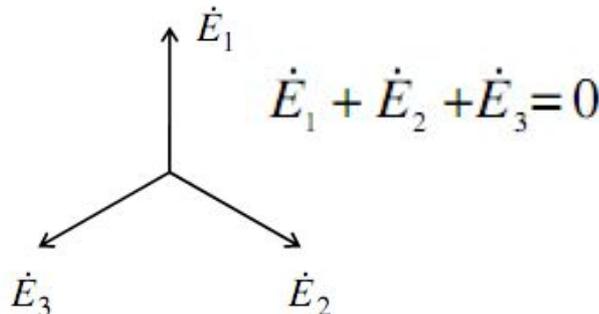


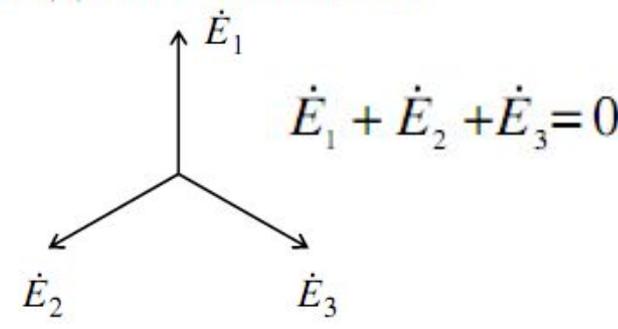
# Расчет трехфазных цепей

# Расчет трехфазных цепей

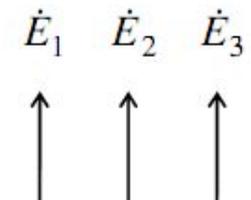
## СИММЕТРИЧНАЯ СИСТЕМА ПРЯМОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

$$\begin{aligned}
 e_1 &= E_m \sin(\omega t + \psi) & \dot{E}_1 &= E_1 e^{j\psi} \\
 e_2 &= E_m \sin(\omega t + \psi - 2\pi/3) & \dot{E}_2 &= \dot{E}_1 e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\
 e_3 &= E_m \sin(\omega t + \psi - 4\pi/3) & \dot{E}_3 &= \dot{E}_1 e^{-j\frac{4\pi}{3}}
 \end{aligned}$$


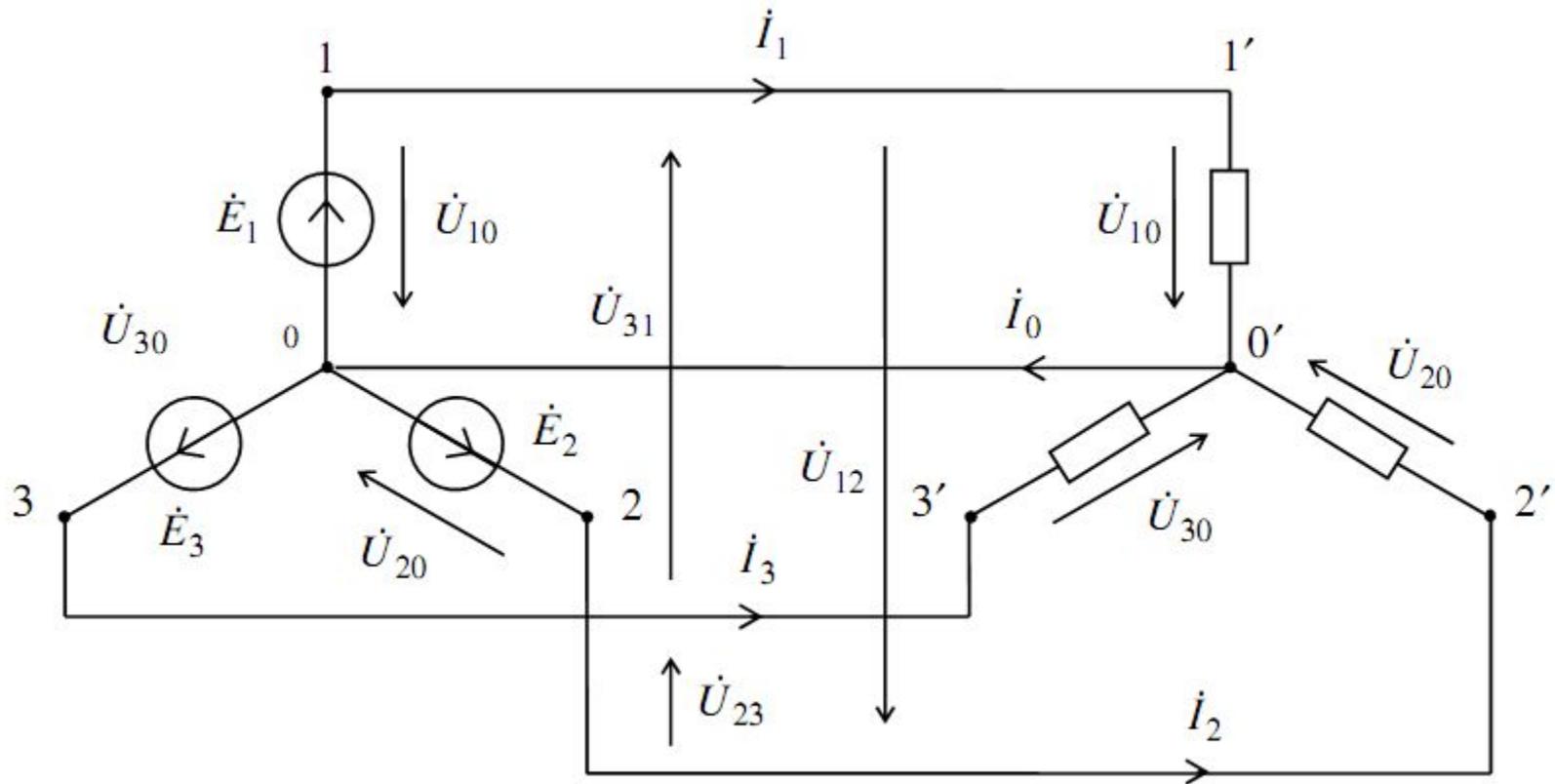
## СИММЕТРИЧНАЯ СИСТЕМА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

