

Лекция 9

**Трехфазные цепи. Способы
соединения в трехфазных сетях.
Линейное и фазное напряжение.
Мощность в трехфазных сетях.**

Параграф 3.1-3.9 учебника

Лекция №9 Трехфазные цепи

Многофазная система электрических цепей это совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе, создаваемые общим источником электрической энергии

Каждую из электрических цепей многофазной системы в отдельности принято называть **фазой**

Лекция №9 Трехфазные цепи

На практике применяются **симметричные многофазные системы**, в которых электрические токи равны по амплитуде и сдвинуты друг относительно друга по фазе на одинаковые углы (угол сдвига фаз равен $360^\circ/m = 2\pi/m$, где m — число фаз)

Лекция №9 Трехфазные цепи

Многофазная система называется **уравновешенной**, если суммарная мгновенная мощность всех фаз остается величиной постоянной в течении всего периода синусоидальной ЭДС. Свойством уравновешенности обладают все симметричные многофазные системы с числом фаз более 3.

Лекция №9 Трёхфазные цепи

Наибольшее распространение получили **трёхфазные** симметричные системы с углом сдвига фаз равным $360^\circ/3 = 120^\circ$ или $2/3 \pi$

Начала обмоток обмоток трехфазной цепи обозначают **A, B и C**, а концы **X, Y, Z** когда речь идет об источнике, и **a, b, c, x, y, z** когда говорят о приемниках.

Лекция №9 Трехфазные цепи

Фазы обозначают:

L1 (A)

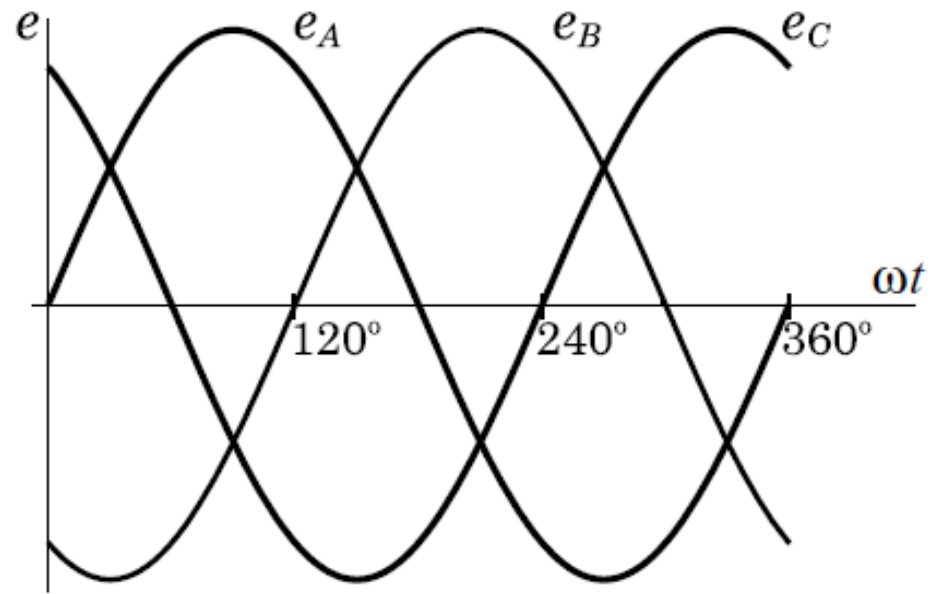
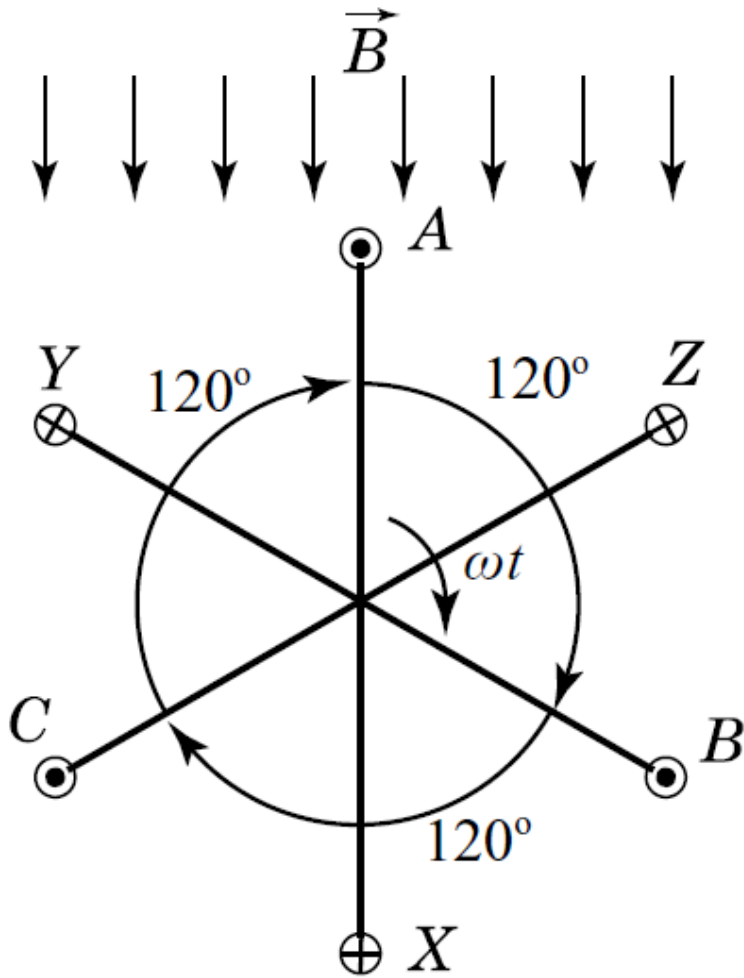
L2 (B)

L3 (C)

Правильный порядок подключения фаз L1-L2-L3
(ABC)

В распределительных устройствах фазу А обозначают **коричневым**(**желтым**), фазу В **черным** (**зеленым**), а фазу С **серым** (**красным**). Нейтраль выполняют **голубой**. Защитный провод **зелено-желтый**.

