12 лекция

Несимметричный режим трехфазных цепей

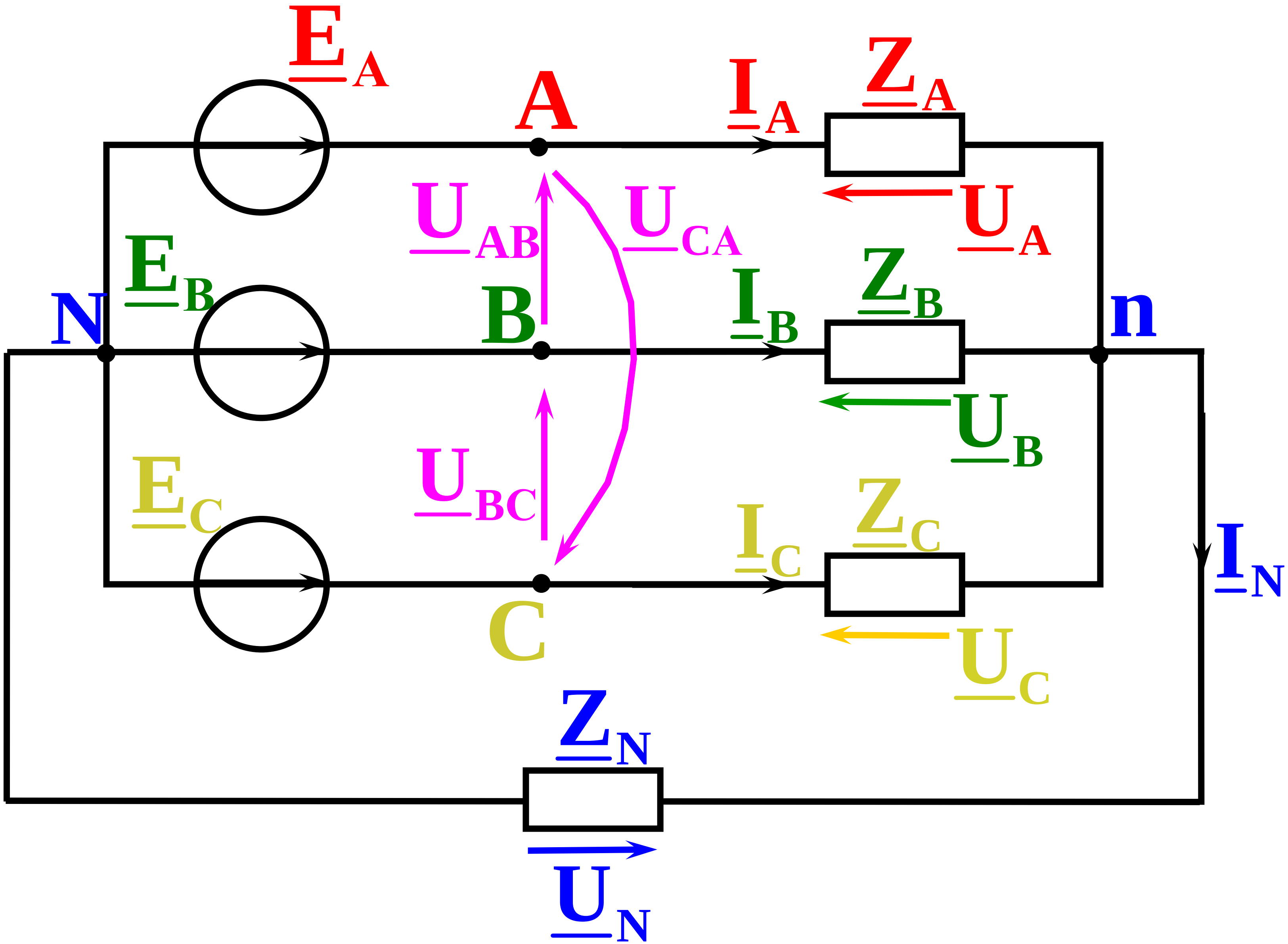
Несимметричный режим

обусловлен различной нагрузкой (разными сопротивлениями) фаз или несимметричной системой напряжений трехфазного источника, причем в этом режиме напряжения и токи фаз не образуют симметричные системы

Несимметричный режим

рассчитывается известными методами в комплексной форме, причем в этом режиме ток и напряжение в нулевом проводе могут быть не равны нулю

1. Соединение несимметричной нагрузки $(\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C)$ звездой при заданных фазных ЭДС



E
A
A
I
A
Z
A
U
AB
U
CA
U
A
E
B
N
B
I
B
Z
B
n
U
B
E
C
U
BC
I
C
Z
C
C
U
C
Z
N
I
N
U
N

Дано:

$$\underline{E}_A = Ee^{j\alpha}, \quad \underline{E}_B = a^2\underline{E}_A$$

$$\underline{E}_C = a\underline{E}_A$$

$$\underline{Z}_A, \quad \underline{Z}_B, \quad \underline{Z}_C, \quad \underline{Z}_N$$

Определить:

а) $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$

б) $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$

в) $\underline{I}_N$ и $\underline{U}_N$

По методу узловых потенциалов

$$\underline{\varphi}_N = 0$$

$$\underline{\varphi}_n(\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N) =$$

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

Проводимости:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} \qquad \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B}$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} \qquad \underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N}$$

Напряжение смещения нейтралей

$$\underline{U}_N = \underline{\varphi}_n - \underline{\varphi}_N =$$

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

$$= U_N e^{j\varphi_N}$$

По 2 закону Кирхгофа:

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

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

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

По закону Ома:

