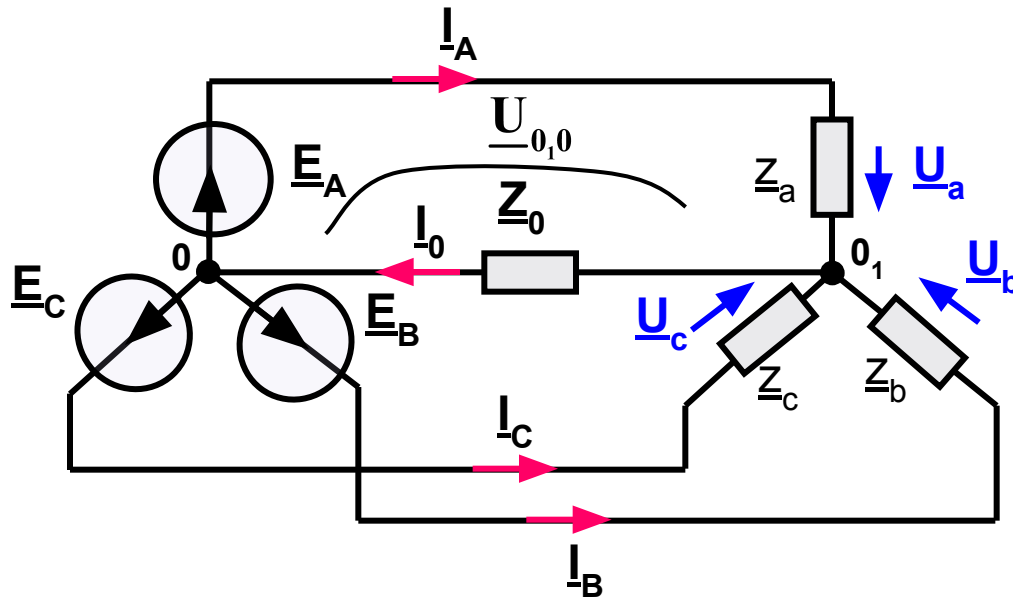


Расчет трехфазных несимметричных электрической цепи при статической нагрузке.

Соединение звезда-звезда с нулевым проводом.



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

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

$$\underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_c} \quad \underline{Y}_0 = \frac{1}{\underline{Z}_0}$$

Случай 1. Сопротивление в нейтральном проводе равно нулю ($Y = \infty$).

$$\underline{U}_{0_1 0} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + Y_0} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\infty} = 0$$

$$\underline{\underline{U}}_a = \underline{\underline{E}}_A - \underline{\underline{U}}_{0,0} = \underline{\underline{E}}_A$$

$$\underline{\underline{U}}_b = \underline{\underline{E}}_B - \underline{\underline{U}}_{0,0} = \underline{\underline{E}}_B$$

$$\underline{\underline{U}}_c = \underline{\underline{E}}_C - \underline{\underline{U}}_{0,0} = \underline{\underline{E}}_C$$

$$\underline{\underline{I}}_A = \frac{\underline{\underline{E}}_A}{\underline{\underline{Z}}_a}$$

$$\underline{\underline{I}}_b = \frac{\underline{\underline{E}}_B}{\underline{\underline{Z}}_b}$$

$$\underline{\underline{I}}_c = \frac{\underline{\underline{E}}_C}{\underline{\underline{Z}}_c}$$

$$-\underline{\underline{I}}_0 + \underline{\underline{I}}_A + \underline{\underline{I}}_B + \underline{\underline{I}}_C = 0 \quad \Longrightarrow$$

$$\underline{\underline{I}}_A + \underline{\underline{I}}_B + \underline{\underline{I}}_C = \underline{\underline{I}}_0$$

Токи в фазах нагрузки

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_H} = \frac{\underline{E}_{AB}}{\underline{Z}_H}$$

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{bc}}{\underline{Z}_H} = \frac{\underline{E}_{BC}}{\underline{Z}_H}$$

$$\underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_H} = \frac{\underline{E}_{CA}}{\underline{Z}_H}$$

Если нагрузка симметричная, то расчет можно вести на одну фазу, например А. Токи в двух других фазах найдутся по формулам:

$$\underline{I}_{bc} = \underline{I}_{ab} \angle -120^\circ$$

$$\underline{I}_{ca} = \underline{I}_{ab} \angle +120^\circ$$

Линейные токи

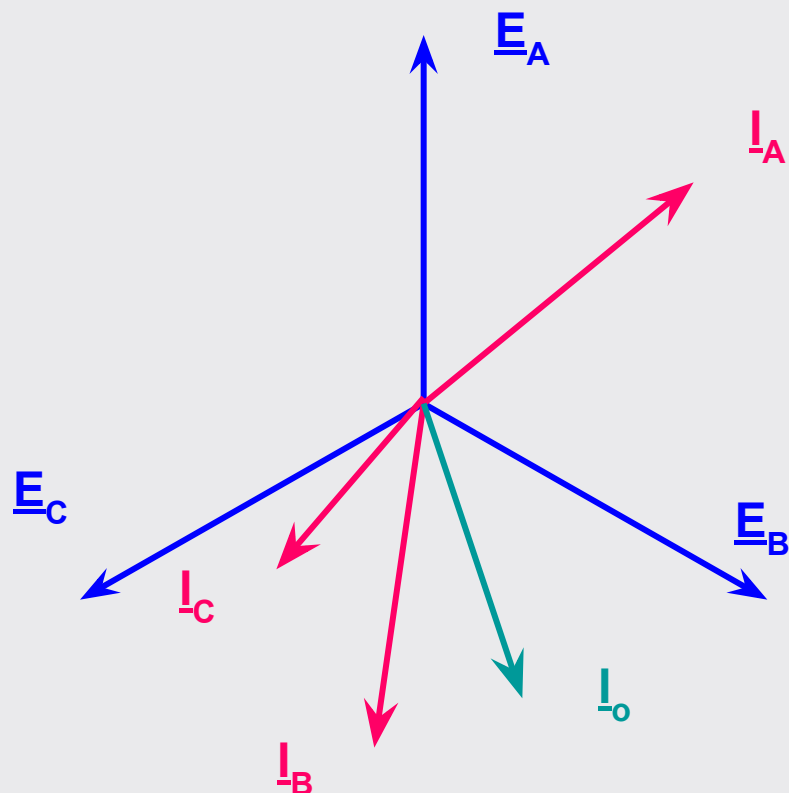
$$\underline{I}_A - \underline{I}_{ab} + \underline{I}_{ca} = 0 \quad \Rightarrow$$

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}$$

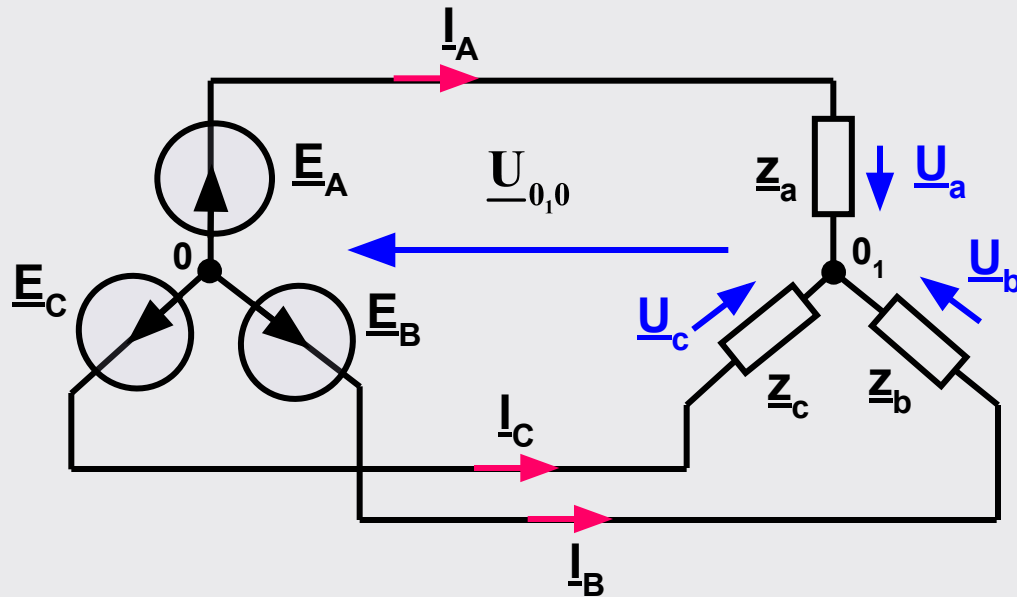
$$\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$$

Векторная диаграмма трехфазной электрической цепи при несимметричной статической нагрузке (звезда-звезда с нулевым проводом).



Соединение звезда-звезда без нулевого провода.



