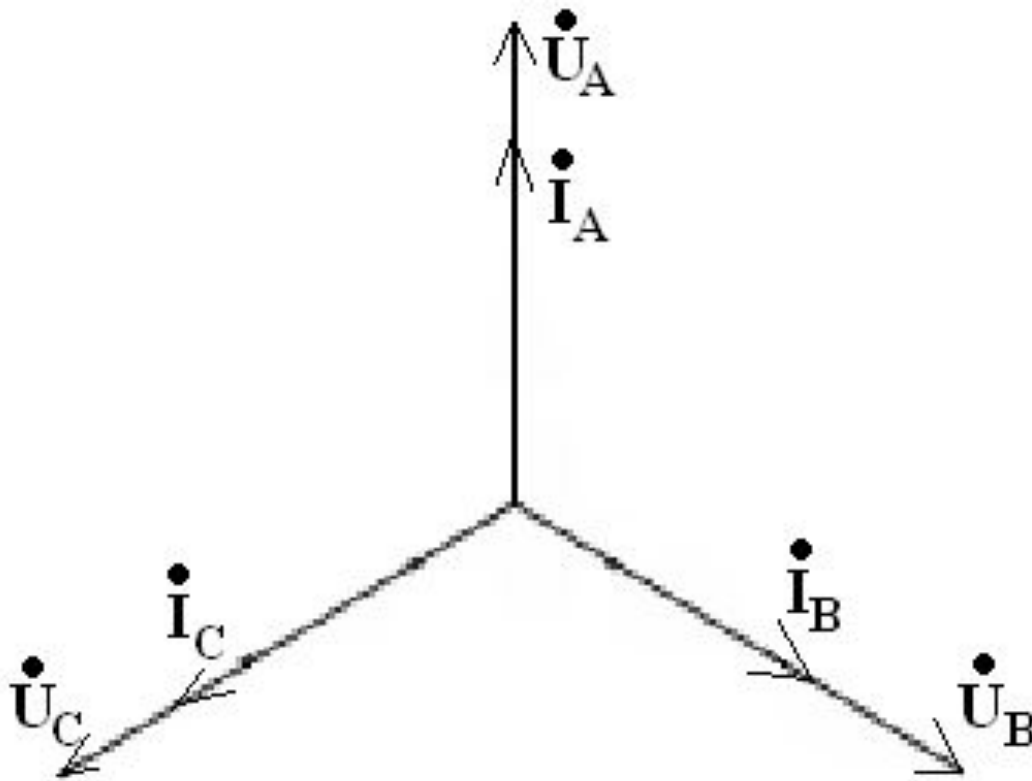


# Общее правило построения векторных диаграмм



# Симметричная нагрузка

---



Без нейтрального провода

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$$

$$I_a = I_b = I_c$$

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$$

С нейтральным проводом

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$$

