

Лекция 6. Соединение фаз статора генератора звездой и треугольником

Трехфазные цепи синусоидального тока

Трехфазной называется электрическая цепь, в ветвях которой действуют три равные по амплитуде синусоидальные ЭДС с одной и той же частотой, сдвинутые по фазе на 120° .

В качестве **источника электрической энергии** в трехфазных цепях используются **синхронные генераторы**. При вращении ротора в трех обмотках статора синхронного генератора, индуцируются синусоидальные ЭДС (e_A, e_B, e_C). Обмотки статора смещены на 120° .

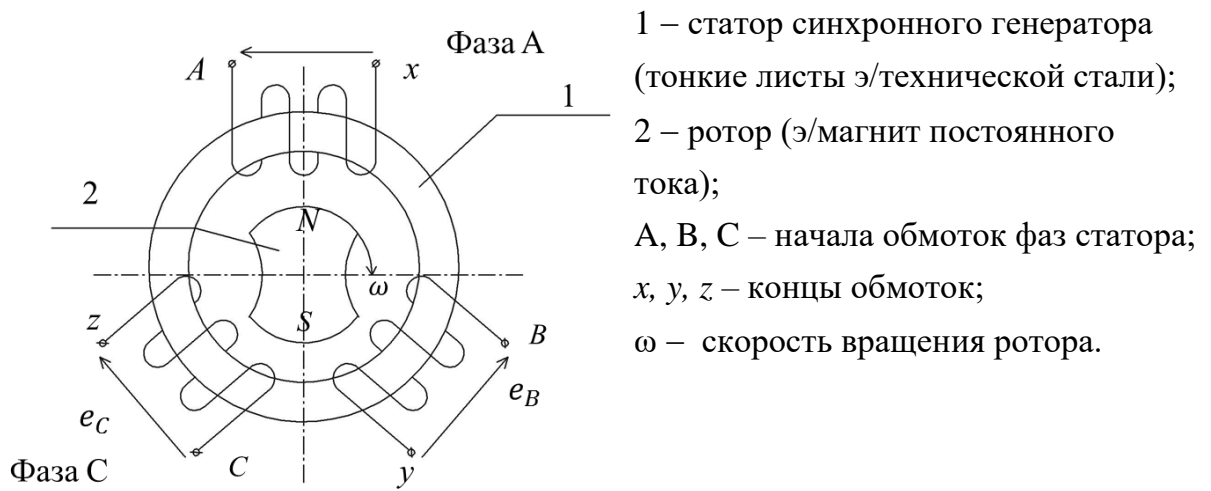


Рис. 1.28. Схема трехфазного синхронного генератора

Мгновенные значения ЭДС генератора

Если принять, что при $t = 0$, $e_A = E_m \sin \omega t$;

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi/3);$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t + 2\pi/3).$$

В комплексной форме вектора ЭДС имеют вид:

$$\underline{E}_A = E e^{j0} = E = \frac{E_m}{\sqrt{2}};$$

$$\underline{E}_B = E e^{-j120} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \overset{-\sin 30^\circ}{\cos(-2\pi/3)} + \frac{E_m}{\sqrt{2}} j \overset{-\cos 30^\circ}{\sin(-2\pi/3)} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right); \quad (1.2)$$

$$\underline{E}_C = E e^{+j120} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right),$$

где E – действующее значение ЭДС.

Модули векторов равны между собой:

$$E_A = E_B = E_C = E.$$

Сумма векторов равна нулю:

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

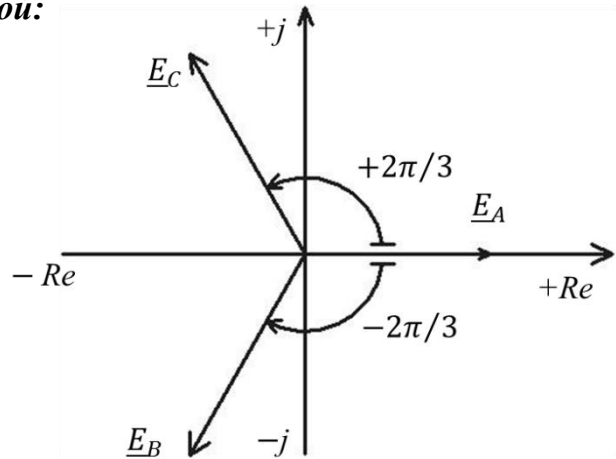


Рис. 1.29. Векторная диаграмма фазных ЭДС

Соединение фаз статора генератора звездой

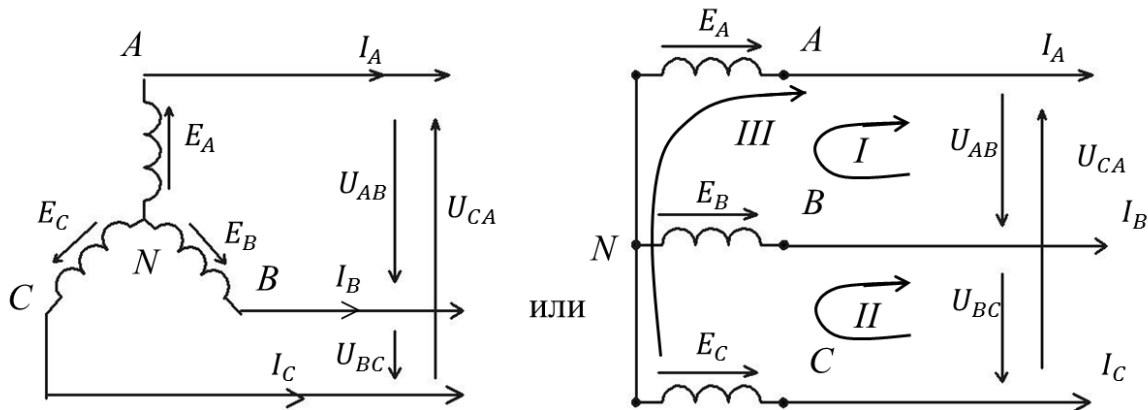


Рис. 1.30. Схемы соединения фаз статора генератора звездой

U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} – линейные напряжения; E_A, E_B, E_C – фазные ЭДС.

Для построения векторной диаграммы развернем комплексную плоскость j, Re против часовой стрелки на $+90^\circ$ (рис. 1.31). Вектор фазной ЭДС \underline{E}_A располагаем вдоль вещественной положительной оси $+Re$. Векторы \underline{E}_C и \underline{E}_B – под углом $\pm 120^\circ$ относительно вектора \underline{E}_A . Соединяя вершины векторов $\underline{E}_A, \underline{E}_B$ и \underline{E}_C получаем равносторонний треугольник из векторов $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{CA}$ и \underline{U}_{BC} .

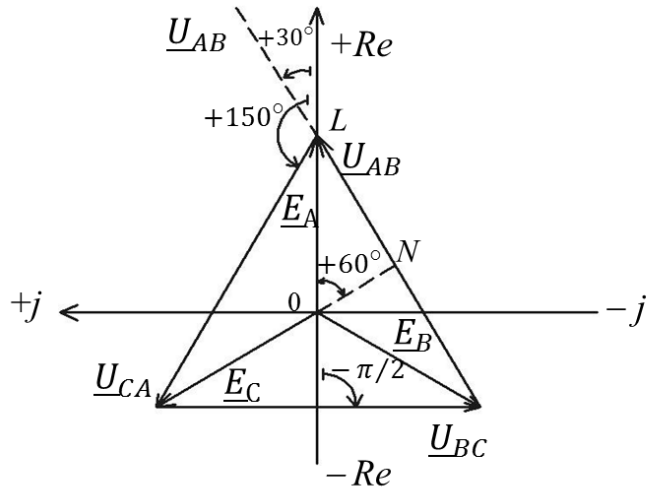


Рис. 1.31. Векторная диаграмма фазных ЭДС и линейных напряжений генератора при соединении фаз звездой.

Векторы линейных напряжений генератора при соединении звездой, с учетом второго закона Кирхгофа и уравнений (1.1) для замкнутых контуров I, II и III:

Вектор \underline{U}_{AB} :

$$\begin{aligned}\underline{U}_{AB} &= \underline{E}_A - \underline{E}_B = E - E \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = E \left(\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \\ &= \sqrt{3}E \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = U_{\text{л}} e^{j30^\circ}.\end{aligned}$$

В показательной форме:

$$\underline{U}_{AB} = U_{\text{л}} e^{j\psi_{AB}} = U_{\text{л}} e^{j30^\circ}, \text{ где } \psi_{AB} = \arctg \frac{J_m \underline{U}_{AB}}{Re \underline{U}_{AB}} = \arctg \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \Rightarrow 30^\circ;$$

$J_m \underline{U}_{AB}$, $Re \underline{U}_{AB}$ – проекции вектора \underline{U}_{AB} на мнимую (J_m) и вещественную ($+Re$) оси (рис. 1.31); ψ_{AB} – угол поворота вектора \underline{U}_{AB} относительно оси $+Re$;

$U_{\text{л}} = \sqrt{3}E$ – линейное напряжение.

В тригонометрической форме :

$$\underline{U}_{AB} = U_{\text{л}} e^{j30^\circ} = U_{\text{л}} (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) = U_{\text{л}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right).$$

Аналогично вектор \underline{U}_{BC} :

$$\begin{aligned}\underline{U}_{BC} &= \underline{E}_B - \underline{E}_C = E \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) - E \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \\ &= -jE\sqrt{3} = U_{\text{л}} e^{-j\psi_{BC}} = U_{\text{л}} e^{-j90^\circ},\end{aligned}$$

где $\psi_{BC} = \arctg \left(\frac{J_m \underline{U}_{BC}}{Re \underline{U}_{BC}} \right) = \arctg \frac{-j}{0} = \arctg(-\infty) = -90^\circ$.

