

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра теоретических основ электротехники

Типовой расчёт №2  
«РАСЧЁТ СЛОЖНОЙ ЦЕПИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО  
СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА»  
Шифр студента №750501-10

Проверил:  
Батюков С. В.

Выполнил:  
ст.гр.750501  
Жуковский О.В.

Минск 2018

# 1 Исходные данные

Таблица 1.1 – Исходные данные для решения задачи

Номер ветви	Начало-конец	Сопротивления			Источники ЭДС		Источники тока	
		R	XL	XC	модуль	аргумент	модуль	аргумент
1	24	84	0	0	0	0	0	0
2	41	0	11	91	0	0	0	0
3	16	11	0	67	0	0	0	0
4	63	0	52	0	0	0	0	0
5	35	0	54	18	0	0	0	0
6	52	33	0	77	47	212	0	0
7	43	69	0	0	0	0	0	0
8	12	0	47	0	0	0	0	0

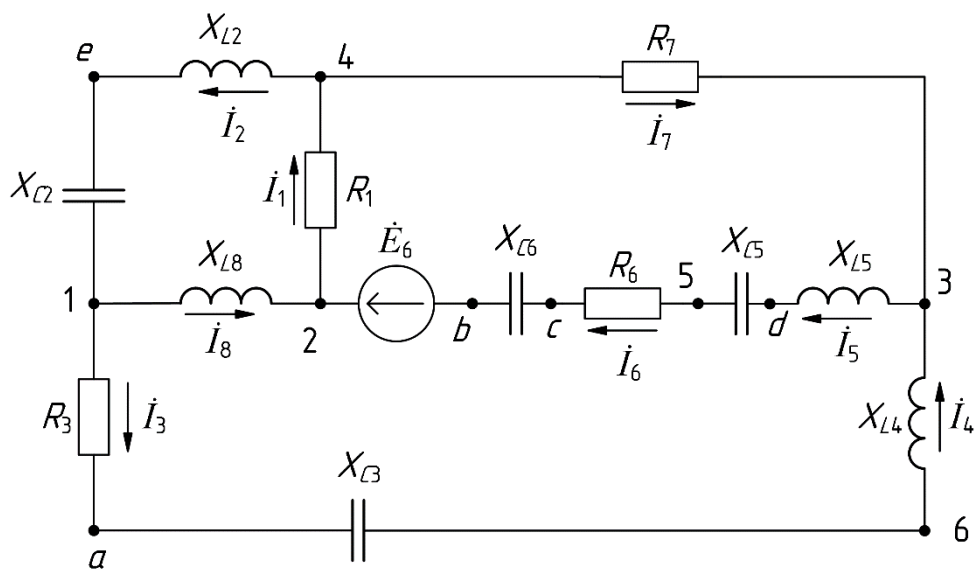


Рисунок 1.1 – Схема, заданная по условию

## 2 Расчёт методом эквивалентных преобразований токов во всех ветвях.

Определяем комплексные сопротивления каждой из ветвей (см. рисунок 1.2)

$$Z_1 = R_1 = 84 \text{ Ом},$$

$$Z_2 = jX_{L2} - jX_{C2} = j11 - j91 = -80j \text{ Ом},$$

$$Z_3 = R_3 - jX_{C3} = 11 - 67j \text{ Ом},$$

$$Z_4 = jX_{L4} = 52j \text{ Ом},$$

$$Z_5 = jX_{L5} - jX_{C5} = j54 - j18 = 36j \text{ Ом},$$

$$Z_6 = R_6 - jX_{C6} = 33 - 77j \text{ Ом},$$

$$Z_7 = R_7 = 69 \text{ Ом},$$

$$Z_8 = jX_{L8} = 47j \text{ Ом}.$$

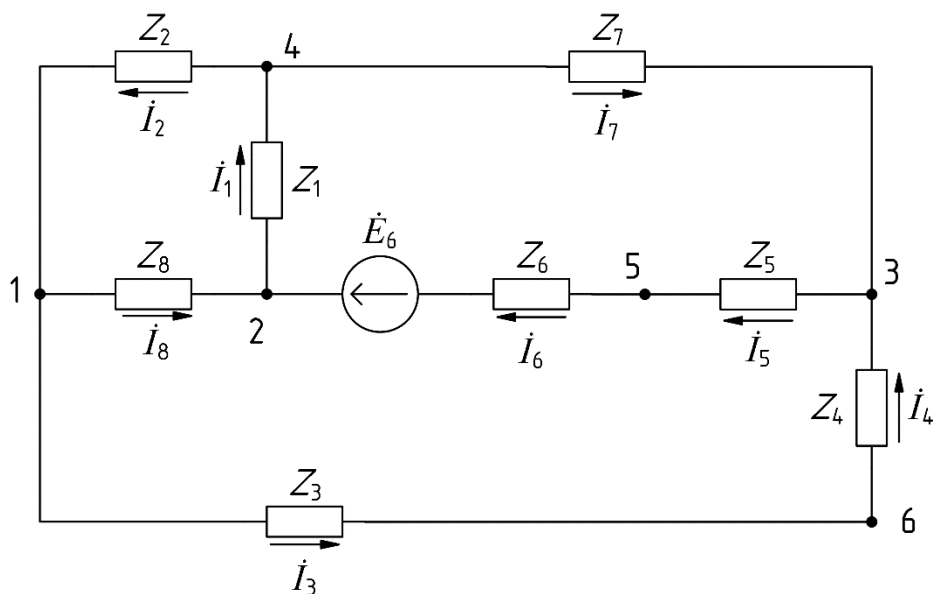


Рисунок 1.2

Объединяем комплексные сопротивления (см. рисунок 1.3)

$$Z_{56} = Z_6 + Z_5 = 33 - 77j + 36j = 33 - 41j \text{ Ом},$$

$$Z_{34} = Z_3 + Z_4 = 11 - 67j + 52j = 11 - 15j \text{ Ом}.$$

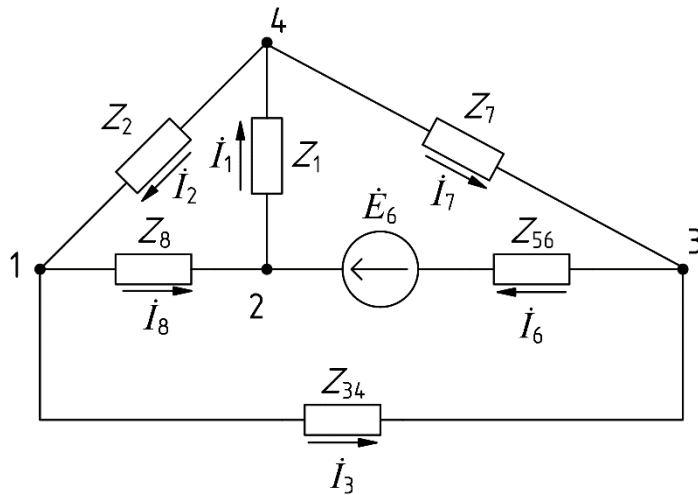


Рисунок 1.3

Преобразуем пассивный треугольник 1-4-2 в звезду (см. рисунок 1.4)

