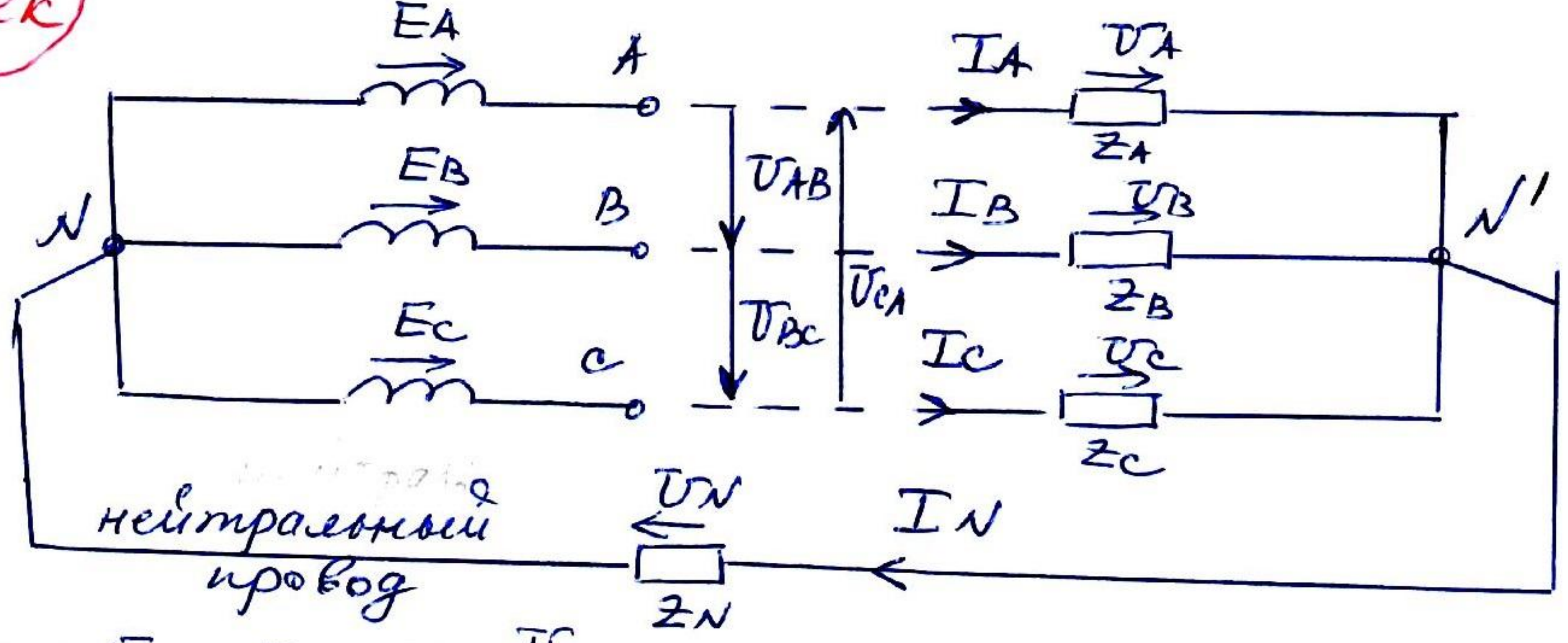
Приемники (потребители) трех-фазного напряжение так же соединяются **звездой** и **треугольником**

Соединение трехфаз. потребителя по схеме "звезда с нейтральным проводом"

5 лек



$E_A = E_B = E_C = E = \frac{U_л}{\sqrt{3}}$ – фаз. ЭДС генератора, соединенного в звезду

$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_л = E\sqrt{3}$ – лин. напряжение

Z_A, Z_B, Z_C – полные фаз. сопротивления трехфазного потребителя

$\bar{U}_A$, $\bar{U}_B$, $\bar{U}_C$ – фаз. напряжения потребителя

I_A, I_B, I_C – лин. токи (от ген. к потреб.)
они же фазные

Z_N – сопротивление N-провода

$\bar{U}_N$ – напряжение между нейтрал. точками потребителя и генератора

I_N – ток в N-проводе

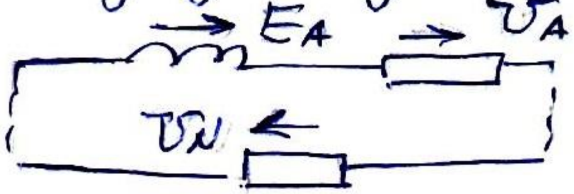
Сопротивления всех проводов незначительны, или можно пренебречь

Поэтому лин. напряжения на генераторе $\bar{U}_{AB}$, $\bar{U}_{BC}$, $\bar{U}_{CA}$ = лин. напряж. на потребителе.