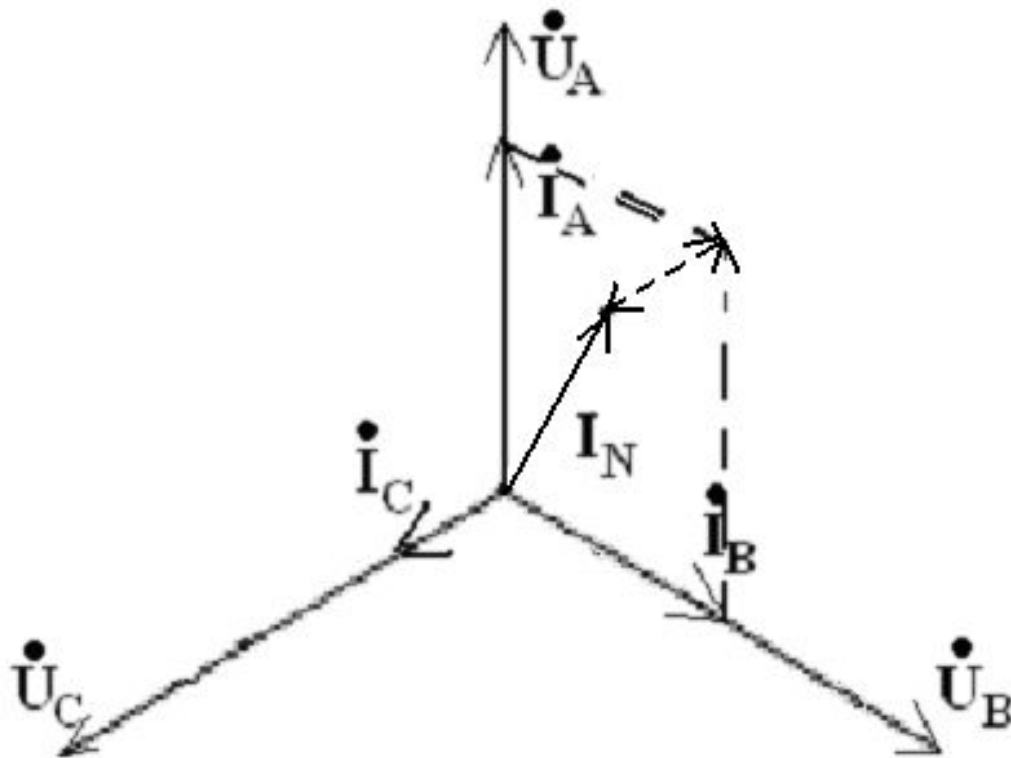
$$I_a = I_b = I_c$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$$

---

# Несимметричная нагрузка с нейтральным проводом

---



$$\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$$

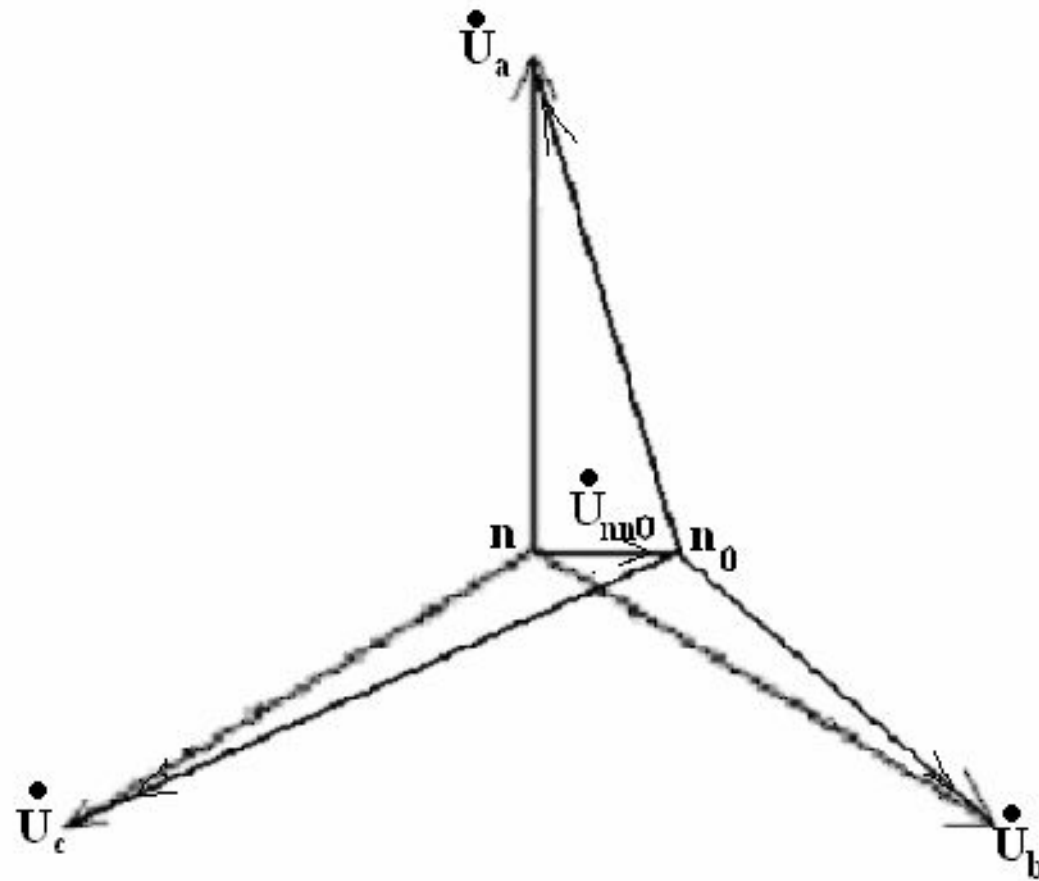
$$\dot{I}_a \neq \dot{I}_b \neq \dot{I}_c$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c \neq 0$$