$$Z_{81} = \frac{Z_8 \cdot Z_1}{Z_8 + Z_1 + Z_2} = \frac{47j \cdot 84}{47j + 84 - 80j} = -15,996 + 40,716j \text{ Ом},$$

$$Z_{82} = \frac{Z_8 \cdot Z_2}{Z_8 + Z_1 + Z_2} = \frac{47j \cdot (-80j)}{47j + 84 - 80j} = 38,777 + 15,234j \text{ Ом},$$

$$Z_{21} = \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_8 + Z_1 + Z_2} = \frac{(-80j) \cdot 84}{47j + 84 - 80j} = 27,227 - 69,304j \text{ Ом}.$$

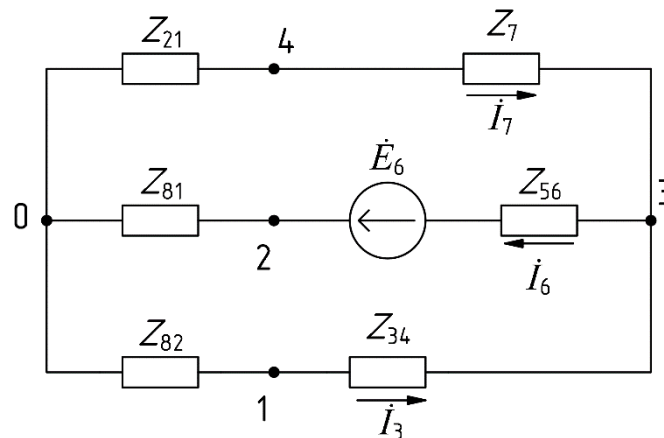


Рисунок 1.4

Объединяем комплексные сопротивления (см. рисунок 1.5)

$$Z_{217} = Z_{21} + Z_7 = 27,227 - 69,304j + 69 = 96,227 - 69,304j \text{ Ом},$$

$$Z_{8156} = Z_{81} + Z_{56} = -15,996 + 40,716j + 33 - 41j = 17,004 - 0,284j \text{ Ом},$$

$$Z_{8234} = Z_{82} + Z_{34} = 38,777 + 15,234j + 11 - 15j = 49,777 + 0,234j \text{ Ом}.$$

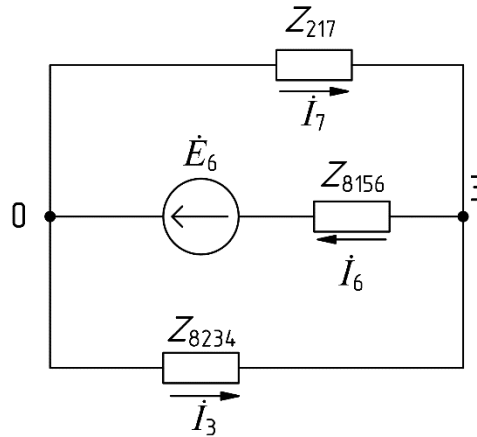


Рисунок 1.5

Сопротивление пассивной части цепи относительно источника ЭДС находим как

$$Z_{\text{вх}} = \frac{Z_{217} \cdot Z_{8234}}{Z_{217} + Z_{8234}} + Z_{8156} = \frac{(96,227 - 69,304j) \cdot (49,777 + 0,234j)}{96,227 - 69,304j + 49,777 + 0,234j} +$$

$$+ 17,004 - 0,284j = 52,976 - 6,74j = 53,403e^{-7,251^\circ j} \text{ Ом}.$$

Определяем токи  $\dot{I}_6, \dot{I}_7, \dot{I}_3, \dot{I}_4, \dot{I}_5$  в ветвях электрической схемы, заданной по условию

$$\dot{I}_6 = \dot{I}_5 = \frac{\dot{E}_6}{Z_{\text{вх}}} = \frac{47e^{212^\circ j}}{53,403e^{-7,251^\circ j}} = -0,682 - 0,557j = 0,88e^{-140,749^\circ j} \text{ А},$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_7 &= \dot{I}_6 \cdot \frac{Z_{8234}}{Z_{217} + Z_{8234}} = (-0,682 - 0,557j) \cdot \frac{49,777 + 0,234j}{96,227 - 69,304j + 49,777 + 0,234j} = \\ &= -0,115 - 0,245j = 0,271e^{-115,162^\circ j} \text{ А}, \end{aligned}$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_4 = \dot{I}_6 \cdot \frac{Z_{217}}{Z_{217} + Z_{8234}} = (-0,682 - 0,557j) \cdot \frac{96,227 - 69,304j}{96,227 - 69,304j + 49,777 + 0,234j} =$$

$$= -0,566 - 0,311j = 0,646e^{-151,194^\circ} \text{ A.}$$

Определяем напряжение между узлами 4 и 2

$$\dot{U}_{42} = -\dot{I}_6 \cdot Z_{81} - \dot{I}_7 \cdot Z_{21} = (-0,682 - 0,557j) \cdot (-15,996 + 40,716j) -$$

$$-(-0,115 - 0,245j) \cdot (27,227 - 69,304j) = -13,42 + 17,533j = 22,08e^{127,431^\circ} \text{ В.}$$

Определяем ток  $\dot{I}_1$

$$\dot{I}_1 = \frac{-\dot{U}_{42}}{Z_1} = \frac{-22,08e^{127,431^\circ} j}{84} = 0,263e^{-52,569^\circ} j = 0,16 - 0,209j \text{ A.}$$