Запишем в комплекс. форме:

1) Фазные напряжения потребителя

По II-ому закону Кирхгофа:



$$\underline{E}_A = \underline{U}_A + \underline{U}_N \Rightarrow$$

$$\underline{U}_A = \underline{E}_A - \underline{U}_N$$

Аналогично: $\underline{U}_B = \underline{E}_B - \underline{U}_N$

$$\underline{U}_C = \underline{E}_C - \underline{U}_N$$

2) Фазные (лин.) токи потребителя

$$\underline{I}_A = \underline{U}_A / \underline{Z}_A = (\underline{E}_A - \underline{U}_N) \cdot \underline{Y}_A$$

$$\underline{I}_B = \underline{U}_B / \underline{Z}_B = (\underline{E}_B - \underline{U}_N) \cdot \underline{Y}_B$$

$$\underline{I}_C = \underline{U}_C / \underline{Z}_C = (\underline{E}_C - \underline{U}_N) \cdot \underline{Y}_C$$

$\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$ — компл. проводимости фаз потребителя

3) По I-ому закону Кирхгофа:

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_N}{\underline{Z}_N} = \underline{U}_N \cdot \underline{Y}_N$$

Подставим токи:

Подставим токи:

$$\underline{U}_N \underline{Y}_N = (\underline{E}_A - \underline{U}_N)\cdot \underline{Y}_A + (\underline{E}_B - \underline{U}_N)\cdot \underline{Y}_B + (\underline{E}_C - \underline{U}_N)\cdot \underline{Y}_C$$

и выразим $\underline{U}_N$

$$\underline{U}_N = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}$$

U_Y (*)

Подставим значения $\underline{E}_A, \underline{E}_B, \underline{E}_C$:

$$\boxed{\underline{U}_N = \frac{\frac{U_1}{\sqrt{3}}\left[\underline{Y}_A + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\underline{Y}_B + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\underline{Y}_C\right]}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}}$$

$\underline{E} =$

(т.к. $\underline{E}_A = \frac{U_1}{\sqrt{3}}$

$\underline{E}_B = \frac{U_1}{\sqrt{3}}\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

$\underline{E}_C = \frac{U_1}{\sqrt{3}}\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$, а также $\cancel{E = \frac{U_1}{\sqrt{3}}}$)

Особые случаи:

1) Симметрич. нагрузка

$\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_ф$, а значит $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = \underline{Y}_ф$

В этом случае

$$\underline{U}_N = \frac{U_{1}/\sqrt{3} \cdot \underline{Y}_ф \left(1 - \cancel{\frac{1}{2}} + \cancel{j\frac{\sqrt{3}}{2}} - \cancel{\frac{1}{2}} - \cancel{j\frac{\sqrt{3}}{2}}\right)}{3\underline{Y}_ф + \underline{Y}_N} = 0$$

т.е. $\underline{I}_N = \frac{\underline{U}_N}{\underline{Z}_N} = \frac{0}{\underline{Z}_N} = 0$ – ток в N-проводе равен 0, необходимость в N-проводе отсутствует.

2) Несимметр. нагрузка

$\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C$ – необходим N-провод

Используется для освещения бытовых и производств. помещений.

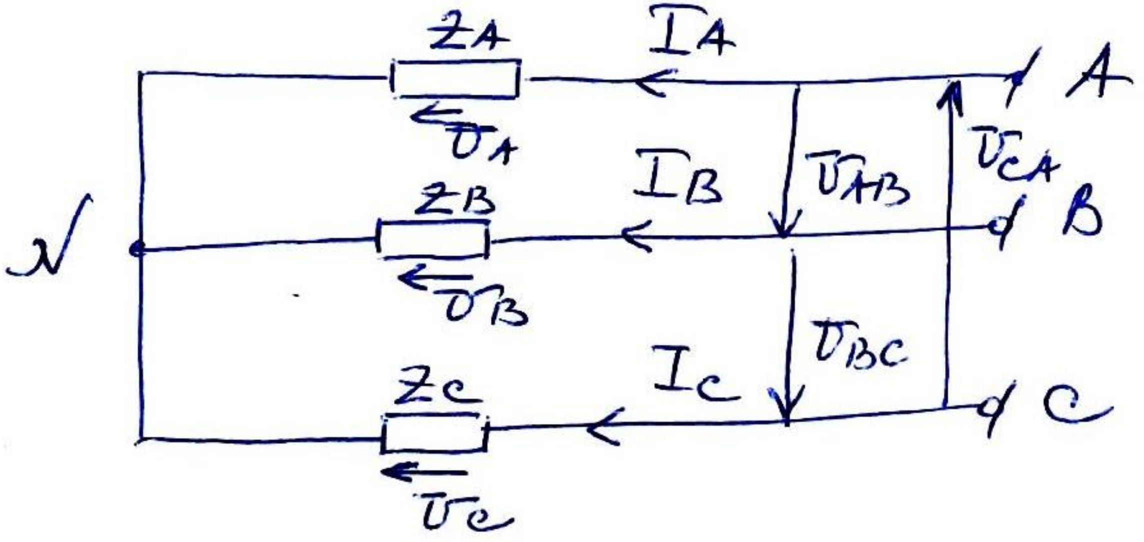
3) Если полагать, что $Z_N = 0$, то

$Y_N \to \infty$, $U_N \sim \frac{1}{Y_N} \to 0$

$\underline{I}_N = \frac{\underline{U}_N}{\underline{Z}_N} = \frac{0}{0}$ - неопределенность

