

Лекция №7

**Статические трехфазные цепи.
Динамические трехфазные цепи**

© 2020 Томский политехнический университет, ОЭЭ ИШЭ

Лектор: к.т.н., доцент Васильева Ольга Владимировна

Трехфазные цепи образуются
тремя электрически связанными
фазами (цепями) А, В, С,
находящимися под переменными
напряжениями одинакового
периода T , которые сдвинуты
по фазе относительно
друг друга на определенный угол
(120 градусов)

К этим фазам подключаются
статические и динамические
нагрузки, соединенные как правило
звездой или треугольником

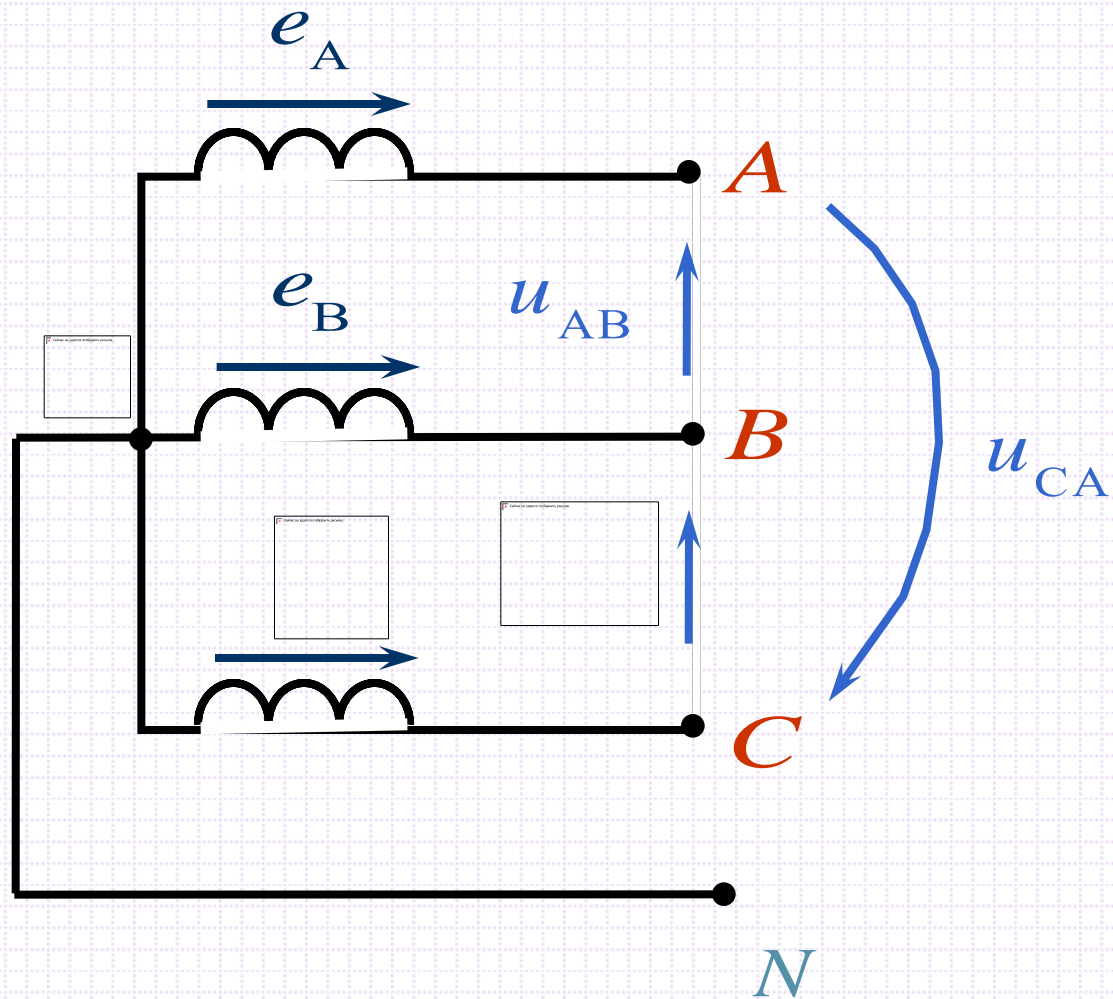
Статические нагрузки - это
обмотки трансформаторов, лампы,
нагреватели, конденсаторы и др.

Динамические нагрузки - это
обмотки электрических
двигателей

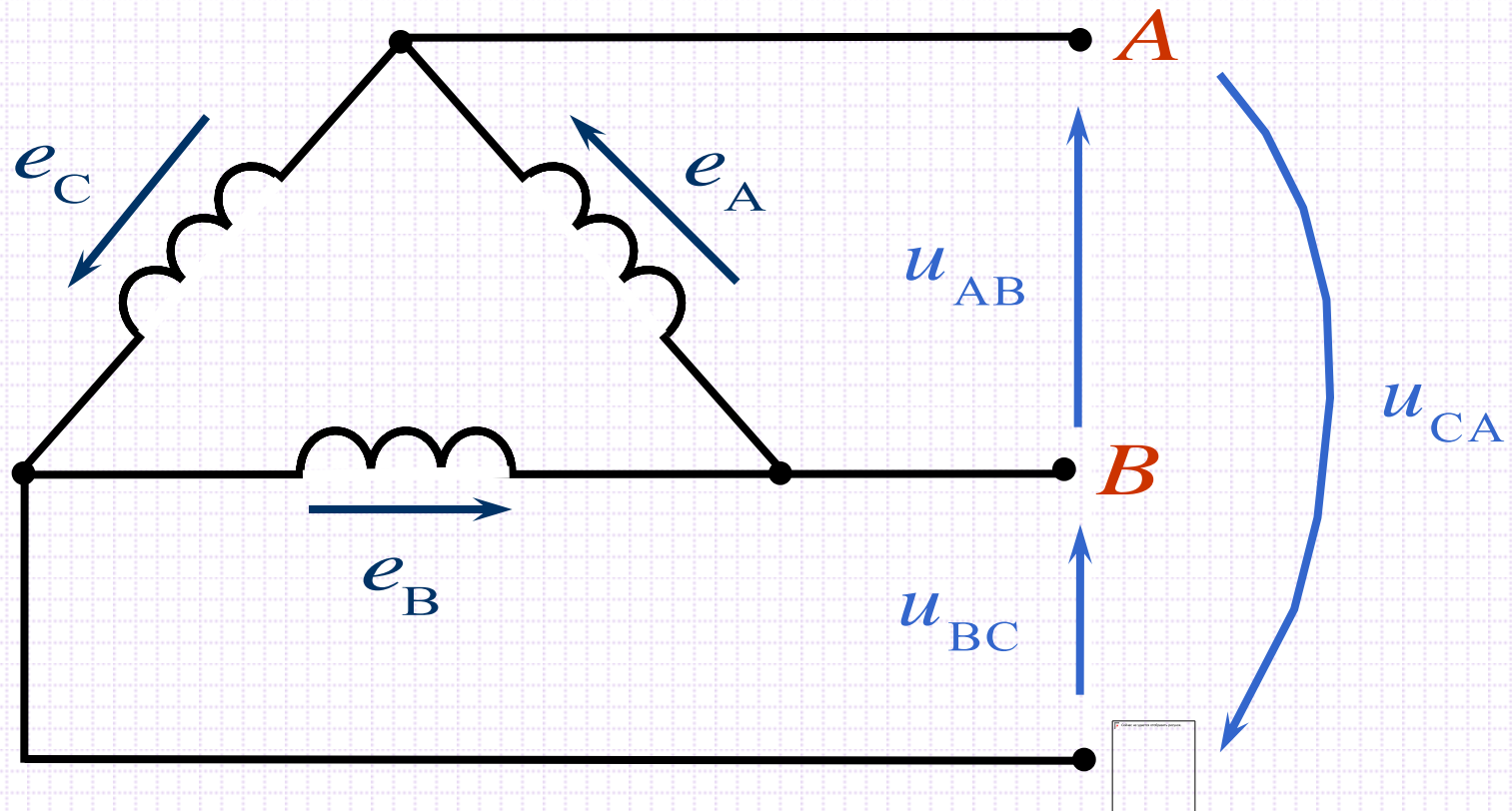
Генерирование и распределение
электрической энергии
осуществляется посредством
трехфазных цепей,
которые запитываются от обмоток
генераторов и трансформаторов,
характеризуемых фазными ЭДС $e_A(t)$,
 $e_B(t)$, $e_C(t)$

Соединения обмоток генераторов и трансформаторов

а) звездой:



б) треугольником:



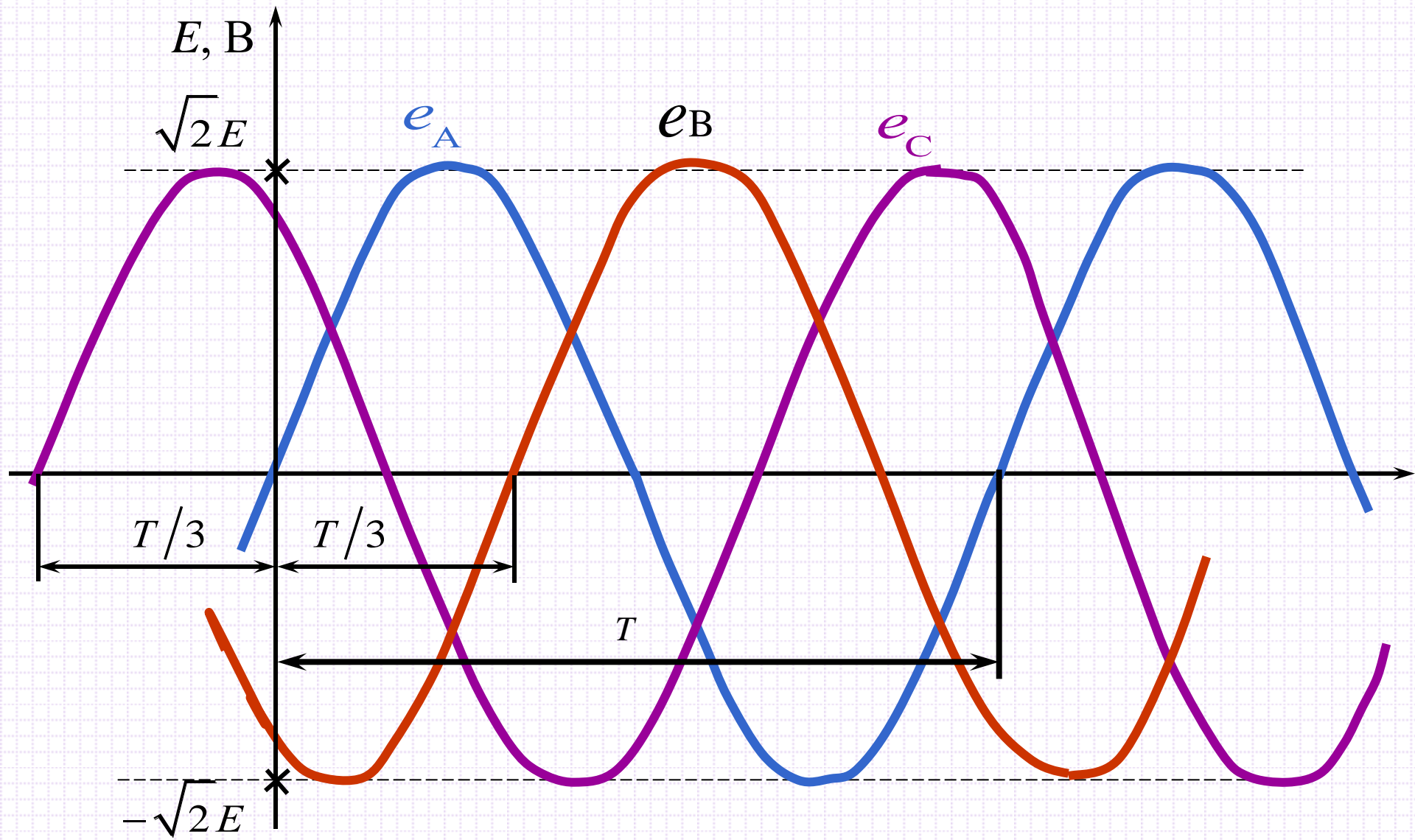
В нормальном режиме фазные ЭДС генераторов и трансформаторов образуют симметричную систему, т.е. имеют одинаковую гармоническую форму, одинаковые частоту и амплитуду и сдвинуты по фазе относительно друг друга на 120 градусов