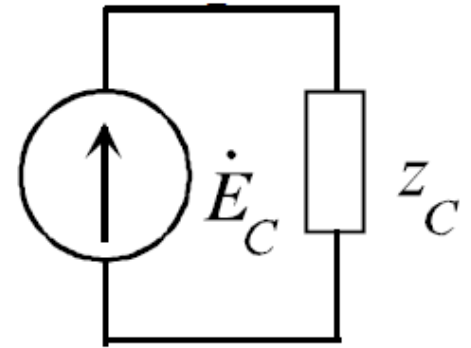
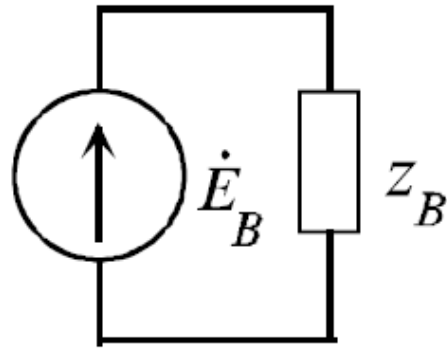
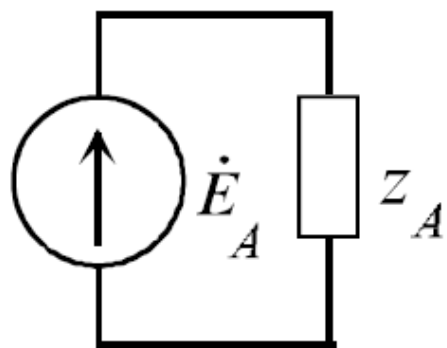
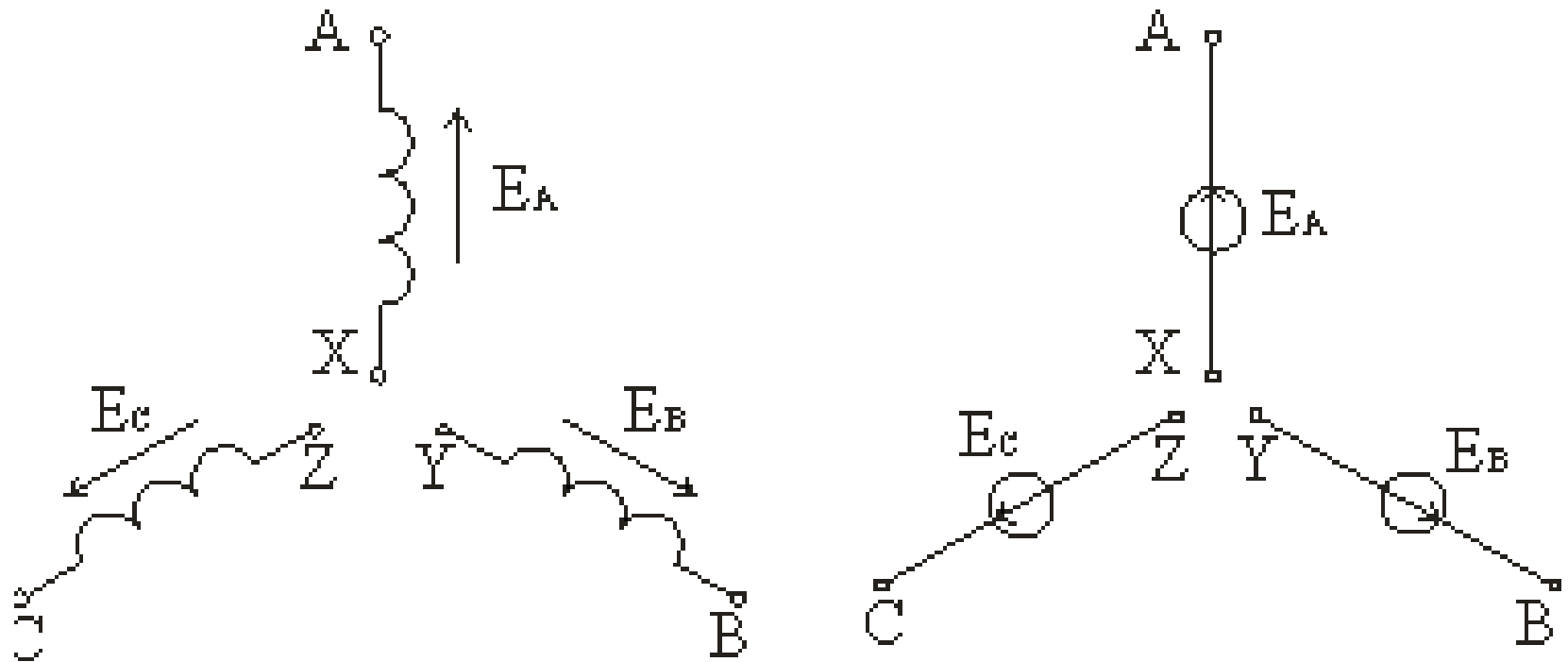
Лекция №9 Трехфазные цепи