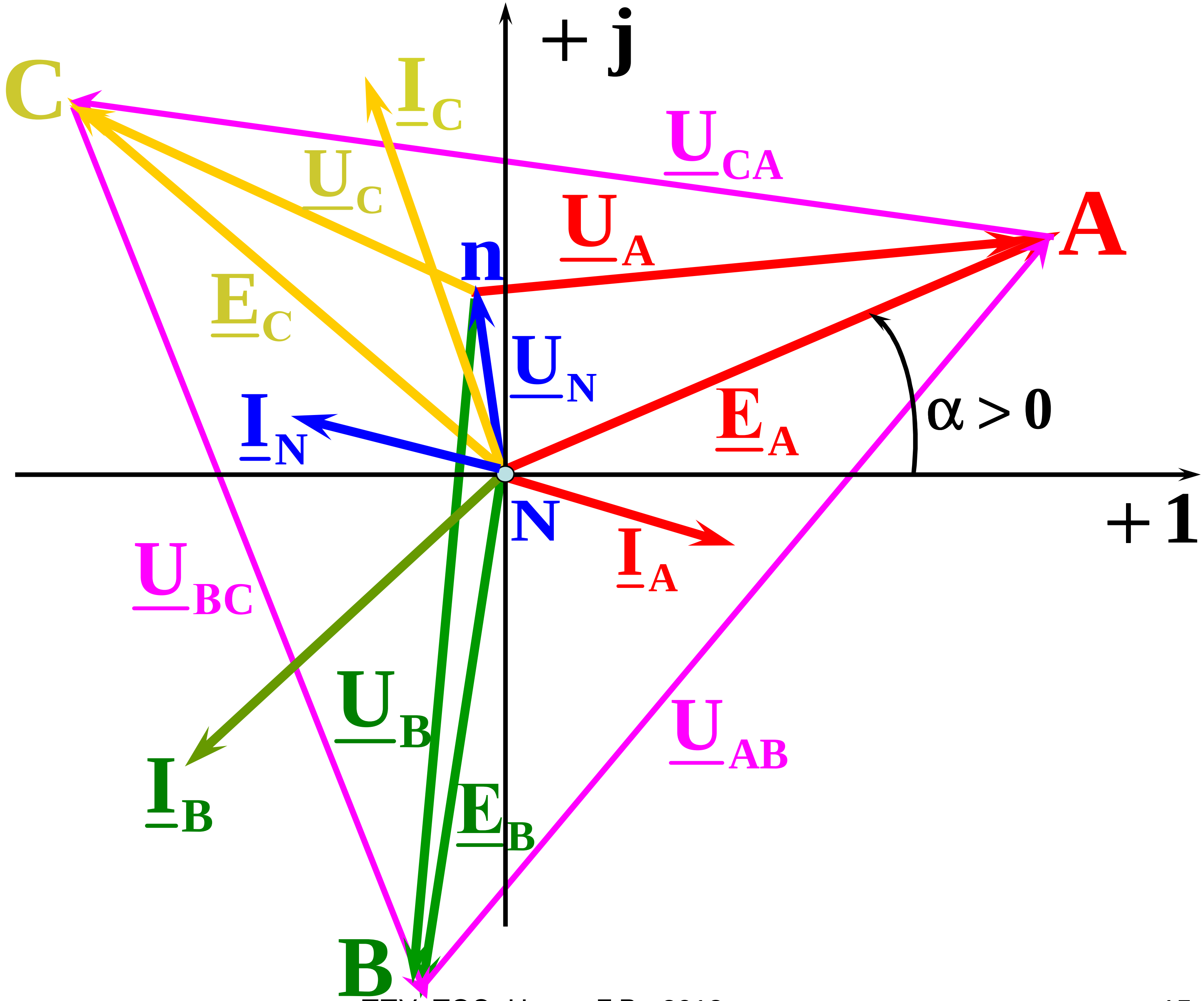
$$\underline{I}_A = \underline{U}_A \underline{Y}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_A}$$

$$\underline{I}_B = \underline{U}_B \underline{Y}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B}$$

$$\underline{I}_C = \underline{U}_C \underline{Y}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C}$$

По первому закону Кирхгофа:

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



+ j
C
I_C
U_CA
U_C
A
U_A
n
E_C
U_N
E_A
I_N
α > 0
+ 1
N
I_A
U_BC
U_B
U_AB
I_B
E_B
B

а) если $\underline{Z}_N = 0$ **, то**

$$\underline{Y}_N = \frac{1}{\underline{Z}_N} = \infty$$

Тогда $\underline{U}_N = 0$ **и**

$$\underline{U}_A = \underline{E}_A; \; \underline{U}_B = \underline{E}_B; \; \underline{U}_C = \underline{E}_C$$

Таким образом

нулевой провод выравнивает величины фазных напряжений нагрузки, что используется в бытовых электрических сетях.

