



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Методические указания
по выполнению домашних заданий по единому
комплексному заданию по блоку дисциплины

«Основы электротехники»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Методические указания
по выполнению домашних заданий по единому
комплексному заданию по блоку дисциплины

«Основы электротехники»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Методические указания по выполнению домашних заданий по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Основы электротехники»
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 21 с.: ил.

В методических указаниях рассмотрены основные этапы, их последовательность и содержание по выполнению домашних заданий по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Основы электротехники».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В работе проводятся изучения основных методов расчета аналоговых цепей тремя методами: методом контурных токов, методом суммарных потенциалов и методом виртуального генератора. Во второй части задания проводится построение временных диаграмм, описывающих переходные процессы, происходящие в цепи при воздействии на нее активных элементов.

ANNOTATION

In the study carried out the basic methods of calculation of analog circuits using three methods: a method of loop currents, the total potential method and the method of virtual generator. The second part of the job is carried out the construction of the timing charts describing the transient processes in the chain under the action of the active elements.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ РАСЧЕТА АНАЛОГОВЫХ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ	6
1.1 Домашнее задание 1.....	7
1.2 Домашнее задание 2.....	13
ВЫВОДЫ.....	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	21

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – изучение принципов расчета аналоговых цепей, с помощью трех общепринятых методов: метода контурных токов, метода суммарных потенциалов и методом виртуального генератора. Во второй части задания необходимо построить временные диаграммы переходных процессов, происходящих в цепи, при воздействии на нее активных элементов: источников электродвижущей силы и постоянных источников тока.

В первой части задания необходимо рассчитать электрическую цепь тремя методами: методом контурных токов, методом суммарных потенциалов и методом виртуального генератора.

Во второй части задания необходимо построить график переходного процесса аналоговой схемы при воздействии на цепь источников постоянного тока и источников электродвижущей силы.

1 ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ РАСЧЕТА АНАЛОГОВЫХ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

1.1 Домашнее задание 1

Рассчитать токи в заданной схеме методом контурных токов, методом узловых потенциалов и неизвестной ток в одной из ветвей методом эквивалентного источника. Построить векторные диаграммы токов для одного из узлов и напряжений для одного из контуров, содержащего источник ЭДС. Проверку правильности вычислений провести методом баланса мощностей. Определить показания приборов, измеривших действительное значение. В ответе указать значения токов в комплексной форме и во временной для тока, рассчитанного методом эквивалентного источника, показания приборов.