$$Z_a \neq Z_b \neq Z_c$$

$$\underline{Y}_a = \frac{1}{Z_a} \quad \underline{Y}_b = \frac{1}{Z_b}$$

$$\underline{Y}_c = \frac{1}{Z_c} \quad \underline{Y}_0 = \frac{1}{\infty} = 0$$

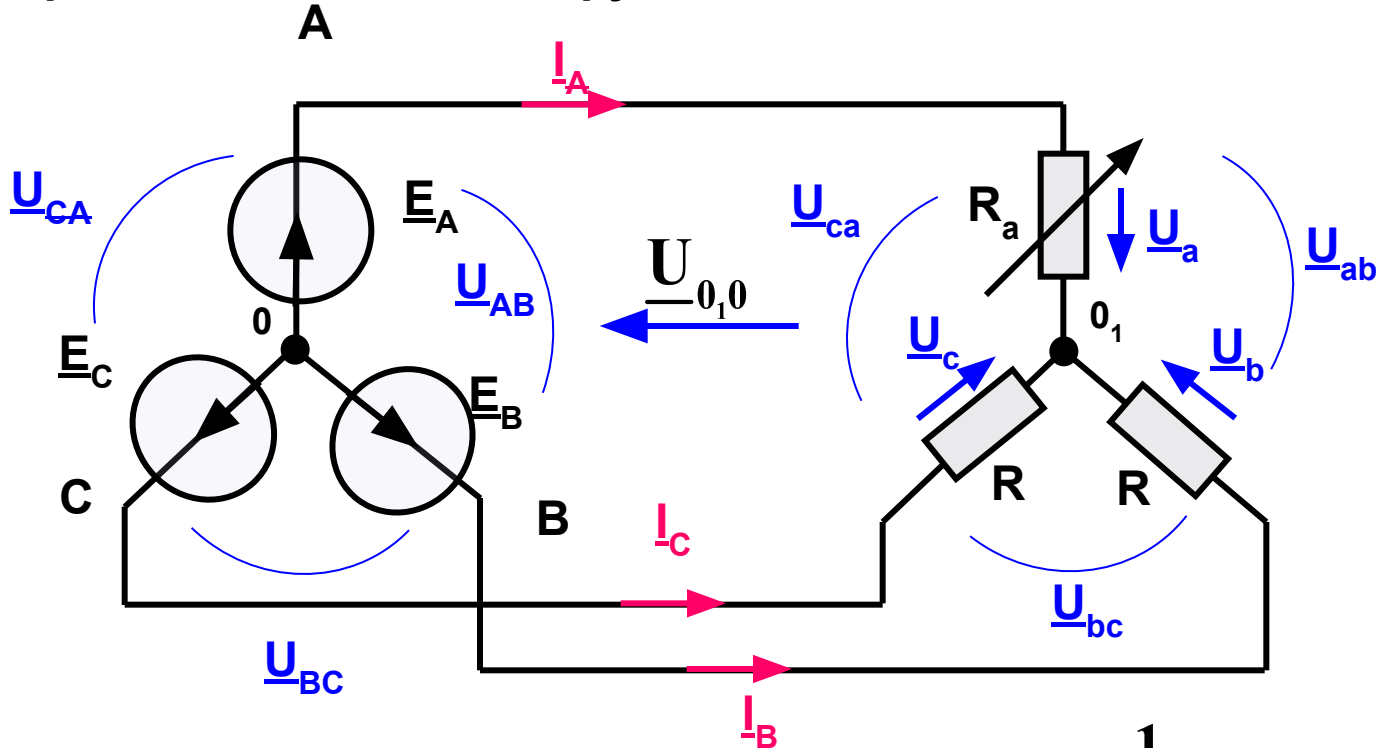
$$\underline{U}_{0_1 0} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} \neq 0$$

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

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{E}_A - \underline{U}_{0_1 0}}{Z_a} \quad \underline{I}_B = \frac{\underline{E}_B - \underline{U}_{0_1 0}}{Z_b} \quad \underline{I}_C = \frac{\underline{E}_C - \underline{U}_{0_1 0}}{Z_c}$$

Смещение нейтрали в трехфазных электрических цепях.

Рассмотрим трехфазную электрическую цепь без нейтрального провода с активной нагрузкой.



$$g = \frac{1}{R} \quad g_a = \frac{1}{R_a} \quad \underline{U}_{0_10} = \frac{\underline{E}_A \frac{1}{R_a} + \underline{E}_B \frac{1}{R} + \underline{E}_C \frac{1}{R}}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}}$$

