

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»

Тема

“Расчет электрических цепей”

Выполнил: Талицких А.В

ЭН-22

Содержание

Часть 1	1
1.1 МЭП (Метод эквивалентных преобразований) – найти ток в любой ветви	3
1.2 Законами Кирхгофа найти токи в ветвях.....	6
1.3 Метод контурных токов (найти все токи)	7
1.4 МУП (Метод узловых потенциалов) – найти токи во всех ветвях	8
1.5 МЭГ (Метод эквивалентного генератора) – найти ток в любой ветви.....	9
1.6 Построить схему в Multisim и снимать результаты моделирования(токи).....	11
1.7 Итоговая таблица значений	12
1.8 Построить потенциальную диаграмму для контура 2.....	13
1.9 Выполнить расчет баланса мощности для схемы.....	14
1.10 Вывод	16
Часть 2	Error! Bookmark not defined.
2.1 Рассчитать сопротивление ветвей(комплексное)	17
2.2 Метод непосредственного применения законов Кирхгофа.....	18
2.3 МКТ (Метод контурных токов).....	19
2.4 МДУ (Метод двух узлов)	20
2.5. Построить векторную диаграмму тока и векторно-топографическую диаграмму напряжения	21
2.6 Схема в Multisim	22
2.7 Баланс мощности	23
2.8 Вывод	24
Часть 3	25
Задача 3.1	25
Задача 3.2	28
Задача 3.3	31
Задача 3.4	35
3.5 Вывод	41
Заключение	41
Литература.....	42

Часть 1

Заданную электрическую цепь необходимо рассчитать, используя следующие методы:

1. МЭП (Метод эквивалентных преобразований) – найти ток в любой ветви схемы, используя МЭП;
2. Законы Кирхгофа (найти все токи в ветвях);
3. МКТ (Метод контурных токов) – найти токи во всех ветвях;
4. МУП (Метод узловых потенциалов) – найти токи во всех ветвях;
5. МЭГ (Метод эквивалентного генератора) – найти ток в любой ветви;
6. Построить схему своего варианта в Multisim и снимать результаты моделирования (токи в ветвях);
7. Результаты расчета токов, вышеуказанными методами и результаты моделирования, свести в таблицу и сравнить между собой.;
8. Построить потенциальную диаграмму для любого контура (на выбор).;
9. Выполнить расчет баланса мощности для схемы.

<i>Var.</i>	$E_1,$ <i>B</i>	$E_2,$ <i>B</i>	$E_3,$ <i>B</i>	$E_4,$ <i>B</i>	$E_5,$ <i>B</i>	$E_6,$ <i>B</i>	$J,$ <i>A</i>	$R_1,$ <i>Ом</i>	$R_2,$ <i>Ом</i>	$R_3,$ <i>Ом</i>	$R_4,$ <i>Ом</i>	$R_5,$ <i>Ом</i>	$R_6,$ <i>Ом</i>
25	10	12	14	8	15	20	6	6	3	4	1	5	10

Рисунок 1. Параметры схемы

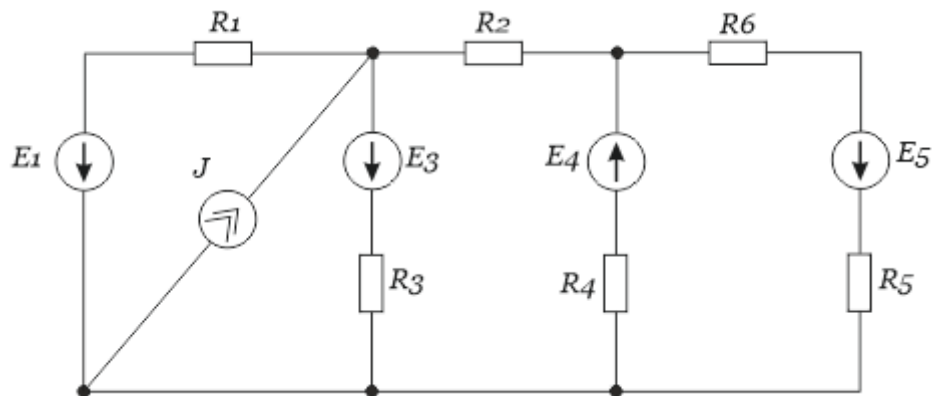


Рисунок 2. Схема цепи

1.1 МЭП (Метод эквивалентных преобразований) – найти ток в любой ветви

Сложим два последовательно соединенных резистора R_5, R_6 , а также преобразуем источники ЭДС E_3, E_4, E_5 в источники тока:

$$R'_5 = R_5 + R_6 = 5 + 10 = 15 \text{ Ом}$$

$$J_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{14}{4} = 3.5 \text{ А}; J_4 = \frac{E_4}{R_4} = \frac{8}{1} = 8 \text{ А}; J_5 = \frac{E_5}{R'_5} = \frac{15}{15} = 1 \text{ А}$$

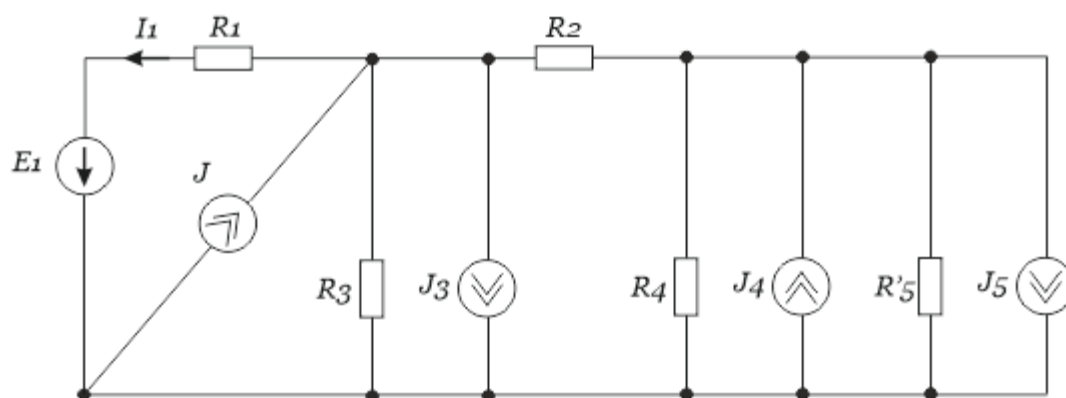


Рисунок 1.1

Объединим два параллельных источника тока и резистора:

$$J_2 = J_4 - J_5 = 8 - 1 = 7 \text{ А}$$

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R'_5}{R_4 + R'_5} = \frac{1 \cdot 15}{16} = 0.938 \text{ Ом}$$

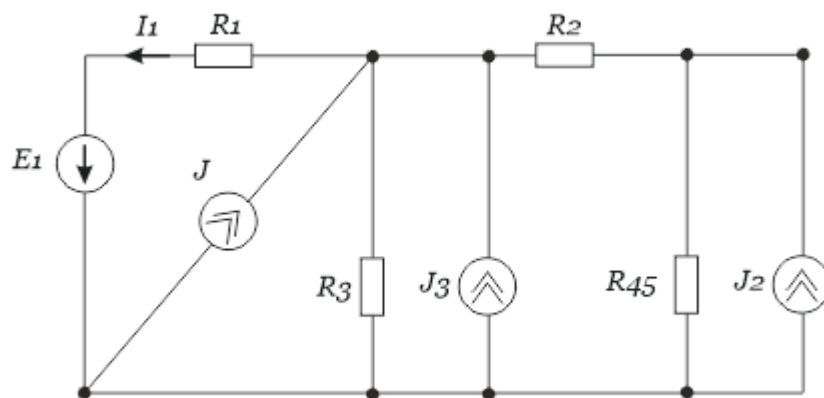


Рисунок 1.2

Преобразуем источник тока J_2 в источник ЭДС и сложим два последовательно соединенных резистора R_2, R_{45} :

$$E_2 = J_2 \cdot R_{45} = 7 \cdot 0.938 = 6.563 \text{ В}$$

$$R_2' = R_2 + R_{45} = 3 + 0.938 = 3.938 \text{ Ом}$$

Теперь преобразуем источник ЭДС E_2 в источник тока J_2' с сопротивлением R_2' :

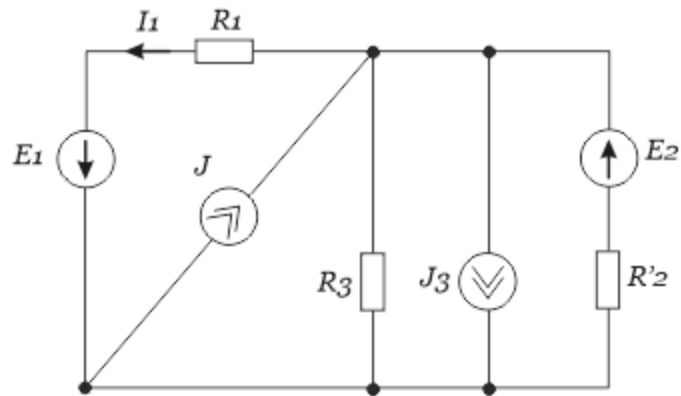


Рисунок 1.3

$$J_2' = \frac{E_2}{R_2'} = \frac{12}{3.938} = 1.667 \text{ А}$$

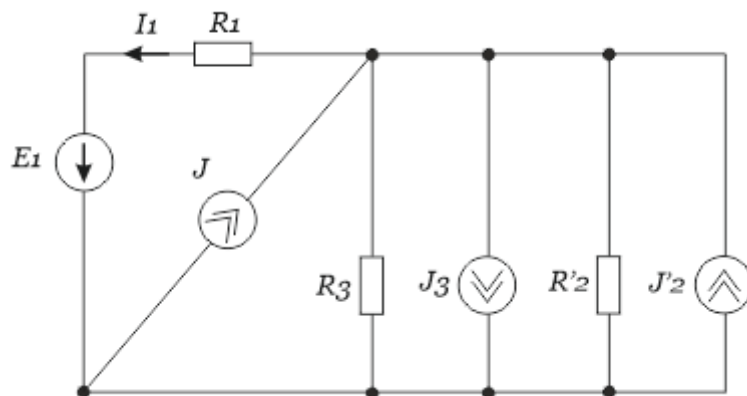


Рисунок 1.4

Объединим три параллельно соединенных источника тока и объединим два последовательно соединенных резистора:

$$J_1 = J + J_2' - J_3 = 6 + 1.667 - 3.5 = 4.167 A$$

$$R_{23} = \frac{R_2' \cdot R_3}{R_2' + R_3} = \frac{3.938 \cdot 4}{3.938 + 4} = 1.984 \text{ Ом}$$

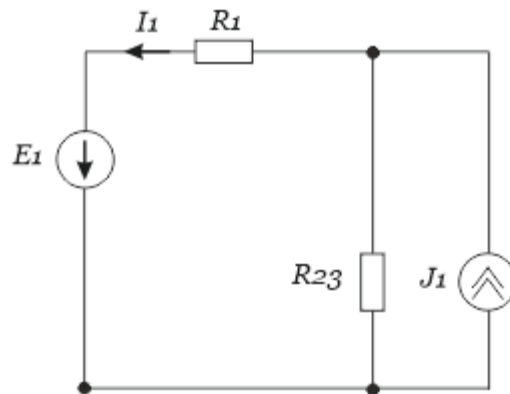


Рисунок 1.5

Преобразуем полученный источник тока J_1 в источник ЭДС E_1' :

$$E_1' = J_1 \cdot R_{23} = 4.167 \cdot 1.984 = 8.268 \text{ В}$$

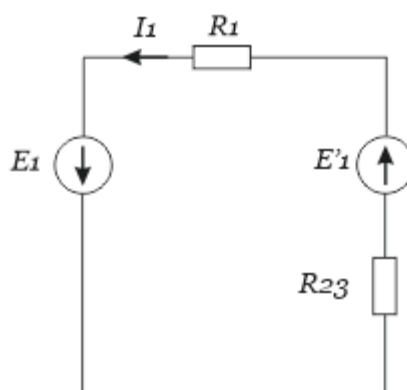


Рисунок 1.6

По закону Ома находим ток I_1 :

$$I_1 = \frac{E_1 + E'_1}{R_1 + R_{23}} = \frac{10 + 8.268}{6 + 1.984} = 2.288 \text{ A}$$

1.2 Законами Кирхгофа найти токи в ветвях

Отметим на схеме узлы и направление токов в ветвях цепи.

