

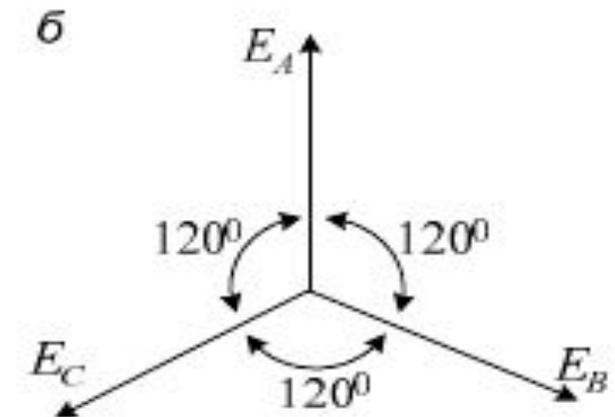
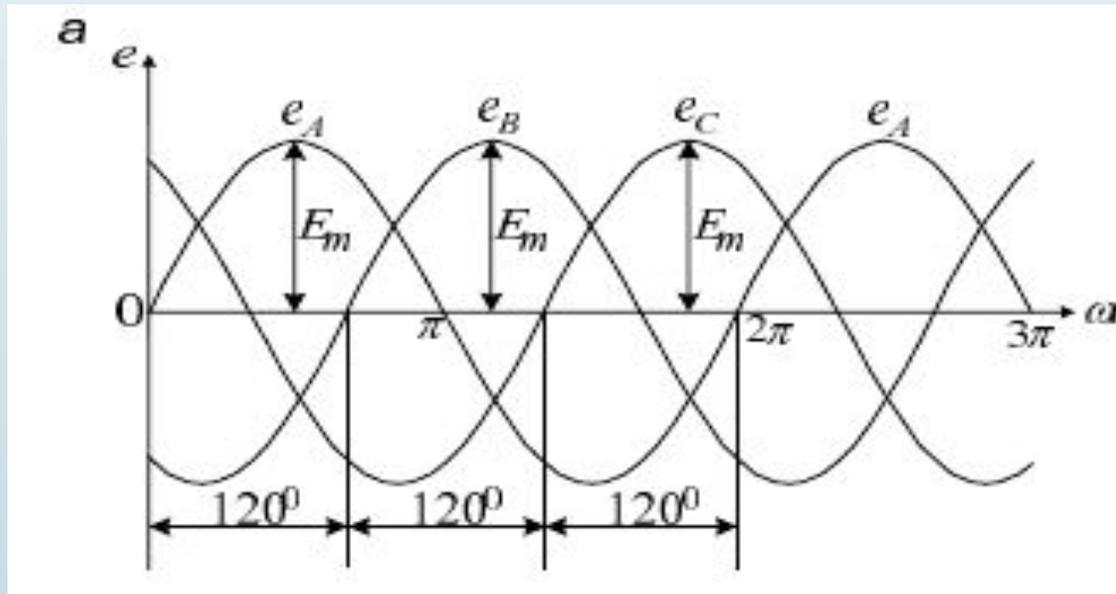
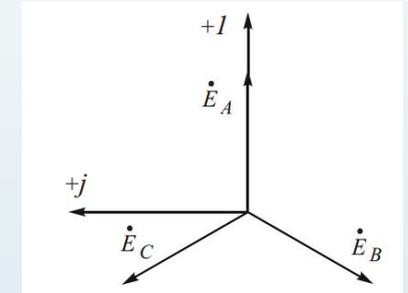
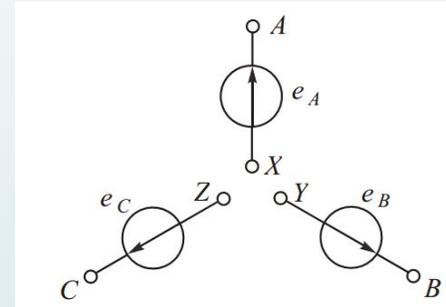


Трёхфазные цепи

Трехфазная система ЭДС

$$\begin{cases} e_A = E_m \sin \omega t; \\ e_B = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \\ e_C = E_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right). \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{E}_{Am} = \dot{E}_m = E_m; \\ \dot{E}_{Bm} = \dot{E}_{Am} e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E_m e^{-j\frac{2\pi}{3}}; \\ \dot{E}_{Cm} = \dot{E}_{Am} e^{-j\frac{4\pi}{3}} = E_m e^{-j\frac{4\pi}{3}}. \end{cases}$$