По первому закону Кирхгофа определяем токи  $\dot{I}_2$  и  $\dot{I}_8$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 - \dot{I}_7 = 0,16 - 0,209j - (-0,115 - 0,245j) = 0,275 + 0,037j =$$

$$= 0,278e^{7,612^\circ} \text{ A,}$$

$$\dot{I}_8 = \dot{I}_1 - \dot{I}_6 = 0,16 - 0,209j - (-0,682 - 0,557j) = 0,841 + 0,348j =$$

$$= 0,91e^{22,479^\circ} \text{ A.}$$

Записываем мгновенные значения всех токов

$$i_1 = \sqrt{2} \cdot 0,263 \cdot \sin(w \cdot t - 52,569^\circ) \text{ A,}$$

$$i_2 = \sqrt{2} \cdot 0,278 \cdot \sin(w \cdot t + 7,612^\circ) \text{ A,}$$

$$i_3 = \sqrt{2} \cdot 0,646 \cdot \sin(w \cdot t - 151,194^\circ) \text{ A,}$$

$$i_4 = \sqrt{2} \cdot 0,646 \cdot \sin(w \cdot t - 151,194^\circ) \text{ A,}$$

$$i_5 = \sqrt{2} \cdot 0,88 \cdot \sin(w \cdot t - 140,749^\circ) \text{ A,}$$

$$i_6 = \sqrt{2} \cdot 0,88 \cdot \sin(w \cdot t - 140,749^\circ) \text{ A},$$

$$i_7 = \sqrt{2} \cdot 0,271 \cdot \sin(w \cdot t - 115,162^\circ) \text{ A},$$

$$i_8 = \sqrt{2} \cdot 0,91 \cdot \sin(w \cdot t + 22,479^\circ) \text{ A}.$$

3 Расчёт баланса мощностей.

Определяем комплексную мощность, отдаваемую источником ЭДС

$$\dot{S}_{\text{ист}} = \dot{E}_6 \cdot \dot{I}_6^* = (-39,858 - 24,906j) \cdot (-0,682 + 0,557j) = 41,034 - 5,221j \text{ ВА},$$

$$P_{\text{ист}} = \text{Re}(\dot{S}_{\text{ист}}) = 41,034 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{ист}} = \text{Im}(\dot{S}_{\text{ист}}) = -5,221 \text{ Вт}.$$

Активная мощность, рассеиваемая на активных сопротивлениях цепи:

$$\begin{aligned} P_{\text{потр}} &= |\dot{I}_1|^2 R_1 + |\dot{I}_3|^2 \cdot R_3 + |\dot{I}_6|^2 \cdot R_6 + |\dot{I}_7|^2 \cdot R_7 = \sqrt{0,16^2 + (-0,209)^2} \cdot 84 + \\ &+ \sqrt{(-0,566)^2 + (-0,311)^2} \cdot 11 + \sqrt{(-0,682)^2 + (-0,557)^2} + \\ &+ \sqrt{(-0,115)^2 + (-0,245)^2} \cdot 69 = 41,034 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Реактивную мощность нагрузки определяем выражением

$$\begin{aligned} Q_{\text{пр}} &= |\dot{I}_2|^2 \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + |\dot{I}_3|^2 \cdot (-X_{C3}) + |\dot{I}_4|^2 \cdot X_{L4} + |\dot{I}_5|^2 \cdot (X_{L5} - X_{C5}) + \\ &+ |\dot{I}_6|^2 \cdot (-X_{C6}) + |\dot{I}_8|^2 \cdot X_{L8} = 0,278^2 \cdot (11 - 91) + 0,646^2 \cdot (-67) + 0,646^2 \cdot 52 + \\ &+ 0,88^2 \cdot (54 - 18) + 0,88^2 \cdot (-77) + 0,91^2 \cdot 47 = -5,221 \text{ ВАр}, \end{aligned}$$

$$\dot{S}_{\text{потр}} = P_{\text{потр}} + jQ_{\text{пр}} = 41,034 - 5,221j \text{ ВА}.$$

Таким образом, активные и реактивные мощности с высокой степенью точности оказываются равными между собой.

4 Векторная диаграмма токов и совмещенная с ней топографическая векторная диаграмма напряжений.

На исходной схеме выбираем узел 1 как узел с нулевым потенциалом:

$$\dot{\phi}_1 = 0 \text{ В},$$

Определяем потенциалы остальных точек:

$$\dot{\phi}_a = \dot{\phi}_1 - \dot{I}_3 \cdot R_3 = 0 - (-0,566 - 0,311j) \cdot 11 = 6,228 + 3,425j = 7,108e^{28,806^\circ} \text{ В},$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_6 &= \dot{\phi}_a + \dot{I}_3 \cdot jX_{C3} = 6,228 + 3,425j + (-0,566 - 0,311j) \cdot 67j = 27,089 - 34,511j = \\ &= 43,873e^{-51,87^\circ} \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_3 &= \dot{\phi}_6 - \dot{I}_4 \cdot jX_{L4} = 27,089 - 34,511j - (-0,566 - 0,311j) \cdot 52j = 10,899 - 5,068j = \\ &= 12,019e^{-24,94^\circ} \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_2 &= \dot{\phi}_1 - \dot{I}_8 \cdot jX_{L8} = 0 - (0,841 + 0,348j) \cdot 47j = 16,362 - 39,541j = \\ &= 42,792e^{-67,521^\circ} \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_b &= \dot{\phi}_2 - \dot{E}_6 = 16,362 - 39,541j - (-39,858 - 24,906j) = 56,22 - 14,635j = \\ &= 58,093e^{-14,591^\circ} \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_c &= \dot{\phi}_b - \dot{I}_6 \cdot jX_{C6} = 56,22 - 14,635j - (-0,682 - 0,557j) \cdot 77j = 13,342 + 37,843j = \\ &= 40,126e^{70,579^\circ} \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_5 &= \dot{\phi}_c + \dot{I}_6 \cdot R_6 = 13,342 + 37,843j + (-0,682 - 0,557j) \cdot 33 = -9,148 + 19,467j = \\ &= 21,509e^{115,17^\circ} \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_d &= \dot{\phi}_5 - \dot{I}_5 \cdot jX_{C5} = -9,148 + 19,467j - (-0,682 - 0,557j) \cdot 18j = -19,171 + 31,734j = \\ &= 37,076e^{121,137^\circ} \text{ В}, \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\dot{\phi}_3 &= \dot{\phi}_d + \dot{I}_5 \cdot jX_{L5} = -19,171 + 31,734j + (-0,682 - 0,557j) \cdot 54j = \\ &= 10,899 - 5,068j = 12,019e^{-24,94^\circ} \text{ В},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_4 &= \dot{\phi}_3 + \dot{I}_7 \cdot R_7 = 10,899 - 5,068j + (-0,115 - 0,245j) \cdot 69 = 2,941 - 22,007j = \\ &= 22,203e^{-82,388^\circ} \text{ В},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_e &= \dot{\phi}_4 - \dot{I}_2 \cdot jX_{L2} = 2,941 - 22,007j - (0,275 + 0,037j) \cdot 11j = \\ &= 3,346 - 25,033j = 25,256e^{-82,388^\circ} \text{ В},\end{aligned}$$

$$\dot{\phi}_1 = \dot{\phi}_e + \dot{I}_2 \cdot jX_{C2} = 3,346 - 25,033j + (0,275 + 0,037j) \cdot 91j = 0 \text{ В},$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_4 &= \dot{\phi}_2 - \dot{I}_1 \cdot R_1 = 16,362 - 39,541j - (0,16 - 0,209j) \cdot 84 = 2,941 - 22,007j = \\ &= 22,203e^{-82,388^\circ} \text{ В}.\end{aligned}$$

Векторная диаграмма представлена на рисунке 1.6.