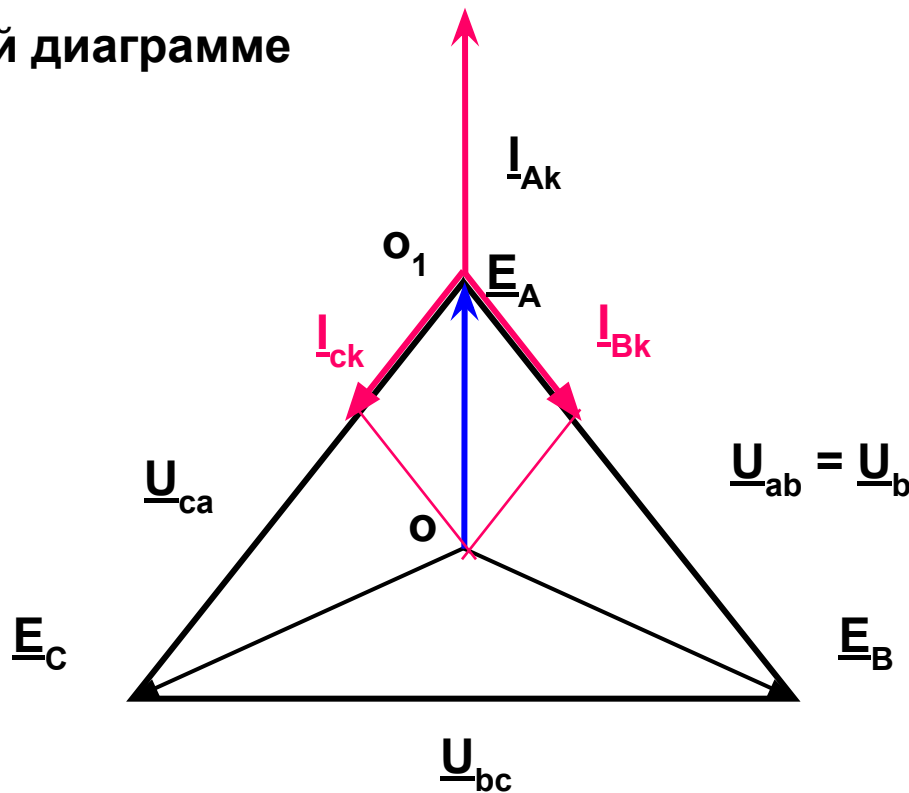
$$\underline{U}_{o_1o} = \frac{\underline{E}_A \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R} (\underline{E}_B + \underline{E}_C)}{\frac{1}{R_a} + \frac{2}{R}} \quad \begin{array}{l} \searrow \underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0 \\ \swarrow \underline{E}_B + \underline{E}_C = -\underline{E}_A \end{array}$$

$$\underline{U}_{o_1o} = \frac{\underline{E}_A \frac{1}{R_a} - \underline{E}_A \frac{1}{R}}{\frac{1}{R_a} + \frac{2}{R}} = \frac{\underline{E}_A \left(\frac{1}{R_a} - \frac{1}{R} \right)}{\frac{1}{R_a} + \frac{2}{R}}$$

1). Короткое замыкание фазы A. ($R_A=0$).

$$\underline{U}_{o_1o} = \frac{\underline{E}_A (1 / R_a)}{1 / R_a} = \underline{E}_A$$

а) по векторной диаграмме



Из векторной диаграммы можно заключить, что напряжение на фазах нагрузки увеличилось до линейного, т.е. в $\sqrt{3}$ раз. Соответственно в линейных электрических цепях токи увеличатся так же, как и напряжения.

$$I_{\Phi k} = I_{bk} = I \sqrt{3}$$

$$U_{\Phi} = U_{bc} = \sqrt{3}E$$

$$I_{Ak} = 2I_{bk} \cos 30^\circ = 2I_B \sqrt{3} \frac{\sqrt{3}}{2} = 3I_A$$

$$U_c = U_{ca} = \sqrt{3}E_{\Phi}$$

b) аналитически

$$\underline{U}_a = \underline{E}_A - \underline{U}_{0,0} = 0$$

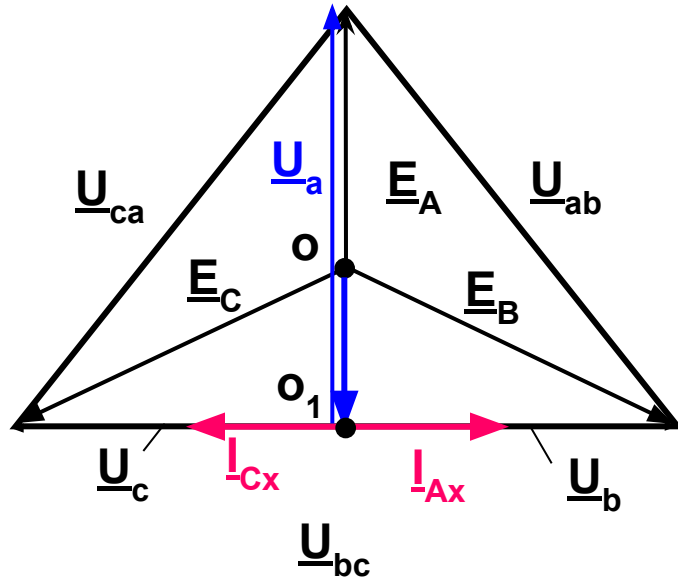
$$\underline{U}_b = \underline{E}_B - \underline{U}_{0,0} = \underline{E}_B - \underline{E}_A = \underline{U}_{AB}$$

$$\underline{U}_c = \underline{E}_C - \underline{U}_{0,0} = \underline{E}_C - \underline{E}_A = \underline{U}_{AC}$$

2).Режим холостого хода фазы А. ($R_A=\infty$).