---

# Несимметричная нагрузка без нейтрального провода

---



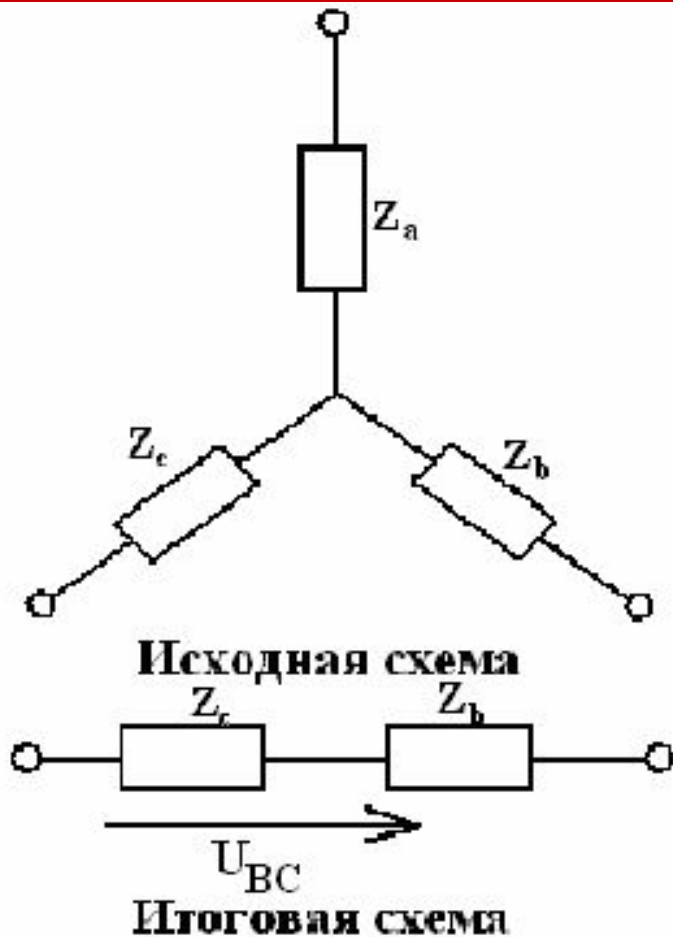
$$\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$$

$$\dot{I}_a \neq \dot{I}_b \neq \dot{I}_c$$

Получаем  
несимметричную систему  
фазных напряжений.  
Определяем напряжение  
смещения нейтрали  $\dot{U}_{nn_0}$ .

