



Теоретические основы электротехники

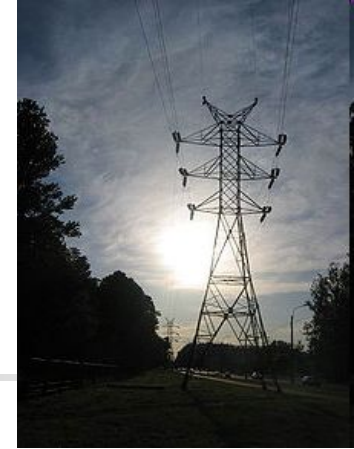
Трехфазные электрические цепи



Трехфазные электрические цепи

Многофазной системой называют совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, отличающиеся одна от другой по фазе и индуктируемые в одном источнике питания.

Трехфазные электрические цепи



Трехфазная цепь – частный случай многофазных систем электрических цепей, представляет собой совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные **ЭДС одинаковой частоты**, отличающиеся по фазе одна от другой и **создаваемые общим источником энергии**.

Каждую из частей многофазных систем называют фазой.

Трехфазные электрические цепи

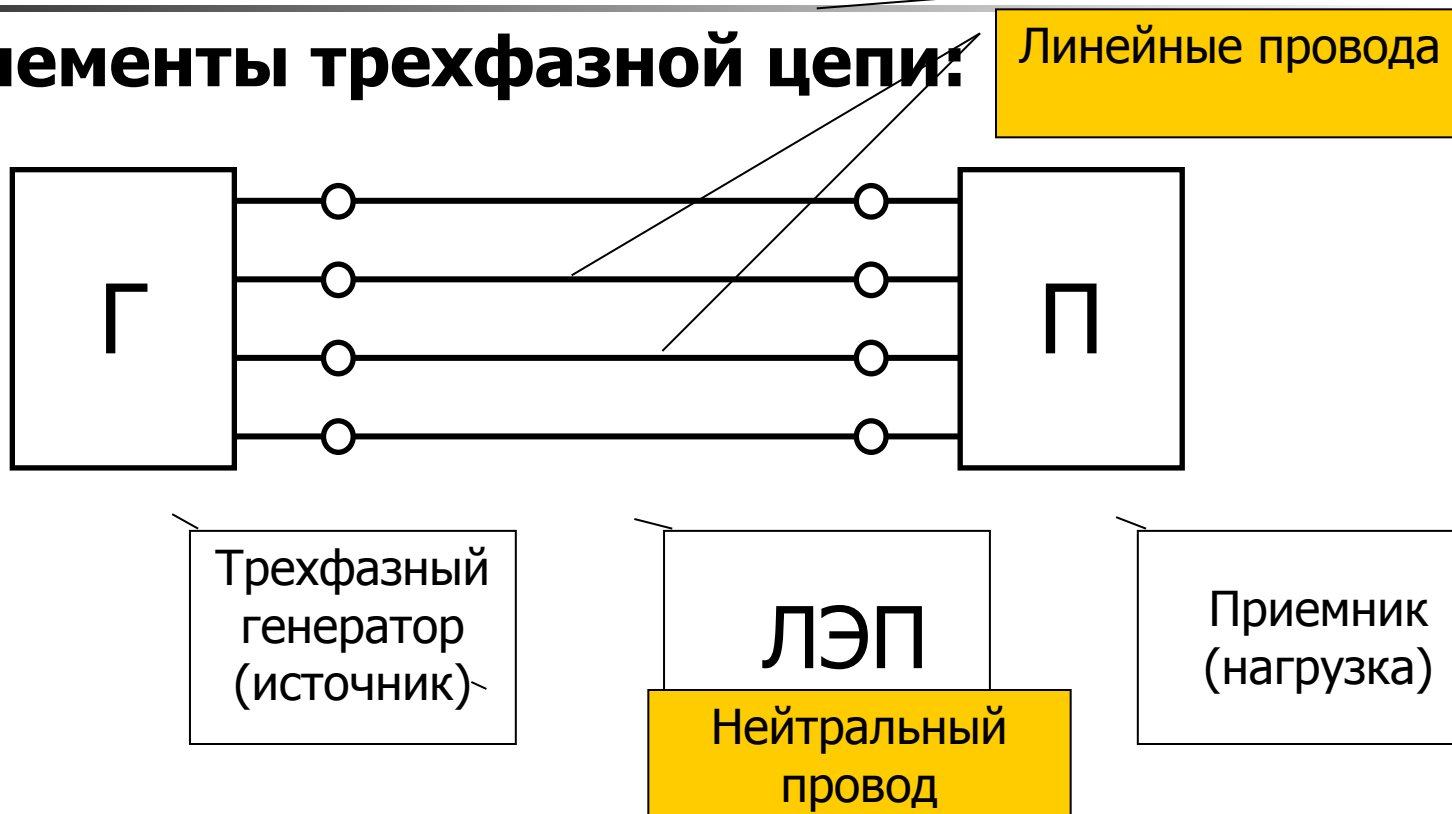
Преимущества трехфазных цепей:

