

106 Соединение обмоток генератора звездой

Имеем симметричную трёхлучевую звезду: $\underline{E}_a = 230 e^{j0} = 230 \text{ В}$;

$$\underline{E}_b = 230 e^{-j 120^\circ} = -115 - j200 \text{ В}; \underline{E}_c = 230 e^{j120^\circ} = -115 + j 200 \text{ В}.$$

Последовательность фаз А (вправо); В; С по часовой стрелке.

Таким образом заданы потенциалы линейных проводов А, В и С (смотри и зарисуй диаграмму).

Если соединить между собой концы лучей трёхфазной звезды фазных напряжений получится правильный треугольник линейных напряжений. Линейные напряжения получают как разность фазных:

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_a - \underline{U}_b = 400 e^{j30^\circ} \Rightarrow 346 + j200 \text{ В};$$

$$\underline{U}_{bc} = \underline{U}_b - \underline{U}_c = 400 e^{-j90^\circ} \Rightarrow -j 400 \text{ В};$$

$$\underline{U}_{ca} = \underline{U}_c - \underline{U}_a = 400 e^{j150^\circ} \Rightarrow -346 + j 200 \text{ В}.$$

Линейные напряжения больше фазных в $\sqrt{3}$ раза

13.2. Несвязанная трехфазная система электрических цепей

Фазные обмотки трехфазного генератора можно соединить с тремя приемниками энергии шестью проводами. Такую трехфазную цепь называют несвязанной.

Несвязанная трехфазная система практически не применяется, тем не менее она помогла найти основные способы соединения фаз источника, приемника, уяснить основные соотношения между некоторыми величинами при объединении фазных цепей.

Схема трехфазной системы (рис. 13.3) содержит три электрически несвязанные цепи, каждая из которых состоит из обмотки источника (фаза источника), приемника (фаза приемника) и двух соединительных проводов и представляет фазу трехфазной системы. Действующие в фазах ЭДС, напряжение и токи называются соответственно *фазными величинами*. Если сопротивление соединительных проводов настолько мало, что ими можно пренебречь, то фазные напряжения источника и приемника будут одинаковые.

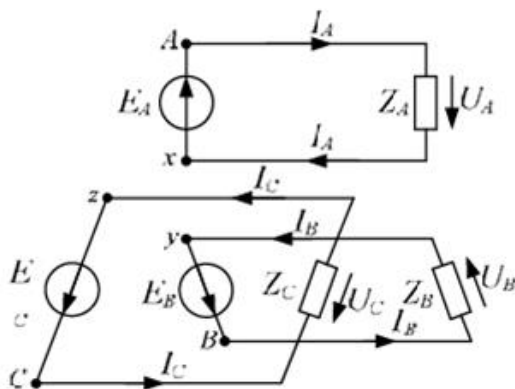


Рис. 13.3. Несвязанная трехфазная система электрических цепей

Токи, проходящие через фазу источника или приемника, называются фазными I_A , I_B , I_C (см. рис. 13.3).

При анализе режимов работы трехфазных цепей важно знать условные положительные направления ЭДС в каждой фазе, напряжения и токов, так как от этого зависят знаки в уравнениях, составляемых по законам Кирхгофа. За условно положительное направление ЭДС в каждой фазе источника принимают ее направление от конца обмотки к началу и условно положительное направление напряжения фазы источника от начала к концу. Направление же фазных токов совпадает с направлением ЭДС в каждой фазе (см. рис. 13.3).

Положительное направление напряжения на фазе приемника совпадает с положительным направлением тока в фазе.

Если концы обмоток генератора объединить в общую точку – нейтральную, то образуется так называемое *соединение звездой* (условное обозначение Y). Подобным образом можно объединить концы фаз приемника в общую нейтральную точку.

Появилась возможность три обратных провода (см. рис. 13.3) объединить в один общий провод (рис. 13.4).

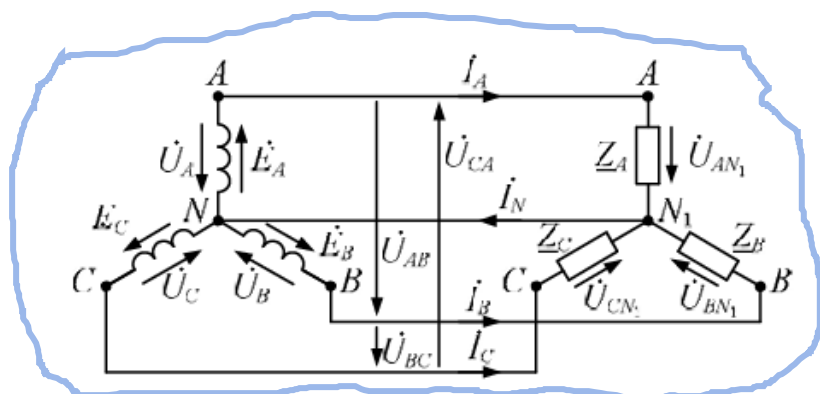


Рис. 13.4. Схема трехфазной цепи при соединении фаз генератора и приемника звездой

Провод, соединяющий нейтральные точки генератора и приемника, называют *нейтральным*. Таким образом, при переходе от несвязанной цепи к электрически связанной произошло уменьшение числа проводов, что экономически выгодно.