Для нахождения $\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C$

Симметр. 3-х фазный потребитель, включенный по схеме „звезда без N-пров.



Условие симметрии:

$$\begin{cases} \underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_ф, \\ U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_л \end{cases}$$

что означает $\begin{cases} R_A = R_B = R_C \\ X_A = X_B = X_C \end{cases}$

$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_л$ — лин. напр. равны по модулю

Основные соотношения:

1) Фазные напряжения

$$\underline{U}_A = \underline{E}_A - \underbrace{\underline{U}_N}_{0} = \underline{E}_A = \frac{U_л}{\sqrt{3}} e^{j0} = \frac{U_л}{\sqrt{3}}$$

$$\underline{U}_B = \underline{E}_B - \underline{U}_N = \underline{E}_B = \frac{U_л}{\sqrt{3}} e^{-j120^\circ} = \frac{U_л}{\sqrt{3}} \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$\underline{U}_C = \underline{E}_C - \underline{U}_N = \underline{E}_C = \frac{U_л}{\sqrt{3}} e^{j120^\circ} = \frac{U_л}{\sqrt{3}} \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

а их модули $U_A = U_B = U_C = U_ф = \frac{U_л}{\sqrt{3}}$

2) Линейные напряжения

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = U_л e^{j30^\circ} = U_л \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)$$

$$\underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = U_л e^{-j90^\circ} = -j U_л$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = U_л e^{j150^\circ} = U_л \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)$$

3) Фазные (симм.) токи

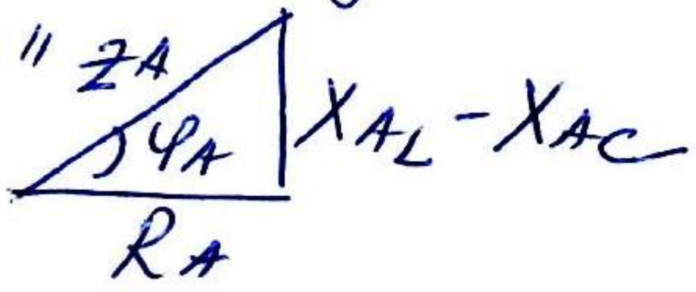
$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_A} \qquad \underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B} \qquad \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C}$$

А для модулей

$$I_A = I_B = I_C = I_ф = \frac{U_ф}{Z_ф}$$

4) Фазные углы — углы между $\underline{I}_ф$ и $\underline{U}_ф$

Фаза „A“

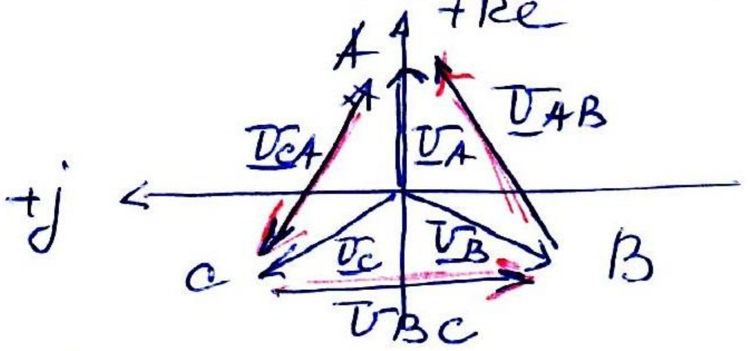


$$\varphi_A = \operatorname{arctg} \frac{X_{A_L} - X_{A_C}}{R_A}$$

Для симметр. нагрузки $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_ф$

Векторная диаграмма

Построение аналогично вект. диагр. для источника, фазы которого соед. в ⅄



Связь фаз. и лин. напряжений

$U_л = \sqrt{3}\, U_ф$

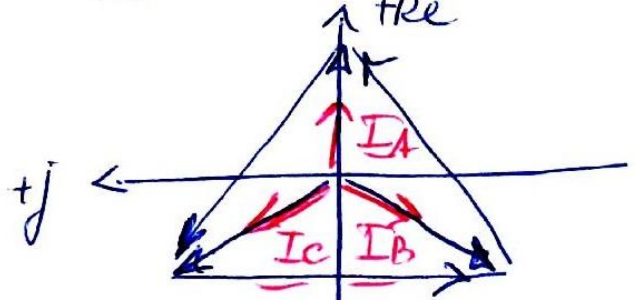
Далее надо показать векторы тока $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$

Их положение определяется фазными углами $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$.