$$\begin{aligned}
 e_1 &= E_m \sin(\omega t + \psi) & \dot{E}_1 &= E_1 e^{j\psi} \\
 e_2 &= E_m \sin(\omega t + \psi + 2\pi/3) & \dot{E}_2 &= \dot{E}_1 e^{j\frac{2\pi}{3}} \\
 e_3 &= E_m \sin(\omega t + \psi + 4\pi/3) & \dot{E}_3 &= \dot{E}_1 e^{j\frac{4\pi}{3}}
 \end{aligned}$$


## СИММЕТРИЧНАЯ СИСТЕМА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

$$\begin{aligned}
 e_1 = e_2 = e_3 &= E_m \sin(\omega t + \psi) \\
 \dot{E}_1 = \dot{E}_2 = \dot{E}_3 &= E_1 e^{j\psi}
 \end{aligned}$$


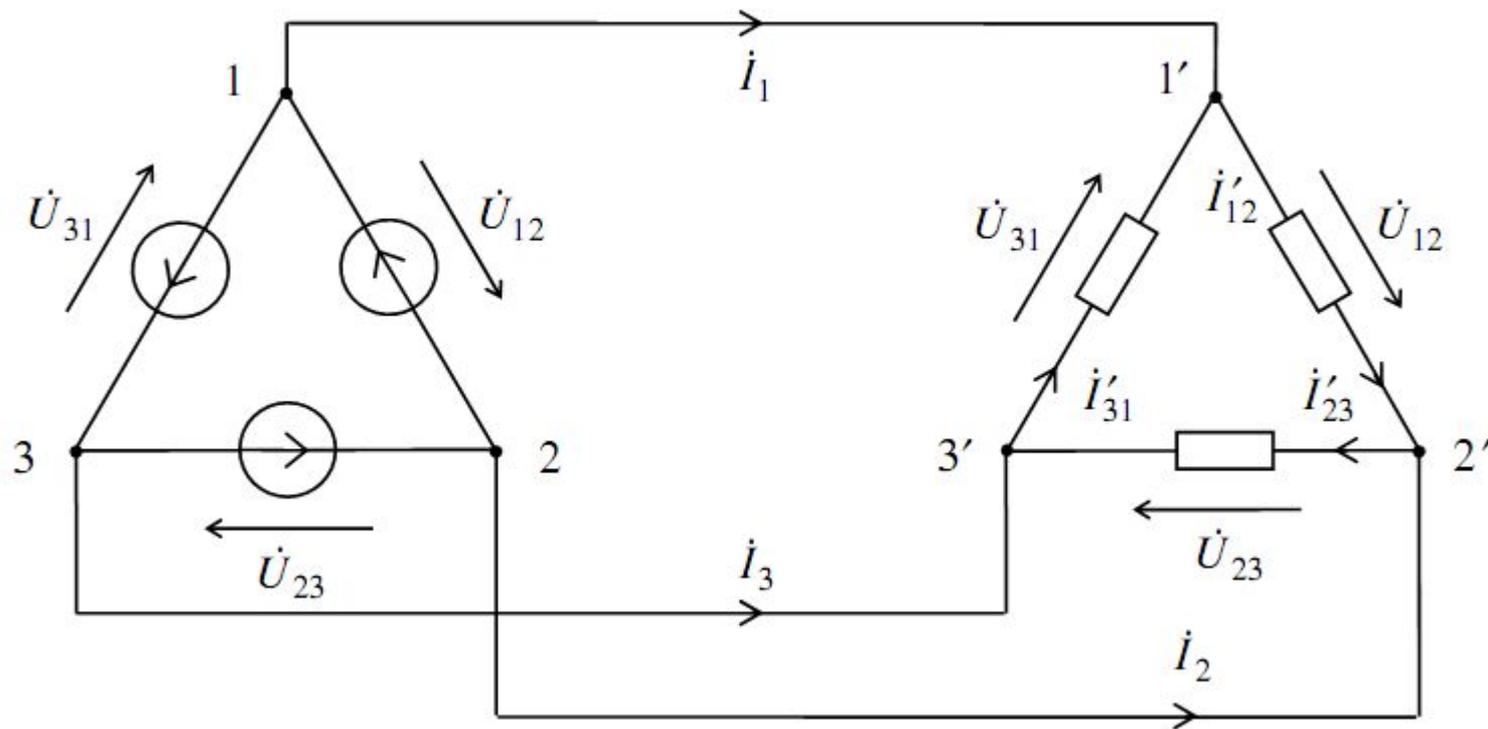
# Расчет трехфазных цепей



$$\dot{I}_{\phi} = \dot{I}_{\text{л}}$$