$$\underline{U}_{0,0} = \frac{\underline{E}_A \frac{1}{R_a} + \underline{E}_B \frac{1}{R} + \underline{E}_C \frac{1}{R}}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{\frac{1}{R} (\underline{E}_B + \underline{E}_C)}{\frac{2}{R}} = -\frac{\underline{E}_A}{2}$$

1.Проведем анализ режима по векторной диаграмме



$$\underline{U}_a = \underline{E}_A - \underline{U}_{0,0} = \underline{E}_A + \frac{\underline{E}_A}{2} = \frac{3}{2} \underline{E}_A$$

$$\underline{E}_b = \frac{\underline{U}_{\text{Л}}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ A}$$

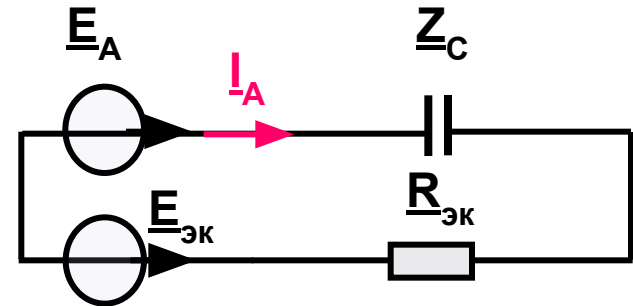
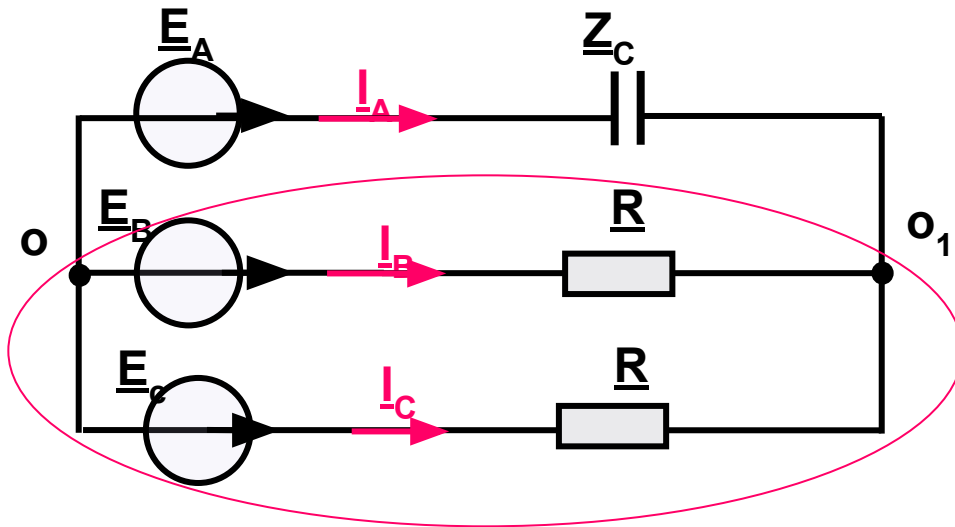
$$\underline{E}_c = \frac{\underline{U}_{\text{Л}}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ A}$$

$$\underline{E}_a = \frac{3}{2} \text{ A}$$

$$\underline{I}_{\text{BX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{I}_A \quad \underline{I}_{\text{CX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{I}_A$$

$$\underline{I}_{\text{AX}} = 0 \quad \underline{I}_{\text{BX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{I}_A \angle -90^\circ \quad \underline{I}_{\text{CX}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \underline{I}_A \angle +90^\circ$$

