

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники»

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

Курсовая работа

По дисциплине

«Электротехника»

Вариант 29

Выполнил: Русинов И.В.

ЭН-22

Москва 2025

Курсовая работа (Часть 2)

1. Рассчитать сопротивление ветвей (комплексное);
2. Метод непосредственного применения законов Кирхгофа (определить токи в ветвях);
3. МКТ (Метод контурных токов) – найти токи во всех ветвях;
4. МДУ (Метод двух узлов) – найти токи во всех ветвях;
5. Построить векторную диаграмму токов и векторно-топографическую диаграмму напряжения;
6. Построить схему своего варианта в Multisim и снимать результаты моделирования (токи в ветвях);
7. Выполнить расчет баланса мощности для схемы.

Таблица 1

Параметры схемы

$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$X_{L1},$ Ом	$X_{L2},$ Ом	$X_{L3},$ Ом	$X_{C1},$ Ом	$X_{C2},$ Ом	$X_{C3},$ Ом	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$
5	2	4	1	5	2	4	1	3	$8e^{j120^\circ}$	$15e^{-j70^\circ}$

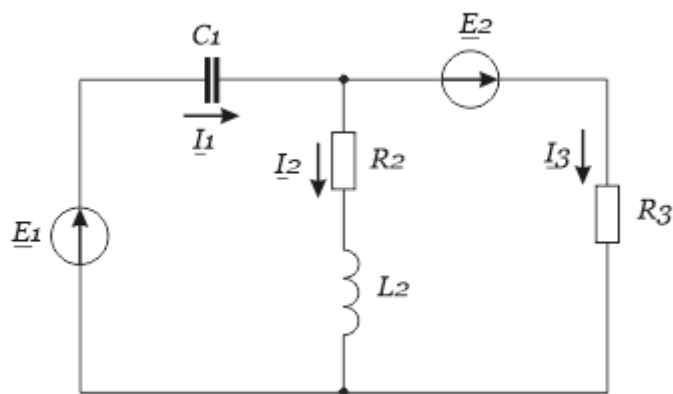


Рисунок 1. Схема цепи

1. Рассчитать сопротивление ветвей(комплексное)

Изобразим комплексную схему замещения заданной цепи

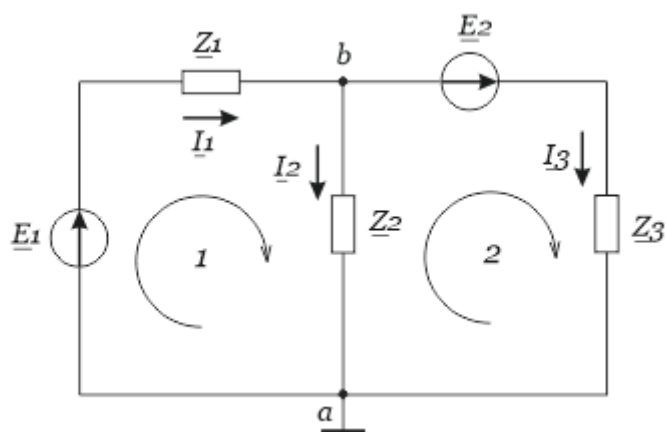


Рисунок 2. Схема замещения

Дальше определяем комплексное сопротивление ветвей:

$$\underline{Z}_1 = -j \cdot X_{C1} = -4 \cdot j \Omega;$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j \cdot X_{L2} = 2 + 5 \cdot j \Omega;$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 = 4 \Omega$$

2. Метод непосредственного применения законов Кирхгофа

Запишем по законам Кирхгофа систему уравнений для определения неизвестных нам токов в цепи

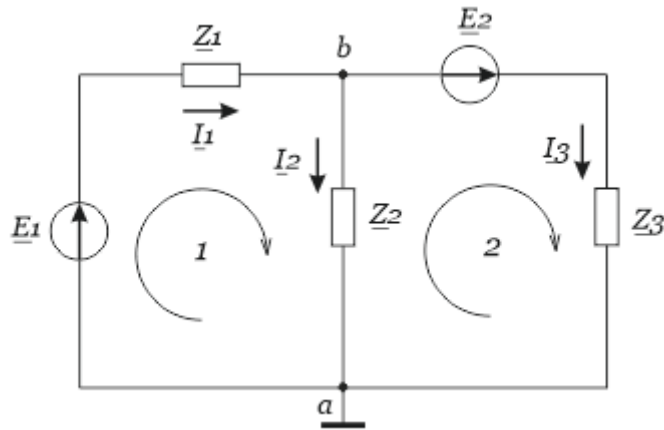


Рисунок 3

$$\underline{I}_1 - \underline{I}_2 - \underline{I}_3 = 0 \text{ Узел } b$$

$$\underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 + \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 = \underline{E}_1 \text{ Контур 1}$$

$$-\underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 + \underline{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = \underline{E}_2 \text{ Контур 2}$$