$$e_A(t) = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \alpha)$$

$$e_B(t) = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \alpha - 120^\circ)$$

$$e_C(t) = \sqrt{2}E \sin(\omega t + \alpha + 120^\circ)$$

Волновая диаграмма при $\alpha = 0$



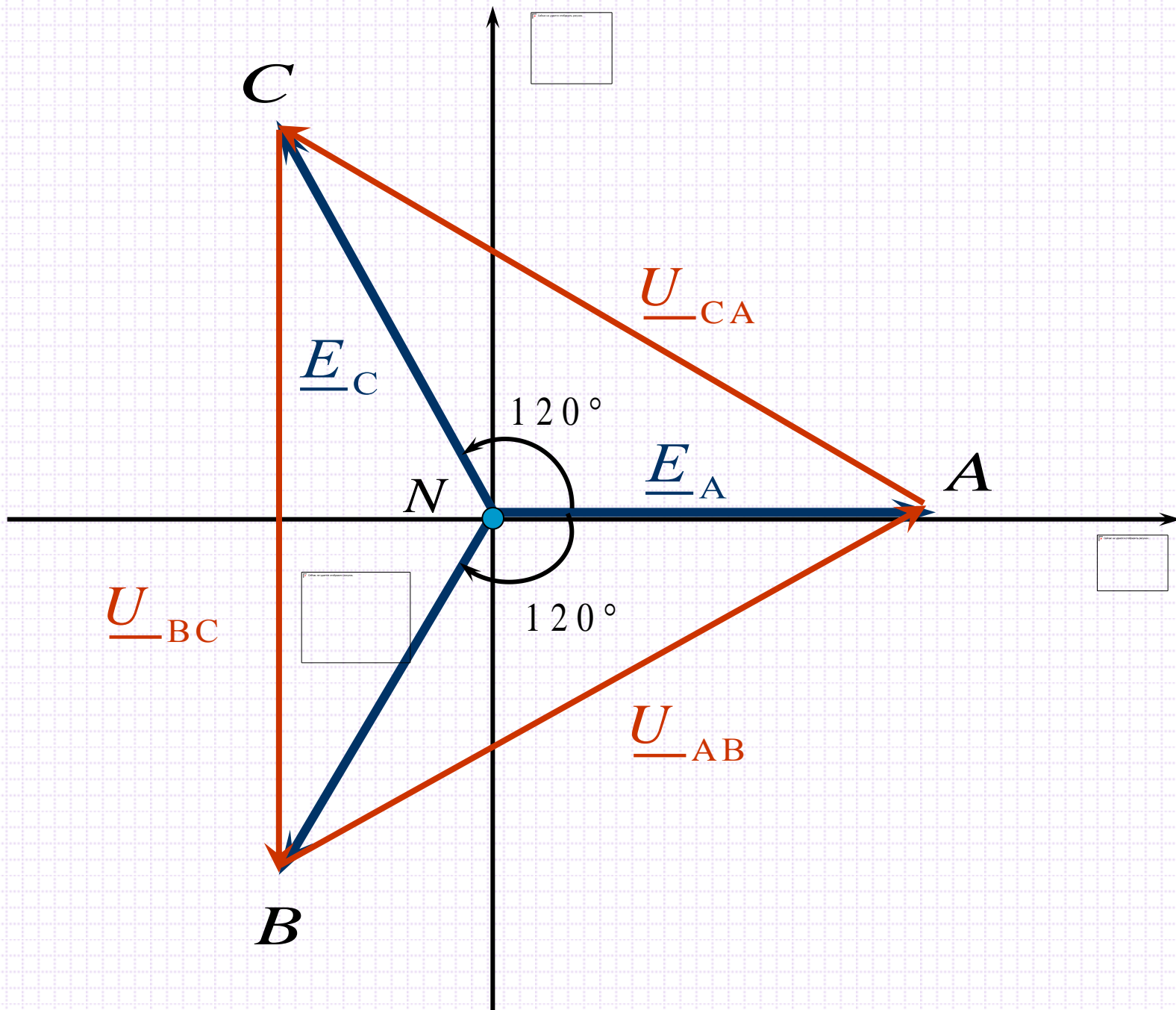
Векторная диаграмма

при $\alpha = 0$

$$\underline{E}_A = E \cdot e^{j0^\circ}$$

$$\underline{E}_B = E \cdot e^{-j120^\circ}$$

$$\underline{E}_C = E \cdot e^{j120^\circ}$$



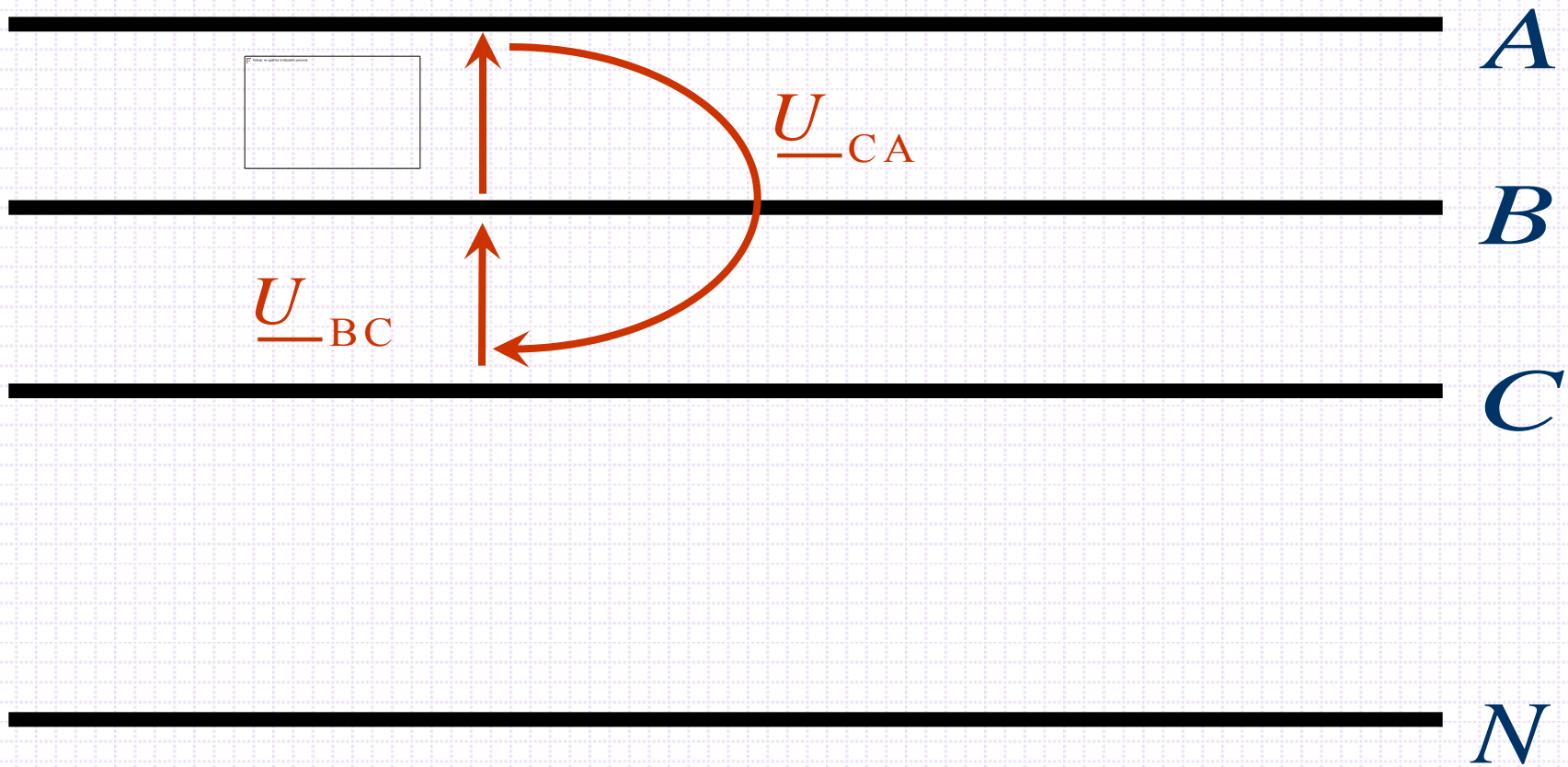
Линейные напряжения :

$$u_{AB}(t) = e_A(t) - e_B(t) = \sqrt{2} \sqrt{3} E \sin(\omega t + \alpha + 30^\circ)$$

$$u_{BC}(t) = e_B(t) - e_C(t) = \sqrt{2} \sqrt{3} E \sin(\omega t + \alpha - 90^\circ)$$

$$u_{CA}(t) = e_C(t) - e_A(t) = \sqrt{2} \sqrt{3} E \sin(\omega t + \alpha + 150^\circ)$$

Линейные напряжения - это
напряжения между фазами, причем
эти напряжения могут быть найдены
по известным фазным напряжениям



где

$$\underline{U}_{AB} = U_{\text{Л}} \cdot e^{j(\alpha+30^\circ)}$$

$$\underline{U}_{BC} = U_{\text{Л}} \cdot e^{j(\alpha-90^\circ)}$$

$$\underline{U}_{CA} = U_{\text{Л}} \cdot e^{j(\alpha+150^\circ)}$$

- комплексы действующих значений

где

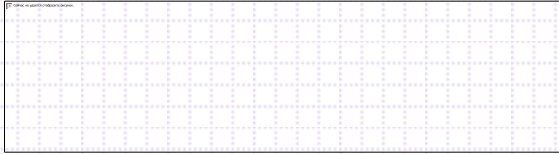
$$U_{Л} = \sqrt{3E}$$

- действующее значение

Фазовый оператор

$$a = 1e^{j120^\circ} = -0,5 + j0,866$$

В результате



$$\underline{E}_B = a^2 \underline{E}_A$$

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

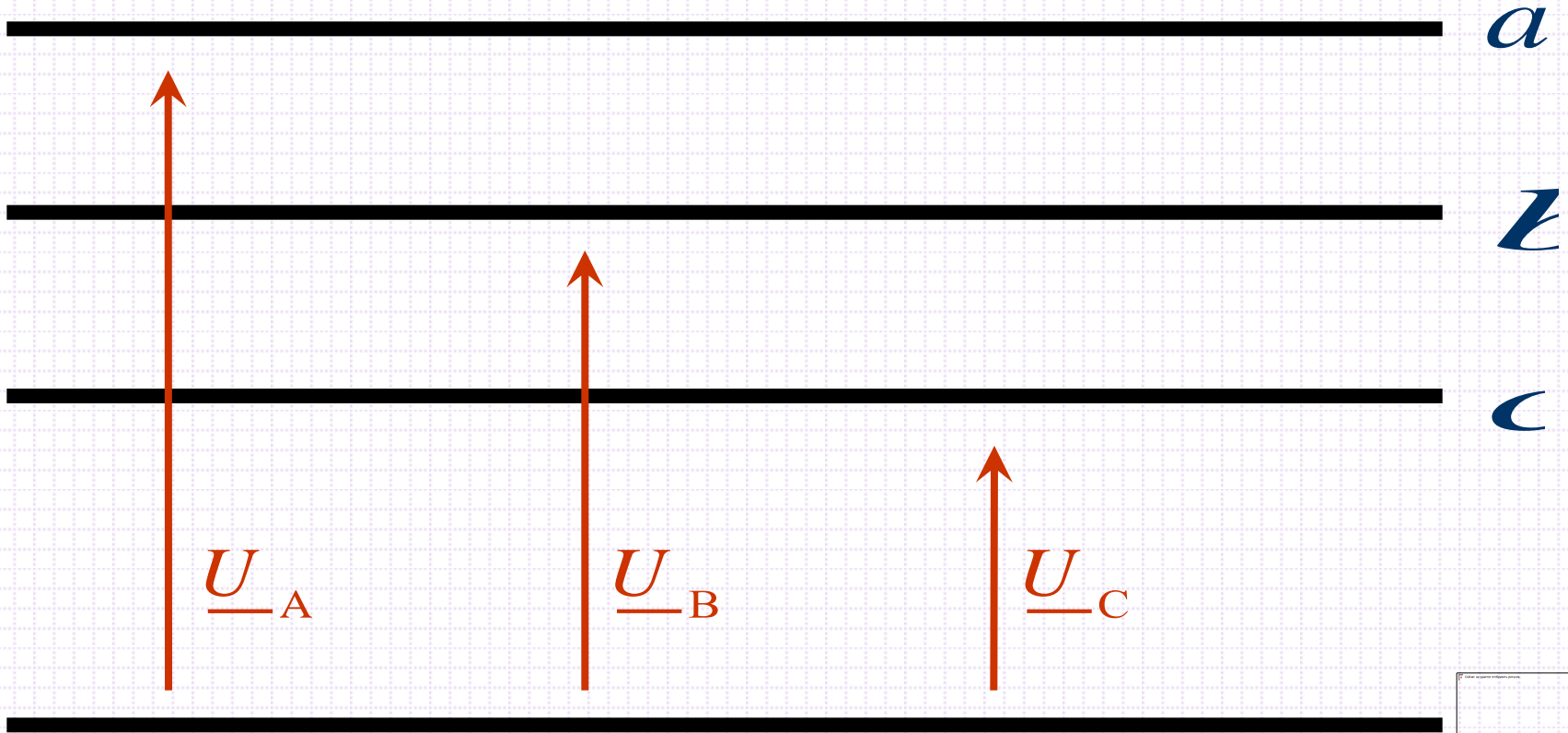
В результате

$$\underline{U}_{AB} = U_{Л} \cdot e^{j(\alpha+30^\circ)}$$

$$\underline{U}_{BC} = a^2 \underline{U}_{AB}$$

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

Фазные напряжения - ЭТО
напряжения между фазами и
нулевым проводом или нейтралью



где

$$\begin{cases} \underline{U}_A = U_\Phi \cdot e^{j\beta} \\ \underline{U}_B = a^2 \cdot \underline{U}_A \\ \underline{U}_C = a \cdot \underline{U}_A \end{cases}$$

