

Кубанский государственный технологический университет
Институт информационных технологий и безопасности
Кафедра компьютерных технологий и информационной безопасности

Учебная дисциплина

Электротехника и электроника

Лекция № 8

**Трехфазные
электрические цепи**

Учебные вопросы:

1. Основные понятия, относящиеся к трехфазным цепям.
2. Соединение фаз источника энергии и приемника звездой.
3. Соединение фаз источника энергии и приемника треугольником.
4. Мощность трехфазной цепи.
5. Вращающее магнитное поле. Принцип работы асинхронного двигателя.

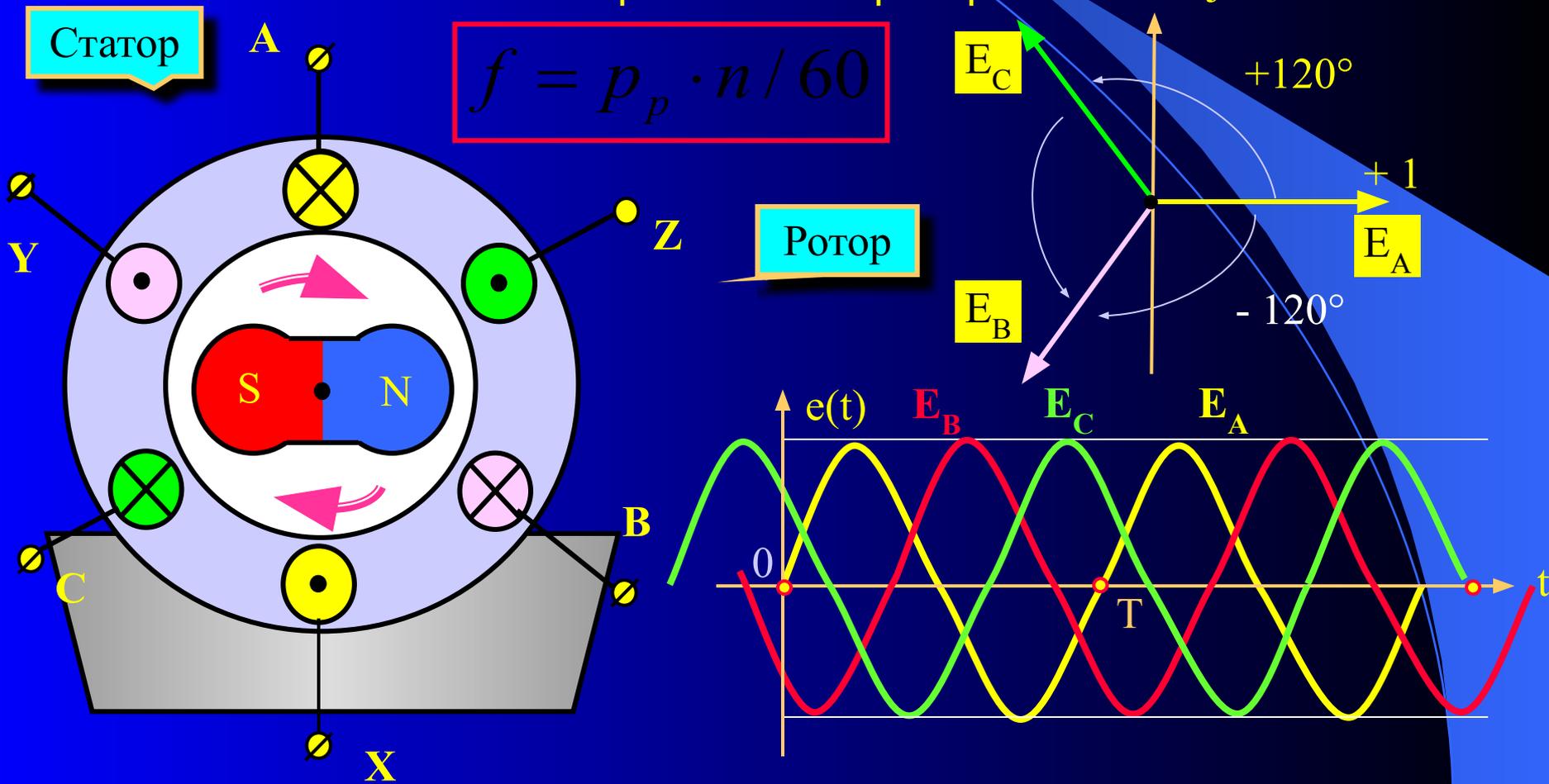
Литература:

1. Зевеке Г.В., Ионкин А.В., Нетушил А.В., Страков С.В. Основы теории цепей: Учебник для вузов, - М.: Энергоатомиздат, 1999 г, с. 169 –187.
2. Бакалов В.П., Игнатов А.Н., Крук Б.И. Основы теории электрических цепей и электроники: Учебник для вузов, - М.: Радио и связь, 1999 г, с. 79 –86.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учебник для вузов, - М.: Высшая школа, 2003 г, с. 104 –116, 417-426

1. Основные понятия, относящиеся к трехфазным цепям

Трехфазной цепью называют совокупность трех однофазных электрических цепей (фаз), в каждой из которых действует задающее напряжение одной и той же частоты, сдвинутые относительно друг друга на определенный угол (чаще всего 120°).

Источником энергии в трехфазной системе служит трехфазный синхронный генератор.



В пазах статора размещены изолированные друг от друга обмотки – фазные обмотки генератора.

Фазы трехфазного генератора принято обозначать буквами латинского алфавита: (А-Х, В-У, С-З; - буква А обозначает начало фазной обмотки, Х – конец соответствующей фазной обмотки).

При вращении ротора в обмотках статора индуктируются синусоидальные фазные ЭДС, которые сдвинуты по фазе относительно друг друга на одну треть периода, чему соответствует пространственный угол $2\pi/3$ или 120° .

