

Липецкий государственный технический университет

Факультет автоматизации и информатики

Кафедра электрооборудования

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

по электротехнике и электронике

Студент

Группа

к.т.н. доцент

Шачнев О.Я.

Липецк, 2021 г.

Задание кафедры

Для схемы (рисунок 1), параметры которой приведены в таблице 1, считая, что коммутатор К замкнут:

1. Определить действующие и мгновенные значения токов во всех ветвях схемы методом непосредственного применения законов Кирхгофа.
2. Построить векторно-топографическую диаграмму.
3. Проверить энергетический баланс мощностей и определить режимы работы всех источников электрической энергии. Определить погрешность.
4. Определить показания вольтметров, включенных параллельно конденсаторам «C1» и «C2», а также катушке индуктивности «L1».
5. Определить показание амперметра, расположенного последовательно с эдс e_1 .

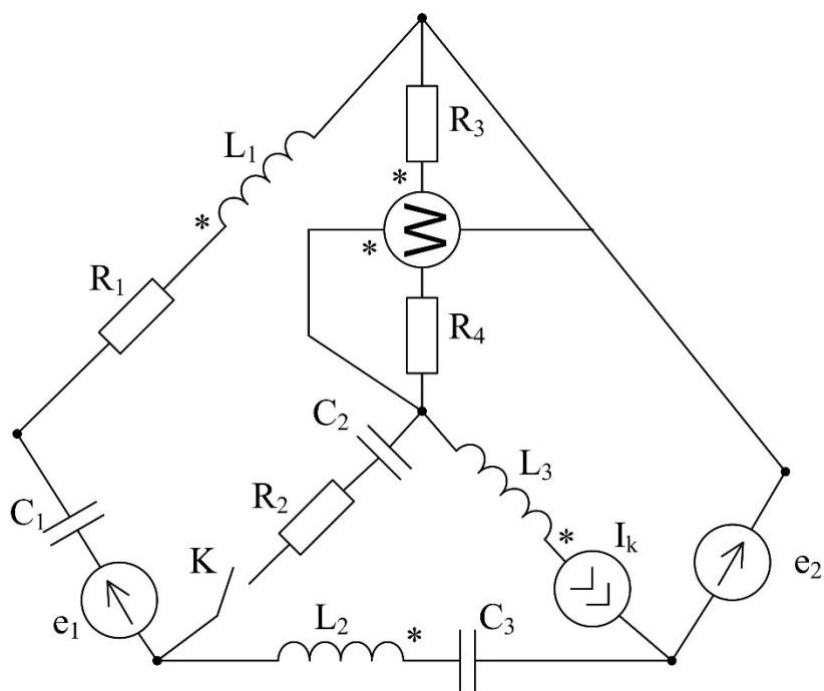


Рисунок 1 – Исходная схема

Таблица 1 - Исходные данные к индивидуальному заданию

E_{1m}	E_{2m}	I_{km}	ψ_1	ψ_2	ψ_k	f	R_1	R_2	R_3	R_4	L_1	L_2	L_3	C_1	C_2	C_3
В	В	А	град			Гц	Ом				мГн			мкФ		
180	170	20	190	-30	170	50	9	5	12	3	40	30	40	800	300	600

1. Определить действующие и мгновенные значения токов во всех ветвях схемы методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

1.1 Определение сопротивлений электрической цепи и перевод значений источников ЭДС и тока в комплексную форму.

