

Лекция 13. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ

План

1. Техничко-экономические преимущества трехфазных цепей.
2. Соединение звездой и треугольником.
3. Симметричный и несимметричный режимы работы трехфазной цепи.
4. Заключение.

1. Техничко-экономические преимущества трехфазных цепей

Для получения и передачи электрической энергии используют трехфазные цепи. Трехфазной называют совокупность трех однофазных цепей (фаз), в каждой из которых действует ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые друг относительно друга на одинаковый угол, равный 120° . Трехфазные цепи получили широкое распространение в электроэнергетике благодаря своей экономичности и техническому совершенству.

Трехфазное напряжение получают с помощью трехфазного синхронного генератора, схематически показанного на рис. 13.1.

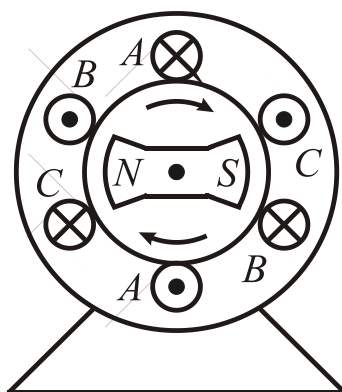


Рис. 13.1

Обмотки фаз генератора расположены в пазах статора. Они сдвинуты друг относительно друга на угол $120^\circ/p$, где p — число пар полюсов ротора. При вращении ротора в обмотках A, B, C статора генерируются напряжения, имеющие одинаковую частоту и амплитуду, но сдвинутые относительно друг друга на угол $2\pi/3$ (рис. 13.2, а).

Мгновенные значения ЭДС трехфазного источника:

$$e_A = E_m \sin \omega t, \quad e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad e_C = E_m \sin(\omega t + 120^\circ).$$

Начальная фаза ЭДС e_B $\varphi_B = -120^\circ$, а начальная фаза ЭДС e_C $\varphi_C = 120^\circ$. Такую систему ЭДС называют *симметричной*. Векторная диаграмма напряжений трехфазного генератора показана на рис. 13.2, б.

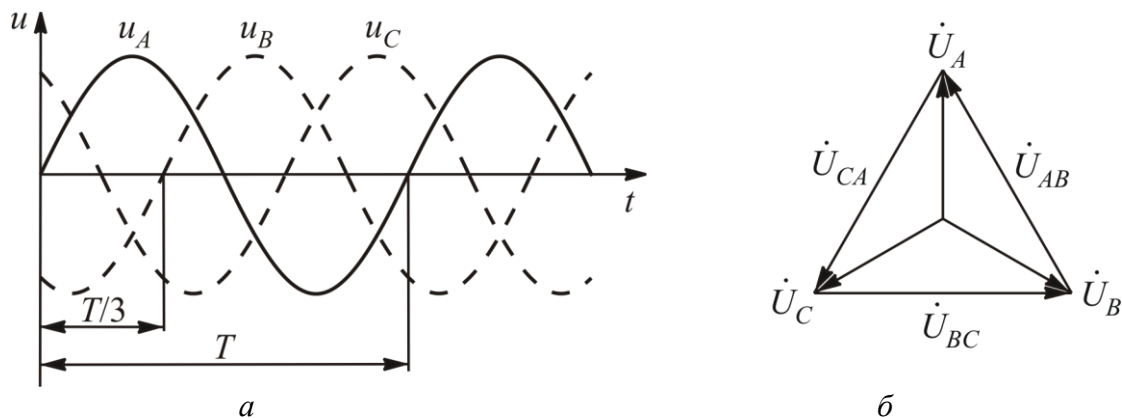


Рис. 13.2

2. Соединение генератора и нагрузки звездой и треугольником

В зависимости от способа соединения обмоток генератора и нагрузки различают соединения звездой и треугольником. Каждая фазная обмотка генератора имеет два вывода, которые условно называют началом и концом. За начало обмотки принимается тот вывод, к которому направлена положительная ЭДС.

При соединении звездой концы всех фаз генератора соединяют в один узел (рис. 13.3). Его называют нейтральным узлом или нейтральной точкой. Нейтральные точки генератора и нагрузки часто соединяют *нейтральным* (нулевым) проводом. Остальные провода, соединяющие обмотки генератора с приемником, называют *линейными*.