Вектор линейного напряжения \underline{U}_{CA} :

$$\underline{U}_{CA} = \underline{E}_C - \underline{E}_A = E \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) - E = U_{\text{л}} \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} \right) = U_{\text{л}} e^{+j\psi_{CA}} = U_{\text{л}} e^{+j150^\circ},$$

где $\psi_{CA} = \arctg\left(\frac{Im U_{CA}}{Re U_{CA}}\right) = \arctg\left(\frac{1}{-\sqrt{3}}\right) = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$.

Модули векторов \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{CA} и \underline{U}_{BC} равны ($U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$) и сдвинуты на 120° .

Из прямоугольного треугольника ONL (рис. 1.31):

$$LN = \frac{U_{AB}}{2} = OL \cdot \sin 60^\circ = \underline{E}_A \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{U_{\text{л}}}{2}.$$

Линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного ЭДС генератора: $U_{AB} = \sqrt{3} \cdot E_A = U_{\text{л}}$

Из векторной диаграммы (рис. 1.31) следует, что **модули фазных ЭДС** генератора равны между собой: $E_A = E_B = E_C = U_{\text{л}}/\sqrt{3}$, а **сумма их векторов** равна нулю: $\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0$. **Сумма векторов линейных напряжений** равна нулю: $\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} + \underline{U}_{CA} = 0$. Угол между ними 120° .

Соединение фаз статора генератора в треугольник

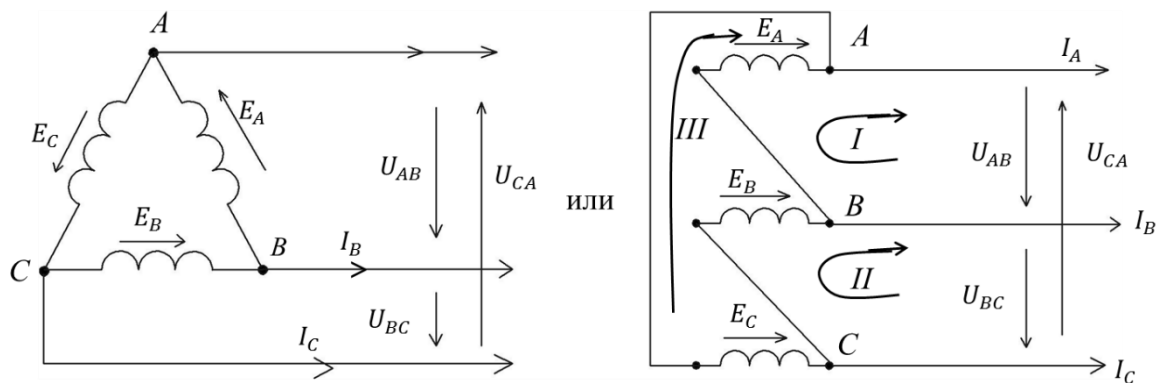


Рис. 1.32. Принципиальные схемы соединения фаз статора генератора в треугольник

Векторы линейных напряжений \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} , \underline{U}_{CA} , в соответствии со вторым законом Кирхгофа для замкнутых контуров *I*, *II* и *III*:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{E}_A = E_\phi e^{j0} = E_\phi = U_\phi;$$

$$\underline{U}_{BC} = \underline{E}_B = E_\phi e^{-j120} = U_\phi \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right);$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{E}_C = E_\phi e^{j120} = U_\phi \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right).$$

Модули линейных напряжений сети равны между собой и равны фазным ЭДС генератора:

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = E_\phi.$$

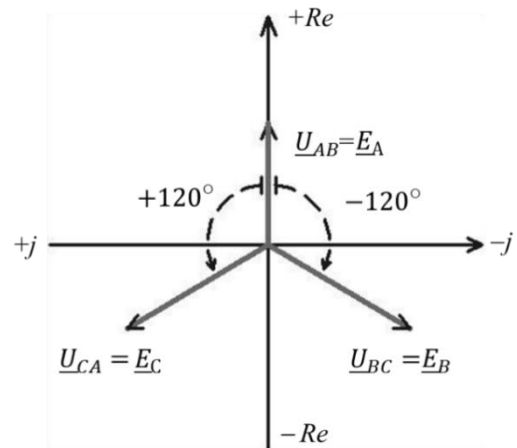


Рис. 1.33. Векторная диаграмма линейных напряжений при соединении фаз генератора треугольником

Вывод: при соединении фаз генератора звездой линейные напряжения сети в $\sqrt{3}$ раз больше фазных ЭДС генератора, а при соединении треугольником они равны.