Расчет индуктивных и емкостных сопротивлений.

$$X_{C_1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_1} = \frac{1}{314 \cdot 800 \cdot 10^{-6}} = 3,979, \text{ Ом}$$

$$X_{C_2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_2} = \frac{1}{314 \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = 10,610, \text{ Ом}$$

$$X_{C_3} = \frac{1}{\omega \cdot C_3} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_3} = \frac{1}{314 \cdot 600 \cdot 10^{-6}} = 5,305, \text{ Ом}$$

$$X_{L_1} = \omega \cdot L_1 = 2\pi \cdot f \cdot L_1 = 314 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 12,566, \text{ Ом}$$

$$X_{L_2} = \omega \cdot L_2 = 2\pi \cdot f \cdot L_2 = 314 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 9,425, \text{ Ом}$$

$$X_{L_3} = \omega \cdot L_3 = 2\pi \cdot f \cdot L_3 = 314 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 12,566, \text{ Ом}$$

Перейдем от амплитудных значений ЭДС и токов к комплексным:

$$\underline{E}_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_1} = \frac{180}{\sqrt{2}} \cdot e^{j190^\circ} = \frac{180}{\sqrt{2}} \cdot (\cos(190^\circ) + j\sin(190^\circ)) = -125,346 - 22,102j, \text{ В}$$

$$\underline{E}_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_2} = \frac{170}{\sqrt{2}} \cdot e^{-j30^\circ} = \frac{170}{\sqrt{2}} \cdot (\cos(-30^\circ) + j\sin(-30^\circ)) = 104,103 - 60,104j, \text{ В}$$

$$\underline{I}_k = \frac{I_{km}}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_k} = \frac{20}{\sqrt{2}} \cdot e^{j170^\circ} = \frac{20}{\sqrt{2}} \cdot (\cos(170^\circ) + j\sin(170^\circ)) = -13,927 + 2,456j, \text{ А}$$

Для того чтобы перейти к расчетной схеме заменим элементы исходной схемы в соответствии с методом расчета синусоидальных цепей их комплексными значениями, составим мнемосхему, рисунок 2.

Заземлим узел 1, тогда:

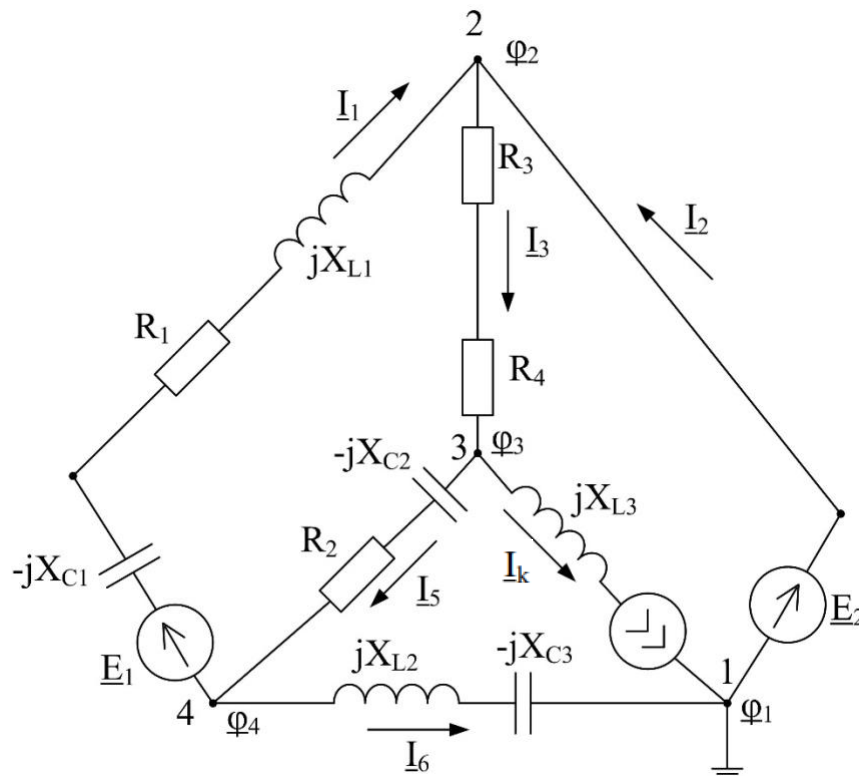


Рисунок 2 – Мнемосхема

1.2 Расчет токов в цепи

По I-му закону будет N-1 уравнений, т.е 3.