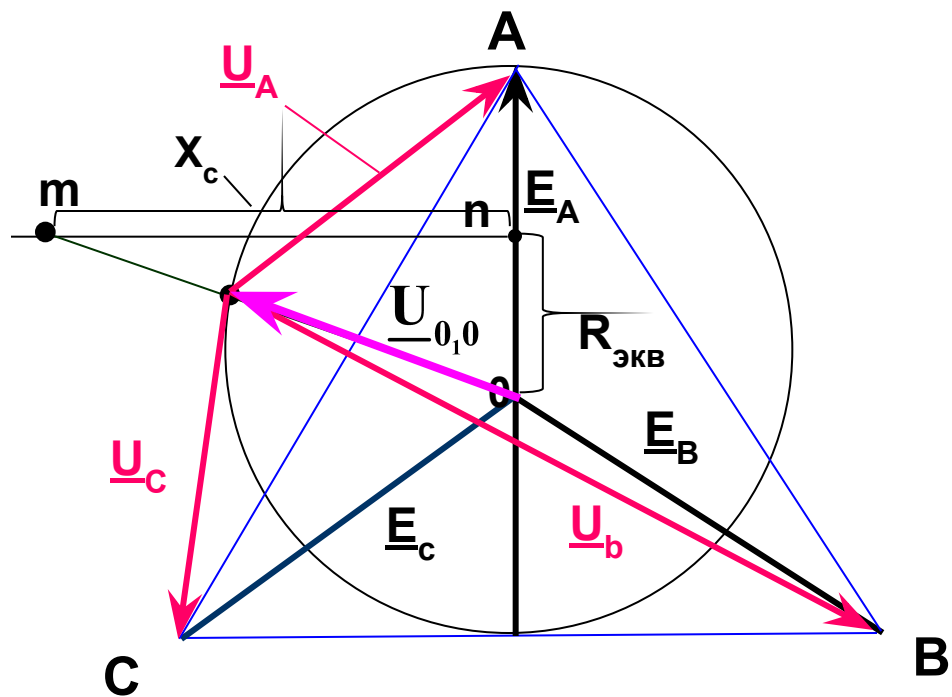
Пусть в фазу А включена емкость



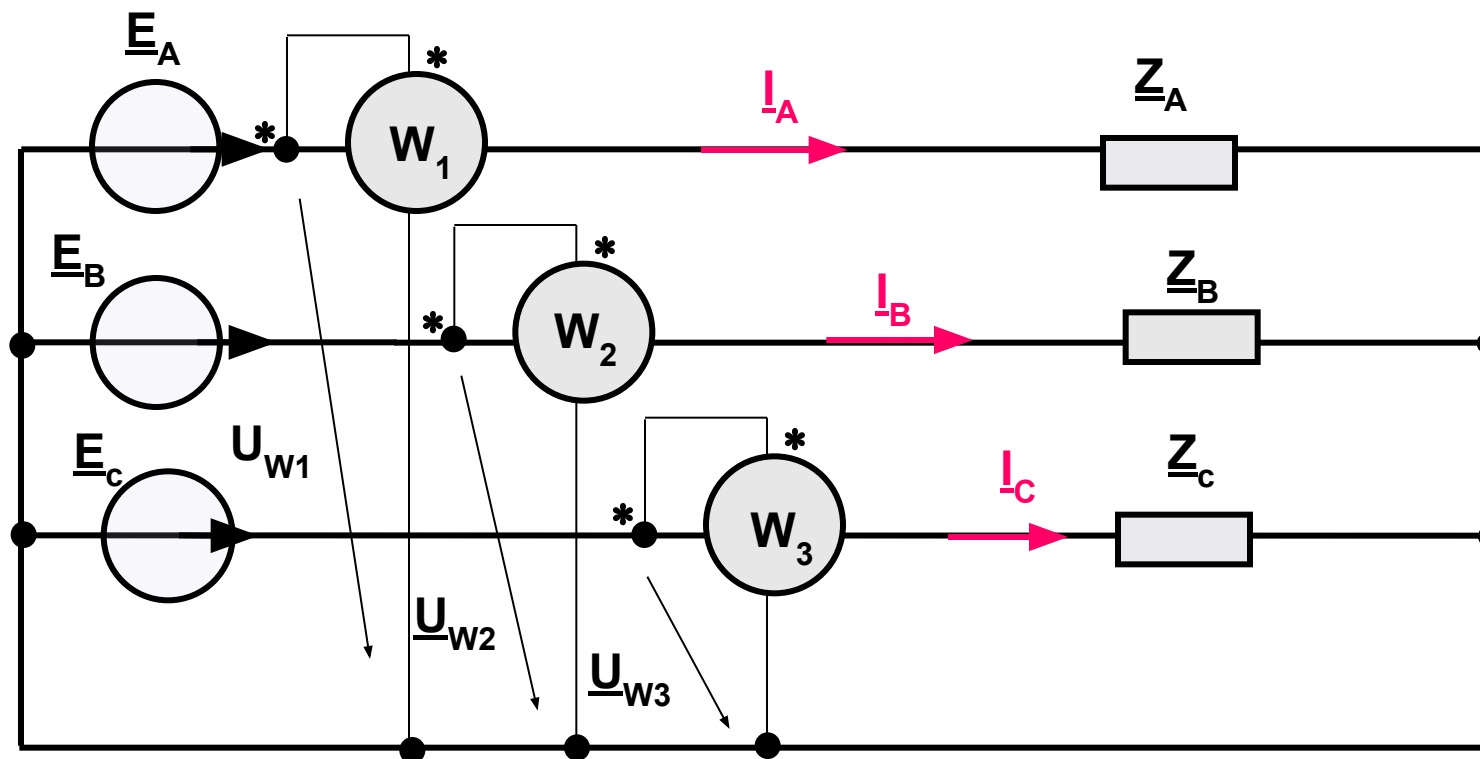
$$\underline{E}_{\text{ЭК}} = \frac{\underline{E}_B \frac{1}{R} + \underline{E}_C \frac{1}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{\frac{1}{R} (\underline{E}_B + \underline{E}_C)}{\frac{2}{R}} = -\frac{\underline{E}_A}{2}$$