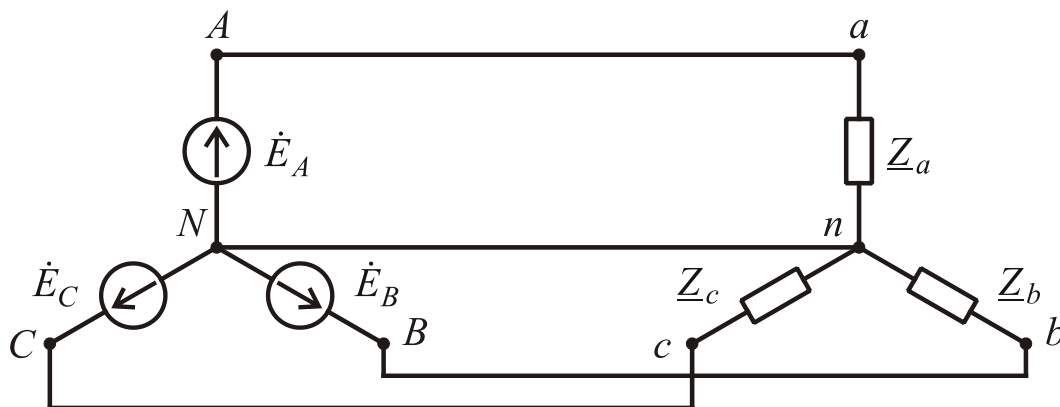


Рис. 13.3

При соединении треугольником начало одной фазной обмотки соединяют с концом следующей так, чтобы три обмотки образовали замкнутый треугольник (рис. 13.4).

На практике используют различные комбинации соединения фаз генератора и нагрузки: звезда-звезда, звезда-треугольник, треугольник-треугольник и т. д.

Напряжения и токи в фазах генератора и нагрузки называют *фазными* и обозначают U_ϕ , I_ϕ . Напряжения между линейными проводами и токи в них называют *линейными* и обозначают U_π , I_π . Из рис. 13.3 и 13.4 следует, что при соединении звездой $I_\pi = I_\phi$, а при соединении треугольником $U_\pi = U_\phi$. Соотношения между линейными и фазными напряжениями при соединении звездой найдем из векторной диаграммы на рис. 13.2, б. Векторы фазных напряжений U_A , U_B и линейного напряжения U_{AB} образуют равнобедренный треугольник с углами при основании 30° . Следовательно, при соединении звездой линейное напряжение $U_\pi = \sqrt{3}U_\phi$.

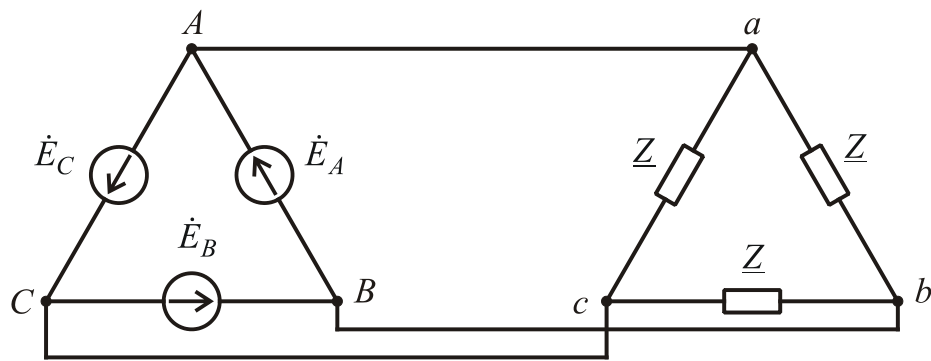


Рис. 13.4

За положительное направление токов в линейных проводах принято направление в сторону потребителей, а в нейтральном проводе – в сторону источника.

3. Расчет трехфазных цепей в симметричном и несимметричном режимах

Расчет трехфазных цепей производится в комплексной форме. При соединении звездой напряжение между нейтральными точками генератора и нагрузки найдем, воспользовавшись методом двух узлов:

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\underline{Y}_A \dot{E}_A + \underline{Y}_B \dot{E}_B + \underline{Y}_C \dot{E}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N},$$

где $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C, \underline{Y}_N$ – комплексные проводимости фаз нагрузки и нулевого провода. После определения напряжения $\dot{U}_{nN}$ найдем фазные токи

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= (\dot{U}_A - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_A; \\ \dot{I}_B &= (\dot{U}_B - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_B; \\ \dot{I}_C &= (\dot{U}_C - \dot{U}_{nN}) \underline{Y}_C.\end{aligned}$$

Если нагрузка трехфазной цепи симметрична, т. е. $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = \underline{Y}$, то $\dot{U}_{nN} = 0$, и расчет фазных токов можно вести независимо: $\dot{I}_A = \dot{U}_A \underline{Y}$, $\dot{I}_B = \dot{U}_B \underline{Y}$, $\dot{I}_C = \dot{U}_C \underline{Y}$.