- экономичность передачи энергии за счет экономии цветных металлов (экономия до 25 %);
- возможность простого получения кругового вращающегося магнитного поля, а следовательно, возможность применения простых по конструкции асинхронных двигателей;
- наличие двух эксплуатационных напряжений в одной установке: линейного $U_{л}$ и фазного $U_{ф}$.

	РФ и СНГ	Страны ЕС	Япония	США
Напряжение (фазное/линейное)	220/380	230/400	120/208	(140/240)/(230/400)
Частота	50 Гц	50 Гц	50/60Гц	60 Гц

Трехфазные электрические цепи

Элементы трехфазной цепи:

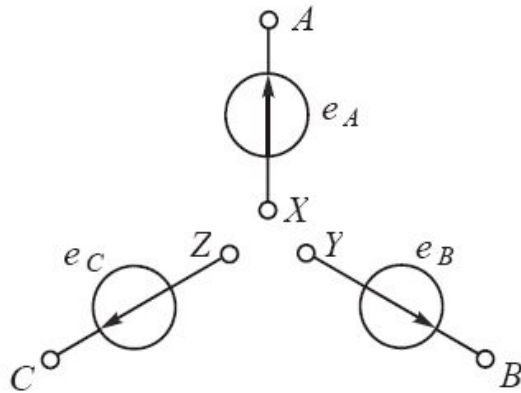


Трехфазные цепи подразделяются на четырехпроводные и трехпроводные.

Обозначение фаз трехфазной системы

	Фазный проводник 1	Фазный проводник 2	Фазный проводник 3	Нейтральный проводник	Защитный проводник
США (120/208В) ^[2]	Чёрный	Красный	Голубой	Белый или серый	Зелёный
США (277/480В)	Оранжевый	Коричневый	Жёлтый	Белый или серый	Зелёный
Канада	Красный	Чёрный	Голубой	Белый	Зелёный
Канада (Изолированные трёхфазные установки)	Оранжевый	Коричневый	Жёлтый	Белый	Зелёный
Великобритания (с апреля 2006)	Красный (Коричневый)	Жёлтый (ранее Белый) (Чёрный)	Голубой (Серый)	Чёрный (Голубой)	Зелёно-жёлтый
Европа (с апреля 2004)	Коричневый	Чёрный	Серый	Голубой	Зелёно-жёлтый
Европа (до апреля 2004, в зависимости от страны)	Коричневый или Чёрный	Чёрный или Коричневый	Чёрный или Коричневый	Голубой	Зелёно-жёлтый
Европа (Обозначение шин)	Жёлтый	Коричневый	Красный		
Россия (СССР) ^[3]	Жёлтый	Зелёный	Красный	Голубой	Зелёно-жёлтый (на старых установках - Черный)
Россия (с 1 января 2011 г.) ^[4]	Коричневый	Чёрный	Серый	Голубой	Зелёно-жёлтый
Австралия и Новая Зеландия	Красный	Жёлтый	Голубой	Чёрный	Зелёно-жёлтый (на старых установках - Зелёный)
Южная Африка	Красный	Жёлтый	Голубой	Чёрный	Зелёно-жёлтый (на старых установках - Зелёный)
Малайзия	Красный	Жёлтый	Голубой	Чёрный	Зелёно-жёлтый (на старых установках - Зелёный)
Индия	Красный	Жёлтый	Голубой	Чёрный	Зелёный

Трехфазные симметричные источники питания



A, B, C начала фаз
источника;
 X, Y, Z – их концы.