$$e_1 = -200\sqrt{2} \sin(10^3 t - 90^\circ) \text{ В}$$

$$\omega = 10^3$$

$$\dot{I}_2 = -4 + 2j$$

$$e_6 = 800 \sin(10^3 t + 45^\circ) \text{ В}$$

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$E_5 = 200$$

$$R_2 = 30 \text{ Ом}$$

$$L_3 = 250 \text{ мГн}$$

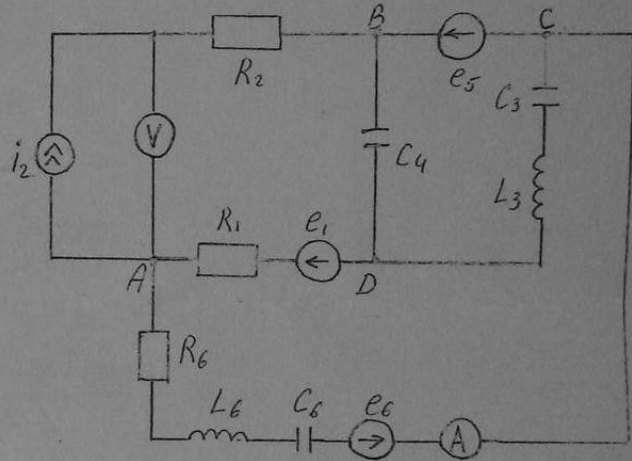
$$C_3 = 20/3 \text{ мкФ}$$

$$C_4 = 10 \text{ мкФ}$$

$$R_6 = 100 \text{ Ом}$$

$$L_6 = 150 \text{ мГн}$$

$$C_6 = 5 \text{ мкФ}$$



$$200(\cos(-\frac{\pi}{4}) + j \sin(-\frac{\pi}{4})) = 200j$$

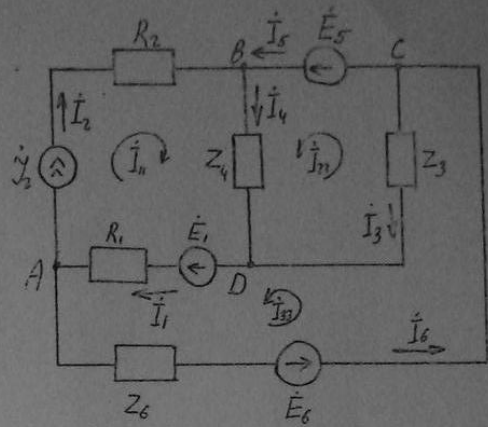
$$\dot{E}_6 = 400\sqrt{2}(\cos(\frac{\pi}{4}) + j \sin(\frac{\pi}{4})) = 400 + 400j$$

$$\dot{E}_5 = 200$$

$$Z_3 = j(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}) = j(250 - \frac{3000}{20}) = 100j$$

$$Z_4 = -100j$$

$$Z_6 = R_6 + j(\omega L_6 - \frac{1}{\omega C_6}) = 100 - 50j$$



Метод контурных токов.

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{I}_2 \\ \dot{I}_{22}(Z_4 + Z_3) - \dot{I}_{33}Z_3 + \dot{I}_n Z_4 = \dot{E}_5 \\ \dot{I}_{33}(R_1 + Z_6 + Z_3) - \dot{I}_{22}Z_3 + \dot{I}_n R_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_6 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_n = -4 + 2j \end{cases}$$

$$\dot{I}_{22}(-100j + 100j) - \dot{I}_{33}100j + \dot{I}_n(-100j) = 200$$

$$\dot{I}_{33}(100 + 100 - 50j + 100j) - \dot{I}_{22}100j + 100\dot{I}_n = 200j + 400 + 400j$$

$$\dot{I}_{33} = \frac{(2j - 4)(-100j) - 200}{100j} = \frac{400j + 200 - 200}{100j} = \frac{4j}{j} = 4$$

$$\dot{I}_{22} = \frac{4(200 + 50j) + 100(2j - 4) - 600j - 400}{100j} = \frac{800 + 200j - 400 + 200j - 200j - 400 - 400j}{100j} = -2$$

$$\begin{cases} \dot{I}_n = -4 + 2j \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{22} = -2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{33} = 4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{I}_n + \dot{I}_{33} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_2 = \dot{I}_n \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_3 = -\dot{I}_{22} + \dot{I}_{33} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \dot{I}_4 = \dot{I}_{22} + \dot{I}_n \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_5 = \dot{I}_{22} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_6 = \dot{I}_{33} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = -4 + 2j + 4 = 2j \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_2 = -4 + 2j \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_3 = 2 + 4 = 6 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_4 = -2 - 4 + 2j = -6 + 2j \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_5 = -2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_6 = 4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{I}_1 = 2j \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_2 = -4 + 2j \end{cases}$$

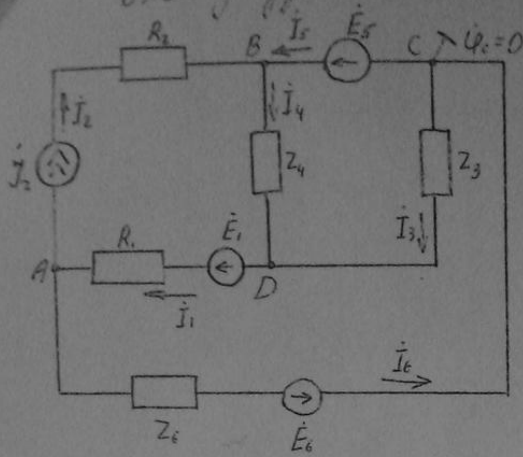
$$\begin{cases} \dot{I}_3 = 6 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_4 = -6 + 2j \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_5 = -2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_6 = 4 \end{cases}$$

Метод узловых потенциалов



$$\begin{cases} \psi_c = 0 \\ \psi_B = E_5 \\ \psi_A \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{Z_6} \right) - \psi_D \frac{1}{R_1} = -j_2 + E_1 \frac{1}{R_1} - E_6 \frac{1}{Z_6} \\ \psi_D \left(\frac{1}{Z_4} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{Z_3} \right) - \psi_A \frac{1}{R_1} - \psi_B \frac{1}{Z_4} = -E_1 \frac{1}{R_1} \end{cases}$$

$$\psi_D \left(-\frac{1}{100j} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100j} \right) - \psi_A \frac{1}{100} + \frac{200}{100j} = -\frac{200j}{100}$$

$$\frac{\psi_D}{100} - \frac{\psi_A}{100} = 2j - 2j$$

$$\psi_D = \psi_A$$

$$\psi_A \left(\frac{1}{100-50j} \right) = 4 - 2j + \frac{200j}{100} - \frac{400+400j}{100-50j}$$

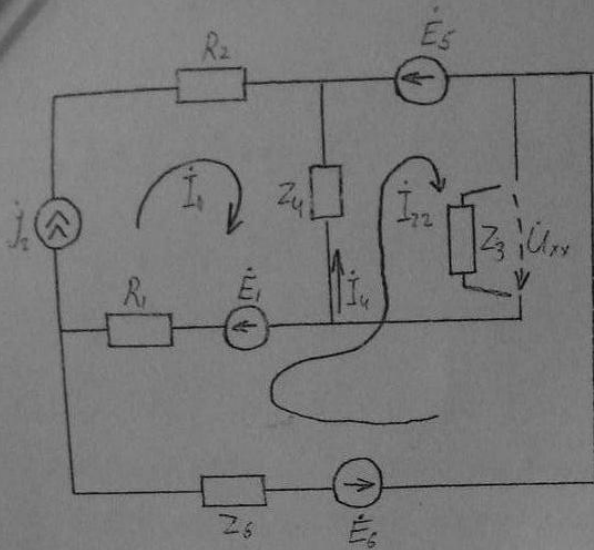
$$\frac{\psi_A}{100-50j} = \frac{400 - 200j - 400 - 400j}{100-50j} = \frac{-600j}{100-50j}$$

$$\begin{cases} \psi_A = -600j \\ \psi_B = 200 \\ \psi_c = 0 \\ \psi_D = -600j \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \frac{E_1 + \psi_{DA}}{R_1} = \frac{200j}{100} = 2j \\ \dot{I}_2 = j_2 = -4 + 2j \\ \dot{I}_3 = \frac{\psi_{CD}}{Z_3} = \frac{600j}{100j} = 6 \\ \dot{I}_4 = \frac{\psi_{BD}}{Z_4} = \frac{200 + 600j}{-100j} = 2j - 6 \\ \dot{I}_6 = \frac{\psi_{AC} + E_6}{Z_6} = \frac{-600j + 400 + 400j}{100-50j} = 4 \\ \dot{I}_5 = \dot{I}_6 - \dot{I}_3 = 4 - 6 = -2 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = 2j \\ \dot{I}_2 = -4 + 2j \\ \dot{I}_3 = 6 \\ \dot{I}_4 = 2j - 6 \\ \dot{I}_5 = -2 \\ \dot{I}_6 = 4 \end{cases}$$

Метод эквивалентного источника.



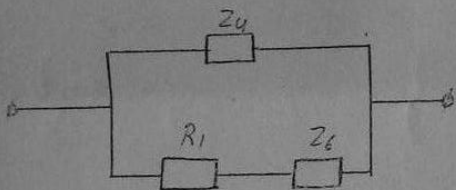
$$\dot{I}_{11} = \dot{I}_2 = -4 + 2j$$

$$\dot{I}_{22}(Z_6 + R_1 + Z_4) - \dot{I}_{11}(R_1 + Z_4) = -\dot{E}_1 - \dot{E}_5 - \dot{E}_6$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{22} &= \frac{-\dot{E}_1 - \dot{E}_5 - \dot{E}_6 + \dot{I}_{11}(R_1 + Z_4)}{Z_6 + R_1 + Z_4} = \\ &= \frac{-200j - 200 - 400 - 400j + (2j - 4)(100 - 100j)}{200 - 150j} = \\ &= \frac{-16}{4 - 3j} \end{aligned}$$

$$\dot{I}_4 = \dot{I}_{22} - \dot{I}_{11} = -\frac{16}{4 - 3j} + 4 - 2j = \frac{-16 + 16 - 12j - 8j - 6}{4 - 3j} = \frac{-6 - 20j}{4 - 3j}$$

$$U_{xx} = -\dot{E}_5 - \dot{I}_4 Z_4 = -200 + \frac{100j(-6 - 20j)}{4 - 3j} = \frac{-800 + 600j - 600j + 2000}{4 - 3j} = \frac{1200}{4 - 3j}$$



$$\begin{aligned} Z_{6x} &= \frac{Z_4(R_1 + Z_6)}{Z_4 + R_1 + Z_6} = \frac{-100j(100 + 100 - 50j)}{-100j + 100 + 100 - 50j} = \\ &= \frac{-2000j - 500}{20 - 15j} \end{aligned}$$

$$Z = Z_{6x} + Z_3 = \frac{-400j - 100}{4 - 3j} + 100j = \frac{200}{4 - 3j}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{U_{xx}}{Z} = \frac{1200(4 - 3j)}{200(4 - 3j)} = 6$$

$$i_3(t) = 6\sqrt{2}(\sin(\omega t)) A$$

справочно (методом безымянной мощности)

$$\begin{cases} \dot{U} + \dot{I}_2 R_2 + \dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_4 Z_4 = \dot{E}_1 \\ \dot{E}_5 \dot{I}_5^* + \dot{E}_1 \dot{I}_1^* + \dot{E}_6 \dot{I}_6^* + \dot{I}_2^* \dot{U} = R_1 \dot{I}_1^2 + R_2 \dot{I}_2^2 + Z_4 \dot{I}_4^2 + Z_3 \dot{I}_3^2 + Z_6 \dot{I}_6^2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{E}_1 - \dot{I}_2 R_2 - \dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_4 Z_4 = \\ &= 200j + (4 - 2j) \cdot 30 - 2j \cdot 100 + 100j(2j - 6) = -660j - 80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_5 \dot{I}_5^* + \dot{E}_1 \dot{I}_1^* + \dot{E}_6 \dot{I}_6^* + \dot{I}_2^* \dot{U} &= \\ &= 200(-2) + 200j(-2j) + (400 + 400j) \cdot 4 + (4 + 2j)(660j + 80) = \\ &= -400 + 400 + 1600 + 1600j - 1320 + 320 + 160j + 2640j = 2600 - 1200j \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1 \dot{I}_1^2 + R_2 \dot{I}_2^2 + Z_4 \dot{I}_4^2 + Z_3 \dot{I}_3^2 + Z_6 \dot{I}_6^2 &= \\ &= 100 \cdot 4 + 30(16 + 4) - 100j(36 + 4) + 100j \cdot 36 + (100 - 50j)16 = \\ &= 400 + 600 - 4000j + 3600j + 1600 - 800j = 2600 - 1200j \end{aligned}$$

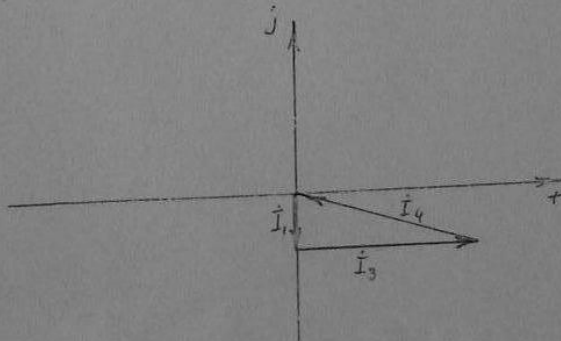
Показываем прибором, измеривший действ. значение.

(A) $\dot{I} = \dot{I}_2 = 4$
 $i(t) = 4\sqrt{2} \sin \omega t \text{ A}$

(V) $\dot{U} = -660j - 80 = \sqrt{435600 + 6400} e^{j \arctg(\frac{660}{80} + \pi)} = 10\sqrt{4420} e^{j \arctg(\frac{33}{4} + \pi)}$
 $u = 20\sqrt{2210} \sin(\omega t + \arctg(\frac{33}{4} + \pi)) \text{ B}$

Векторная диаграмма токов для узла D.

(D) $\dot{I}_1 = -2j$
 $\dot{I}_3 = 6$
 $\dot{I}_4 = -6 + 2j$

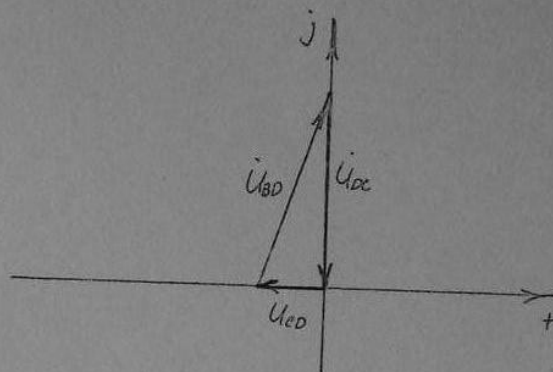


Векторная диаграмма напряжений
для контура СВД.

$$U_{ED} = -200$$

$$U_{BD} = 200 + 600j$$

$$U_{DC} = -600j$$



Ответ:

$$\dot{I}_1 = 2j$$

$$\dot{I}_2 = -4 + 2j$$

$$\dot{I}_3 = 6$$

$$\dot{I}_4 = -6 + 2j$$

$$\dot{I}_5 = -2$$

$$\dot{I}_6 = 4$$

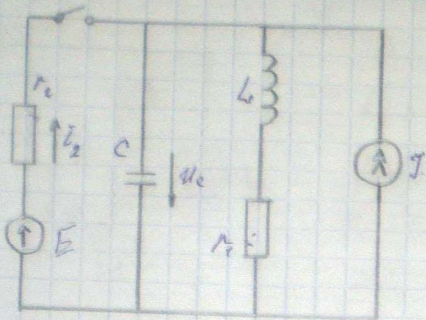
$$i_3(t) = 6\sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ A}$$

$$i_1(t) = 4\sqrt{2} \sin(\omega t) \text{ A}$$

$$u = 20\sqrt{2} \sin(\omega t + \arctan(\frac{33}{4} - \pi)) \text{ B}$$

1.2 Домашнее задание 2

Типовой расчет по электротехнике №2.
 Студент:
 Группа: УВ 4-32
 Вариант: 10.



$$E = 110; \quad r_1 = 10; \quad r_2 = 8$$

$$I = 9; \quad L = 0.5; \quad C = 125 \cdot 10^{-6}$$

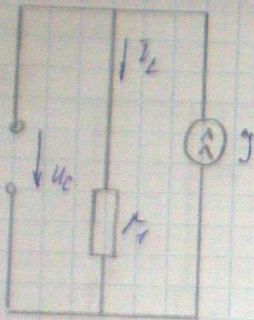
1. Определить значения всех токов и напряжений в тактовой их функции для моментов времени $t = 0, 0.1, 2$.
2. С помощью законов Кирхгофа во времени токов и напряжений. Построить функции зависимости расчетных токов и напряжений.
3. Определить действительную мощность.

Изданные начальные условия:

$$u_C(0+) = u_C(0-)$$

$$i_L(0+) = i_L(0-)$$

Цель до коммутации:



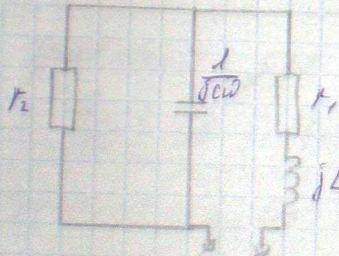
$$i_L = 9 \text{ A}$$

$$u_C = i_L R_1 = 9 \cdot 10 = 90 \text{ V}$$

$$i_L(0+) = 9 \text{ A}$$

$$u_C(0+) = 90 \text{ V}$$

Входное комплексное сопротивление на переменном токе.



$$Z_{вх} = R_1 + jL\omega + \frac{R_2}{\frac{1}{jC\omega} + \frac{1}{R_2}}$$

$$R_1 + pL + \frac{\frac{R_2}{pC}}{pCR_2 + 1} = 0;$$

$$R_1 + pL + \frac{R_2}{pCR_2 + 1} = 0;$$

$$pCR_2R_2 + R_1 + p^2LCR_2 + pL + R_2 = 0;$$

$$p^2(LCR_2) + p(L + CR_2R_2) + (R_1 + R_2) = 0;$$

$$p^2 \cdot (5 \cdot 10^{-3}) + p(0.6) + 18 = 0;$$

$$5p^2 + 600p + 18000 = 0;$$

$$p_{1,2} = -60$$

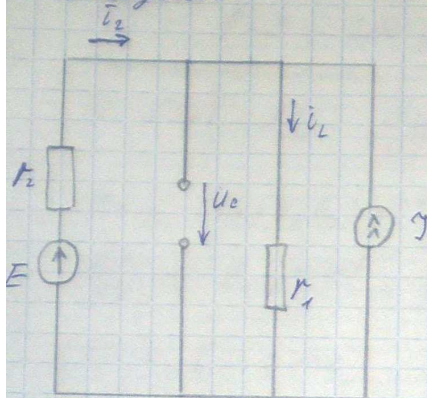
Общий вид решения для i_L , i_2 , u_C :