При прямой последовательности чередования фаз мгновенные значения ЭДС трех фазных обмоток будут равны:

$$e_A(t) = E_m \sin \omega t$$

$$e_B(t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = e_A(t) = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C(t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = e_A(t) = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

Основное свойство симметричной трехфазной системы напряжений

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$$



$$e_A(t) + e_B(t) + e_C(t) = 0$$

Комплексные значения ЭДС трехфазного симметричного генератора можно выразить через одинаковое для всех трех фаз действующее значение E_Φ и соответствующий комплексный множитель

$$\dot{E}_A = E_\Phi e^{-j0} = E_\Phi$$

$$\dot{E}_B = E_\Phi e^{-j\frac{2\pi}{3}} = E_\Phi e^{-j120^\circ} = E_\Phi \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = E_\Phi (-0,5 - j0,867)$$

$$\dot{E}_C = E_\Phi e^{j\frac{2\pi}{3}} = E_\Phi e^{j120^\circ} = E_\Phi \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = E_\Phi (-0,5 + j0,867)$$

$$e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = a$$



Фазный множитель системы
трехфазной системы

Таким
образом

$$\dot{E}_A = E_\Phi$$

$$\dot{E}_B = E_\Phi \cdot a^2$$

$$\dot{E}_C = E_\Phi \cdot a$$

Для получения трехфазной системы необходимо определенным образом соединить фазы источника энергии и фазы приемника.

Основные понятия трехфазной цепи (системы)

Фаза – отдельная электрическая цепь, входящая в состав трехфазной цепи, в которой может существовать один из токов трехфазной системы.

Фазное напряжение U_{ϕ} – напряжение между началом и концом фазы источника или приемника.

Фазный ток I_{ϕ} – ток в фазе трехфазной цепи.

Линейные провода – провода, соединяющие начала одноименных фаз источника и приемника.

Линейное напряжение $U_{\text{л}}$ – напряжение между линейными проводами или между началами разных фаз.

Линейный ток $I_{\text{л}}$ – ток в линейном проводе.

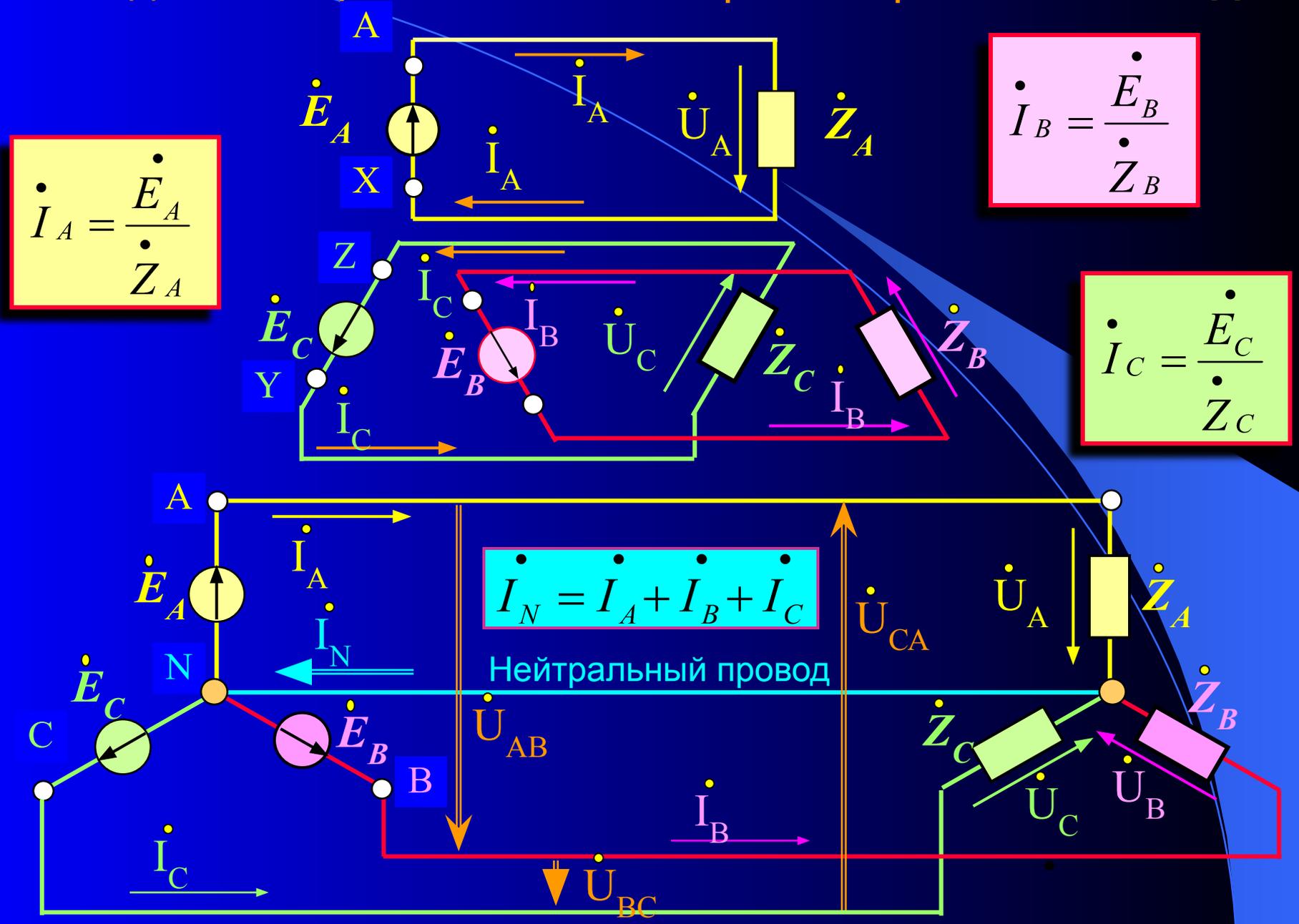
Симметричный приемник электрической энергии – трехфазный приемник, у которого комплексные сопротивления всех фаз одинаковы

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

Симметричный режим работы трехфазной цепи – режим работы при котором, трехфазные системы напряжений и токов симметричны.