Комплексные ЭДС переведем в алгебраическую форму:

$$\underline{E}_1 = 8 \cdot e^{j120} = 8 \cdot (\cos 120 + j \cdot \sin 120) = -4 + j \cdot 6,928 \text{ В}$$

$$\underline{E}_2 = 15 \cdot e^{-j70} = 15 \cdot (\cos(-70) + j \cdot \sin(-70)) = 5,13 - j \cdot 14,095 \text{ В}$$

Теперь подставим значения и получим следующую систему уравнений:

$$\underline{I}_1 - \underline{I}_2 - \underline{I}_3 = 0$$

$$-j \cdot 4 \cdot \underline{I}_1 + (2 + j \cdot 5) \cdot \underline{I}_2 = -4 + j \cdot 6,928$$

$$-(2 + j \cdot 5) \cdot \underline{I}_2 + 4 \cdot \underline{I}_3 = 5,13 - j \cdot 14,095$$

Решая данную систему находим токи:

$$\underline{I}_1 = 0,678 + j \cdot 0,777 = 1,031 \cdot e^{j50} \text{ А}$$

$$\underline{I}_2 = 1,172 + j \cdot 1,891 = 2,225 \cdot e^{j58} \text{ А}$$

$$\underline{I}_3 = -0,494 - j \cdot 1,114 = 1,219 \cdot e^{-j114} \text{ А}$$

Итоговые значения получили используя формулы:

$$\sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\operatorname{arctg} \frac{y}{x}$$

Также найдем действующие значения токов:

$$I_1 = |I_1| = 1,031 A$$

$$I_2 = |I_2| = 2,225 A$$

$$I_3 = |I_3| = 1,219 A$$

3.МКТ (Метод контурных токов)

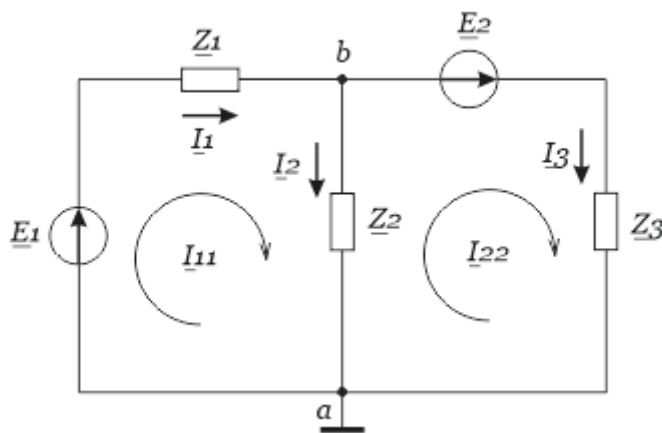


Рисунок 4

Запишем уравнения по методу контурных токов, используя рисунок 4:

$$(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) \cdot \underline{I}_{11} - \underline{Z}_2 \cdot \underline{I}_{22} = \underline{E}_1$$

$$-\underline{Z}_2 \cdot \underline{I}_{11} + (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3) \cdot \underline{I}_{22} = \underline{E}_2$$

Подставим числа:

$$(2 + j) \cdot \underline{I}_{11} - (2 + j \cdot 5) \cdot \underline{I}_{22} = -4 + j \cdot 6,928$$

$$-(2 + j \cdot 5) \cdot \underline{I}_{11} + (6 + j \cdot 5) \underline{I}_{22} = 5,13 - j \cdot 14,095$$

Решая данную систему уравнений, находим комплексные контурные токи:

$$\underline{I}_{11} = 0,678 + j \cdot 0,777 A$$

$$\underline{I}_{22} = -0,494 - j \cdot 1,114 A$$

Теперь находим токи в ветвях через контурные токи:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{11} = 0,678 + j \cdot 0,777 A$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{22} = 0,678 + j \cdot 0,777 - (-0,494 - j \cdot 1,114) = 1,172 + j \cdot 1,891 A$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{22} = -0,494 - j \cdot 1,114 A$$