Возможны различные случаи.

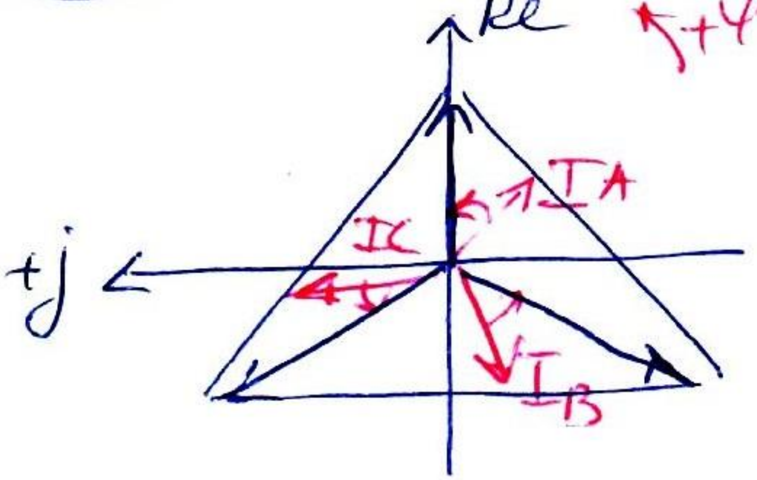
а) Активный х-р нагрузки все $\varphi = 0$

$\underline{Z}_A = R_A$, $\underline{Z}_B = R_B$, $\underline{Z}_C = R_C$



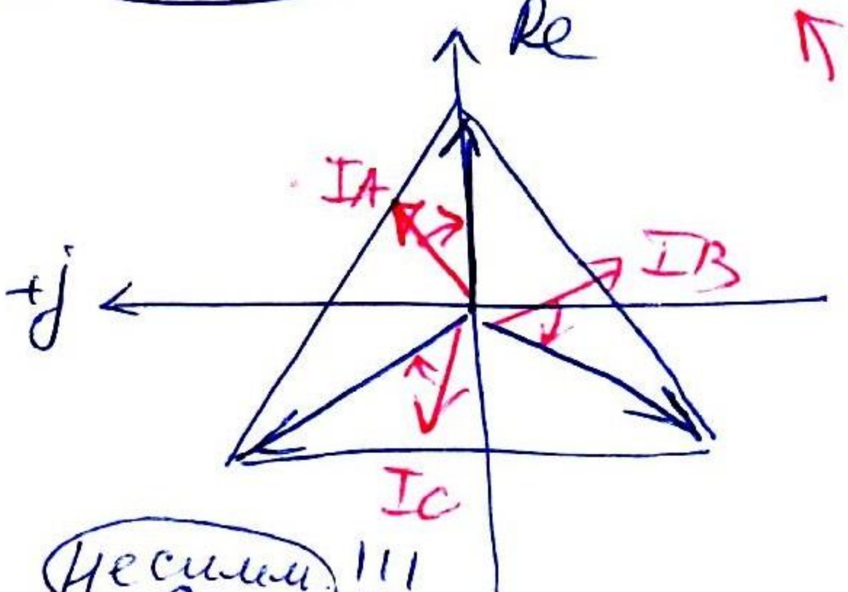
б) Активно-индуктивн.

$X_L > X_C$ $\quad \varphi > 0 \quad \underline{Z} = R + jX_L$



в) Активно-емкостной

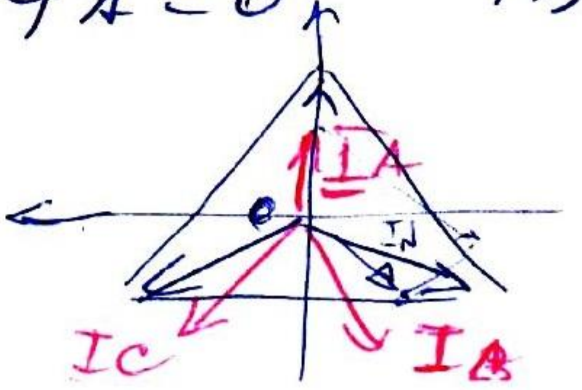
$X_L < X_C$ $\quad \varphi < 0 \quad \underline{Z} = R - jX_C$



несимм. !!!

Для случая смешанной нагрузки, например $\varphi_A = 0$, $\varphi_B > 0$, $\varphi_C < 0$:

с N-пров.