б) если $\underline{Z}_N = \infty$ **,**

то $\underline{Y}_N = 0$

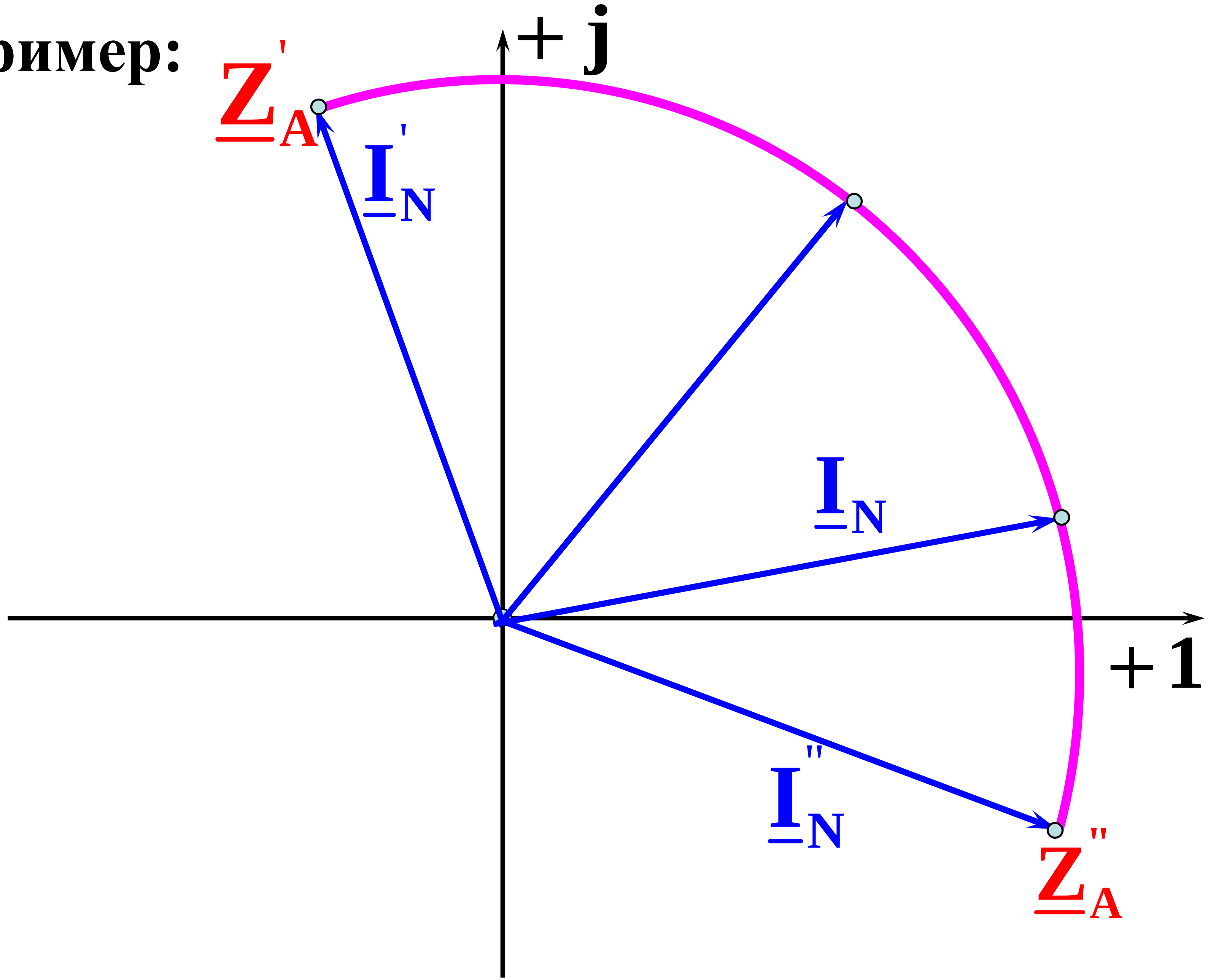
и $\underline{I}_N = 0$

При изменении модуля сопротивления одной из фаз, например, фазы A:

$$Z_A' \le Z_A \le Z_A'' \quad ,$$

концы векторов $\underline{I}_N$ и $\underline{U}_N$ на комплексной плоскости опишут годограф – это прямая линия или дуга окружности

Например:


+ j
$\underline{Z}_A^{'}$
$\underline{I}_N^{'}$
$\underline{I}_N$
+ 1
$\underline{I}_N^{''}$
$\underline{Z}_A^{''}$

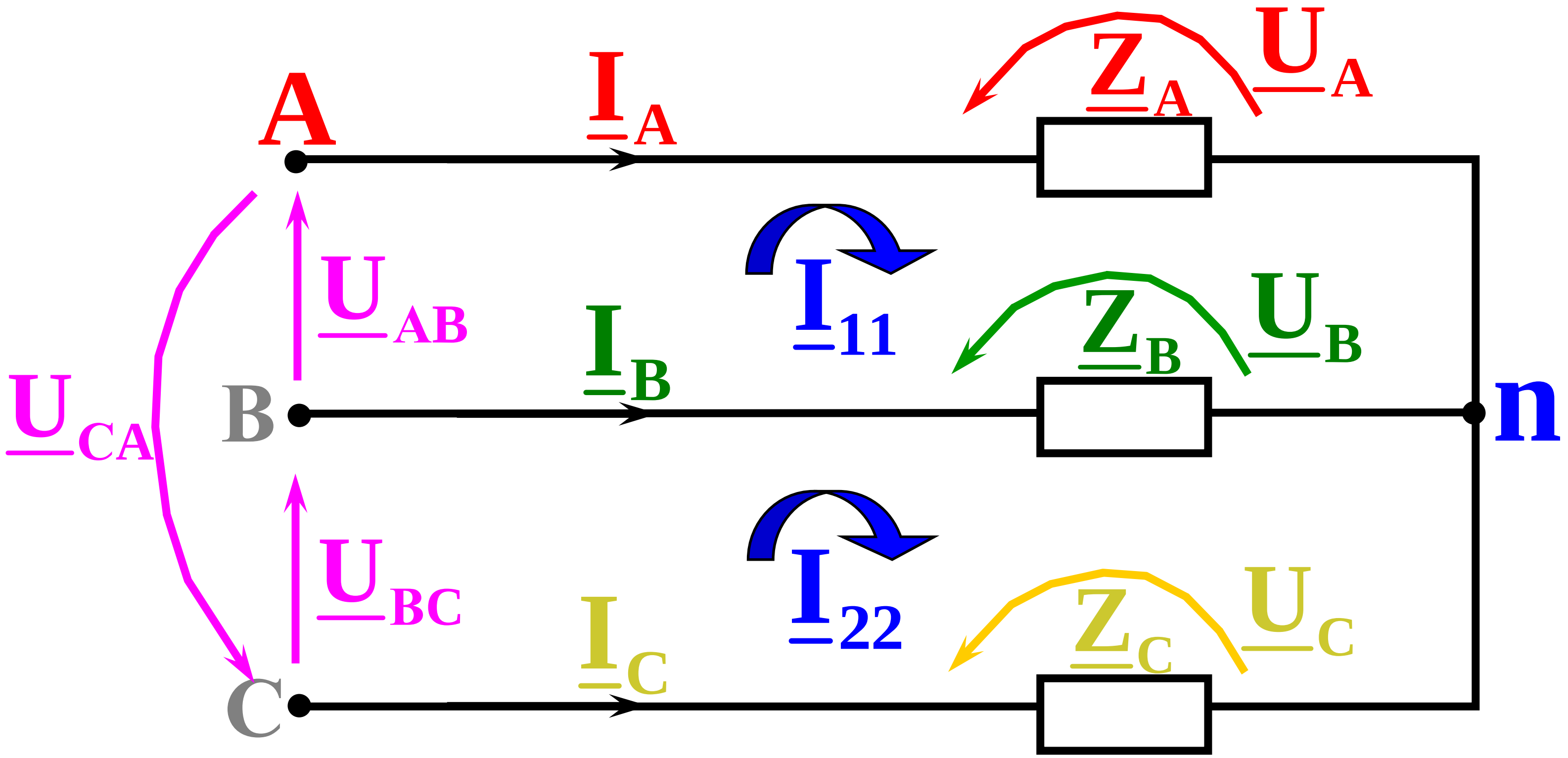
2. Соединение несимметричной нагрузки $(\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C)$ звездой без нулевого провода при заданных линейных напряжениях

Дано:

$$\underline{U}_{AB} = U_{Л} e^{j\lambda}, \quad \underline{U}_{BC} = a^2 \underline{U}_{AB},$$

$$\underline{U}_{CA} = a \underline{U}_{AB},$$

$$\underline{Z}_A, \quad \underline{Z}_B, \quad \underline{Z}_C$$


A
$\underline{I}_A$
$\underline{Z}_A$
$\underline{U}_A$
$\underline{U}_{AB}$
$\underline{I}_{11}$
$\underline{Z}_B$
$\underline{U}_B$
$\underline{U}_{CA}$
B
$\underline{I}_B$
n
$\underline{U}_{BC}$
$\underline{I}_{22}$
$\underline{Z}_C$
$\underline{U}_C$
$\underline{I}_C$
C

Определить:

а) $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$

б) $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B$, $\underline{U}_C$

По методу контурных токов:

$$\begin{cases} \underline{\underline{I}}_{11}(\underline{\underline{Z}}_{A} + \underline{\underline{Z}}_{B}) - \underline{\underline{I}}_{22}\underline{\underline{Z}}_{B} = \underline{U}_{AB} \\ -\underline{\underline{I}}_{11}\underline{\underline{Z}}_{B} + \underline{\underline{I}}_{22}(\underline{\underline{Z}}_{B} + \underline{\underline{Z}}_{C}) = \underline{U}_{BC} \end{cases}$$

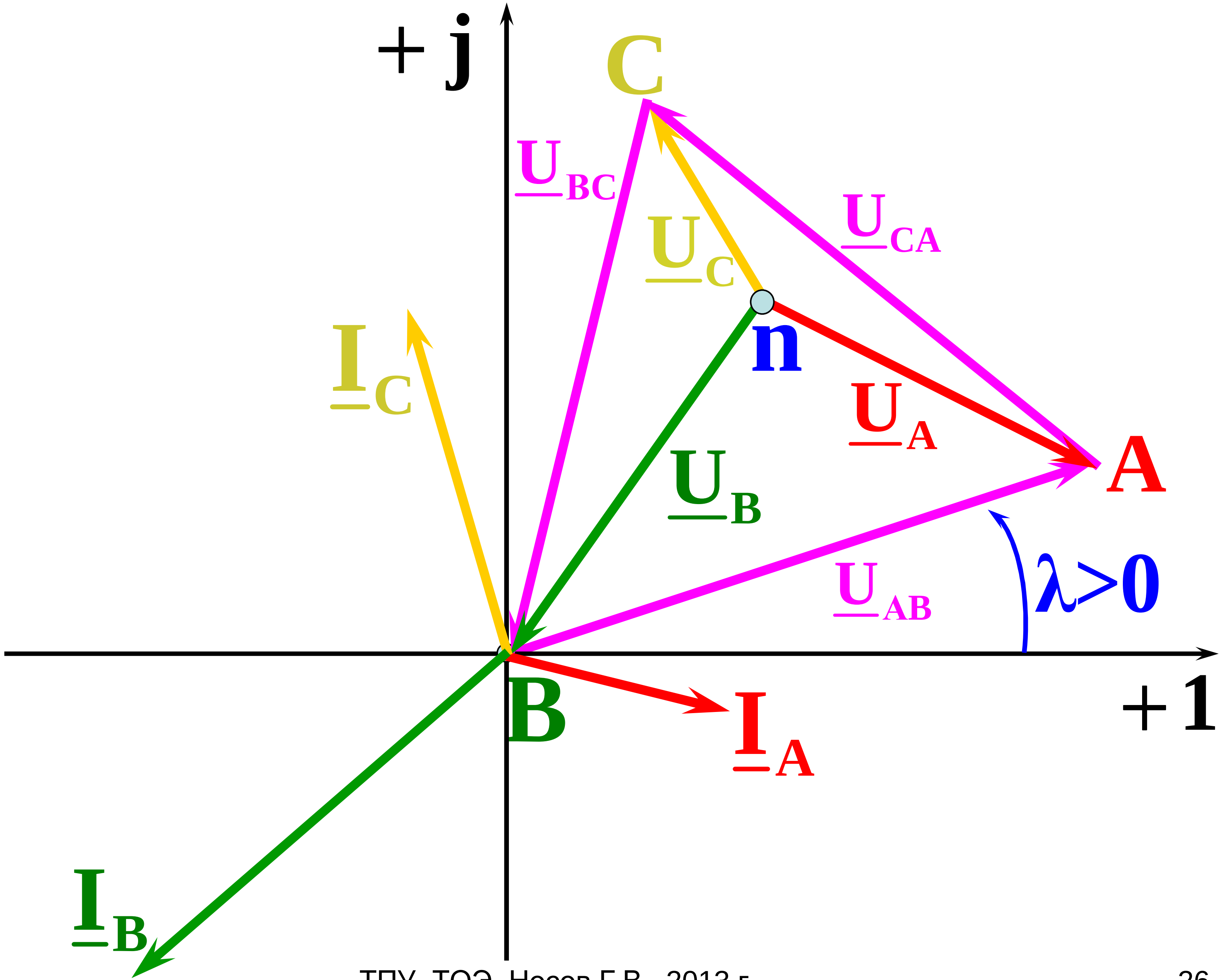
Тогда

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{11}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{22} - \underline{I}_{11};$$

$$\underline{I}_C = -\underline{I}_{22}$$

$$\underline{U}_A = \underline{Z}_A \underline{I}_A; \quad \underline{U}_B = \underline{Z}_B \underline{I}_B;$$

$$\underline{U}_C = \underline{Z}_C \underline{I}_C$$

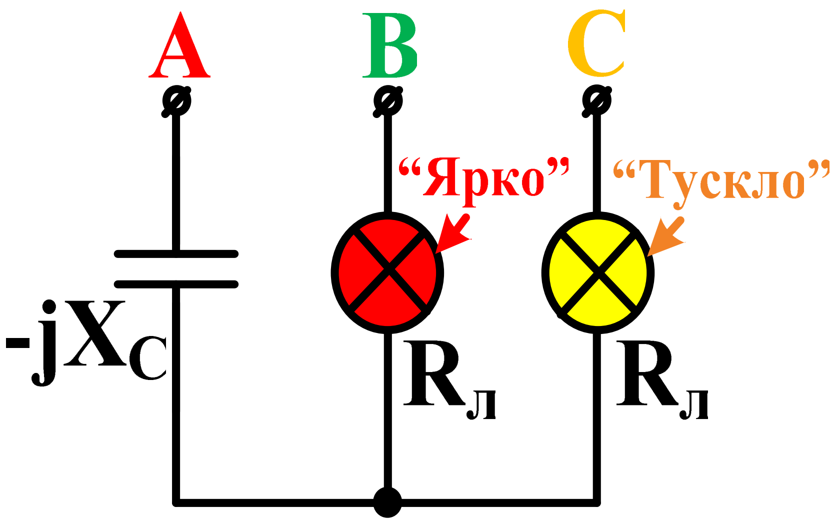

+ j
C
U_BC
U_CA
U_C
I_C
n
U_A
U_B
A
λ>0
U_AB
B
I_A
+1
I_B

Примечание:

Если $\underline{Z}_A = -jX_C; \quad \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = R_Л,$

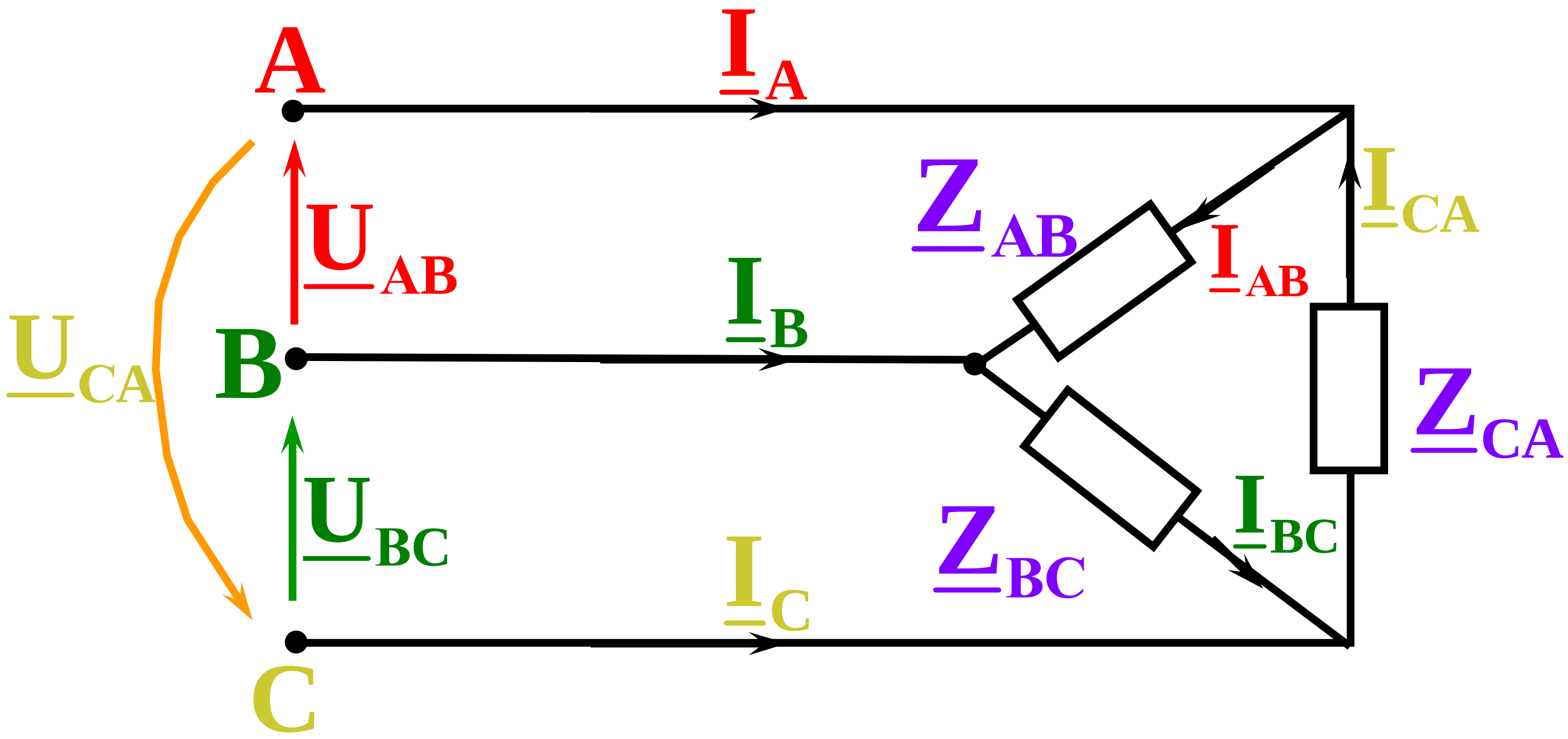
то $U_B > U_C$

- емкостной фазоуказатель:



фазу **B** укажет более **ярко** горящая лампа

3. Соединение несимметричной нагрузки $(\underline{Z}_{AB} \neq \underline{Z}_{BC} \neq \underline{Z}_{CA})$ треугольником



A
B
C
I_A
I_B
I_C
U_AB
U_BC
U_CA
Z_AB
Z_BC
Z_CA
I_AB
I_BC
I_CA

Дано:

$$\underline{U}_{AB} = U_{Л} e^{j\lambda}, \quad \underline{U}_{BC} = a^2 \underline{U}_{AB},$$

$$\underline{U}_{CA} = a \underline{U}_{AB},$$

$$\underline{Z}_{AB}, \quad \underline{Z}_{BC}, \quad \underline{Z}_{CA}$$

Определить:

а) фазные токи $\underline{I}_{AB}, \underline{I}_{BC}, \underline{I}_{CA}$

б) линейные токи $\underline{I}_{A}, \underline{I}_{B}, \underline{I}_{C}$

По закону Ома:

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

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

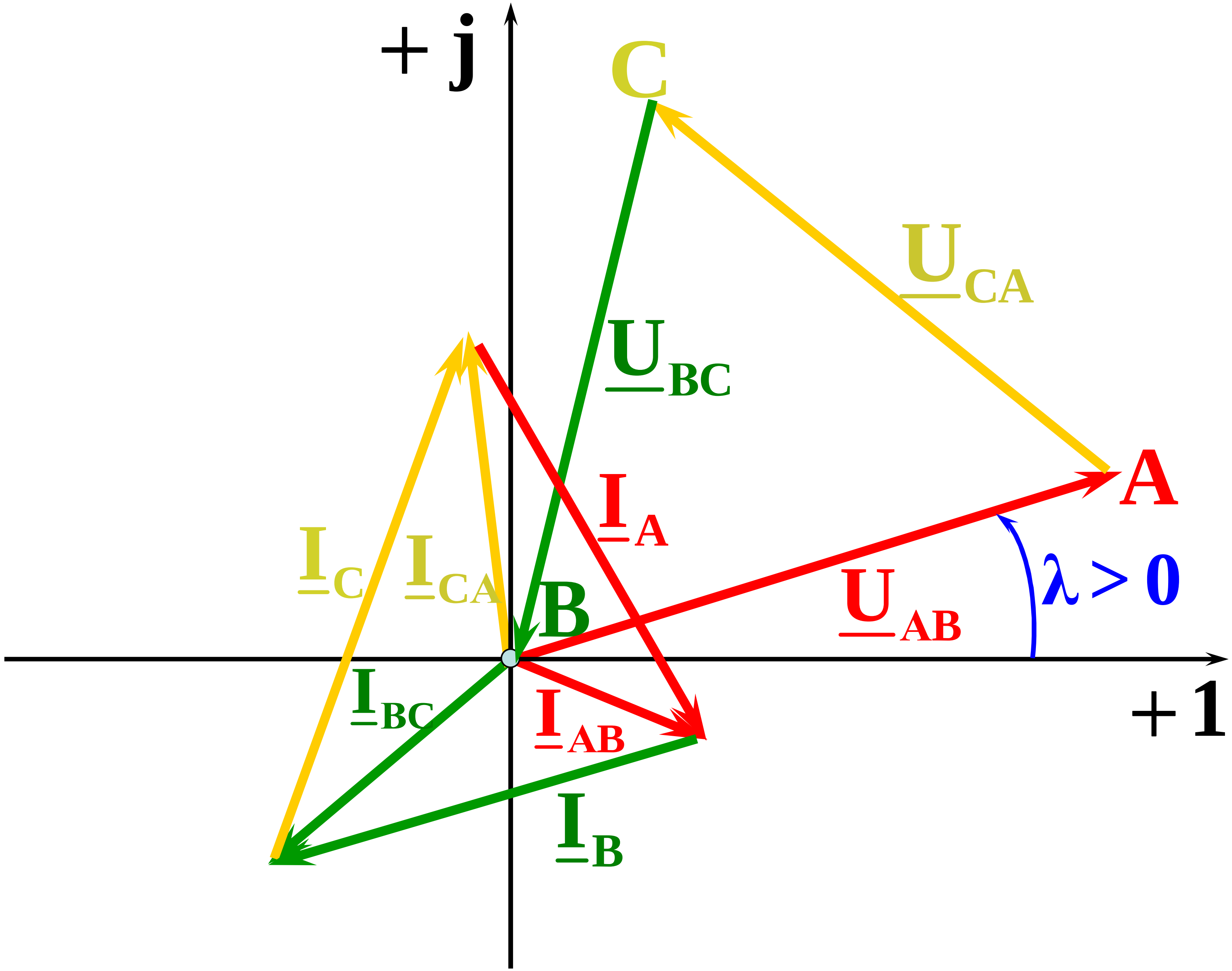
$$\underline{I}_{CA} = \frac{\underline{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}}$$

По первому закону Кирхгофа:

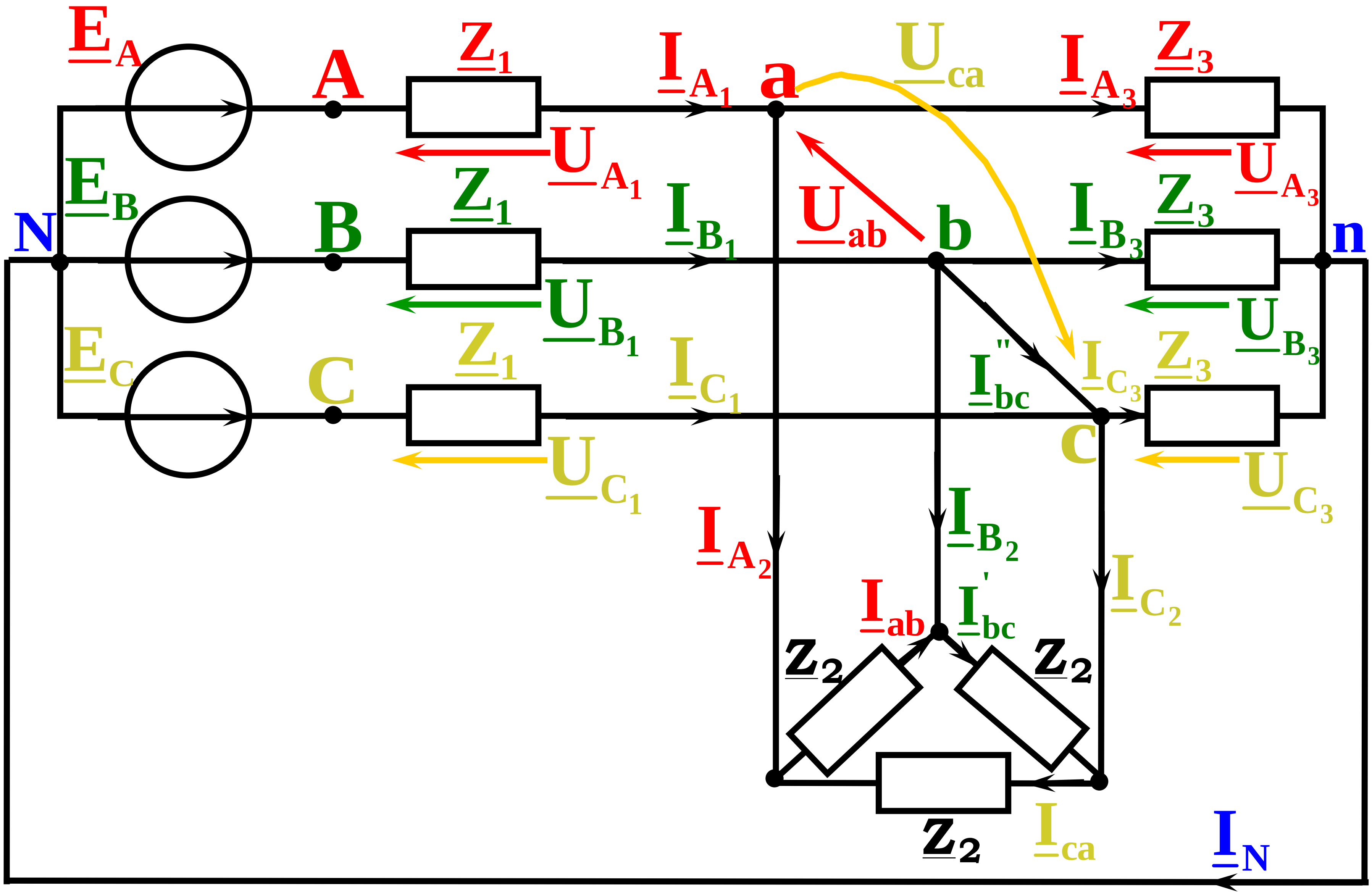
$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA}$$

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

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


+ j
C
U_CA
U_BC
A
I_A
λ > 0
I_C
I_CA
B
U_AB
I_BC
I_AB
+1
I_B

4. Несимметричный режим сложной трехфазной цепи


$\underline{E}_A$
A
$\underline{Z}_1$
$\underline{I}_{A_1}$
a
$\underline{U}_{ca}$
$\underline{I}_{A_3}$
$\underline{Z}_3$
$\underline{U}_{A_1}$
$\underline{U}_{A_3}$
$\underline{E}_B$
N
B
$\underline{Z}_1$
$\underline{I}_{B_1}$
$\underline{U}_{ab}$
b
$\underline{I}_{B_3}$
$\underline{Z}_3$
n
$\underline{U}_{B_1}$
$\underline{U}_{B_3}$
$\underline{E}_C$
C
$\underline{Z}_1$
$\underline{I}_{C_1}$
$\underline{I}''_{bc}$
$\underline{I}_{C_3}$
$\underline{Z}_3$
c
$\underline{U}_{C_1}$
$\underline{U}_{C_3}$
$\underline{I}_{A_2}$
$\underline{I}_{B_2}$
$\underline{I}_{C_2}$
$\underline{I}_{ab}$
$\underline{I}'_{bc}$
$\underline{Z}_2$
$\underline{Z}_2$
$\underline{Z}_2$
$\underline{I}_{ca}$
$\underline{I}_N$

Дано:

$$\underline{E}_A = Ee^{j\alpha}, \quad \underline{E}_B = a^2 \underline{E}_A,$$

$$\underline{E}_C = a\underline{E}_A,$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 \pm jX_1,$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 \pm jX_2,$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 \pm jX_3$$

По методу узловых потенциалов:

$$\underline{\varphi}_n = \underline{\varphi}_N = 0; \quad \underline{\varphi}_b = \underline{\varphi}_c = \underline{\varphi}_{bc}$$

$$\begin{cases} \underline{\varphi}_a \left[\dfrac{1}{\underline{Z}_1} + \dfrac{2}{\underline{Z}_2} + \dfrac{1}{\underline{Z}_3} \right] - \underline{\varphi}_{bc} \left[\dfrac{2}{\underline{Z}_2} \right] = \dfrac{\underline{E}_A}{\underline{Z}_1} \\ -\underline{\varphi}_a \left[\dfrac{2}{\underline{Z}_2} \right] + \underline{\varphi}_{bc} \left[\dfrac{2}{\underline{Z}_1} + \dfrac{2}{\underline{Z}_2} + \dfrac{2}{\underline{Z}_3} \right] = \dfrac{\underline{E}_B}{\underline{Z}_1} + \dfrac{\underline{E}_C}{\underline{Z}_1} \end{cases}$$

По обобщенному закону Ома:

$$\underline{I}_{A1} = \left[\underline{\varphi}_N - \underline{\varphi}_a + \underline{E}_A\right] \Big/ \underline{Z}_1$$

$$\underline{I}_{B1} = \left[\underline{\varphi}_N - \underline{\varphi}_b + \underline{E}_B\right] \Big/ \underline{Z}_1$$

$$\underline{I}_{C1} = \left[\underline{\varphi}_N - \underline{\varphi}_c + \underline{E}_C\right] \Big/ \underline{Z}_1$$

$$\underline{I}_{A3} = \left[\underline{\varphi}_a - \underline{\varphi}_n\right] \big/ \underline{Z}_3$$

$$\underline{I}_{B3} = \left[\underline{\varphi}_b - \underline{\varphi}_n\right] \big/ \underline{Z}_3$$

$$\underline{I}_{C3} = \left[\underline{\varphi}_c - \underline{\varphi}_n\right] \big/ \underline{Z}_3$$

$$\underline{I}'_{bc} = \left[\underline{\varphi}_b - \underline{\varphi}_c\right] / \underline{Z}_2 = 0$$

$$\underline{I}_{ca} = \left[\underline{\varphi}_c - \underline{\varphi}_a\right] / \underline{Z}_2$$

$$\underline{I}_{ab} = \left[\underline{\varphi}_a - \underline{\varphi}_b\right] / \underline{Z}_2$$

По 1 закону Кирхгофа:

$$\underline{I}_{A2} = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} \qquad \underline{I}_{B2} = \underline{I}'_{bc} - \underline{I}_{ab}$$

$$\underline{I}_{C2} = \underline{I}_{ca} - \underline{I}'_{bc}$$

$$\underline{I}''_{bc} = \underline{I}_{B1} - \underline{I}_{B2} - \underline{I}_{B3} \qquad \underline{I}_{N} = \underline{I}_{A3} + \underline{I}_{B3} + \underline{I}_{C3}$$

Проверка:

$$\boxed{\underline{I}_{N} = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{C1}}$$

По закону Ома:

$$\underline{U}_{A1}=\underline{Z}_1\underline{I}_{A1};\quad \underline{U}_{B1}=\underline{Z}_1\underline{I}_{B1}$$

$$\underline{U}_{C1}=\underline{Z}_1\underline{I}_{C1}$$

$$\underline{U}_{A3}=\underline{Z}_3\underline{I}_{A3};\quad \underline{U}_{B3}=\underline{Z}_3\underline{I}_{B3}$$

$$\underline{U}_{C3}=\underline{Z}_3\underline{I}_{C3}$$

Причем

$$\underline{U}_{ab} = \underline{\varphi}_a - \underline{\varphi}_b$$

$$\underline{U}_{bc} = \underline{\varphi}_b - \underline{\varphi}_c = 0$$

$$\underline{U}_{ca} = \underline{\varphi}_c - \underline{\varphi}_a$$

Баланс мощностей

а) комплекс **полной** вырабатываемой мощности:

$$\underline{S}_B = \underline{E}_A \underline{\dot{I}}_{A1} + \underline{E}_B \underline{\dot{I}}_{B1} + \underline{E}_C \underline{\dot{I}}_{C1} =$$

$$= P_B + jQ_B,\ \text{ВА}$$

б) активная потребляемая мощность:

$$P_{\Pi} = I_{A1}^2 R_1 + I_{B1}^2 R_1 + I_{C1}^2 R_1 +$$

$$+ I_{ab}^2 R_2 + \cancelto{0}{(I'_{bc})^2} R_2 + I_{ca}^2 R_2 +$$

$$+ I_{A3}^2 R_3 + I_{B3}^2 R_3 + I_{C3}^2 R_3, \text{ Вт}$$

в) реактивная потребляемая мощность:

$$Q_{\Pi} = \pm I_{A1}^2 X_1 \pm I_{B1}^2 X_1 \pm I_{C1}^2 X_1 \pm$$

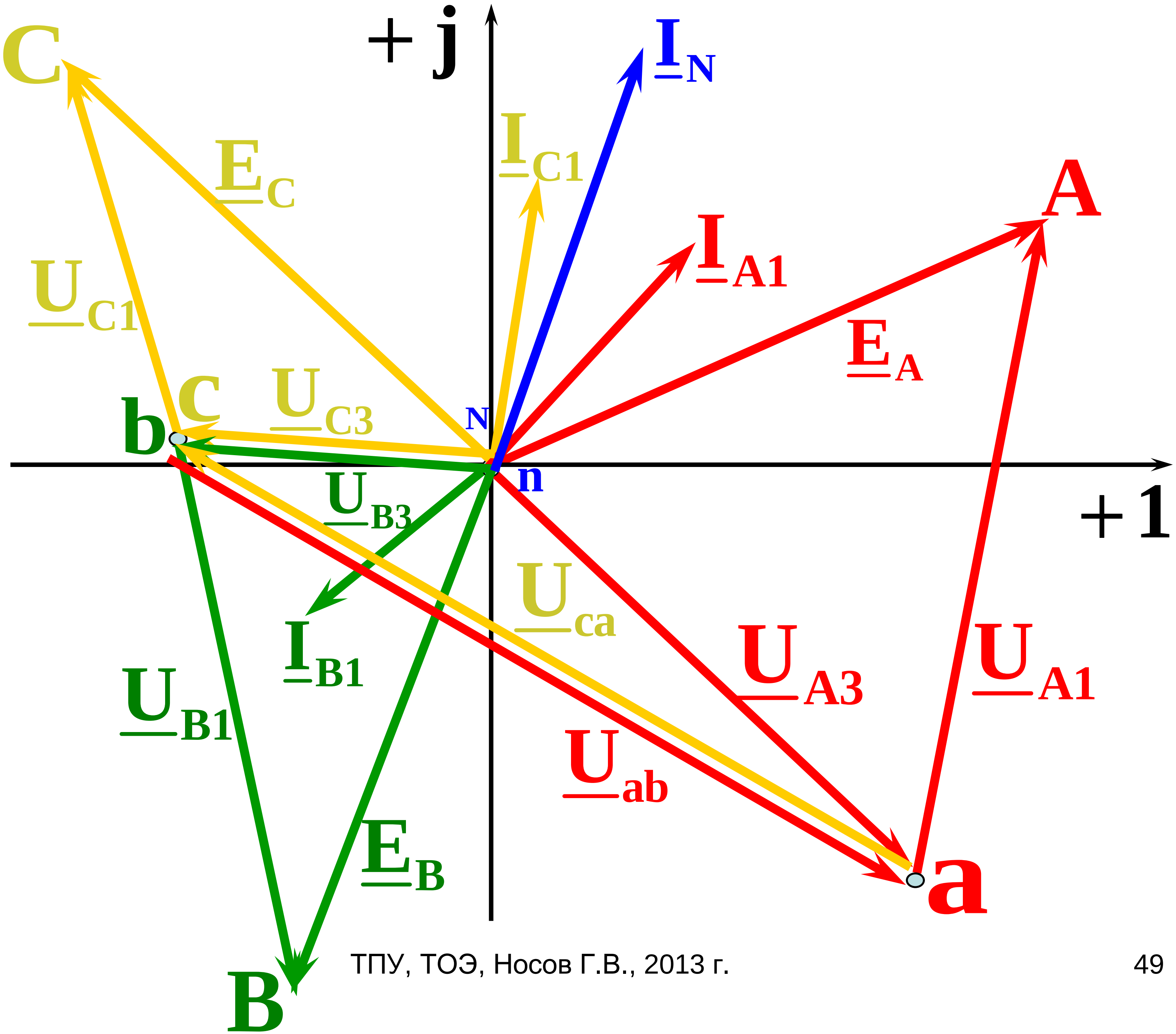
$$\pm I_{ab}^2 X_2 \pm \cancelto{0}{(I'_{bc})}^2 X_2 \pm I_{ca}^2 X_2 \pm$$

$$\pm I_{A3}^2 X_3 \pm I_{B3}^2 X_3 \pm I_{C3}^2 X_3, \text{ вар}$$

Относительные погрешности

$$\delta_p\% = \frac{\left|P_В - P_П\right|}{P_В} \cdot 100 \leq 3\%$$

$$\delta_Q\% = \frac{\left|Q_В - Q_П\right|}{\left|Q_В\right|} \cdot 100 \leq 3\%$$



+ j
C
I_N
I_C1
E_C
A
I_A1
U_C1
E_A
b
c
U_C3
N
n
U_B3
+ 1
U_ca
I_B1
U_A3
U_A1
U_B1
U_ab
E_B
a
B