Отметим независимые контуры и обходы в этих контурах.

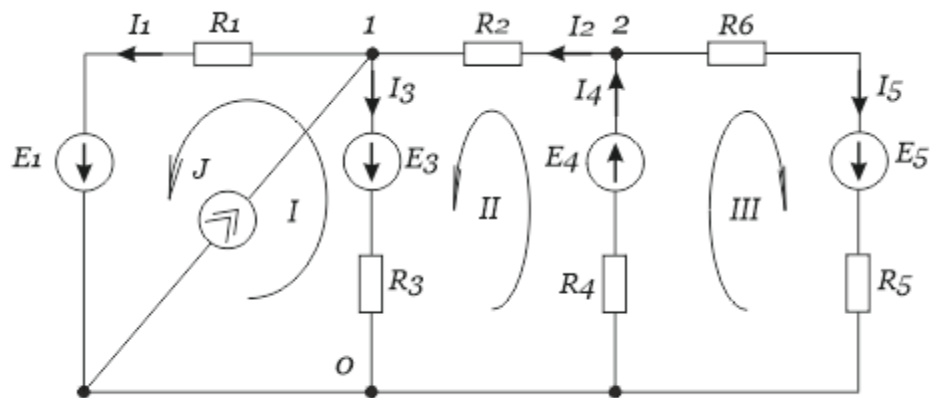


Рисунок 2.1

По первому закону Кирхгофа количество независимых уравнений:

$$N = 3 - 1 = 2$$

$$-I_1 + I_2 - I_3 + J = 0 \quad \text{Узел 1}$$

$$-I_2 + I_4 - I_5 = 0 \quad \text{Узел 2}$$

Составляем уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 = E_1 - E_3 \quad \text{Контур 1}$$

$$I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 = E_3 + E_4 \quad \text{Контур 2}$$

$$I_4 \cdot R_4 + I_5 \cdot (R_5 + R_6) = E_4 + E_5 \quad \text{Контур 3}$$

$$I_1 \cdot 6 - I_3 \cdot 4 = -4$$

$$I_2 \cdot 3 + I_3 \cdot 4 = 22$$

$$I_4 + I_5 \cdot 15 = 23$$

Решив систему уравнений получим следующие значения токов:

$$I_1 = 2.288A; I_2 = 0.72A; I_3 = 4.432A$$

$$I_4 = 2.112A; I_5 = 1.393A$$

Учитывая, что все токи со знаком +, можно сказать, что направления токов правильные.

1.3 Метод контурных токов (найти все токи)

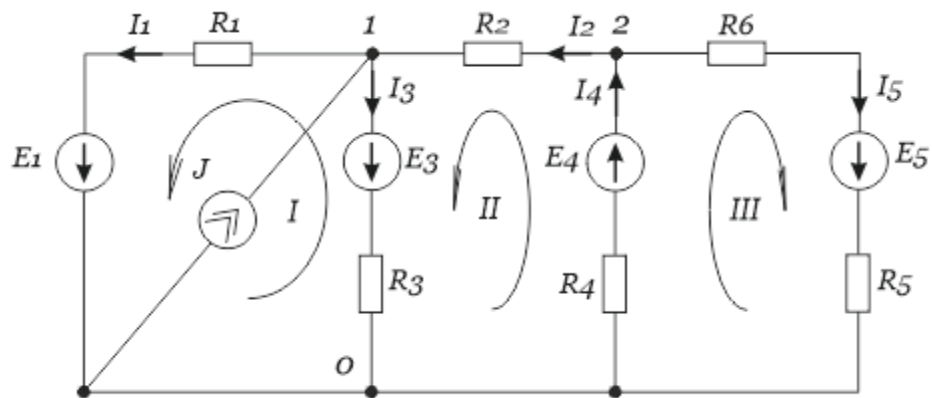


Рисунок 3.1

Контур 1 считаем, как контур с известным током из-за источника тока.

Составим уравнения для каждого из контуров:

$$I_{11} \cdot (R_1 + R_3) - I_{22} \cdot R_3 - R_3 \cdot J = E_1 - E_3$$

$$-I_{11} \cdot R_3 + I_{22} \cdot (R_2 + R_3 + R_4) + I_{33} \cdot R_4 + R_3 \cdot J = E_3 + E_4$$

$$I_{22} \cdot R_4 + I_{33} \cdot (R_4 + R_5 + R_6) = E_4 + E_5$$

$$I_{11} \cdot 9 - I_{22} \cdot 4 - 4 \cdot 6 = -4$$

$$-I_{11} \cdot 4 + I_{22} \cdot 8 + I_{33} + 4 \cdot 6 = 22$$

$$I_{22} + I_{33} \cdot 16 = 23$$

Решив систему уравнений получим следующие значения токов:

$$I_{11} = 2.288A$$

$$I_{22} = 0.72A$$

$$I_{33} = 1.393A$$

Теперь находим нужные нам токи:

$$I_1 = I_{11} = 2.288A$$

$$I_2 = I_{22} = 0.72A$$

$$I_5 = I_{33} = 1.393A$$

$$I_3 = -I_{11} + I_{22} + J = -2.888 + 0.72 + 6 = 4.432A$$

$$I_4 = I_{22} + I_{33} = 0.72 + 1.393 = 2.112A$$

1.4 МУП (Метод узловых потенциалов) – найти токи во всех ветвях

Заземляем узел 0

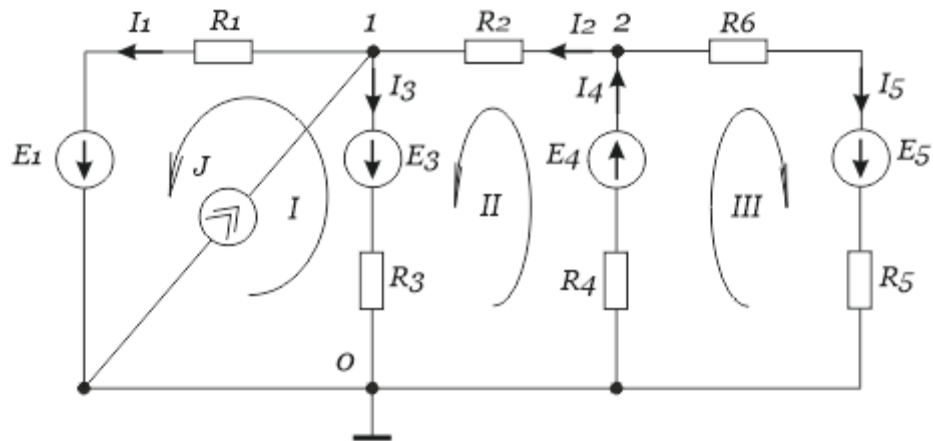


Рисунок 4.1

Составляем уравнения для двух других узлов:

$$\varphi_1 \cdot (g_1 + g_2 + g_3) - \varphi_2 \cdot g_2 = -E_1 \cdot g_1 - E_3 \cdot g_3 + J$$

$$-\varphi_1 \cdot g_2 + \varphi_2 \cdot (g_2 + g_4 + g_{56}) = E_4 \cdot g_4 - E_5 \cdot g_{56}$$

$$\varphi_1 \cdot 0,75 - \varphi_2 \cdot 0,33 = (-10 \cdot 0,17) - (14 \cdot 0,25) + 6$$

$$-\varphi_1 \cdot 0,33 + \varphi_2 \cdot 1,63 = 8 - 15 \cdot 0,3$$

$$\text{Где } g = \frac{1}{R}$$

Решив систему уравнений получим следующие значения:

$$\varphi_1 = 3.728B$$

$$\varphi_2 = 5.888B$$

Теперь найдем значения токов в ветвях по закону Ома:

$$I_1 = (\varphi_1 + E_1) \cdot g_1 = \frac{3.728 + 10}{6} = 2.288A$$

$$I_2 = (\varphi_2 - \varphi_1) \cdot g_2 = \frac{5.888 - 3.728}{3} = 0.72A$$

$$I_3 = (\varphi_1 + E_3) \cdot g_3 = \frac{3.728 + 14}{4} = 4.432A$$

$$I_4 = (-\varphi_2 + E_4) \cdot g_4 = \frac{-5.888 + 8}{1} = 2.112A$$

$$I_5 = (\varphi_2 + E_5) \cdot g_{56} = \frac{5.888 + 15}{15} = 1.393A$$

1.5 МЭГ (Метод эквивалентного генератора) – найти ток в любой ветви

Напряжение холостого хода эквивалентного генератора для первой ветви:

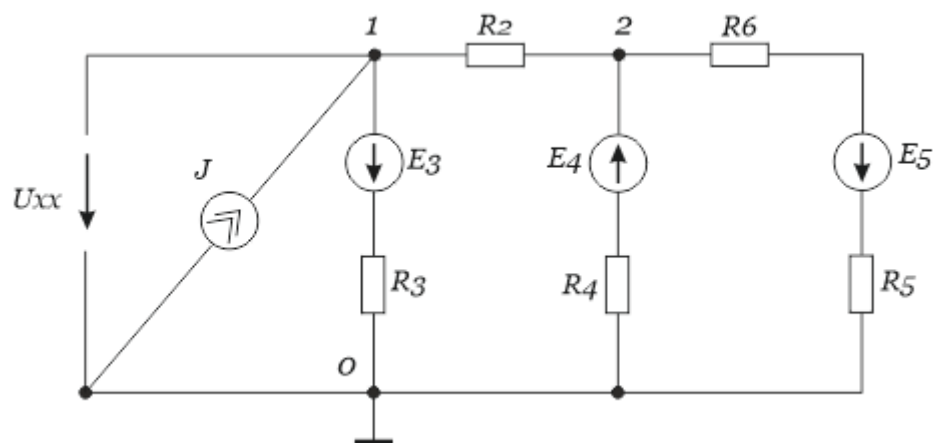


Рисунок 5.1

Находим его по методу узловых потенциалов(напряжений):

$$U_{1xx} \cdot (g_2 + g_3) - U_{2xx} \cdot g_2 = -E_3 \cdot g_3 + J$$

$$-U_{1xx} \cdot g_2 + U_{2xx} \cdot (g_2 + g_4 + g_{56}) = E_4 \cdot g_4 - E_5 \cdot g_{56}$$

$$U_{1xx} \cdot 0,58 - U_{2xx} \cdot 0,33 = -14 \cdot 0,25 + 6$$

$$-U_{1xx} \cdot 0,33 + U_{2xx} \cdot 1,63 = 8 - 15 \cdot 0,3$$

Где $g = \frac{1}{R}$

Решая эту систему, мы получим, что $U_{1xx} = 8.262B; U_{2xx} = 6.969B$,

Значит $U_{xx} = 8.262B$

Источники заменяем внутренними сопротивлениями и получаем следующее:

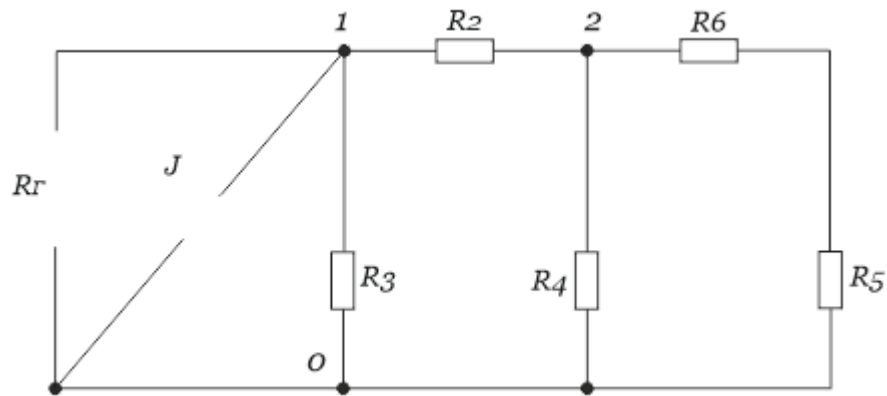


Рисунок 5.2

$$R_{456} = \frac{R_4 \cdot (R_5 + R_6)}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{1 \cdot 15}{16} = 0.938 \text{ Ом}$$

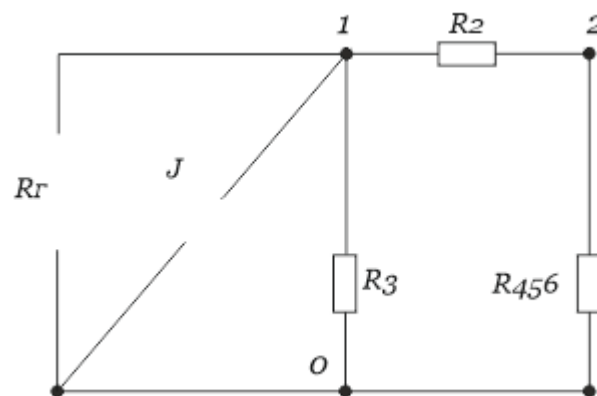


Рисунок 5.3

По правилам последовательного и параллельного соединения находим сопротивление R_r :

$$R_r = \frac{R_3 \cdot (R_2 + R_{456})}{R_3 + R_2 + R_{456}} = \frac{4 \cdot 3.938}{7.938} = 1.984 \text{ Ом}$$

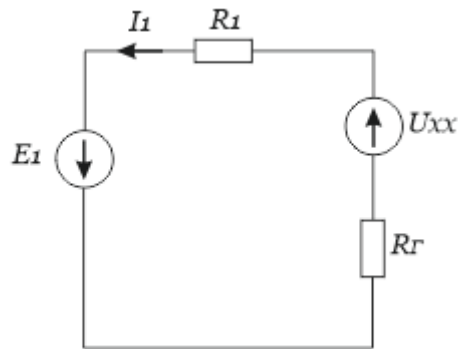


Рисунок 5.4

По закону Ома найдем ток I_1 :

$$I_1 = \frac{U_{xx} + E_1}{R_1 + R_r} = \frac{8.162 + 10}{6 + 1.982} = 2.275 \text{ A}$$

1.6 Построить схему в Multisim и снимать результаты моделирования(токи)

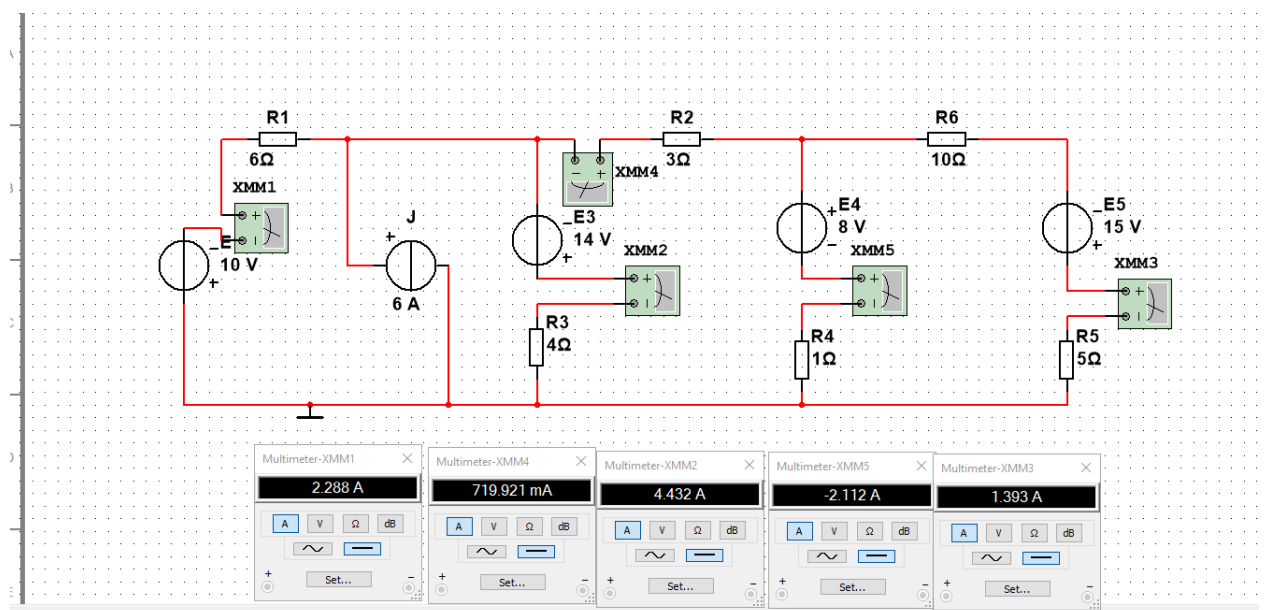


Рисунок 6.1 Показания Multisim

1.7 Итоговая таблица значений

Таблица 2

Результаты расчета токов, вышеуказанными методами и результаты моделирования

Методы расчета	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$I_3,$ А	$I_4,$ А	$I_5,$ А
Экв. Преобр.	2.288				
Ур. Кирхгофа	2.288	0.72	4.432	2.112	1.393
Контурные токи	2.288	0.72	4.432	2.112	1.393
Узловые потенциалы	2.288	0.72	4.432	2.112	1.393
Экв. генератора	2.288				
Результаты моделирования	2.288	0.72	4.432	2.112	1.393

1.8 Построить потенциальную диаграмму для контура 2

Обход контура по часовой стрелке, обозначим точки для замкнутого контура

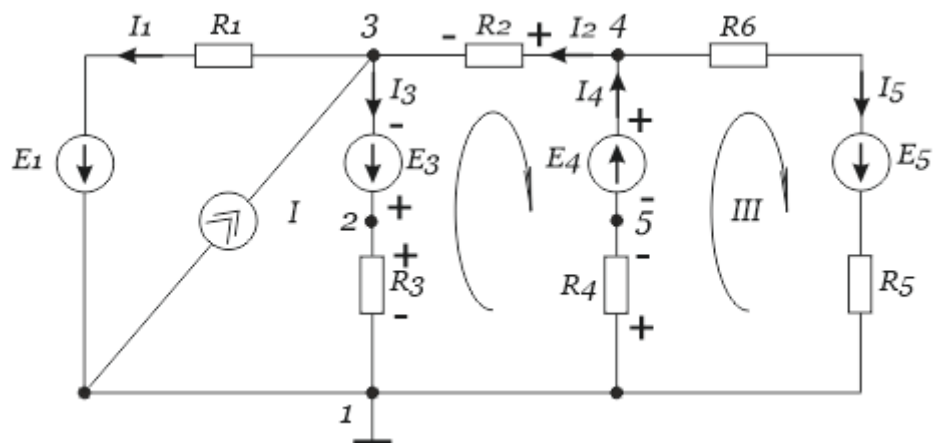


Рисунок 8.1

Потенциал в т.1 принимаем за ноль

$$\varphi_1 = 0V$$

Считаем потенциалы для других точек

$$\varphi_2 = \varphi_1 + I_3 \cdot R_3 = 4.413 \cdot 4 = 17.728B$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 - E_3 = 17.728 - 14 = 3.728B$$

$$\varphi_4 = \varphi_3 + I_2 \cdot R_2 = 3.728 + 0.689 \cdot 3 = 5.888B$$

$$\varphi_5 = \varphi_4 - E_4 = 5.888 - 8 = -2.112B$$

$$\varphi_1 = \varphi_5 + I_4 \cdot R_4 = -2.112 + 2.112 = 0B$$

По полученным данным строим потенциальную диаграмму

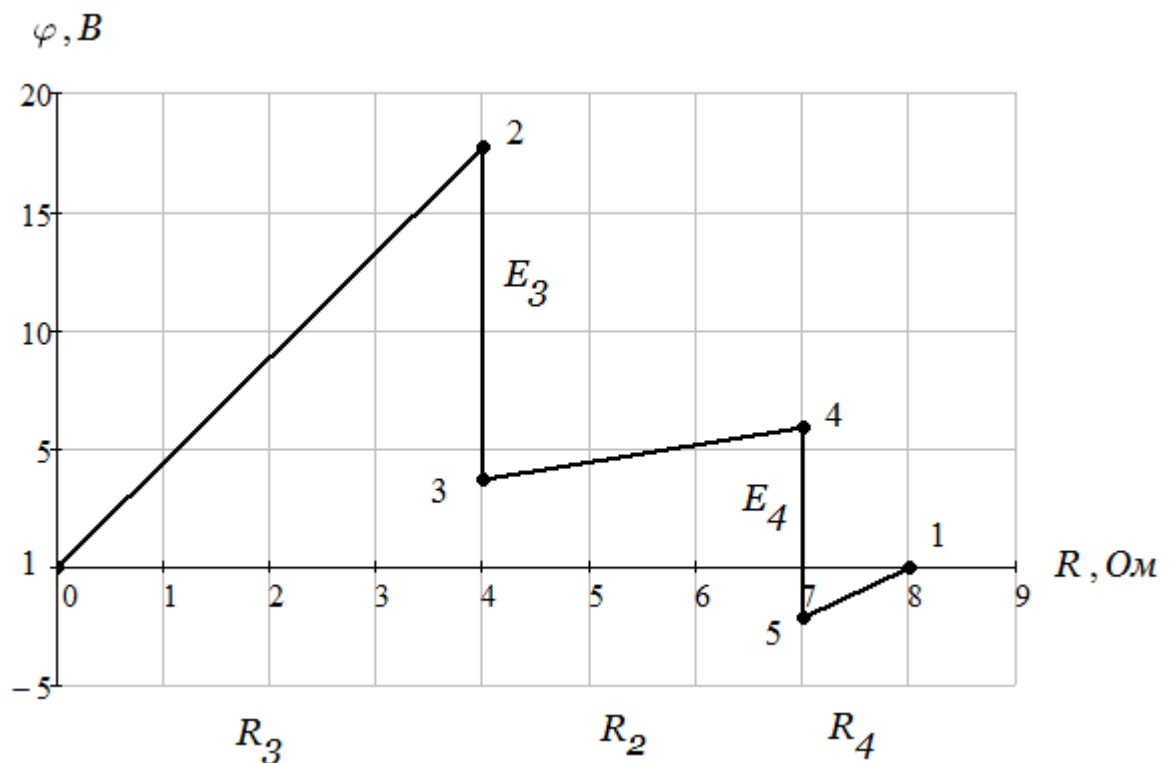


Рисунок 8.2 Потенциальная диаграмма

Масштаб: $M_\varphi = 5 \frac{B}{дел}, M_R = 1 \frac{Ом}{дел}$

1.9 Выполнить расчет баланса мощности для схемы

Напряжение на источнике тока находим по второму закону Кирхгофа для замкнутого контура:

$$U_J = -E_1 + I_1 \cdot R_1 = -10 + 2.888 \cdot 6 = 3.728V$$

Мощность источников:

$$P_{ист} = \sum_{i=1}^n E_i I_i$$

$$\begin{aligned} P_{ист} &= E_1 \cdot I_1 + E_3 \cdot I_3 + E_4 \cdot I_4 + E_5 \cdot I_5 + U_J \cdot J = \\ &= 10 \cdot 2.88 + 14 \cdot 4.432 + 8 \cdot 2.112 + 15 \cdot 1.393 + 3.728 \cdot 6 = 145.087 Bm \end{aligned}$$

Мощность нагрузки:

$$P_{наг} = \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot R_i$$

$$\begin{aligned} P_{наг} &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot (R_5 + R_6) = \\ &= 2.288^2 \cdot 6 + 0.72^2 \cdot 3 + 4.432^2 \cdot 4 + 2.112^2 \cdot 4 + 1.393^2 \cdot 15 = 145.103 Bm \end{aligned}$$

Из-за того, что мощности не равны между собой, найдем погрешность:

$$\delta = \left| \frac{P_{ист} - P_{наг}}{P_{ист}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{145.087 - 145.103}{145.087} \right| \cdot 100\% = 0,01\% < 1\%$$

Учитывая, что погрешность меньше 1% можно сказать, что мощность источников равна мощности нагрузки, а значит баланс мощностей выполняется.

1.10 Вывод

В 1 части курсовой работы мы научились применять разные методы для решения схем, построили данную схему в программе Multisim и измеряли токи. Все полученные данные из решение и моделирований мы свели в одну таблицу, все значения успешно сошлись. Провели расчет баланса мощностей, где $P_{ист} = P_{наг}$ с погрешностью $\delta = 0,01\%$.

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	$8e^{j120^\circ}$	$15e^{-j70^\circ}$

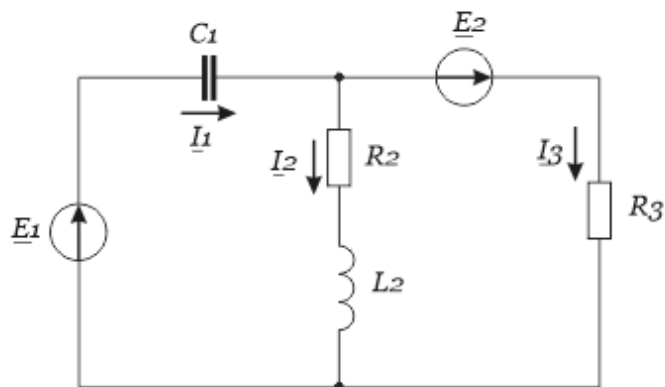


Рисунок 1. Схема цепи

2.1 Рассчитать сопротивление ветвей(комплексное)

Изобразим комплексную схему замещения заданной цепи

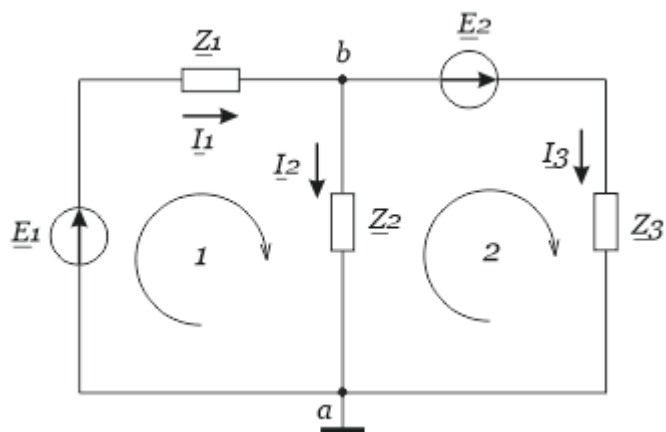


Рисунок 2. Схема замещения

Дальше определяем комплексное сопротивление ветвей:

$$\underline{Z}_1 = -j \cdot X_{C1} = (-4 \cdot j) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j \cdot X_{L2} = (2 + 5 \cdot j) \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 = 4 \text{ Ом}$$

2.2 Метод непосредственного применения законов Кирхгофа

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

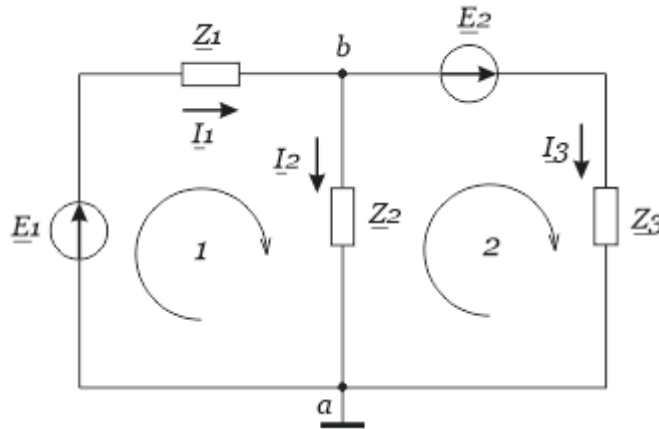


Рисунок 3

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

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

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

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:

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

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

Также найдем действующие значения токов:

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

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

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

2.3 МКТ (Метод контурных токов)

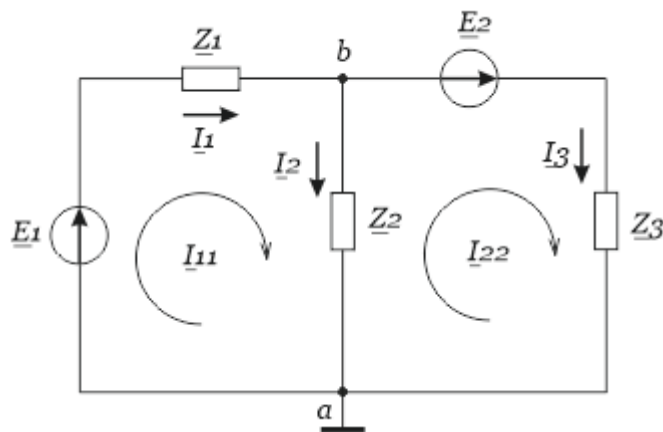


Рисунок 4

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:

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

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

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

2.4 МДУ (Метод двух узлов)

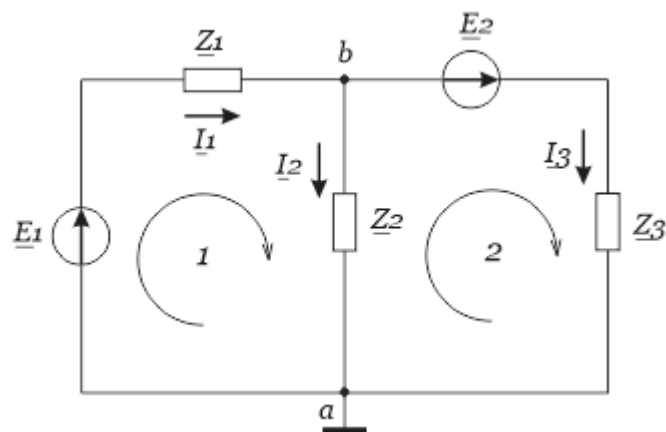


Рисунок 5

Зануляем потенциал $\varphi_a = 0V$

Комплексные проводимости ветвей:

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

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

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

Тогда междуузловое напряжение будет равно:

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

Токи в ветвях найдем по закону Ома:

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

$$\underline{I}_2 = \underline{U}_{ba} \cdot \underline{Y}_2 = (-7,105 + j \cdot 9,64) \cdot (0,069 - j \cdot 0,1724) = (1,172 + j \cdot 1,891)A$$

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

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

Найдем напряжения на элементах цепи

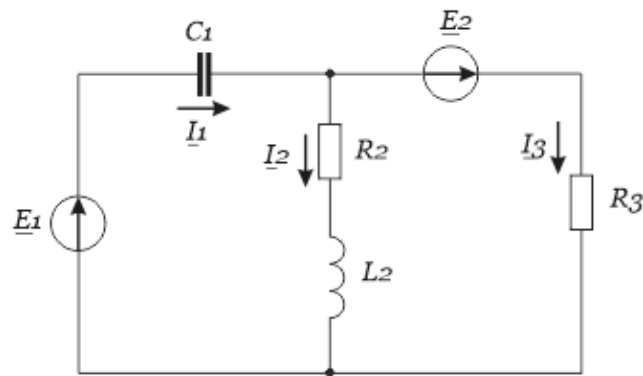


Рисунок 6

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

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

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

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

Теперь строим векторную диаграмму токов и векторно-топографическую диаграмму напряжений

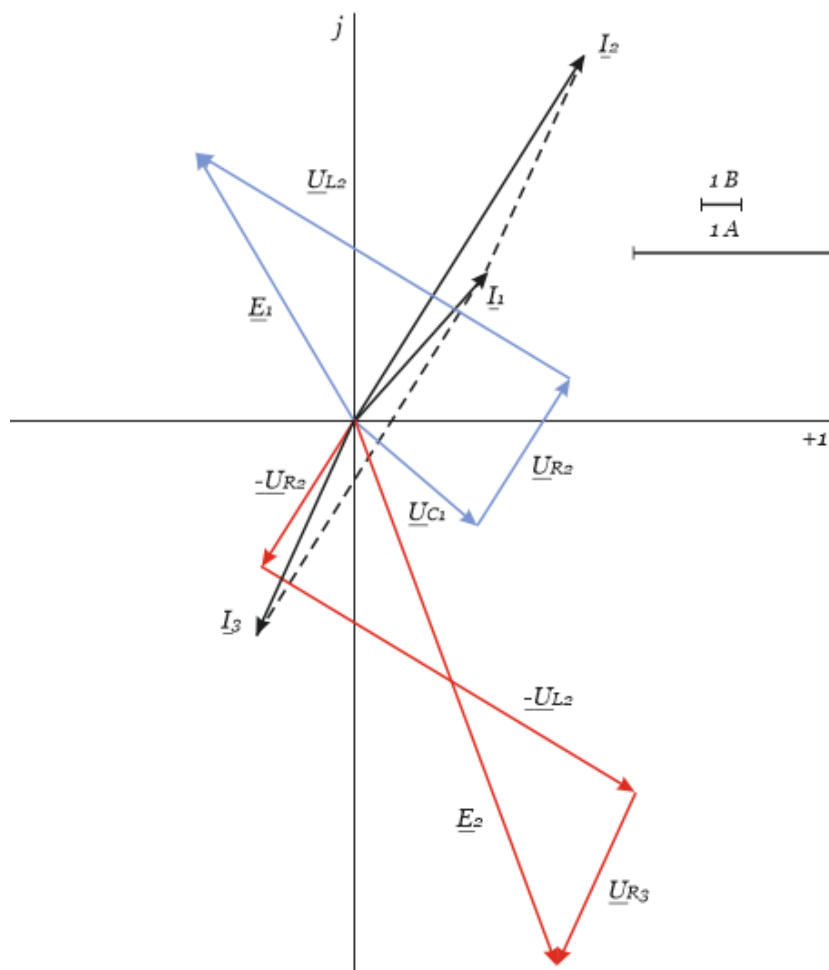


Рисунок 7

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

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 .