Связанная трехфазная электрическая цепь – цепь, в которой все фазы электрически соединены.

2. Соединение фаз источника энергии и приемника звездой.



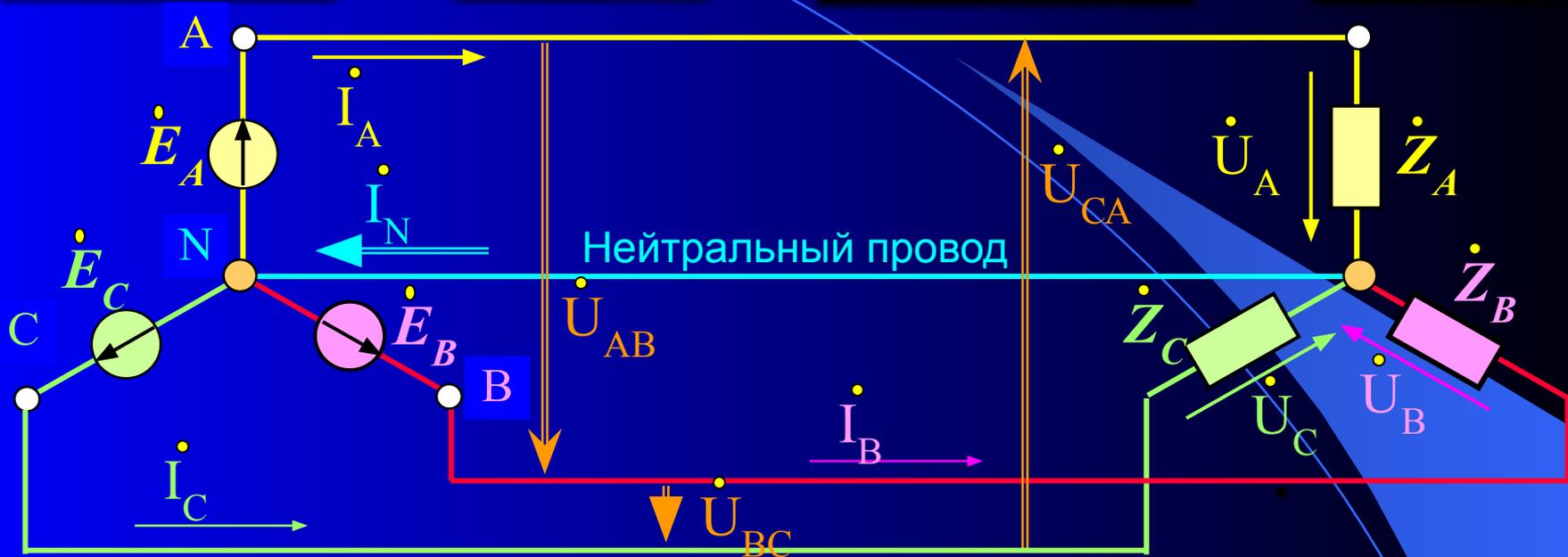
Фазные напряжения Фазные токи Линейные напряжения Линейные токи

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

$$\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$$

$$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$$

$$\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$$



На основании второго закона Кирхгофа для контуров соответствующих фаз

$$\dot{E}_A = \dot{U}_A$$

$$\dot{E}_B = \dot{U}_B$$

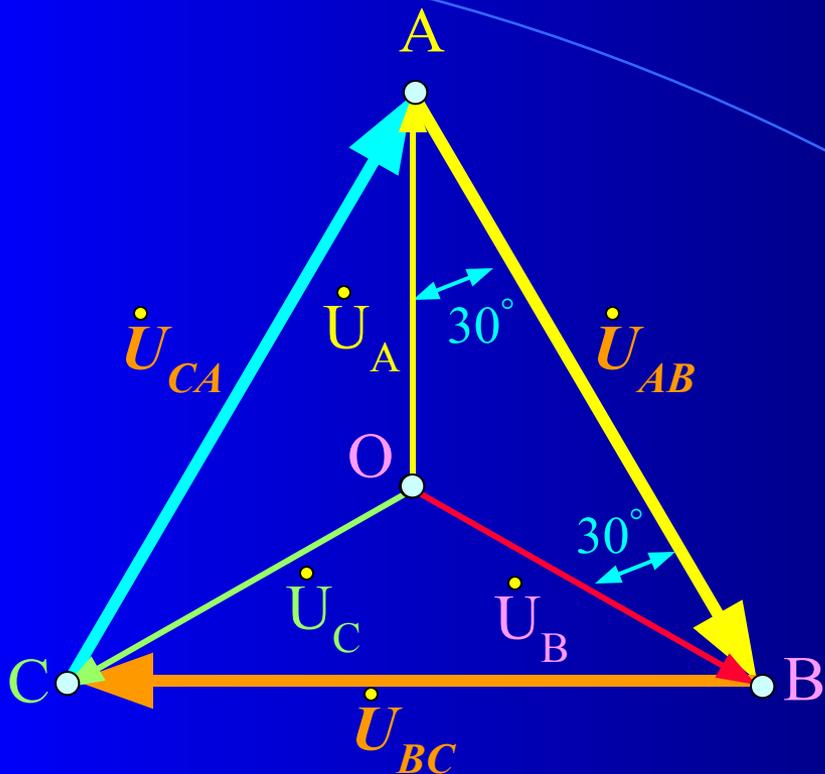
$$\dot{E}_C = \dot{U}_C$$

Для линейных напряжений

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B = \dot{U}_A - \dot{U}_B = U_{\text{Л}} e^{j30^\circ}$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C = \dot{U}_B - \dot{U}_C = U_{\text{Л}} e^{-j90^\circ}$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A = \dot{U}_C - \dot{U}_A = U_{\text{Л}} e^{j150^\circ}$$



$\triangle AOB$ - равнобедренный

$$U_A = U_B = U_C = U_\Phi$$

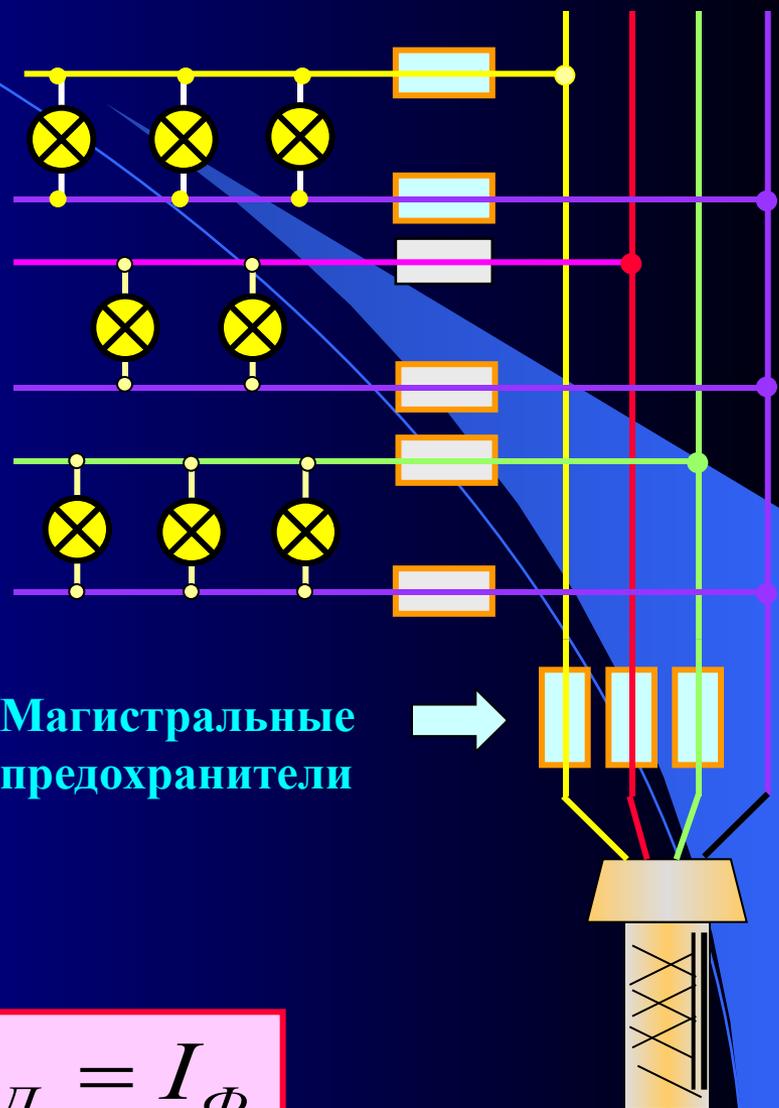
$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L$$

$$U_L = 2 \cdot U_\Phi \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot U_\Phi$$

$$I_L = I_\Phi$$

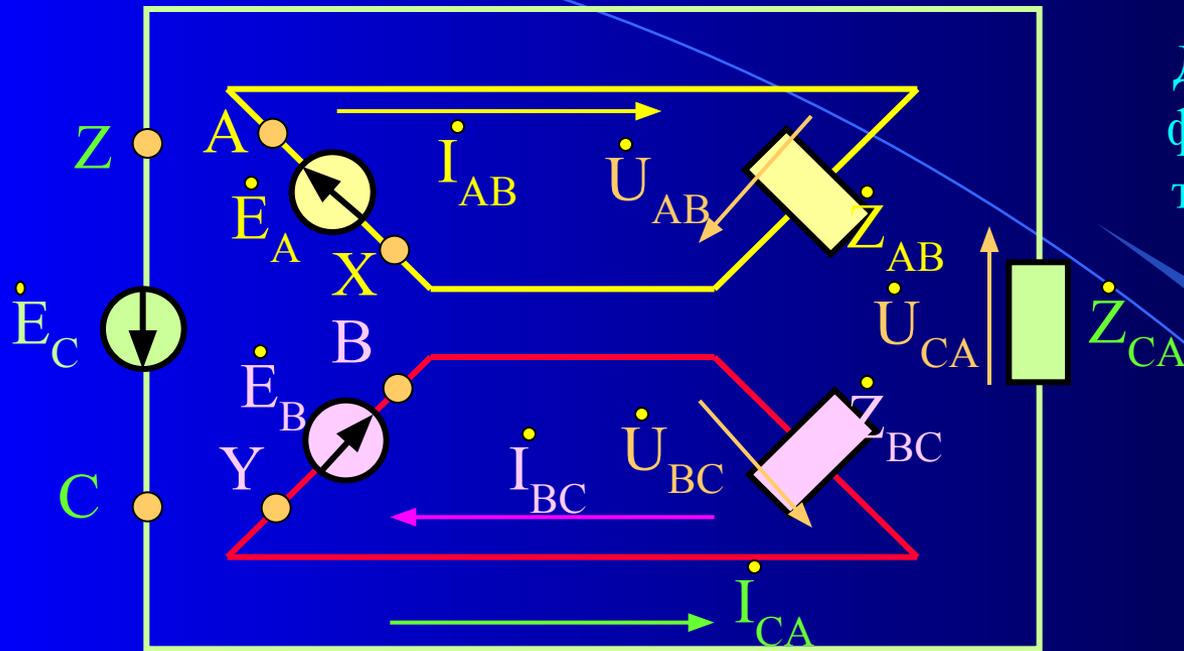
Квартирные
предохранители

A B C N



Магистральные
предохранители

2. Соединение фаз источника энергии и приемника **треугольником**.

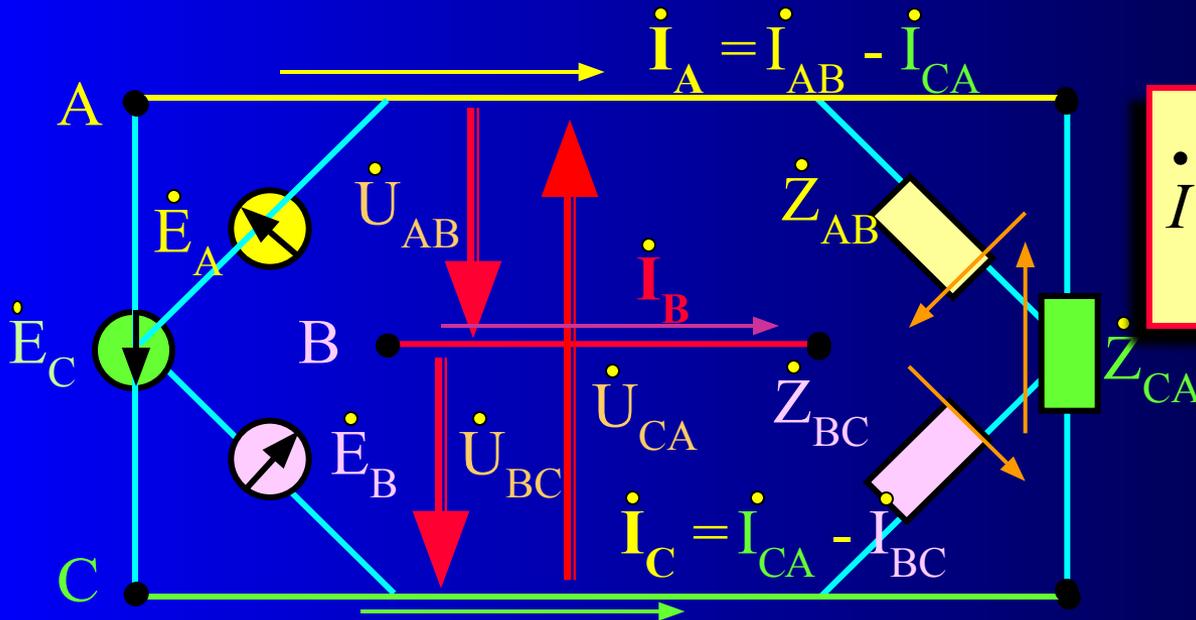


Для получения соединения фазных обмоток генератора треугольником необходимо подключить:

$X \rightarrow B; Y \rightarrow C; Z \rightarrow A$

Фазные напряжения одинаковы

Фазные токи



$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_{AB}}$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{Z}_{BC}}$$

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

Фазные напряжения

Фазные токи

Линейные напряжения

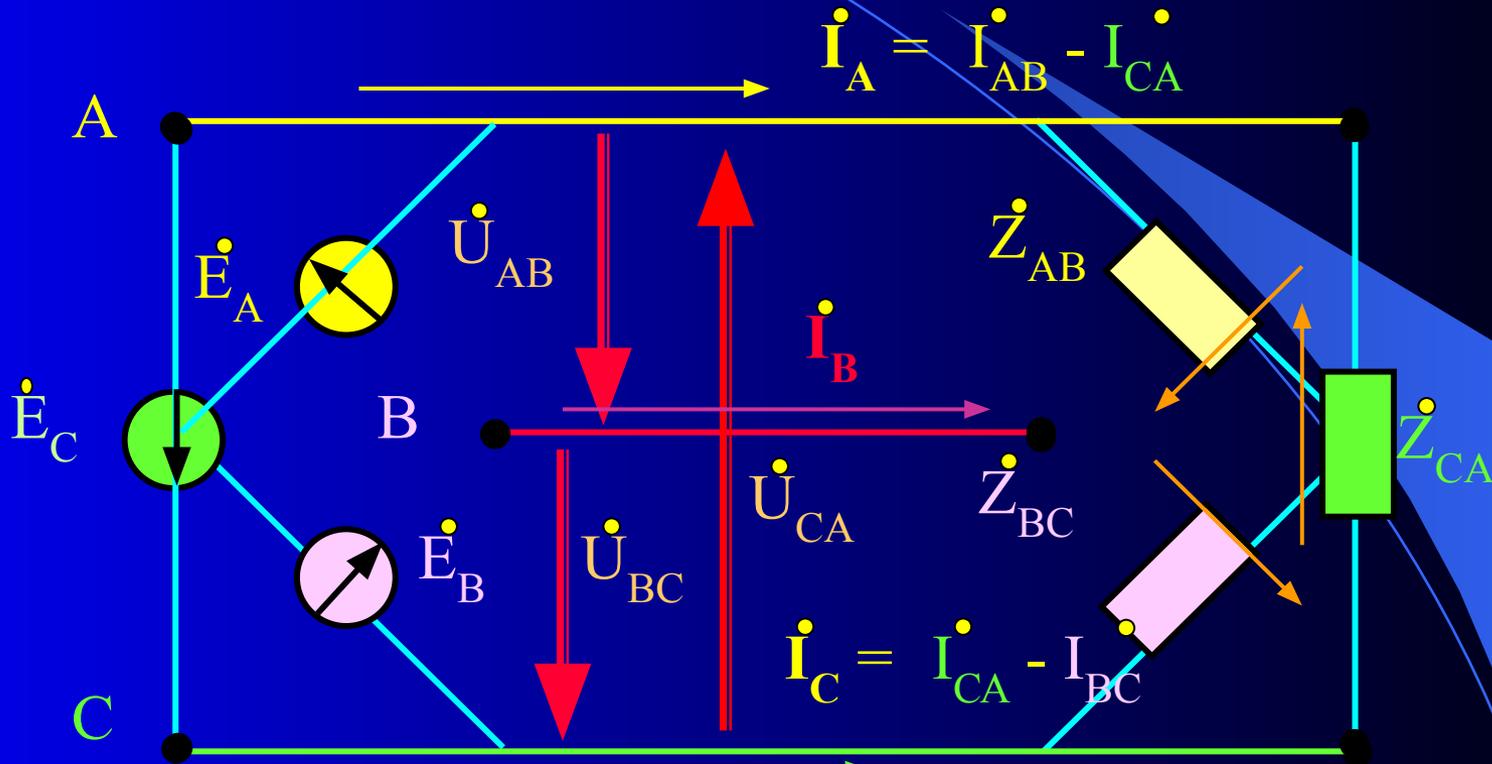
Линейные токи

$$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$$

$$\dot{I}_{AB}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}$$

$$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$$

$$\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$$



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

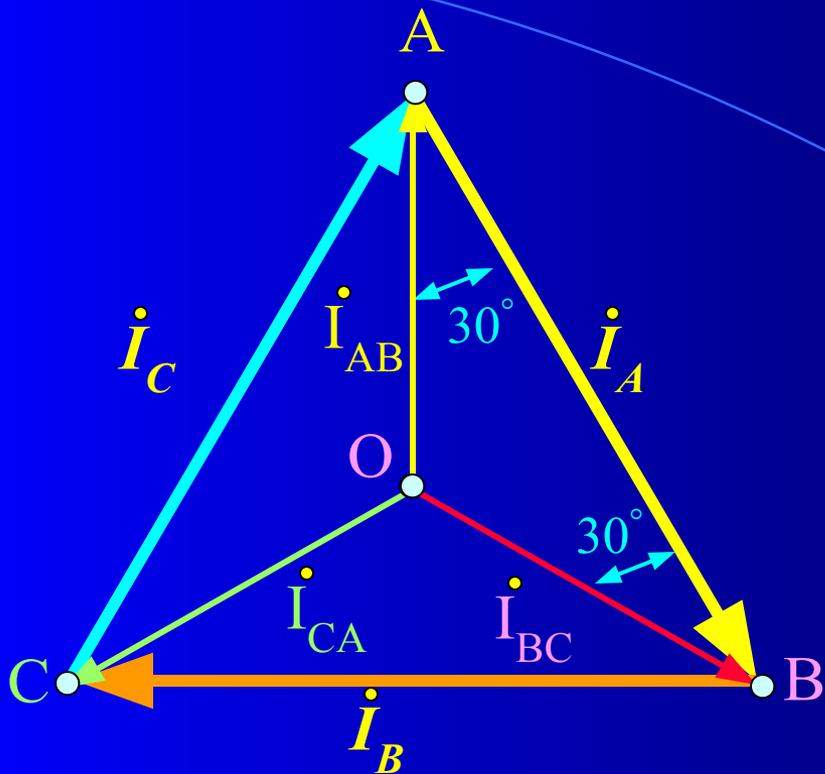
$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

Для линейных токов

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

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

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



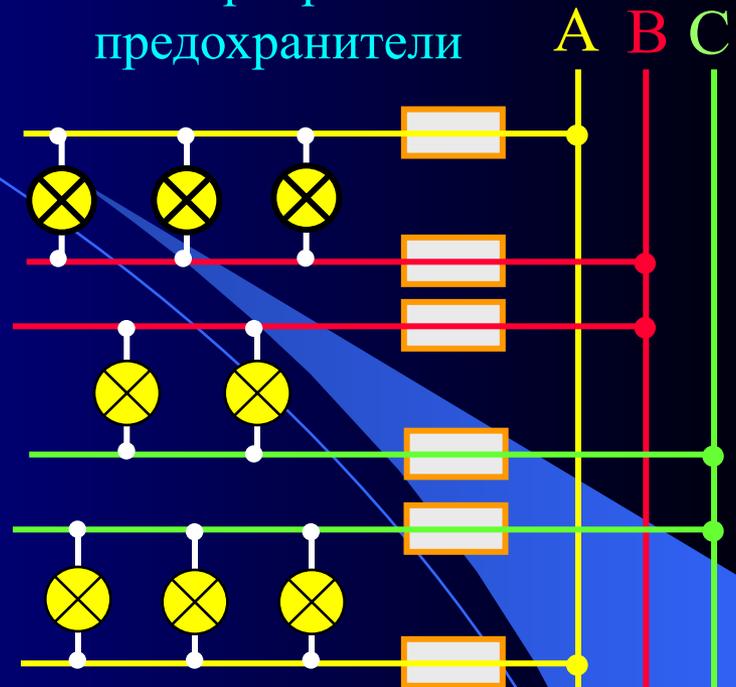
$\triangle AOB$ - равнобедренный

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = I_\Phi$$

$$I_L = 2 \cdot I_\Phi \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_\Phi$$

Квартирные
предохранители



Магистральные
предохранители

$$U_L = U_\Phi$$

4. Мощность трехфазной цепи.

Активную мощность, потребляемую в трехфазной цепи можно определить как сумму мощностей в отдельных фазах нагрузки:

$$P = P_{1\phi} + P_{2\phi} + P_{3\phi} = U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi_1 + U_{2\phi} I_{2\phi} \cos \varphi_2 + U_{3\phi} I_{3\phi} \cos \varphi_3$$

Аналогично может быть определена и реактивная мощность

$$Q = Q_{1\phi} + Q_{2\phi} + Q_{3\phi} = U_{1\phi} I_{1\phi} \sin \varphi_1 + U_{2\phi} I_{2\phi} \sin \varphi_2 + U_{3\phi} I_{3\phi} \sin \varphi_3$$

Для симметричной нагрузки эти уравнения примут вид:

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

$$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_{Л} I_{Л} \sin \varphi$$

Полная мощность при симметричной нагрузке

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} \cdot U_{Л} \cdot I_{Л}$$

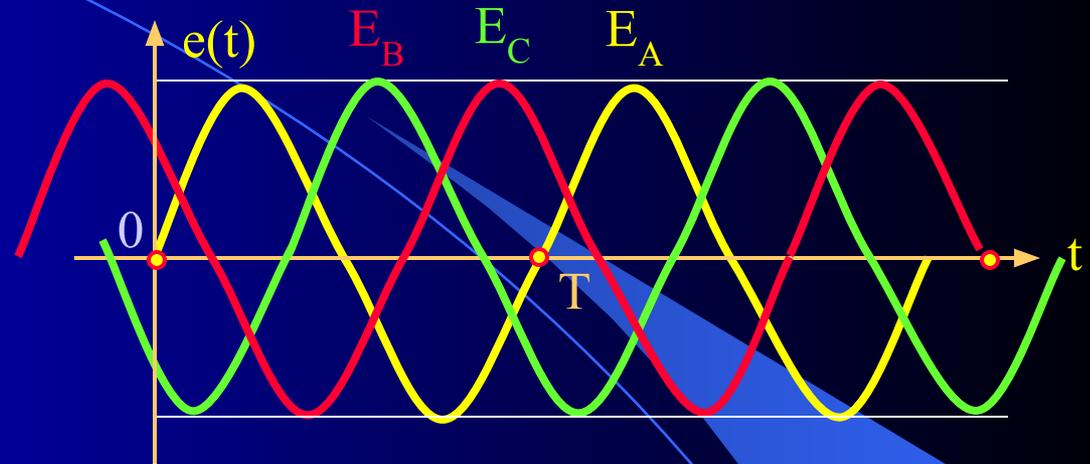
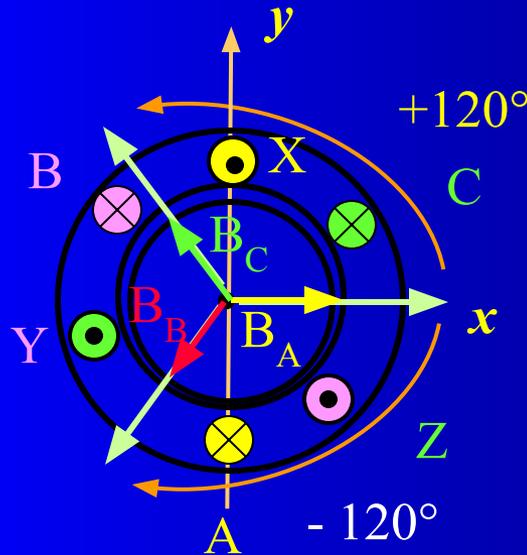
Мгновенная мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке

$$p(t) = u_A(t)i_A(t) + u_B(t)i_B(t) + u_C(t)i_C(t) = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = P = const$$

Т.О. мгновенная мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке не зависит от времени (постоянна) и равна активной мощности системы. Это свойство создает благоприятные условия для работы трехфазного генератора, так как вал генератора работает с постоянным моментом нагрузки.

5. Вращающееся магнитное поле .

Принцип работы асинхронного двигателя

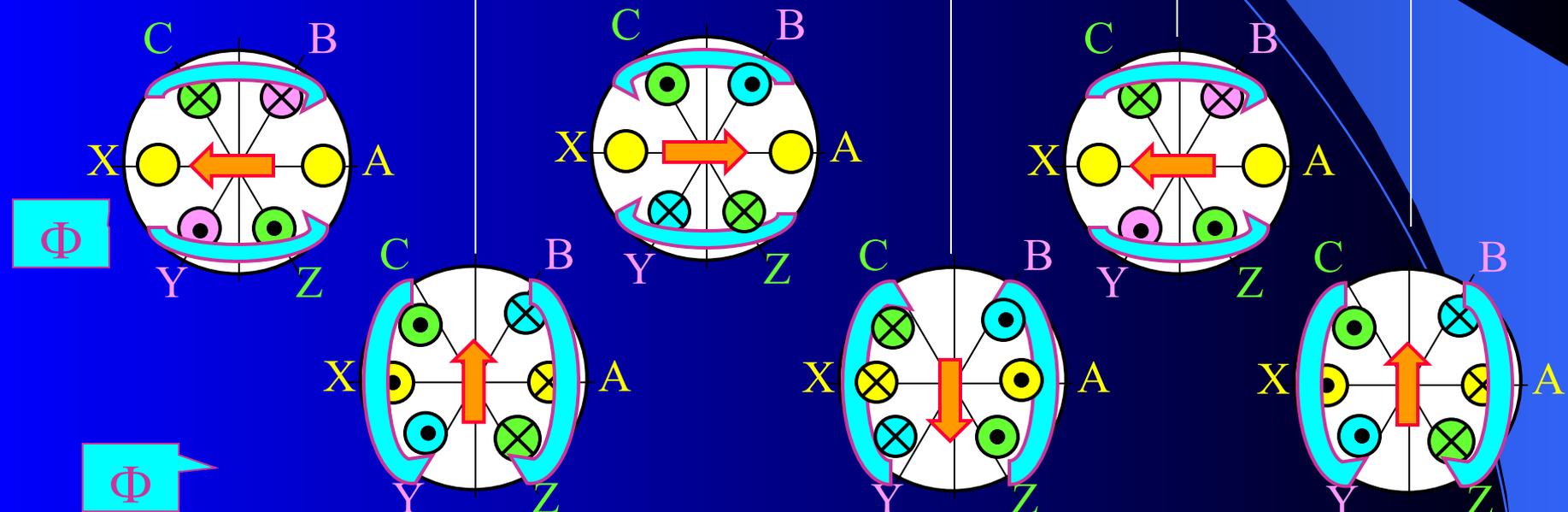
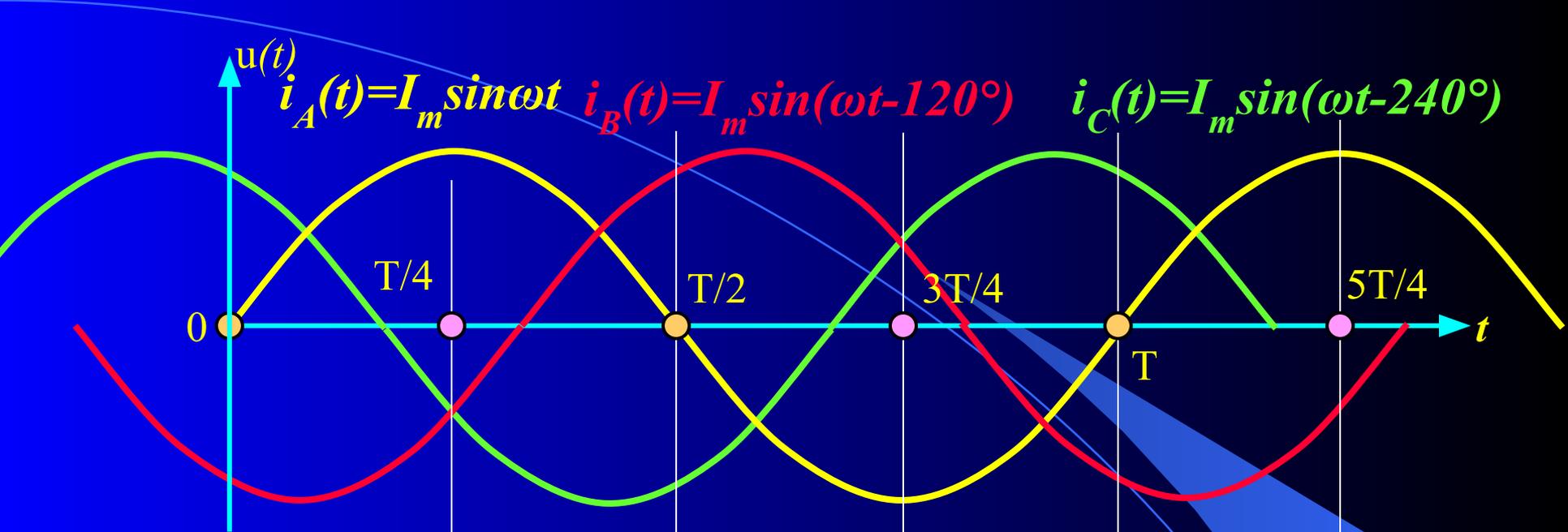


Токи обмоток статора, подключенные к трехфазной сети, возбуждают **вращающееся магнитное поле статора**, которое индуцирует ЭДС в замкнутой накоротко (или пусковыми реостатами) обмотке ротора. **Токи ротора под действием этой ЭДС возбуждают вращающееся магнитное поле ротора**. Частота и направление вращения этих полей одинаковы, что обуславливает результирующее вращающееся поле асинхронной машины, которое называют **рабочим полем машины**.

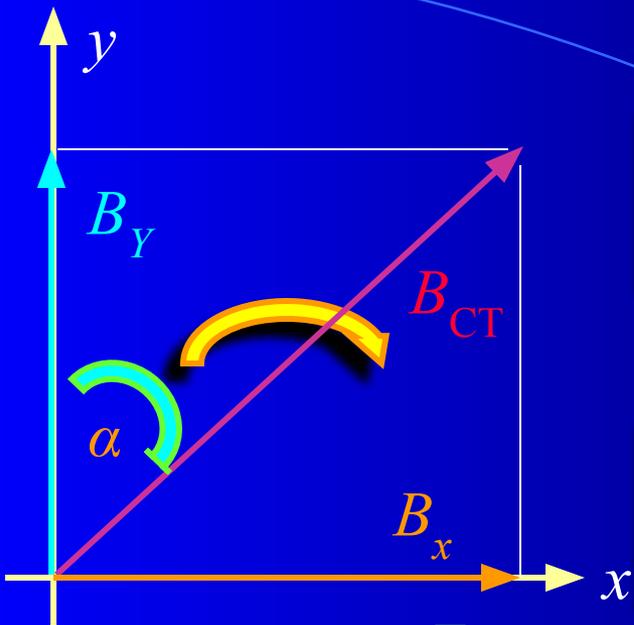
$$B_A = B_m \sin \omega t$$

$$B_B = B_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$B_C = B_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$



Магнитное поле Φ внутри неподвижных обмоток статора
 вращается по часовой стрелке



Составляющая магнитного поля по оси x равна:

$$B_x = B_A \cos 0^\circ + B_A \cos(-120^\circ) + B_A \cos(-240^\circ) = 1,5B_m \sin \omega t$$

Составляющая магнитного поля по оси y равна:

$$B_y = B_A \sin 0^\circ + B_A \sin(-120^\circ) + B_A \sin(-240^\circ) = 1,5B_m \cos \omega t$$

Таким образом, магнитная индукция поля статора

$$B_{CT} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = 1,5B_m = const$$

$$tg \alpha = \frac{B_x}{B_y} = \frac{\sin \omega t}{\cos \omega t} = tg \omega t; \rightarrow \alpha = \omega t$$

Магнитное поле статора вращается в плоскости осей катушек по направлению движения часовой стрелки с угловой скоростью ω . Вектор индукции поля последовательно совпадает по направлению с осью той из фазных обмоток, ток в которой достигает максимального значения, т.е. поле вращается в направлении последовательности фаз трехфазной системы токов в фазных обмотках.

На этом основан принцип действия трехфазного асинхронного генератора (1888 г. М.О. Доливо-Добровольский)

$$S_0 = \frac{v_{II} - v}{v}; \rightarrow v \ll v_{II}$$

Скольжение ($S_0 = 0,02-0,04$)

Задание на самостоятельную работу

Литература:

1. Зевеке Г.В., Ионкин А.В., Нетушил А.В., Страков С.В. Основы теории цепей: Учебник для вузов, - М.: Энергоатомиздат, 1999 г, с. 169 –187.
2. Бакалов В.П., Игнатов А.Н., Крук Б.И. Основы теории электрических цепей и электроники: Учебник для вузов, - М.: Радио и связь, 1999 г, с. 79 –86.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учебник для вузов, - М.: Высшая школа, 2003 г, с. 104 –116, 417-426