$$R_{\text{ЭК}} = \frac{R R}{R + R} = \frac{R^2}{2R} = 0.5R$$

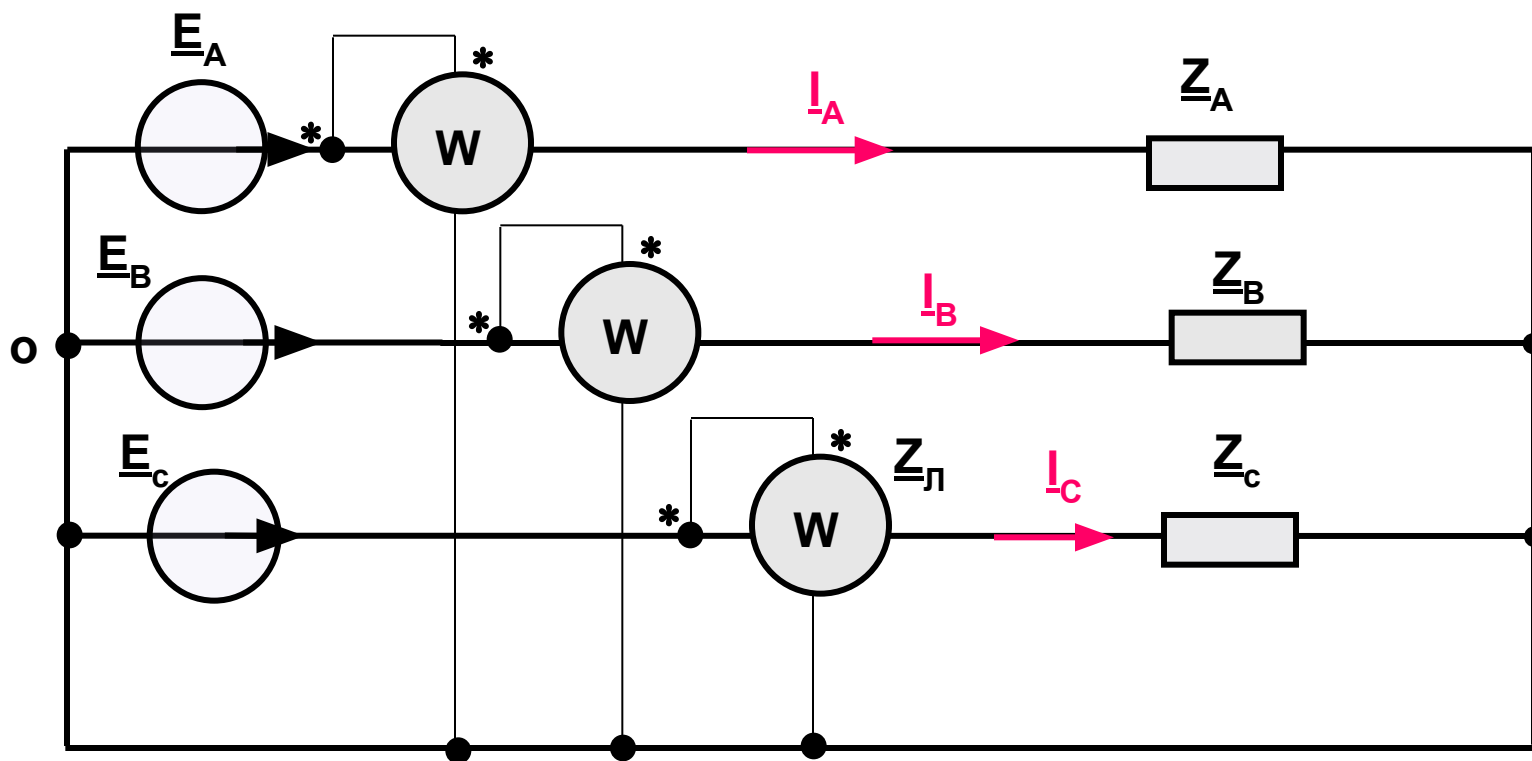
Векторная диаграмма



Измерение мощности в трехфазных цепях



Расчет сложной трехфазной электрической цепи в симметричном режиме.



$$P_{W1} = \operatorname{Re}(\underline{E}_A \underline{I}_A^*) \quad P_{W2} = \operatorname{Re}(\underline{E}_B \underline{I}_B^*) \quad P_{W3} = \operatorname{Re}(\underline{E}_C \underline{I}_C^*)$$

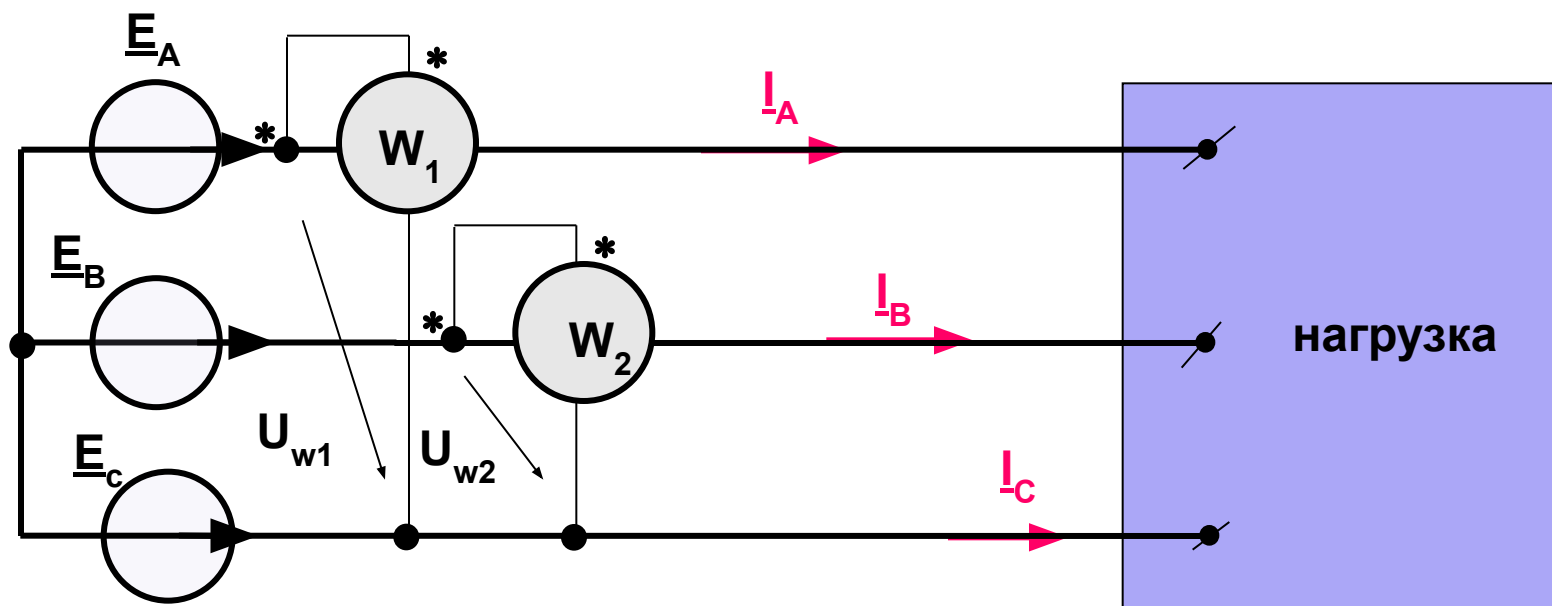
Полная активная мощность трехфазной цепи

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}$$

Если трехфазная электрическая цепь симметрична, то полную мощность можно измерить одним ваттметром

$$P_A = \operatorname{Re}(\underline{E}_A \underline{I}_A^*) \quad P = 3P_A$$

Измерение мощности трехфазных цепей с помощью одного ваттметра.



$$P_{w1} = \operatorname{Re}(\underline{U}_{w1} \underline{I}_A^*)$$

$$P_{w2} = \operatorname{Re}(\underline{U}_{w2} \underline{I}_B^*)$$

$$\underline{U}_{w1} = \underline{E}_A - \underline{E}_C$$

$$\underline{U}_{w2} = \underline{E}_B - \underline{E}_C$$

$$P_{w1} + P_{w2} = \operatorname{Re}((\underline{E}_A - \underline{E}_C) \dot{\underline{I}}_A^*) + \operatorname{Re}((\underline{E}_B - \underline{E}_C) \dot{\underline{I}}_B^*) =$$

$$= \operatorname{Re}(\underline{E}_A \dot{\underline{I}}_A^* - \underline{E}_C \dot{\underline{I}}_A^* + \underline{E}_B \dot{\underline{I}}_B^* - \underline{E}_C \dot{\underline{I}}_B^*) =$$

$$= \operatorname{Re}(\underline{E}_A \dot{\underline{I}}_A^* + \underline{E}_B \dot{\underline{I}}_B^* + \underline{E}_C (\dot{\underline{I}}_A^* - \dot{\underline{I}}_B^*)) =$$

$$= \operatorname{Re}(\underline{E}_A \dot{\underline{I}}_A^* + \underline{E}_B \dot{\underline{I}}_B^* + \underline{E}_C \dot{\underline{I}}_C^*) = P_A + P_B + P_C$$

$$P_{w1} + P_{w2} = \operatorname{Re}(\underline{E}_A \dot{\underline{I}}_A^* + \underline{E}_B \dot{\underline{I}}_B^* + \underline{E}_C \dot{\underline{I}}_C^*) = P_A + P_B + P_C = P_{\text{oare}}$$

