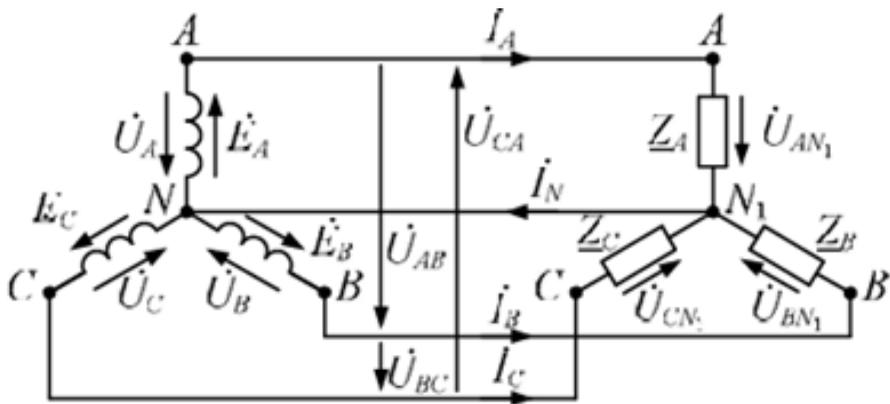


85-86 Расчёт симметричных трёхфазных цепей

Трёхфазный приемник называют симметричным, если комплексные сопротивления всех фаз одинаковы. Если к симметричному трёхфазному приемнику приложена симметричная система напряжений, то получается симметричная система токов. Режим трёхфазной цепи, при котором трёхфазные системы напряжений и токов симметричны, называется *симметричным*.

Допустим, в схеме, приведенной на рисунке 13.4, $Z_A = Z_B = Z_C$.



Считаем, что сопротивление проводов равно 0, тогда напряжения на фазах нагрузки будут равны напряжениям фаз источника

Напряжение $\underline{U}_a = 230 e^{j0} \Rightarrow 230 \text{ В}$.

Напряжение $\underline{U}_b = 230 e^{-j120^\circ} \Rightarrow -115 - j200 \text{ В}$.

Напряжение $\underline{U}_c = 230 e^{j120^\circ} \Rightarrow -115 + j200 \text{ В}$.

Соответствующие токи определяются по закону Ома. При симметричной нагрузке достаточно определить ток одной фазы.

$$\underline{i}_a = \underline{U}_a / \underline{Z}_a$$

Ток \underline{i}_b сдвинут относительно тока \underline{i}_a по фазе на -120° , ток \underline{i}_c – на $+120^\circ$, все токи отстают от напряжений на угол φ .

Аналитический расчет трехфазных цепей рекомендуется сопровождать построением **векторных диаграмм**.

Для трехфазных цепей чаще **используют топографическую диаграмму**. Она представляет собой **диаграмму комплексных потенциалов точек электрической цепи**. Напряжение между двумя любыми точками электрической цепи изображается вектором, соединяющим соответствующие точки диаграммы.

Точку электрической цепи, потенциал которой принят равным нулю, на топографической диаграмме помещают в начало координат. Для электрической цепи это нейтральная точка генератора N (рис. 13.8).

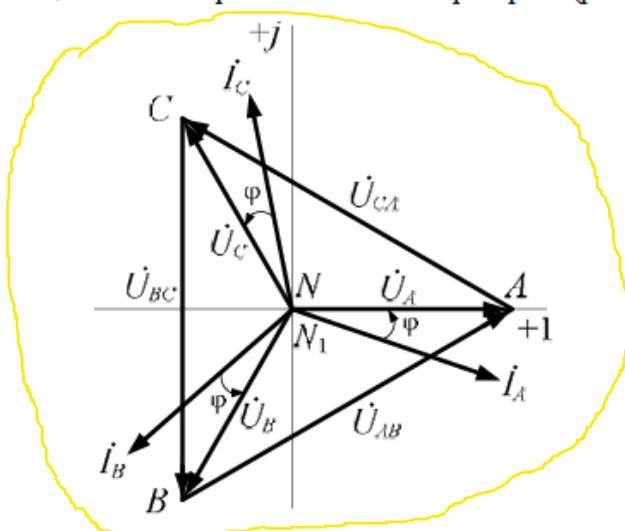


Рис. 13.8. Топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов при симметричном режиме и соединении звездой

На рисунке 13.8 приведены **топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов при симметричном режиме и активно-индуктивном характере нагрузки ($\varphi > 0$)** для цепи, изображенной на рисунке 13.4.