– Для системы без N-пр. т. O сместится в такое положе., чтобы $\Sigma \underline{I} = 0$.

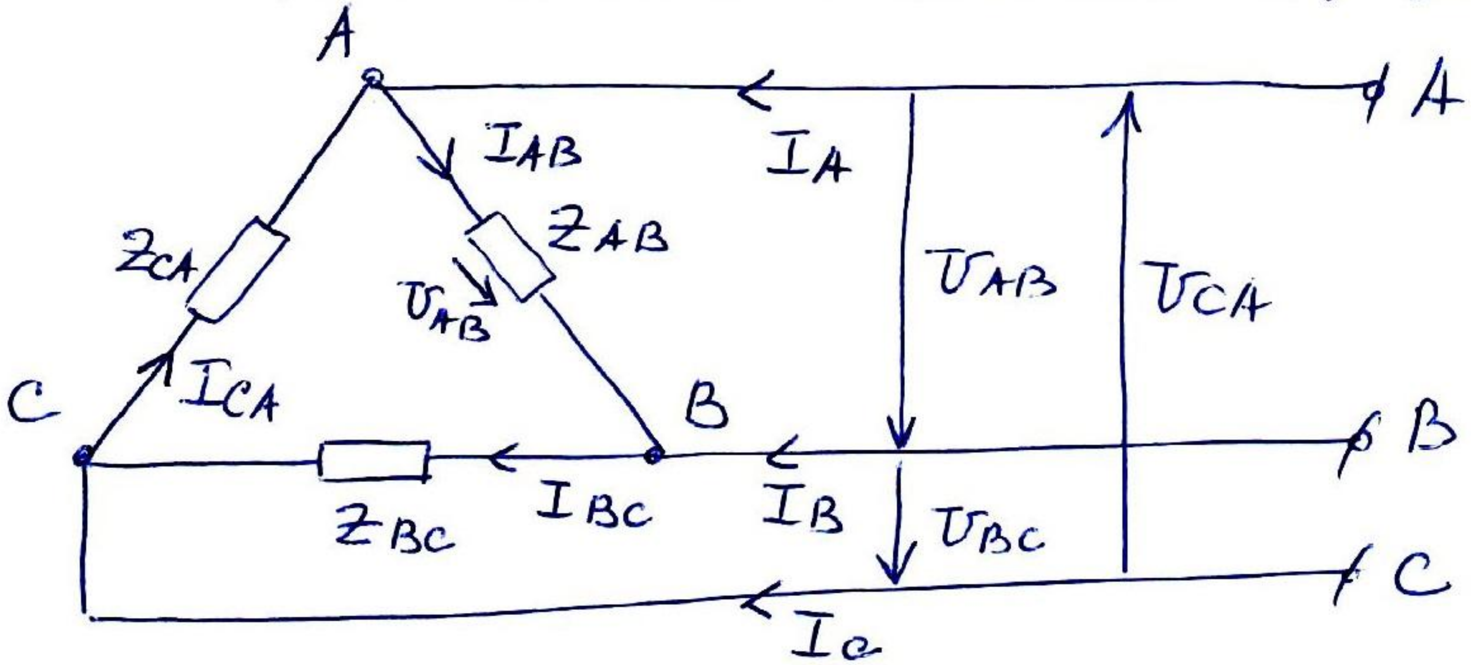
Запомнить!

Для звезды

$$\boxed{\begin{aligned} I_л &= I_ф \\ U_л &= \sqrt{3}\, U_ф \end{aligned}}$$

сим.

Симметричный 3-х фазный потребитель, включенный по схеме треугольника



Условие симметрии:

$$\begin{cases} \underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{BC} = \underline{Z}_{CA}, \quad \text{или} \quad \begin{cases} R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} \\ X_{AB} = X_{BC} = X_{CA} \end{cases} \\ U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_л = U_ф \end{cases}$$

I_A, I_B, I_C - линейные токи ($I_л$)

I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} - фазные токи ($I_ф$)

Основные соотношение

1) Линейные (фазные) напряжение

$\underline{U}_{AB} = U_л e^{j0} = U_л$ - направляем $\underline{U}_{AB}$ по вещ. оси

$\underline{U}_{BC} = U_л e^{-j120^\circ} = U_л \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

$\underline{U}_{CA} = U_л e^{j120^\circ} = U_л \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

2) Фазные токи

$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}}$ $\underline{I}_{BC} = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}}$

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

3) Линейные токи

По I-ому закону Кирхгофа:

для вершины A: $\underline{I}_A + \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{AB} = 0 \rightarrow$

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA}$$

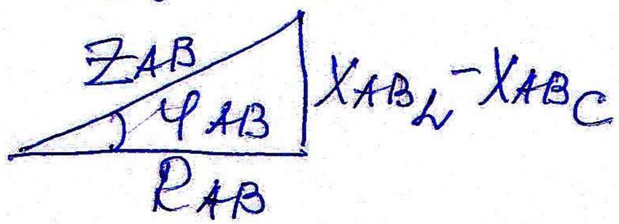
Аналогично:

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{BC} - \underline{I}_{AB}$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{CA} - \underline{I}_{BC}$$

4) Фазные углы

Фаза AB



$$\varphi_{AB} = \operatorname{arctg} \frac{X_{AB_L} - X_{AB_C}}{R_{AB}}$$

Аналогично:

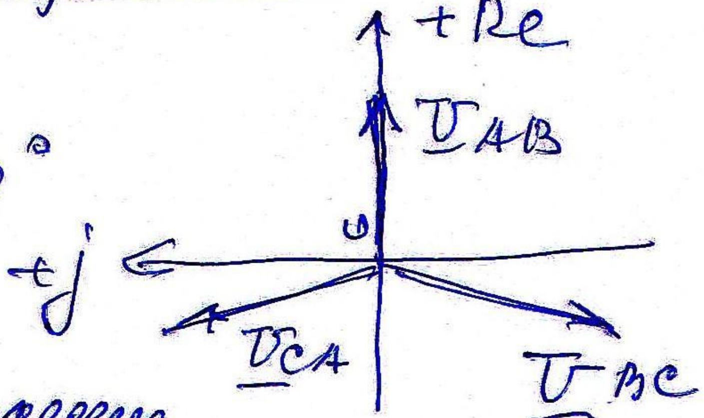
$$\varphi_{BC} = \operatorname{arctg} \frac{X_{BC_L} - X_{BC_C}}{R_{BC}}$$

$$\varphi_{CA} = \operatorname{arctg} \frac{X_{CA_L} - X_{CA_C}}{R_{CA}}$$

Для симм. нагрузки $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi_\Phi$

Векторная диаграмма

Векторы $\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$, $\underline{U}_{CA}$ смещены на угол 120°