$$i_L = (A_1 + A_2 t) e^{-60t} + i_{L_{уст}}$$

$$i_2 = (B_1 + B_2 t) e^{-60t} + i_{2_{уст}}$$

$$u_C = (C_1 + C_2 t) e^{-60t} + u_{C_{уст}}$$

Установившиеся значения в цепи после замыкания:



$$i_{2_{уст}} = \frac{E - j\omega L}{R_1 + R_2} = \frac{180 - 90}{18} = 5$$

$$i_{L_{уст}} = j + i_2 = 9 + 5 = 14.$$

$$u_{C_{уст}} = i_2 R_1 = 140.$$

Уравнения для контуров в момент времени $t = (0+)$:

$$L \frac{di_L}{dt} \Big|_{0+} + i_L(0+) R_1 = u_C(0+);$$

$$i_C(0+) = i_2(0+) + j - i_L(0+);$$

$$i_2(0+) R_2 + u_C(0+) = E$$

$$\Rightarrow i_2(0+) = \frac{E - u_C(0+)}{R_2} = \frac{180 - 90}{8} = \frac{45}{4};$$

$$i_C(0+) = \frac{45}{4}$$

$$\frac{di_L}{dt} \Big|_{0+} = \frac{u_C(0+) - i_2(0+) R_1}{L} = \frac{90 - 90}{0.5} = 0;$$

$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt;$$

$$\frac{du_C}{dt} \Big|_{0+} = \frac{i_C(0+)}{C} = \frac{\frac{45}{4}}{4.25} \cdot 10^3 = 9 \cdot 10^3$$

$$i_L(0+) = 9; \quad \left. \frac{di_L}{dt} \right|_{0+} = 0; \quad i_L(\infty) = 14;$$

$$i_L = (A_1 + A_2 t) e^{-60t} + i_L(\infty)$$

$$\frac{di_L}{dt} = A_2 e^{-60t} - 60(A_1 + A_2 t) e^{-60t};$$

$$\begin{cases} 9 = A_1 + 14; \\ 0 = A_2 - 60 A_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A_1 = -5; \\ A_2 = -300 \end{cases}$$

$$i_L = (-5 - 300t) e^{-60t} + 14$$

$$u_C(0+) = 90; \quad \left. \frac{du_C}{dt} \right|_{0+} = 9 \cdot 10^3; \quad u_C(\infty) = 140;$$

$$u_C = (C_1 + C_2 t) e^{-60t} + u_C(\infty);$$

$$\frac{du_C}{dt} = C_2 e^{-60t} - 60(C_1 + C_2 t) e^{-60t};$$

$$\begin{cases} 90 = C_1 + 140; \\ 9 \cdot 10^3 = C_2 - 60 C_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} C_1 = -50; \\ C_2 = 6000 \end{cases}$$

$$u_C = (-50 + 6 \cdot 10^3 t) e^{-60t} + 140$$

$$i_L R_2 + u_C = E;$$

$$i_L = \frac{E - u_C}{R_2} = \frac{180 - (-50 + 6 \cdot 10^3 t) e^{-60t} + 140}{8} =$$

$$= \left(-\frac{25}{4} - \frac{3}{4} \cdot 10^3 t \right) e^{-60t} + 5.$$

Время переходного процесса:

$$t \approx 4\tau = \frac{4}{p} \approx 0,04 \text{ c}$$

$$\bar{i}_L(0+) = 9; \quad \left. \frac{di_L}{dt} \right|_{0+} = 0; \quad \bar{i}_L(\infty) = 14;$$

$$\bar{i}_L = (A_1 + A_2 t) e^{-60t} + i_{L \text{ уст}}$$

$$\frac{di_L}{dt} = A_2 e^{-60t} - 60(A_1 + A_2 t) e^{-60t};$$

$$\begin{cases} 9 = A_1 + 14; \\ 0 = A_2 - 60 A_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} A_1 = -5; \\ A_2 = -300 \end{cases}$$

$$\bar{i}_L = (-5 - 300t) e^{-60t} + 14$$

$$u_C(0+) = 90; \quad \left. \frac{du_C}{dt} \right|_{0+} = 9 \cdot 10^3; \quad u_{C \text{ уст}} = 140;$$