---

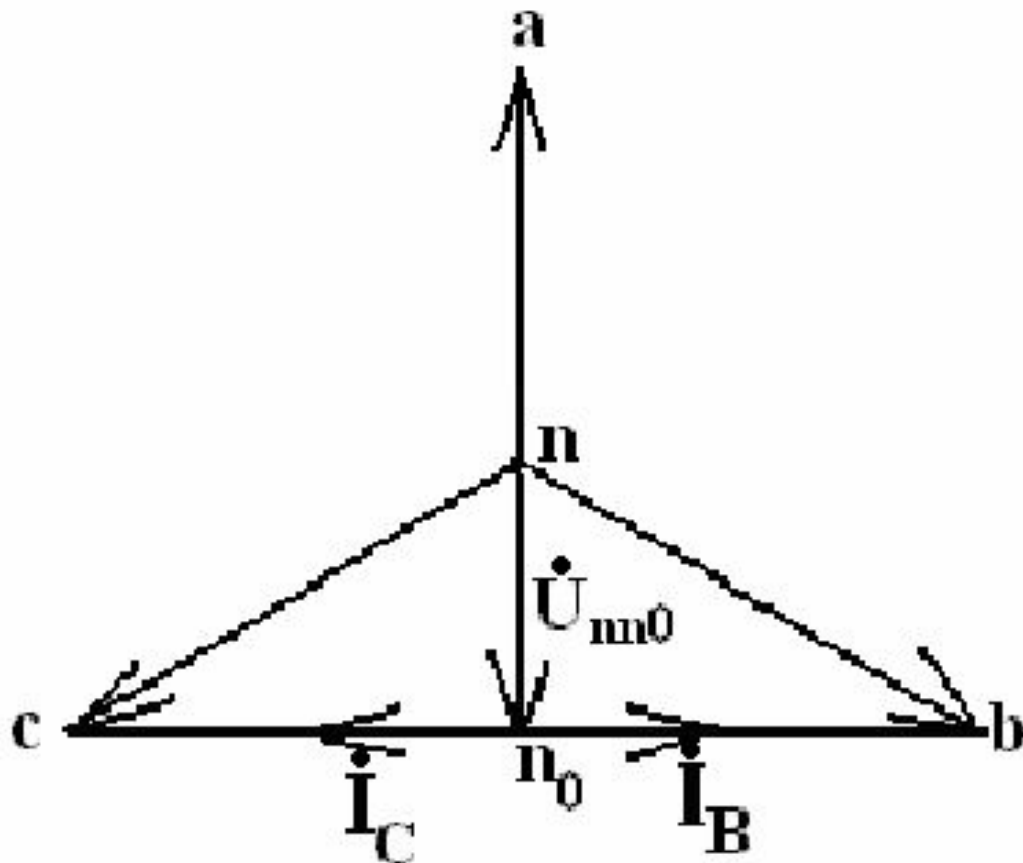
# Обрыв фазы в трехфазной системе



**Исходная схема превращается в два последовательно соединенных элемента попадающих под линейное напряжение**

# Обрыв фазы в трехфазной системе

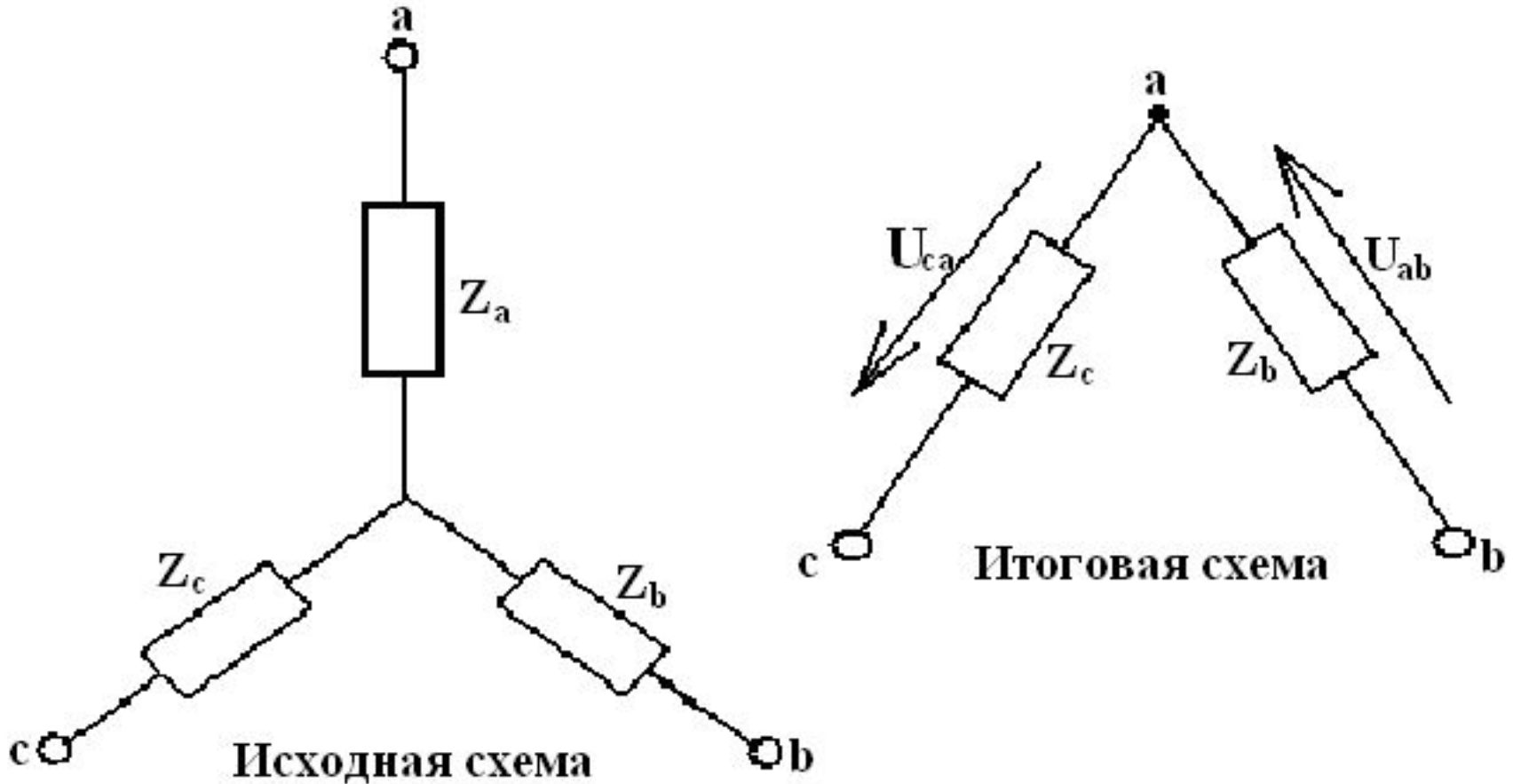
---



Определяем токи в фазах и напряжение смещения нейтрали

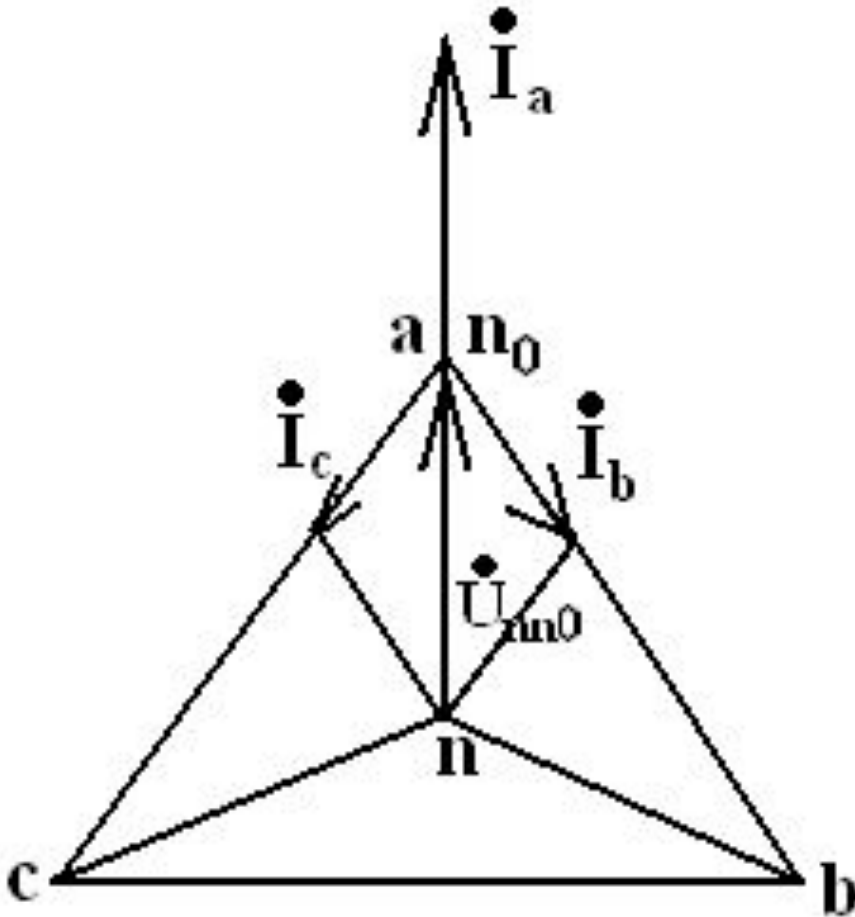
---

# Короткое замыкание в фазе трехфазной системы



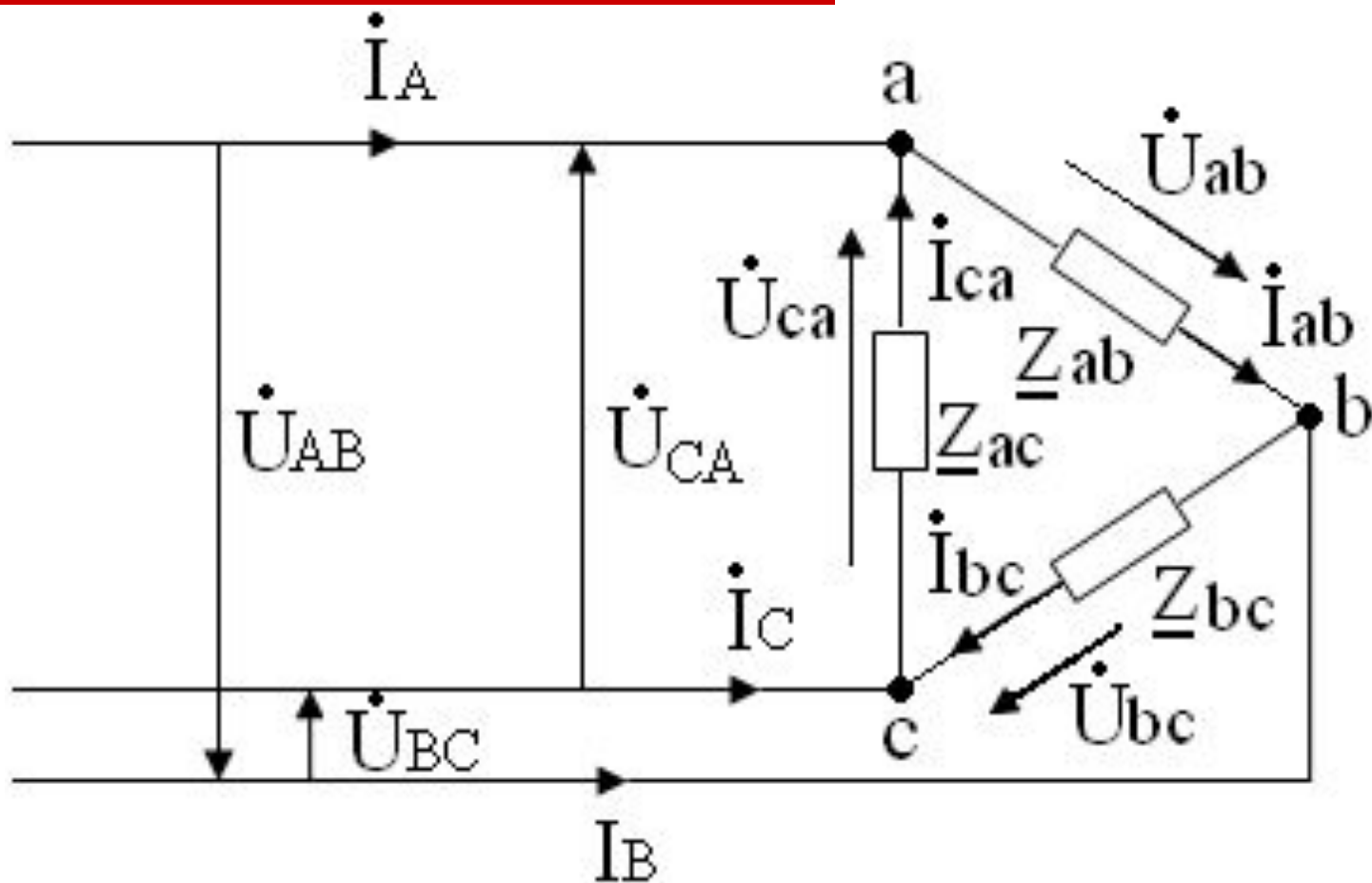


# Короткое замыкание в фазе трехфазной системы



Определяем ток в фазе с коротким замыканием и напряжение смещения нейтрали

# Соединение фаз приемника треугольником



# Соединение фаз приемника треугольником

Фазные напряжения  
приемника равны  
соответствующим  
линейным напряжениям  
источника питания

$$U_{ab} = U_{AB}$$

$$U_{bc} = U_{BC}$$

$$U_{ca} = U_{CA}$$

$$U_L = U_\Phi$$

Линейные токи определяются  
по фазным токам по первому  
закону Кирхгофа

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}$$

$$I_B = I_{bc} - I_{ab}$$

$$I_C = I_{ca} - I_{bc}$$

$$I_L = \sqrt{3}I_\Phi$$

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

# Мощность трехфазных цепей

## Мощность источника

---

**Мгновенная мощность трехфазного источника электрической энергии:**

$$p = p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C$$

**Среднее за период значение мощности:**

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

---

# Мощность трехфазной цепи при несимметричной нагрузке

---

**Активная мощность:**

$$\text{Y} \quad P = P_a + P_b + P_c$$

$$\Delta \quad P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca}$$

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi = R_\phi I_\phi^2$$

**Реактивная мощность:**

$$\text{Y} \quad Q = Q_a + Q_b + Q_c$$

$$\Delta \quad Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca}$$

$$Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi = X_\phi I_\phi^2$$

**Модуль полной мощности трехфазной цепи:**

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

---

## Мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке

---

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}$$

$$Q = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi} \sin \varphi_{\phi}$$

$$S = 3S_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi}$$

---

# Мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке

---

Соединение по схеме звезда:

$$U_{\phi} = \frac{U_{Л}}{\sqrt{3}} \quad I_{\phi} = I_{Л}$$

$$P = 3 \left( \frac{U_{Л}}{\sqrt{3}} \right) I_{Л} \cdot \cos \varphi_{\phi} = \\ = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} \cos \varphi_{\phi}$$

Соединение по схеме треугольник:

$$U_{\phi} = U_{Л} \quad I_{л} = I_{\phi} \sqrt{3}$$

$$P = 3 U_{Л} \left( \frac{I_{Л}}{\sqrt{3}} \right) \cdot \cos \varphi_{\phi} = \\ = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} \cos \varphi_{\phi}$$

**При симметричной нагрузке формулы мощности независимо от схемы соединения приемников одинаковы.**

---

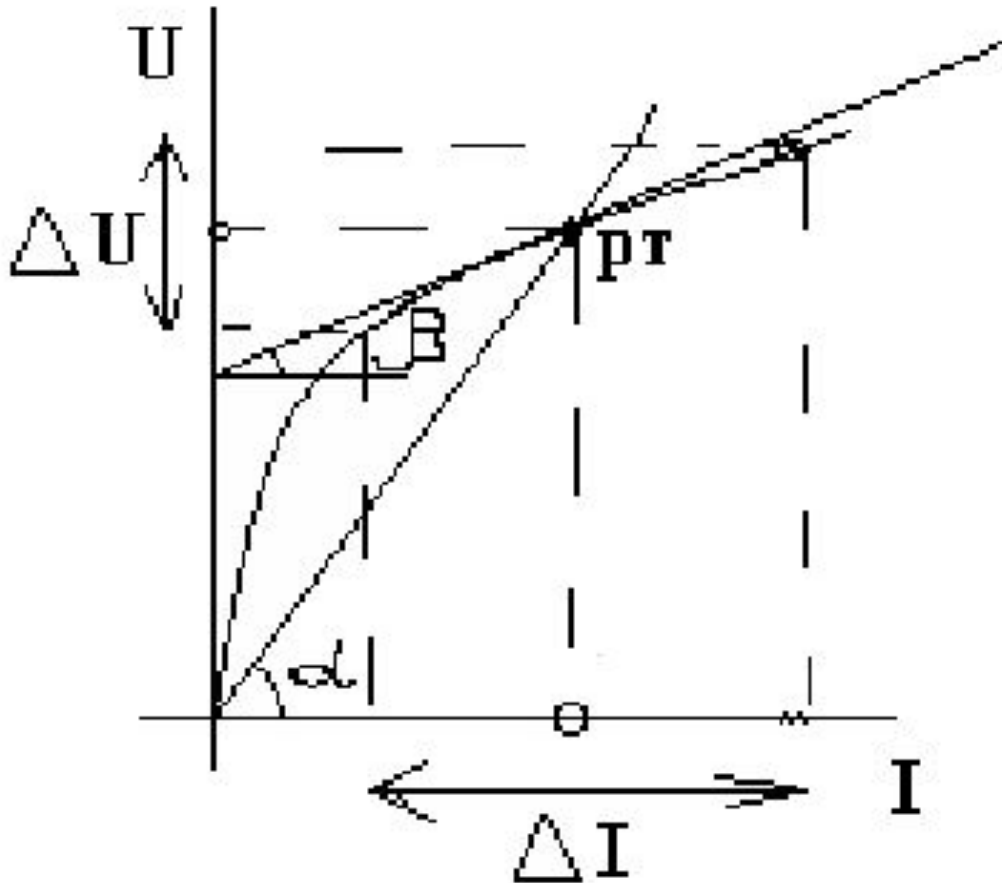
# Нелинейные элементы

---

- Полупроводниковые диоды
  - Стабилитроны
  - Термисторы
  - Транзисторы
  - Тиристоры
  - и т.д.
-



# Анализ и расчет нелинейных элементов и цепей



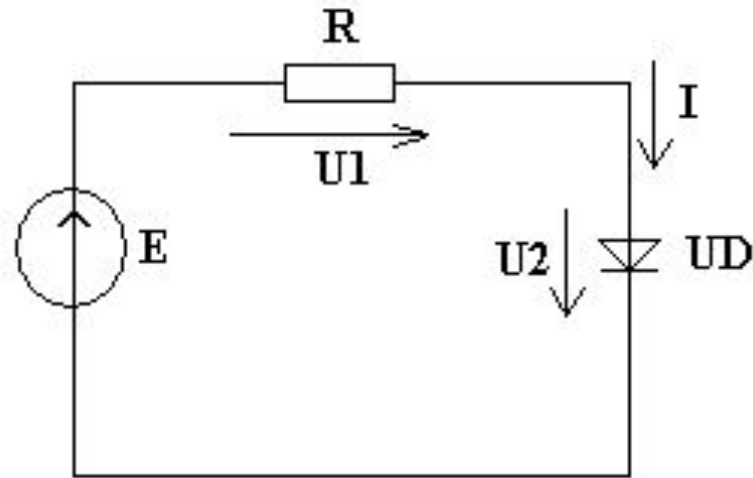
$$R_{cm} = \frac{U}{I} = m_R \operatorname{tg} \alpha$$

$$m_R = \frac{m_U}{m_I}$$

$$R_{дуф} = \frac{dU}{dI} = m_R \operatorname{tg} \beta$$

# Анализ и расчет нелинейных элементов и цепей

---



$$U_2 = E - RI$$

**Холостой ход:**

$$I = 0 \quad U_2 = E$$

**Короткое замыкание:**

$$U_2 = 0 \quad I_{кз} = \frac{E}{R}$$

---

# Анализ и расчет нелинейных элементов и цепей

---