В соответствии с рисунком 13.4 положительное направление тока в нейтральном проводе – от нейтральной точки приемника к нейтральной точке генератора.

Провода, соединяющие начала фаз генератора с началом фаз приемника, называются *линейными*.

В трехфазных электрически связанных цепях помимо фазных величин используют линейные величины. Токи в линейных проводах называются линейными. Положительное направление линейных токов – от генератора к приемнику. Из рисунка 13.4 видно, что фаза генератора, линейный провод, фаза приемника соединены последовательно и по ним протекает один и тот же ток. Следовательно, при соединении фаз генератора и приемника звездой *линейный ток I_L равен фазному I_Φ* .

Напряжение между линейными проводами называется *линейным (междуфазным)*. Положительные направления линейных напряжений взяты в направлении *ABCA* – U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} (см. рис. 13.4).

Сопротивления фазных обмоток генератора малы и их, как правило, принимают равными нулю, поэтому фазные напряжения генератора равны фазным ЭДС:

$$\dot{U}_A = \dot{E}_A; \quad \dot{U}_B = \dot{E}_B; \quad \dot{U}_C = \dot{E}_C.$$

Следовательно, фазные напряжения генератора симметричны, т. е. равны по величине и сдвинуты по фазе на 120° :

$$\dot{U}_A = U_A e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_B = U_A e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_C = U_A e^{j120^\circ}.$$

Определим соотношение между фазными и линейными напряжениями на генераторе, соединенном звездой.

Составим уравнение по второму закону Кирхгофа для контура $ABNA$ (см. рис. 13.4):

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B - \dot{U}_A = 0.$$

Выразим комплексное значение линейного напряжения:

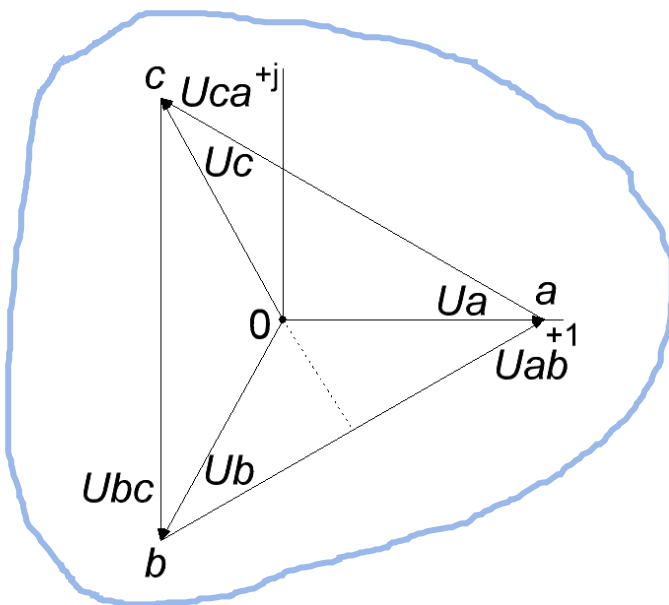
$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B,$$

аналогично

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A,$$

т. е. комплексные значения линейных напряжений равны разности соответствующих комплексных значений фазных напряжений.

Построим векторную диаграмму фазных и линейных напряжений (рис. 13.5).



При построении векторной диаграммы допускаем, что начальная фаза напряжения на фазе A генератора $\psi_{uA} = 0$.

Для построения векторов линейных напряжений используем следующие выражения:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B = \dot{U}_A + (-\dot{U}_B); \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B + (-\dot{U}_C); \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C + (-\dot{U}_A).\end{aligned}$$

Из вершины тупого угла равнобедренного треугольника со сторонами $\dot{U}_A$, $-\dot{U}_B$, $\dot{U}_{AB}$ проведем перпендикуляр. Поскольку тупой угол между векторами фазных напряжений равен 120° , то острый угол будет равен 30° . Следовательно, из полученного прямоугольного треугольника

$$\frac{1}{2} U_{AB} = U_A \cos 30^\circ = U_A \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \text{или } U_\pi = \sqrt{3} U_\phi.$$

Таким образом, для симметричной системы фазных напряжений при соединении фаз генератора звездой линейные напряжения будут больше фазных напряжений в $\sqrt{3}$ раз. Кроме того, из векторной диаграммы видно, что линейные напряжения опережают соответствующие фазные напряжения на 30° (вращение векторов против хода часовой стрелки). Линейные напряжения в комплексной записи имеют следующий вид:

$$\underline{U}_{AB} = \sqrt{3} \cdot U_\phi e^{j30^\circ}; \quad \underline{U}_{BC} = \sqrt{3} \cdot U_\phi e^{-j90^\circ}; \quad \underline{U}_{CA} = \sqrt{3} \cdot U_\phi e^{j150^\circ}.$$

В трехфазных низковольтных цепях используется шкала напряжений: 127, 220, 380 и 660 В. Каждое следующее напряжение больше предыдущего в $\sqrt{3}$ раз. Если фазное напряжение $U_\phi = 127$ В, то линейное $U_\pi = 220$ В и т. д.

Трехфазный приемник соединяют звездой, если его фазы рассчитаны на напряжение в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного напряжения трехфазной цепи.