Цепи трехфазного тока

Лекция 8-9

7.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Под трехфазной электрической цепью подразумевается совокупность трех однофазных цепей, в каждой из которых действуют источники ЭДС одной частоты, одинаковые по амплитуде и сдвинутые по фазе друг относительно друга на одну треть периода.

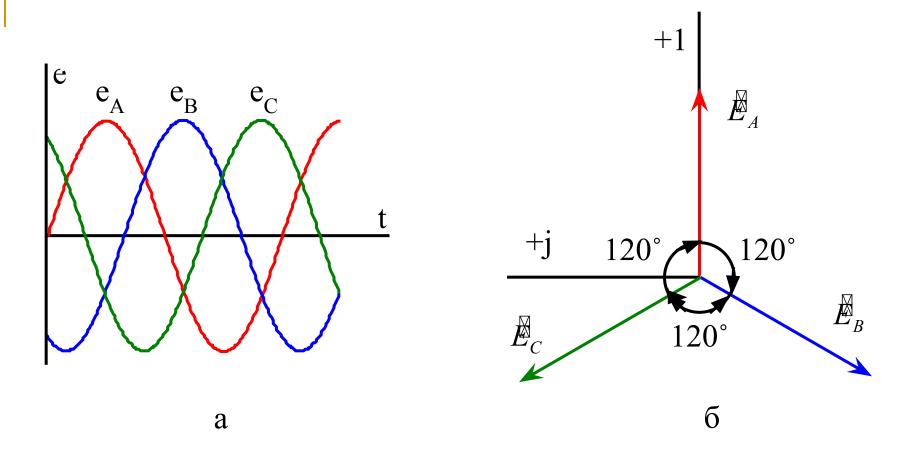


Рисунок 7.1 - Временные (а) и векторные (б) диаграммы трехфазной системы ЭДС

При начальной фазе ЭДС e_A , равной нулю, мгновенные значения ЭДС выражаются следующим образом:

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

$$e_{B} = E_{m} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right);$$

$$e_{C} = E_{m} \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right).$$

$$e_{A} + e_{B} + e_{C} = 0;$$

$$E_{A} + E_{B} + E_{C} = 0.$$

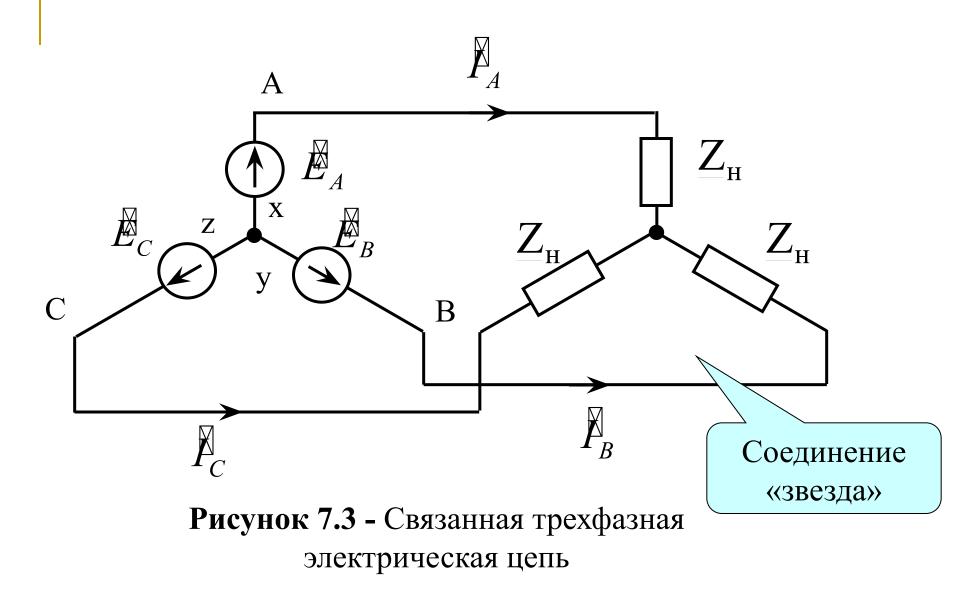
$$E_{A} + E_{C} = 0.$$

Рисунок 7.2 - Несвязанная трехфазная электрическая система

$$Z_{HA} = Z_{HB} = Z_{HC}$$

Токи в соединительных проводах сдвинуты на 1/3 периода. Сумма токов в обратных ветвях равна 0.

Можно объединить 3 обратных провода в один и за ненадобностью исключить.



Достоинствами трехфазных электрических цепей перед однофазными являются возможность получения вращающегося магнитного поля, что используется в электрических машинах, а также наличие в одной цепи двух эксплуатационных напряжений.

Каждая фазная обмотка электрической машины имеет два вывода: начало и конец. За начало фазы обмотки генератора принимают вывод, к которому направлена положительная ЭДС. Обозначаются начальные выводы в зависимости от фазы символами А, В и С. Противоположные выводы называются концами фаз обмоток и обозначаются соответственно Х, У и Z.

Общая точка, соединяющая концы фаз генератора в узел называется нейтралью трехфазной системы. Обычно напряжение нейтрали принимается равным нулю.