4.МДУ (Метод двух узлов)

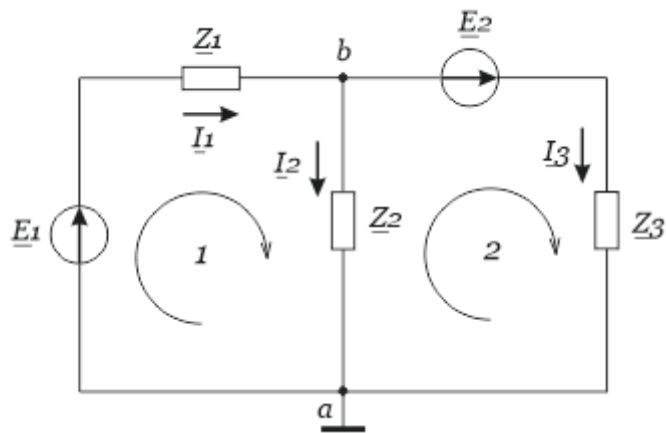


Рисунок 5

Зануляем потенциал $\varphi_a = 0V$

Комплексные проводимости ветвей:

$$\underline{Y}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_1} = \frac{1}{-j \cdot 4} = j \cdot 0,25$$

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{1}{2 + j \cdot 5} = \frac{2 - j \cdot 5}{(2 + j \cdot 5) \cdot (2 - j \cdot 5)} = \frac{2 - j \cdot 5}{29} = 0,069 - j \cdot 0,1724$$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{\underline{Z}_3} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Тогда междуузловое напряжение будет равно:

$$\underline{U}_{ba} = \frac{\underline{E}_1 \cdot \underline{Y}_1 - \underline{E}_2 \cdot \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3} = \frac{(-4 + j \cdot 6,928) \cdot j \cdot 0,25 - (5,13 - j \cdot 14,095) \cdot 0,25}{0,319 + j \cdot 0,0776} = -7,105 + j \cdot 9,64V$$

Токи в ветвях найдем по закону Ома:

$$\underline{I}_1 = (\underline{E}_1 - \underline{U}_{ba}) \cdot \underline{Y}_1 = (-4 + j \cdot 6,928 - (-7,105 + j \cdot 9,64)) \cdot j \cdot 0,25 = 0,678 + j \cdot 0,776A$$

$$\underline{I}_2 = \underline{U}_{ba} \cdot \underline{Y}_2 = (-7,105 + j \cdot 9,64) \cdot (0,069 - j \cdot 0,1724) = 1,172 + j \cdot 1,89A$$

$$\underline{I}_3 = (\underline{E}_2 + \underline{U}_{ba}) \cdot \underline{Y}_3 = (5,13 - j \cdot 14,095 + (-7,105 + j \cdot 9,64)) \cdot 0,25 = -0,494 - j \cdot 1,114A$$

5. Построить векторную диаграмму тока и векторно-топографическую диаграмму напряжения

Найдем напряжения на элементах цепи

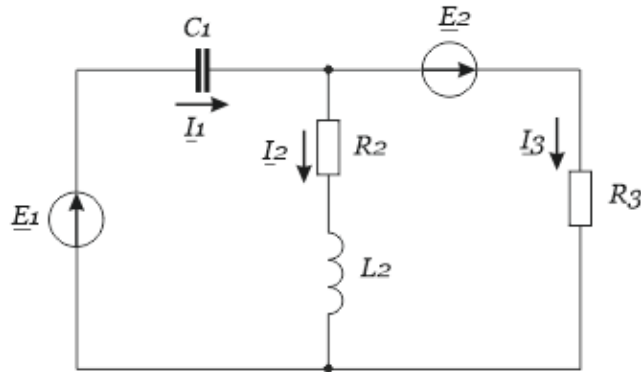


Рисунок 6

$$\underline{U}_{C1} = \underline{I}_1 \cdot (-j \cdot X_{C1}) = 1,031 \cdot e^{j \cdot 49} \cdot 4 \cdot e^{-j \cdot 90} = 4,124 \cdot e^{-j \cdot 41} B$$

$$\underline{U}_{R2} = \underline{I}_2 \cdot R_2 = 2,225 \cdot e^{j \cdot 58} \cdot 2 = 4,45 \cdot e^{j \cdot 58} B$$

$$\underline{U}_{L2} = \underline{I}_2 \cdot j \cdot X_{L2} = 2,225 \cdot e^{j \cdot 58} \cdot 5 \cdot e^{j \cdot 90} = 11,125 \cdot e^{j \cdot 148} B$$

$$\underline{U}_{R3} = \underline{I}_3 \cdot R_3 = 1,219 \cdot e^{-j \cdot 114} \cdot 4 = 4,876 \cdot e^{-j \cdot 114} B$$