Концы векторов напряжений \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C соответствуют потенциалам точек A , B , C цепи, изображенной на рисунке 13.4. В симметричном режиме точка N_1 на диаграмме будет совпадать с

точкой N , поскольку их потенциалы одинаковы. Направление векторов напряжений на топографической диаграмме противоположно порядку индексов напряжений, так как по правилу вычитания векторов **вектор, равный разности двух векторов, соединяет концы этих векторов и направлен к уменьшаемому**: $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$. В приведенном выражении вектор \dot{U}_A – уменьшаемое.

Пример 13.2. Определить токи в трехфазной цепи, где генератор и приемник соединены звездой. При этом линейное напряжение генератора $U_\pi = 380$ В, а сопротивления фаз приемника $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = 4 + j3$ Ом. Построить векторную диаграмму фазных напряжений и токов.

Решение. Поскольку режим работы трехфазной цепи симметричный (комплексные сопротивления фаз приемника одинаковы), расчет ведут на одну фазу. Так как фазные токи равны, их равенство можно записать в виде

$$I_A = I_B = I_C = I_\phi.$$

По закону Ома ток фазы A определяется следующим выражением:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AN_1}}{\underline{Z}_A}.$$

Здесь $\dot{U}_{AN_1} = \dot{U}_A$, так как $\dot{U}_{N_1N} = 0$.

Фазное напряжение генератора определим по выражению

$$U_\phi = \frac{U_\pi}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{2}} = 220 \text{ В}.$$

Приняв начальную фазу напряжения U_A за нуль, комплексное значение напряжения записываем в следующем виде:

$$\dot{U}_A = U_\phi = 220 \text{ В},$$

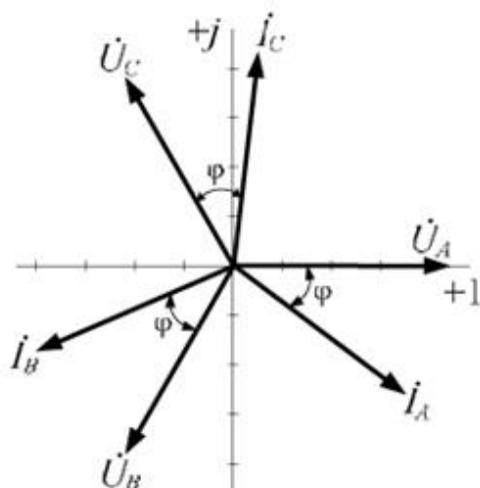
тогда

$$\dot{I}_A = \frac{220}{4 + j3} = 35,2 - j26,4 \text{ А}.$$

Действующее значение тока в фазе A

$$I_A = \sqrt{35,2^2 + 26,4^2} = 44 \text{ А}.$$

Строим векторную диаграмму фазных напряжений и токов (рис. 13.9).



Рассмотрим симметричный режим трёхфазной цепи при соединении приёмников треугольником, $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA}$