По II-му закону будет M-N+1-M_i уравнений, т.е 2.

$$\begin{cases} -I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ I_3 - I_5 - I_k = 0 \\ I_5 - I_6 - I_1 = 0 \\ -I_1(R_1 + jX_{L1} - jX_{C1}) + I_6(-jX_{C3}) = E_2 - E_1 \\ -I_5(R_2 - jX_{C2}) - I_3(R_3 + R_4) - I_1(R_1 + jX_{L1} - jX_{C1}) = -E_1 \end{cases}$$

Решив данную систему, найдем действующие значения токов во всех ветвях схемы.

$$I_1 = -3,516 + 15,126j, \text{ A}$$

$$I_2 = 2,565 - 14,030j, \text{ A}$$

$$I_3 = -0,951 + 1,096j, \text{ A}$$

$$I_k = -13,927 + 2,456j, \text{ A}$$

$$I_5 = 12,976 - 1,360j, \text{ A}$$

$$I_6 = 16,492 - 16,486j, \text{ A}$$

1.3 Мгновенные значения токов

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$I_m = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{Re}^2 + I_{Im}^2}$$

$$\varphi_i = \arctan\left(\frac{I_{Im}}{I_{Re}}\right)$$

$$i_1(t) = \sqrt{2} \cdot |-3,516 + 15,126j| \cdot \sin(50t + \arctan(\frac{15,126}{-3,516}))$$

$$i_2(t) = \sqrt{2} \cdot |2,565 - 14,03j| \cdot \sin(50t + \arctan(\frac{-14,03}{2,565}))$$

$$i_3(t) = \sqrt{2} \cdot |-0,951 + 1,096j| \cdot \sin(50t + \arctan(\frac{1,096}{-0,951}))$$

$$i_5(t) = \sqrt{2} \cdot |12,976 - 1,36j| \cdot \sin(50t + \arctan(\frac{-1,36}{12,976}))$$

$$i_6(t) = \sqrt{2} \cdot |16,492 - 16,486j| \cdot \sin(50t + \arctan(\frac{-16,486}{16,492}))$$

$$i_1(t) = 21,961 \cdot \sin(50t + 103,085^\circ), A$$

$$i_2(t) = 20,170 \cdot \sin(50t - 79,641^\circ), A$$

$$i_3(t) = 2,052 \cdot \sin(50t + 130,950^\circ), A$$

$$i_5(t) = 18,452 \cdot \sin(50t - 5,983^\circ), A$$

$$i_6(t) = 32,978 \cdot \sin(50t - 44,989^\circ), A$$

2. Построение совмещенной векторно-топографической диаграммы напряжений и токов

Для построения векторно-топографической диаграммы определим значения потенциалов в промежуточных точках, рисунок 3.