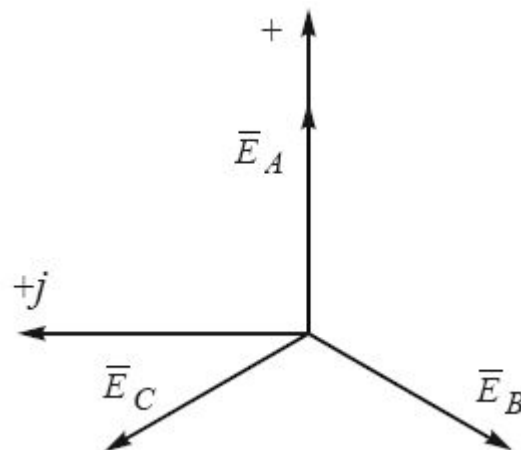
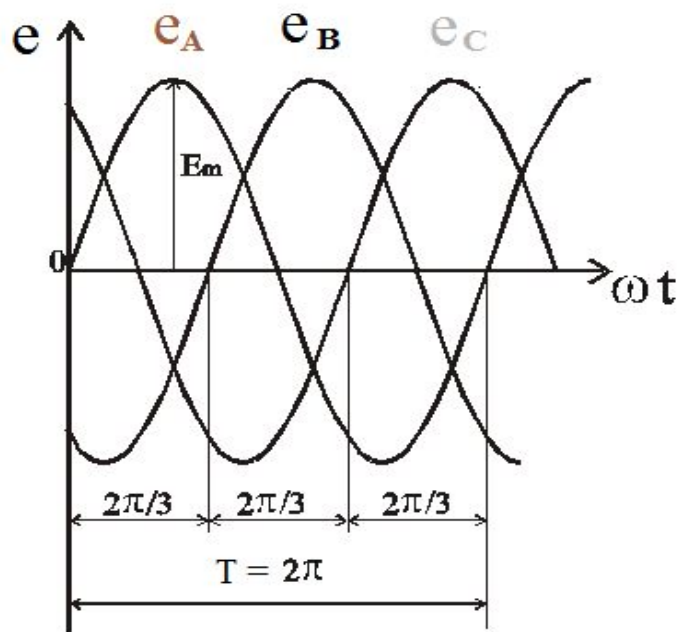
ЭДС симметричного источника
имеют равные амплитуды,
одинаковую частоту и
сдвинутые друг относительно
друга во времени на фазовый
угол 120° .

$$e_A = E_m \sin \omega t,$$

$$e_B = E_m \sin (\omega t - 120^\circ),$$

$$e_C = E_m \sin (\omega t + 120^\circ).$$

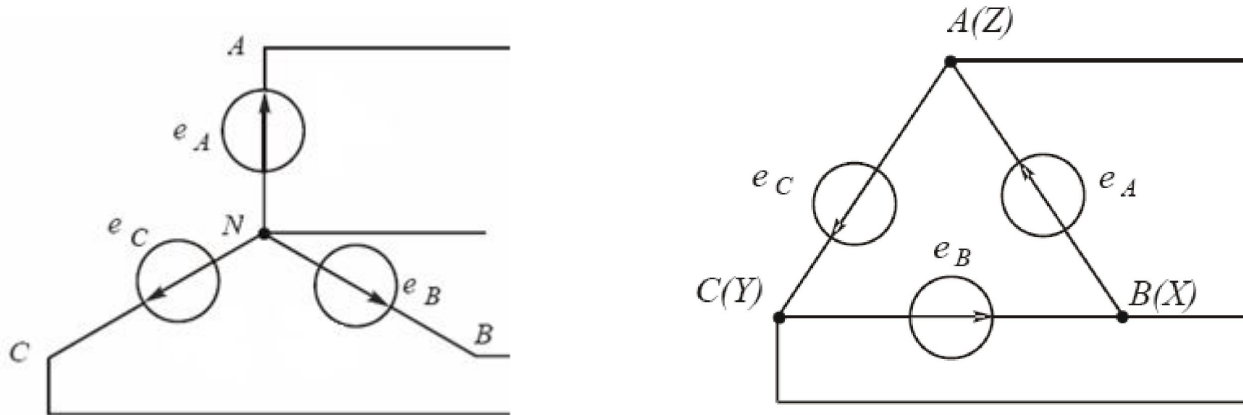
Трехфазные симметричные источники питания



Комплексы действующих значений ЭДС фаз:

$$\underline{E}_A = E; \quad \underline{E}_B = E e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E e^{-j120^\circ}; \quad \underline{E}_C = E e^{j\frac{2\pi}{3}} = E e^{j120^\circ}.$$

Соединение фаз ЭДС источника



Напряжения между началом и концом фазы называются **фазными**: u_A , u_B и u_C ;

Напряжения между началами фаз источника называются **линейными**: u_{AB} , u_{BC} , u_{CA} .