$$\dot{U}_{12} = \dot{U}_{10} - \dot{U}_{20}, \dot{U}_{23} = \dot{U}_{20} - \dot{U}_{30}, \dot{U}_{31} = \dot{U}_{30} - \dot{U}_{10}$$

# Расчет трехфазных цепей



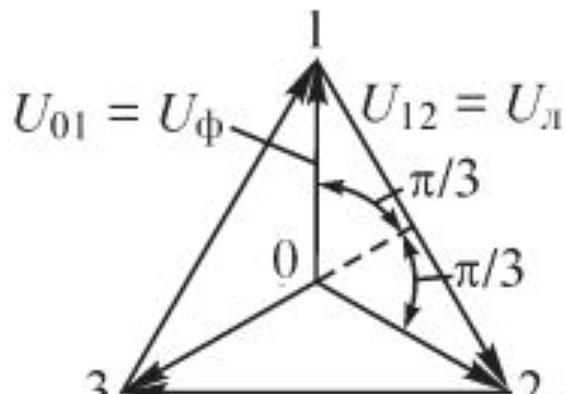
$$\dot{U}_{\phi} = \dot{U}_{.1}$$

$$i_1 = i_{12} - i_{31}, i_2 = i_{23} - i_{12}, i_3 = i_{31} - i_{23}$$

# Расчет трехфазных цепей

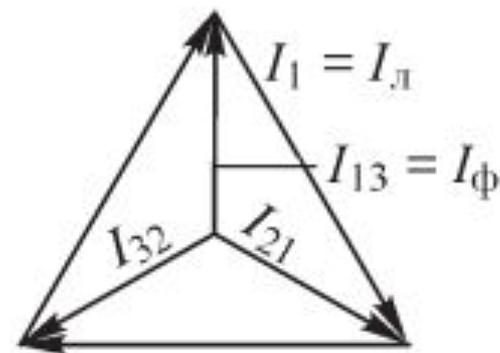
## Симметричный режим трехфазной цепи

при соединении звездой



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

при соединении треугольником



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

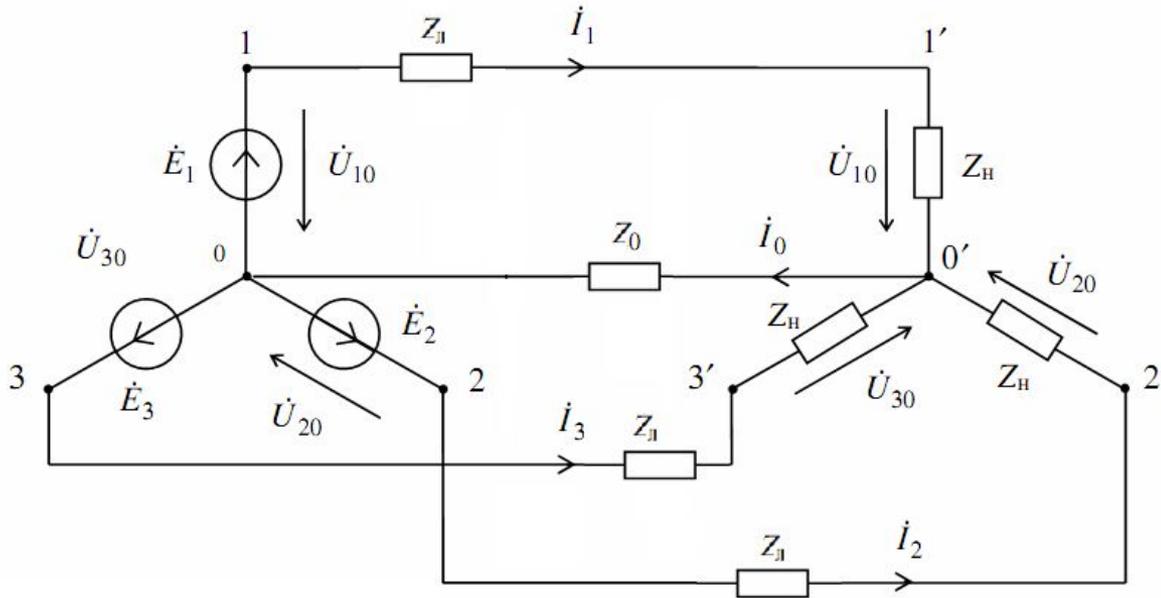
$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi$$