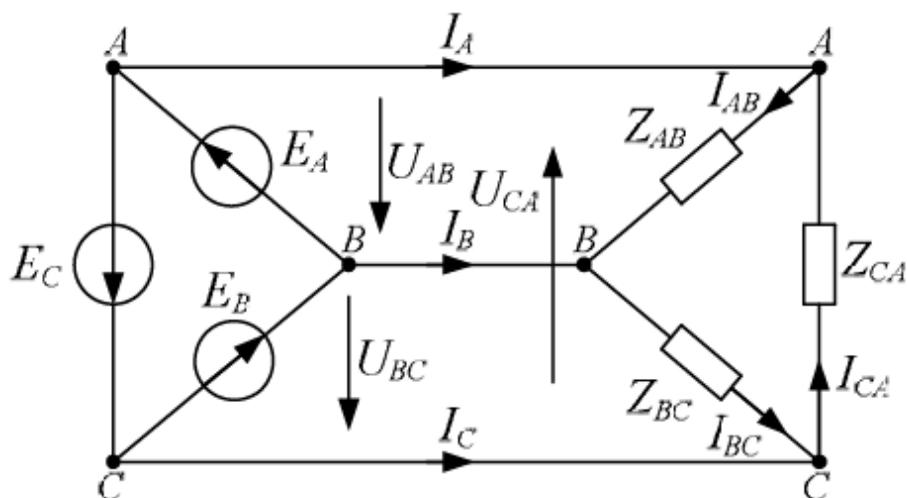
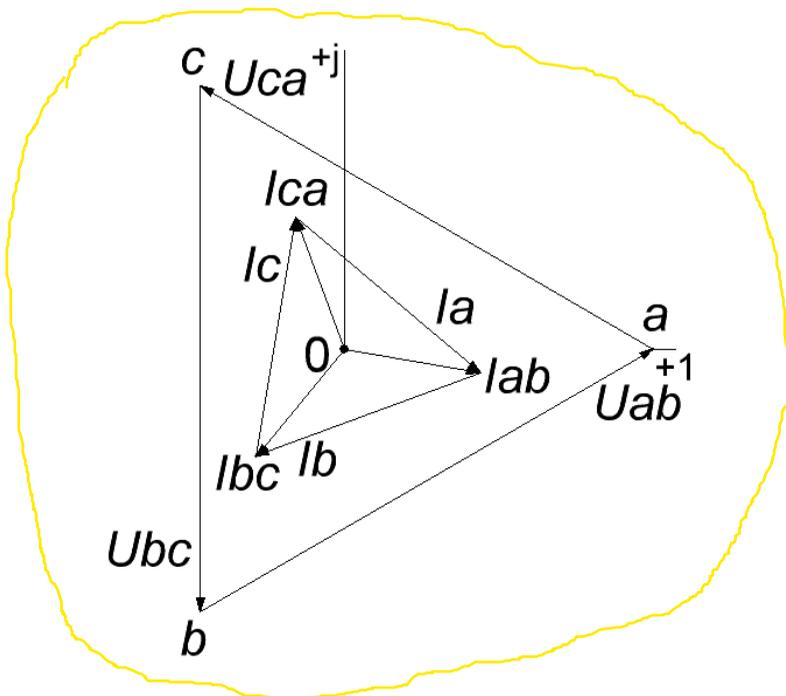


Рис. 13.7. Трёхфазная цепь при соединении генератора и приемника треугольником

Так как система линейных напряжений симметрична, а комплексные сопротивления фаз приемника равны между собой, в цепи создается симметричная система фазных и линейных токов, т. е. фазные токи будут равны и смещены друг от друга на 120° . Следовательно, расчет фазного тока приемника достаточно выполнить для одной фазы (обычно это фаза AB) по закону Ома для действующих значений

$\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab}$. Построение диаграммы начинаем с равностороннего треугольника линейных напряжений abc . Вектор напряжения \underline{U}_{ab} имеет начальную фазу 30° , \underline{U}_{bc} имеет начальную фазу -90° , \underline{U}_{ca} имеет начальную фазу 150° . Характер нагрузки активно-индуктивный, токи отстают по фазе от напряжений на 40° .



Проводим фазные токи \underline{I}_{ab} , \underline{I}_{bc} и \underline{I}_{ca} из центра треугольника, который совпадает с началом координат комплексной плоскости. Линейные токи равны разности фазных

$$I_a = I_{ab} - I_{ca}; \quad I_b = I_{bc} - I_{ab}; \quad I_c = I_{ca} - I_{bc}.$$

На диаграмме векторы линейных токов соединяют между собой концы фазных токов. Концы векторов линейных токов направлены к уменьшаемому. Из построения видно, что линейные токи больше фазных в $\sqrt{3}$ раза.