Фазные и линейные напряжения

Топографические диаграммы представляют собой соединенные **соответственно** **схеме** **электрической цепи** точки на комплексной плоскости, отображающие их потенциалы.

На топографической диаграмме порядок расположения векторов напряжений **строго соответствует порядку расположения элементов в схеме**, а вектор падения напряжения на каждом последующем элементе примыкает к концу вектора напряжения на каждом предыдущем элементе.

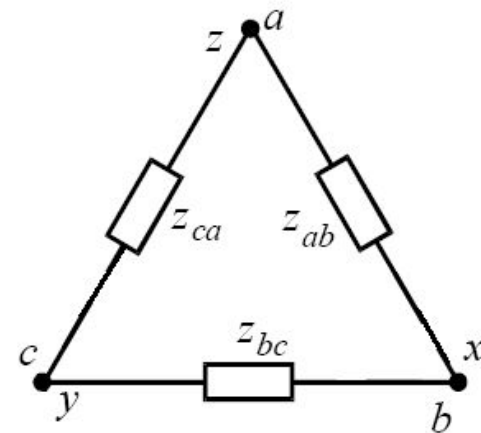
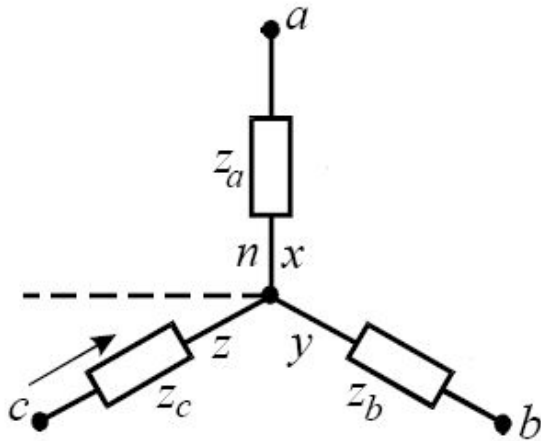
$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}; \quad U_{\text{ф}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}}.$$

Приемники трехфазной цепи

Приемники, включаемые в трехфазную цепь, могут быть однофазными и трехфазными.

Трехфазные приемники могут соединяться по схеме звезда (звезда с нулевым проводом) или треугольником.

Начала и концы фаз трехфазных приемников обозначают соответственно буквами a, x ; b, y ; c, z .



Приемники трехфазной цепи

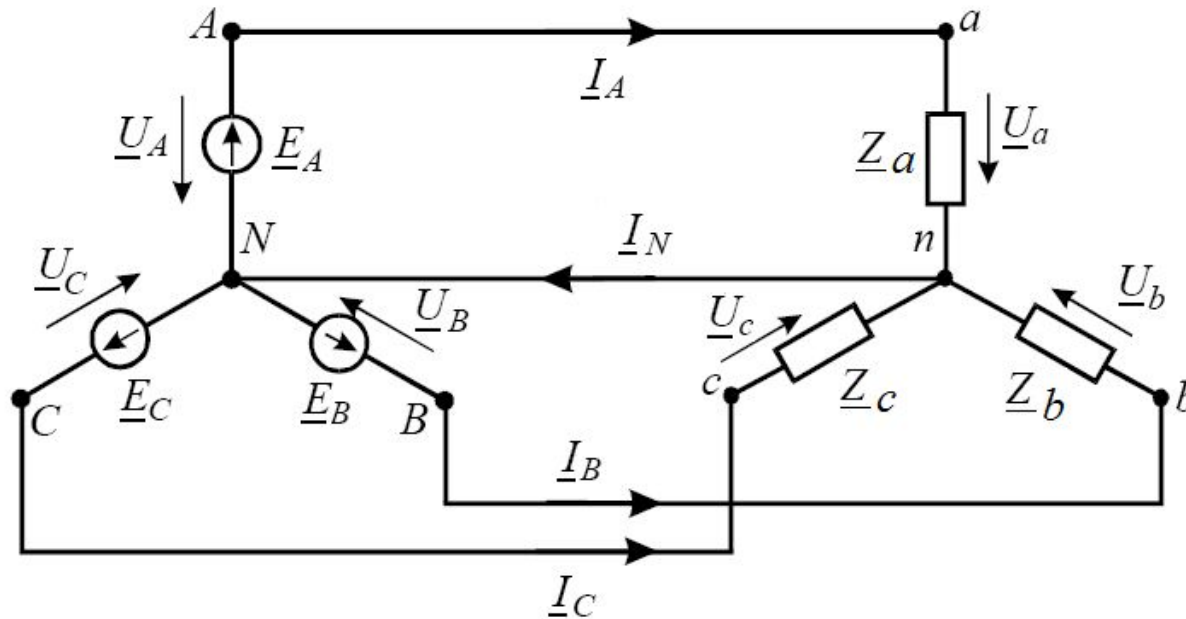
Трехфазные приемники могут быть симметричными и несимметричными. У **симметричных** приемников равны между собой комплексные сопротивления фаз:

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c \quad (\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca}).$$

Если модули сопротивлений фаз несимметричного приемника равны между собой: $Z_a = Z_b = Z_c$ ($Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$), то нагрузка является **равномерной**.

Если аргументы комплексных сопротивлений фаз несимметричного приемника равны между собой: $\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c$ ($\varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca}$), то нагрузка является **однородной**.

Анализ трехфазных цепей (четырёхпроводная линия)

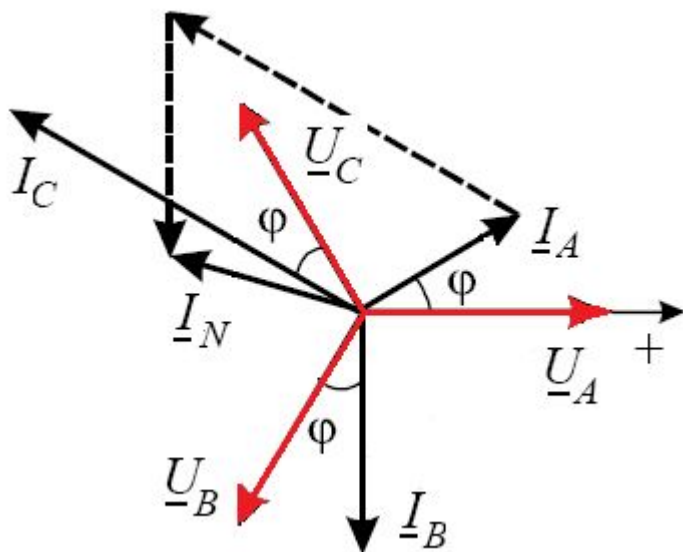


$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_c}. \quad \underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C.$$

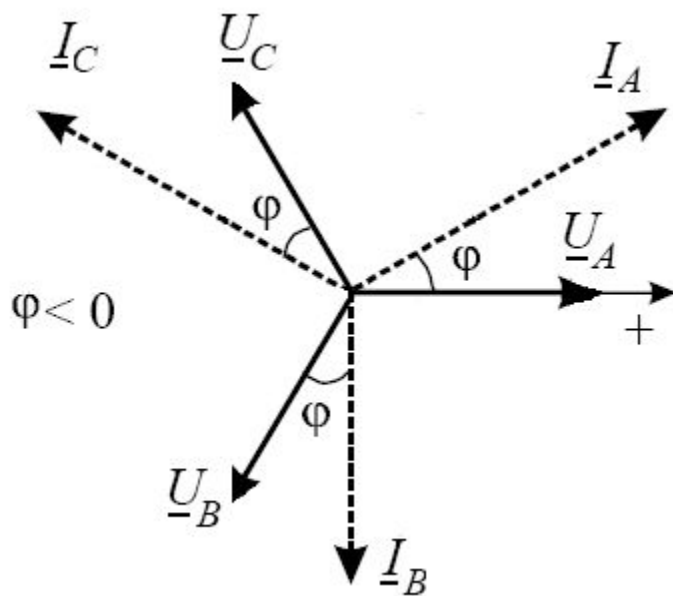
При $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = Z_\phi \cdot e^{j\varphi}$ $I_\lambda = I_\phi = I_A = I_B = I_C = \frac{U_\phi}{Z_\phi}.$

Анализ трехфазных цепей

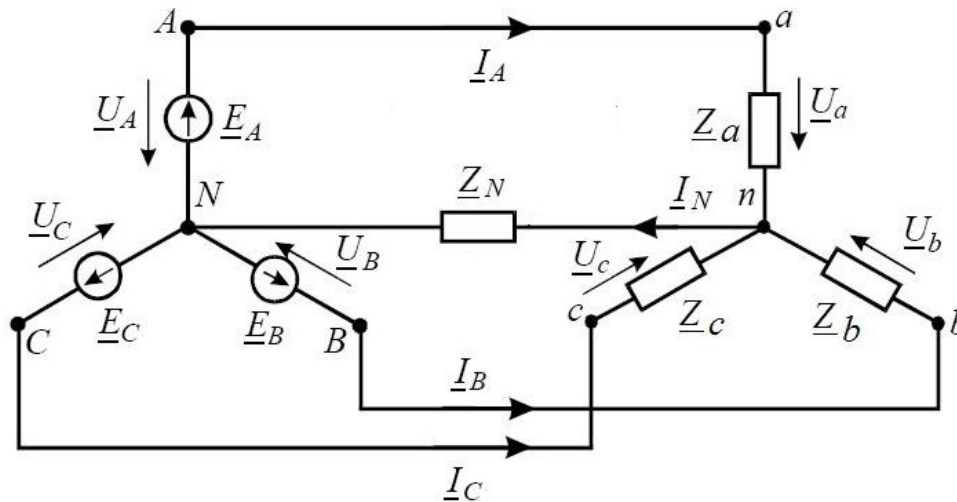
Несимметричная нагрузка



Симметричная нагрузка



Анализ трехфазных цепей



$$0 < \underline{Z}_N < \infty$$

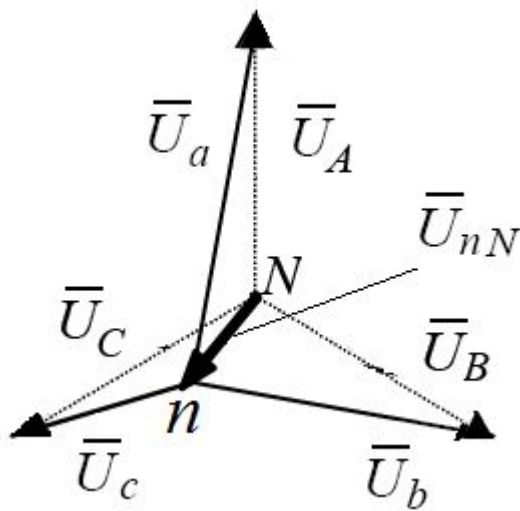
Определяем напряжение смещения нейтрали

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

В соответствии с II законом Кирхгофа можно записать:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}.$$

Анализ трехфазных цепей



Линейные токи равны фазным:

$$\underline{I}_A = \frac{U_a}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_B = \frac{U_b}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{I}_C = \frac{U_c}{\underline{Z}_c}.$$

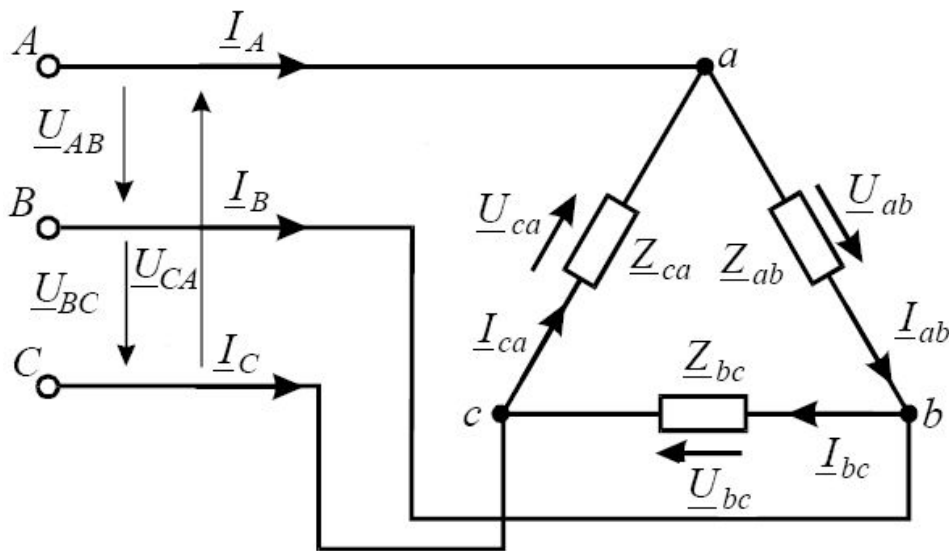
Токи в нейтральном проводе -

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

В трехпроводной линии (обрыв нейтрали) $\underline{Z}_N = \infty$

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

Анализ трехфазных цепей



Фазные токи:

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

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

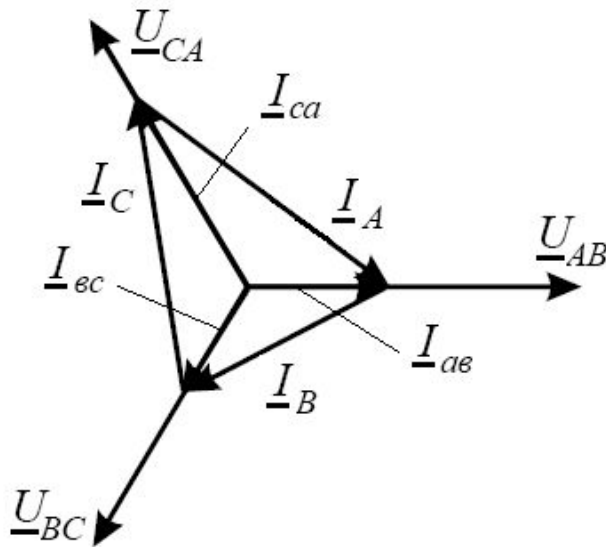
$$\underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ca}}{\underline{Z}_{ca}}.$$

Линейные токи:

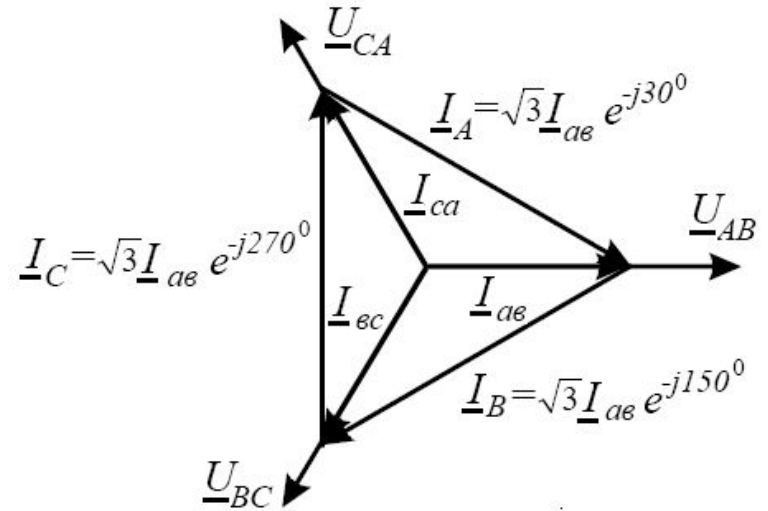
$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

Анализ трехфазных цепей

Несимметричная нагрузка



Симметричная нагрузка



$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi.$$



Мощность трехфазной цепи

Активная мощность - $P_{\text{цепи}} = P_a + P_b + P_c;$

Реактивная мощность $Q_{\text{цепи}} = Q_a + Q_b + Q_c;$

Полная мощность - $\tilde{S}_{\text{цепи}} = \tilde{S}_a + \tilde{S}_b + \tilde{S}_c.$

При симметричной нагрузке:

$$P_{\text{цепи}} = 3P_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}} \cos \varphi_{\phi};$$

$$Q_{\text{цепи}} = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi} \sin \varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}} \sin \varphi_{\phi}$$

$$S_{\text{цепи}} = 3S_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi} = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}}.$$