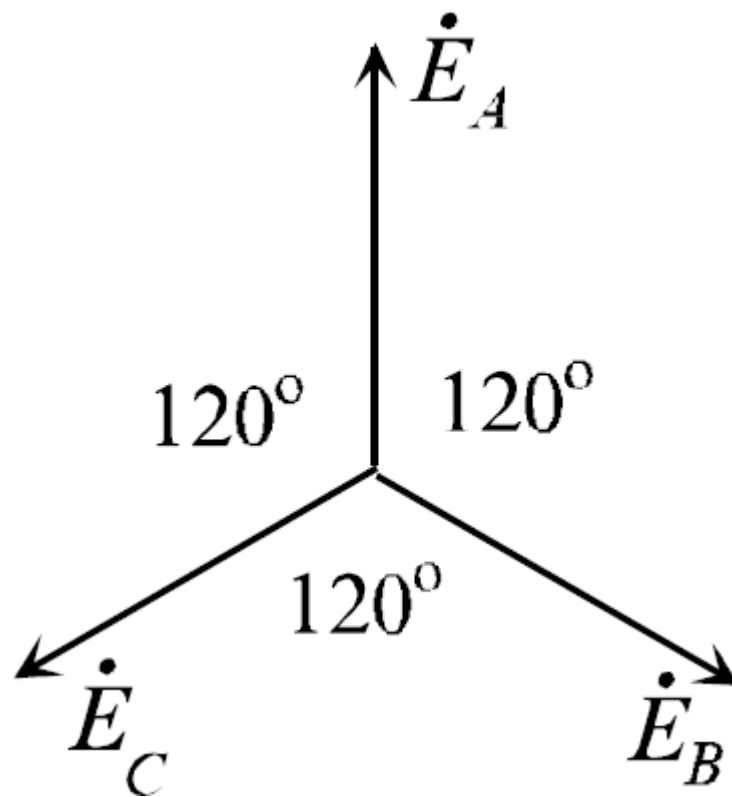
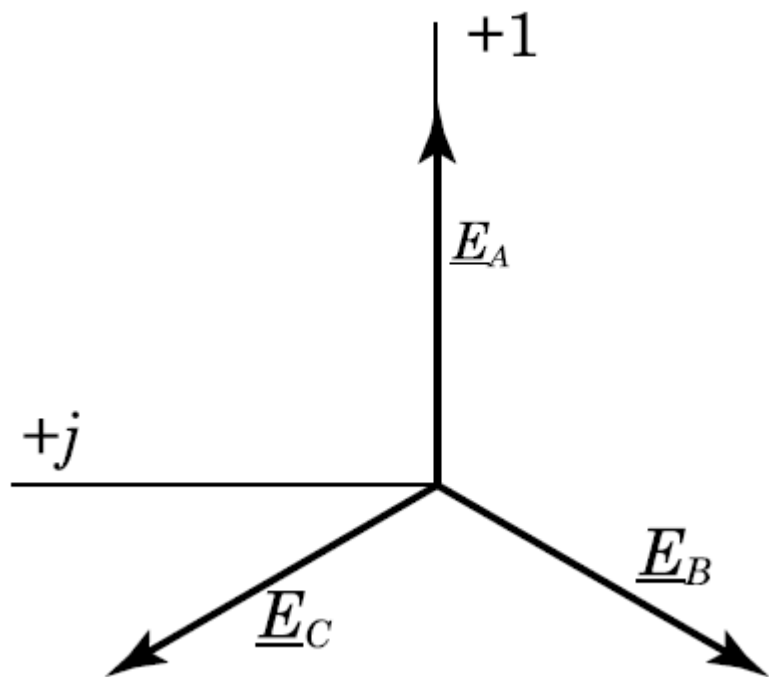
Лекция №9 Трехфазные цепи

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin(\omega t) \\ e_B &= E_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ e_C &= E_m \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} \underline{E}_A &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = E(1 + j0) \\ \underline{E}_B &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{-j\frac{2}{3}\pi} = E\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\ \underline{E}_C &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{j\frac{2}{3}\pi} = E\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \end{aligned} \right\}$$

Лекция №9 Трехфазные цепи



Лекция №9 Трехфазные цепи



Лекция №9 Трехфазные цепи

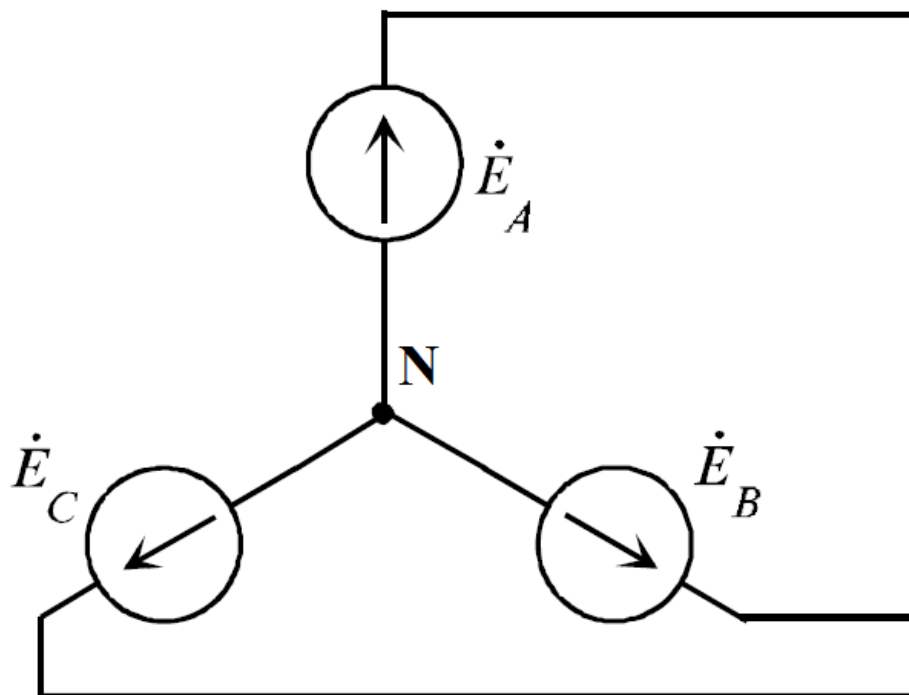
Преимущества трехфазных цепей

- Экономичность передачи электроэнергии на значительные расстояния
- Меньшая материалоемкость 3-фазных трансформаторов
- Уравновешенность системы
- Возможность простого получения кругового вращающегося магнитного поля
- Возможность получения в одной установке двух рабочих напряжений

Лекция №9 Способы соединения источников

Соединение “Звездой”

При соединении “звездой”, концы всех фаз соединяются в одну точку, которая называется **нейтралью** и обозначается буквой **N**.



Лекция №9 Способы соединения источников

Напряжения между началами фаз и нейтральной точкой называются **фазными** а напряжения между началами фаз - **линейными**.