Пример 13.1. Сопротивления фаз нагрузки, соединенной звездой: $R_A = 10 \text{ Ом}$, $R_B = 12 \text{ Ом}$, $R_C = 15 \text{ Ом}$. Линейное напряжение $U_A = 380 \text{ В}$. Рассчитать токи и напряжения цепи для двух случаев:

1) при наличии нейтрального провода;

2) при обрыве нейтрального провода.

Сопротивлением нейтрального провода пренебречь.

Решение.

Случай 1. Поскольку сопротивление нейтрального провода мало, напряжение между нейтральными точками $\dot{U}_{nN} = 0$. Фазные напряжения

$$\dot{U}_a = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 220 \text{ В}; \quad \dot{U}_b = 220e^{-j120} \text{ В}; \quad \dot{U}_{cb} = 220e^{j120} \text{ В}.$$

Фазные токи

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{R_a} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}; \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{R_b} = \frac{220e^{-j120}}{12} = 18.33e^{-j120} \text{ А};$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{R_c} = \frac{220e^{j120}}{15} = 14.67e^{j120} \text{ А}.$$

Ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_N = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 22 + 18.33e^{-j120} + 14.67e^{j120} = 6.35e^{-j30} \text{ А}.$$

Случай 2. Напряжение между нейтральными точками

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\underline{Y}_A \dot{E}_A + \underline{Y}_B \dot{E}_B + \underline{Y}_C \dot{E}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = 25.2e^{-j29} \text{ В.}$$

Фазные напряжения

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{U}_{Nn} = 220 - 25.2e^{-j29} = 198.4e^{-j3} \text{ В;} \\ \dot{U}_b &= \dot{U}_B - \dot{U}_{Nn} = 220e^{-j120} - 25.2e^{-j29} = 221.8e^{-j126} \text{ В;}\end{aligned}$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{Nn} = 220e^{j120} - 25.2e^{-j29} = 242e^{j123} \text{ В.}$$

Рассмотренный пример показывает, как влияет обрыв нейтрального провода на фазные напряжения при несимметричной нагрузке. Самой распространенной несимметричной нагрузкой являются бытовые потребители (жилые дома). Для питания таких потребителей используют четырехпроводные сети с нейтральным проводом. Обрыв нейтрального провода может привести к значительному увеличению или уменьшению напряжений отдельных фаз, что вызовет повреждение электрических приборов. Независимая работа фаз сети при несимметричной нагрузке обеспечивается нейтральным проводом с малым сопротивлением. Следовательно, нейтральный провод необходим для получения симметричного напряжения при несимметричной нагрузке, включенной по схеме звезда.

При соединении нагрузки треугольником фазные токи определяются по закону Ома:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}}, \quad \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}}, \quad \dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}}.$$

Линейные токи найдем из уравнений по первому закону Кирхгофа для узлов А, В, С:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

4. Заключение

1. Трехфазной называют совокупность трех однофазных цепей (фаз), в каждой из которых действует ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые друг относительно друга на одинаковый угол, равный 120° .

2. Передача и распределение электрической энергии осуществляются с помощью трехфазных цепей. Это объясняется следующими причинами:
 - трехфазные цепи обеспечивают эффективную передачу электрической энергии на большие расстояния;
 - мгновенная мощность симметричной трехфазной цепи постоянна;
 - с помощью трехфазной цепи легко создать вращающееся магнитное поле, используемое в асинхронных двигателях.
3. Существуют два способа соединения обмоток генератора и сопротивлений нагрузки: звездой и треугольником.
4. При соединении звездой концы обмоток всех трех фаз объединяют в одну общую точку, называемую нейтральной.
5. При соединении треугольником начало одной фазной обмотки соединяют с концом следующей так, чтобы три обмотки образовали замкнутый треугольник.