Масштаб: для значений потенциалов – 1:1, для значений токов – 100:1.

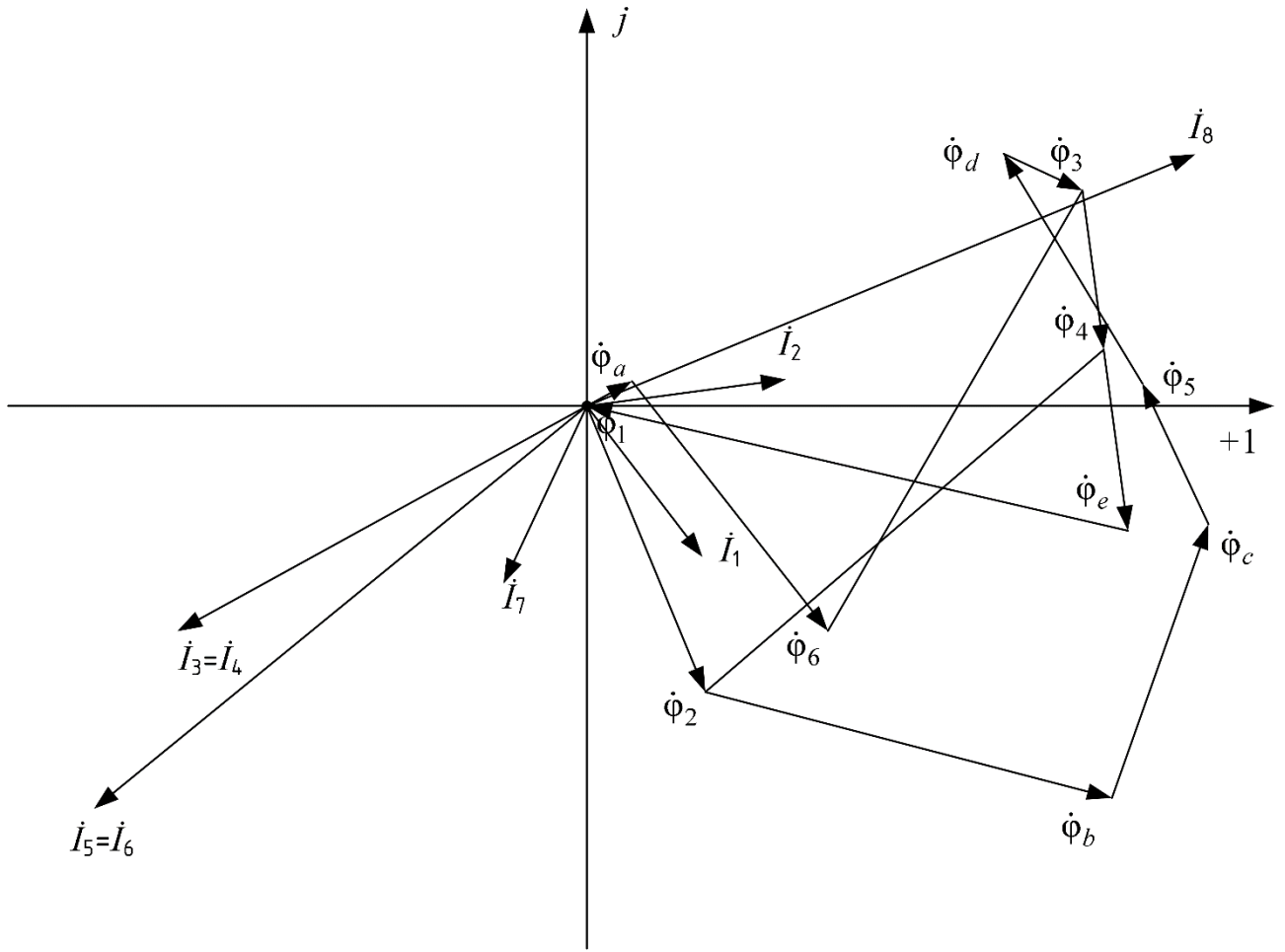


Рисунок 1.6

## 5 Определение токов в ветвях исходной схемы методом законов Кирхгофа.

Учитывая наличие индуктивной связи между индуктивностями  $L_5$  и  $L_4$ , записываем уравнения по законам Кирхгофа в комплексной форме для электрической схемы, заданной по условию, и получаем систему уравнений, имеющую вид

$$\begin{cases} \dot{I}_2 - \dot{I}_3 - \dot{I}_8 = 0, \\ \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_7 = 0, \\ -\dot{I}_1 + \dot{I}_6 + \dot{I}_8 = 0, \\ \dot{I}_1 \cdot R_1 + \dot{I}_2 \cdot jX_{L2} - \dot{I}_2 \cdot jX_{C2} + \dot{I}_8 \cdot jX_{L8} = 0, \\ \dot{I}_1 \cdot R_1 + \dot{I}_6 \cdot jX_{L5} - \dot{I}_6 \cdot jX_{C5} + \dot{I}_6 \cdot R_6 - \dot{I}_6 jX_{C6} + \dot{I}_7 \cdot R_7 - \dot{I}_4 \cdot j \cdot w \cdot M = \dot{E}_6, \\ \dot{I}_3 \cdot R_3 - \dot{I}_3 \cdot jX_{C3} + \dot{I}_4 \cdot jX_{L4} - \dot{I}_7 \cdot R_7 + \dot{I}_2 \cdot jX_{L2} - \dot{I}_2 \cdot jX_{C2} - \dot{I}_5 \cdot j \cdot w \cdot M = 0. \end{cases}$$

Система уравнений с подставленными числовыми значениями имеет вид

$$\begin{cases} \dot{I}_2 - \dot{I}_3 - \dot{I}_8 = 0, \\ \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_7 = 0, \\ -\dot{I}_1 + \dot{I}_6 + \dot{I}_8 = 0, \\ \dot{I}_1 \cdot 84 + \dot{I}_2 \cdot (-80j) + \dot{I}_8 \cdot 47j = 0, \\ \dot{I}_1 \cdot 84 + \dot{I}_6 \cdot (33 - 41j) + \dot{I}_7 \cdot 69 = -39,858 - 24,906j, \\ \dot{I}_2 \cdot (-80j) + \dot{I}_3 \cdot (11 - 15j) - \dot{I}_7 \cdot 69 = 0. \end{cases}$$