$$u_C = (C_1 + C_2 t) e^{-60t} + u_{C \text{ уст}};$$

$$\frac{du_C}{dt} = C_2 e^{-60t} - 60(C_1 + C_2 t) e^{-60t};$$

$$\begin{cases} 90 = C_1 + 140; \\ 9 \cdot 10^3 = C_2 - 60 C_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} C_1 = -50; \\ C_2 = 6000 \end{cases}$$

$$u_C = (-50 + 6 \cdot 10^3 t) e^{-60t} + 140$$

$$\bar{i}_2 R_2 + u_C = E;$$

$$\bar{i}_2 = \frac{E - u_C}{R_2} = \frac{180 - (-50 + 6 \cdot 10^3 t) e^{-60t} + 140}{8} =$$

$$= \left(-\frac{25}{4} - \frac{3}{4} \cdot 10^3 t \right) e^{-60t} + 5.$$

Время переходного процесса:

$$t \approx 4T = \frac{4}{p} \approx 0,04 \text{ c}$$

График силы тока $i_L(t)$:

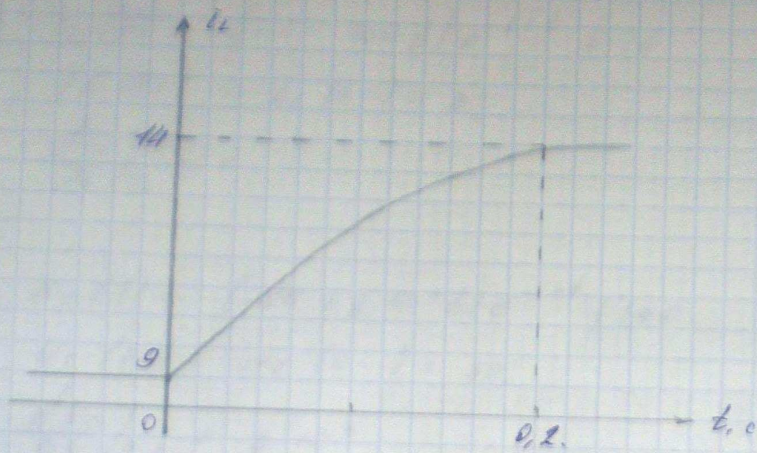
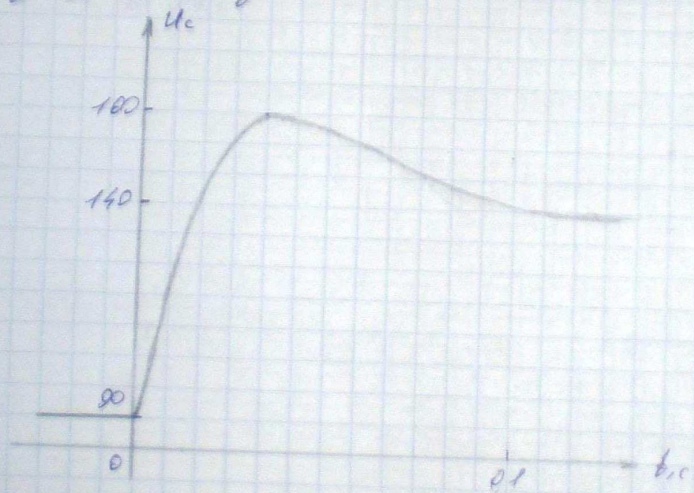


График напряжения $u_C(t)$:



Решение:

$$i_L(t) = (-5 - 300t)e^{-60t} + 14.$$

$$i_L(0+) = i_L(0-) = 9;$$

$$\left. \frac{di_L}{dt} \right|_{0+} = 0;$$

$$u_C(t) = (-50 + 6 \cdot 10^3 t)e^{-60t} + 140$$

$$u_C(0+) = u_C(0-) = 90;$$

$$\left. \frac{du_C}{dt} \right|_{0+} = 9 \cdot 10^3.$$

$$t \approx 0,07 \text{ c.}$$

ВЫВОДЫ

В работе были проводилось изучение основных методов расчета аналоговых цепей тремя методами: методом контурных токов, методом суммарных потенциалов и методом виртуального генератора. Во второй части задания проводилось построение временных диаграмм, описывающих переходные процессы, происходящие в цепи при воздействии на нее активных элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2008. – 528 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле: Учебник для студентов вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2008. – 231 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т.: Учебник для вузов. Том 1. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 2007. – 536 с.