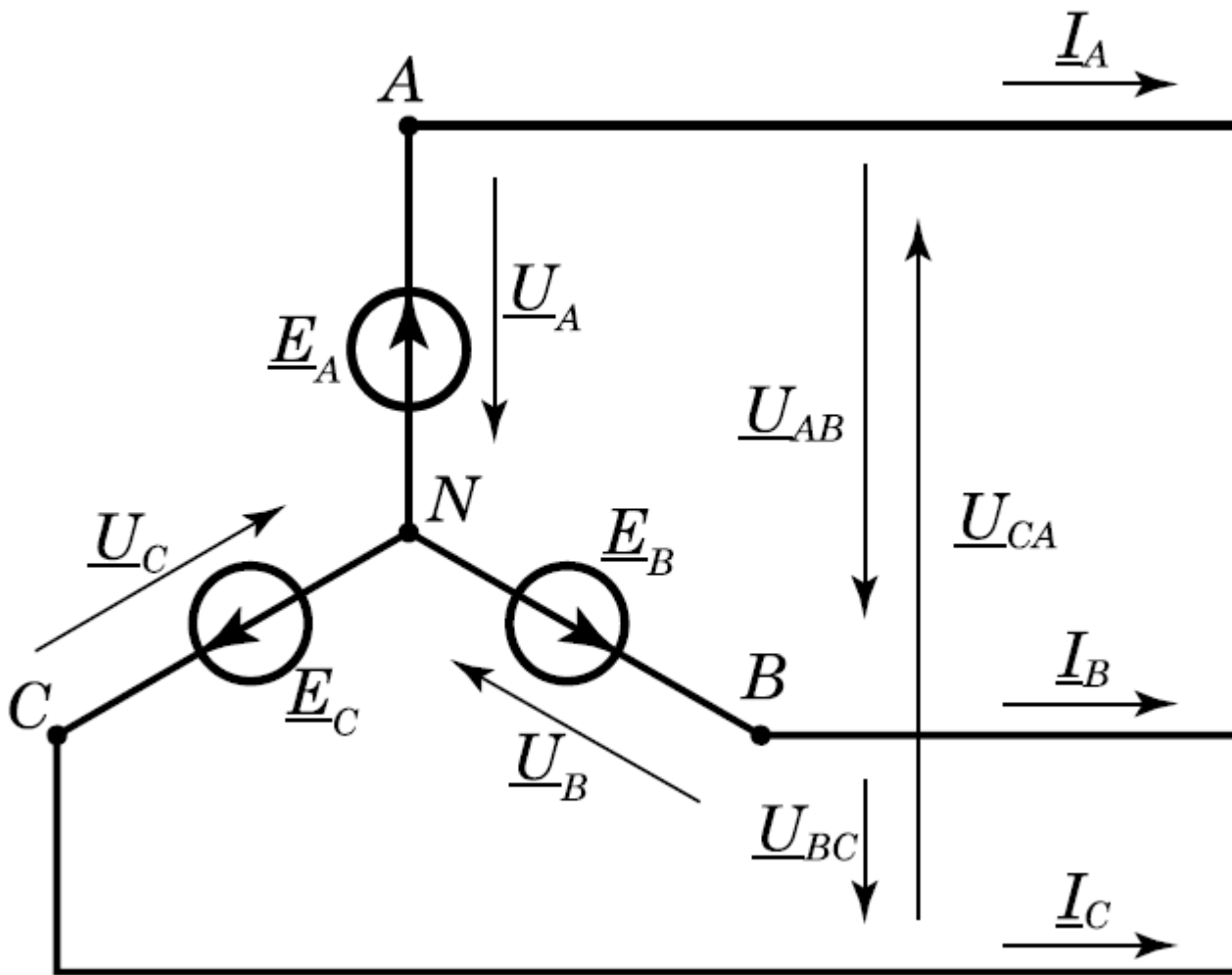
Фазные:

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

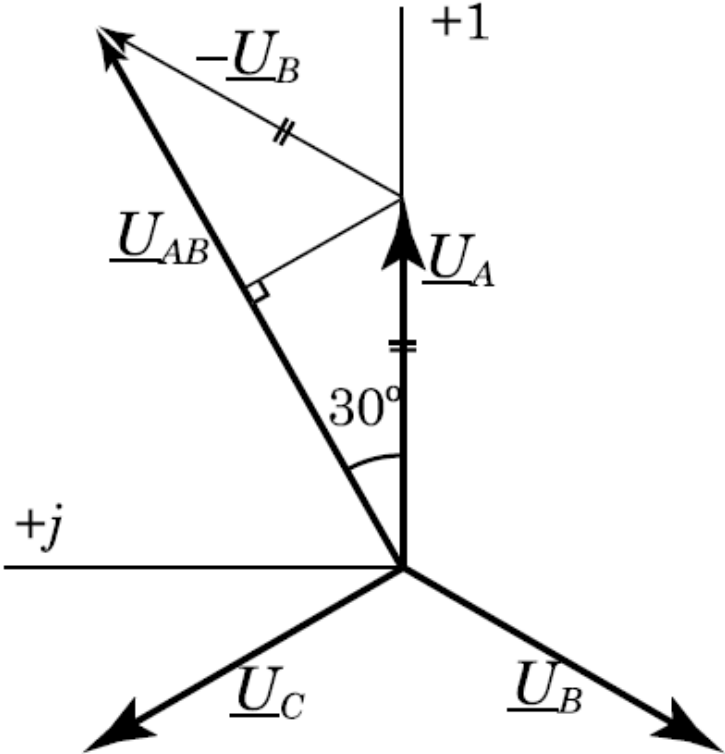
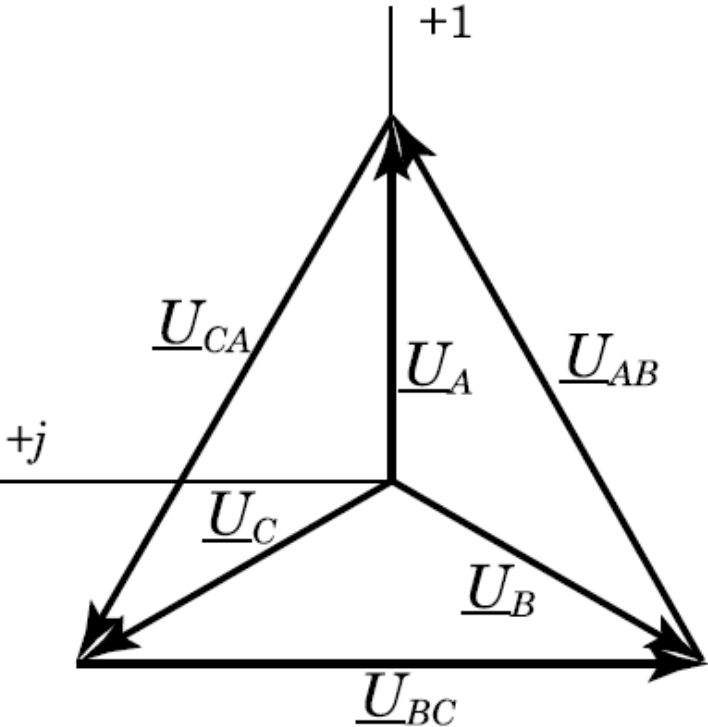
Линейные:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{E}_A - \underline{E}_B \quad \underline{U}_{BC} = \underline{E}_B - \underline{E}_C \quad \underline{U}_{CA} = \underline{E}_C - \underline{E}_A$$