Решая данную систему (см .Приложение А), находим токи в ветвях схемы

$$\dot{I}_1 = 0,16 - 0,209j \text{ A},$$

$$\dot{I}_2 = 0,275 + 0,037j \text{ A},$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_4 = -0,566 - 0,311j \text{ A},$$

$$\dot{I}_6 = \dot{I}_5 = -0,682 - 0,557j \text{ A},$$

$$\dot{I}_7 = -0,115 - 0,245j \text{ A},$$

$$\dot{I}_8 = 0,841 + 0,348j \text{ A}.$$

6 Определение токов в ветвях исходной схемы методом контурных токов.

Схема с заданными направлениями контурных токов представлена на рисунке 1.7.

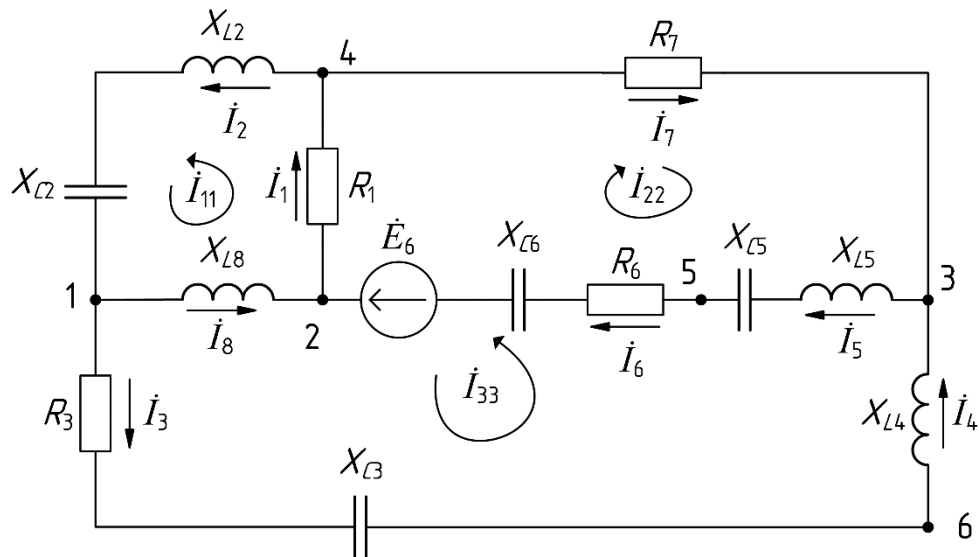


Рисунок 1.7

Система уравнений по методу контурных токов имеет вид

$$\begin{cases} \dot{I}_{11} \cdot (R_1 + jX_{L2} - jX_{C2} + jX_{L8}) + \dot{I}_{22} \cdot R_1 + \dot{I}_{33} \cdot (jX_{L2} - jX_{C2}) = 0, \\ \dot{I}_{11} \cdot R_1 + \dot{I}_{22}(R_7 + jX_{L5} - jX_{C5} + R_6 - jX_{C6} + R_1) - \dot{I}_{33} \cdot R_7 = \dot{E}_6, \\ \dot{I}_{11} \cdot (jX_{L2} - jX_{C2}) - \dot{I}_{22} \cdot R_7 + \dot{I}_{33} \cdot (R_3 - jX_{C3} + jX_{L4} + R_7 + jX_{L2} - jX_{C2}) = 0. \end{cases}$$

Система уравнений выше с подставленными числовыми значениями имеет вид

$$\begin{cases} \dot{I}_{11} \cdot (84 - 33j) + \dot{I}_{22} \cdot 84 + \dot{I}_{33} \cdot (-80j) = 0, \\ \dot{I}_{11} \cdot 84 + \dot{I}_{22}(186 - 41j) - \dot{I}_{33} \cdot (-69) = -39,858 - 24,906j, \\ \dot{I}_{11} \cdot (-80j) - \dot{I}_{22} \cdot (-69) + \dot{I}_{33} \cdot (80 - 95j) = 0. \end{cases}$$

Решаем данную систему (см. Приложение Б) и получаем величины контурных токов

$$\dot{I}_{11} = 0,841 + 0,348j \text{ A},$$

$$\dot{I}_{22} = -0,682 - 0,557j \text{ A},$$

$$\dot{I}_{33} = -0,566 - 0,311j \text{ A}.$$

Далее выражаем токи в ветвях исходной схемы через контурные токи

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{11} + \dot{I}_{22} = 0,841 + 0,348j + (-0,682 - 0,557j) = 0,16 - 0,209j \text{ A},$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{11} + \dot{I}_{33} = 0,841 + 0,348j + (-0,566 - 0,311j) = 0,275 + 0,037j \text{ A},$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_4 = \dot{I}_{33} = -0,566 - 0,311j \text{ A},$$

$$\dot{I}_5 = \dot{I}_6 = \dot{I}_{22} = -0,682 - 0,557j \text{ A},$$

$$\dot{I}_7 = \dot{I}_{22} - \dot{I}_{33} = -0,682 - 0,557j - (-0,566 - 0,311j) = -0,115 - 0,245j \text{ A},$$

$$\dot{I}_8 = \dot{I}_{11} = 0,841 + 0,348j \text{ A}.$$

7 Определение токов в ветвях исходной схемы методом узловых напряжений.

Выбираем узел 1 как базовый ( $\dot{\phi}_1 = 0$ ).

