

## 80 Трёхфазная система ЭДС. Последовательность фаз.

Электрическую энергию вырабатывают, передают на расстояние и потребляют в основном как энергию трехфазного тока. Это объясняется высокой экономичностью генераторов, линий электропередачи, электродвигателей и других устройств трехфазного тока по сравнению с аналогичными устройствами однофазного тока.

Совокупность трех однофазных цепей, в каждой из которых действуют три синусоидальные ЭДС, создаваемые одним источником, одной и той же частоты, сдвинутые по фазе относительно друг друга на  $120^\circ$ , называют *трехфазной цепью*.

Отдельные части трехфазной цепи называют *фазами*, например отдельные обмотки генератора – фазы генератора. В приемнике различают три фазы приемника, в линии электропередачи – три фазы линии электропередачи. Иногда фазой называют однофазную цепь, входящую в состав трехфазной цепи. По различным фазам протекают токи, которые сдвинуты относительно друг друга по фазе.

Таким образом, в электротехнике термин «фаза» имеет два различных значения: 1) аргумент (угол) синусоидально изменяющейся величины; 2) техническое устройство – составная часть трехфазной цепи.

На рисунке 13.1 схематично показано устройство трехфазного генератора переменного тока. На его статоре расположены три одинаковые, но смещенные в пространстве относительно друг друга на  $120^\circ$  обмотки ( $AX$ ,  $BY$ ,  $CZ$ ). Для упрощения каждая обмотка показана состоящей только из двух проводников, помещенных в диаметрально противоположные пазы статора. Эти проводники на заднем торце статора соединены друг с другом. На переднем торце они оканчиваются зажимами, которые служат для присоединения внешней цепи.

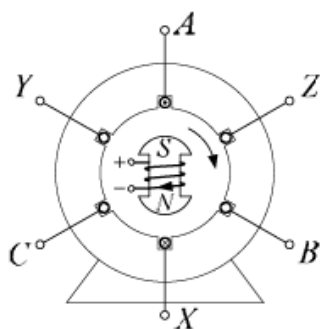


Рис. 13.1. Устройство трехфазного генератора

Три обмотки статора называют *фазными обмотками* или *фазами генератора*. Причем первые буквы латинского алфавита *A, B* и *C* обозначают «начала» обмоток, а последние буквы этого же алфавита *X, Y* и *Z* – «концы» обмоток.

На роторе расположена обмотка возбуждения, питаемая постоянным током. Ротор является электромагнитом с полюсами *N* и *S*. При вращении ротора изменяется магнитный поток, пронизывающий витки обмоток статора и, согласно закону электромагнитной индукции, в обмотках наводится переменная ЭДС. Генераторы конструируют таким образом, чтобы форма ЭДС была близка к синусоидальной.

Наводимые в обмотках ЭДС по величине максимальны, когда ось полюсов ротора пересекает проводники статора. Для различных обмоток это происходит в различные моменты времени, поэтому *наводимые ЭДС не совпадают по фазе*.

Выберем положительные направления ЭДС во всех обмотках от концов к началам. В момент времени, соответствующий положению ротора (см. рис. 13.1), величина ЭДС в обмотке *A* максимальна и имеет направление, которое принято положительным. Положительный максимум ЭДС в обмотке *B* наступит позже, когда ротор повернется на  $1/3$  оборота. Поскольку один оборот ротора двухполюсного генератора происходит за время, равное периоду  $T$ , то поворот ротора на  $1/3$  оборота соответствует  $1/3$  периода и, следовательно, ЭДС в обмотке *B* отстает по времени от ЭДС в обмотке *A* на  $T/3$ , а ЭДС в обмотке *C* отстает по времени от ЭДС в обмотке *B* также на  $T/3$ .

Примем начальную фазу ЭДС обмотки  $A$   $\psi_A = 0$ , тогда мгновенные значения ЭДС

$$e_A = E_m \sin \omega t; e_B = E_m \sin [\omega(t - T/3)]; e_C = E_m \sin [\omega(t - 2T/3)].$$

Учтем, что

$$\frac{\omega T}{3} = \frac{2\pi T}{T3} = \frac{2\pi}{3},$$

и запишем

$$e_B = E_m \sin (\omega t - 2\pi/3) = E_m \sin (\omega t - 120^\circ); \quad (13.1)$$

$$e_C = E_m \sin (\omega t - 4\pi/3) = E_m \sin (\omega t - 240^\circ) = E_m \sin (\omega t + 120^\circ). \quad (13.2)$$

Из выражений (13.1), (13.2) видно, что ЭДС в обмотке  $B$  отстает от ЭДС в обмотке  $A$  по фазе на  $120^\circ$ , а ЭДС в обмотке  $C$  опережает ЭДС в обмотке  $A$  по фазе на  $120^\circ$ .

Комплексные действующие значения ЭДС будут равны:

$$\dot{E}_A = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = E_A;$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A e^{-j120^\circ} = E_A (\cos 120^\circ - j \sin 120^\circ) = E_A (-0,5 - j0,866);$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A e^{j120^\circ} = E_A (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) = E_A (-0,5 + j0,866).$$

График мгновенных значений и векторная диаграмма ЭДС трехфазного генератора для рассмотренного случая показаны на рисунке 13.2.

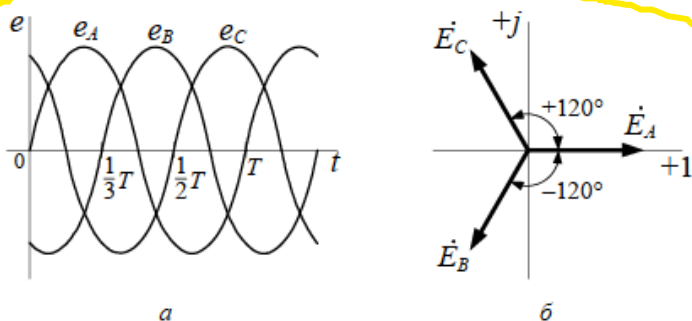


Рис. 13.2. Мгновенные ЭДС (а) и векторная диаграмма ЭДС (б) трехфазного генератора

Приведенная выше совокупность ЭДС в обмотках трехфазного генератора называется симметричной трехфазной системой ЭДС (так как все ЭДС равны по амплитуде и отстают по фазе относительно друг друга на один и тот же угол  $120^\circ$ ).

**Порядок**, в котором ЭДС в фазных обмотках генератора проходит через одинаковые значения (например, через положительные максимумы), **называют последовательностью фаз или порядком чередования фаз**. При указанном на рисунке 13.1 направлении вращения ротора получаем последовательность фаз *АВСА* и т. д. Если изменить направление вращения ротора на противоположное, получим последовательность фаз *АСВА* и т. д.

Последовательность фаз *АВСА* и т. д. называют прямой, *АСВА* и т. д. – обратной.

**Существуют два основных способа соединения обмоток генераторов, трансформаторов и фаз приемников в трехфазных цепях: соединение звездой и соединение треугольником.**