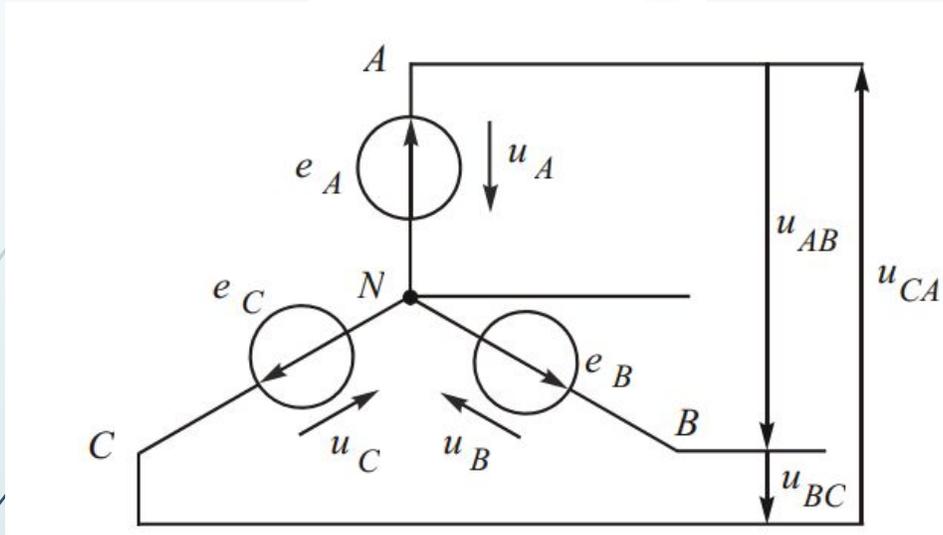
Буквами A, B, C обозначают начала фаз обмоток; X, Y, Z – их концы.



Способы соединения фаз обмоток генератора

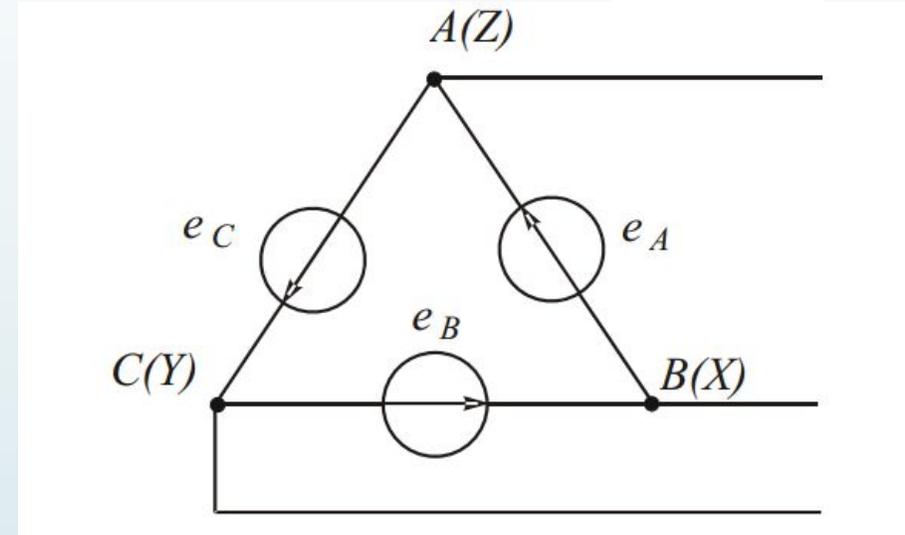
Звезда

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



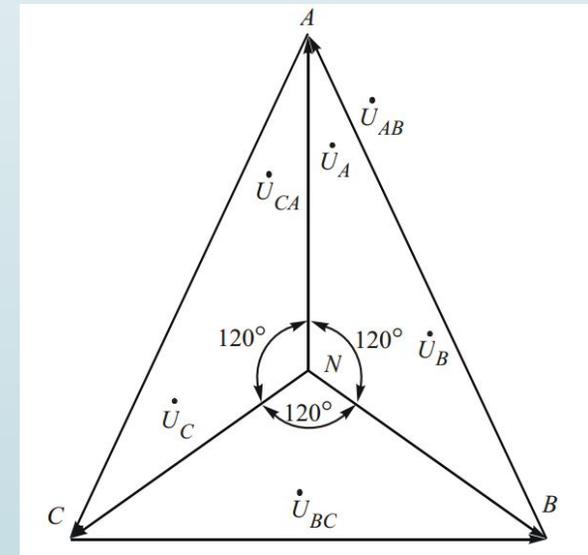
Треугольник

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$$



Обычно обмотки генератора соединяют звездой.
 Напряжения между началом и концом фазы называют *фазными* (u_A , u_B и u_C),
 а напряжения между началами фаз генератора – *линейными*
 (u_{AB} , u_{BC} , u_{CA})