$$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi$$

$$S = 3 U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}$$

# Расчет трехфазных цепей

## Расчет симметричной трехфазной цепи



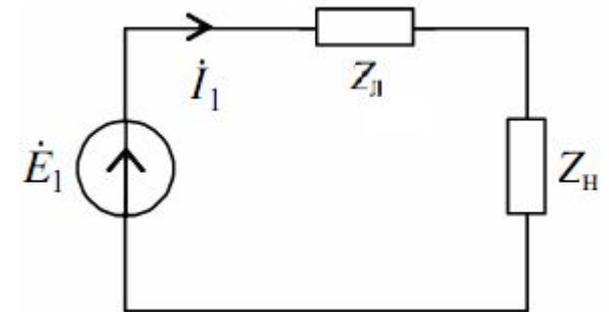
**СИММЕТРИЧНАЯ  
СИСТЕМА  
ПРЯМОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

$$\dot{E}_1 = \dot{I}_1(Z_{\text{л}} + Z_{\text{н}}) + \dot{I}_0 Z_0$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

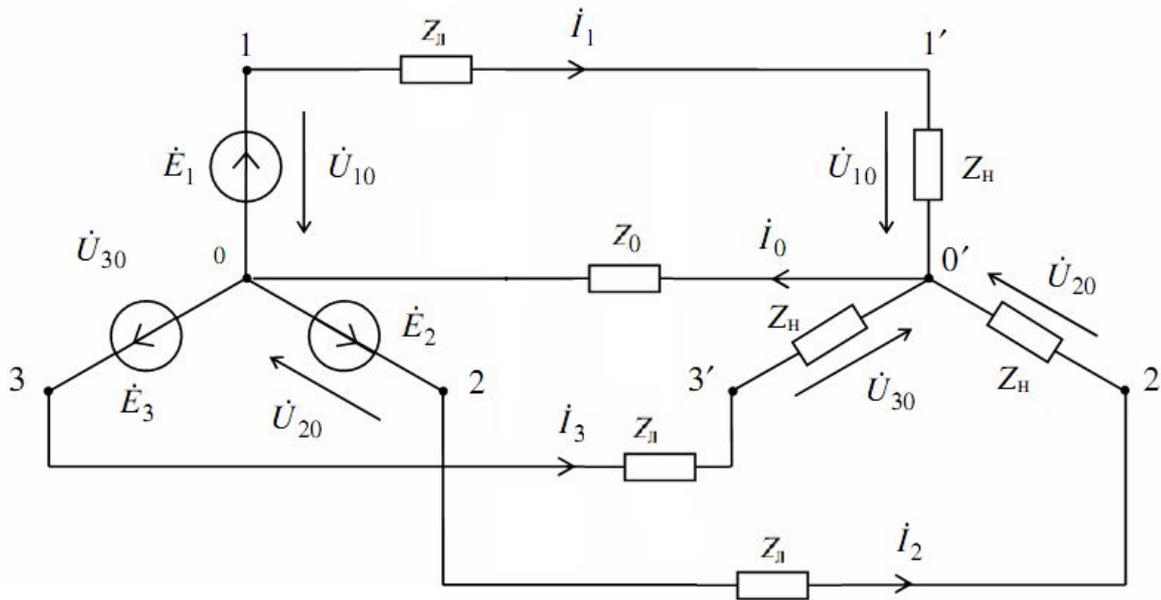
$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 e^{-j\frac{2\pi}{3}}, \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_1 e^{-j\frac{4\pi}{3}} = \dot{I}_1 e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1}{Z_{\text{л}} + Z_{\text{н}}}$$