где

$$\begin{cases} \underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = U_{\text{Л}} \cdot e^{j\lambda} \\ \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = a^2 \cdot \underline{U}_{AB} \\ \underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = a \cdot \underline{U}_{AB} \end{cases}$$

$$U_{\text{Л}} = \sqrt{3}U_{\Phi} \quad \lambda = \beta + 30^\circ$$

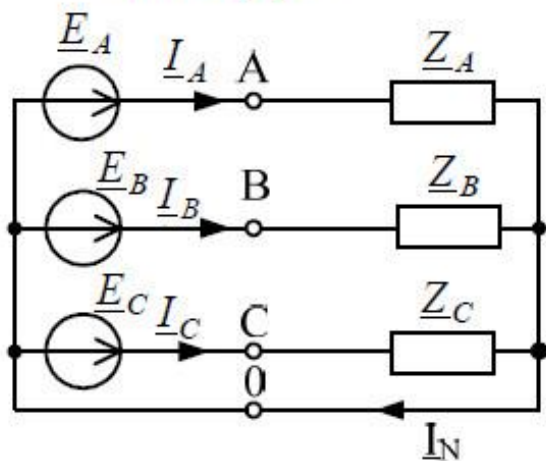
Симметричный режим трехфазных цепей

Симметричный режим
характеризуется *симметричной*
системой фазных ЭДС и напряжений,
а также *одинаковой нагрузкой фаз*

Трехфазная цепь с одинаковой
нагрузкой фаз называется
симметричной

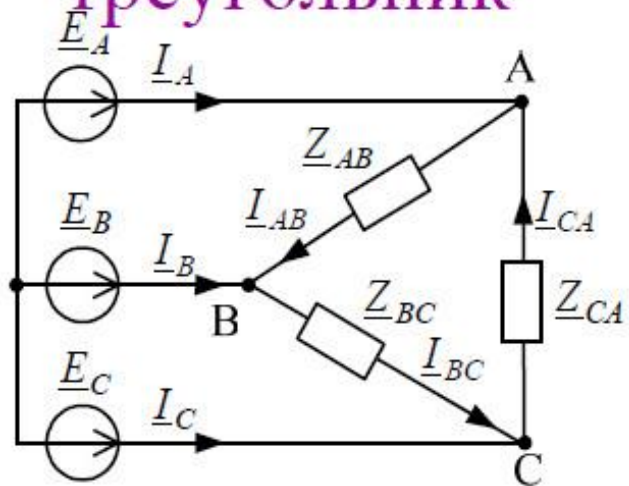
Схемы соединения нагрузки:

звезда

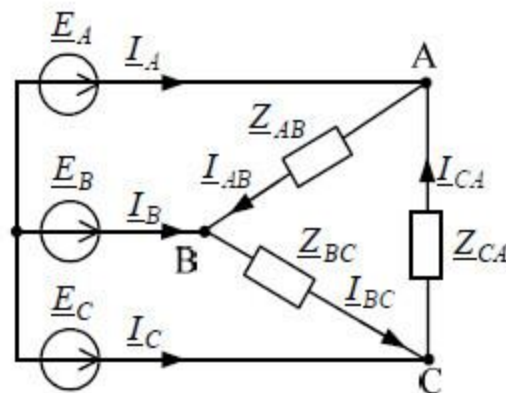
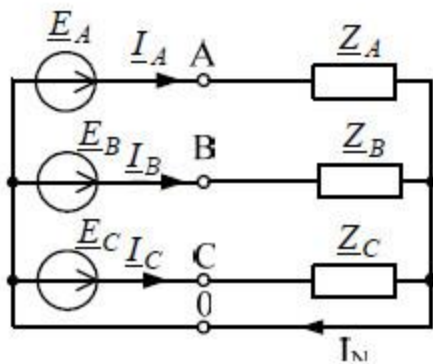


\underline{I}_A , \underline{I}_B , \underline{I}_C –
линейные токи,
равные фазным

треугольник



\underline{I}_{AB} , \underline{I}_{BC} , \underline{I}_{CA} –
фазные токи
 \underline{I}_A , \underline{I}_B , \underline{I}_C –
линейные токи



Симметричная нагрузка

$$(\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C)$$

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

$$\underline{I}_B = a^2 \underline{I}_A$$

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

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

$$(\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{BC} = \underline{Z}_{CA})$$

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

$$\underline{I}_{BC} = a^2 \underline{I}_{AB}$$

$$\underline{I}_{CA} = a \underline{I}_{AB}$$

$$\underline{I}_A = \sqrt{3} \underline{I}_{AB} e^{-j30}$$

Комплекс полной вырабатываемой мощности

$$\begin{aligned}\underline{S}_B &= \underline{E}_A \underline{I}_A + \underline{E}_B \underline{I}_B + \underline{E}_C \underline{I}_C = \\ &= 3 \cdot E \cdot I_{\text{Л}} e^{j\phi} = \\ &= P_B + jQ_B, \text{ (ВА)}\end{aligned}$$

а) АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ

$$P_{\text{В}} = P_{\text{П}} = 3 \cdot E \cdot I_{\text{Л}} \cos \phi =$$

$$= \sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}} \cdot I_{\text{Л}} \cos \phi =$$

$$= 3 \cdot I_{\text{Л}}^2 \cdot [\text{Re}(\underline{Z})], (\text{Вт})$$

б) реактивная мощность

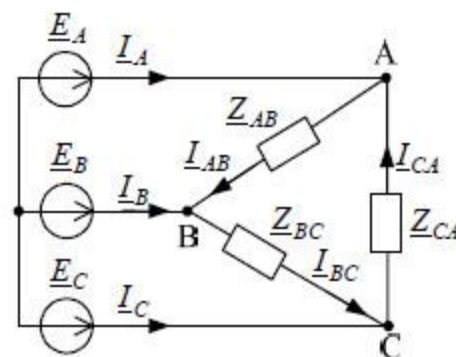
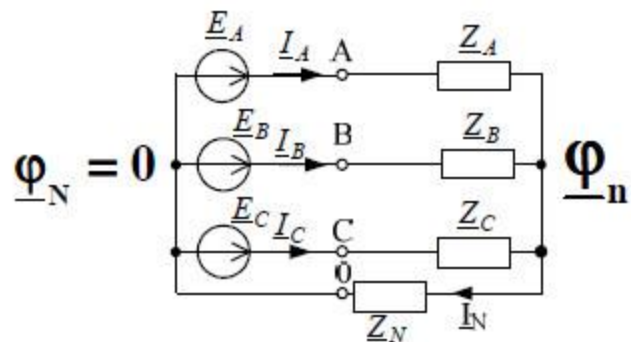
$$\begin{aligned} Q_{\text{В}} &= Q_{\text{П}} = 3 \cdot E \cdot I_{\text{Л}} \sin \phi = \\ &= \sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}} \cdot I_{\text{Л}} \sin \phi = \\ &= 3 \cdot I_{\text{Л}}^2 \cdot [\text{Im}(\underline{Z})], \text{ (вар)} \end{aligned}$$

В симметричном режиме ток нулевого провода \underline{I}_N и напряжение смещения нейтралей \underline{U}_N равны нулю, поэтому цепь без нулевого провода рассчитывается аналогично, причем такой расчет можно вести на одну фазу (А)

Несимметричный режим трехфазных цепей

Несимметричный режим

Обусловлен различной нагрузкой фаз или несимметричной системой напряжений трехфазного источника, причем в этом режиме напряжения и токи фаз не образуют симметричные системы, при статической нагрузке фаз рассчитывается известными методами в комплексной форме, причем в этом режиме ток и напряжение в нулевом проводе могут быть не равны нулю



Несимметричная нагрузка

$$\begin{aligned}
 \underline{\varphi}_n & \left(\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{1}{\underline{Z}_B} + \frac{1}{\underline{Z}_C} + \frac{1}{\underline{Z}_N} \right) = \\
 & = \frac{\underline{E}_A}{\underline{Z}_A} + \frac{\underline{E}_B}{\underline{Z}_B} + \frac{\underline{E}_C}{\underline{Z}_C} \\
 \underline{I}_A & = \frac{-\varphi_n + \underline{E}_A}{\underline{Z}_A}; \quad \underline{I}_B = \frac{-\varphi_n + \underline{E}_B}{\underline{Z}_B}; \\
 \underline{I}_C & = \frac{-\varphi_n + \underline{E}_C}{\underline{Z}_C} \\
 \underline{I}_N & = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C
 \end{aligned}$$

$$(\underline{Z}_{AB} \neq \underline{Z}_{BC} \neq \underline{Z}_{CA})$$

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

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

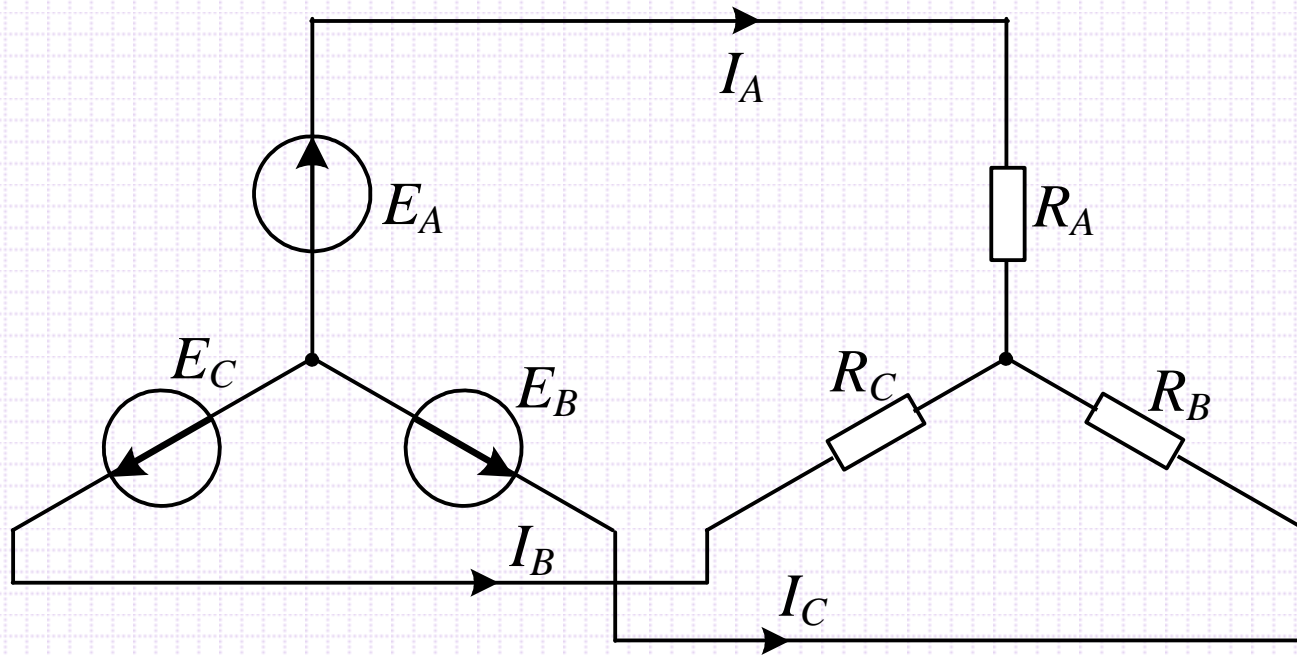
$$\underline{I}_A = \underline{I}_{AB} - \underline{I}_{CA}$$

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

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

Таким образом,

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



Пусть задана симметричная система ЭДС с несимметричной нагрузкой:

$$a = e^{j120^\circ} = -0,5 + j0,866,$$

$$\underline{E}_A = 220 \text{ В},$$

$$\underline{E}_B = 220 a^2,$$

$$\underline{E}_C = 220 a,$$

$$R_A = 10 \text{ Ом},$$

$$R_B = 20 \text{ Ом}, R_C = 30 \text{ Ом}$$

По методу узловых потенциалов:

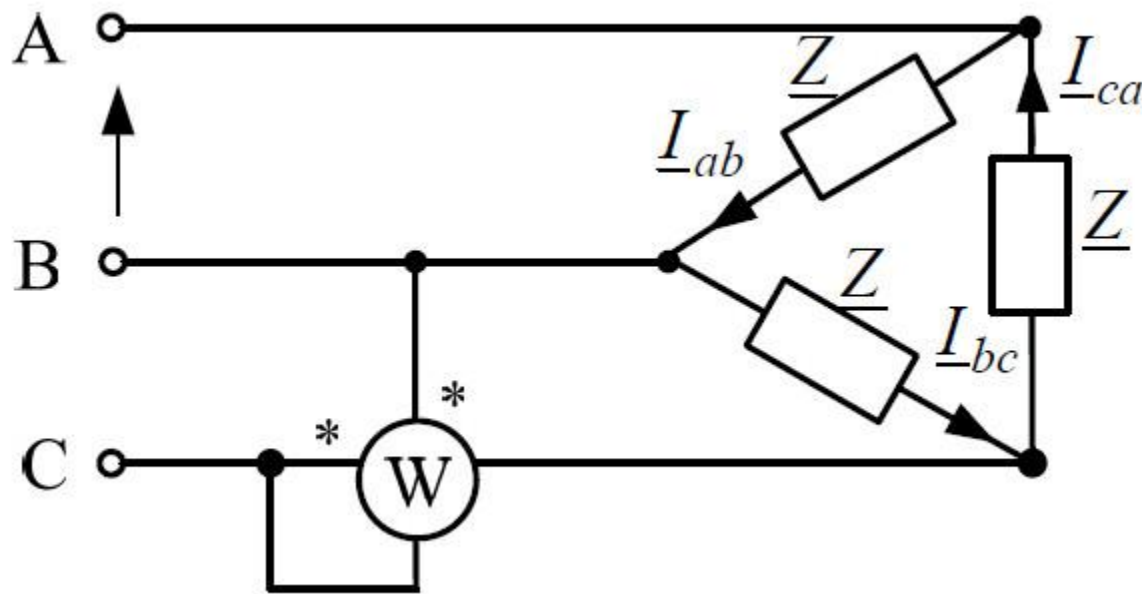
$$\underline{\varphi} = \frac{\underline{E}_A / R_A + \underline{E}_B / R_B + \underline{E}_C / R_C}{1/R_A + 1/R_B + 1/R_C} = 70 - j17,321 \text{ В}$$

По обобщенному закону Ома:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{E}_A - \underline{\varphi}}{R_A} = 15 - j1,732 \text{ А}, \quad \underline{I}_B = \frac{\underline{E}_B - \underline{\varphi}}{R_B} = -9 - j8,66 \text{ А},$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{E}_C - \underline{\varphi}}{R_C} = -6 + j6,928 \text{ А}.$$

Найти показание ваттметра:



$$\underline{E}_A = 500 e^{j10^\circ} \text{ B}$$

$$\underline{Z}_\phi = 120 + j30 \text{ Ом.}$$

Показание ваттметра:

$$\mathbf{P_W = |U_{BC}| \cdot |I_C| \cdot \cos \varphi, \text{ Вт}}$$

Линейное напряжение U_{BC} :

$$\begin{aligned} \underline{U}_{BC} &= a^2 \underline{U}_{AB} = a^2 \sqrt{3} \underline{E}_A e^{j30} = e^{-j120} \sqrt{3} 500 e^{j10} e^{j30} = \\ &= 500 \sqrt{3} e^{j(-120+10+30)} = 866,025 e^{-j80} \text{ В} \end{aligned}$$

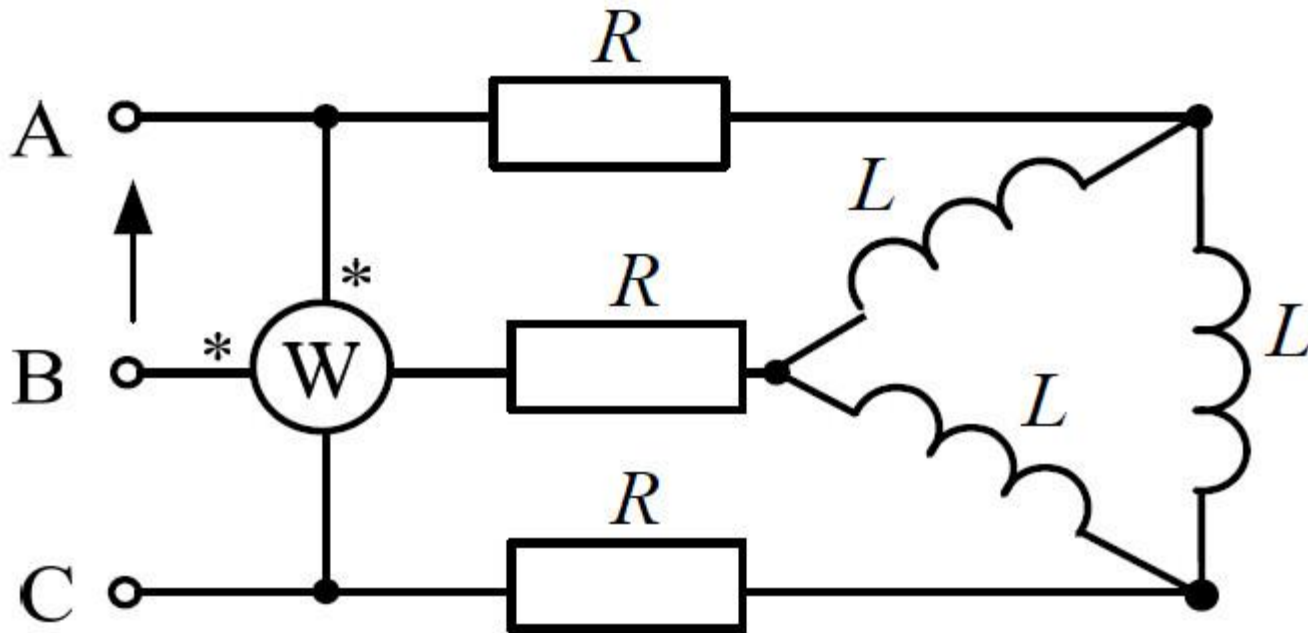
Линейный ток \underline{I}_C :

$$\begin{aligned}\underline{I}_C &= a\underline{I}_A = a \frac{\underline{E}_A}{\underline{Z}/3} = e^{j120} \frac{500e^{j10}}{120 + j30} = \frac{500e^{j130}}{40 + j10} = \\ &= \frac{500e^{j130}}{41,2e^{j14}} = 12,127e^{j116} \text{ A}\end{aligned}$$

Показание ваттметра:

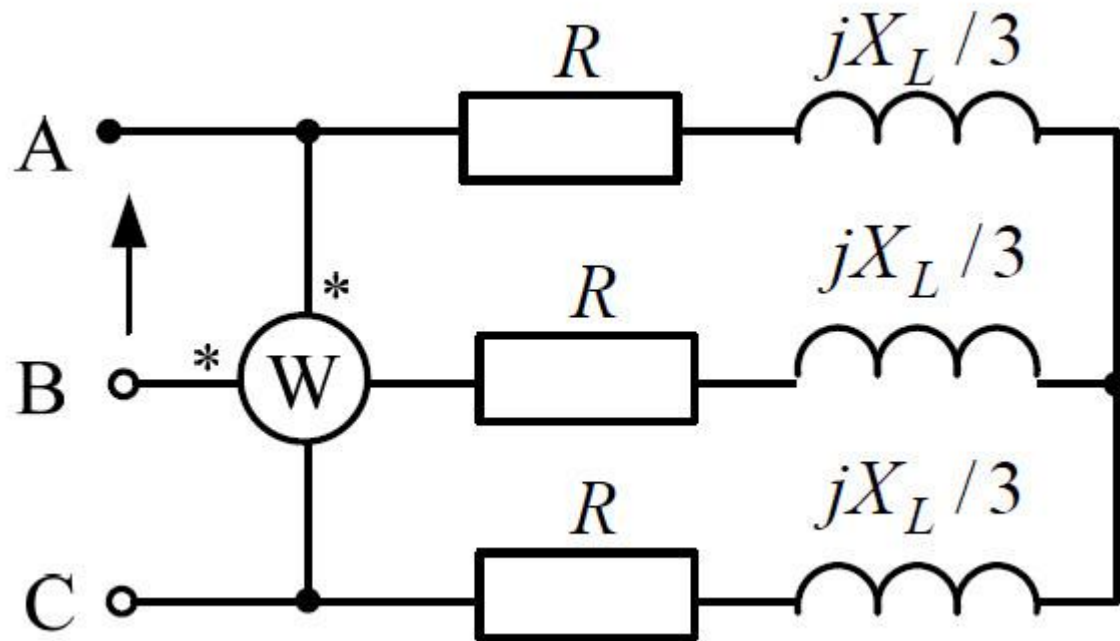
$$\begin{aligned}P_W &= |\underline{U}_{BC}| \cdot |\underline{I}_C| \cdot \cos \varphi = \\ &= 866,025 \cdot 12,127 \cos(-80 - 116) = \\ &= -10097,096 \text{ Вт}\end{aligned}$$

Найти показание ваттметра:



Показание ваттметра в общем виде:

$$P_W = |U_{AC}| \cdot |I_B| \cdot \cos \varphi, \text{ Вт}$$



Линейный ток \underline{I}_A :

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{E}_A}{\underline{Z}} = \frac{\underline{E}_A}{R + \frac{jX_L}{3}}$$

Линейный ток \underline{I}_B :

$$\underline{I}_B = a^2 \underline{I}_A$$

Показание ваттметра в общем виде:

$$P = |U_{AC}| |I_B| \cos \left(\hat{U}_{AC} I_B \right) = \operatorname{Re}(U_{AC}, \underline{I}_B^*)$$

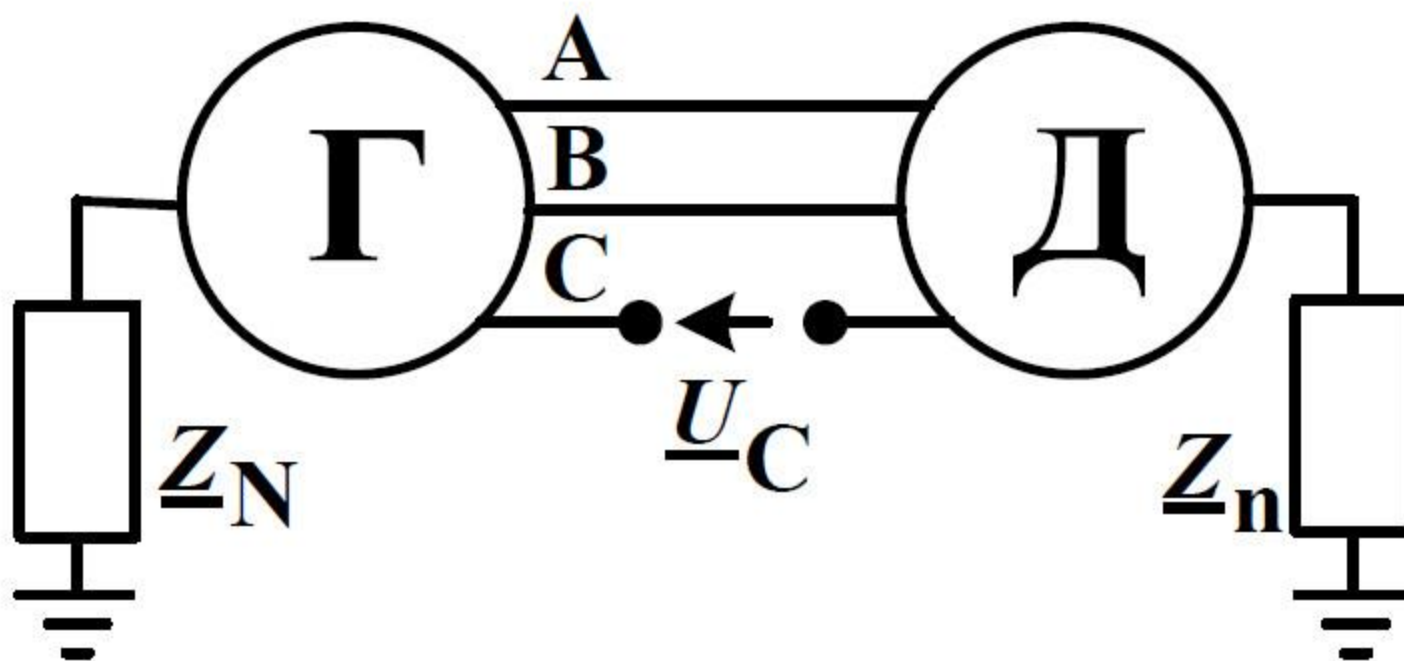
Линейное напряжение U_{AC} :

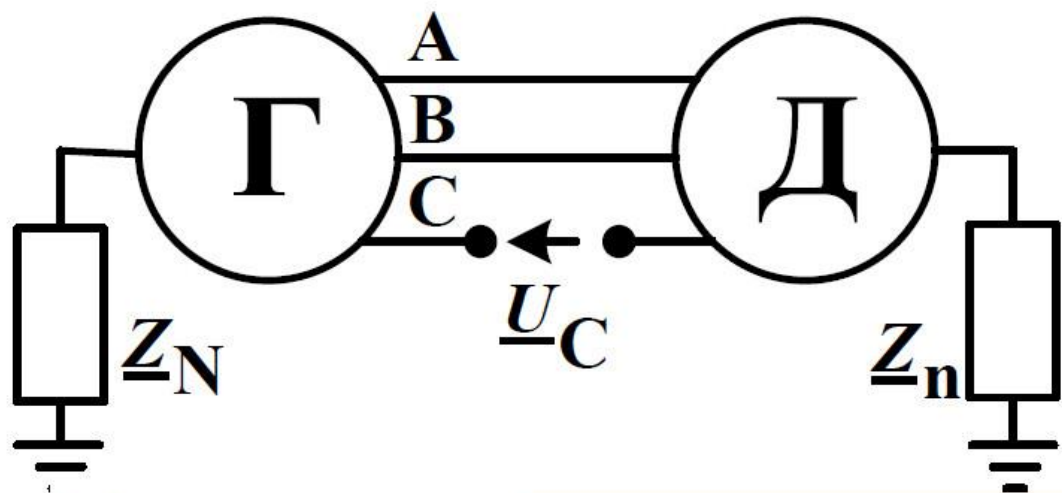
$$\begin{aligned} \underline{U}_{AC} &= -\underline{U}_{CA} = -a \underline{U}_{AB} = \\ &= \underline{U}_{AB} e^{j(120-180)} = \underline{U}_{AB} e^{-j60} = \\ &= \underline{E}_A \sqrt{3} e^{j(-60+30)} = \underline{E}_A \sqrt{3} e^{-j30} \end{aligned}$$

Динамические трехфазные цепи

Рассмотрим применение метода
симметричных составляющих для
расчета аварийного режима
динамических трехфазных цепей,
которые в нормальном режиме
симметричны

Расчет при обрыве одной фазы (продольная несимметрия)





Условие:

$$\underline{U}_A = 0; \quad \underline{U}_B = 0; \quad \underline{I}_C = 0$$

$$\underline{U}_{C1} = \frac{\cancel{a\underline{U}_A^0} + \cancel{a^2\underline{U}_B^0} + \underline{U}_C}{3} = \frac{\underline{U}_C}{3} = \underline{U}_{C2} = \underline{U}_{C0}$$

$$\underline{U}_{C2} = \frac{\cancel{a^2\underline{U}_A^0} + \cancel{a\underline{U}_B^0} + \underline{U}_C}{3} = \frac{\underline{U}_C}{3}$$

$$\underline{U}_{C0} = \frac{\cancel{\underline{U}_A^0} + \cancel{\underline{U}_B^0} + \underline{U}_C}{3} = \frac{\underline{U}_C}{3}$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{C_1} + \underline{I}_{C_2} + \underline{I}_{C_0} = \frac{\underline{E}_C - \underline{U}_{C1}}{\underline{Z}_1} - \frac{\underline{U}_{C2}}{\underline{Z}_2} - \frac{\underline{U}_{C0}}{\underline{Z}_0} = 0$$

$$\frac{\underline{E}_C - \frac{\underline{U}_C}{3}}{\underline{Z}_1} - \frac{\frac{\underline{U}_C}{3}}{\underline{Z}_2} - \frac{\frac{\underline{U}_C}{3}}{\underline{Z}_0} = 0$$

Из схемы
прямой
последовательности

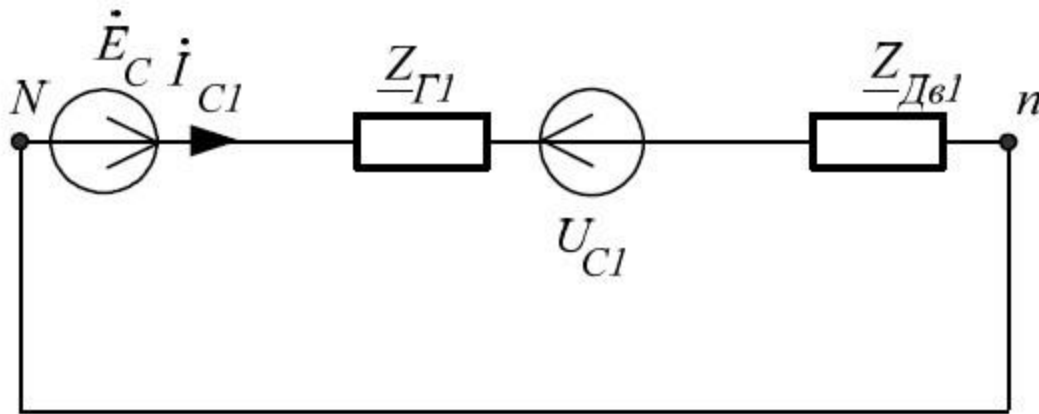
Из схемы
обратной
последовательности

Из схемы
нулевой
последовательности

**Решаем полученное уравнение
относительно U_C**

Схема прямой

последовательности:

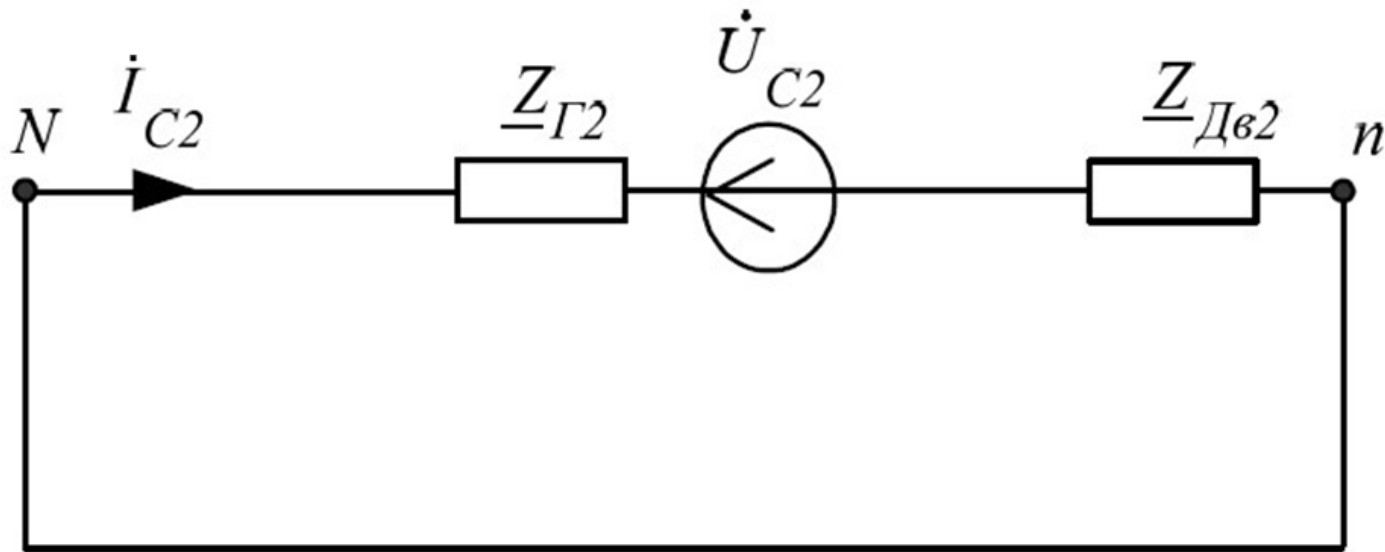


По закону Ома:

$$\dot{i}_{C1} = \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_{C1}}{\underline{Z}_1};$$

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_{\Gamma 1} + \underline{Z}_{Дв1}$$

Схема обратной последовательности:



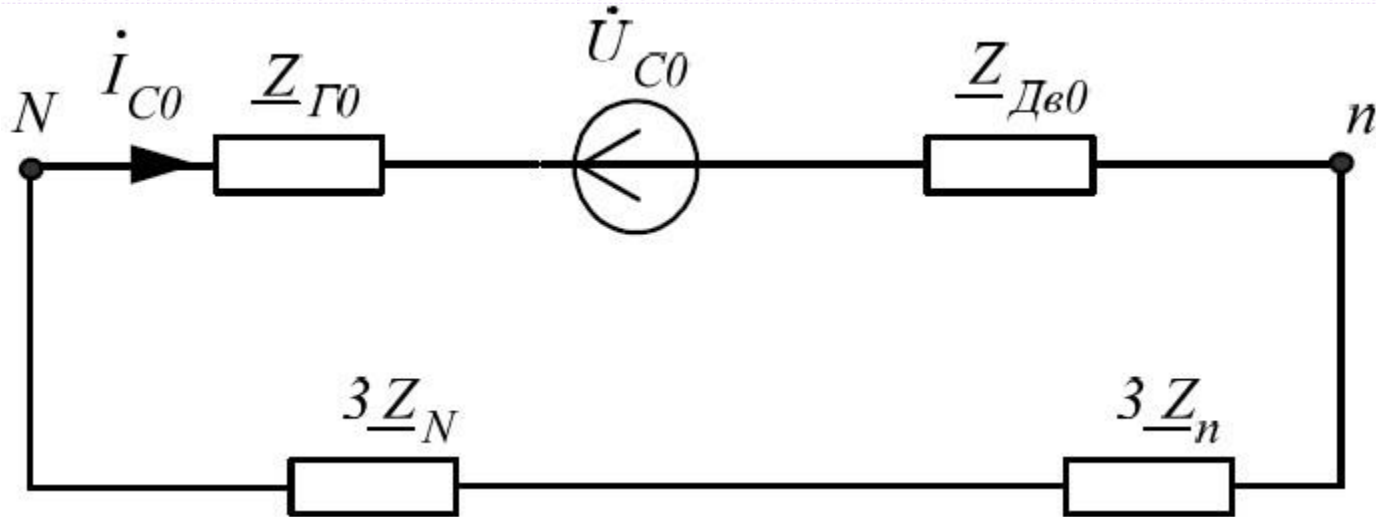
По закону Ома:

$$\dot{i}_{c2} = \frac{-\dot{U}_{c2}}{\underline{Z}_2};$$

$$\underline{Z}_2 = \underline{Z}_{Г2} + \underline{Z}_{Дв2}$$

Схема нулевой

последовательности:

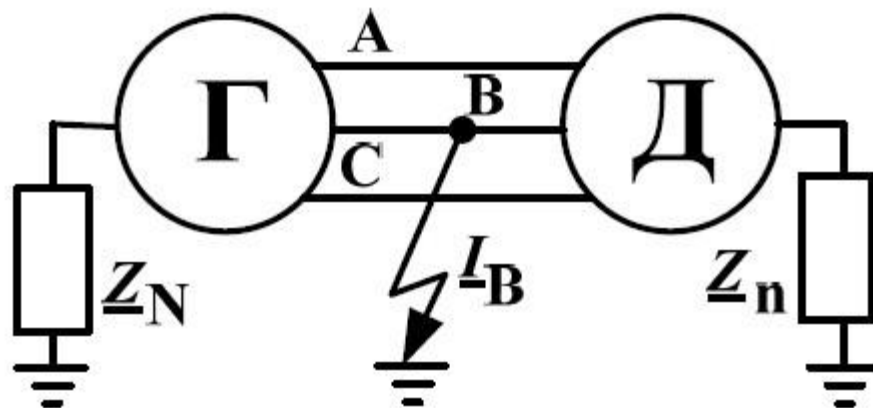


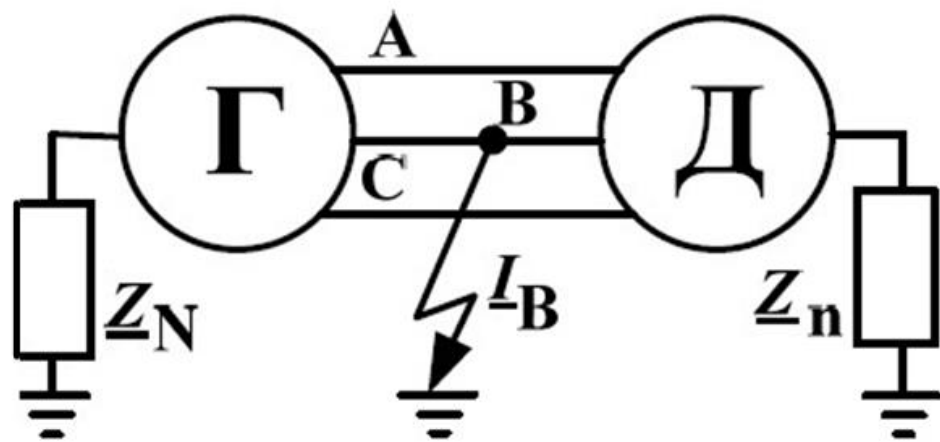
По закону Ома:

$$\dot{i}_{c0} = \frac{-\dot{U}_{c0}}{\underline{Z}_0};$$

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{Г0} + \underline{Z}_{Дв0} + 3\underline{Z}_N + 3\underline{Z}_n$$

Расчет при коротком замыкании одной фазы (поперечная несимметрия)





Условие:

$$\underline{I}_A = 0; \quad \underline{I}_C = 0; \quad \underline{U}_B = 0$$

$$\underline{I}_{B1} = \frac{\cancel{a^2 \underline{I}_A^0} + \underline{I}_B + \cancel{a \underline{I}_C^0}}{3} = \frac{\underline{I}_B}{3} = \underline{I}_{B2} = \underline{I}_{B0}$$

$$\underline{U}_B = \left(\underline{E}_{B_3} - \underline{Z}_1 \underline{I}_{B1} \right) - \underline{Z}_2 \underline{I}_{B2} - \underline{Z}_0 \underline{I}_{B0} = 0$$

$$\underline{E}_{B_3} - \underline{Z}_1 \frac{\underline{I}_B}{3} - \underline{Z}_2 \frac{\underline{I}_B}{3} - \underline{Z}_0 \frac{\underline{I}_B}{3} = 0$$

Из схемы
прямой последовательности

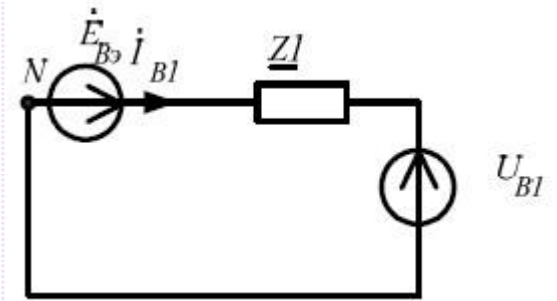
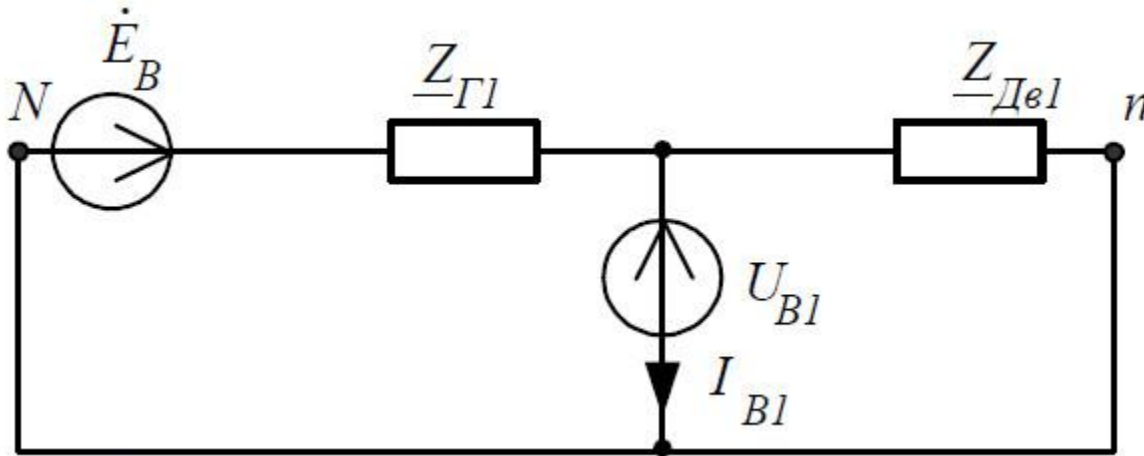
Из схемы
обратной
последовательности

Из схемы
нулевой
последовательности

**Решаем полученное уравнение
относительно \underline{I}_B**

Схема прямой

последовательности:



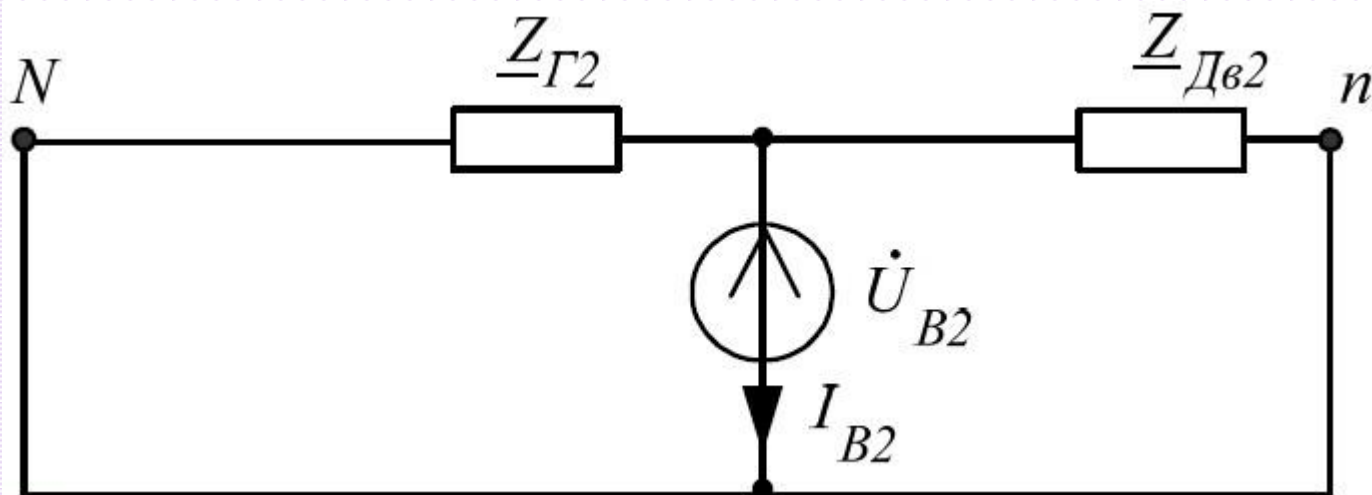
По методу преобразований:

$$\dot{E}_{B\dot{\Sigma}} = \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_{\Gamma 1}} \underline{Z}_l;$$

$$\underline{Z}_l = \frac{\underline{Z}_{\Gamma 1} \cdot \underline{Z}_{ДВ1}}{\underline{Z}_{\Gamma 1} + \underline{Z}_{ДВ1}}$$

$$\dot{U}_{B1} = \dot{E}_{C\dot{\Sigma}} - \dot{I}_{B1} \underline{Z}_l;$$

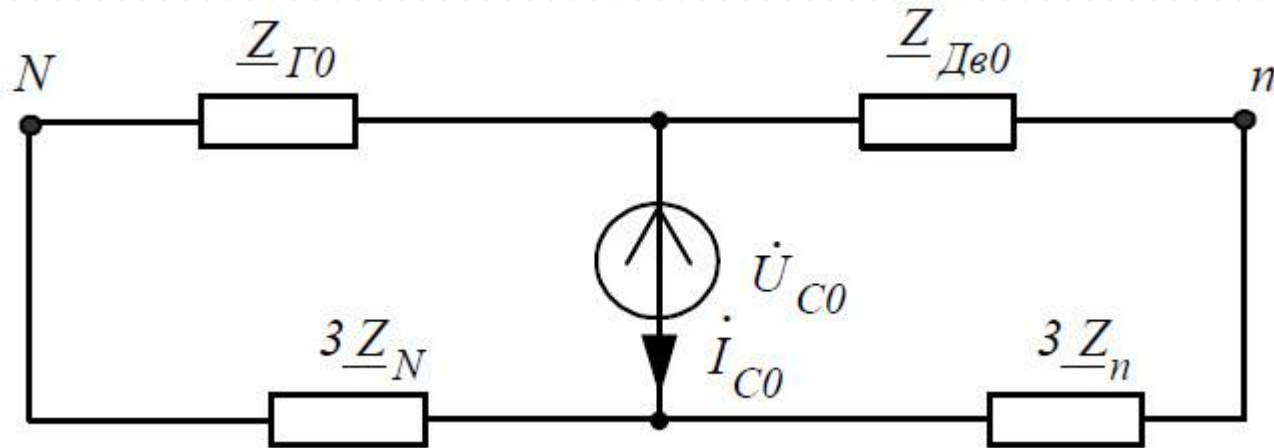
Схема обратной последовательности:



По методу преобразований:

$$\underline{Z}_2 = \frac{\underline{Z}_{Г2} \cdot \underline{Z}_{Дв2}}{\underline{Z}_{Г2} + \underline{Z}_{Дв2}} \quad \dot{U}_{B2} = -\dot{I}_{B2} \underline{Z}_2;$$

Схема нулевой последовательности:



По методу преобразований:

$$\underline{Z}_0 = \frac{(\underline{Z}_{\Gamma 0} + 3\underline{Z}_N)(\underline{Z}_{Дв 0} + 3\underline{Z}_n)}{\underline{Z}_{\Gamma 0} + \underline{Z}_{Дв 0} + 3\underline{Z}_N + 3\underline{Z}_n} \quad \dot{U}_{B0} = -\dot{I}_{B0} \underline{Z}_0;$$

Далее рассчитываем

$$\underline{\mathbf{I}}_{\mathbf{D}\mathbf{V}}_{\mathbf{V}_{1,2,0}}, \quad \underline{\mathbf{I}}_{\mathbf{\Gamma}}_{\mathbf{V}_{1,2,0}},$$

$$\underline{\mathbf{U}}_{\mathbf{D}\mathbf{V}}_{\mathbf{V}_{1,2,0}}, \quad \underline{\mathbf{U}}_{\mathbf{\Gamma}}_{\mathbf{V}_{1,2,0}}$$

Затем находим

$$\underline{I}_{\Gamma_A} = a \underline{I}_{\Gamma_{B1}} + a^2 \underline{I}_{\Gamma_{B2}} + \underline{I}_{\Gamma_{B0}}$$

$$\underline{I}_{\Gamma_B} = \underline{I}_{\Gamma_{B1}} + \underline{I}_{\Gamma_{B2}} + \underline{I}_{\Gamma_{B0}}$$

$$\underline{I}_{\Gamma_C} = a^2 \underline{I}_{\Gamma_{B1}} + a \underline{I}_{\Gamma_{B2}} + \underline{I}_{\Gamma_{B0}}$$

Находим

$$\underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ А} = \mathbf{a} \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_1 + \mathbf{a}^2 \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_2 + \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_0$$

$$\underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В} = \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_1 + \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_2 + \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_0$$

$$\underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ С} = \mathbf{a}^2 \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_1 + \mathbf{a} \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_2 + \underline{I}_{\text{ДВ}} \text{ В}_0$$

Далее

$$\underline{U}_{\Gamma_A} = a \underline{U}_{\Gamma_{B1}} + a^2 \underline{U}_{\Gamma_{B2}} + \underline{U}_{\Gamma_{B0}}$$

$$\underline{U}_{\Gamma_B} = \underline{U}_{\Gamma_{B1}} + \underline{U}_{\Gamma_{B2}} + \underline{U}_{\Gamma_{B0}}$$

$$\underline{U}_{\Gamma_C} = a^2 \underline{U}_{\Gamma_{B1}} + a \underline{U}_{\Gamma_{B2}} + \underline{U}_{\Gamma_{B0}}$$

$$\underline{U}_{\text{ДВ А}} = a \underline{U}_{\text{ДВ В 1}} + a^2 \underline{U}_{\text{ДВ В 2}} + \underline{U}_{\text{ДВ В 0}}$$

$$\underline{U}_{\text{ДВ В}} = \underline{U}_{\text{ДВ В 1}} + \underline{U}_{\text{ДВ В 2}} + \underline{U}_{\text{ДВ В 0}}$$

$$\underline{U}_{\text{ДВ С}} = a^2 \underline{U}_{\text{ДВ В 1}} + a \underline{U}_{\text{ДВ В 2}} + \underline{U}_{\text{ДВ В 0}}$$

$$\underline{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}} = 3 \underline{\mathbf{I}}_{\text{ДВ В 0}}$$

$$\underline{\mathbf{I}}_{\mathbf{N}} = 3 \underline{\mathbf{I}}_{\text{Г В 0}}$$

$$\underline{\mathbf{U}}_{\mathbf{n}} = \underline{\mathbf{Z}}_{\mathbf{n}} \underline{\mathbf{I}}_{\mathbf{n}}$$

$$\underline{\mathbf{U}}_{\mathbf{N}} = \underline{\mathbf{Z}}_{\mathbf{N}} \underline{\mathbf{I}}_{\mathbf{N}}$$

Баланс мощностей

Полная вырабатываемая МОЩНОСТЬ

$$\underline{S}_B = \underline{E}_A \underline{I}_{\Gamma_A} + \underline{E}_B \underline{I}_{\Gamma_B} + \underline{E}_C \underline{I}_{\Gamma_C} =$$
$$= P_B + jQ_B, \text{ ВА}$$

Полная мощность генератора

$$\begin{aligned}\underline{S}_\Gamma &= \underline{U}_{\Gamma A} \dot{\underline{I}}_{\Gamma A} + \underline{U}_{\Gamma B} \dot{\underline{I}}_{\Gamma B} + \underline{U}_{\Gamma C} \dot{\underline{I}}_{\Gamma C} = \\ &= P_\Gamma + jQ_\Gamma, \text{ ВА}\end{aligned}$$

Полная мощность двигателя

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\text{дв}} &= \underline{U}_{\text{дв А}} \dot{\underline{I}}_{\text{дв А}} + \\ &+ \underline{U}_{\text{дв В}} \dot{\underline{I}}_{\text{дв В}} + \underline{U}_{\text{дв С}} \dot{\underline{I}}_{\text{дв С}} = \\ &= P_{\text{дв}} + jQ_{\text{дв}}, \text{ ВА} \end{aligned}$$

Полная мощность нулевого провода

$$\underline{S}_0 = \underline{U}_n \dot{\underline{I}}_n + \underline{U}_N \dot{\underline{I}}_N =$$
$$= P_0 + jQ_0, \text{ ВА}$$

Погрешности

$$\delta_p \% = \frac{|P_B - P_{\Pi}|}{P_B} \cdot 100 \leq 3\%$$

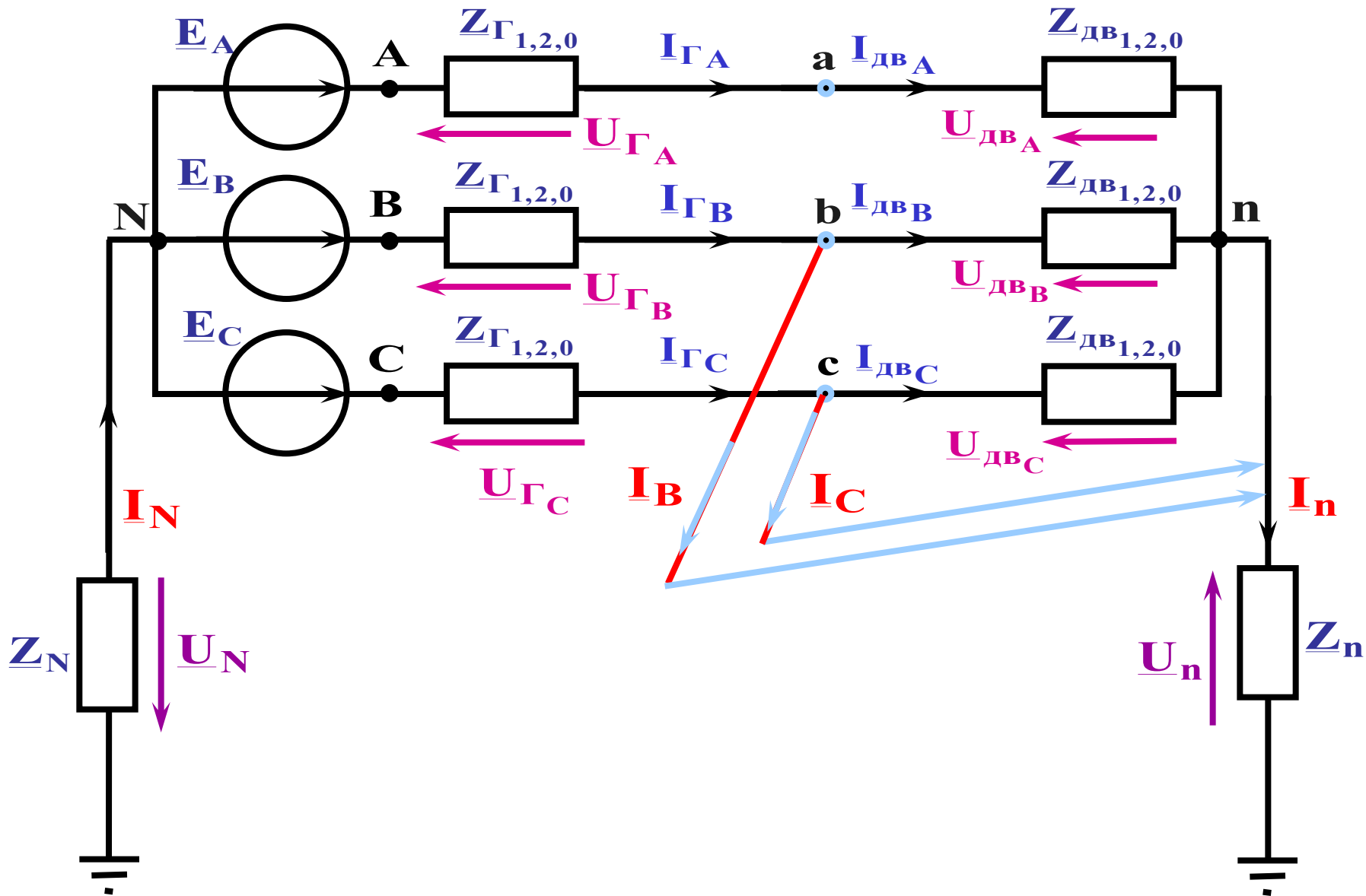
$$\delta_Q \% = \frac{|Q_B - Q_{\Pi}|}{|Q_B|} \cdot 100 \leq 3\%$$

Мощности потребителей (активная и реактивная)

$$P_{\Pi} = P_{\Gamma} + P_{\text{дв}} + P_0, \quad \text{Вт}$$

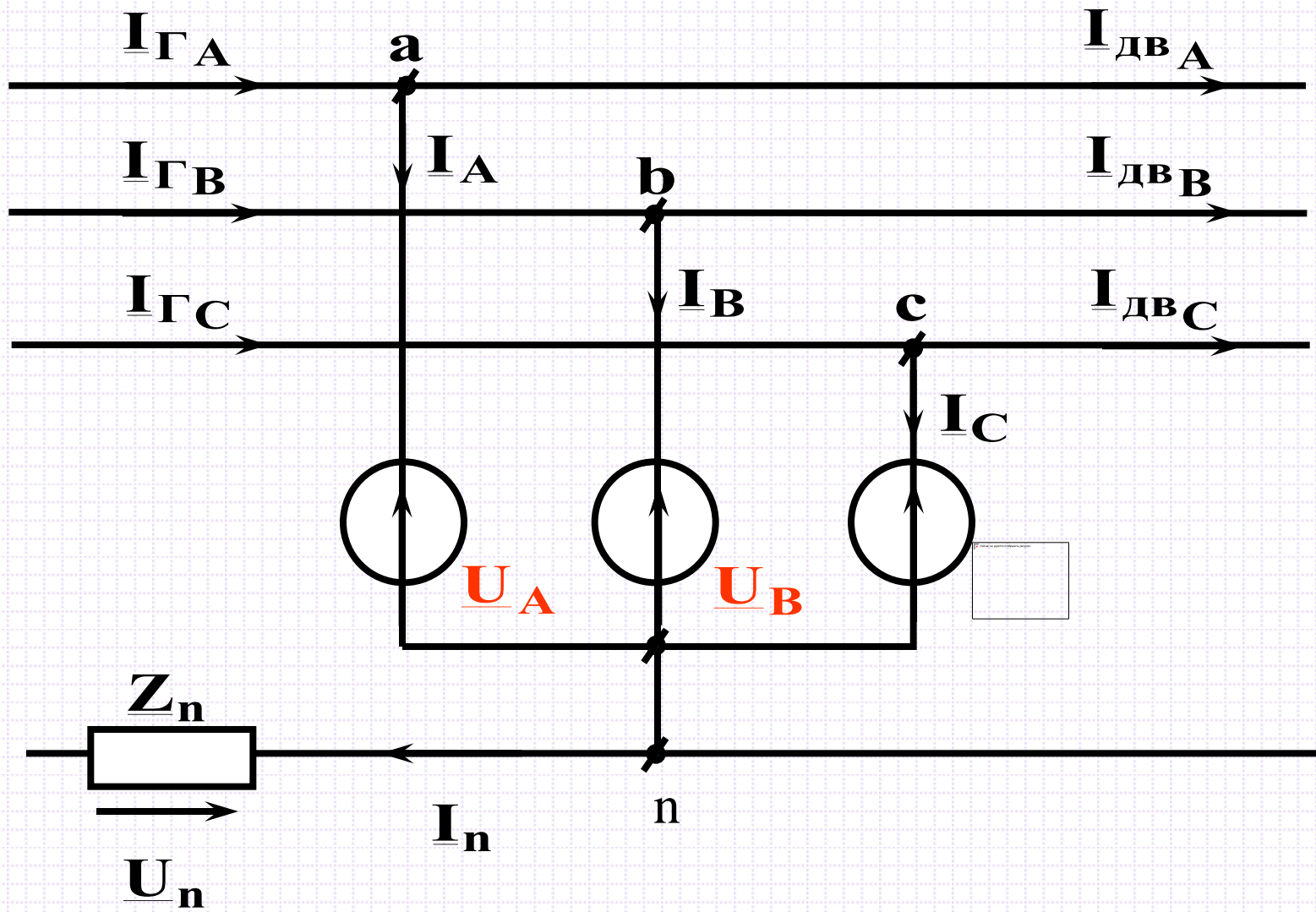
$$Q_{\Pi} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{дв}} + Q_0, \quad \text{вар}$$

**Расчет при коротком
замыкании двух фаз на
нейтраль двигателя n
(поперечная
несимметрия)**



В место повреждения вводим
фиктивные ЭДС

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



Условие:

$$\underline{I}_A = 0; \quad \underline{U}_B = 0; \quad \underline{U}_C = 0$$

Для особой фазы А:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0}$$

$$\underline{U}_{A1} = \frac{\underline{U}_A + a \underline{U}_B + a^2 \underline{U}_C}{3} = \frac{\underline{U}_A}{3}$$

$$\underline{U}_{A_2} = \frac{\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C}{3} = \frac{\underline{U}_A}{3}$$

$$\underline{U}_{A_0} = \frac{\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C}{3} = \frac{\underline{U}_A}{3}$$

а) схема прямой
последовательности
аналогична однофазному

К.З.