Пример 13.3. В трехфазную сеть с линейным напряжением 220 В и частотой 50 Гц включен приемник, который соединен треугольником и имеет одинаковую нагрузку, по фазам состоящую из катушки с индуктивностью $L = 0,3$ Гн и последовательно включенного с ней резистора с активным сопротивлением 20 Ом. Определить действующие значения линейных и фазных токов.

Решение. Для соединения треугольником фазное напряжение равно линейному: $U_\phi = U_\pi = 220$ В. Полное сопротивление нагрузки в фазе

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{20^2 + (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,3)^2} = 96 \text{ Ом.}$$

Здесь $\omega = 2\pi f$.

Ток в фазе

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z} = \frac{220}{96} = 2,3 \text{ А.}$$

Поскольку режим нагрузки симметричный, то

$$I_\pi = \sqrt{3} I_\phi = \sqrt{3} \cdot 2,3 = 3,98 \approx 4 \text{ А.}$$



Вопросы и задачи для самоконтроля

1. Дайте определение трехфазной цепи.
2. Изложите основные принципы получения трехфазной системы ЭДС.
3. Поясните, что понимают под фазой в трехфазной цепи.
4. Запишите мгновенные и комплексные значения ЭДС трехфазного генератора, систему фазных и линейных напряжений генератора, фазы которого соединены по схеме звезда.
5. Приведите графическое изображение системы фазных и линейных напряжений генератора при соединении звездой.
6. Назовите соотношения между фазными и линейными напряжениями, токами при соединении звездой.

7. Объясните назначение нейтрального провода.
8. Дайте определение трехфазной симметричной системы ЭДС.
9. В каком случае трехфазный приемник является симметричным?
10. Когда имеет место симметричный режим трехфазной цепи?
11. В симметричной трехфазной цепи приемник соединен звездой. Сопротивление фазы приемника $R_{\phi} = 10$ Ом, линейный ток $I_{\pi} = 22$ А. Определите линейное напряжение. Ответ: $U_{\pi} = 380$ В.
12. Расскажите, как соединяют фазы приемника треугольником.
13. Запишите соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении приемника треугольником в симметричном режиме.
14. В симметричной трехфазной цепи приемник соединен треугольником, сопротивление фазы приемника $R_{\phi} = 10$ Ом, линейный ток $I_{\pi} = 38$ А. Определите напряжение на фазе приемника. Ответ: $U_{\phi} = 220$ В.
15. Объясните, почему при симметричном режиме трехфазной цепи расчет можно вести на одну фазу.
16. Выполните построение векторной диаграммы напряжений и токов при схемах соединения звездой, треугольником.
17. Трехфазные симметричный приемник и генератор соединены звездой с нейтральным проводом. Линейное напряжение равно $U_{\pi} = \sqrt{3} \cdot 380$ В. Произошел обрыв одной фазы. Чему после этого будет равно фазное напряжение на остальных фазах приемника? Ответ: 380 В.
18. Трехфазные симметричный приемник и генератор соединены звездой. Чему равно отношение линейного тока к фазному току приемника? Ответ: $\sqrt{3}$.
19. Трехфазные симметричный приемник и генератор соединены звездой без нейтрального провода. Линейное напряжение равно $U_{\pi} = 380$ В. Произошло короткое замыкание одной фазы приемника. Чему будет равно напряжение на остальных фазах приемника? Ответ: 380 В.
20. Трехфазные симметричный приемник и генератор соединены треугольником. Фазный ток приемника равен $I_{\phi} = \sqrt{3}$ А. Чему равен линейный ток приемника? Ответ: 3 А.

21. Трехфазные симметричный приемник и генератор соединены звездой. Линейное напряжение равно $U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot 127 \text{ В}$. Чему равно фазное напряжение приемника? Ответ: 127 В.

22. Трехфазные симметричный приемник и генератор соединены треугольником. Чему равно соотношение линейного и фазного напряжений в приемнике? Ответ: 1.

23. Трехфазные симметричный приемник и генератор соединены треугольником. Линейное напряжение равно $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$. Произошел обрыв одной фазы приемника. Чему будет равно напряжение на остальных фазах приемника? Ответ: 380 В.