Теперь строим векторную диаграмму токов и векторно-топографическую диаграмму напряжений

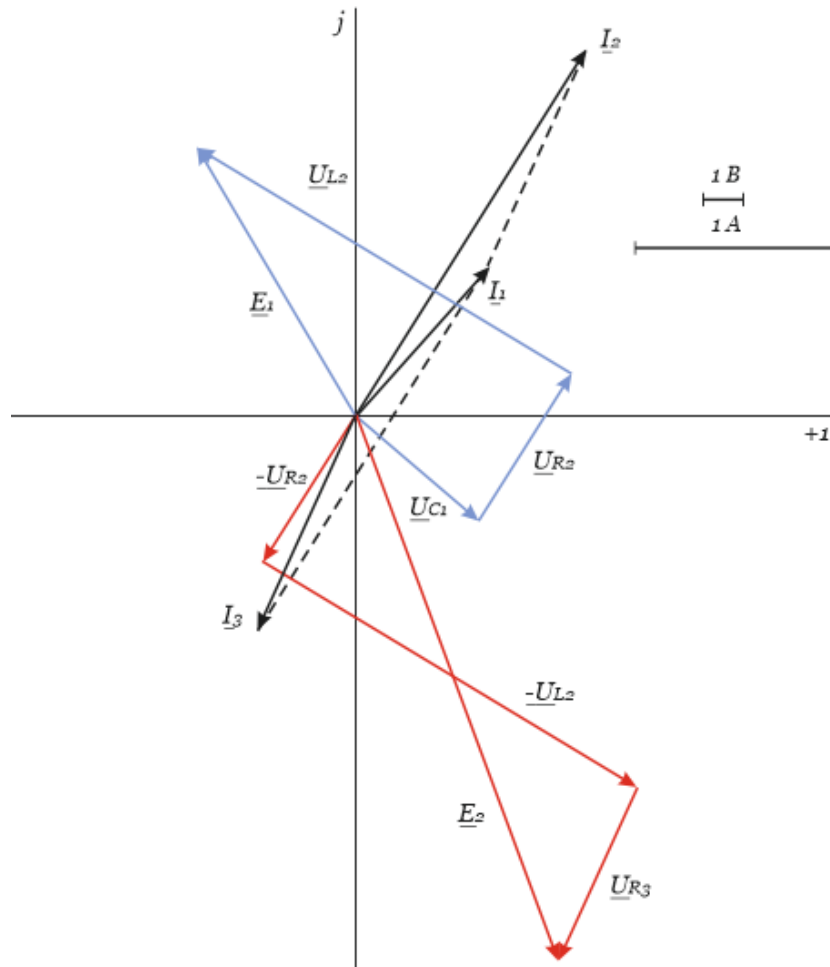


Рисунок 7

$$M_U = 2 \frac{B}{\text{см}}, M_I = 0,44 \frac{A}{\text{см}}$$

Вектор напряжения \underline{U}_{L2} должен опережать по направлению (по фазе) вектор тока \underline{I}_2 на 90° , вектор напряжения \underline{U}_{C1} должен отставать по направлению от вектора тока \underline{I}_1 на 90° , вектор напряжения \underline{U}_{R2} должен совпадать по направлению с вектором тока \underline{I}_2 и вектор напряжения \underline{U}_{R3} должен совпадать по направлению с вектором тока \underline{I}_3 .