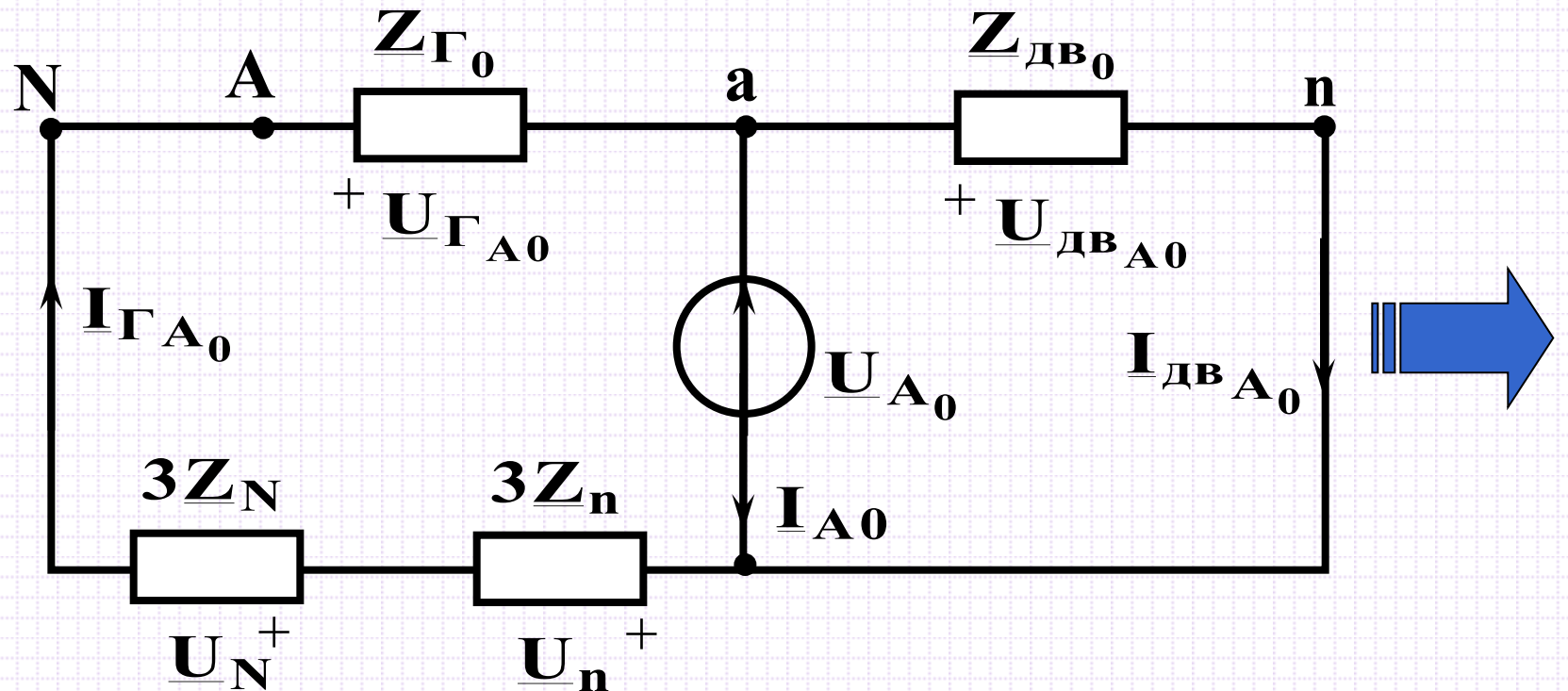
при
$$\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{E}_{A\varepsilon} - \underline{U}_{A1}}{\underline{Z}_1}$$

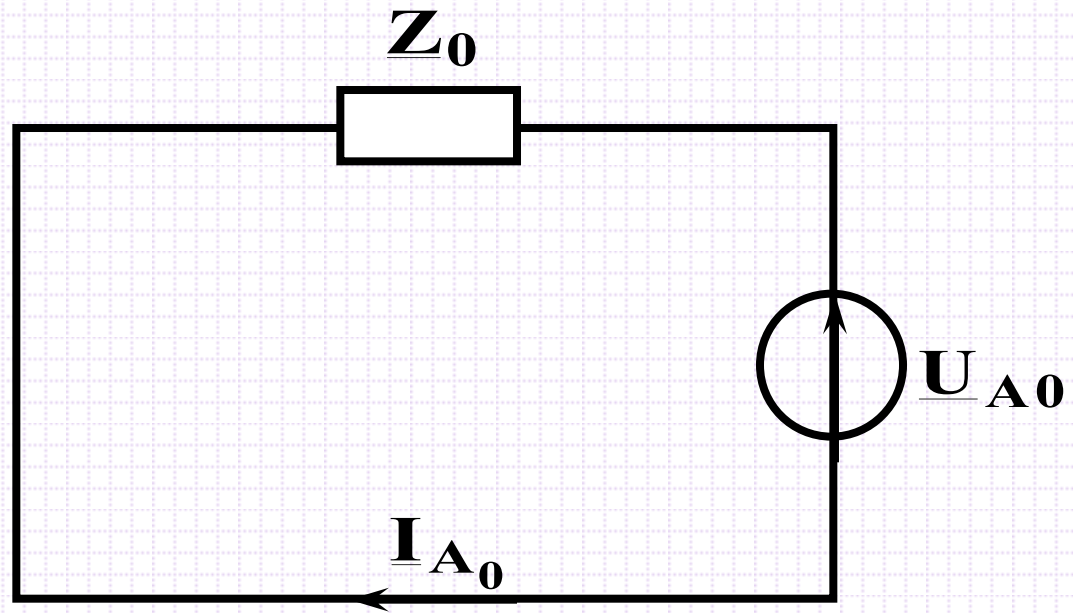
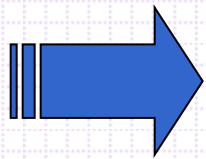
б) схема обратной
последовательности
аналогична однофазному к.з.

при

$$\underline{I}_{A2} = - \frac{\underline{U}_{A2}}{\underline{Z}_2}$$

в) схема нулевой последовательности



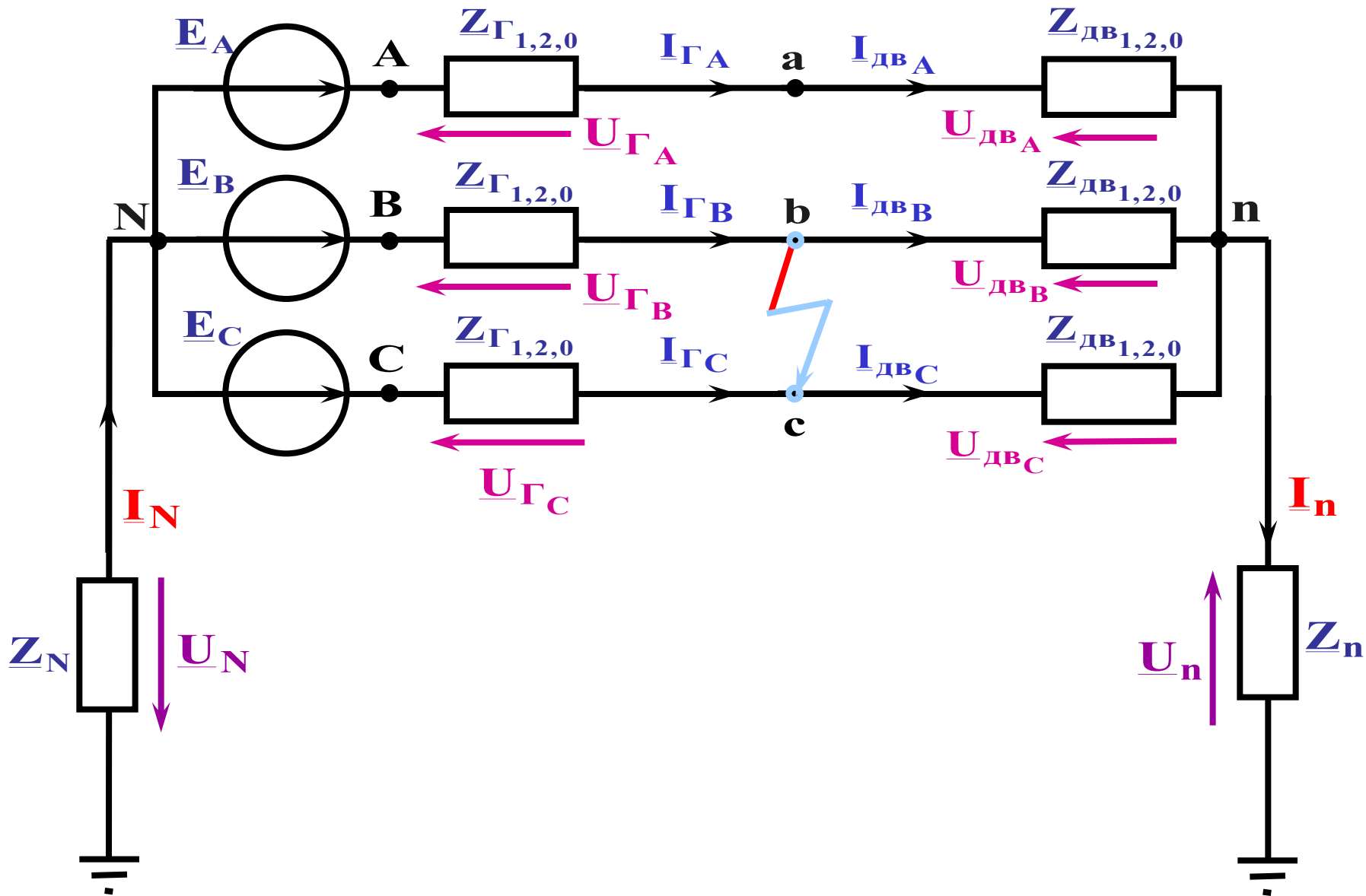


Где

$$\underline{Z}_0 = \frac{\underline{Z}_{дв\ 0} (\underline{Z}_{\Gamma\ 0} + 3 \underline{Z}_N + 3 \underline{Z}_n)}{\underline{Z}_{дв\ 0} + \underline{Z}_{\Gamma\ 0} + 3 \underline{Z}_N + 3 \underline{Z}_n} = \dots \mathbf{OM}$$

$$\underline{I}_{A\ 0} = - \frac{\underline{U}_{A\ 0}}{\underline{Z}_0}$$

**Расчет при коротком
замыкании между
фазами
(поперечная
несимметрия)**



Условие:

$$\underline{I}_A = 0$$

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

$$\underline{U}_B - \underline{U}_C = 0$$

Для особой фазы А:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} = 0$$

НО $\underline{I}_{A0} = 0$ Т.К. НЕТ СВЯЗИ С
«землей».

а) схема прямой
последовательности
аналогична однофазному

К.З.

при
$$\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{E}_{A\varepsilon} - \underline{U}_{A1}}{\underline{Z}_1}$$

б) схема обратной
последовательности
аналогична однофазному к.з.

при

$$\underline{I}_{A2} = - \frac{\underline{U}_{A2}}{\underline{Z}_2}$$

Так как

$$\begin{aligned}\underline{I}_A &= \underline{I}_{A_1} + \underline{I}_{A_2} = \\ &= \frac{\underline{E}_{A_3} - \underline{U}_{A1}}{\underline{Z}_1} - \frac{\underline{U}_{A2}}{\underline{Z}_2} = \mathbf{0}\end{aligned}$$

То при $\underline{U}_{A1} = \underline{U}_{A2}$

определяем

$$\underline{U}_{A1} = \underline{U}_{A2} = \frac{\underline{Z}_2 \underline{E}_{A\varepsilon}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = \dots \mathbf{B}$$