

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, $Z_A = Z_B = Z_C$.

Для расчета токов в фазах приемника используем закон Ома:

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

Обычно заданными являются напряжения источника питания, а не приемника. Для контура AN_1NA (см. рис. 13.4) составим уравнение по второму закону Кирхгофа: $\dot{U}_{AN_1} - \dot{U}_A = 0$, поэтому $\dot{U}_{AN_1} = \dot{U}_A$, аналогично

$$\dot{U}_{BN_1} = \dot{U}_B = \dot{U}_A e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_{CN_1} = \dot{U}_C = \dot{U}_A e^{j120^\circ}.$$

Напряжения на фазах приемника равны соответствующим напряжениям на фазах генератора, поэтому

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = \frac{\dot{U}_A e^{-j120^\circ}}{Z_A} = \dot{I}_A e^{-j120^\circ};$$
$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{\dot{U}_A e^{j120^\circ}}{Z_A} = \dot{I}_A e^{j120^\circ}.$$

Токи в фазах приемника равны по величине и сдвинуты по фазе на 120° , поэтому расчет можно выполнить для одной фазы (обычно это фаза A приемника).

Ток в нейтральном проводе определяют, используя первый закон Кирхгофа:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_A (1 + e^{-j120^\circ} + e^{j120^\circ}) = 0.$$

В симметричном режиме работы трёхфазной цепи ток в нейтральном проводе равен нулю. К симметричным приемникам относятся трёхфазные электродвигатели, трёхфазные нагревательные устройства. При соединении этих приемников звездой нейтральный провод не применяют.

Если в трёхфазной цепи в симметричном режиме нейтральный провод отсутствует, то для расчета токов нейтральные точки генератора и приемника в схеме цепи можно соединить нейтральным проводом с сопротивлением $Z_N = 0$. Это не изменит величин токов в фазах. Расчет токов выполняют для одной фазы.

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).

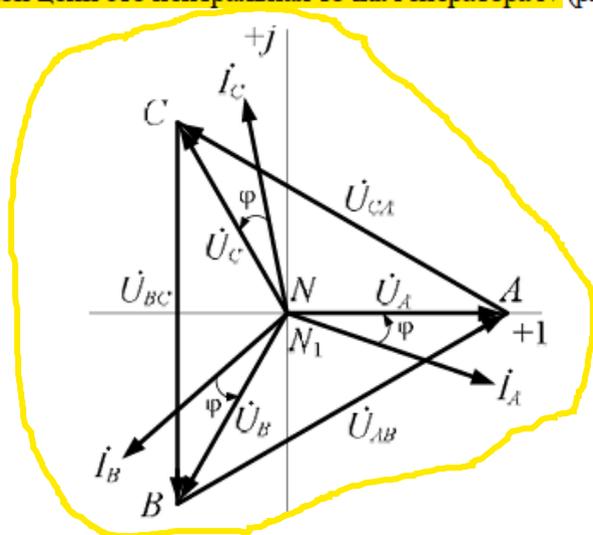


Рис. 13.8. Топографическая диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов при симметричном режиме и соединении звездой

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 $Z_A = Z_B = Z_C = 4 + j3$ 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:

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

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

Фазное напряжение генератора определим по выражению

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

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).

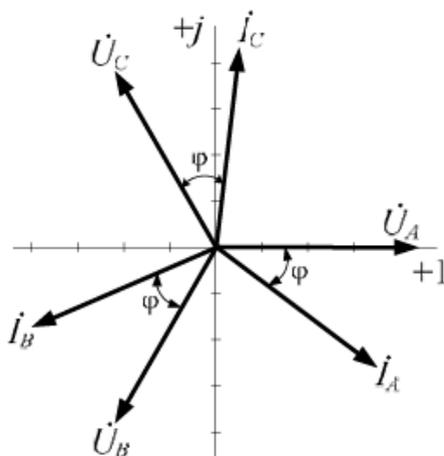


Рис. 13.9. Векторная диаграмма фазных напряжений и токов

Рассмотрим симметричный режим трехфазной цепи при соединении приемников треугольником (см. рис. 13.7).

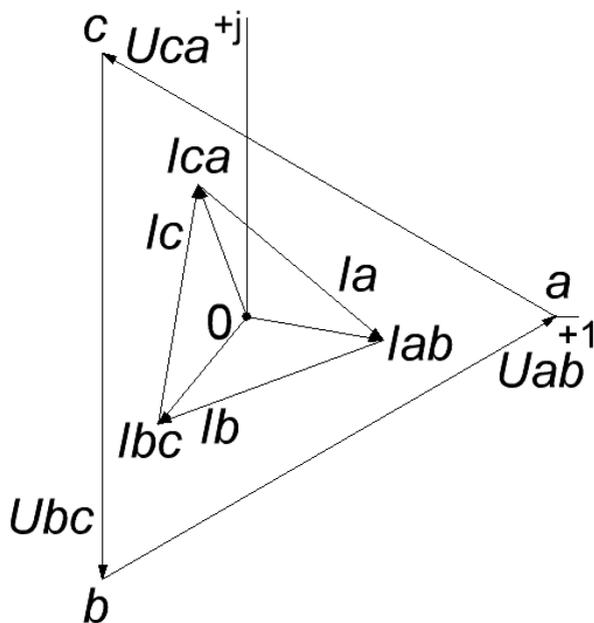
Так как система линейных напряжений симметрична, а комплексные сопротивления фаз приемника равны между собой, в цепи создается симметричная система фазных и линейных токов, т. е. фазные токи будут равны и смещены друг от друга на 120° . Следовательно, расчет фазного тока приемника достаточно выполнить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

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{R_{AB}^2 + X_{AB}^2}}$$

или для комплексных значений

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{R_{AB} + jX_{AB}}$$

Для определения соотношения между линейными и фазными токами в симметричном режиме и при соединении треугольником построим векторные диаграммы напряжений и токов (рис. 13.10).



Построение диаграммы начинаем с равностороннего треугольника линейных напряжений abc . Вектор напряжения U_{ab} имеет начальную фазу 30° , U_{bc} имеет начальную фазу -90° , U_{ca} имеет начальную фазу 150° . Характер нагрузки активно-индуктивный, токи отстают по фазе от напряжений на 40° . Проводим фазные токи I_{ab} , I_{bc} и 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 построений 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.