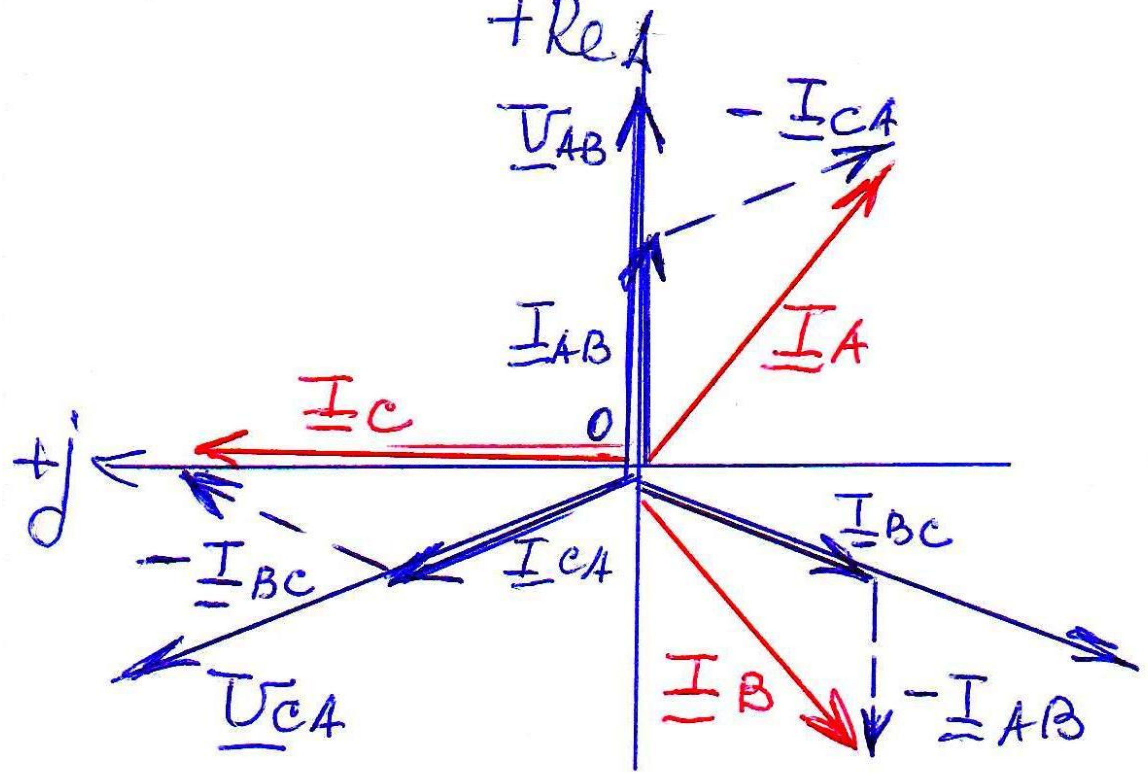


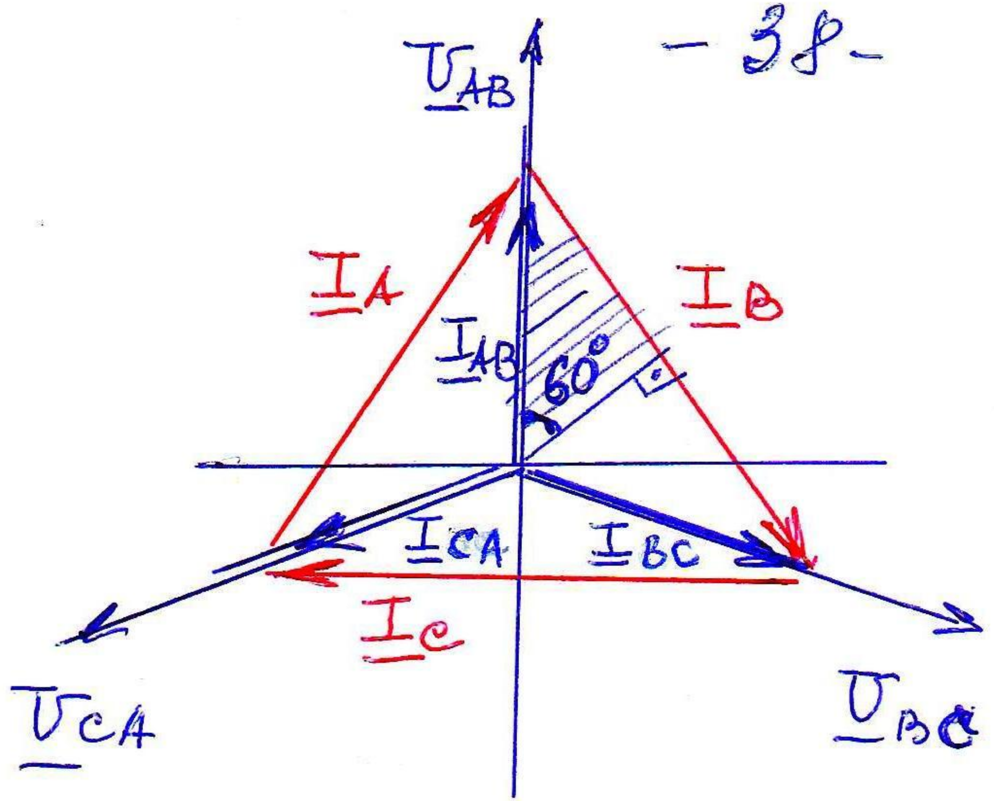
Далее надо показать положение векторов тока – $3^х$ фазных и $3^х$ линейных

а) Рассмотрим случай чисто <u>активной</u> нагрузки, т.е. $X_ф = X_{фL} - X_{фC} = 0$

$$\underline{Z}_ф = R_ф$$

Тогда $\varphi_ф = \operatorname{arctg}\frac{0}{R_ф} = \operatorname{arctg} 0 = 0$, т.е. векторы $\underline{I}_ф$ и $\underline{U}_ф$ <u>совпадают</u> по направлению.





По известным построениям:

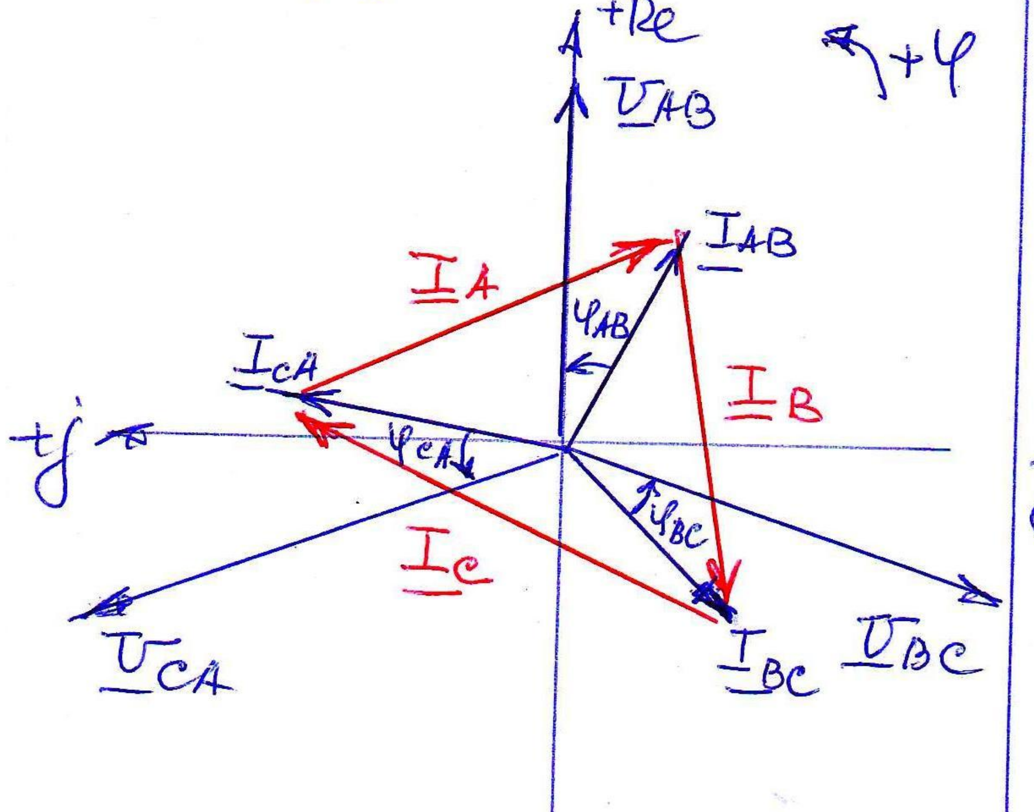
$$\frac{1}{2} I_B = I_{AB} \cdot \sin 60^\circ = I_{AB} \frac{\sqrt{3}}{2} \qquad \boxed{I_B = I_{AB} \cdot \sqrt{3}}$$