Лекция №9 Способы соединения источников



Лекция №9 Способы соединения источников



Лекция №9 Способы соединения источников

$$\frac{U_{\text{Л}}}{2} = U_{\text{Ф}} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) = U_{\text{Ф}} \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$U_{\text{Л}} = U_{\text{Ф}} \sqrt{3}$$

$$I_{\text{Л}} = I_{\text{Ф}}$$

$$U_{\text{Ф}} = 127 \quad U_{\text{Л}} = 127\sqrt{3} = 220$$

$$U_{\text{Ф}} = 220 \quad U_{\text{Л}} = 220\sqrt{3} = 380$$

Лекция №9 Способы соединения источников

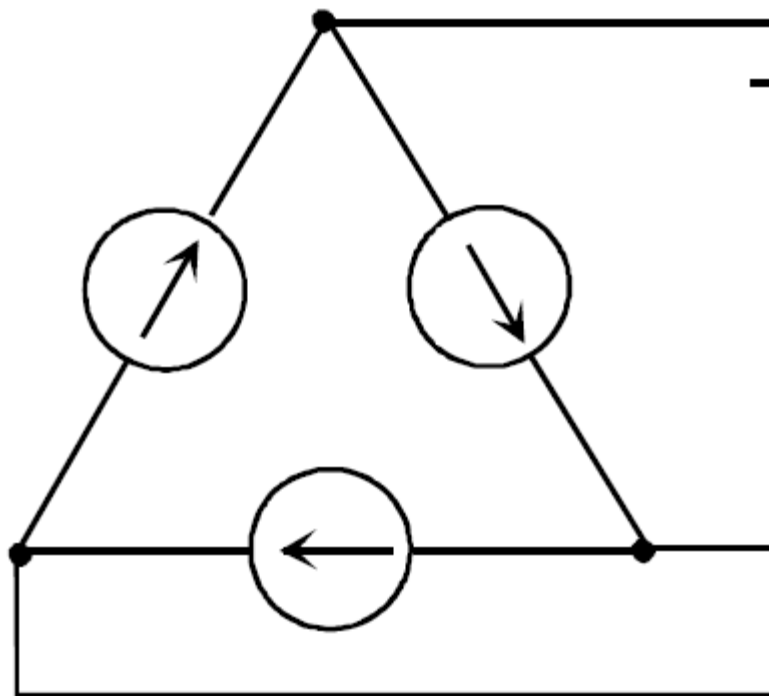
$$\begin{aligned}\underline{U}_{AB} &= \underline{U}_A - \underline{U}_B = U_\phi(1 - j0) - U_\phi\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \\ &= U_\phi\left(1 + \frac{1}{2}\right) - jU_\phi\left(0 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = U_\phi\left(1\frac{1}{2}\right) - jU_\phi\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\end{aligned}$$

$$|\underline{U}_L| = U_\phi \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = U_\phi \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{3}{4}} = U_\phi \sqrt{\frac{12}{4}} = U_\phi \sqrt{3}$$

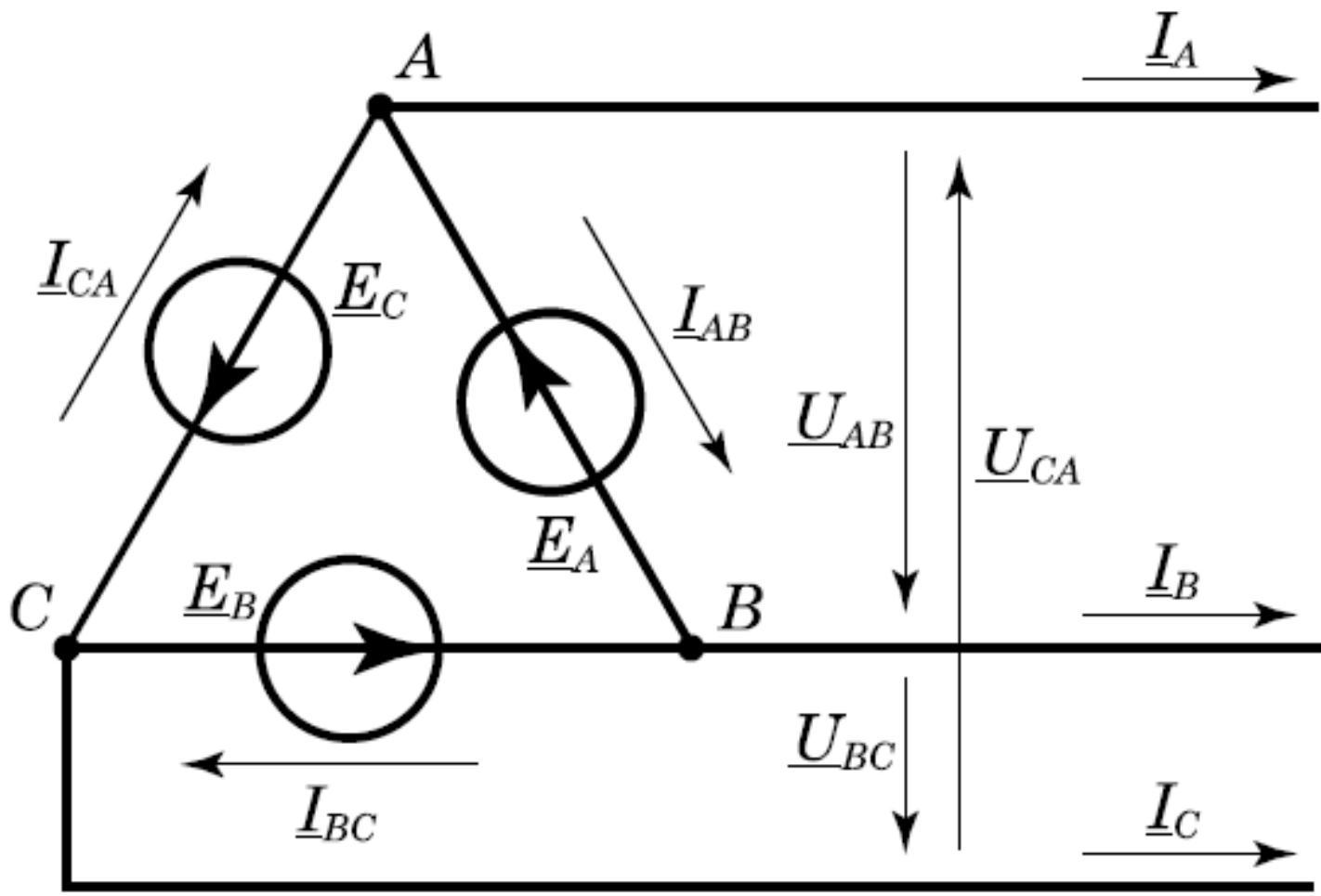
Лекция №9 Способы соединения источников

Соединение “Треугольником”