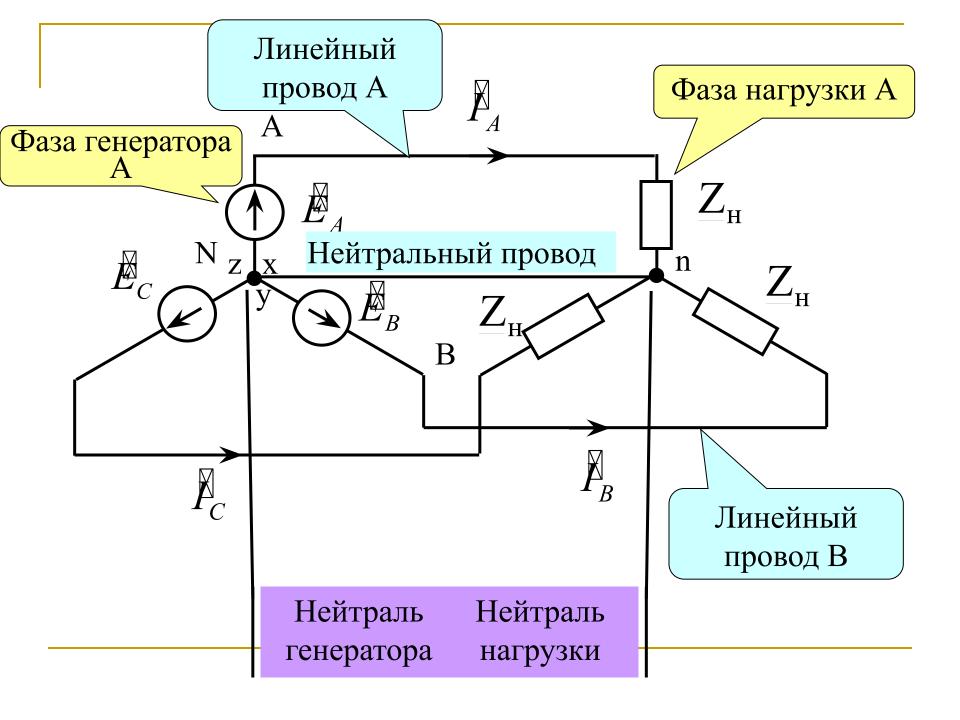
Каждую из 3-х ЭДС генератора называют фазой генератора. Каждую из трех нагрузок — фазой нагрузки.

Ток, протекающий по фазе генератора или нагрузки — фазный ток соответственно генератора или нагрузки.

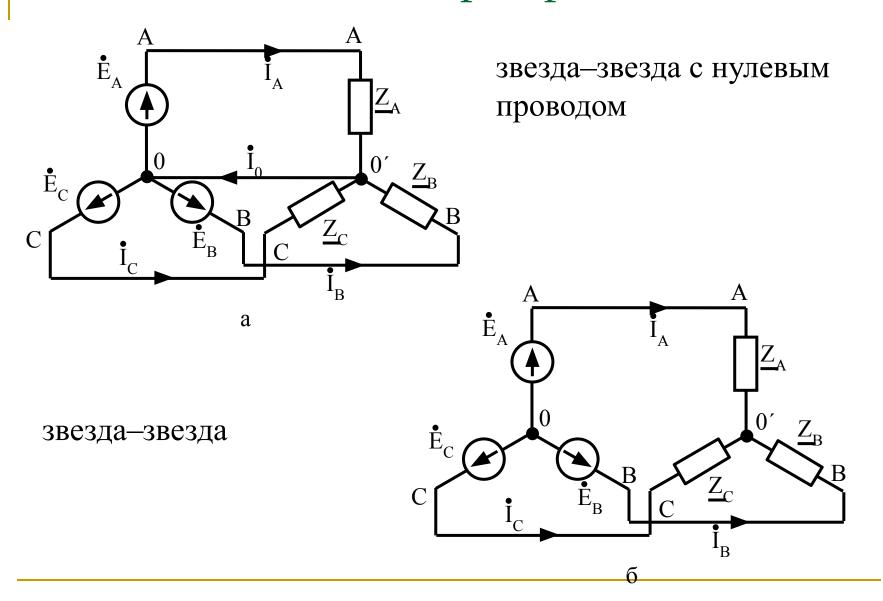
Ток в линейном проводе – линейный ток.