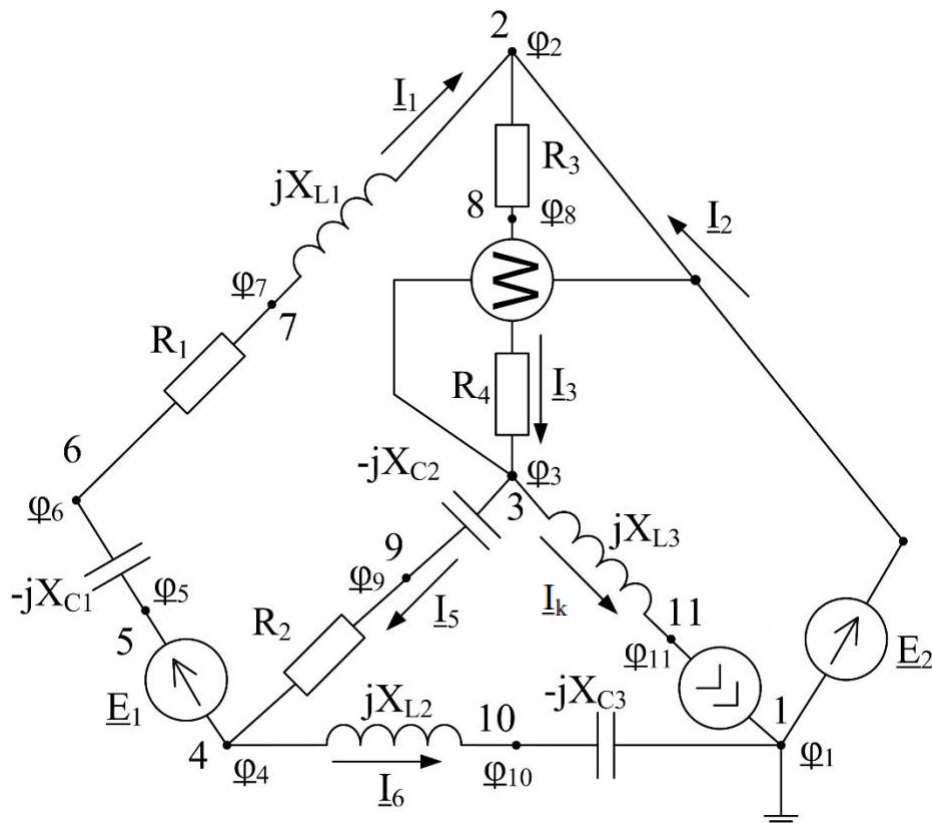


Рисунок 3 – Детальная мнемосхема

Найдем значения потенциалов в промежуточных точках:

$$\underline{\varphi}_1 = 0, \text{ В}$$

$$\underline{\varphi}_5 = \underline{\varphi}_4 + \underline{E}_1 = 67,915 + 67,940j - 125,346 - 22,102j = -57,431 + 45,839j, \text{ В}$$

$$\underline{\varphi}_6 = \underline{\varphi}_5 + \underline{I}_1 \cdot j \cdot X_{C1} = -57,431 + 45,839j + 31,64 - 136,133j = -85,974 - 104,282j, \text{ В}$$

$$\underline{\varphi}_7 = \underline{\varphi}_6 - \underline{I}_1 \cdot R_1 = -95,352 - 27,761j + 71,646 + 39,859j = -23,706 + 12,098j, \text{ В}$$

$$\underline{\varphi}_8 = \underline{\varphi}_2 - \underline{I}_3 \cdot R_3 = 104,103 - 60,104j - 11,412 - 13,150j = 115,515 - 73,255j, \text{ В}$$

$$\underline{\varphi}_9 = \underline{\varphi}_3 + \underline{I}_5 \cdot jX_{C2} = 118,368 - 76,542j - 14,429 + 137,683j = 132,797 + 31,141j, \text{ В}$$

$$\underline{\varphi}_{10} = \underline{\varphi}_4 - \underline{I}_6 \cdot jX_{L2} = 67,915 + 67,940j - 155,375 - 155,433j = -87,460 - 87,492j, \text{ В}$$

$$\underline{\varphi}_{11} = \underline{\varphi}_3 - \underline{I}_4 \cdot jX_{L3} = 118,368 - 76,542j + 30,86 + 175,015 = 149,228 + 98,473j, \text{ В}$$

Построим совмещенную векторно-топографическую диаграмму:

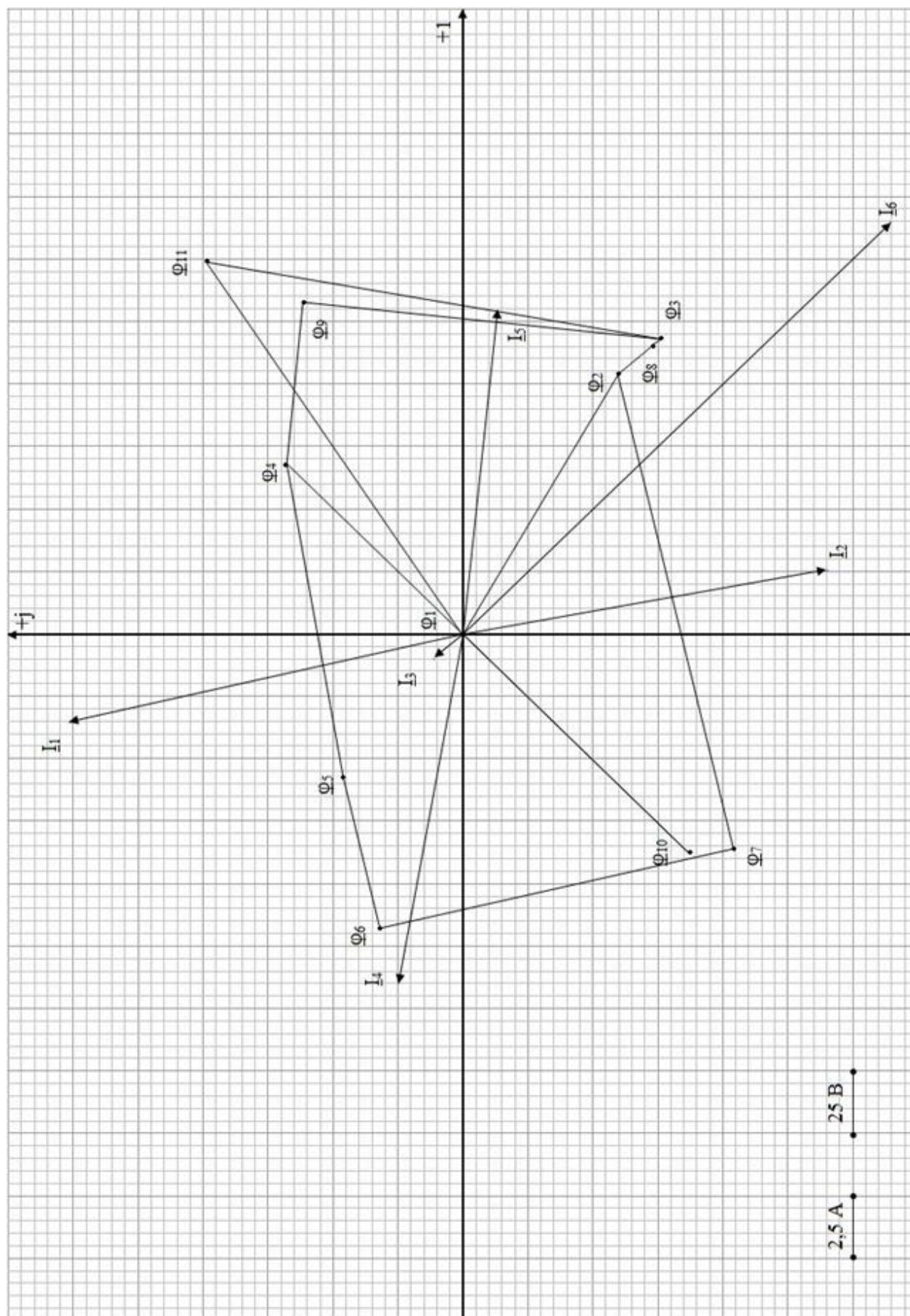


Рисунок 4 - Совмещенная векторно-топографическая диаграмма

3. Расчет мощностей цепи

3.1 Проверка энергетического баланса мощностей

Найдем сопряженные комплексы токов:

$$I_1^* = -3,416 - 15,126j,$$

$$I_2^* = 2,565 + 14,030j,$$

$$I_3^* = -0,951 - 1,096j,$$

$$I_4^* = -13,927 - 2,456j,$$

$$I_5^* = 12,976 + 1,360j,$$

$$I_6^* = 16,492 + 16,486j;$$

Найдем мощности источников энергии:

$$\tilde{S}_{E1} = \underline{E}_1 \cdot I_1^* = (-125,346 - 22,102j) \cdot (-3,416 - 15,126j) = 106,356 + 1973,663j$$

$$\tilde{S}_{E2} = \underline{E}_2 \cdot I_2^* = (104,103 - 60,104j) \cdot (2,565 + 14,030j) = 1110,248 + 1306,424j$$

$$\tilde{S}_{lk} = (\underline{\varphi}_1 - \underline{\varphi}_{11}) \cdot I_4^* = (-149,228 - 98,473j) \cdot (-13,927 - 2,456j) = 1836,510 + 1737,932j$$

Найдем потребляемую цепью мощность:

$$\tilde{S}_{12} = \underline{I}_2 \cdot I_2^* \cdot 0 = 0$$

$$\tilde{S}_{13} = \underline{I}_4 \cdot I_4^* \cdot (jX_{L3}) = 2513,274j$$

$$\tilde{S}_{14} = \underline{I}_6 \cdot I_6^* \cdot (jX_{L2} - jX_{C3}) = 2240,098j$$

$$\tilde{S}_{23} = \underline{I}_3 \cdot I_3^* \cdot (R_3 + R_4) = 31,579$$

$$\tilde{S}_{24} = \underline{I}_1 \cdot I_1^* \cdot (R_1 + jX_{L1} - jX_{C1}) = 2170,365 + 2070,889j$$

$$\tilde{S}_{34} = \underline{I}_5 \cdot I_5^* \cdot (R_2 - jX_{C2}) = 851,171 - 1806,241j$$

Найдем сумму мощностей:

$$\tilde{S}_{\text{источников}} = \tilde{S}_{E1} + \tilde{S}_{E2} + \tilde{S}_{lk} = 3053,115 + 5018,020j$$

$$\tilde{S}_{\text{цепи}} = \tilde{S}_{12} + \tilde{S}_{13} + \tilde{S}_{14} + \tilde{S}_{23} + \tilde{S}_{24} + \tilde{S}_{34} = 3053,115 + 5018,020j$$

Определим погрешность:

$$\delta(\text{Re}) = \frac{|3053,115 - 3049,83|}{|3053,115|} \cdot 100\% = 0,107\%$$

$$\delta(\text{Im}) = \frac{|5018,02 - 5011,54|}{|5018,02|} \cdot 100\% = 0,129\%$$

Относительная погрешность не превышает 5%, поэтому можем считать, что расчет выполнен с удовлетворительной точностью.

3.2 Определение режимов работы источников энергии

$\text{Re}(\tilde{S}_{E1}) = 106,356 > 0$, источник работает в режиме генератора.

$\text{Re}(\tilde{S}_{E2}) = 1110,248 > 0$, источник работает в режиме генератора.

$\text{Re}(\tilde{S}_{Lk}) = 1836,510 > 0$, источник работает в режиме генератора.

4. Определить показания вольтметров, включенных параллельно конденсаторам «C1» и «C2», а также катушке индуктивности «L1».

Показания вольтметров:

$$U_{C1} = \text{Re}(\underline{U}_{C1}) = \text{Re}(-3,979j * (-3,516 + 15,126j)) = (60,1864 + 13,9902j) = 60,1864 \text{ В}$$

$$U_{C2} = \text{Re}(\underline{U}_{C2}) = \text{Re}(10,610j * (12,946 - 1,360j)) = \text{Re}(14,4296 + 137,357j) = 14,4296 \text{ В}$$

$$U_{L1} = \text{Re}(\underline{U}_{L1}) = \text{Re}(12,566j * (-3,516 + 15,126j)) = \text{Re}(-190,073 - 44,1821j) = -190,073 \text{ В}$$

5. Определить показание амперметра, расположенного последовательно с ЭДС ϵ_1 .

$$\text{Показания амперметра: } I_A = \text{Re}(I_1) = 3,516 \text{ А}$$

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоритические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики.