

Расчёт параметров трёхфазной электрической цепи

Имеется трёхфазная электрическая цепь со следующими параметрами:

- действующее значение линейного напряжения $U_{Л} = 400$ В;
- напряжение первой фазы генератора $\dot{U}_a = U_{\Phi} e^{j0^\circ}$;
- приведённые активные сопротивления первой, второй и третьей фазы приёмника соответственно $R_1 = 60$ Ом; $R_2 = 40$ Ом; $R_3 = 40$ Ом;
- приведённые реактивные сопротивления первой, второй и третьей фазы приёмника соответственно $X_1 = 80$ Ом; $X_2 = 30$ Ом; $X_3 = -30$ Ом.

Из данных видно, что нагрузка в первой и второй фазах имеет активно-индуктивный характер, а в третьей – активно-ёмкостный.

Расчётная схема трёхфазной электрической цепи при соединении фаз приёмника звездой представлена на рис. 3.7*.

Проведем расчёт трёх режимов работы такой цепи:

- нормальный четырёхпроводной режим с нейтральным проводом при соединении фаз приёмника звездой (см. рис. 3.7*);
- обрыв нейтрального провода N при соединении фаз звездой.

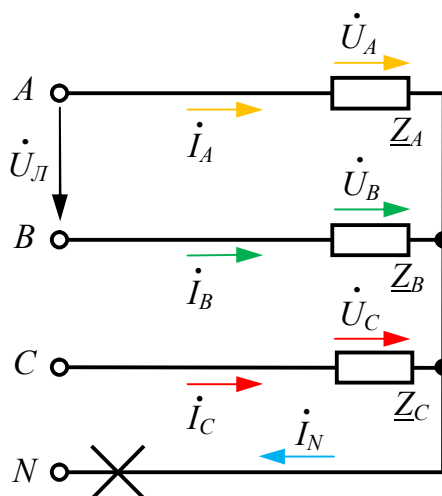


Рис. 3.7. Схема замещения трёхфазной цепи при соединении фаз приёмника звездой

Расчёт нормального четырёхпроводного режима работы

1. Находим комплексные сопротивления фаз приёмника:

$$\underline{Z}_A = R_1 + jX_1 = 60 + j80 = 100e^{j53,13^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_B = R_2 + jX_2 = 40 + j30 = 50e^{j36,86^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_C = R_3 + jX_3 = 40 - j30 = 50e^{-j36,86^\circ} \text{ Ом}.$$

* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:

2. При наличии нейтрального провода фазные напряжения приёмника U_A, U_B, U_C равны фазным напряжениям генератора U_a, U_b, U_c и в показательной комплексной форме с учетом начальной фазы напряжения фазы A генератора имеют вид

$$\dot{U}_A = \dot{U}_a = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}} e^{j0^\circ}; \dot{U}_B = \dot{U}_b = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}} e^{-j120^\circ}; \dot{U}_C = \dot{U}_c = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}} e^{j120^\circ}.$$

$$\dot{U}_A = \dot{U}_a = 230e^{j0^\circ} \text{ В}; \dot{U}_B = \dot{U}_b = 230e^{-j120^\circ} \text{ В}; \dot{U}_C = \dot{U}_c = 230e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

3. Линейные напряжения в комплексной форме при условии нулевой начальной фазе напряжения фазы a генератора:

$$\dot{U}_{AB} = 400e^{j30^\circ} \text{ В}; \dot{U}_{BC} = 400e^{-j90^\circ} \text{ В}; \dot{U}_{CA} = 400e^{j150^\circ} \text{ В}.$$

4. Токи в фазах приёмника являются линейными токами и определяются по закону Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{230e^{j0^\circ}}{100e^{j53,13^\circ}} = 2,3e^{-j53,13^\circ} = 1,38 - j1,84 \text{ А}.$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{230e^{-j120^\circ}}{50e^{j36,86^\circ}} = 4,6e^{-j156,86^\circ} = -4,23 - j1,81 \text{ А}.$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C} = \frac{220e^{j120^\circ}}{50e^{-j36,86^\circ}} = 4,6e^{j156,86^\circ} = -4,23 + j1,81 \text{ А}.$$

5. Ток в нейтральном проводе в соответствии с первым законом Кирхгофа равен сумме комплексных значений фазных токов:

$$\begin{aligned} \dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 1,38 - j1,84 - 4,23 - j1,81 - 4,23 + j1,81 = \\ &= -7,08 - j1,84 = (7,08 + j1,84) \cdot (-1) = 7,31e^{j14,57^\circ} \cdot e^{-j180^\circ} = 7,31e^{-j165,43^\circ} \text{ А}. \end{aligned}$$

6. Определим активную, реактивную и полную мощности трёхфазной цепи через действующие значения токов и напряжений фаз приёмника и фазовые углы нагрузки $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$, являющиеся угловыми аргументами комплексных сопротивлений фаз приёмника (см. пункт 1 примера):

Активные мощности трёхфазной цепи:

$$P_A = U_A I_A \cos\varphi_A = 230 \cdot 2,3 \cdot \cos(53,13^\circ) = 317,4 \text{ Вт};$$

$$P_B = U_B I_B \cos\varphi_B = 230 \cdot 4,6 \cdot \cos(36,86^\circ) = 846,5 \text{ Вт};$$

$$P_C = U_C I_C \cos\varphi_C = 230 \cdot 4,6 \cdot \cos(-36,86^\circ) = 846,5 \text{ Вт};$$

$$P_{3\varphi} = P_A + P_B + P_C = 2010,4 \text{ Вт}.$$

* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:

Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.

Реактивные мощности трёхфазной цепи:

$$Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A = 230 \cdot 2,3 \cdot \sin(53,13^\circ) = 423,2 \text{ вар};$$

$$Q_B = U_B I_B \sin \varphi_B = 230 \cdot 4,6 \cdot \sin(36,86^\circ) = 634,6 \text{ вар};$$

$$Q_C = U_C I_C \sin \varphi_C = 230 \cdot 4,6 \cdot \sin(-36,86^\circ) = -634,6 \text{ вар};$$

$$Q_{3\phi} = Q_A + Q_B + Q_C = 423,2 \text{ вар}.$$

Комплекс полной мощности цепи

$$\underline{S}_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi} = 2010,4 + 423,2j \text{ ВА}.$$

Величина полной мощности трёхфазной цепи

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2} = \sqrt{2010,4^2 + 423,2^2} = 2054,5 \text{ ВА}.$$

7. Векторная диаграмма токов и напряжений нормального четырёхпроводного режима работы трёхфазной электрической цепи представлена на рис. 3.8*. Масштаб: 1 см = 40 В; 1 см = 1 А.

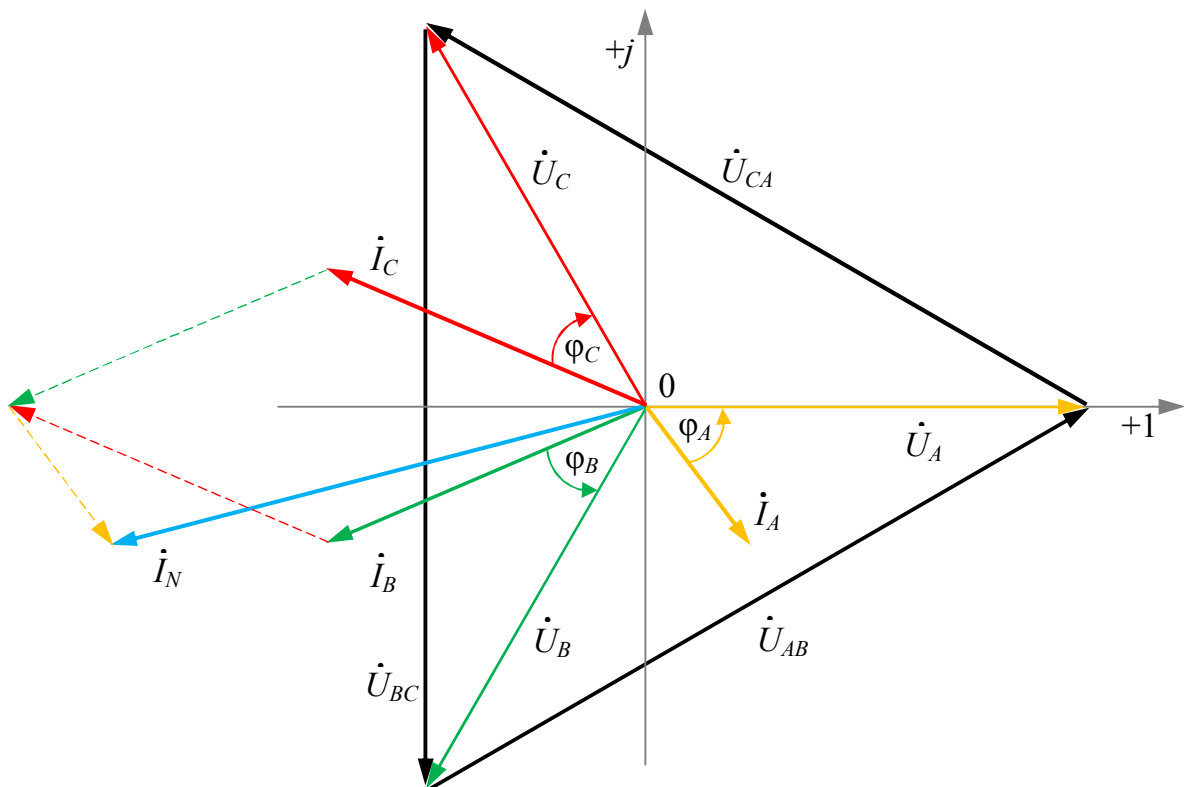


Рис. 3.8. Векторная диаграмма нормального четырёхпроводного режима работы трёхфазной электрической цепи

* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:
Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.

Расчёт аварийного режима – обрыва нейтрального провода

При обрыве/отсутствии нейтрального провода в трёхфазной электрической цепи с несимметричным приёмником нарушается симметрия фазных напряжений приёмника U_A, U_B, U_C (*перекос фаз*), а фазные напряжения генератора U_a, U_b, U_c остаются неизменными симметричными. Фазные токи изменяются и устанавливаются таким образом, чтобы векторная сумма их стала равной нулю. В результате этого возникает напряжение *смещения нейтрали* U_{nN} .

11. Находим комплексные проводимости фаз приёмника:

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{100e^{j53,13^\circ}} = 0,01e^{-j53,13^\circ} = 0,006 - j0,008 \text{ См.}$$

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{50e^{j36,86^\circ}} = 0,02e^{-j36,86^\circ} = 0,016 - j0,012 \text{ См.}$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{50e^{-j36,86^\circ}} = 0,02e^{j36,86^\circ} = 0,016 + j0,012 \text{ См.}$$

12. Находим комплексное действующее значение напряжения смещения нейтрали

$$\begin{aligned} \dot{U}_{nN} &= \varphi_N - \varphi_n = \frac{\underline{Y}_A \dot{U}_a + \underline{Y}_B \dot{U}_b + \underline{Y}_C \dot{U}_c}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \\ &= \frac{0,01e^{-j53,13^\circ} \cdot 230e^{j0^\circ} + 0,02e^{-j36,86^\circ} \cdot 230e^{-j120^\circ} + 0,02e^{j36,86^\circ} \cdot 230e^{j120^\circ}}{0,006 - j0,008 + 0,016 - j0,012 + 0,016 + j0,012} = \\ &= -168,6 - j83,9 = (168,6 + j83,9)(-1) = 188,3e^{j26,45^\circ} \cdot e^{-j180^\circ} = 188,3e^{-j153,5^\circ} \text{ В.} \end{aligned}$$

13. Фазные напряжения приёмника U_A, U_B, U_C будут зависеть от напряжения смещения нейтрали:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_a - \dot{U}_{nN} = 230e^{j0^\circ} + 168,6 + j83,9 = 398,6 + j83,9 = 407,3e^{j11,9^\circ} \text{ В.}$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_b - \dot{U}_{nN} = 230e^{-j120^\circ} + 168,6 + j83,9 = 53,6 - j115,3 = 127,1e^{-j65,1^\circ} \text{ В.}$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_c - \dot{U}_{nN} = 230e^{j120^\circ} + 168,6 + j83,9 = 53,6 + j283,1 = 288,1e^{j79,3^\circ} \text{ В.}$$

14. Фазные токи вследствие искажения фазных напряжений тоже изменятся и определяются по закону Ома через проводимости фаз:

$$\dot{I}_A = \underline{Y}_A \dot{U}_A = 0,01e^{-j53,13^\circ} \cdot 407,3e^{j11,9^\circ} = 4,07e^{-j41,23^\circ} = 3,06 - j2,68 \text{ А.}$$

$$\dot{I}_B = \underline{Y}_B \dot{U}_B = 0,02e^{-j36,86^\circ} \cdot 127,1e^{-j65,1^\circ} = 2,54e^{-j101,96^\circ} = -0,53 - j2,48 \text{ А.}$$

$$\dot{I}_C = \underline{Y}_C \dot{U}_C = 0,02e^{j36,86^\circ} \cdot 288,1e^{j79,3^\circ} = 5,76e^{j116,16^\circ} = -2,54 + j5,17 \text{ А.}$$

* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:

Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.