# Расчет трехфазных цепей

## Расчет симметричной трехфазной цепи



**СИММЕТРИЧНАЯ  
СИСТЕМА  
НУЛЕВОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ**

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = \dot{E}_3$$

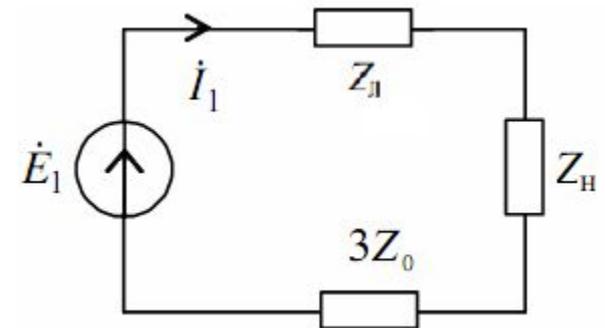
$$\dot{i}_1 = \dot{i}_2 = \dot{i}_3$$

$$\dot{i}_0 = \dot{i}_1 + \dot{i}_2 + \dot{i}_3 = 3\dot{i}_1$$

$$\dot{E}_1 = \dot{i}_1(Z_{\text{л}} + Z_{\text{H}}) + \dot{i}_0 Z_0$$

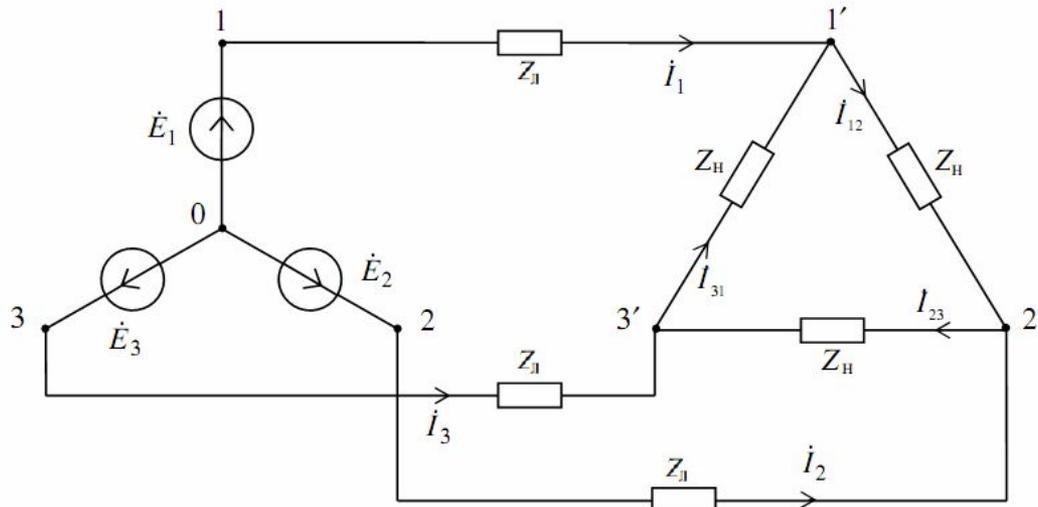
$$\dot{E}_1 = \dot{i}_1(Z_{\text{л}} + Z_{\text{H}}) + 3\dot{i}_1 Z_0$$

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{E}_1}{Z_{\text{л}} + 3Z_0 + Z_{\text{H}}}$$



# Расчет трехфазных цепей

## Расчет симметричной трехфазной цепи



$$Z = \frac{Z_H \cdot Z_H}{Z_H + Z_H + Z_H} = \frac{Z_H}{3}$$

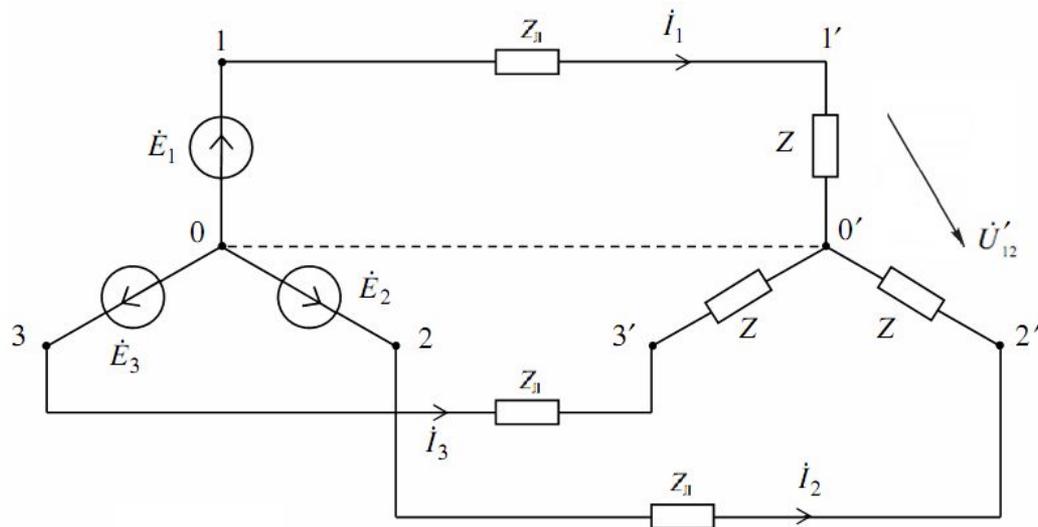
$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{E}_1}{Z_l + Z_H/3}$$

$$\dot{U}'_{12} = Z \cdot \dot{i}_1 - Z \cdot \dot{i}_2 =$$

$$= Z \cdot \dot{i}_1 \left(1 - e^{-j\frac{2\pi}{3}}\right) = \frac{\sqrt{3}}{3} Z \cdot \dot{i}_1 e^{j\frac{\pi}{6}}$$

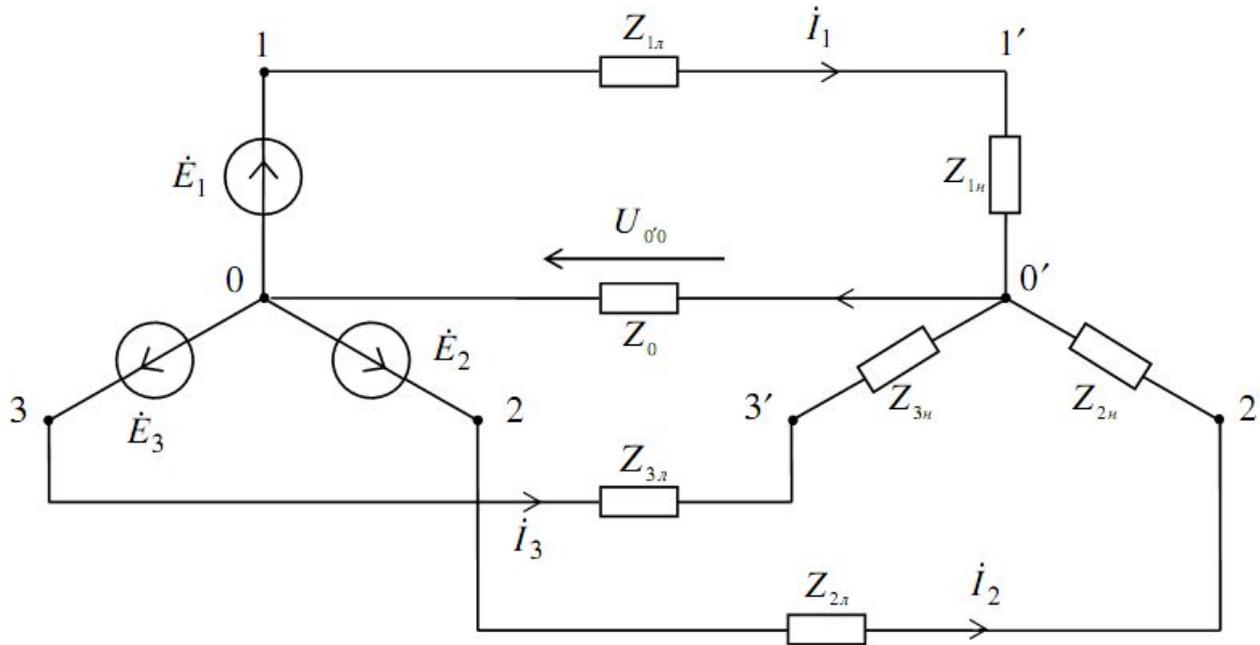
$$\dot{i}_{12} = \frac{\dot{U}'_{12}}{Z} = \frac{\dot{E}_1}{Z_l + Z_H/3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} e^{j\frac{\pi}{6}}$$

$$\dot{i}_{23} = \dot{i}_{12} e^{-j\frac{2\pi}{3}}, \quad \dot{i}_{31} = \dot{i}_{12} e^{-j\frac{4\pi}{3}}$$



# Расчет трехфазных цепей

## Расчет несимметричной трехфазной цепи



$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{0'0}}{Z_{1л} + Z_{1н}}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{0'0}}{Z_{2л} + Z_{2н}}$$

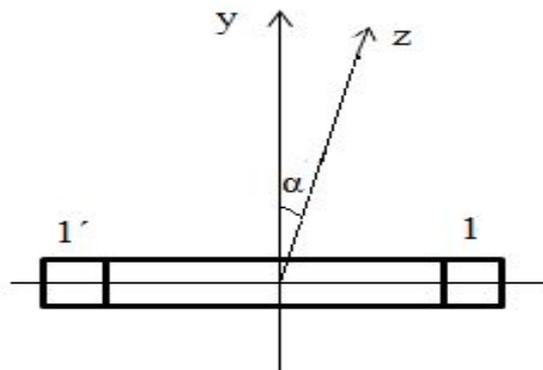
$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_3 - \dot{U}_{0'0}}{Z_{3л} + Z_{3н}}$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3$$

$$\dot{U}_{0'0} = \frac{\dot{E}_1 \frac{1}{Z_{1л} + Z_{1н}} + \dot{E}_2 \frac{1}{Z_{2л} + Z_{2н}} + \dot{E}_3 \frac{1}{Z_{3л} + Z_{3н}}}{\frac{1}{Z_{1л} + Z_{1н}} + \frac{1}{Z_{2л} + Z_{2н}} + \frac{1}{Z_{3л} + Z_{3н}} + \frac{1}{Z_0}}$$

# Расчет трехфазных цепей

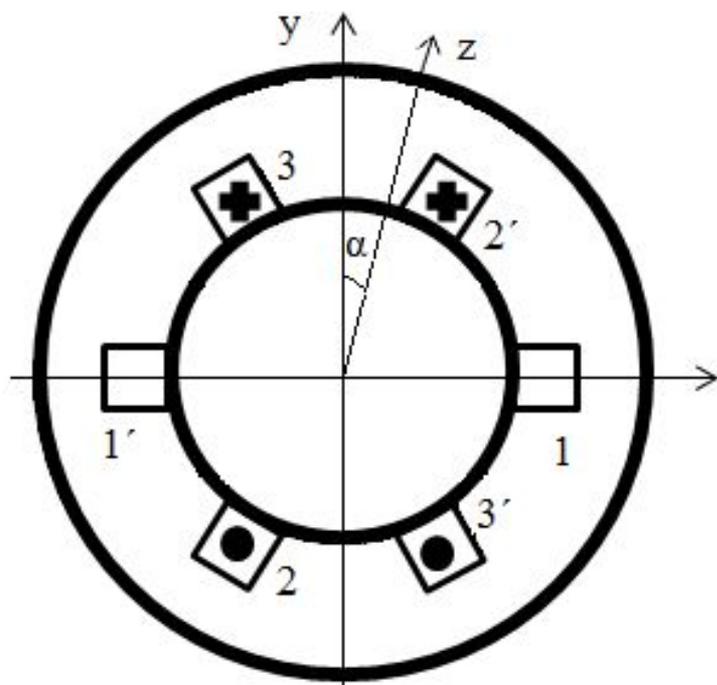
## Получение вращающегося магнитного поля



$$i_1 = I_m \sin(\omega t)$$

$$B_{1y} = B_m \sin(\omega t)$$

$$B_{1z} = B_{1y} \cos \alpha = B_m \sin(\omega t) \cos \alpha$$



$$i_1 = I_m \sin(\omega t)$$

$$i_2 = I_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$i_3 = I_m \sin(\omega t + 2\pi/3)$$

$$B_1 = B_m \sin(\omega t) \cos \alpha$$

$$B_2 = B_m \sin(\omega t - 2\pi/3) \cos(\alpha + 2\pi/3)$$

$$B_3 = B_m \sin(\omega t + 2\pi/3) \cos(\alpha - 2\pi/3)$$

# Расчет трехфазных цепей

## Получение вращающегося магнитного поля

$$B = B_1 + B_2 + B_3$$

$$B = \frac{B_m}{2} \left[ 3 \cos(\omega t + \alpha) + \cos(\omega t - \alpha) + \right. \\ \left. + \cos\left(\omega t - \alpha - \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(\omega t - \alpha - \frac{8\pi}{3}\right) \right] = \frac{3}{2} B_m \cos(\omega t + \alpha)$$

$$\alpha = -\omega t + \alpha_0$$

$$B = \frac{3}{2} B_m \cos(\omega t + \alpha) = \frac{3}{2} B_m \cos \alpha_0 = \text{const}$$

# Расчет трехфазных цепей

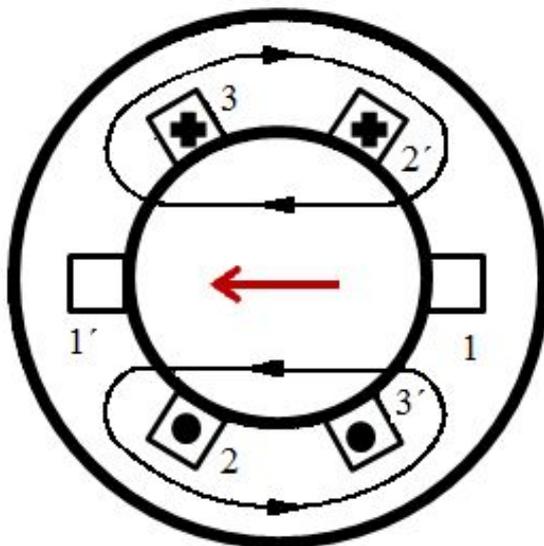
## Получение вращающегося магнитного поля

$$\omega t = 0$$

$$i_1 = I_m \sin(\omega t) = 0$$

$$i_2 = I_m \sin(\omega t - 2\pi/3) < 0$$

$$i_3 = I_m \sin(\omega t + 2\pi/3) > 0$$

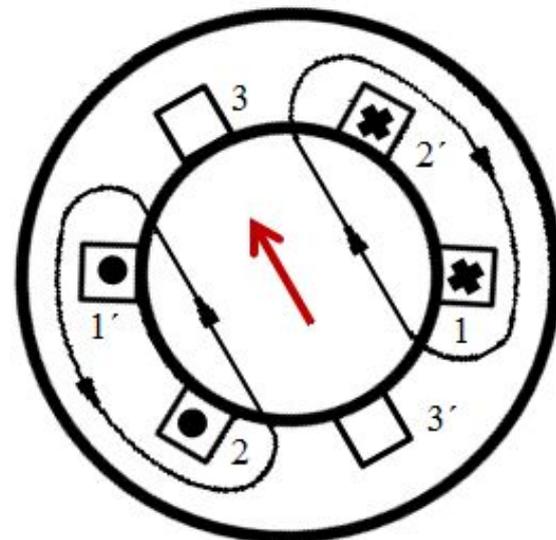


$$\omega t = \pi/3$$

$$i_1 = I_m \sin(\omega t) > 0$$

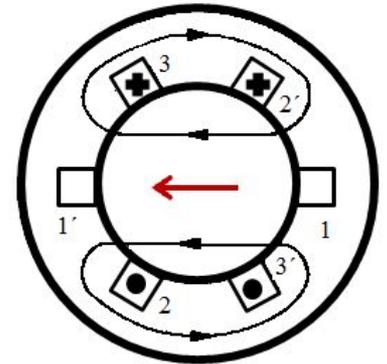
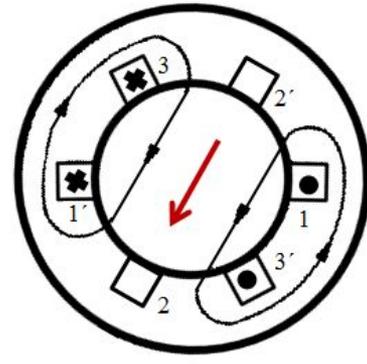
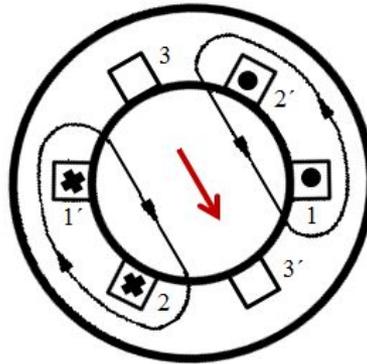
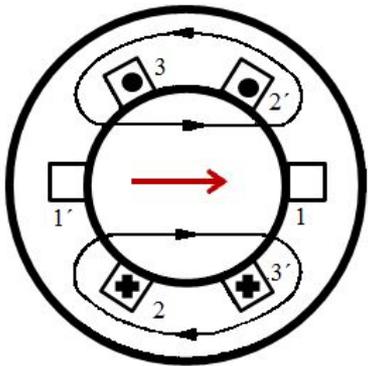
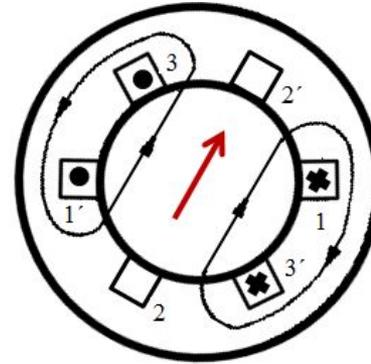
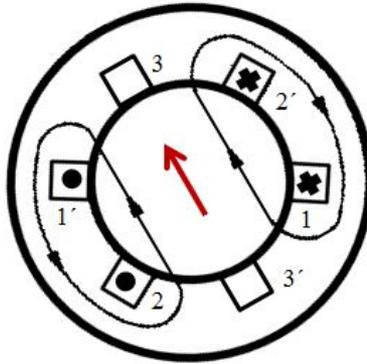
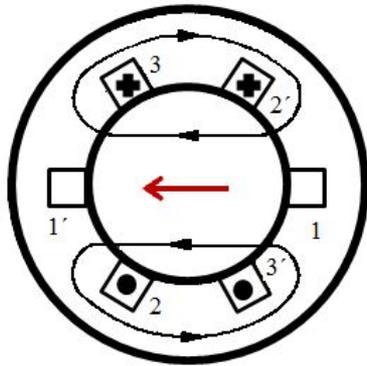
$$i_2 = I_m \sin(\omega t - 2\pi/3) < 0$$

$$i_3 = I_m \sin(\omega t + 2\pi/3) = 0$$



# Расчет трехфазных цепей

## Получение вращающегося магнитного поля



# Расчет трехфазных цепей

## Метод симметричных составляющих

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^3 = e^{j2\pi} = 1; \quad a^4 = a \quad \text{и} \quad 1 + a + a^2 = 0$$

нулевой последовательности  $\dot{E}_0, \dot{E}_0, \dot{E}_0$

прямой последовательности  $\dot{E}_1, a^2\dot{E}_1, a\dot{E}_1$

обратной последовательности  $\dot{E}_2, a\dot{E}_2, a^2\dot{E}_2$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{E}_A = \dot{E}_0 + \dot{E}_1 + \dot{E}_2 \\ \dot{E}_B = \dot{E}_0 + a^2\dot{E}_1 + a\dot{E}_2 \\ \dot{E}_C = \dot{E}_0 + a\dot{E}_1 + a^2\dot{E}_2 \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} + \\ + \\ + \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} a \\ a^2 \\ a \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} + \\ + \\ + \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \dot{E}_0 = \frac{1}{3}(\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) \\ \dot{E}_1 = \frac{1}{3}(\dot{E}_A + a\dot{E}_B + a^2\dot{E}_C) \\ \dot{E}_2 = \frac{1}{3}(\dot{E}_A + a^2\dot{E}_B + a\dot{E}_C) \end{array} \right.$$