При соединении “треугольником”, конец одной фазы соединяют с началом другой (А-Z, В-Х, С-У).



Лекция №9 Способы соединения источников



Лекция №9 Способы соединения источников

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

$$= E(1 + j0) + E\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + E\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 0$$

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

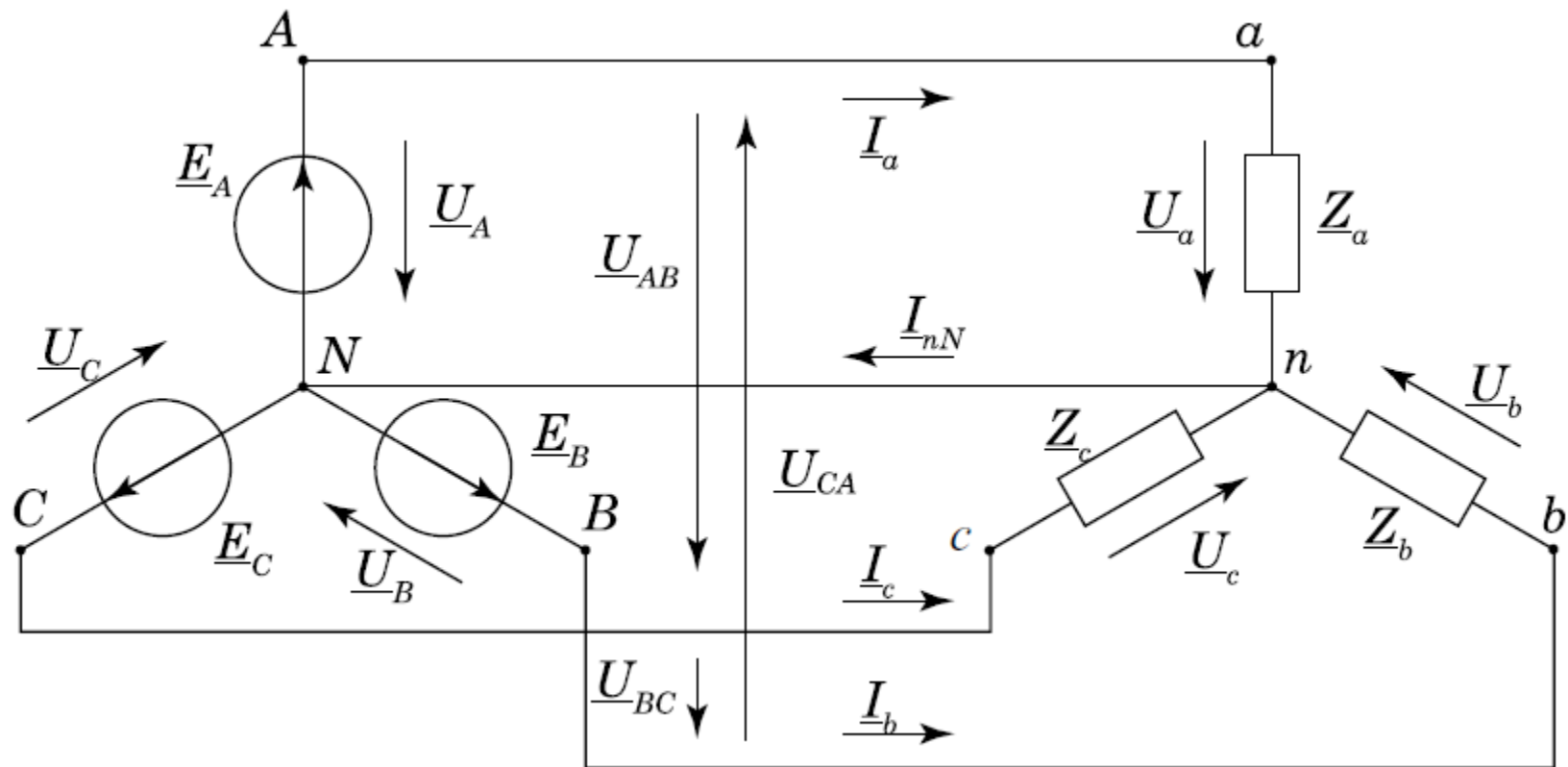
$$I_L = I_\Phi \sqrt{3}$$

$$U_L = U_\Phi$$

Лекция №9 Соединение звезда-звезда с нейтральным проводом

При соединении звезда–звезда с нейтральным проводом источник и потребитель электрической энергии соединяются по схеме звезда, начала фаз источника соединяются с началами фаз потребителя, нейтральная точка источника соединяется с нейтральной точкой потребителя

Лекция №9 Соединение звезда-звезда с нейтральным проводом



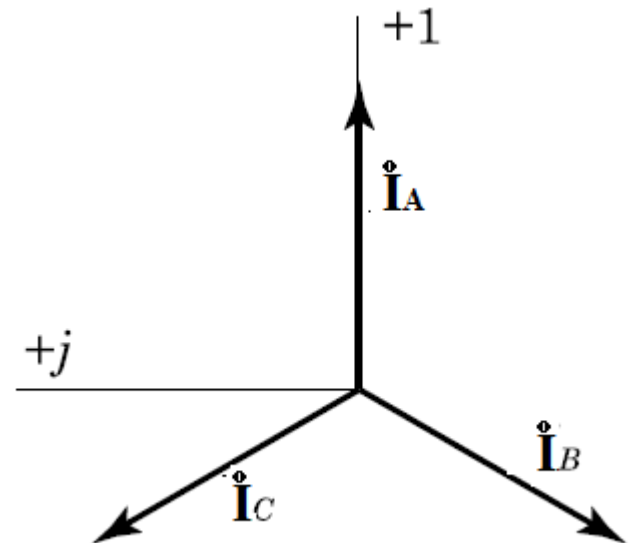
Лекция №9 Соединение звезда-звезда с нейтральным проводом