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$



Способы соединения приемников

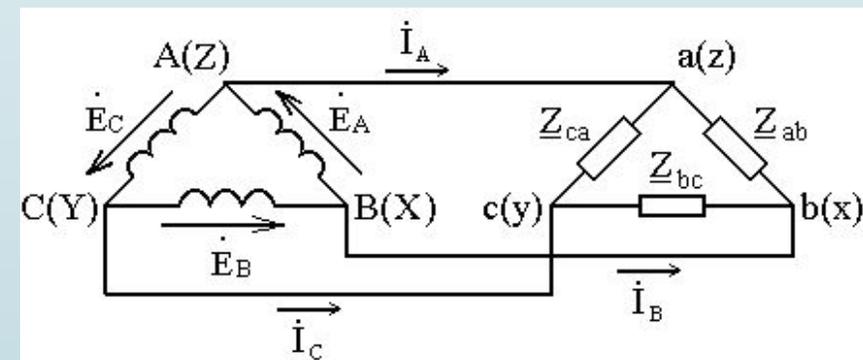
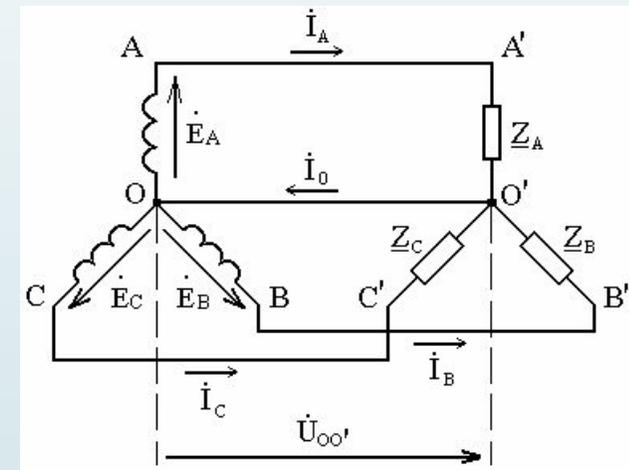
Трехфазные приемники могут быть симметричными и несимметричными.

У симметричных приемников равны между собой комплексные сопротивления фаз:

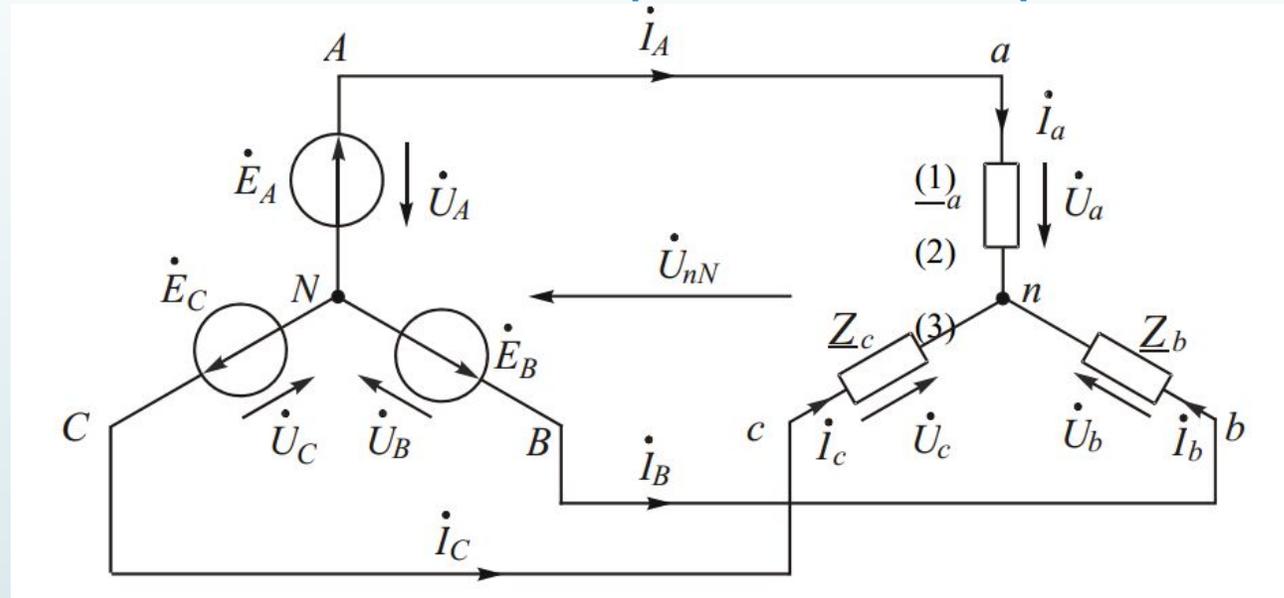
$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c.$$

У несимметричного приемника нагрузка может быть равномерной, если сопротивления фаз равны между собой по величине (по модулю).