т.е. $I_A = I_B = I_C = I_л = I_ф \sqrt{3}$

Запомнить! Для симм. пр-ка $\boxed{\begin{array}{l} U_л = U_ф \\ I_л = \sqrt{3}\, I_ф \end{array}}$

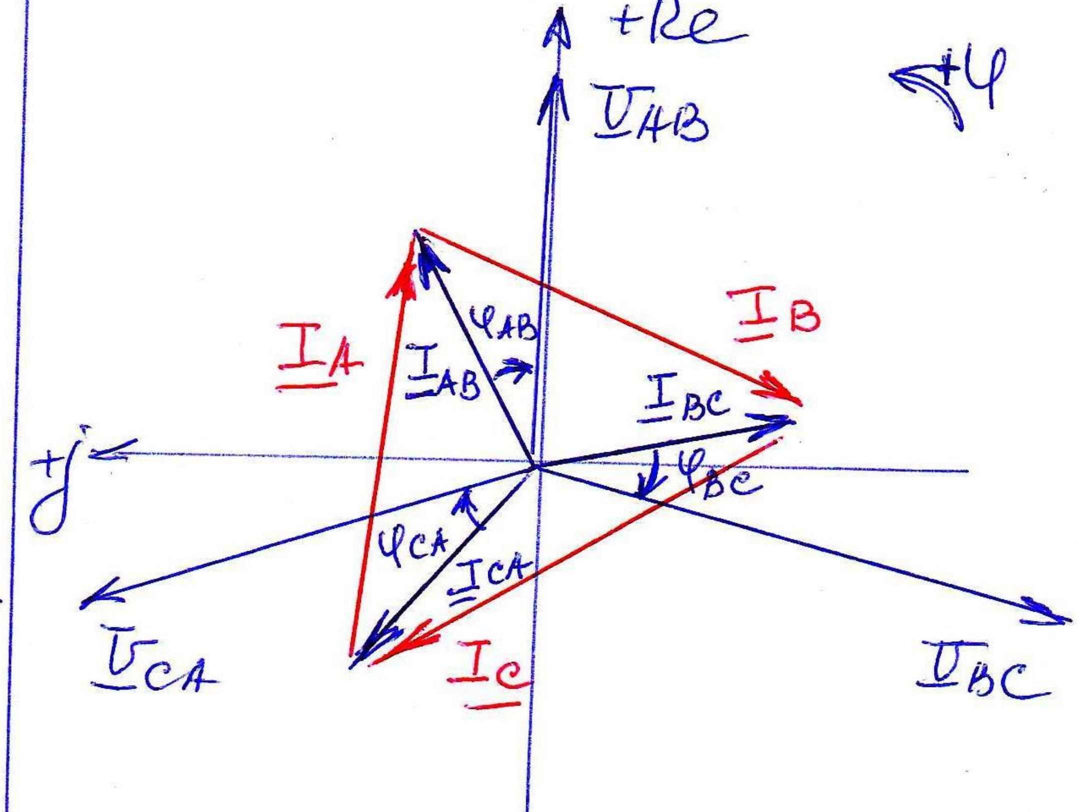
При наличии реактивной составляющей вид векторной диаграммы меняется:

б) Активно-индуктивная нагрузка, $\varphi_ф > 0$



$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} > 0$$

в) Активно-емкостная нагрузка, $\varphi_ф < 0$



$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} < 0$$