Система уравнений по методу узловых напряжений имеет вид

$$\begin{cases} \dot{U}_{21} \cdot Y_{22} - \dot{U}_{31} \cdot Y_{23} - \dot{U}_{41} \cdot Y_{24} = \frac{\dot{E}_6}{-jX_{C6} + R_6 - jX_{C5} + jX_{L5}}, \\ -\dot{U}_{21} \cdot Y_{32} + \dot{U}_{31} \cdot Y_{33} - \dot{U}_{41} \cdot Y_{34} = \frac{-\dot{E}_6}{-jX_{C6} + R_6 - jX_{C5} + jX_{L5}}, \\ -\dot{U}_{21} \cdot Y_{42} - \dot{U}_{31} \cdot Y_{43} + \dot{U}_{41} \cdot Y_{44} = 0. \end{cases}$$

Собственные и взаимные комплексные проводимости узлов

$$Y_{22} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{jX_{L8}} + \frac{1}{-jX_{C6} + R_6 - jX_{C5} + jX_{L5}} = \frac{1}{84} + \frac{1}{47j} +$$

$$+ \frac{1}{-77j + 33 - 18j + 54j} = 0,024 - 0,006j \text{ См},$$

$$Y_{33} = \frac{1}{R_7} + \frac{1}{-jX_{C6} + R_6 - jX_{C5} + jX_{L5}} + \frac{1}{R_3 - jX_{C3} + jX_{L4}} =$$

$$= \frac{1}{69} + \frac{1}{-77j + 33 - 18j + 54j} + \frac{1}{11 - 18j + 52j} = 0,058 + 0,058j \text{ См},$$

$$Y_{44} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{-jX_{C2} + jX_{L2}} = \frac{1}{84} + \frac{1}{69} + \frac{1}{-91j + 11j} = 0,026 + 0,013j \text{ См},$$

$$Y_{23} = Y_{32} = \frac{1}{-jX_{C6} + R_6 - jX_{C5} + jX_{L5}} = \frac{1}{-77j + 33 - 18j + 54j} =$$

$$= 0,012 + 0,015j \text{ См},$$

$$Y_{24} = Y_{42} = \frac{1}{R_1} = 0,012 \text{ См},$$

$$Y_{34} = Y_{43} = \frac{1}{R_7} = 0,014 \text{ См},$$

Система уравнений по методу узловых напряжений с подставленными числовыми значениями имеет вид

$$\begin{cases} \dot{U}_{21} \cdot (0,024 - 0,006j) - \dot{U}_{31} \cdot (-0,012 - 0,015j) - \dot{U}_{41} \cdot (-0,012) = -0,106 - 0,887j, \\ -\dot{U}_{21} \cdot (-0,012 - 0,015j) + \dot{U}_{31} \cdot (0,058 + 0,058j) - \dot{U}_{41} \cdot (-0,014) = -0,014, \\ -\dot{U}_{21} \cdot (-0,012) - \dot{U}_{31} \cdot (-0,014) + \dot{U}_{41} \cdot (0,026 + 0,013j) = 0. \end{cases}$$

Решаем данную систему (см. Приложение В) и получаем значения искомых напряжений:

$$\dot{U}_{21} = 16,362 - 39,541j \text{ В},$$

$$\dot{U}_{31} = 10,899 - 5,068j \text{ В},$$

$$\dot{U}_{41} = 2,941 - 22,007j \text{ В}.$$

Определяем токи во всех ветвях с помощью закона Ома в комплексной форме:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{21} - \dot{U}_{41}}{R_1} = \frac{16,362 - 39,541j - (2,941 - 22,007j)}{84} = 0,16 - 0,209j \text{ А},$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{41}}{jX_{L2} - jX_{C2}} = \frac{2,941 - 22,007j}{11j - 91j} = 0,275 + 0,037j \text{ A},$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_4 = \frac{-\dot{U}_{31}}{R_3 - jX_{C3} + jX_{L4}} = \frac{-(10,899 - 5,068j)}{11 - 67j + 52j} = -0,566 - 0,311j \text{ A},$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_5 = \dot{I}_6 &= \frac{\dot{U}_{31} - \dot{U}_{21} + \dot{E}_6}{jX_{L5} - jX_{C5} + R_6 - jX_{C6}} = \\ &= \frac{10,899 - 5,068j - (16,362 - 39,541j) + (-39,858 - 24,906j)}{54j - 18j + 33 - 77j} = -0,682 - 0,557j \text{ A}, \end{aligned}$$

$$\dot{I}_7 = \frac{\dot{U}_{41} - \dot{U}_{31}}{R_7} = \frac{2,941 - 22,007j - (10,899 - 5,068j)}{69} = -0,115 - 0,245j \text{ A},$$

$$\dot{I}_8 = \frac{-\dot{U}_{21}}{jX_{L8}} = \frac{-(16,362 - 39,541j)}{47j} = 0,841 + 0,348j \text{ A}.$$

8 Определение тока в ветви 6 методом эквивалентного генератора напряжения.

На схеме, заданной по условию, разомкнём исследуемую ветвь на зажимах  $a$  и  $b$ . Полученная схема представлена на рисунке 1.8.

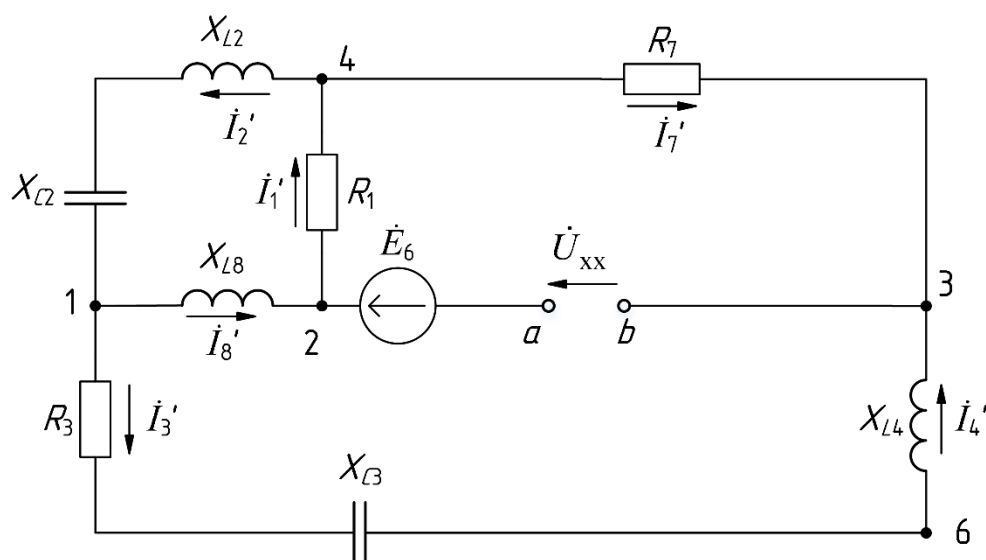


Рисунок 1.8

Напряжение  $\dot{U}_{xx}$  находим по формуле

$$\dot{U}_{xx} = \dot{E}_6 = -39,858 - 24,906j = 47e^{212^\circ j} \text{ В.}$$

Для нахождения сопротивления эквивалентного генератора заменяем все источники ЭДС короткозамкнутыми участками. Объединяем комплексные сопротивления как в пункте 2 (см. рисунок 1.9)

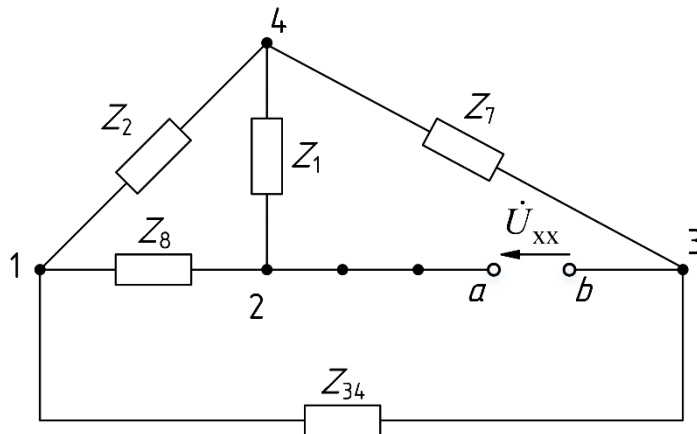


Рисунок 1.9

Преобразование пассивного треугольника 1-4-2 в эквивалентную звезду (см. рисунок 1.10)

$$Z_{81} = \frac{Z_8 \cdot Z_1}{Z_8 + Z_1 + Z_2} = \frac{47j \cdot 84}{47j + 84 - 80j} = -15,996 + 40,716j \text{ Ом,}$$

$$Z_{82} = \frac{Z_8 \cdot Z_2}{Z_8 + Z_1 + Z_2} = \frac{47j \cdot (-80j)}{47j + 84 - 80j} = 38,777 + 15,234j \text{ Ом,}$$

$$Z_{21} = \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_8 + Z_1 + Z_2} = \frac{(-80j) \cdot 84}{47j + 84 - 80j} = 27,227 - 69,304j \text{ Ом.}$$



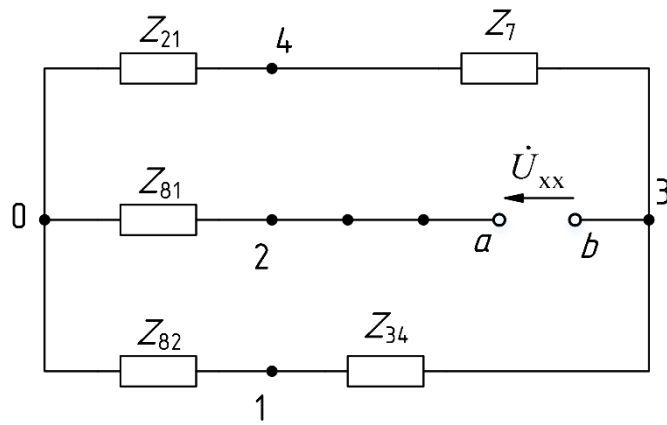


Рисунок 1.10

Эквивалентное сопротивление пассивной части цепи относительно источника ЭДС находим как

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{ген}} &= \frac{(Z_{21} + Z_7) \cdot (Z_{82} + Z_{34})}{Z_{21} + Z_7 + Z_{82} + Z_{34}} + Z_{81} = \\
 &= \frac{(27,227 - 69,304j + 69) \cdot (38,777 + 15,234j + 11 - 15j)}{27,227 - 69,304j + 69 + 38,777 + 15,234j + 11 - 15j} + \\
 &+ (-15,996 + 40,716j) = 19,976 + 34,26j = 39,658e^{59,754^\circ j} \text{ Ом.}
 \end{aligned}$$

Ток в искомой ветви схемы находим как

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_5 &= \frac{\dot{U}_{\text{xx}}}{R_{\text{ген}} + jX_{L5} - jX_{C5} + R_6 - jX_{C6}} = \frac{-39,858 - 24,906j}{19,976 + 34,26j + 54j - 18j + 33 - 77j} = \\
 &= \frac{-39,858 - 24,906j}{19,976 + 34,26j + 54j - 18j + 33 - 77j} = -0,682 - 0,557j \text{ А.}
 \end{aligned}$$

Таблица 1.2 – Ответы

	Алгебраическая форма		Показательная форма	
	Re	Im	Модуль.	$\varphi$ , град
ток $I_1$	0,16	-0,209	0,263	-52,569
ток $I_2$	0,275	0,037	0,278	7,612
ток $I_3$	-0,566	-0,311	0,646	-151,194
ток $I_4$	-0,566	-0,311	0,646	-151,194
ток $I_5$	-0,682	-0,557	0,88	-140,749
ток $I_6$	-0,682	-0,557	0,88	-140,749
ток $I_7$	-0,115	-0,245	0,271	-115,162
ток $I_8$	0,841	0,348	0,91	22,479
Мощность $S_{\text{ист}}$	41,034	-5,221	41,364	-7,251
Мощность $S_{\text{потр}}$	41,034	-5,221	41,364	-7,251
$U_{\text{xx}}$	-39,858	-24,906	47	212
$Z_{\text{ген}}$	19,976	34,26	39,658	59,754

# ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)

## Метод законов Кирхгофа

Исходные данные

$$R1 := 84 \quad X_{c2} := 91$$

$$X_{l2} := 11 \quad X_{c3} := 67$$

$$R3 := 11 \quad X_{c5} := 18$$

$$X_{l4} := 52 \quad X_{c6} := 77$$

$$X_{l5} := 54 \quad E6 := 47 \cdot e^{1j \cdot 212 \text{ deg}}$$

$$R6 := 33$$

$$R7 := 69$$

$$X_{l8} := 47$$

Системы коэффициентов А и В

$$A := \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ R1 & 1j \cdot X_{l2} - 1j \cdot X_{c2} & 0 & 0 & 0 & 1j \cdot X_{l8} \\ R1 & 0 & 0 & 1j \cdot X_{l5} - 1j \cdot X_{c5} + R6 - 1j \cdot X_{c6} & R7 & 0 \\ 0 & 1j \cdot X_{l2} - 1j \cdot X_{c2} & R3 - 1j \cdot X_{c3} + 1j \cdot X_{l4} & 0 & -R7 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ E6 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -39.858 - 24.906i \\ 0 \end{bmatrix}$$

Решение системы уравнений

$$X := A^{-1} \cdot B = \begin{bmatrix} 0.263 \angle -52.569^\circ \\ 0.278 \angle 7.612^\circ \\ 0.646 \angle -151.194^\circ \\ 0.88 \angle -140.749^\circ \\ 0.271 \angle -115.162^\circ \\ 0.91 \angle 22.479^\circ \end{bmatrix}$$

$$I1 := X_{0,0} = 0.16 - 0.209j$$

$$I2:=X_{1,0}=0.275+0.037j$$

$$I3:=X_{2,0}=-0.566-0.311j$$

$$I6:=X_{3,0}=-0.682-0.557j$$

$$I7:=X_{4,0}=-0.115-0.245j$$

$$I8:=X_{5,0}=0.841+0.348j$$

$$I4:=I3$$

$$I5:=I6$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное)