$\Delta \rightarrow \gamma$	$\gamma \rightarrow \Delta$
$\underline{Z}_A = \frac{\underline{Z}_{ab} \underline{Z}_{ca}}{\underline{Z}_{ab} + \underline{Z}_{bc} + \underline{Z}_{ca}}$	$\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_A + \underline{Z}_B + \frac{\underline{Z}_A \underline{Z}_B}{\underline{Z}_C}$
$\underline{Z}_B = \frac{\underline{Z}_{bc} \underline{Z}_{ab}}{\underline{Z}_{ab} + \underline{Z}_{bc} + \underline{Z}_{ca}}$	$\underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_B + \underline{Z}_C + \frac{\underline{Z}_B \underline{Z}_C}{\underline{Z}_A}$
$\underline{Z}_C = \frac{\underline{Z}_{ca} \underline{Z}_{bc}}{\underline{Z}_{ab} + \underline{Z}_{bc} + \underline{Z}_{ca}}$	$\underline{Z}_{ca} = \underline{Z}_C + \underline{Z}_A + \frac{\underline{Z}_C \underline{Z}_A}{\underline{Z}_B}$



Соединение звездой (трехпроводной/ несимметричный приемник)



$$\dot{U}_{nN} = \frac{\underline{Y}_a \dot{U}_A + \underline{Y}_b \dot{U}_B + \underline{Y}_c \dot{U}_C}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c},$$

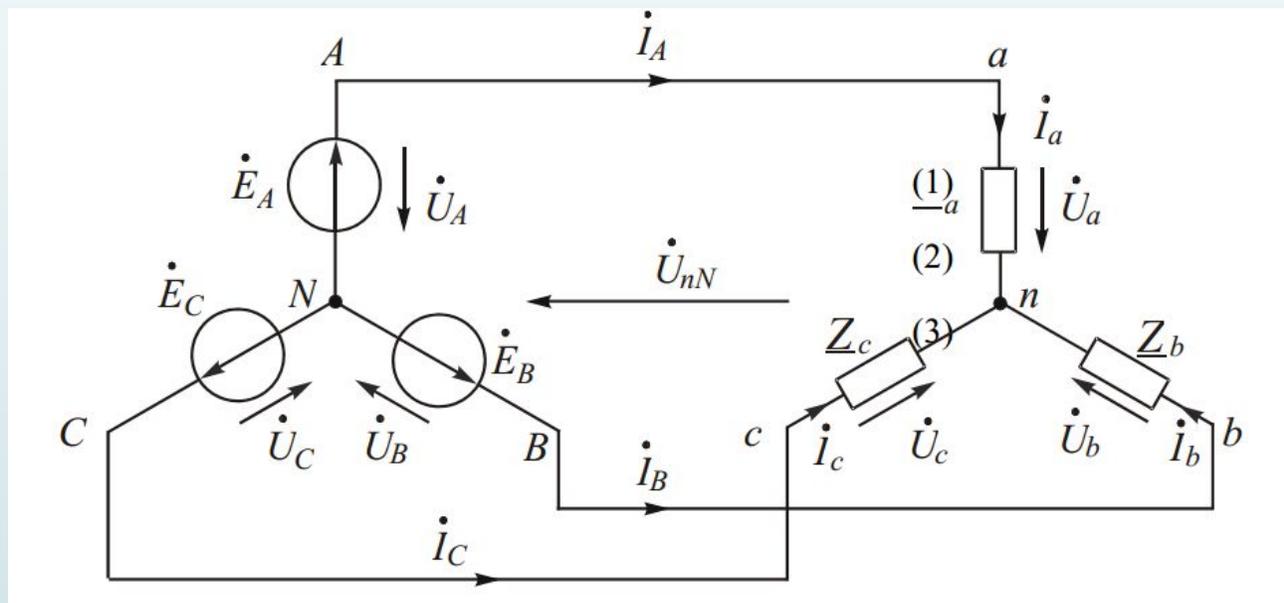
$$\underline{Y}_a = \frac{1}{\underline{Z}_a}, \underline{Y}_b = \frac{1}{\underline{Z}_b}, \underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \underline{Y}_a (\dot{U}_A - \dot{U}_{nN}); \dot{I}_B = \dot{I}_b = \underline{Y}_b (\dot{U}_B - \dot{U}_{nN}); \dot{I}_C = \dot{I}_c = \underline{Y}_c (\dot{U}_C - \dot{U}_{nN}).$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \underline{Y}_a \dot{U}_a; \dot{I}_B = \dot{I}_b = \underline{Y}_b \dot{U}_b; \dot{I}_C = \dot{I}_c = \underline{Y}_c \dot{U}_c. \quad \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0,$$