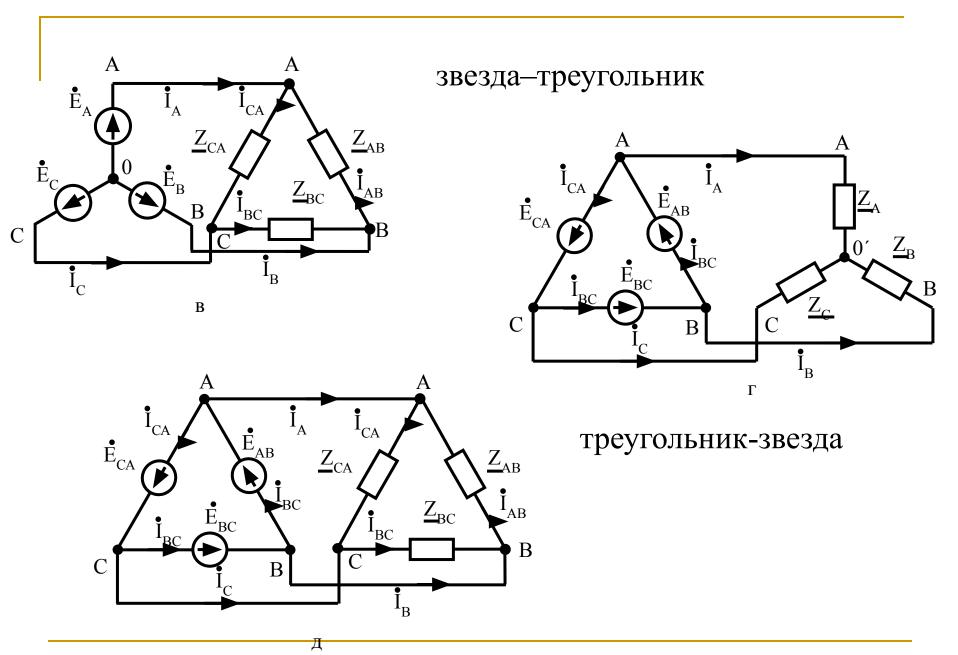
Напряжение на фазе генератора или нагрузки — фазное напряжение.

Напряжение между двумя линейными проводами — линейное напряжение.



Схемы соединений трехфазных цепей

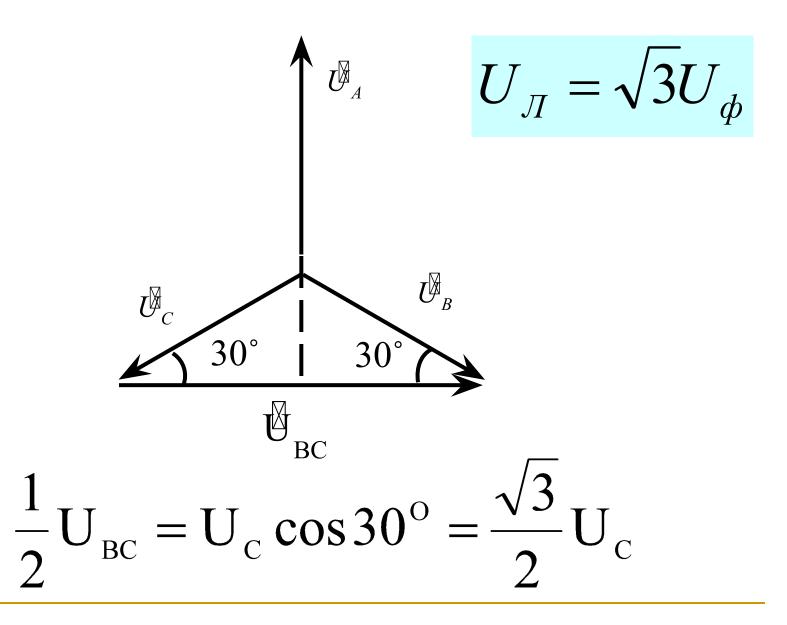




треугольник-треугольник

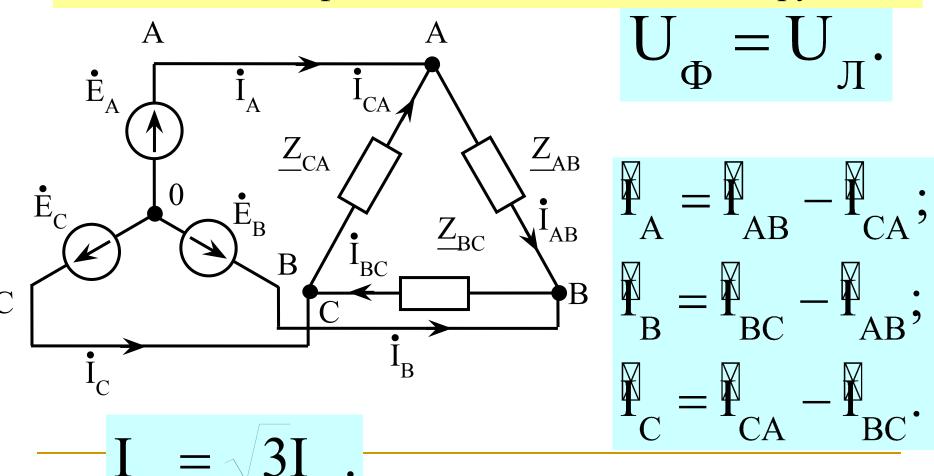
7.2 Соотношения между фазными токами и напряжениями в схеме

$$egin{align} egin{align} eg$$



Соотношения между фазными токами и напряжениями в схеме «треугольник»

Начало каждой фазы соединяется с концом другой.



7.3 PACЧЕТ СИММЕТРИЧНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ

Симметричной трехфазной цепью называется цепь, у которой соответствующие параметры элементов нагрузки в каждой из трех фаз равны, т.е. пассивная часть цепи фазы А повторяет пассивную часть цепей фаз В и С.

Особенностью симметричной трехфазной цепи является равенство напряжений всех нейтралей, как генераторов, так и нагрузок.

На практике стремятся уменьшить $\mathbf{U}_{\mathbf{nN}}$ до нуля.

Напряжение между нейтралями (напряжение смещения нейтрали) находится методом двух узлов. В симметричной схеме это напряжение равно нулю.

ЗАПОМНИТЬ:

 $U_{nN} = 0$

1) Если есть нейтральный провод и его сопротивление равно 0 ($Y_n = \infty$, $U_{nN} = 0$). В нейтральном проводе никогда не устанавливают предохранители

$$\mathbf{W}_{nN} = \frac{\mathbf{E}_{A} \underline{Y}_{A} + \mathbf{E}_{B} \underline{Y}_{B} + \mathbf{E}_{C} \underline{Y}_{C}}{\underline{Y}_{A} + \underline{Y}_{B} + \underline{Y}_{C} + \underline{Y}_{n}} = 0$$

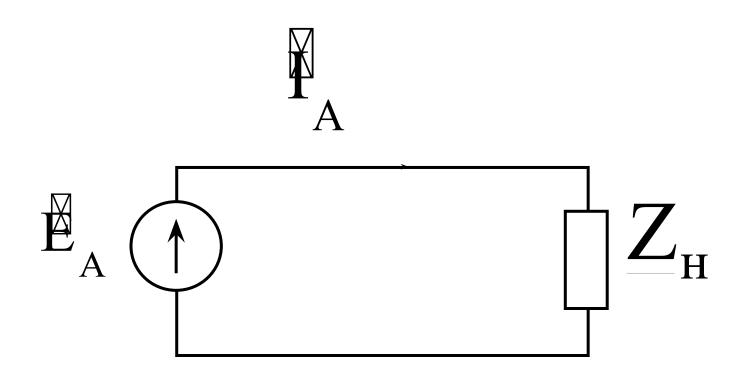
2) Если нагрузка . Можно убрать нейтральный провод (трехпроводная цепь)

$$\mathbf{U}_{nN} = \frac{\mathbf{E}_{A} \underline{Y}_{A} + \mathbf{E}_{B} \underline{Y}_{B} + \mathbf{E}_{C} \underline{Y}_{C}}{\underline{Y}_{A} + \underline{Y}_{B} + \underline{Y}_{C} + \underline{Y}_{n}} = \frac{(\mathbf{E}_{A} + \mathbf{E}_{B} + \mathbf{E}_{C}) \cdot \underline{Y}_{\phi}}{\underline{Y}_{A} + \underline{Y}_{B} + \underline{Y}_{C} + \underline{Y}_{n}} = 0$$

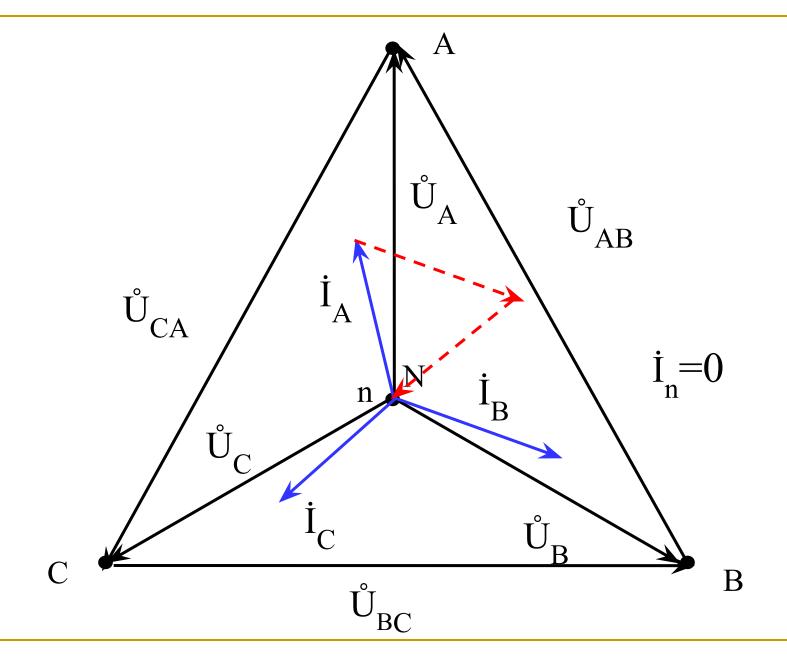
Эта особенность позволяет в расчетах «развязать» связанную трехфазную цепь на три однофазные, а так как фазные токи трех фаз равны между собой и сдвинуты относительно друг друга на треть периода, то достаточно рассчитать только одну однофазную цепь, а результаты с соответствующими фазовыми сдвигами перенести на другие фазы.

Если нагрузка включена «треугольником», его следует преобразовать в эквивалентную «звезду», при этом сопротивления нагрузки уменьшатся в три раза. Истинные токи нагрузок будут в $\sqrt{3}$ раз меньше рассчитанных для схемы «звезда».

Если генераторы соединены «треугольником», то преобразование в «звезду» уменьшит сопротивление генераторов в три раза, а величины ЭДС – в $\sqrt{3}$ раз.

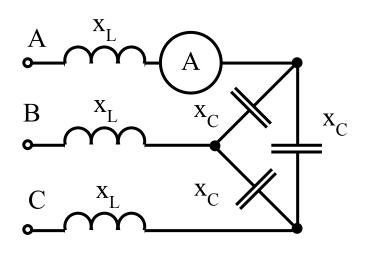


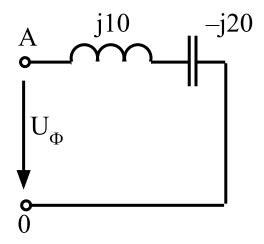
Необходимо твердо запомнить, что на комплексной плоскости жестко зафиксированы положения точек N, A, B, C, определяемые значениями фазных ЭДС. Положения остальных точек определяются схемой соединений и соотношением параметров элементов.



Пример

К трехфазной цепи приложена симметричная система линейных напряжений $U_{\rm J} = 220~{\rm B},~{\rm x_L} = 10~{\rm Om},~{\rm x_C} = 60~{\rm Om}.$ Определить показания амперметра.





a

б

$$x_A = \frac{x_{AB} \cdot x_{BC}}{x_{AB} + x_{AC} + x_{BC}}.$$

$$x_{CB} = x_{BC} = x_{CA} = \frac{x_{C}^{2}}{3x_{C}} = 20 \text{ Om.}$$

$$220e^{j0^{8}}$$

$$P_A = \frac{U_{\phi A}}{jx_{\beta}} = \frac{\sqrt{3}}{j(10-20)} = j12,7 A.$$

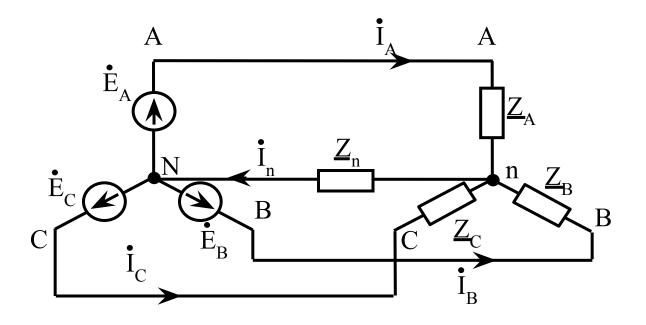
7.4. PACЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ

Звезда с нейтральным проводом, $Z_n = 0$, $U_{nN} = 0$

$$\mathbf{P}_{\mathbf{A}} = \frac{\mathbf{P}_{\mathbf{A}}}{\mathbf{Z}_{\mathbf{A}}}, \quad \mathbf{P}_{\mathbf{B}} = \frac{\mathbf{P}_{\mathbf{B}}}{\mathbf{Z}_{\mathbf{B}}}, \quad \mathbf{P}_{\mathbf{C}} = \frac{\mathbf{P}_{\mathbf{C}}}{\mathbf{Z}_{\mathbf{C}}}.$$

Ток в нейтральном проводе определится на основании первого закона Кирхгофа:

Звезда с нейтральным проводом, $Z_n \neq 0$, $U_{nN} \neq 0$



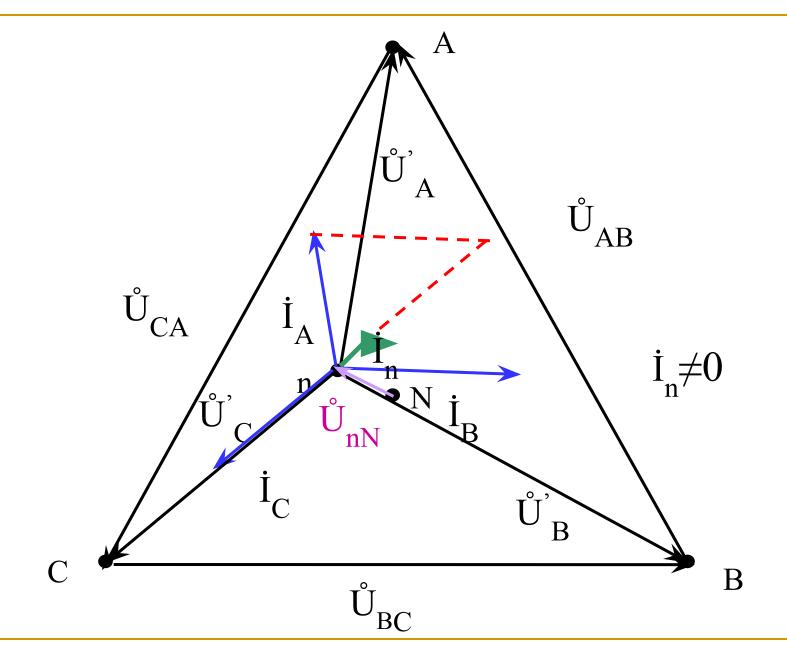
1)
$$U_{nN} = \frac{E_A \underline{Y}_A + E_B \underline{Y}_B + E_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_n}$$

2)
$$\mathcal{U}_{A}' = \mathcal{E}_{A} - \mathcal{U}_{nN}; \ \mathcal{U}_{B}' = \mathcal{E}_{B} - \mathcal{U}_{nN};$$

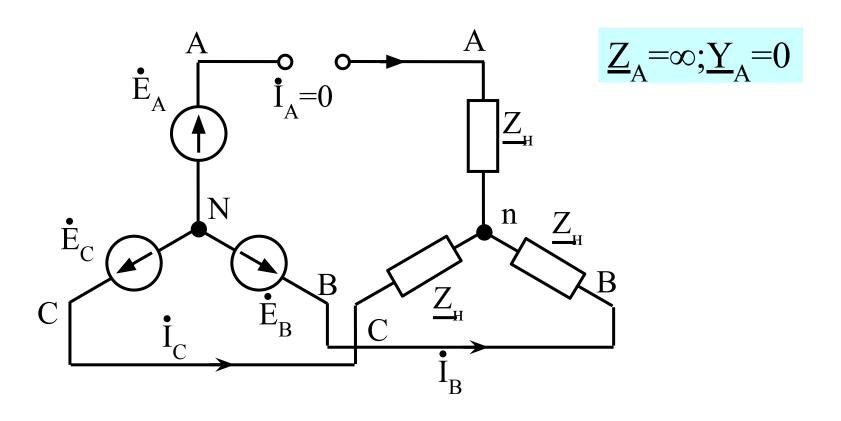
$$\mathcal{U}_{C}' = \mathcal{E}_{C} - \mathcal{U}_{nN}$$

3)
$$\mathbb{A}_{A} = \frac{\mathcal{U}_{A}'}{Z_{A}}; \mathbb{A}_{B} = \frac{\mathcal{U}_{B}'}{Z_{B}}; \mathbb{A}_{C} = \frac{\mathcal{U}_{C}'}{Z_{C}};$$

$$\mathbb{P}_{n} = \frac{U_{nN}}{Z_{n}}$$
или $\mathbb{P}_{n} = \mathbb{P}_{A} + \mathbb{P}_{B} + \mathbb{P}_{C}$



Обрыв линейного провода в трехфазной трехпроводной цепи

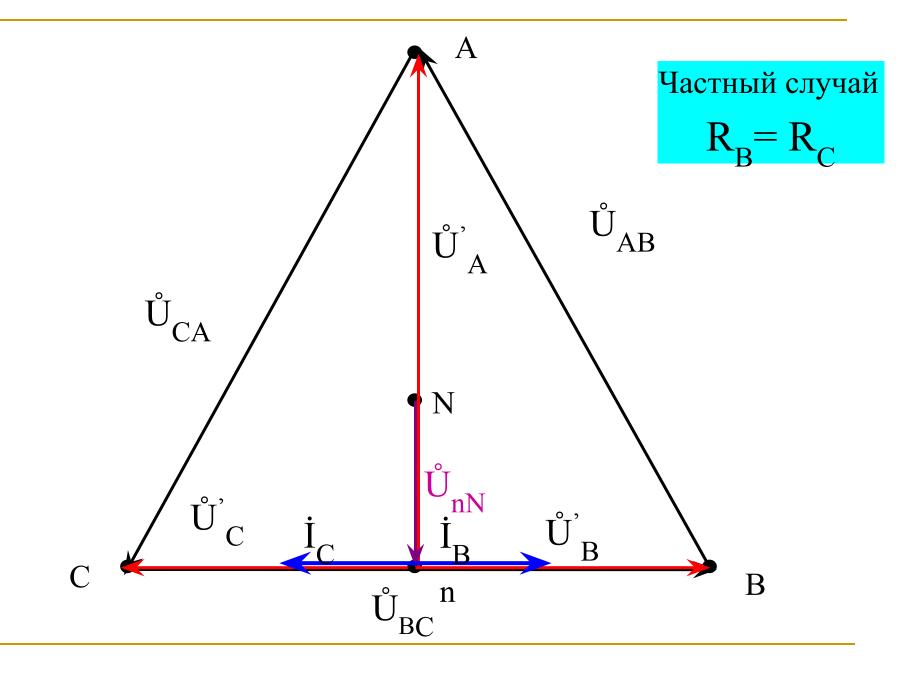


1)
$$U_{nN} = \frac{E_A \cdot 0 + E_B \underline{Y}_B + E_C \underline{Y}_C}{0 + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}$$

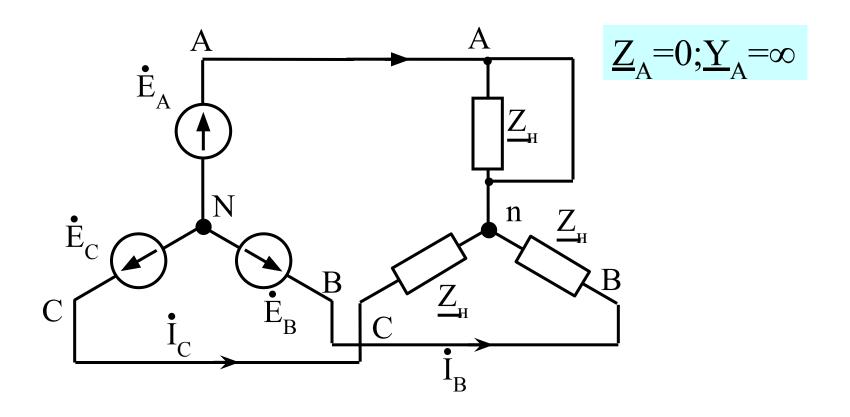
2)
$$\mathcal{U}_{A}' = \mathcal{E}_{A} - \mathcal{U}_{nN}; \ \mathcal{U}_{B}' = \mathcal{E}_{B} - \mathcal{U}_{nN};$$

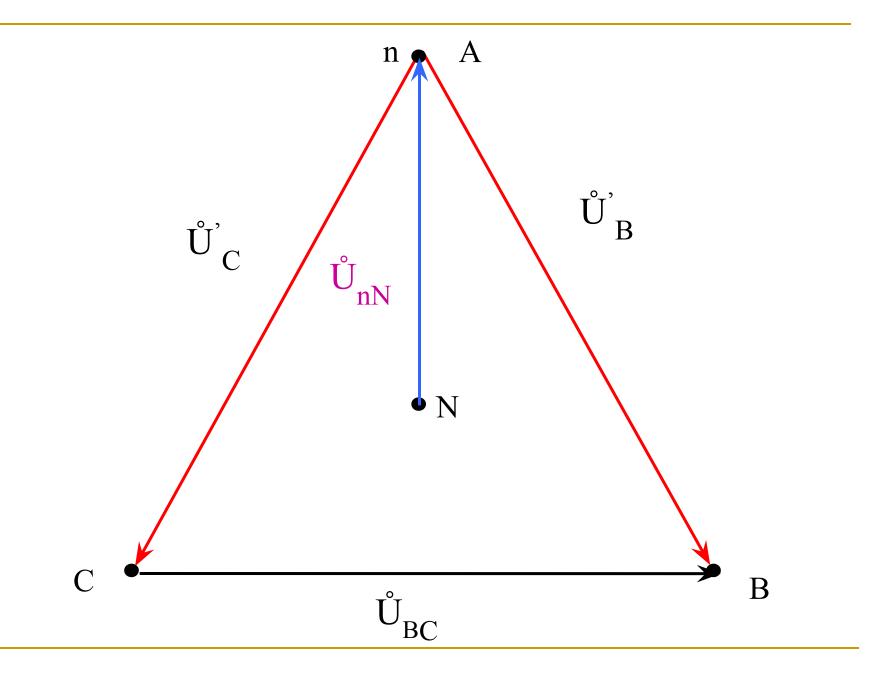
$$\mathcal{U}_{C}' = \mathcal{E}_{C} - \mathcal{U}_{nN}$$

3)
$$P_A = 0$$
; $P_B = \frac{U_B'}{Z_B}$; $P_C = \frac{U_C'}{Z_C}$



Короткое замыкание фазы А в трехпроводной цепи



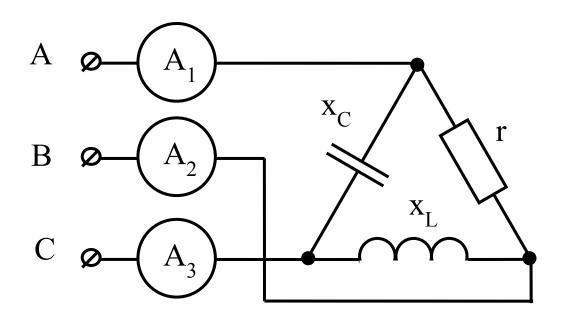


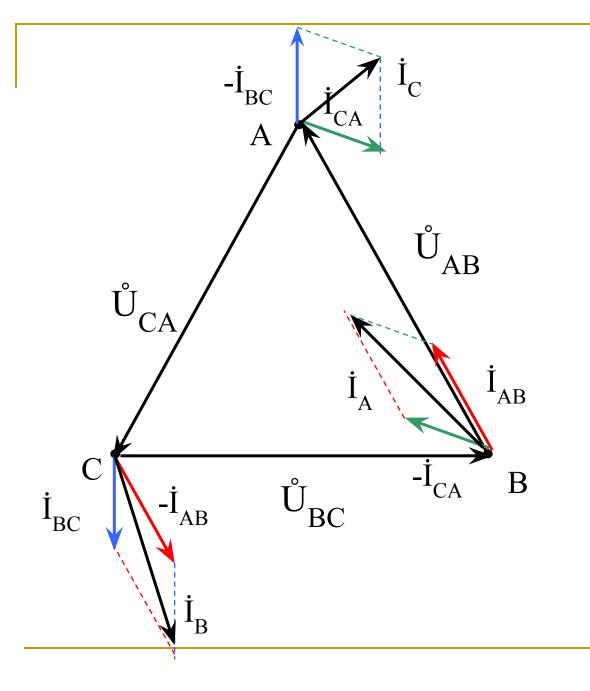
1)
$$U_{nN} = E_A$$

$$\begin{array}{c} \mathcal{D}'_{A} = 0;\\ \mathcal{D}'_{B} = \mathcal{E}_{B} - \mathcal{D}_{nN} = \mathcal{E}_{B} - \mathcal{E}_{A} = -\mathcal{D}_{AB};\\ \mathcal{D}'_{C} = \mathcal{E}_{C} - \mathcal{E}_{A} = \mathcal{D}_{CA} \end{array}$$

Напряжения на других фазах возрастают в √3 раз.