15. Как и в предыдущих частях примера определим активную, реактивную и полную мощности трёхфазной цепи.

$$P_A = U_A I_A \cos\varphi_A = 407,3 \cdot 4,07 \cdot \cos(53,13^\circ) = 994,6 \text{ Вт};$$

$$P_B = U_B I_B \cos\varphi_B = 127,1 \cdot 2,54 \cdot \cos(36,86^\circ) = 258,3 \text{ Вт};$$

$$P_C = U_C I_C \cos\varphi_C = 288,1 \cdot 5,76 \cdot \cos(-36,86^\circ) = 1327,7 \text{ Вт};$$

$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C = 2580,6 \text{ Вт}.$$

$$Q_A = U_A I_A \sin\varphi_A = 407,3 \cdot 4,07 \cdot \sin(53,13^\circ) = 1326,1 \text{ вар};$$

$$Q_B = U_B I_B \sin\varphi_B = 127,1 \cdot 2,54 \cdot \sin(36,86^\circ) = 193,6 \text{ вар};$$

$$Q_C = U_C I_C \sin\varphi_C = 288,1 \cdot 5,76 \cdot \sin(-36,86^\circ) = -995,4 \text{ вар};$$

$$Q_{3\phi} = Q_A + Q_B + Q_C = 524,3 \text{ вар}.$$

$$\underline{S}_{3\phi} = P_{3\phi} + jQ_{3\phi} = 2580,6 + 524,3j \text{ ВА}.$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2} = \sqrt{2580,6^2 + 524,3^2} = 2633,3 \text{ ВА}.$$

16. Векторная диаграмма токов и напряжений трёхфазной электрической цепи при обрыве нейтрального провода представлена на рис. 3.10*. Масштаб: 1 см = 40 В; 1 см = 1 А.

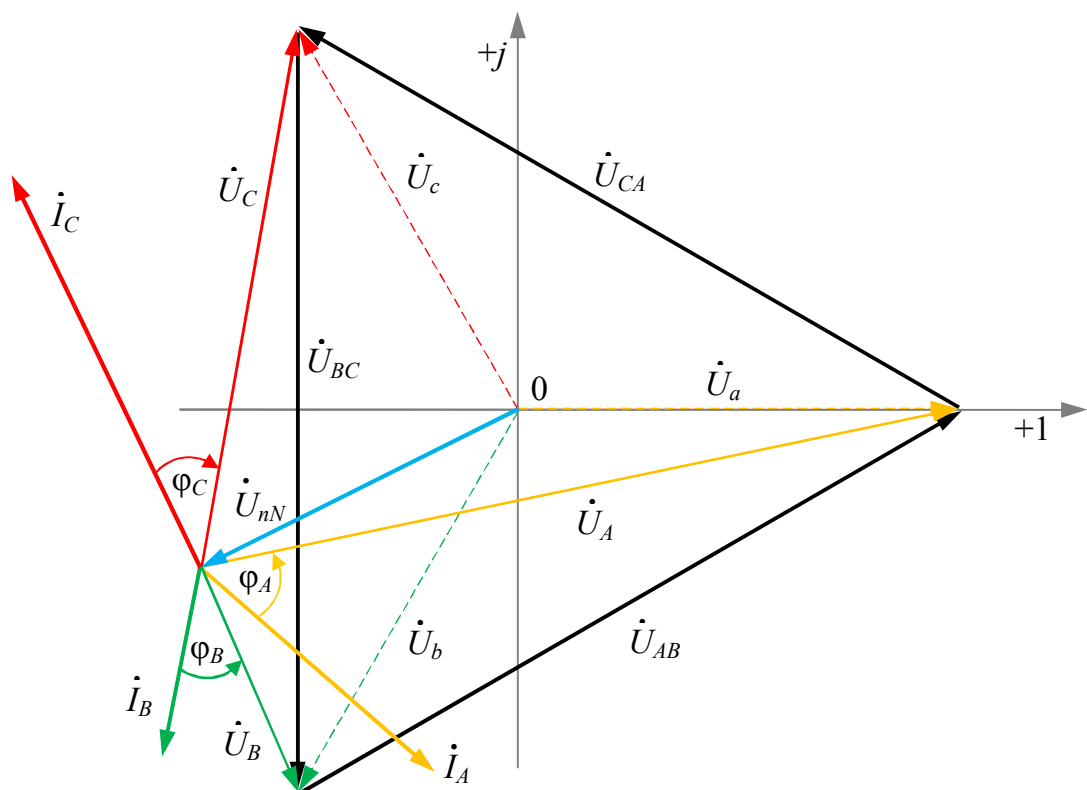


Рис. 3.10. Векторная диаграмма трёхфазной электрической цепи при обрыве нейтрального провода

* ссылки на номера формул и рисунков из учебно-методического пособия:
Лазута, И. В. Расчёт и анализ электрических цепей и устройств : учебно-методическое пособие / И.В. Лазута, И.А. Реброва. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019.