Соединение звездой (трехпроводной/ симметричный приемник)

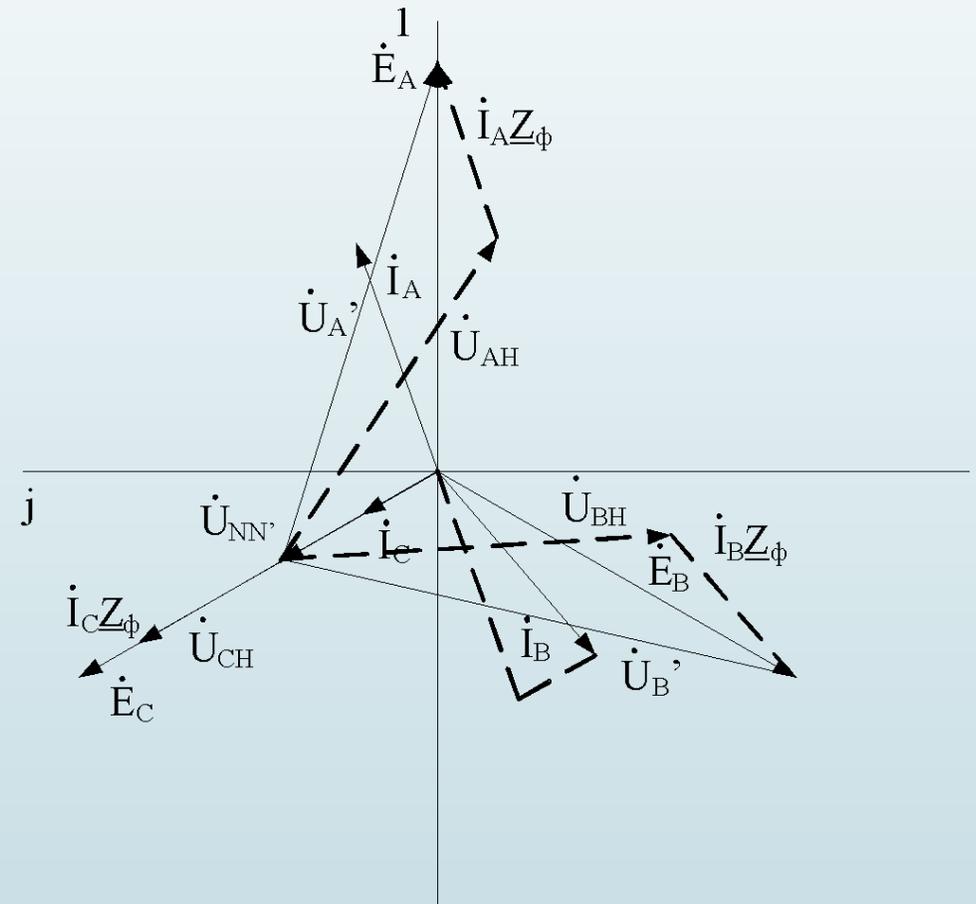
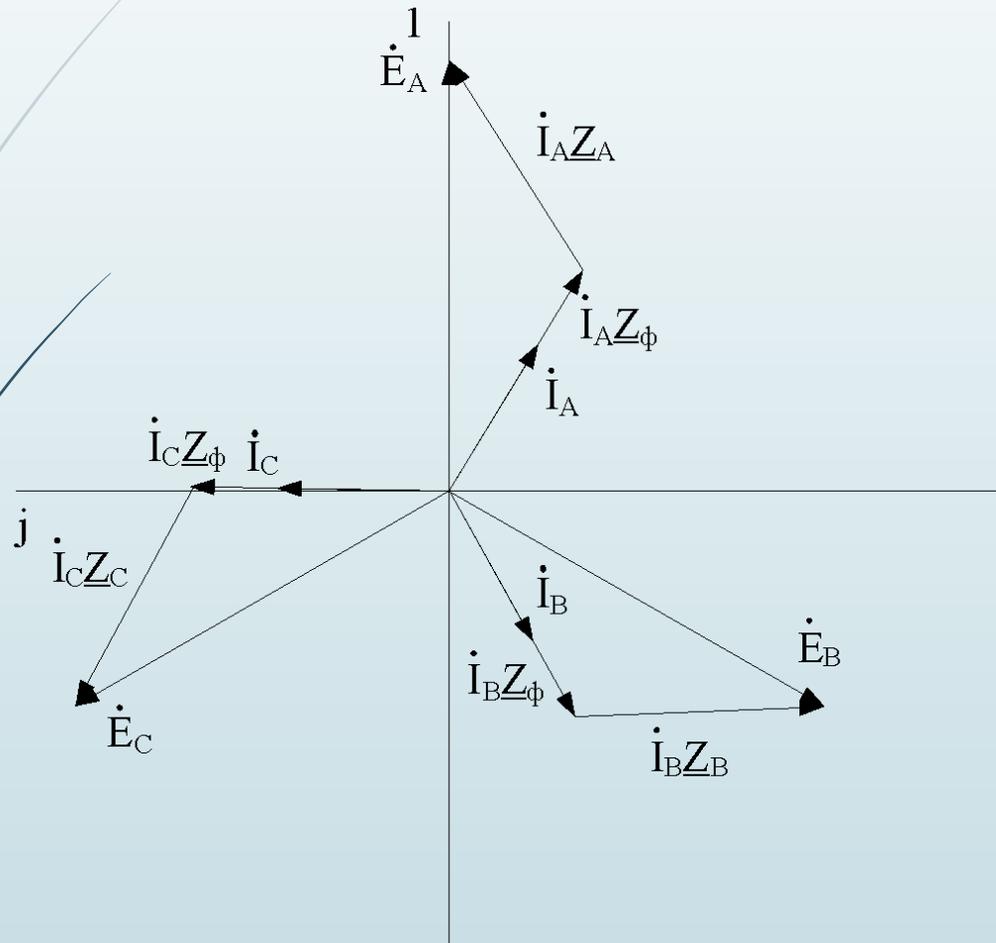
$$(\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = \underline{Z}, \underline{Y}_a = \underline{Y}_b = \underline{Y}_c = \underline{Y})$$