### Метод контурных токов

Исходные данные

$$R1 := 84 \quad Xc2 := 91$$

$$Xl2 := 11 \quad Xc3 := 67$$

$$R3 := 11 \quad Xc5 := 18$$

$$Xl4 := 52 \quad Xc6 := 77$$

$$Xl5 := 54 \quad E6 := 47 \cdot e^{1j \cdot 212 \text{ deg}}$$

$$R6 := 33$$

$$R7 := 69$$

$$Xl8 := 47$$

Некоторые коэффициенты перед неизвестными

$$C1 := R1 + 1j \cdot Xl2 - 1j \cdot Xc2 + 1j \cdot Xl8$$

$$C2 := 1j \cdot Xl2 - 1j \cdot Xc2$$

$$C3 := R7 + 1j \cdot Xl5 - 1j \cdot Xc5 + R6 - 1j \cdot Xc6 + R1$$

$$C4 := 1j \cdot Xl2 - 1j \cdot Xc2$$

$$C5 := R3 - 1j \cdot Xc3 + 1j \cdot Xl4 + R7 + 1j \cdot Xl2 - 1j \cdot Xc2$$

Матрицы коэффициентов А и В

$$A := \begin{bmatrix} C1 & R1 & C4 \\ R1 & C3 & -R7 \\ C2 & -R7 & C5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 84 - 33i & 84 & -80i \\ 84 & 186 - 41i & -69 \\ -80i & -69 & 80 - 95i \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} 0 \\ E6 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -39.858 - 24.906i \\ 0 \end{bmatrix}$$

Решения системы

$$X := A^{-1} \cdot B = \begin{bmatrix} 0.91 \angle 22.479^\circ \\ 0.88 \angle -140.749^\circ \\ 0.646 \angle -151.194^\circ \end{bmatrix}$$

$$I11 := X_{0,0} = 0.841 + 0.348j$$

$$I22 := X_{1,0} = -0.682 - 0.557j$$

$$I33 := X_{2,0} = -0.566 - 0.311j$$

$$I1 := I11 + I22 = 0.263 \angle -52.569^\circ$$

$$I2 := I11 + I33 = 0.278 \angle 7.612^\circ$$

$$I3 := I33 = 0.646 \angle -151.194^\circ$$

$$I4 := I33 = 0.646 \angle -151.194^\circ$$

$$I5 := I22 = 0.88 \angle -140.749^\circ$$

$$I6 := I22 = 0.88 \angle -140.749^\circ$$

$$I7 := I22 - I33 = 0.271 \angle -115.162^\circ$$

$$I8 := I11 = 0.91 \angle 22.479^\circ$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)

### Метод узловых напряжений

Исходные данные

$$R1 := 84 \quad Xc2 := 91 \quad Y43 := Y34 = 0.014$$

$$Xl2 := 11 \quad Xc3 := 67$$

$$R3 := 11 \quad Xc5 := 18$$

$$Xl4 := 52 \quad Xc6 := 77$$

$$Xl5 := 54 \quad E6 := 47 \cdot e^{1j \cdot 212 \text{ deg}}$$

$$R6 := 33 \quad Xl8 := 47$$

$$R7 := 69$$

Собственные и взаимные комплексные проводимости

$$Y33 := \frac{1}{R7} + \frac{1}{-1j \cdot Xc6 + R6 - 1j \cdot Xc5 + 1j \cdot Xl5} + \frac{1}{R3 - 1j \cdot Xc3 + 1j \cdot Xl4} = 0.058 + 0.058i$$

$$Y22 := \frac{1}{R1} + \frac{1}{1j \cdot Xl8} + \frac{1}{-1j \cdot Xc6 + R6 - 1j \cdot Xc5 + 1j \cdot Xl5} = 0.024 - 0.006i$$

$$Y44 := \frac{1}{R1} + \frac{1}{R7} + \frac{1}{-1j \cdot Xc2 + 1j \cdot Xl2} = 0.026 + 0.013i$$

$$Y23 := \frac{1}{-1j \cdot Xc6 + R6 - 1j \cdot Xc5 + 1j \cdot Xl5} = 0.012 + 0.015i$$

$$Y32 := Y23$$

$$Y24 := \frac{1}{R1} = 0.012$$

$$Y42 := Y24$$

$$Y34 := \frac{1}{R7} = 0.014$$

$$A := \begin{bmatrix} Y22 & -Y23 & -Y24 \\ -Y32 & Y33 & -Y34 \\ -Y42 & -Y43 & Y44 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.024 - 0.006i & -0.012 - 0.015i & -0.012 \\ -0.012 - 0.015i & 0.058 + 0.058i & -0.014 \\ -0.012 & -0.014 & 0.026 + 0.013i \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} \frac{E6}{-1j \cdot Xc6 + R6 - 1j \cdot Xc5 + 1j \cdot Xl5} \\ -E6 \\ \frac{-E6}{-1j \cdot Xc6 + R6 - 1j \cdot Xc5 + 1j \cdot Xl5} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.106 - 0.887i \\ 0.106 + 0.887i \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$X := A^{-1} \cdot B = \begin{bmatrix} 16.362 - 39.541i \\ 10.899 - 5.068i \\ 2.941 - 22.007i \end{bmatrix}$$

Искомые комплексные напряжения

$$U21 := X_{0,0} = 16.362 - 39.541i$$

$$U31 := X_{1,0} = 10.899 - 5.068i$$

$$U41 := X_{2,0} = 2.941 - 22.007i$$

Комплексные токи

$$I1 := \frac{(U21 - U41)}{R1} = 0.16 - 0.209j$$

$$I2 := \frac{U41}{1j \cdot Xl2 - 1j \cdot Xc2} = 0.275 + 0.037j$$

$$I3 := \frac{-U31}{R3 - 1j \cdot Xc3 + 1j \cdot Xl4} = -0.566 - 0.311j$$

$$I4 := I3$$

$$I5 := \frac{(U31 - U21 + E6)}{1j \cdot Xl5 - 1j \cdot Xc5 + R6 - 1j \cdot Xc6} = -0.682 - 0.557j$$

$$I6 := I5$$

$$I7 := \frac{(U41 - U31)}{R7} = -0.115 - 0.245j$$

$$I8 := \frac{-U21}{1j \cdot Xl8} = 0.841 + 0.348j$$