6.Схема в Multisim

Значения катушки и конденсатора

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot X_{C1}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4} = 796,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$L_2 = \frac{X_{L2}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 15,9 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

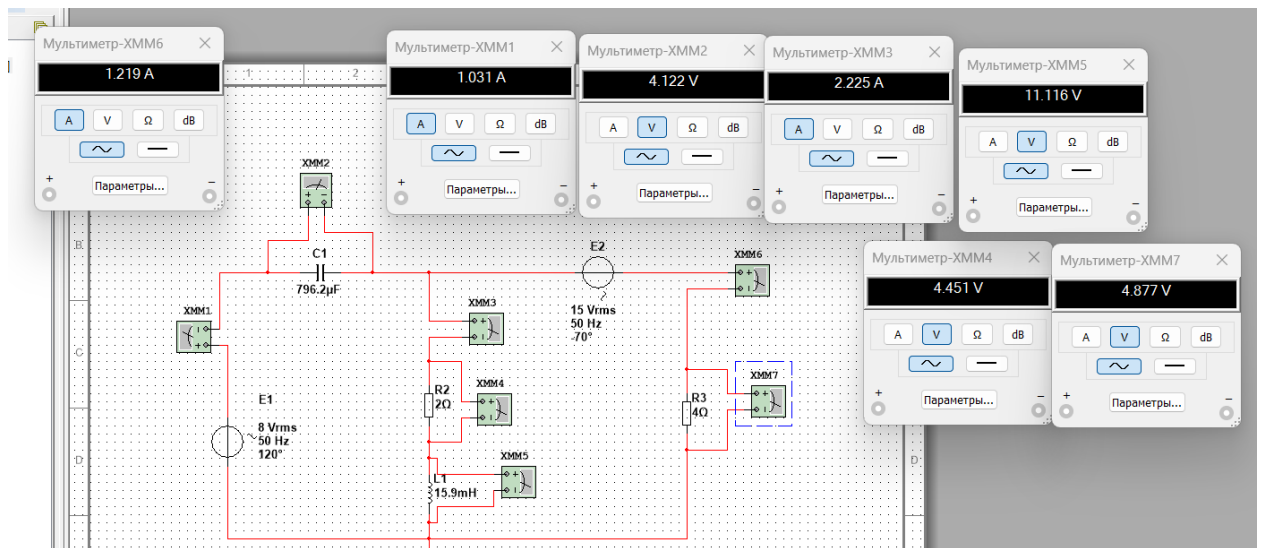


Рисунок 8

7.Баланс мощности

Комплексная мощность источников:

$$\underline{S}_u = \underline{E}_1 \cdot \underline{I}_1^* + \underline{E}_2 \cdot \underline{I}_3^* = (-4 + j \cdot 6,928) \cdot (0,678 - j \cdot 0,777) + (5,13 - j \cdot 14,095) \cdot (-0,494 + j \cdot 1,114) = 15,839 + j \cdot 20,483$$

Где E умножается на комплексно сопряженный ток

Активная и реактивная мощность источников:

$$P_u = 15,839 \text{ Вт}$$

$$Q_u = 20,483 \text{ вар}$$

Активная и реактивная мощность нагрузки:

$$P_n = I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 2,225^2 \cdot 2 + 1,219^2 \cdot 4 = 15,845 \text{ Вт}$$

$$Q_n = -I_1^2 \cdot X_{C1} + I_2^2 \cdot X_{L2} = -1,031^2 \cdot 4 + 2,225^2 \cdot 5 = 20,501 \text{ вар}$$

$$\underline{S}_n = 15,845 + j \cdot 20,501$$

Видим, что $\underline{S}_u \approx \underline{S}_n$, найдем погрешность:

$$\delta_P = \left| \frac{P_u - P_n}{P_u} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{15,839 - 15,845}{15,839} \right| \cdot 100\% = 0,038 \cdot \% < 1\%$$

$$\delta_Q = \left| \frac{Q_u - Q_n}{Q_u} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{20,483 - 20,501}{20,483} \right| \cdot 100\% = 0,088 \cdot \% < 1\%$$

Отсюда можем сделать вывод, что Баланс мощностей выполняется с хорошей точностью

Вывод:

Было достигнуто по итогам выполнения расчетно-графической работы решения задач по исследованию линейной электрической цепи переменного синусоидального тока. Рассчитали комплексное сопротивление ветвей. При этом расчёт токов в ветвях цепи выполнен тремя различными методами: законами Кирхгофа, контурных токов и методом двух узлов, в результате чего, мы получили одинаковые токи всеми 3-мя способами.

Полученным при расчетах результатах соответствует и компьютерное моделирование в программе Multisim — для данного набора параметров цепи моделирование позволило получить значения токов и напряжений, полностью совпавших с расчетными значениями.

При исследовании баланса мощностей подтверждена энергетическая равновесность в цепи — активная и реактивная мощности всех приемников активной нагрузки равны отдаваемым источниками мощностям с учетом погрешности, которая меньше 1%.