

# ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

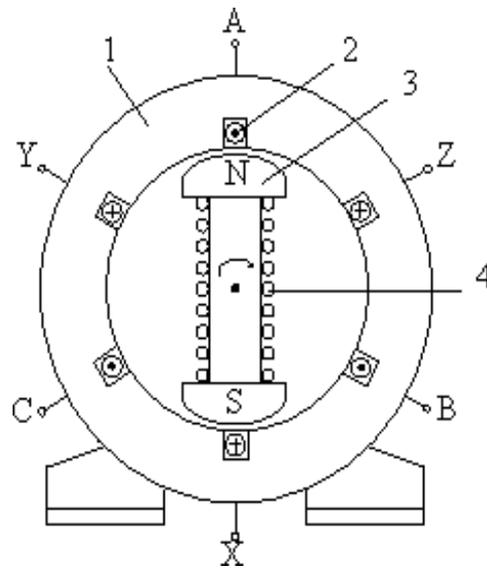
- Трехфазная цепь является частным случаем многофазных систем электрических цепей, представляющих собой совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, отличающиеся по фазе одна от другой и создаваемые общим источником энергии.
- Каждую из частей многофазной системы, характеризующуюся одинаковым током, принято называть фазой. Таким образом, понятие "фаза" имеет в электротехнике два значения: первое - аргумент синусоидально изменяющейся величины, второе - часть многофазной системы электрических цепей. Цепи в зависимости от количества фаз называют двухфазными, трехфазными, шестифазными и т.п.

- Трехфазные цепи - наиболее распространенные в современной электроэнергетике. Это объясняется рядом их преимуществ по сравнению как с однофазными, так и с другими многофазными цепями:
- экономичность производства и передачи энергии по сравнению с однофазными цепями;
- возможность сравнительно простого получения кругового вращающегося магнитного поля, необходимого для трехфазного асинхронного двигателя;
- возможность получения в одной установке двух эксплуатационных напряжений - фазного и линейного

- Трехфазная цепь состоит из трех основных элементов: трехфазного генератора, в котором механическая энергия преобразуется в электрическую с трехфазной системой ЭДС; линии передачи со всем необходимым оборудованием; приемников (потребителей), которые могут быть как трехфазными (например, трехфазные асинхронные двигатели), так и однофазными (например, лампы накаливания).

# ТРЕХФАЗНЫЙ ГЕНЕРАТОР

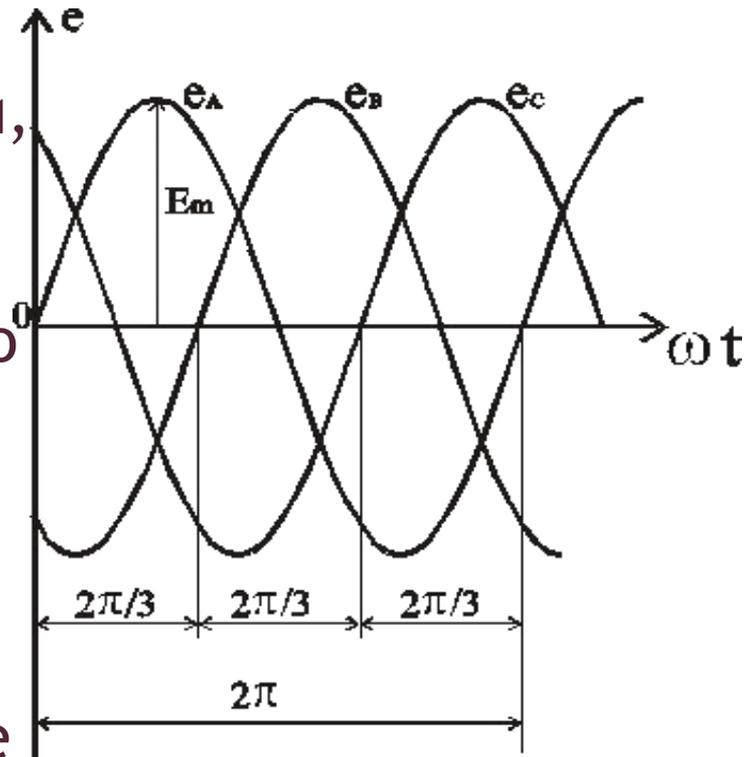
- Трехфазный генератор представляет собой синхронную машину двух типов: турбогенератор и гидрогенератор.



- На статоре 1 генератора размещается обмотка 2, состоящая из трех частей или, как их принято называть, фаз. Обмотки фаз располагаются на статоре таким образом, чтобы их магнитные оси были сдвинуты в пространстве относительно друг друга на угол  $2\pi/3$ , т.е. на  $120^\circ$ . Каждая фаза обмотки статора условно показана состоящей из одного витка. Начала фаз обозначены буквами А, В и С, а концы - Х, Y, Z. Ротор 3 представляет собой электромагнит, возбуждаемый постоянным током обмотки возбуждения 4, расположенной на роторе.

- Трехфазная симметричная система ЭДС может изображаться графиками, тригонометрическими функциями, векторами и функциями комплексного переменного.

- Графики мгновенных значений трехфазной симметричной системы ЭДС показаны на рисунке



○ Если ЭДС одной фазы (например, фазы А) принять за исходную и считать её начальной фазу равной нулю, то выражения мгновенных значений ЭДС можно записать в виде

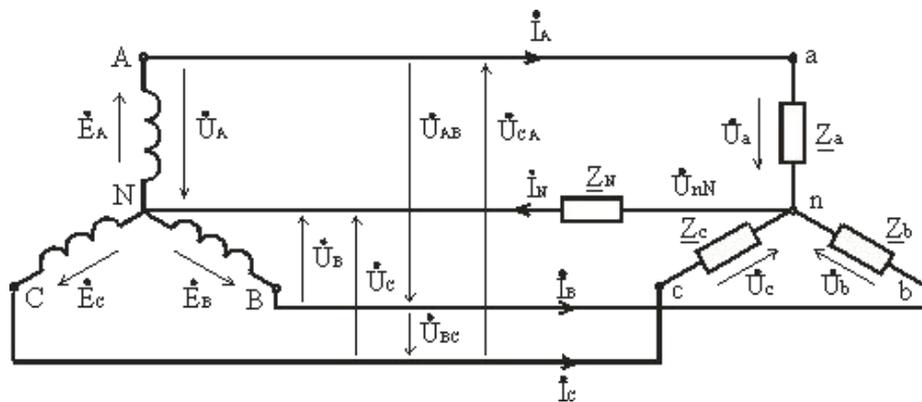
$$\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t, \\ e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ e_C &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ). \end{aligned}$$

○ Комплексные действующие ЭДС будут иметь выражения:

$$\begin{aligned} \dot{E}_A &= E_m e^{j0^\circ} = E_m (1 + j0), \\ \dot{E}_B &= E_m e^{-j120^\circ} = E_m \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right), \\ \dot{E}_C &= E_m e^{+j120^\circ} = E_m \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right). \end{aligned}$$

# СОЕДИНЕНИЕ ФАЗ ГЕНЕРАТОРА И ПРИЕМНИКА ЗВЕЗДОЙ

- При соединении фаз обмотки генератора (или трансформатора) звездой их концы  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  соединяют в одну общую точку  $N$ , называемую нейтральной точкой (или нейтралью). Концы фаз приемников ( $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$ ) также соединяют в одну точку  $n$ . Такое соединение называется соединением звездой.



- Провода  $A-a$ ,  $B-b$  и  $C-c$ , соединяющие начала фаз генератора и приемника, называются линейными, провод  $N-n$ , соединяющий точку  $N$  генератора с точкой  $n$  приемника, - нейтральным.
- Трехфазная цепь с нейтральным проводом будет четырехпроводной, без нейтрального провода - трехпроводной.
- В трехфазных цепях различают фазные и линейные напряжения. Фазное напряжение  $U_{\phi}$  - напряжение между началом и концом фазы или между линейным проводом и нейтралью ( $U_A, U_B, U_C$  у источника;  $U_a, U_b, U_c$  у приемника). Если сопротивлением проводов можно пренебречь, то фазное напряжение в приемнике считают таким же, как и в источнике. ( $U_A=U_a, U_B=U_b, U_C=U_c$ ). За условно положительные направления фазных напряжений принимают направления от начала к концу фаз.

- Линейное напряжение ( $U_L$ ) - напряжение между линейными проводами или между одноименными выводами разных фаз ( $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ ). Условно положительные направления линейных напряжений приняты от точек, соответствующих первому индексу, к точкам соответствующим второму индексу (рис. 3.6).
- По аналогии с фазными и линейными напряжениями различают также фазные и линейные токи:
- Фазные ( $I_\Phi$ ) - это токи в фазах генератора и приемников.
- Линейные ( $I_L$ ) - токи в линейных проводах.
- При соединении в звезду фазные и линейные токи равны
- $I_\Phi = I_L$ .
- Ток, протекающий в нейтральном проводе, обозначают  $I_N$ .
- По первому закону Кирхгофа для нейтральной точки  $n$  ( $N$ ) имеем в комплексной форме
- $$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

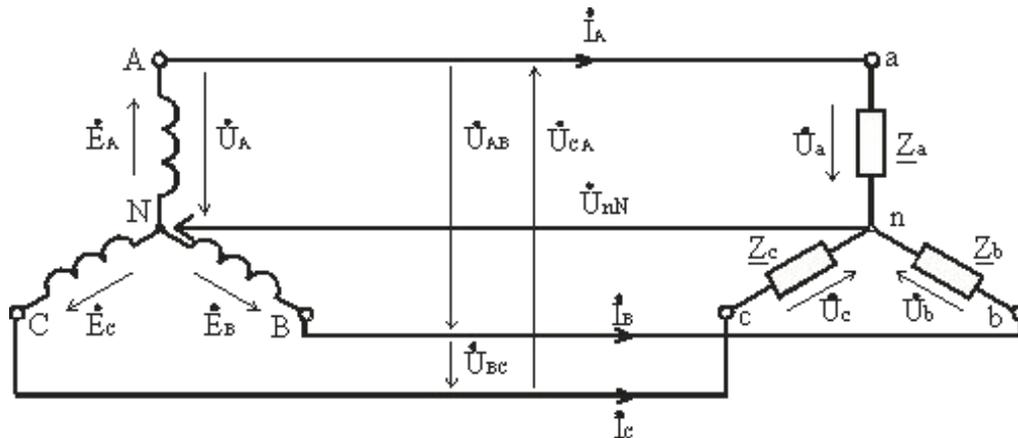
# СИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА ПРИЕМНИКА

- При симметричной системе напряжений и симметричной нагрузке, когда  $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$ , т.е. когда  $R_a = R_b = R_c = R_\phi$  и  $X_a = X_b = X_c = X_\phi$ , фазные токи равны по значению и углы сдвига фаз одинаковы
- $I_a = I_b = I_c = I_\phi = U_\phi / Z_\phi$ ,
- $\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c = \varphi = \arctg (X_\phi / R_\phi)$ .

# НЕСИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА ПРИЕМНИКА

- При симметричной системе напряжений и несимметричной нагрузке, когда  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$  и  $\varphi_a \neq \varphi_b \neq \varphi_c$  токи в фазах потребителя различны и определяются по закону Ома
- $i_a = \dot{U}_a / \underline{Z}_a; i_b = \dot{U}_b / \underline{Z}_b; i_c = \dot{U}_c / \underline{Z}_c.$
- Ток в нейтральном проводе  $i_N$  равен геометрической сумме фазных токов
- $i_N = i_a + i_b + i_c.$
- Напряжения будут  $U_a = U_A; U_b = U_B; U_c = U_C,$   
 $U_\phi = U_\Delta / \sqrt{3},$  благодаря нейтральному проводу при  $Z_N = 0.$

# ТРЕХПРОВОДНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ



- При симметричной нагрузке, когда  $Z_a = Z_b = Z_c = Z_\phi$ , напряжение между нейтральной точкой источника N и нейтральной точкой приемника n равно нулю,  $U_{nN} = 0$ .
- Соотношение между фазными и линейными напряжениями приемника также равно , т.е.  $U_\phi = U_L / \sqrt{3}$ , а токи в фазах определяются по тем же формулам (3.12, 3.13), что и для четырехпроводной цепи. В случае симметричного приемника достаточно определить ток только в одной из фаз. Сдвиг фаз между током и соответствующим напряжением  $\varphi = \arctg (X / R)$ .

- При несимметричной нагрузке  $\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$  между нейтральными точками приемника и источника электроэнергии возникает напряжение смещения нейтрали  $U_{nN}$ .
- Для определения напряжения смещения нейтрали можно воспользоваться формулой межузлового напряжения, так как схема рис 3.10 представляет собой схему с двумя узлами,
- (3.14)
- ,
- где:  $\underline{Y}_a = 1 / \underline{Z}_a$ ;  $\underline{Y}_b = 1 / \underline{Z}_b$ ;  $\underline{Y}_c = 1 / \underline{Z}_c$  - комплексы проводимостей фаз нагрузки.
- Очевидно, что теперь напряжения на фазах приемника будут отличаться друг от друга. Из второго закона Кирхгофа следует, что
- (3.15)
- $\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{nN}$ ;  $\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN}$ ;  $\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{nN}$ .
- Зная фазные напряжения приемника, можно определить фазные токи:
- (3.16)
- $\dot{i}_a = \dot{U}_a / \underline{Z}_a = \underline{Y}_a \dot{U}_a$ ;  $\dot{i}_b = \dot{U}_b / \underline{Z}_b = \underline{Y}_b \dot{U}_b$ ;  $\dot{i}_c = \dot{U}_c / \underline{Z}_c = \underline{Y}_c \dot{U}_c$ .