Симметричная нагрузка

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

$$|\underline{I}_A| = |\underline{I}_B| = |\underline{I}_C|$$

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



Лекция №9 Соединение звезда-звезда с нейтральным проводом

Ассиметричная нагрузка

$$\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C$$

$$|\underline{I}_A| \neq |\underline{I}_B| \neq |\underline{I}_C|$$

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_{nN} \neq 0$$

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}$$

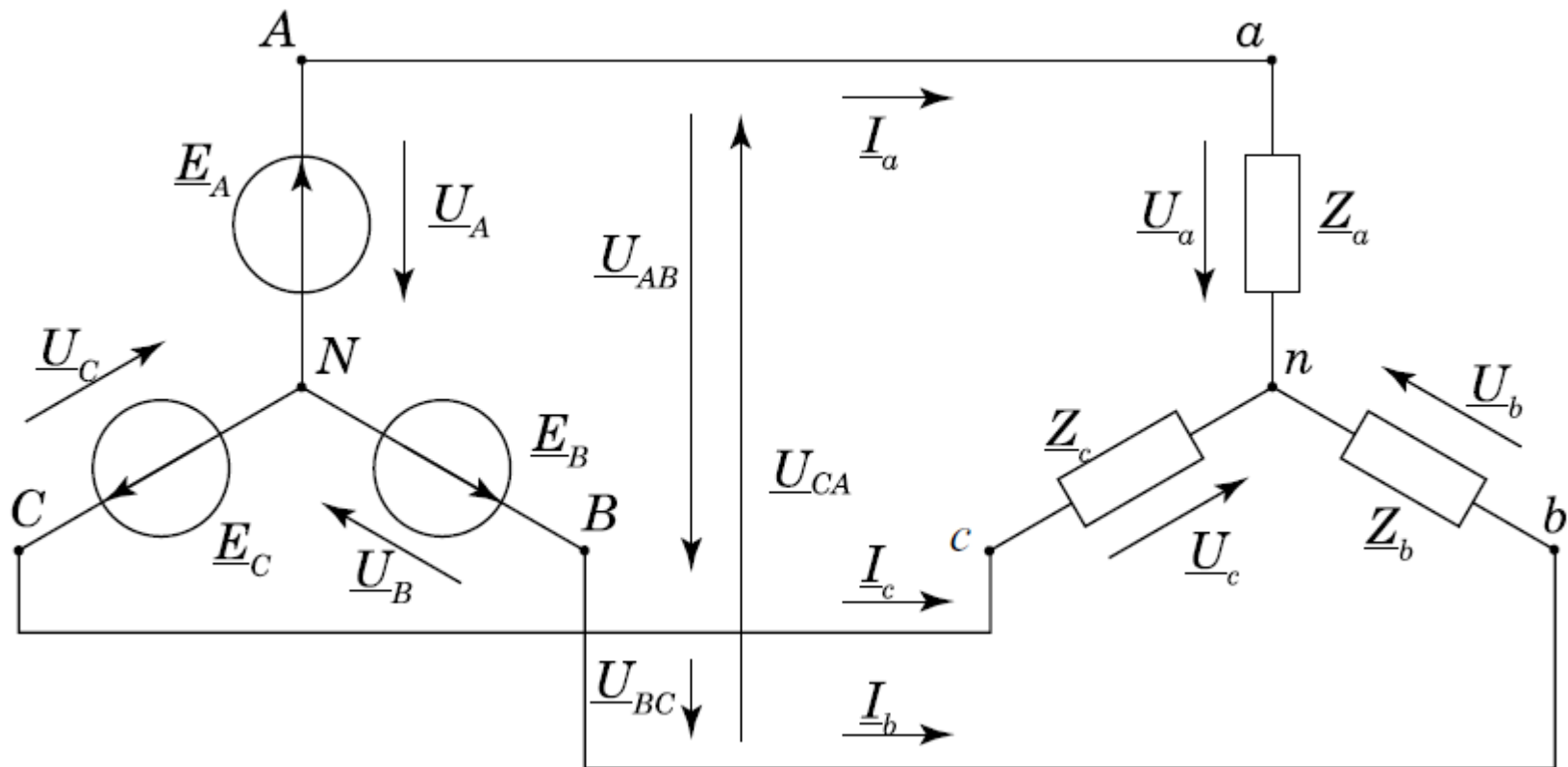
$$\underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}$$

$$\underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}$$

Лекция №9 Соединение звезда-звезда без нейтрального провода

При соединении звезда–звезда без нейтрального провода генератор и нагрузка соединяются по схеме звезда, а начала их фаз соединяются проводниками. Нейтральные точки генератора и нагрузки не соединены.

Лекция №9 Соединение звезда-звезда без нейтрального провода



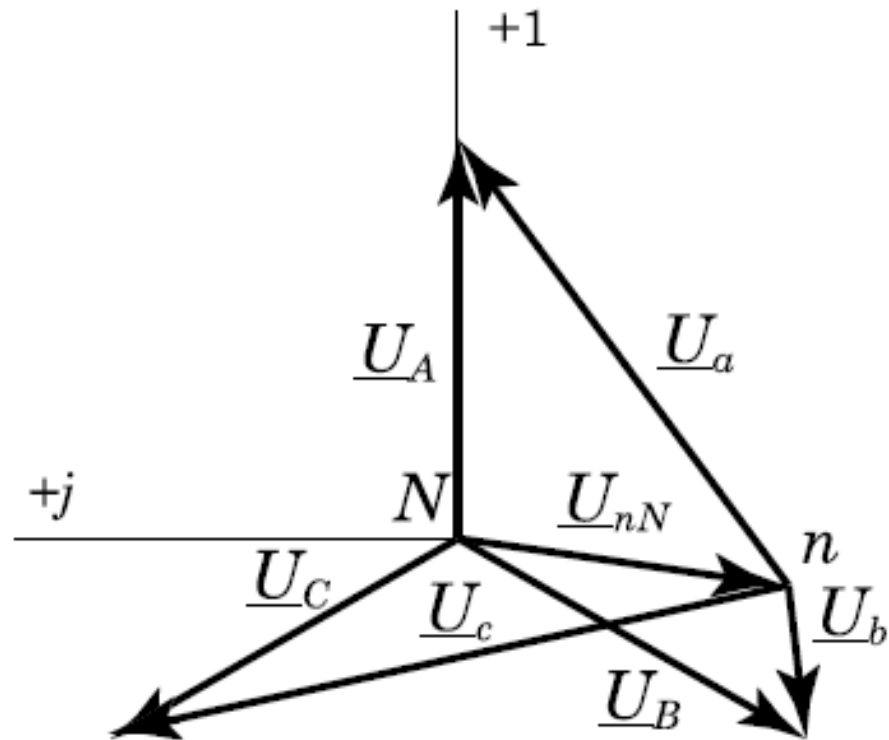
Лекция №9 Соединение звезда-звезда без нейтрального провода

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

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}$$

$$\underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}$$

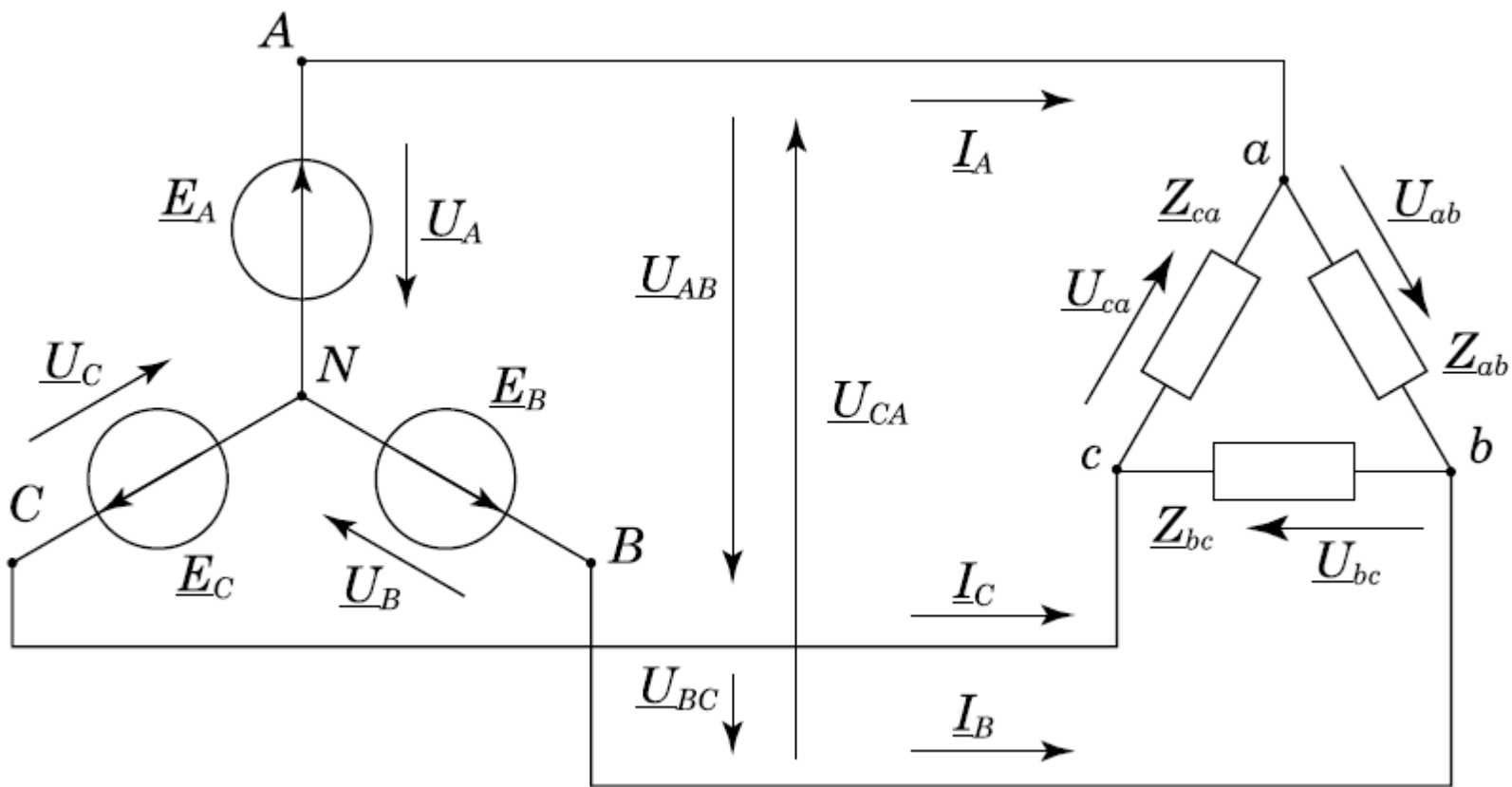
$$\underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}$$



Лекция №9 Соединение звезда-треугольник

При соединении звезда–треугольник генератор соединяется по схеме звезда, нагрузка — по схеме треугольник, при этом возможно соединение по трёхпроводной линии при несимметричной нагрузке, напряжения во всех ветвях останутся одинаковыми, а различаться будут только токи.

Лекция №9 Соединение звезда-треугольник



Лекция №9 Соединение звезда-треугольник

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_{AB}$$

$$\underline{U}_{bc} = \underline{U}_{BC}$$

$$\underline{U}_{ca} = \underline{U}_{CA}$$

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

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

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

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

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

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

Лекция №9 Мощность трехфазных цепей

$$p = p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = P_A + P_B + P_C =$$

$$= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Симметричная нагрузка

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{3}} U_L I_L \cos \varphi$$

$$P = P_a + P_b + P_c = 3P_\phi = \sqrt{3} P_L$$

$$Q = 3U_\phi I_\phi \sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{3}} U_L I_L \sin \varphi$$

Лекция 9

**Трехфазные цепи. Способы
соединения в трехфазных сетях.
Линейное и фазное напряжение.
Мощность в трехфазных сетях.**

Параграф 3.1-3.9 учебника