Пример

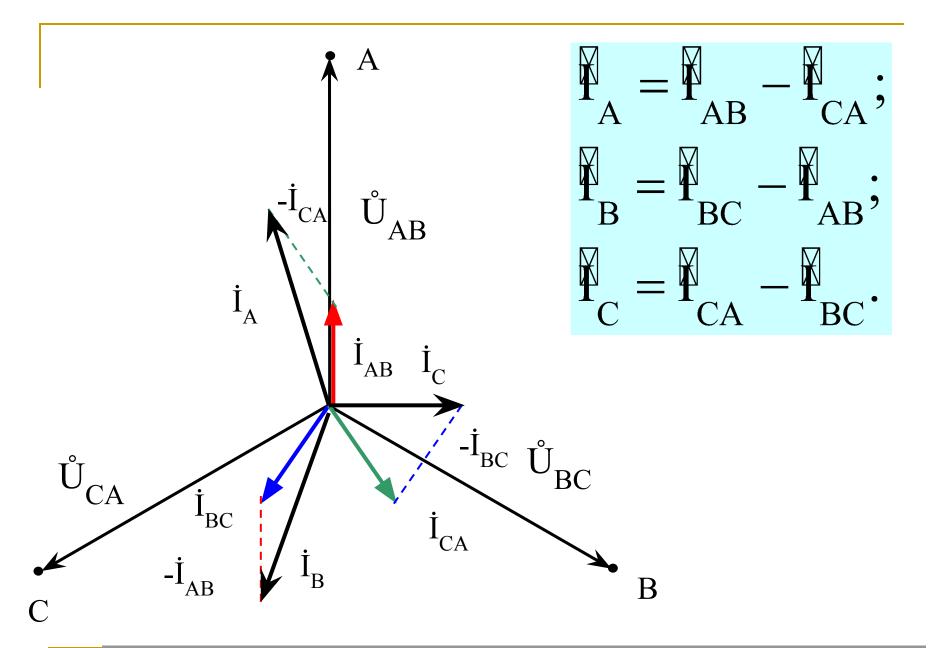




$$\mathbf{P}_{\mathbf{A}} = \mathbf{P}_{\mathbf{AB}} - \mathbf{P}_{\mathbf{CA}};$$

$$\mathbf{P}_{\mathbf{B}} = \mathbf{P}_{\mathbf{BC}} - \mathbf{P}_{\mathbf{AB}};$$

$$\mathbf{P}_{\mathbf{C}} = \mathbf{P}_{\mathbf{CA}} - \mathbf{P}_{\mathbf{BC}}.$$



Возможное начертание векторной диаграммы

7.5 АКТИВНАЯ, РЕАКТИВНАЯ, ПОЛНАЯ МОЩНОСТИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

При соединении обмоток генератора «звездой»:

$$P = P_A + P_B + P_C = E_A I_A \cos \phi_A + E_B I_B \cos \phi_B + E_C I_C \cos \phi_C.$$
 При соединении обмоток генератора «треугольником»:

$$P = E_{AB}^{I} I_{AB} \cos \varphi_{AB} + E_{BC}^{I} I_{BC} \cos \varphi_{BC} + E_{CA}^{I} I_{CA} \cos \varphi_{CA}$$

Если трехфазная цепь симметрична:

$$P = 3E_{\Phi}I_{\Phi}\cos\varphi = \sqrt{3}E_{\Pi}I_{\Pi}\cos\varphi,$$

Реактивная мощность трехфазной цепи:

При соединении обмоток генератора «звездой»:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = E_A I_A \sin \phi_A + E_B I_B \sin \phi_B + E_C I_C \sin \phi_C.$$
 При соединении обмоток генератора «треугольником»:

$$Q = E_{AB}I_{AB}\sin\varphi_{AB} + E_{BC}I_{BC}\sin\varphi_{BC} + E_{CA}I_{CA}\sin\varphi_{CA}.$$

Если трехфазная цепь симметрична:

$$Q = 3E_{\Phi}I_{\Phi}\sin\varphi = \sqrt{3}E_{\Pi}I_{\Pi}\sin\varphi,$$

Полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{U}_{A}^{*} \mathbf{I}_{A} + \mathbf{U}_{B}^{*} \mathbf{I}_{B} + \mathbf{U}_{C}^{*} \mathbf{I}_{C}$$

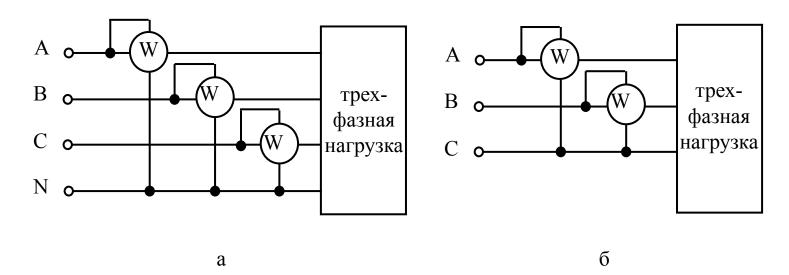


Рисунок - Схемы измерения мощности в трехфазных цепях с нейтральным проводом (a), при его отсутствии (б)

Самостоятельная работа

нелинейные цепи:

Последовательное, параллельное и смешанное соединение элементов