

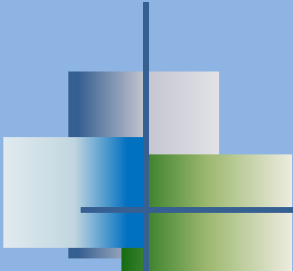
Общие сведения о трехфазных электрических цепях

- Общие понятия и определения
- Схемы соединения фаз генератора и трёхфазной нагрузки:
 - а) звезда (Y);
 - б) треугольник (Δ)
- Мощность в трехфазных цепях



**Все звенья трехфазной цепи –
генератор, трансформатор,
электродвигатель – были
изобретены русским
инженером**

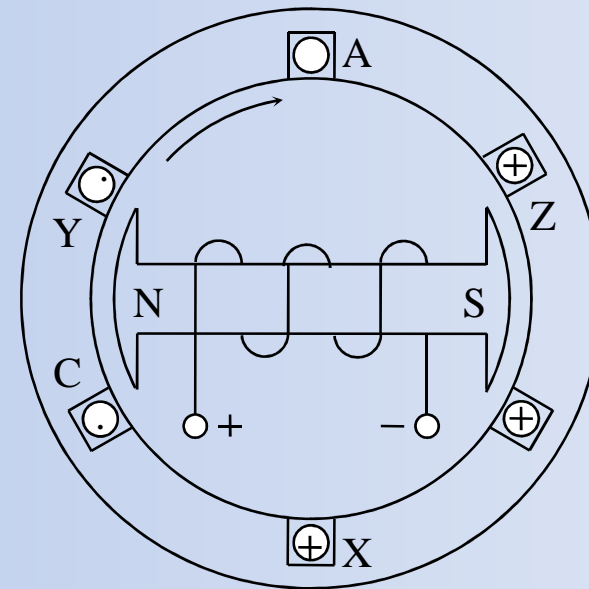
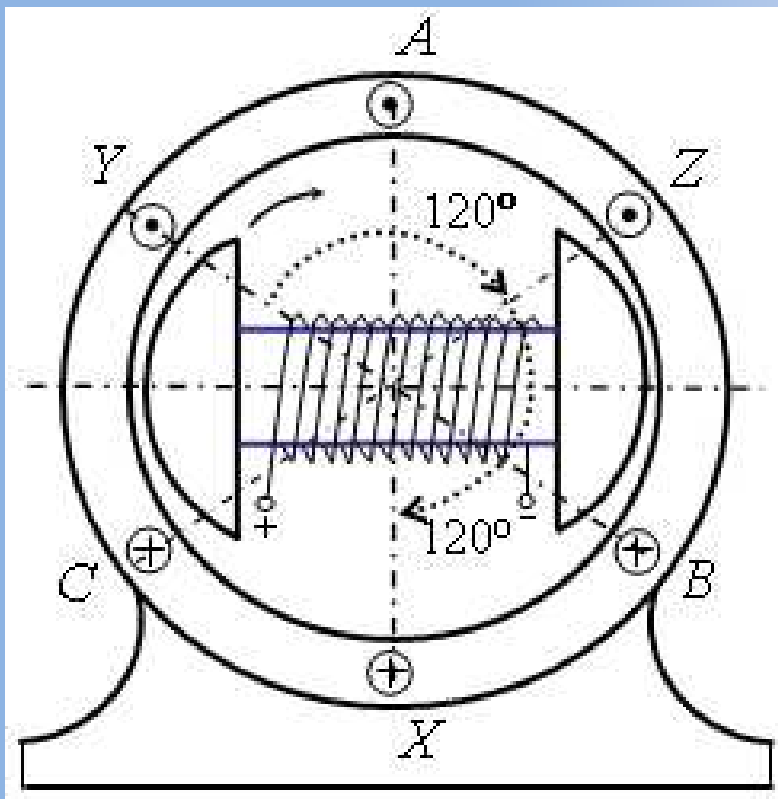
М. О. Доливо-Добровольским
в период с 1889 по 1891гг.



Преимущества генерирования, передачи и преобразования электрической энергии в **трехфазных цепях** по сравнению с **однофазными**

- a) меньший расход меди и стали;
- b) простота получения вращающегося магнитного поля в электродвигателях переменного тока;
- c) меньшие пульсации момента на валу трёхфазных генераторов и двигателей;
- d) трёхфазные генератор, двигатель и трансформатор - просты в производстве, экономичны и надёжны в работе.