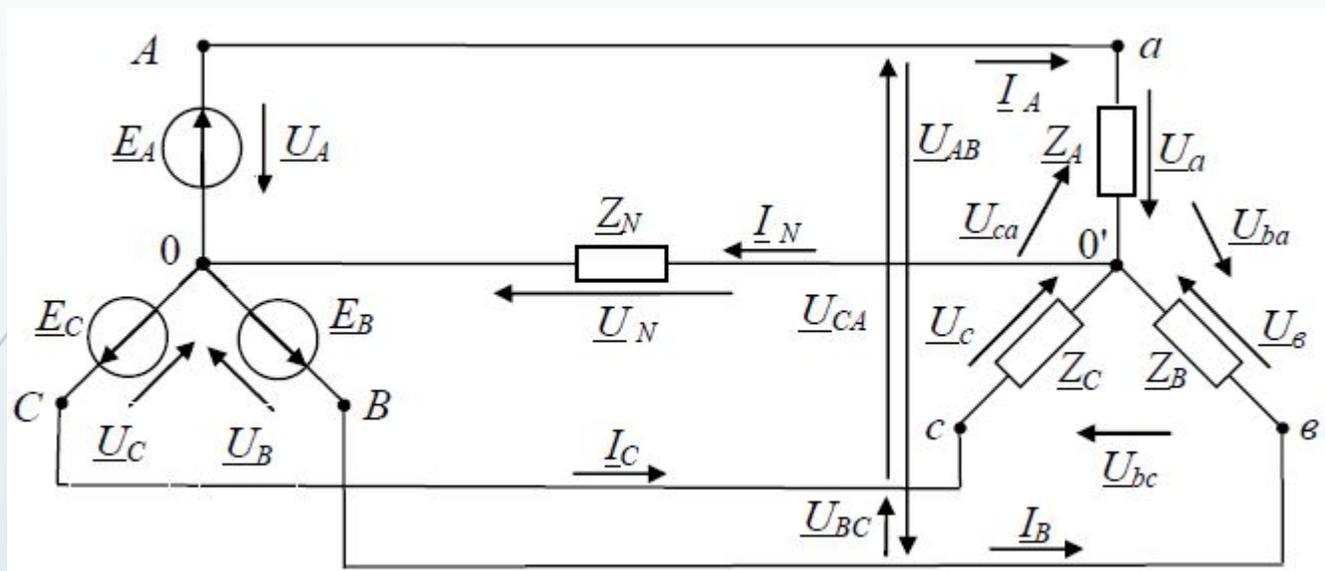
$$\dot{U}_{nN} = \frac{\underline{Y}(\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C)}{3\underline{Y}} = 0.$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_a}; \dot{I}_B = \dot{I}_A e^{-j120^\circ}; \dot{I}_C = \dot{I}_A e^{j120^\circ}.$$

ВД (симметричный и несимметричный режимы)



Соединение звездой (с нейтральным проводом)

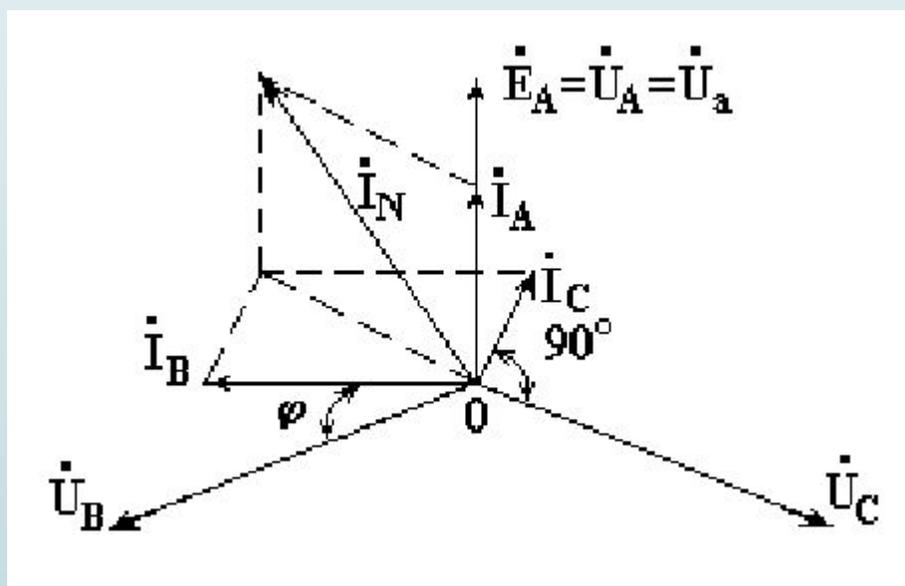


$$\dot{U}_{NN} = \frac{\dot{E}_A \cdot \frac{1}{Z_A} + \dot{E}_B \cdot \frac{1}{Z_B} + \dot{E}_C \cdot \frac{1}{Z_C}}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_N}}$$

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_{NN}}{Z_A} = \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_{NN}}{Z_A} = \frac{\dot{U}_a}{Z_A},$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_{NN}}{Z_B} = \frac{\dot{U}_B - \dot{U}_{NN}}{Z_B} = \frac{\dot{U}_b}{Z_B},$$

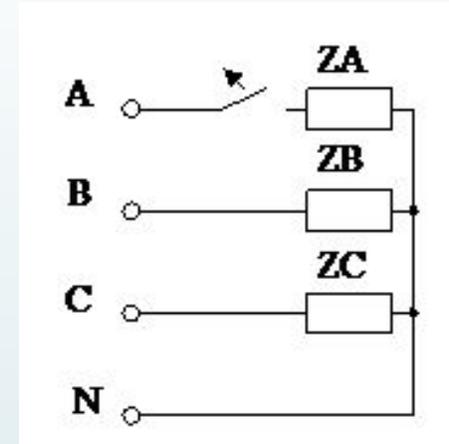
$$\dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_{NN}}{Z_C} = \frac{\dot{U}_C - \dot{U}_{NN}}{Z_C} = \frac{\dot{U}_c}{Z_C}.$$



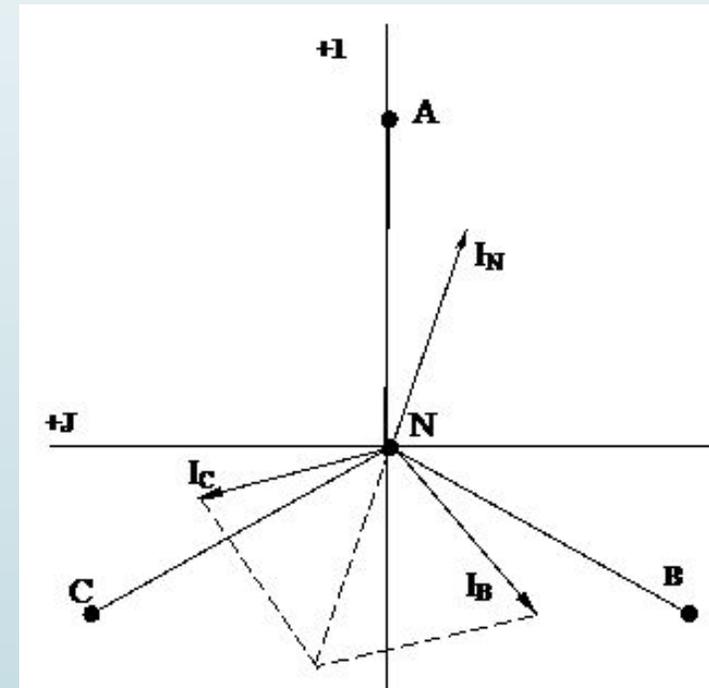
$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{NN}}{Z_N}$$

Аварийные режимы. Обрыв фазы.

Обрыв фазы	
	Изменится ток нулевого провода, в двух оставшихся фазах изменений нет
	Нагрузки оставшихся фаз включены последовательно к одному линейному напряжению, ток в них один, напряжения распределяются пропорционально сопротивлениям.
	Изменяются токи линейных проводов, связанных с оборванной фазой.



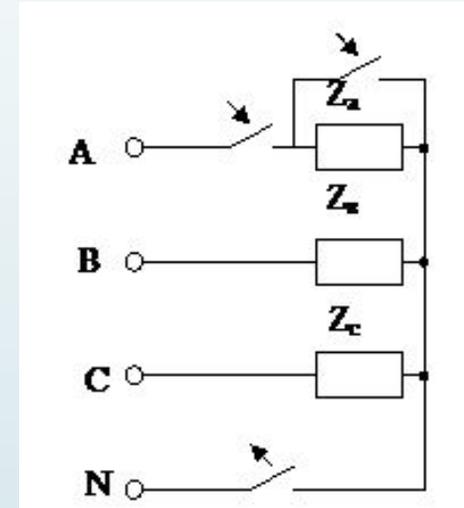
$$I_A = 0; \underline{Z}_A = \infty$$



Аварийные режимы. КЗ фазы.

$$Z_A = 0; \dot{U}_{AH} = 0$$

Короткое замыкание фазы	
	Авария
	Напряжение короткозамкнутой фазы нулевое, ток в ней в три раза больше против нормального, напряжения других фаз становятся равными линейным (увеличатся в $\sqrt{3}$ раз), токи больше в $\sqrt{3}$ раз.
	Изменяются токи линейных проводов, связанных с короткозамкнутой фазой.



Мощность в трехфазной цепи

В трехфазных цепях различают те же мощности, что и в однофазных: мгновенную p , активную P , реактивную Q и полную S .

Потребляемой является активная мощность. Активную мощность фазы проще всего определить по формуле

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} \text{ или } P_{\phi} = R_{\phi} I_{\phi}^2.$$

Реактивную мощность фазы ищут следующим образом:

$$Q_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi} \text{ или } Q_{\phi} = X_{\phi} I_{\phi}^2.$$

Полную мощность трехфазной цепи вычисляют как гипотенузу суммарного треугольника мощностей:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(\sum P_{\phi})^2 + (\sum Q_{\phi})^2}.$$

$$P = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\phi}; \quad Q = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi_{\phi}; \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}.$$

Баланс мощностей

Равномерная нагрузка		Неравномерная нагрузка	
	$P = 3P_\phi = \sqrt{3}U_{л}I_{л}\cos\varphi_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos\varphi_\phi = 3R_\phi I_\phi^2 = \frac{3U_\phi^2}{R_\phi} = \frac{U_{л}^2}{R_\phi}$		$P = P_a + P_b + P_c = U_a I_a \cos\varphi_a + U_b I_b \cos\varphi_b + U_c I_c \cos\varphi_c$
	$Q = 3Q_\phi = \sqrt{3}U_{л}I_{л}\sin\varphi_\phi = 3U_\phi I_\phi \sin\varphi_\phi = 3X_\phi I_\phi^2 = \frac{3U_\phi^2}{X_\phi} = \frac{U_{л}^2}{X_\phi}$		$Q = Q_a + Q_b + Q_c = U_a I_a \sin\varphi_a + U_b I_b \sin\varphi_b + U_c I_c \sin\varphi_c$
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л} = 3U_\phi I_\phi$		$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л} = 3U_{л}I_\phi$		$S = (P_{ab} + P_{bc} + P_{ca}) + j(Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca})$
	$S = \sqrt{3}U_{л}I_{л} = 3U_{л}I_\phi$		$S = (P_{ab} + P_{bc} + P_{ca}) + j(Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca})$

Мощность источника

Симметричная нагрузка	Несимметричная нагрузка
$\dot{S}_u = 3\dot{E}_\phi^* I_\phi$	$\dot{S}_u = \dot{E}_A^* I_A + \dot{E}_B^* I_B + \dot{E}_C^* I_C$