2.6 Схема в Multisim

Значения катушки и конденсатора

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

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

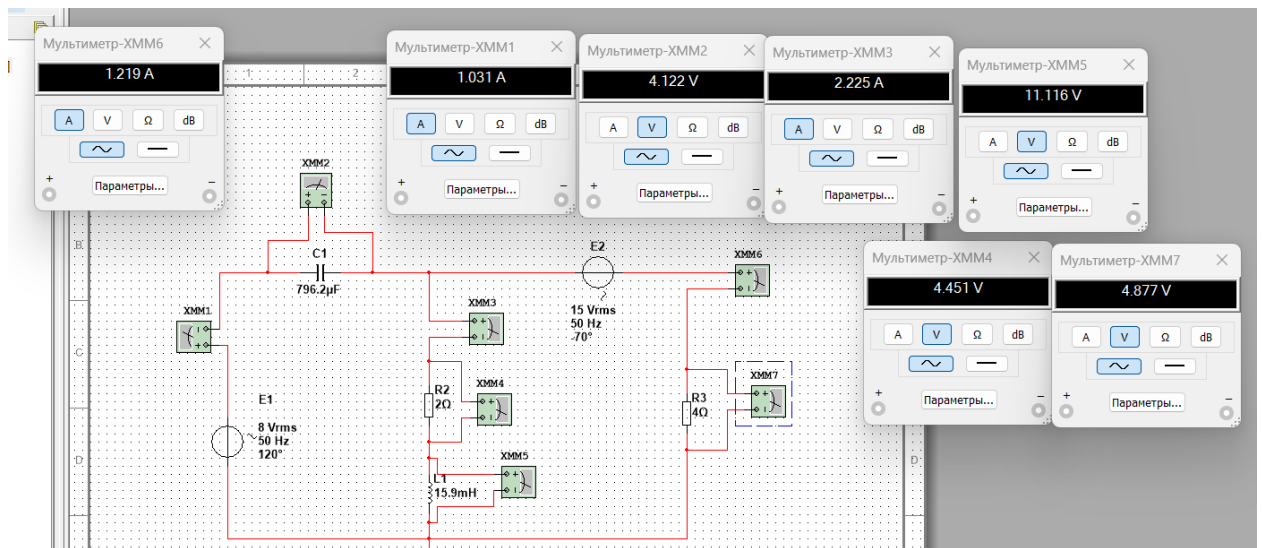


Рисунок 8

2.7 Баланс мощности

Комплексная мощность источников:

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

Где E умножается на комплексно сопряженный ток

Активная и реактивная мощность источников:

$$P_u = 15,839 Bm$$

$$Q_u = 20,483 вар$$

Активная и реактивная мощность нагрузки:

$$P_n = I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 2,225^2 \cdot 2 + 1,219^2 \cdot 4 = 15,845 Bm$$

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

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

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

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

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

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

2.8 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%.

Часть 3

Задача 3.1

Найти $I_L(t)$ – ? Построить график

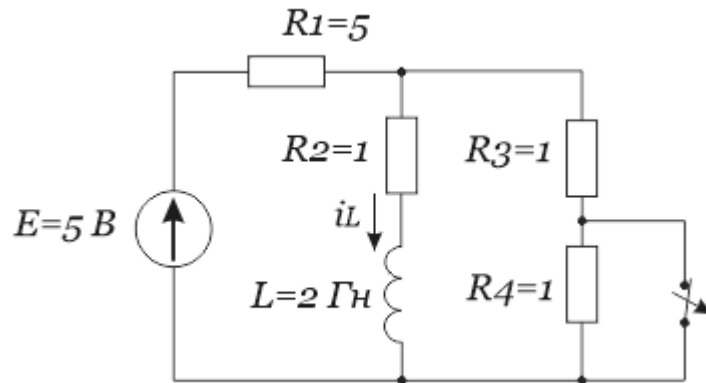


Рисунок 1.1

1) Момент времени $t=0^-$. Ключ замкнут.

Преобразуем катушка L в провод т.к. $\frac{di_L}{dt} = 0$; $u_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} = 0$

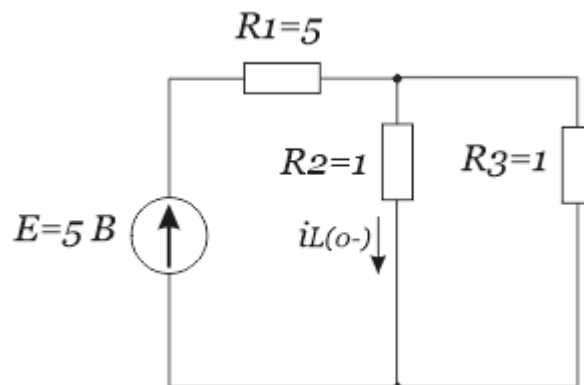


Рисунок 1.2

По закону Ома, а также делителю тока:

$$i_L(0-) = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{5}{5 + \frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{2} = \frac{5}{11} = 0,455 A$$

2) Принужденный режим. Ключ разомкнут.

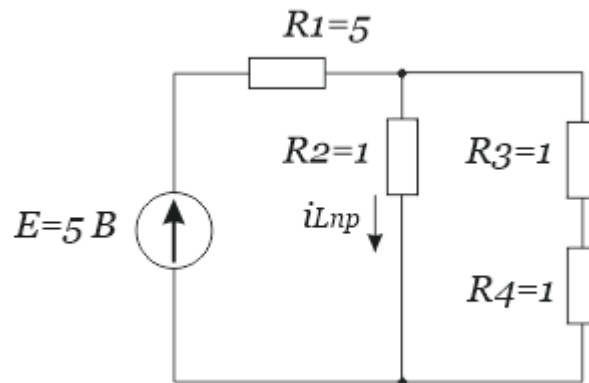


Рисунок 1.3

По закону Ома и делителю тока:

$$i_{Lnp} = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4}} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{5}{5 + \frac{2}{3}} \cdot \frac{2}{3} = 0.588 A$$

3) Постоянная времени и корень характеристического уравнения.

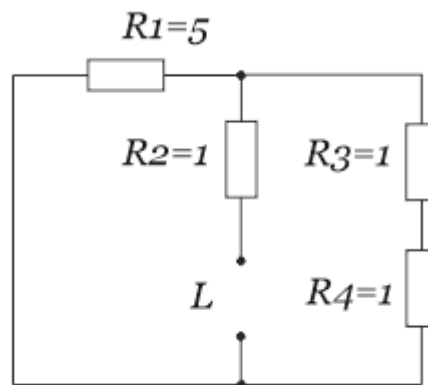


Рисунок 1.4

$$\tau = \frac{L}{R_{\text{экв}}} = \frac{L}{R_2 + \frac{R_1 \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_4}} = \frac{2}{1 + \frac{10}{7}} = 0,824c$$

$$\rho = -\frac{1}{\tau} = -\frac{1}{0,824} = -1,214$$

4) Свободная составляющая.

$$i_{L\text{св}} = A \cdot e^{\rho t} = A \cdot e^{-1,214t}$$

5) Находим постоянную интегрирования.

По закону коммутации.

$$i_L(0) = i_L(0-) = 0,455A$$

$$i_L(t) = i_{Lnp}(t) + i_{L\text{св}}(t)$$

$$i_L(0) = i_{Lnp}(0) + i_{L\text{св}}(0)$$

$$0,455 = 0,588 + A \cdot e^{-1,214t}$$

При $t=0$

$$0,455 = 0,588 + A$$

$$A = 0,455 - 0,588 = -0,133$$

6) Получаем.

$$i_L(t) = i_{Lnp}(t) + i_{L\text{св}}(t) = (0,588 - 0,133 \cdot e^{-1,214t})A$$

7. Строим графики на интервале $t = (0; t_{mn})$.

$$t_{mn} = 5 \cdot \tau = 4,12c \text{ - время переходного процесса}$$

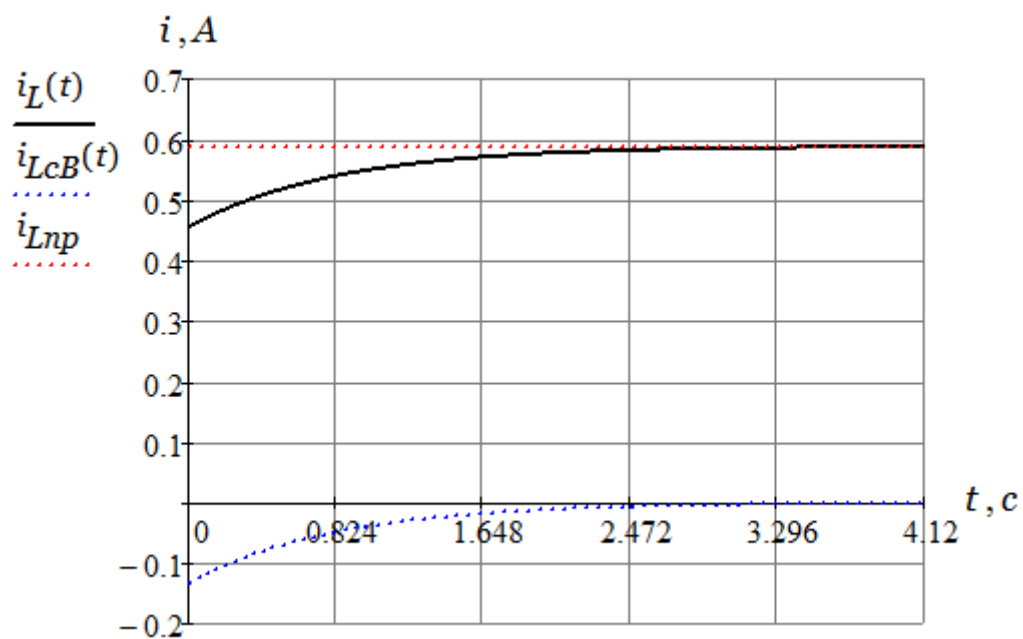


Рисунок 1.5

$$M_t = 0,687 \frac{с}{сМ}$$

$$M_{i_L(t)} = 0,143 \frac{A}{сМ}$$

Задача 3.2

Найти $I(t)$ -? Построить график.

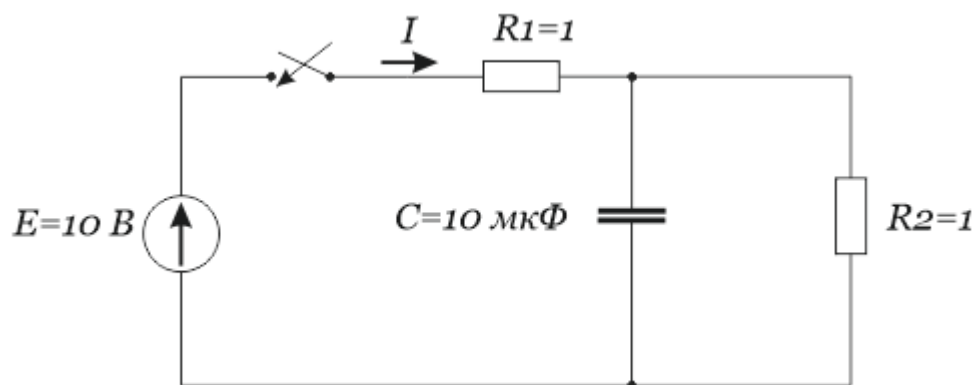


Рисунок 2.1

1) Момент времени $t=0-$. Ключ разомкнут.

Преобразуем конденсатор C в разрыв т.к $i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$; $\frac{du_C(t)}{dt} = 0$; $i_C(t) = 0$

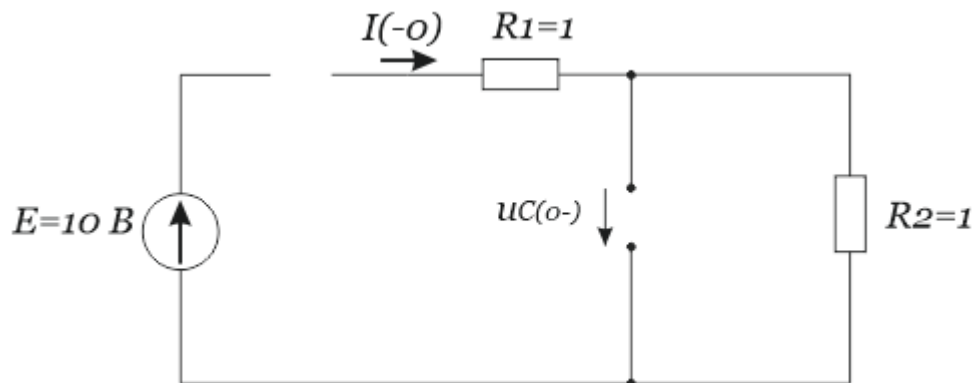


Рисунок 2.2

$$u_C(0-) = 0B$$

2) Принужденный режим. Ключ замкнут.

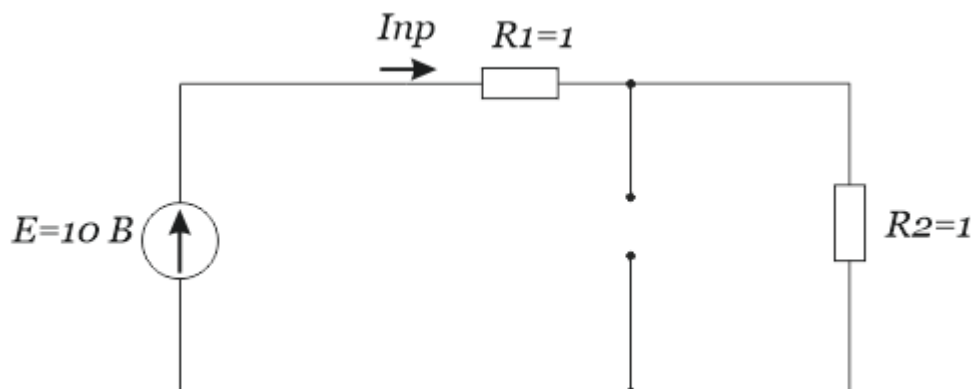


Рисунок 2.3

По закону Ома

$$I_{np} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{10}{2} = 5A$$

3) Постоянная времени и корень характеристического уравнения.

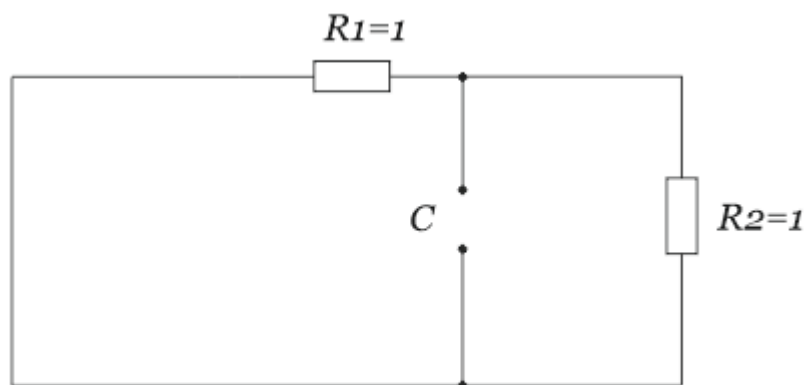


Рисунок 2.4

$$\tau = C \cdot R_{\text{экв}} = C \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{2} = 5 \text{ мкс}$$

$$\rho = -\frac{1}{\tau} = -\frac{1}{5 \cdot 10^{-6}} = -200000$$

4) Свободная составляющая.

$$i_{\text{св}}(t) = A \cdot e^{\rho t} = A \cdot e^{-200000t}$$

5) Находим постоянную интегрирования.

$$u_C(0) = u_C(0-) = 0 \text{ В}$$

$$\text{Дальше найдем ток } I(0); I(0) = \frac{E - u_C(0)}{R_1} = \frac{10}{1} = 10 \text{ А}$$

$$I(t) = I_{\text{np}}(t) + I_{\text{св}}(t)$$

$$I(0) = I_{\text{np}}(0) + I_{\text{св}}(0) = 5 + A \cdot e^{-200000 \cdot 0}$$

$$\begin{aligned} \text{При } t=0: \quad I(0) &= I_{\text{np}} + A \\ A &= I(0) - I_{\text{np}} = 10 - 5 = 5 \end{aligned}$$

6) Получаем.

$$I(t) = (5 + 5 \cdot e^{-200000t}) \text{ А}$$

7) Построим график на интервале $t=(0, t_{nn})$

$$t_{nn} = 5 \cdot \tau = 25 \text{ мкс}$$

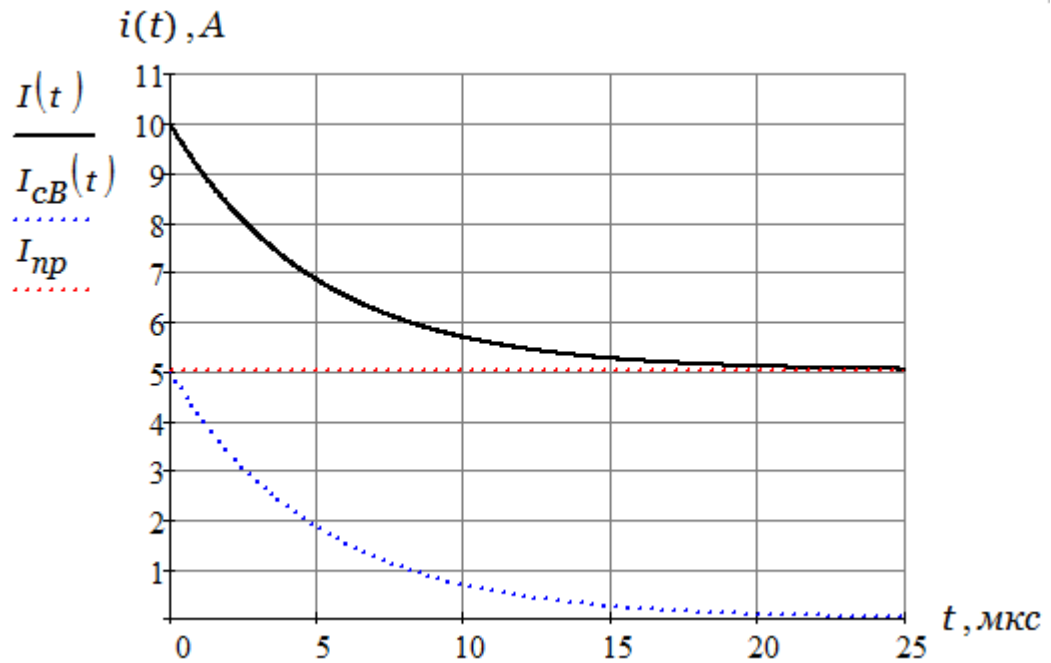


Рисунок 2.5

$$M_t = 2,94 \frac{\text{мкс}}{\text{см}}$$

$$M_{I(t)} = 1,43 \frac{\text{А}}{\text{см}}$$

Задача 3.3

Найти $I_I(t)$ -? Построить график.

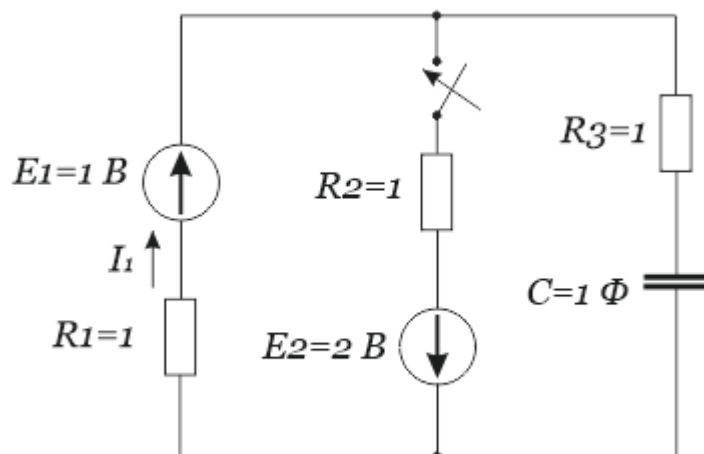


Рисунок 3.1

1) Момент времени $t=0-$. Ключ разомкнут.

Преобразуем конденсатор С в разрыв

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}; \frac{du_C(t)}{dt} = 0; i_C(t) = 0$$

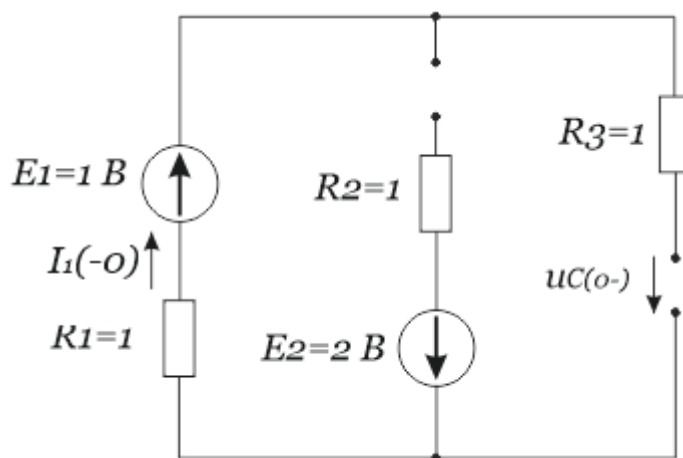


Рисунок 3.2

$$U_C(0-) = E_1 = 1B$$

2) Принужденный режим. Ключ замкнут.

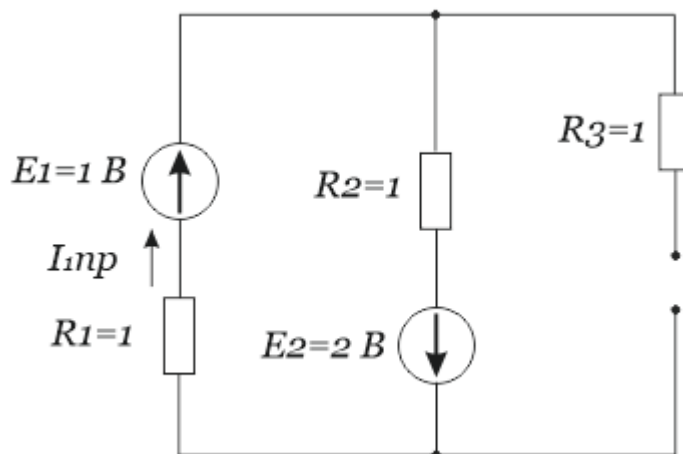


Рисунок 3.3

По закону Ома:

$$I_{inp} = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2} = \frac{3}{2} = 1,5 A$$

3) Постоянная времени и корень характеристического уравнения.

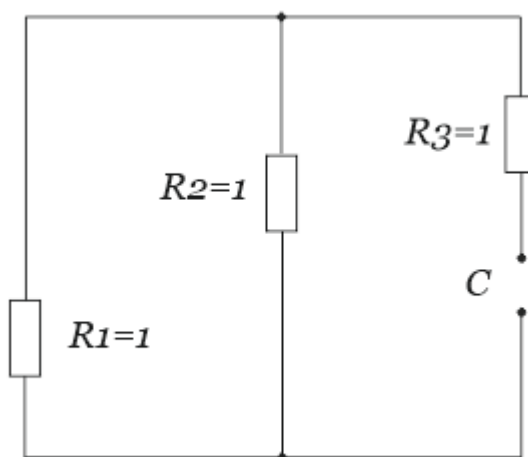


Рисунок 3.4

$$\tau = C \cdot R_{\text{экв}} = C \cdot \left(R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) = 1 + \frac{1}{2} = 1,5 c$$

$$\rho = -\frac{1}{\tau} = -\frac{1}{1,5} = -0,667$$

4) Свободная составляющая.

$$I_{\text{св}} = A \cdot e^{pt} = A \cdot e^{-0,667t}$$

5) Находим постоянную интегрирования.

По закону коммутации $U_C(0) = U_C(0-) = 1B$

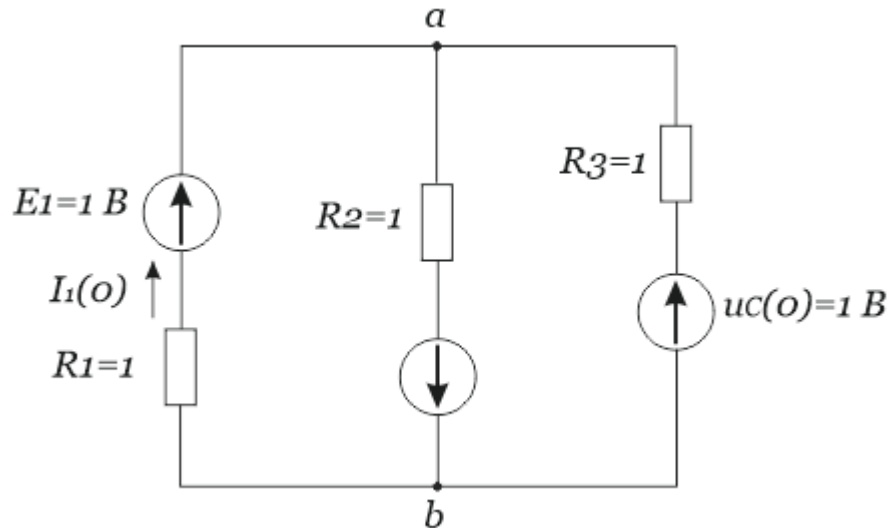


Рисунок 3.5

По методу двух узлов найдем напряжение на узлах а и б

$$U_{ab}(0) = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + \frac{U_C(0)}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1 - 2 + 1}{1 + 1 + 1} = 0B$$

Теперь находим ток $I_1(0)$

$$I_1(0) = \frac{E_1 - U_{ab}(0)}{R_1} = \frac{1}{1} = 1A$$

$$I_1(t) = I_{np}(t) + I_{св}(t)$$

$$I_1(0) = I_{np}(0) + I_{св}(0) = 1,5 + A \cdot e^{-0,667t}$$

При $t=0$

$$I_1(0) = 1,5 + A$$

$$A = I_1(0) - 1,5 = 1 - 1,5 = -0,5$$

6) Получаем.

$$I_1(t) = I_{1np}(t) + I_{1св}(t) = (1,5 - 0,5 \cdot e^{-0,667t}) A$$

7) Строим графики на интервале $t = (0; t_{nn})$.

Время переходного процесса $t_{nn} = 5 \cdot \tau = 5 \cdot 1,5 = 7,5 c$

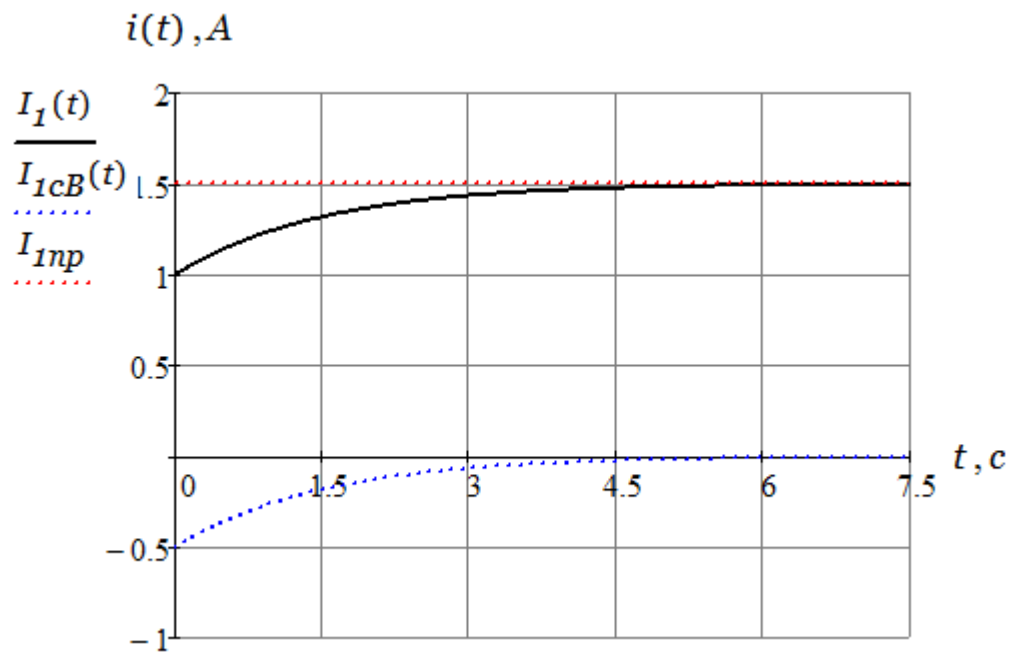


Рисунок 3.6

$$M_{I(t)} = 0,5 \frac{A}{cm}$$

$$M_t = 0,88 \frac{c}{cm}$$

Задача 3.4

Найти $I_L(t)$ -? Построить график.

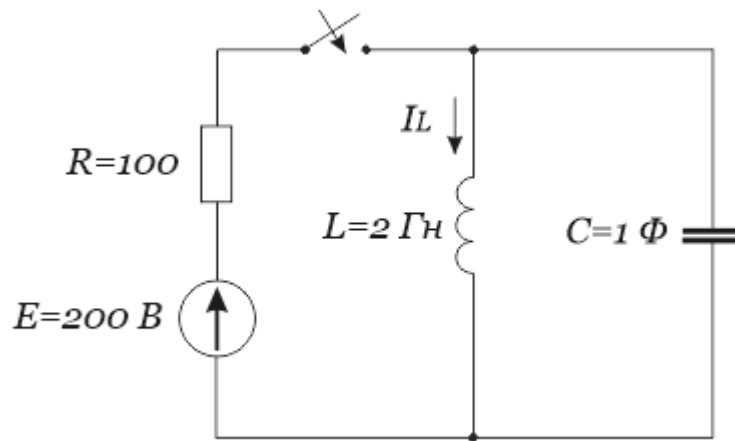


Рисунок 4.1

1) Момент времени $t=0-$. Ключ разомкнут.

Преобразуем конденсатор C в разрыв и катушку L в провод

$$\frac{di_L}{dt} = 0; u_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} = 0$$

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}; \frac{du_C(t)}{dt} = 0; i_C(t) = 0$$

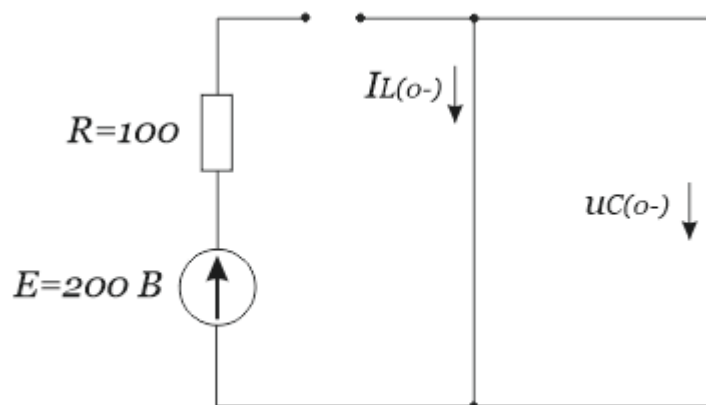


Рисунок 4.2

$$U_C(0-) = 0V$$

$$I_L(0-) = 0A$$

2) Принужденный режим. Ключ замкнут.

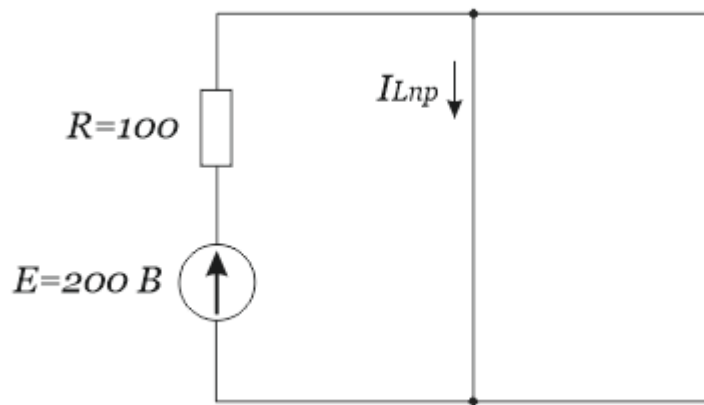


Рисунок 4.3

По закону Ома

$$I_{Lnp} = \frac{E}{R} = \frac{200}{100} = 2A$$

3)Корни характеристического уравнения.

Составим схему операторного замещения для исходной схемы

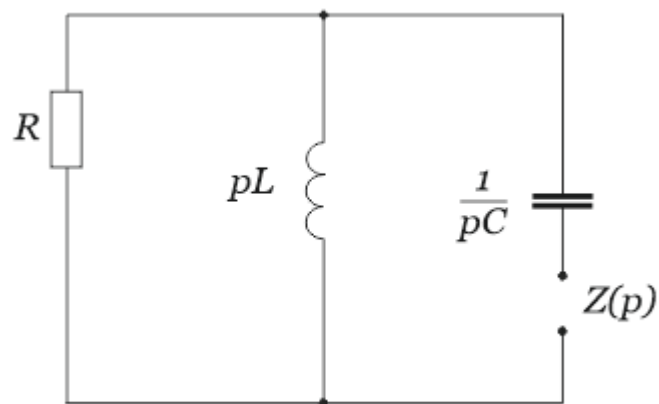


Рисунок 4.4

$Z(p)$ -операторное сопротивление равно сумме всех сопротивлений

$$Z(p) = \frac{1}{p \cdot C} + \frac{R \cdot p \cdot L}{R + p \cdot L} = \frac{R + p \cdot L + p \cdot C \cdot R \cdot p \cdot L}{p \cdot C \cdot (R + p \cdot L)} = \frac{R \cdot C \cdot L \cdot p^2 + L \cdot p + R}{p \cdot C \cdot (R + p \cdot L)}$$

$$Z(p) = 0$$

Тогда

$$R \cdot C \cdot L \cdot p^2 + L \cdot p + R$$

$$p^2 + \frac{1}{R \cdot C} \cdot p + \frac{1}{C \cdot L} = 0$$

Подставляя значения

$$p^2 + \frac{p}{100} + \frac{1}{2} = 0$$

Решая данное квадратное уравнение получим следующие корни:

$$p_{1,2} = -0,005 \pm j \cdot 0,707$$

$$p_{1,2} = a \pm j \cdot b$$

$$a = -0,005; b = 0,707$$

4) Свободная составляющая.

$$I_{Lcs} = e^{at} \cdot (A_1 \cdot \cos(b \cdot t) + A_2 \cdot \sin(b \cdot t))$$

$$I_{Lcs} = e^{-0,005t} \cdot (A_1 \cdot \cos(0,707 \cdot t) + A_2 \cdot \sin(0,707 \cdot t))$$

5) Находим постоянные интегрирования A_1 и A_2 из начальных условий для момента $t=0$.

$$I_L(0) = I_L(0-) = 0A$$

$$I_L(0) = I_{Lnp} + I_{Lcs}(0)$$

$$0 = 2 + A_1$$

$$I'_L(t) = a \cdot e^{at} \cdot (A_1 \cdot \cos(b \cdot t) + A_2 \cdot \sin(b \cdot t)) + e^{at} \cdot (-b \cdot A_1 \cdot \sin(b \cdot t) + b \cdot A_2 \cdot \cos(b \cdot t))$$

При $t=0$

$$I'_L(0) = -0,005 \cdot A_1 + 0,707 \cdot A_2$$

Зависимое начальное условие

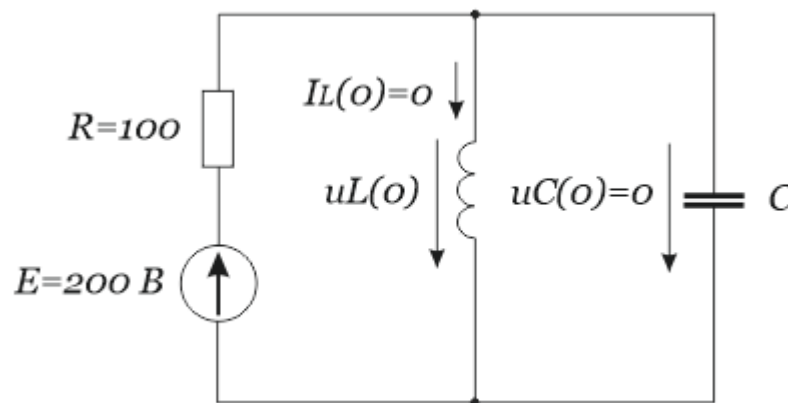


Рисунок 4.5

По закону коммутации

$$I_L(0-) = I_L(0)$$

$$U_C(0-) = U_C(0) = 0$$

Т.к в цепи катушка L и конденсатор параллельны, то $U_L(0) = U_C(0)$

Формула для напряжения на катушке L

$$U_L(0) = I'_L(0) \cdot L$$

Используя прошлые уравнения получим значения производной тока на катушке в момент времени $t=0$

$$I'_L(0) = \frac{U_L(0)}{L} = \frac{U_C(0)}{L} = \frac{0}{L} = 0$$

Тогда получаем систему из двух уравнений

$$0 = 2 + A_1$$

$$0 = -0,005A_1 + 0,707A_2$$

Решая данную систему получим следующие значения

$$A_1 = -2; A_2 = -0,014$$

6) Получаем.

$$I_L(t) = (2 - e^{-0,005t} \cdot (2 \cdot \cos(0,707 \cdot t) + 0,014 \cdot \sin(0,707 \cdot t)))A$$

С помощью тригонометрических преобразований приведем данное выражение к виду:

$$C \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = C \cdot (\sin \varphi \cdot \cos(\omega \cdot t) + \cos \varphi \cdot \sin(\omega \cdot t))$$

$$A = C \cdot \sin(\varphi); B = C \cdot \cos(\varphi)$$

$$C = \frac{A}{\sin(\varphi)}; \operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{B}$$

Получим следующее:

$$\begin{aligned} I_L(t) &= 2 - 2 \cdot e^{-0,005t} \cdot \sin(0,707 \cdot t + 90^\circ) = 2 - 2 \cdot e^{-0,005t} \cdot \cos(0,707 \cdot t) = \\ &= (2 + 2 \cdot e^{-0,005t} \cdot \sin(0,707 \cdot t - 90^\circ))A \end{aligned}$$

Итоговое значение:

$$I_L(t) = (2 + 2 \cdot e^{-0,005t} \cdot \sin(0,707 \cdot t - 90^\circ))A$$

Где

$$I_{Lcs} = (2 \cdot e^{-0,005t} \cdot \sin(0,707 \cdot t - 90^\circ))A$$

7) Строим графики на интервале $t \in (0; t_{nn})$.

Время переходного процесса:

$$t_{nn} = 5 \cdot \tau = 5 \cdot 200 = 1000c$$

$$\tau = \frac{1}{|p|} = \frac{1}{0,005} = 200c$$

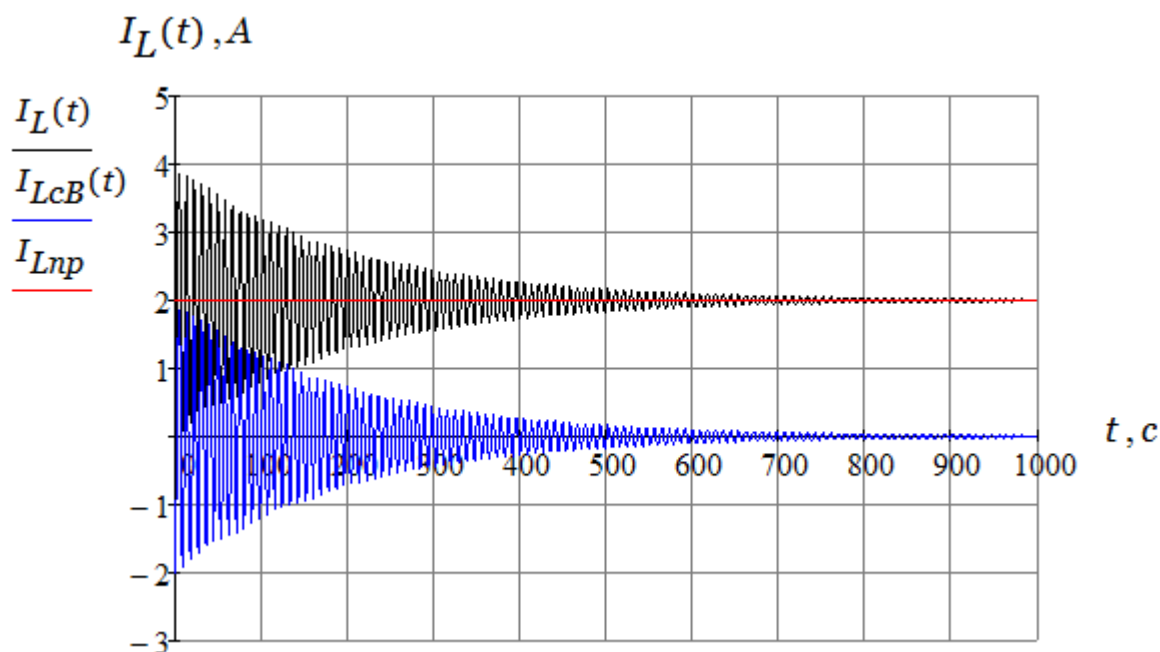


Рисунок 4.6

$$M_{I_L(t)} = 1,25 \frac{A}{cm}$$

$$M_t = 100 \frac{c}{cm}$$

3.5 Вывод

В 3 части курсовой работы узнали о переходных процессах, решили 4 задачки в которых надо было найти значения токов или напряжений на различных элементах электрической цепи. Также в конце каждой задачи построили график зависимости искомой нами величины от времени. Графики строили до конца переходного процесса

Заключение

В ходе данной курсовой работы по Электротехнике на тему “Расчет электрических цепей” в первой части работали с цепями постоянного тока, где находили значения токов в ветвях, к ним составляли баланс мощностей, строили потенциальную диаграмму, а также приводили результаты моделирование аналогичной схемы в программе Multisim. Во второй части работали с цепями переменного тока, где с помощью уже известных нам методов по первой части находили токи в ветвях, строили векторную диаграмму токов, а также векторно-топографическую диаграмму

напряжений для каждого контура. В подтверждение правильности расчетов снимали показания с моделирования аналогичной схемы в программе Multisim. В 3 части курсовой работали уже с переходными процессами, решили 4 задачи в которых надо было найти значения токов или напряжений на различных элементах электрической цепи. Также в конце каждой задачи построили график зависимости искомой нами величины от времени.

Литература

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники: Линейные электрические цепи [Текст] : Учеб. пособие / Атабеков Г.И.. - 8-е изд., стер.. - СПб. : Лань, 2010. - 592 с.. - (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Бычков Ю.А. Справочник по основам теоретической электротехники [Текст] : Учеб. пособие / Под ред. Ю.А. Бычкова и др.. - СПб. : Лань, 2012. - 368 с.. - (Учебники для вузов. Специальная литература).