Трёхфазная цепь - это совокупность трёхфазной системы ЭДС, трёхфазной нагрузки (нагрузок) и соединительных проводов.

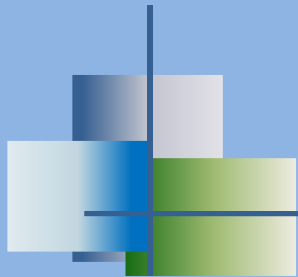


Трёхфазный генератор



Трёхфазной системой ЭДС (напряжений) называют систему, состоящую из трёх (однофазных) электрических цепей, в которых действуют три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, равные по амплитуде и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол $2\pi/3$ рад (120°).

Каждую отдельную цепь трехфазной системы называют **фазой**.



В трёхфазной цепи различают:

- фазы A , B и C генератора и
- фазы a , b и c приёмника.

Окрашивают их соответственно в жёлтый (**фаза A**), зелёный (**фаза B**) и красный (**фаза C**) цвета.

Концы X , Y и Z обмоток фаз соединяют в общую точку N (реже обозначают эту точку символом 0 ноль) и называют её **нейтралью** трёхфазного генератора.

Схемы соединения фаз генератора и трёхфазной нагрузки

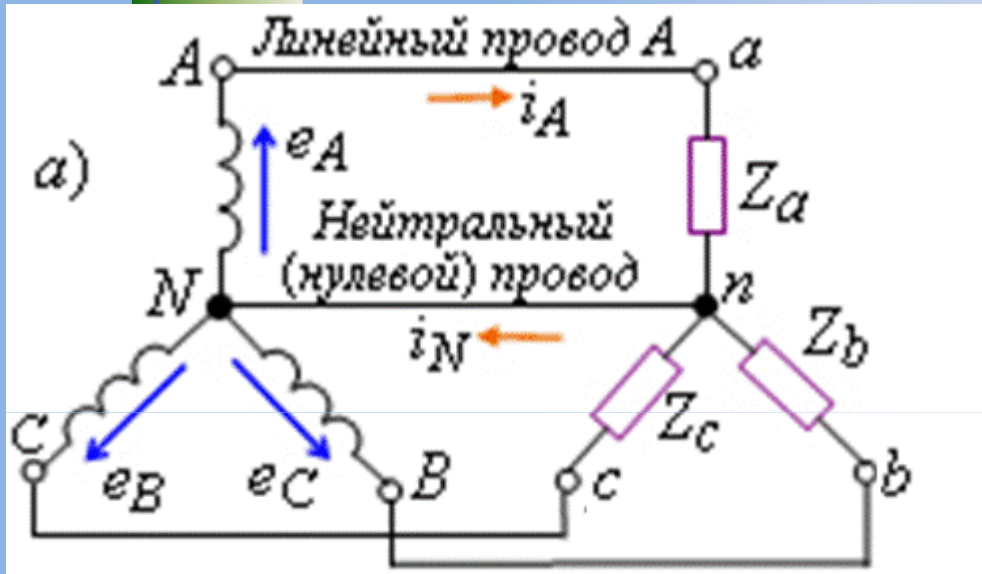


Схема Y - Y

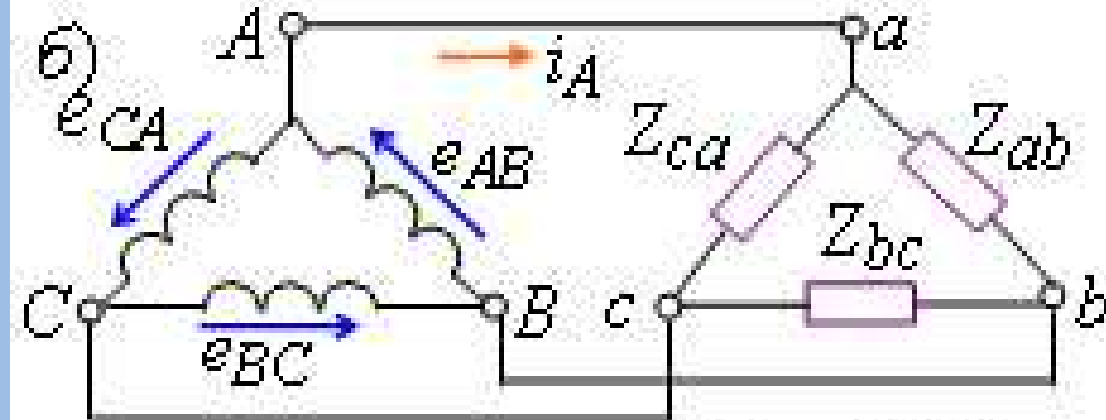


Схема Δ - Δ

- Обмотки статора трёхфазного генератора соединяют по схеме **звезда** (Y) или **треугольник** (Δ).
- Трёхфазная нагрузка (приёмник) также может быть соединена по схеме **звезда** или **треугольник**.



Провода, соединяющие точки A и a , B и b , C и c , называют **линейными**;

соответственно и токи в них I_A , I_B , I_C называют **линейными**.

Провод, соединяющий точку N (нейтраль генератора) с точкой n (нейтраль приёмника), называют **нейтральным (нулевым)**,

а ток I_N - током в нейтральном проводе.

Напряжения

- между линейными проводами называют **линейными**: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} ;
- между каждым из линейных проводов и нейтральным - **фазными**: U_A , U_B , U_C генератора и U_a , U_b , U_c приёмника.

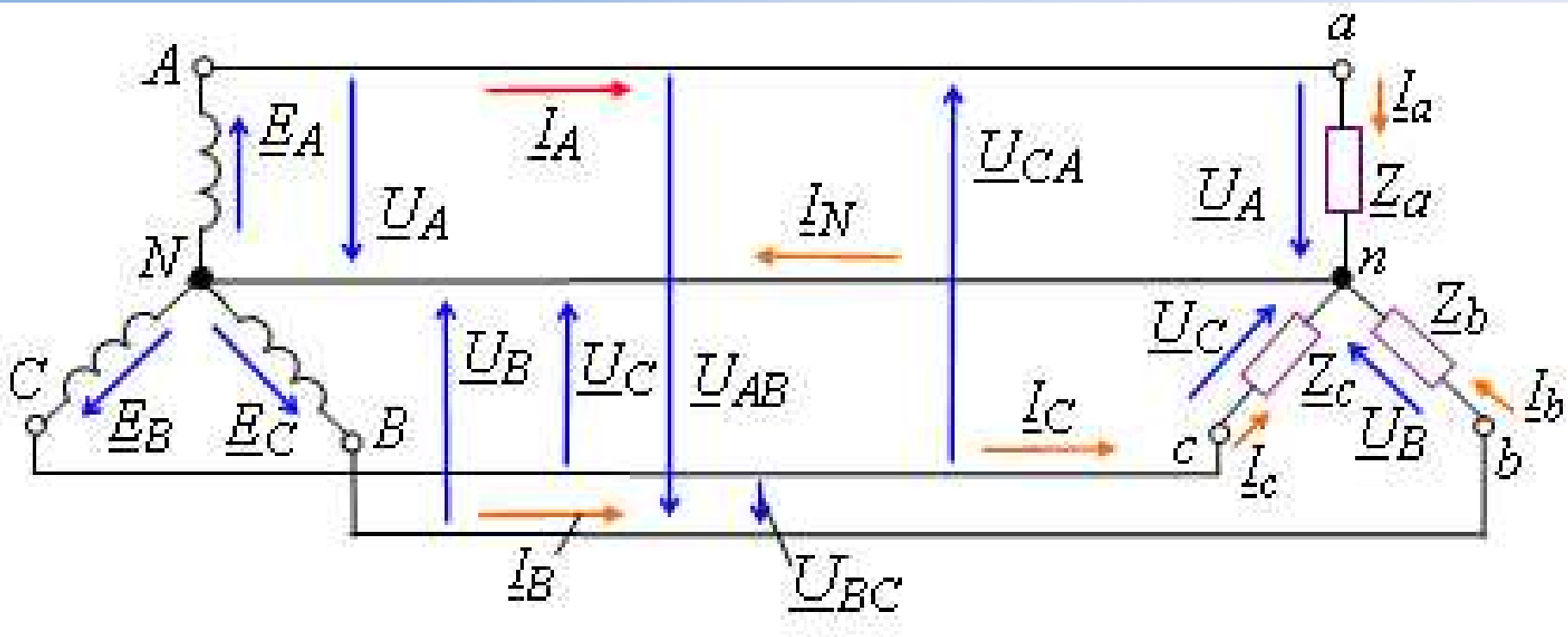
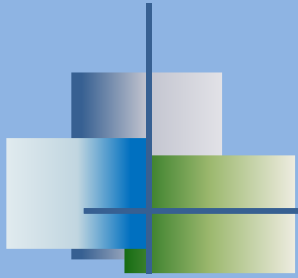


Схема звезда-звезда (Y-Y) четырехпроводная



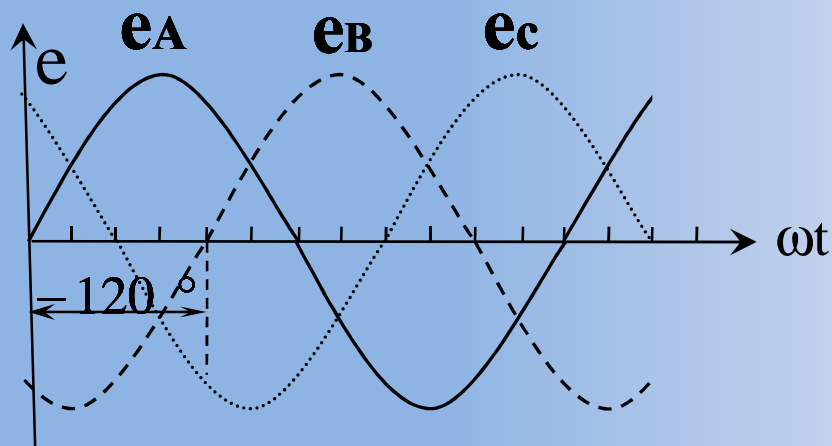
- Трехфазную цепь называют **симметричной**, если амплитудные и действующие значения напряжений и токов во всех фазах равны и сдвинуты по фазе друг относительно друга на угол 120° , и несимметричной, если хотя бы одно из приведенных условий не выполняется.
- В симметричной трехфазной системе сумма мгновенных значений фазовых напряжений в любой момент времени равна нулю:

$$u_A + u_B + u_C = 0$$

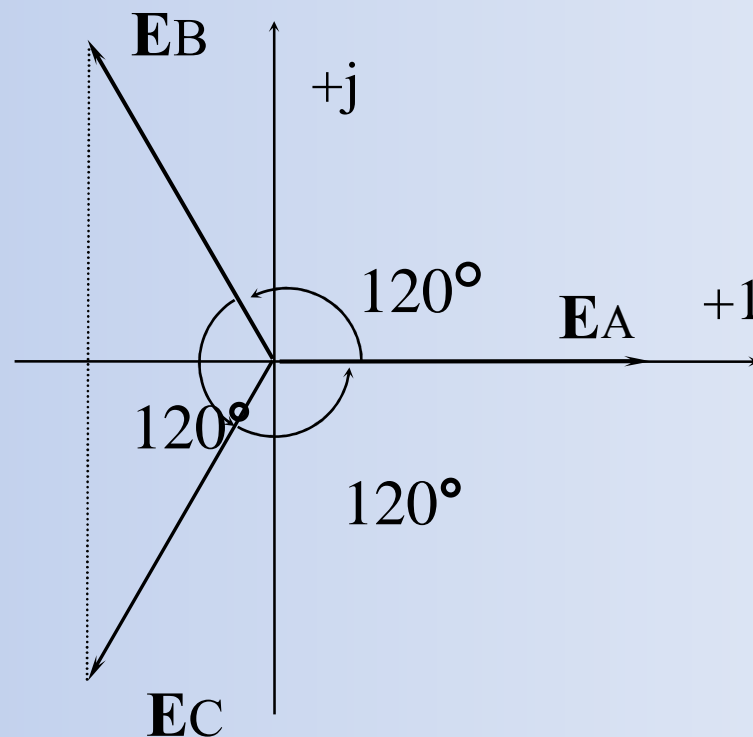
Временная и векторная диаграммы ЭДС в симметричной трёхфазной системе

Аналитические выражения ЭДС

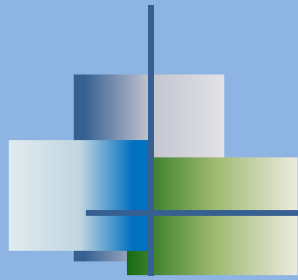
$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_{m_A} \sin \omega t \\ e_B &= E_{m_B} \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_{m_C} \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\}$$



Временная диаграмма ЭДС



Векторная диаграмма ЭДС

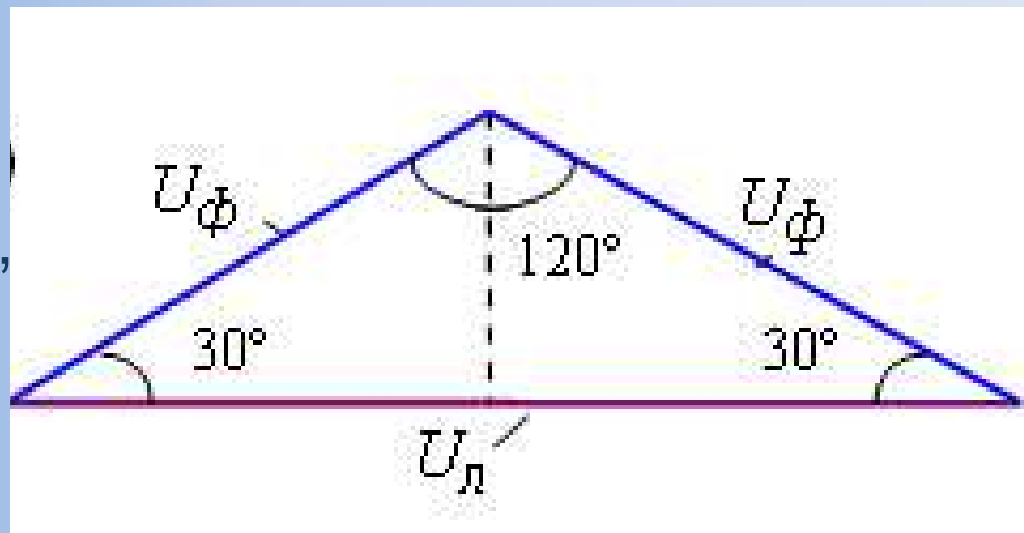
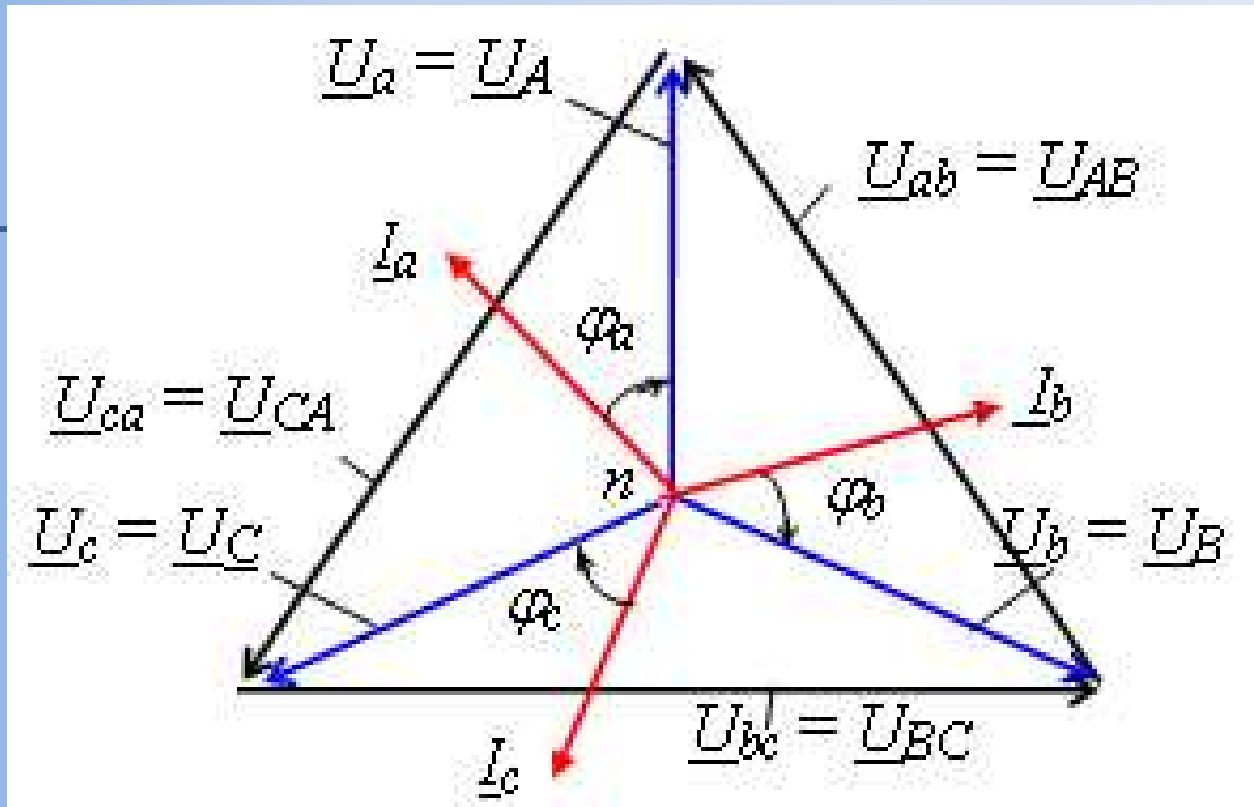


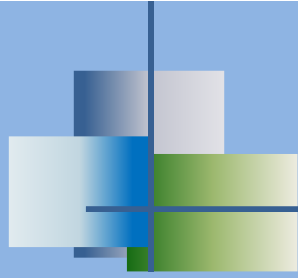
Векторная диаграмма напряжений и токов в симметричной трёхфазной системе

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = \underline{Z}_\phi$$

$$|Z_a| = |Z_b| = |Z_c| = |Z_\phi|,$$

$$\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c = \varphi_\phi = \arctg(X_\phi/R_\phi)$$





Т.к. токи \underline{I}_a , \underline{I}_b и \underline{I}_c симметричны, то сумма комплексов фазных токов

$$\underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 0,$$

т. е. ток в нейтральном проводе равен нулю, и его можно отключить.

➤ В результате получим *трёхпроводную* систему включения приёмника с генератором по схеме **Y-Y**.



В симметричной трёхфазной системе Y-Y соотношения:

- между линейными и фазными *токами*

$$I_{\phi} = I_{\text{л}}$$

- между линейным и фазным
напряжениями

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$$



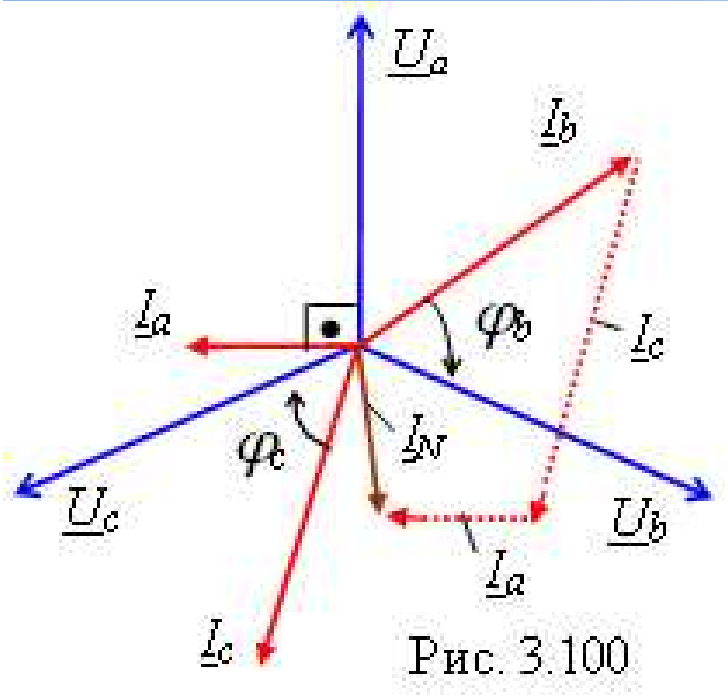
В четырёхпроводной системе при неравномерной нагрузке фаз $\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$ фазные напряжения приёмника равны фазным напряжениям генератора,

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A, \underline{U}_b = \underline{U}_B, \underline{U}_c = \underline{U}_C$$

а фазные токи различны:

$$\underline{I}_a = \underline{U}_a / \underline{Z}_a; \underline{I}_b = \underline{U}_b / \underline{Z}_b; \underline{I}_c = \underline{U}_c / \underline{Z}_c$$

Ток в нейтральном проводе $\underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c$



При **неравномерной** нагрузке

в трёхпроводной системе Y-Y

(т. е. без нейтрального провода)

между точками n и N появится напряжение смещения нейтрали:

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

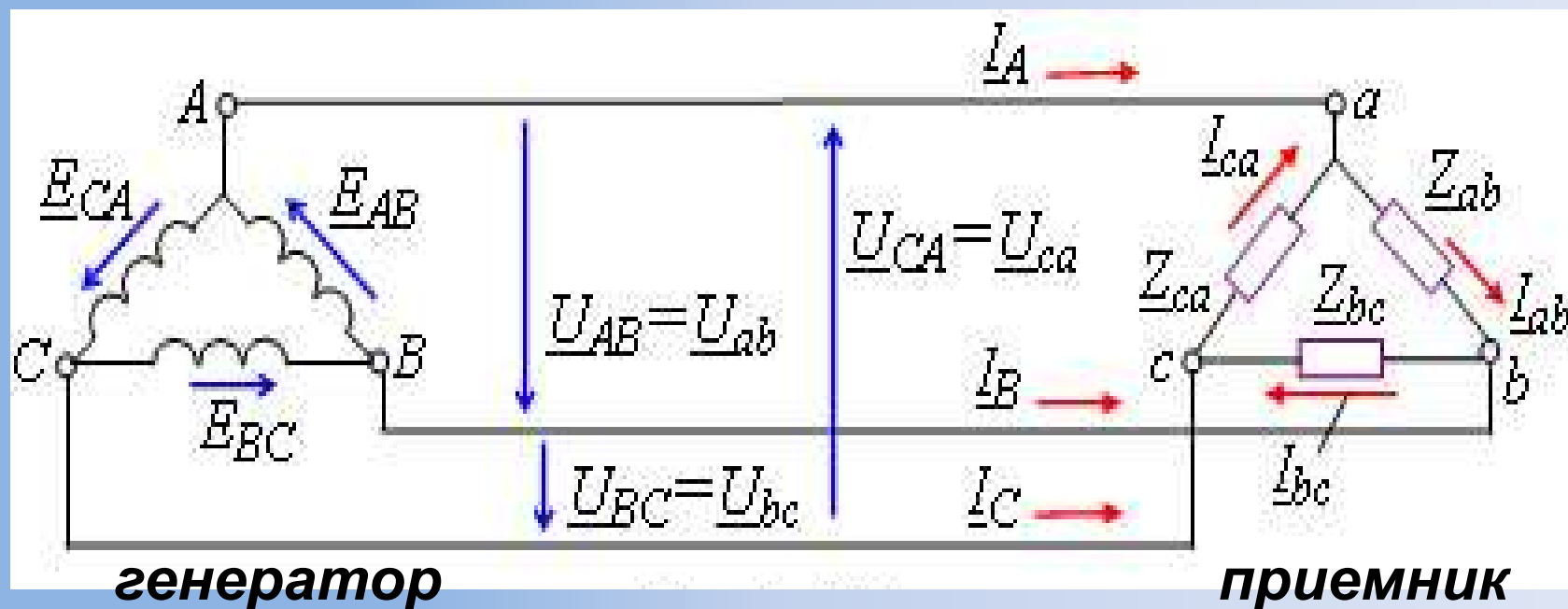
➤ В результате получается **несимметричная** звезда фазных напряжений приёмника (“**перекос**” фаз).

➤ По этой причине в осветительных системах **запрещается** устанавливать предохранители и выключатели в нейтральном проводе.

➤ В осветительных системах линейное напряжение

$$U_{л} = 380 \text{ В, а фазное } U_{ф} = U_{л} / \sqrt{3} = 220 \text{ В.}$$

Схема треугольник-треугольник (Δ - Δ)



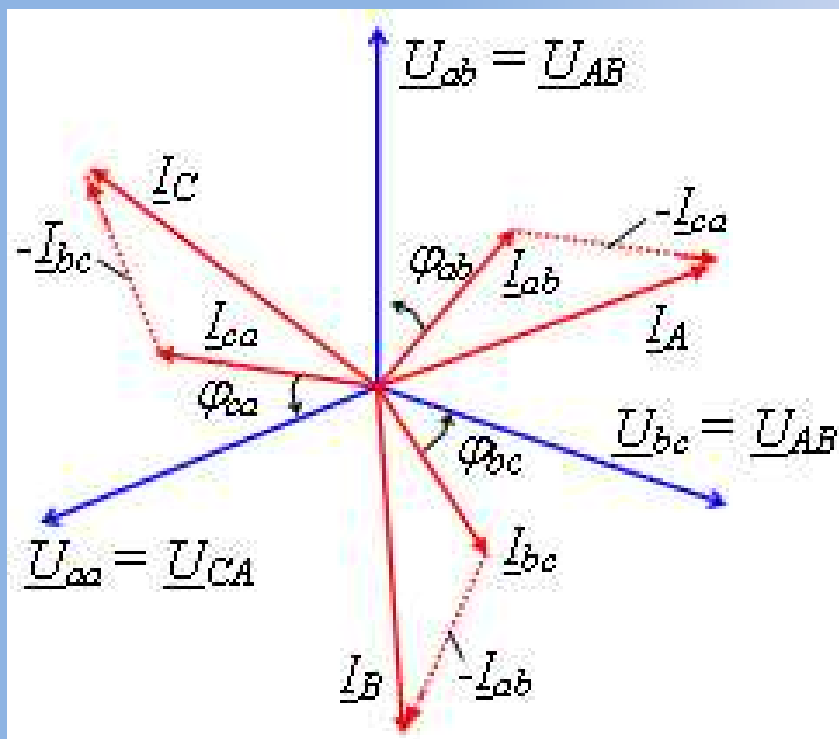
В данном случае возможно только **трехпроводное** соединение трехфазного приемника с генератором



Соотношения между линейными
и фазными напряжениями и
токами при равномерной
нагрузке

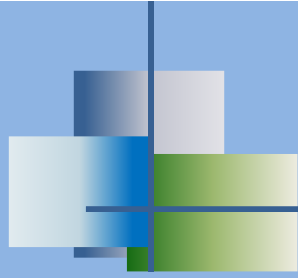
$$U_{\phi} = U_{\text{л}}$$

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$$



Согласно первому
закону Кирхгофа
линейные токи

$$\begin{aligned} I_A &= I_{ab} - I_{ca}; \\ I_B &= I_{bc} - I_{ab}; \\ I_C &= I_{ca} - I_{bc}. \end{aligned}$$



При **неравномерной** нагрузке
фазные токи различны:

$$\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab}$$

$$\underline{I}_{bc} = \underline{U}_{bc} / \underline{Z}_{bc}$$

$$\underline{I}_{ca} = \underline{U}_{ca} / \underline{Z}_{ca}$$



Активная, реактивная и полная мощности

Активные и реактивные мощности каждой фазы

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A \quad P_B = U_B I_B \cos \varphi_B \quad P_C = U_C I_C \cos \varphi_C$$

$$Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A \quad Q_B = U_B I_B \sin \varphi_B \quad Q_C = U_C I_C \sin \varphi_C$$

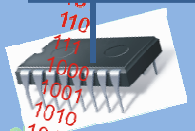
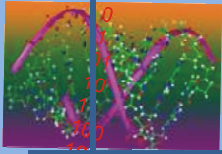
Мощность, потребляемая всей трехфазной цепью

$$\sum P_{3\Phi} = P_A + P_B + P_C \quad \sum Q_{3\Phi} = Q_A + Q_B + Q_C \quad S = \sqrt{P_{3\Phi}^2 + Q_{3\Phi}^2}$$

При симметричном режиме

$$P_{3\Phi} = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi_{\Phi} = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} \cos \varphi_{\Phi}$$

$$Q_{3\Phi} = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \sin \varphi_{\Phi} = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} \sin \varphi_{\Phi}$$



10101010
01110111
1001110
1011
1100
1101
1110
1111

Спасибо за внимание!!!