Задание 1

Исходные данные для расчёта:

E_3= 10 В, E_4= 20 В, J_6= 2 А,

R_1= 1 Ом, R_2= 2 Ом, R_3= 3 Ом, R_4= 4 Ом, R_5= 5 Ом.

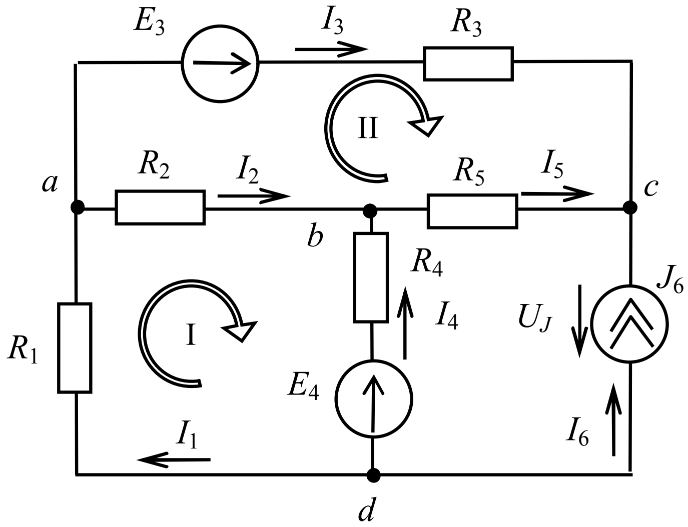


Рисунок 1 - Расчётная схема цепи постоянного тока

Всего в схеме шесть ветвей $p_B = 6$, ветвей с источниками тока $p_T = 1$, число неизвестных токов равно $p = p_B - p_T = 5$, количество узлов – $q = 4$, число уравнений по первому закону Кирхгофа – $(q-1) = 4 - 1 = 3$, число уравнений по второму закону Кирхгофа – $n = p - (q-1) = 2$.

Выберем положительные направления токов и обозначим их стрелками. Выберем и обозначим стрелками направления обхода двух независимых контуров: I, II. Составим *систему уравнений по законам Кирхгофа*

для узла *a* $\quad I_1 - I_2 - I_3 = 0$;

для узла *b* $\quad I_2 + I_4 - I_5 = 0$;

для узла *c* $\quad I_3 + I_5 + I_6 = 0$ или $I_3 + I_5 = -J_6$;

для контура I $\quad R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_4 I_4 = -E_4$;

для контура II $\quad -R_2 I_2 + R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_3$.

Полученные уравнения после подстановки в них числовых значений будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0, \\ I_2 + I_4 - I_5 = 0, \\ I_3 + I_5 = -2, \\ I_1 + 2I_2 - 4I_4 = -20, \\ -2I_2 + 3I_3 - 5I_5 = 10. \end{cases}$$

Решение данной системы даёт числовые значения искомых токов:

I_1 = – 4,24 А; I_2 = – 3,39 А; I_3 = – 0 ,85 А; I_4 = 2,24 А; I_5 = – 1 ,15 А.

Метод контурных токов.

Выберем направления контурных токов (рис. 2), которые обозначим I_{11}, I_{22} и J_6 (последний известен).

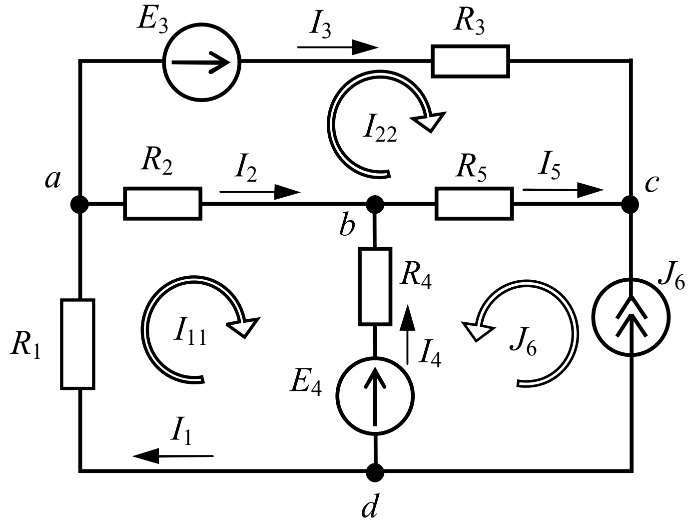


Рисунок 2 - Применение метода контурных токов

Составим систему уравнений по второму закону Кирхгофа для контуров с токами I_{11} и I_{22}:

$$\begin{cases}(R_1 + R_2 + R_4)I_{11} - R_2 I_{22} + R_4 J_6 = -E_4,\\ -R_2 I_{11} + (R_2 + R_3 + R_5)I_{22} + R_5 J_6 = E_3.\end{cases}$$

После подстановки числовых значений имеем

$$\begin{cases}\ \ 7I_{11} - 2I_{22} + 8 = -20,\\ -2I_{11} + 10I_{22} + 10 = 10;\end{cases}$$

$$\begin{cases}7I_{11} - 2I_{22} = -28,\\ -2I_{11} + 10I_{22} = 0.\end{cases}$$

Решив эту систему уравнений, найдём контурные токи:

$I_{11} = -4{,}24$ А, $I_{22} = -0{,}85$ А,

токи в ветвях определяем как алгебраическую сумму независимых контурных токов.

Ток I_1 имеет направление контурного тока I_{11} и равен $I_1 = I_{11} = -4{,}24$ А.

Ток I_2 получится от наложения контурных токов I_{11} и I_{22} и будет равен $I_2 = I_{11} - I_{22} = -4{,}24 + 0{,}58 = -3{,}39$ А.

Ток I_3 совпадает с контурным током I_{22} и равен $I_3 = I_{22} = -0{,}85$ А.

Ток I_4 получится от наложения контурных токов I_{11} и J_6 и будет равен $I_4 = -(I_{11} + J_6) = 4{,}24 - 2 = 2{,}24$ А.

Ток I_5 получится от наложения контурных токов I_{22} и J_6 и будет равен $I_5 = -(I_{22} + J_6) = 0{,}85 - 2 = -1{,}15$ А.

Составим баланс мощностей.

Суммарная мощность источников тока и ЭДС

$$\sum P_И = E_3 I_3 + E_4 I_4 + J_6 U_J.$$

Падение напряжения на источнике тока U_J определяем по второму закону Кирхгофа для контура, содержащего источник тока:

$$U_J + R_4 I_4 + R_5 I_5 = E_4;\ U_J = E_4 - R_4 I_4 - R_5 I_5;\ U_J = 16{,}79\ \text{В};$$

$$\Sigma P_И = 69{,}88\ \text{Вт}.$$

Суммарная мощность приёмников

$$\sum P_П = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2;$$

$$\Sigma P_П = 69{,}81\ \text{Вт}.$$

$\Sigma P_И \approx \Sigma P_П$, следовательно, баланс мощностей имеет место.

Задание 2

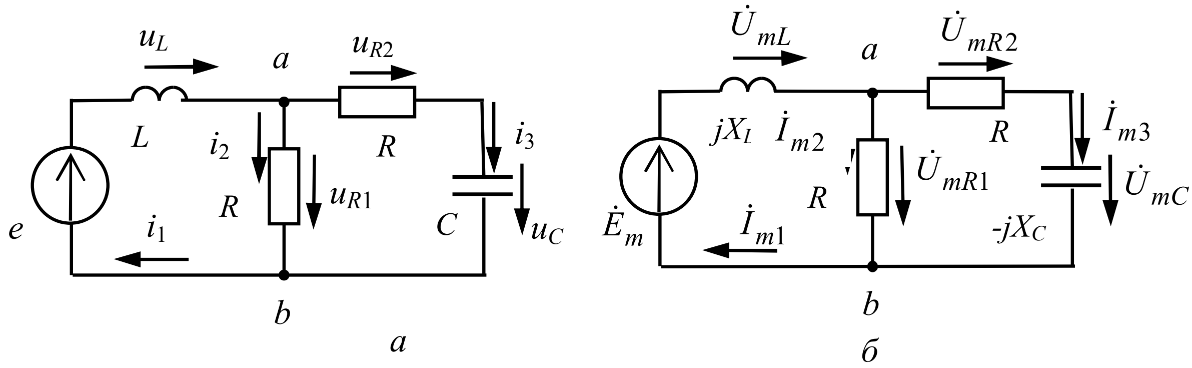


Рисунок 3 - Разветвлённая цепь синусоидального тока:
а) схема замещения; *б*) расчётная схема

Пусть параметры схемы замещения имеют значения: $R = 5$ Ом; $L = 10$ мГн; $C = 500$ мкФ и задано значение напряжения $u_{R1}(t) = 100\sin\left(200t - 60^\circ\right)$ В.

Требуется:

1) найти мгновенные и действующие значения токов в ветвях, применяя метод эквивалентных преобразований;

2) найти мгновенные и действующие значения ЭДС и напряжений на всех элементах;

3) составить баланс мощностей;

4) построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Решение.

Представим напряжение u_{R1} в комплексной форме

$$\dot{U}_{mR1} = 100e^{-j60^\circ}.$$

Определим комплексные значения индуктивного и ёмкостного сопротивлений:

$X_L = \omega L$; $X_L = 200 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 2$ Ом; $jX_L = j2 = 2e^{j90^\circ}$ Ом;

$X_C = 1/(\omega C)$; $X_C = 1/(200 \cdot 500 \cdot 10^{-6}) = 10$ Ом; $-jX_C = -j10 = 10e^{-j90^\circ}$ Ом.

На рис. 3, *б* изображена расчётная схема электрической цепи, для которой исходные данные о параметрах всех элементов представлены в комплексной форме.

Выберем положительные направления неизвестных токов в ветвях (рис.3, *а*) и совпадающие с направлениями токов положительные направления напряжений на пассивных элементах, положительные направления соответствующих комплексных значений тока и напряжения такие же (рис.3, *б*).

Проведём эквивалентное преобразование схемы (рис.4).

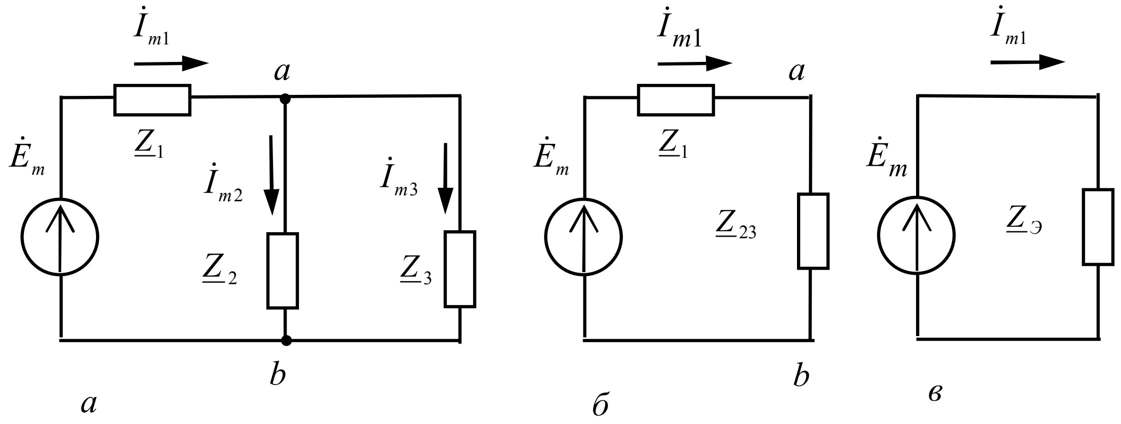


Рисунок 4 - Эквивалентные преобразования расчётной схемы

Найдём комплексные сопротивления ветвей (рис.4, *а*):
сопротивление ветви с током I_1

$$\underline{Z}_1 = jX_L = X_L e^{j90^\circ}, \ \underline{Z}_1 = j2 = 2e^{j90^\circ} \text{ Ом.}$$

сопротивление ветви с током I_2

$$\underline{Z}_2 = R, \ \underline{Z}_2 = 5 \text{ Ом.}$$

сопротивление ветви с током I_3

$$\underline{Z}_3 = R - jX_C,$$

$$\underline{Z}_3 = 5 - j10 = \sqrt{5^2 + 10^2} \cdot e^{j\operatorname{arctg}\left(\frac{-10}{5}\right)} = 11{,}18e^{-j63{,}43^\circ} \text{ Ом.}$$

Определим эквивалентное сопротивление параллельного соединения ветвей с токами I_2 и I_3 (рис.4, *б*)

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3},$$

$$\underline{Z}_{23} = \frac{5 \cdot 11{,}18e^{-j63{,}43^\circ}}{5 + 5 - j10} = \frac{55{,}9e^{-j63{,}43^\circ}}{10 - j10} = \frac{55{,}9e^{-j63{,}43^\circ}}{14{,}14e^{-j45^\circ}} = 3{,}95e^{-j18{,}43^\circ} =$$

$$= 3{,}95\cos\left(-18{,}43^\circ\right) + j3{,}95\sin\left(-18{,}43^\circ\right) = \left(3{,}75 - j1{,}25\right) \text{Ом.}$$

Входное сопротивление цепи (рис. 2.7, *в*)

$$\underline{Z}_Э = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23}, \ \underline{Z}_Э = j2 + 3{,}75 - j1{,}25 = 3{,}75 + j0{,}75 = 3{,}82e^{j11{,}31^\circ} \text{ Ом.}$$

Поскольку известно напряжение на резистивном элементе $\dot U_{mR1}$, сначала определяем ток $\dot I_{m2}$ по закону Ома для данного элемента:

$$\dot I_{m2} = \frac{\dot U_{mR1}}{R}, \ \dot I_{m2} = \frac{100e^{-j60^\circ}}{5} = 20e^{-j60^\circ} \text{ А.}$$

Напряжение между узлами цепи *a* и *b* по закону Ома

$$\dot U_{m\,ab} = \dot I_{m1}\underline{Z}_{23} = \dot I_{m_2}\underline{Z}_2 = \dot I_{m_3}\underline{Z}_3.$$

Так как $\underline{Z}_2 = R$, то $\dot U_{m\,ab} = \dot U_{mR1}$.

Найдём значения токов $\dot I_{m1}$, $\dot I_{m3}$:

$$\dot{I}_{m1} = \frac{\dot{U}_{mR1}}{\underline{Z}_{23}},\ \dot{I}_{m1} = \frac{100e^{-j60^\circ}}{3{,}95e^{-j18{,}43^\circ}} = 25{,}32e^{-j41{,}57^\circ}\ \text{А};$$

$$\dot{I}_{m3} = \frac{\dot{U}_{mR1}}{\underline{Z}_{3}},\ \dot{I}_{m3} = \frac{100e^{-j60^\circ}}{11{,}18^{-j63{,}43^\circ}} = 8{,}94e^{j3{,}43^\circ}\ \text{А}.$$

ЭДС источника

$$\dot{E}_m = \dot{I}_{m1}\underline{Z}_Э,\ \dot{E}_m = 25{,}32e^{-j41{,}57^\circ}\cdot 3{,}82e^{j11{,}31^\circ} = 96{,}72e^{-j30{,}26^\circ}\ \text{В}.$$

Комплексные амплитуды напряжений определяем по закону Ома для резистивного (2.14), индуктивного (2.23) и ёмкостного (2.34) элементов:

$\dot{U}_{mR2} = R\dot{I}_{m3},\ \dot{U}_{mR2} = 5\cdot 8{,}94\mathrm{e}^{\mathrm{j}3{,}43^\circ} = 44{,}7e^{j3{,}43^\circ}$ В;

$\dot{U}_{mL} = jX_L\dot{I}_{m1},\ \dot{U}_{mL} = 2\mathrm{e}^{\mathrm{j}90^\circ}\cdot 25{,}30e^{-j41{,}59^\circ} = 50{,}6e^{j48{,}41^\circ}$ В;

$\dot{U}_{mC} = -jX_C\dot{I}_{m3},\ \dot{U}_{mC} = 10e^{-j90^\circ}\cdot 8{,}94\mathrm{e}^{\mathrm{j}3{,}43^\circ} = 89{,}e^{-j86{,}57^\circ}$ В.

Мгновенные значения токов и напряжений

$i_1(t) = 25{,}3\sin(200t - 41{,}59^\circ)$А,

$i_2(t) = 20\sin(200t - 60^\circ)$А,

$i_3(t) = 8{,}94\sin(200t + 3{,}43^\circ)$А,

$u_L(t) = 50{,}6\sin(200t + 48{,}41^\circ)$В,

$u_{R2}(t) = 44{,}7\sin(200t + 3{,}43^\circ)$В,

$u_C(t) = 89{,}4\sin(200t - 86{,}57^\circ)$В,

$e(t) = 96{,}71\sin(200t - 30{,}21^\circ)$В.

Рассчитаем действующие значения токов и напряжений:

$I_1 = I_{m1}/\sqrt{2} = 25{,}3/\sqrt{2} = 17{,}89$ А,

$I_2 = I_{m2}/\sqrt{2} = 20/\sqrt{2} = 14{,}14$ А,

$I_3 = I_{m3}/\sqrt{2} = 8{,}94/\sqrt{2} = 6{,}32$ А,

$U_L = U_{mL}/\sqrt{2} = 50{,}6/\sqrt{2} = 35{,}78$ В,

$U_{R1} = U_{mR1}/\sqrt{2} = 100/\sqrt{2} = 70{,}71$ В,

$U_{R2} = U_{mR2}/\sqrt{2} = 44{,}7/\sqrt{2} = 31{,}61$ В,

$U_C = U_{mC}/\sqrt{2} = 89{,}4/\sqrt{2} = 63{,}22$ В,

$E = E_m/\sqrt{2} = 96{,}71/\sqrt{2} = 68{,}38$ В.

Проверим решение, составив баланс мощностей. Для этого найдём мощность источника ЭДС и представим её в алгебраической форме записи комплексного числа

$$\underline{S}_{ИСТ} = \dot{E}\overset{*}{I}_1 = P_{ИСТ} + jQ_{ИСТ},$$

$$\underline{S}_{ИСТ} = 68{,}38e^{-j30{,}21^\circ}\cdot 17{,}89e^{j41{,}59^\circ} = 1223{,}32e^{j11{,}38^\circ} =$$

$$= 1223{,}32\cos 11{,}38^\circ + j1223{,}32\sin 11{,}38^\circ = (1199{,}27 + j241{,}38)\ \text{ВА}.$$

Активная мощность источника $P_{ИСТ} = 1199{,}27$ Вт.

Реактивная мощность источника $Q_{ИСТ} = 241{,}38$ вар.

Активная и реактивная мощности приёмников

$$P_{ПР} = I_2^2 R + I_3^2 R\,,\ P_{ПР} = 14{,}14^2 \cdot 5 + 6{,}32^2 \cdot 5 = 1199{,}41\,\text{Вт};$$

$$Q_{ПР} = I_1^2 X_L - I_3^2 X_C\,,\ Q_{ПР} = 17{,}89^2 \cdot 2 - 6{,}32^2 \cdot 10 = 240{,}68\,\text{вар}.$$

Активная и реактивная мощности источника и приёмника имеют небольшое расхождение в связи с возникающей при расчётах погрешностью округления. Учитывая это, можно считать, что баланс мощностей выполняется.

Построим *векторную диаграмму токов и напряжений* на комплексной плоскости (рис.4). Сначала выберем масштаб, пусть 1 см соответствует 5 А и 10 В. От начала координат откладываем векторы, длина которых пропорциональна амплитудному значению тока, напряжения, ЭДС, а угол поворота относительно действительной оси +1 совпадает с начальной фазой.

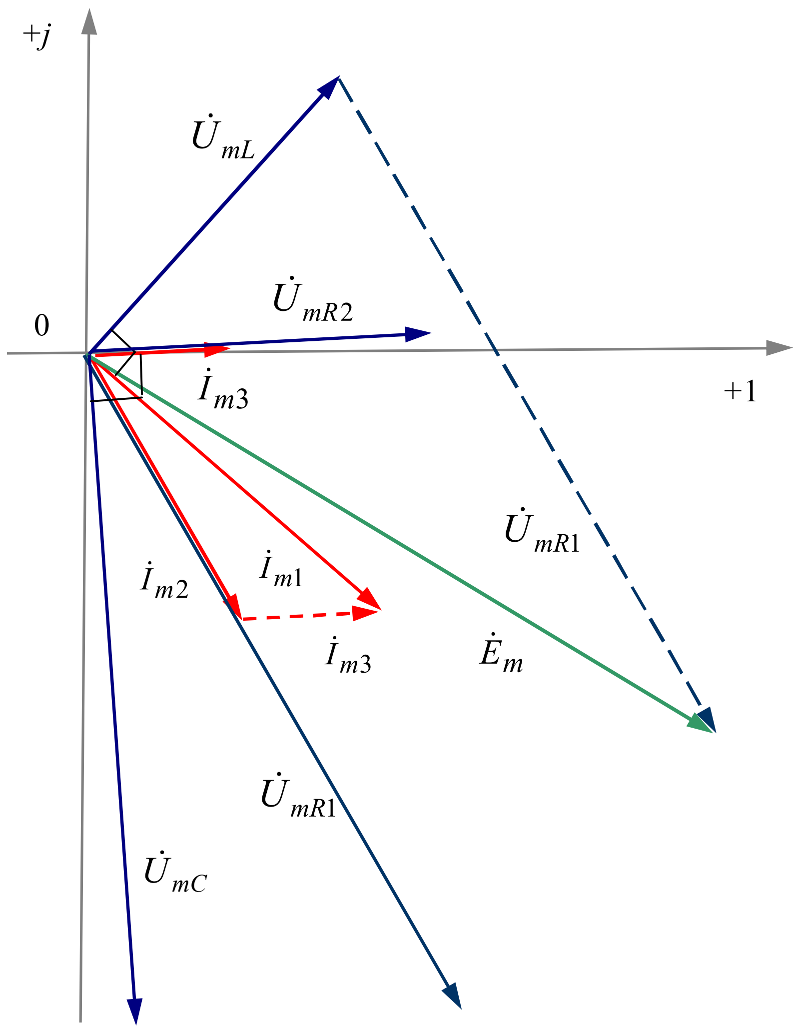


Рисунок 5 - Векторная диаграмма токов и напряжений

Анализ векторной диаграммы позволяет сделать следующие выводы:

– напряжение на индуктивном элементе $\dot{U}_{mL}$ опережает ток $\dot{I}_{m1}$ на 90°;

– напряжения на резисторах $\dot{U}_{mR1}$ и $\dot{U}_{mR2}$ совпадают по фазе соответственно с токами $\dot{I}_{m2}$, $\dot{I}_{m3}$;

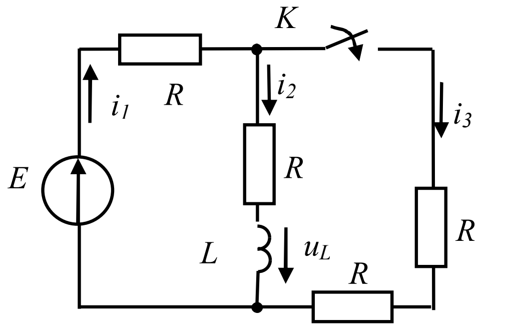
– напряжение на ёмкостном элементе $\dot{U}_{mC}$ отстает по фазе от тока $\dot{I}_{m3}$ на 90°;

– вектор $\dot{I}_{m1}$ определяется геометрической суммой векторов $\dot{I}_{m2}$ и $\dot{I}_{m3}$, следовательно, выполняется первый закон Кирхгофа;

– выполнение второго закона Кирхгофа можно проверить, сложив векторы $\dot{U}_{mL}$ и $\dot{U}_{mR1}$, сумма этих векторов должна дать вектор $\dot{E}_m$.

Задание 3

Расчёт переходного процесса в цепи с индуктивным элементом при воздействии постоянной эдс.



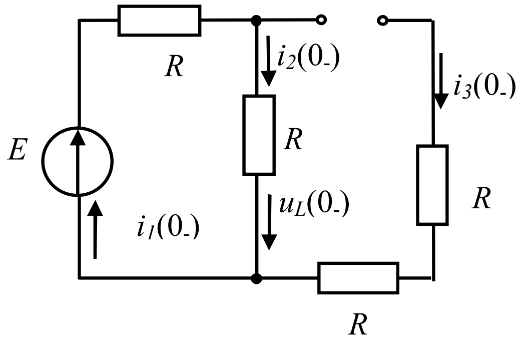
Для схемы электрической цепи, изображённой на рисунке, используя данные таблицы:

- рассчитайте мгновенные значения переходных токов и напряжений;
- постройте графики переходного процесса.

Исходные данные: R =10 Ом, L = 0,1 Гн, E = 100 В.

Решение

1. *Расчёт установившегося режима до коммутации.*



$t = 0_{-}$

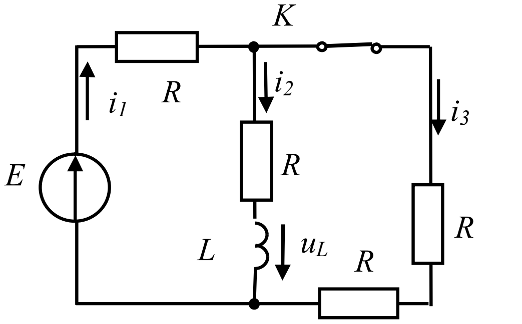
Индуктивный элемент заменяем перемычкой (для постоянного тока X_L=0), ключ разомкнут.

$i_1(0_{-}) = i_2(0_{-}) = \dfrac{E}{2R}.$

$i_1(0_{-}) = i_2(0_{-}) = \dfrac{100}{20} = 5$ А.

$i_3(0_{-}) = 0, u_L(0_{-}) = 0$.

2. *Дифференциальные уравнения для момента коммутации* составляем по законам Кирхгофа.

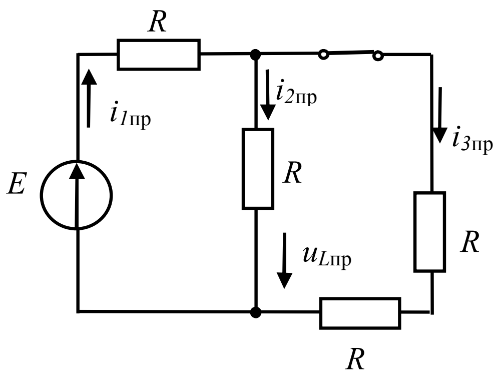


$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0, \\ Ri_1 + Ri_2 + u_L = E, \\ -Ri_2 - u_L + 2Ri_3 = 0, \\ u_L = L\dfrac{di}{dt}. \end{cases} \qquad (1)$$

Решение этой системы уравнений необходимо представить в виде суммы принуждённой и свободной составляющих.

$$\begin{cases} i_1 = i_{1\,пр} + i_{1\,св}, \\ i_2 = i_{2\,пр} + i_{2\,св}, \\ i_3 = i_{3пр} + i_{3\,св}, \\ u_L = u_{L\,пр} + u_{L\,св}. \end{cases}$$

3. *Определение принуждённых составляющих* производится в установившемся режиме после коммутации.



Индуктивный элемент заменяем перемычкой (для постоянного тока X_L=0), ключ замкнут.

Используя метод эквивалентных преобразований находим

$$i_{1\,пр} = \frac{E}{R + 2R^2/(3R)} = \frac{E}{(5/3)R},$$

$$i_{2\,пр} = \frac{2R}{3R} i_{1\,пр} = \frac{2}{3} i_{1\,пр}, i_{3\,пр} = \frac{R}{3R} i_{1\,пр} = \frac{1}{3} i_{1\,пр}.$$

$$i_{1\,пр} == \frac{100}{(5/3)10} = 6\,\text{А},\ i_{2\,пр} = \frac{2}{3} 6 = 4\ \text{А},$$

$$i_{3\,пр} = \frac{1}{3} 6 = 2\ \text{А},\ u_{L\,пр} = 0.$$

4. *Определение свободных составляющих*.

Свободные составляющие ищем в виде:

$$\begin{cases} i_{1\,св} = A_1 e^{pt}, \\ i_{2\,св} = A_2 e^{pt}, \\ i_{3\,св} = A_3 e^{pt}, \\ u_{L\,св} = A_4 e^{pt}. \end{cases}$$

4.1 *Получим характеристическое уравнение* через входное сопротивление.

$$\underline{Z} = R + \frac{(R + j\omega L) \cdot 2R}{3R + j\omega L}.$$

Проводим замену $j\omega = p$ и приравниваем нулю.

$$R + \frac{(R + pL) \cdot 2R}{3R + pL} = 0,$$

$$3R^2 + RLp + 2R^2 + 2RLp = 0,$$

$$3Lp = -5R.$$

Корень характеристического уравнения

$$p = -\frac{5R}{3L},\ p = -167.$$

4.2 *Определим постоянные интегрирования*.

$$\begin{cases} i_1 = 6 + A_1 e^{-167t}, \\ i_2 = 4 + A_2 e^{-167t}, \\ i_3 = 2 + A_3 e^{-167t}, \\ u_L = A_4 e^{-167t}. \end{cases}$$

Вычислим начальные значения для момента времени $t = 0_+$, используя систему дифференциальных уравнений (1) и закон коммутации для индуктивного элемента:

$i_2(0_+) = i_2(0_-) = 5$ А.

$$\begin{cases} i_1(0_+) - 5 - i_3(0_+) = 0, \\ 10 i_1(0_+) + 50 + u_L(0_+) = 100, \\ -50 - u_L(0_+) + 20 i_3(0_+) = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_1(0_+) - i_3(0_+) = 5, \\ 10 i_1(0_+) + u_L(0_+) = 50, \\ -u_L(0_+) + 20 i_3(0_+) = 50. \end{cases}$$

Решение этой системы:

$i_1(0_+) = 6{,}67$ А, $i_3(0_+) = 1{,}67$, $u_L(0_+) = 16{,}7$ В.

Тогда для момента времени $t = 0_+$

$$\begin{cases} i_1(0_+) = 6{,}67 = 6 + A_1, \\ i_2(0_+) = 5 = 4 + A_2, \\ i_3(0_+) = 1{,}67 = 2 + A_3, \\ u_L(0_+) = 16{,}7 = A_4. \end{cases}$$

Откуда

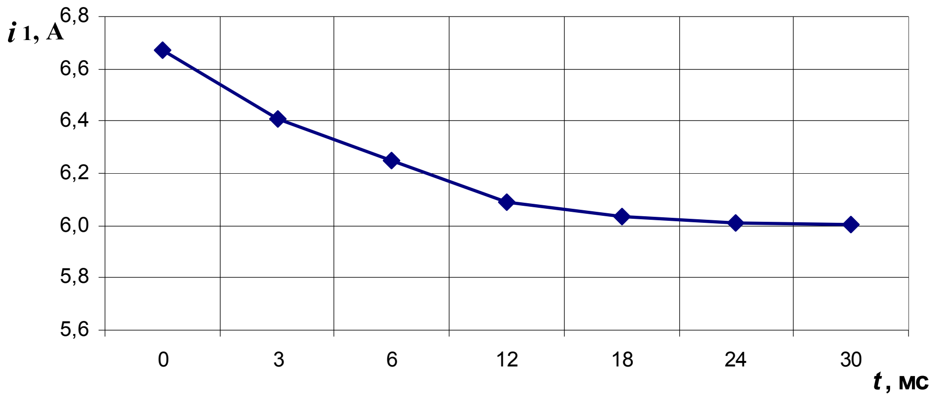
$A_1 = 0{,}67$, $A_2 = 1$, $A_3 = -1{,}33$, $A_4 = 16{,}7$.

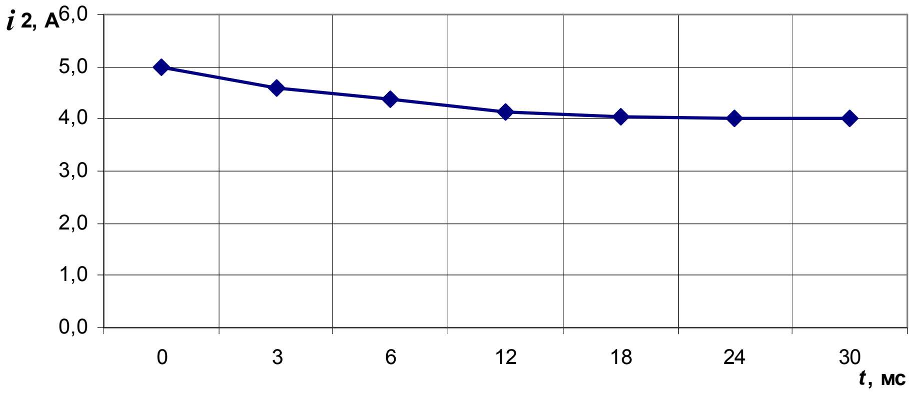
Токи и напряжение переходного процесса:

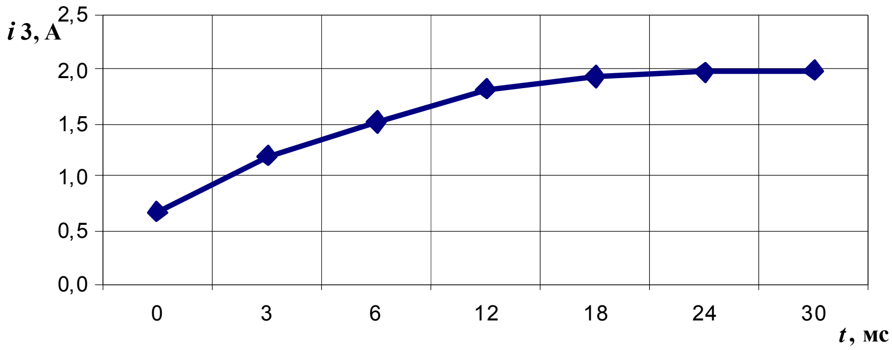
$$\begin{cases} i_1 = 6 + 0{,}67 e^{-167t}, \\ i_2 = 4 + e^{-167t}, \\ i_3 = 2 - 1{,}33 e^{-167t}, \\ u_L = 16{,}7 e^{-167t}. \end{cases}$$

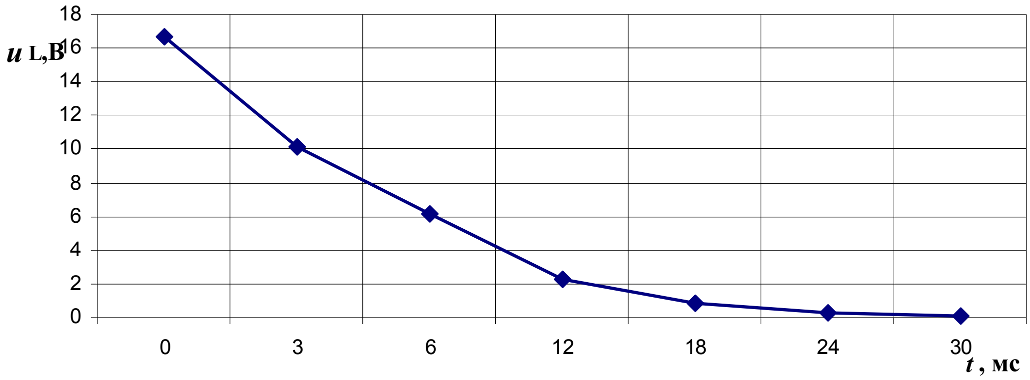
Графики переходного процесса строим по 7 точкам для моментов времени *t*, равных 0, 0,5τ, τ, 2τ, 3τ, 4τ, 5τ. τ – постоянная времени переходного процесса

$$\tau = \frac{1}{|p|}.$$


i 1, A
6,8
6,6
6,4
6,2
6,0
5,8
5,6
0
3
6
12
18
24
30
t, мс

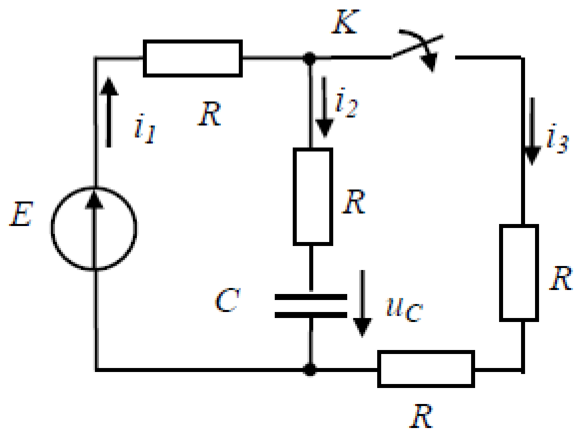

i 2, A
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
0
3
6
12
18
24
30
t, мс


i 3, A
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0
3
6
12
18
24
30
t, мс


u L,B
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
0
3
6
12
18
24
30
t, мс

Задание 3

Расчёт переходного процесса в цепи с ёмкостным элементом при воздействии постоянной эдс.



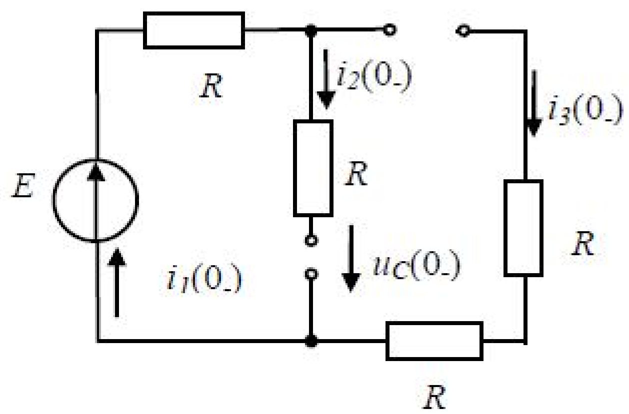
Для схемы электрической цепи, изображённой на рисунке:
1) рассчитайте мгновенные значения переходных токов и напряжений;
2) постройте графики переходного процесса.

Исходные данные: R =10 Ом, C = 100 мкФ, E = 100 В.

Решение

1. Расчёт установившегося режима до коммутации.

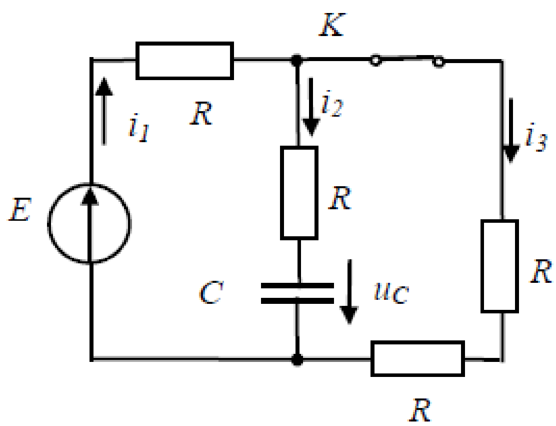
$t = 0\_$



Ёмкостный элемент заменяем разрывом (для постоянного тока X_C=∞), ключ разомкнут.

$u_C(0\_) = E = 100$ В,
$i_1(0\_) = i_2(0\_) = i_3(0\_) = 0$.

2. *Дифференциальные уравнения для момента коммутации* составляем по законам Кирхгофа.

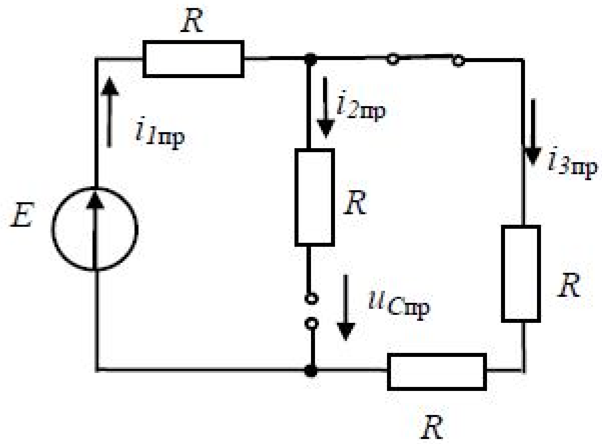


$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0, \\ Ri_1 + Ri_2 + u_C = E, \\ -Ri_2 - u_C + 2Ri_3 = 0, \\ i_2 = C\dfrac{du_C}{dt}. \end{cases} \qquad (1)$$

Решение этой системы уравнений необходимо представить в виде суммы принуждённой и свободной составляющих.

$$\begin{cases} i_1 = i_{1пр} + i_{1св}, \\ i_2 = i_{2пр} + i_{2св}, \\ i_3 = i_{3пр} + i_{3св}, \\ u_C = u_{Cпр} + u_{Cсв}. \end{cases}$$

3. *Определение принуждённых составляющих* производится в установившемся режиме после коммутации.



Ёмкостный элемент заменяем разрывом (для постоянного тока ($X_C = \infty$), ключ замкнут.
Используя метод эквивалентных преобразований находим
$i_{1пр} = i_{3пр}$ = E/(3R) = 3,33 А,
$i_{2пр} = 0$,
$u_{Спр} = i_{1пр} \cdot 2R$ = 66,6 В,

4. *Определение свободных составляющих*.
Свободные составляющие ищем в виде:

$$\begin{cases} i_{1св} = A_1 e^{pt}, \\ i_{2св} = A_2 e^{pt}, \\ i_{3св} = A_3 e^{pt}, \\ u_{Cсв} = A_4 e^{pt}. \end{cases}$$

4.1 *Получим характеристическое уравнение* через входное сопротивление.

$$\underline{Z} = R + \frac{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) \cdot 2R}{3R + \frac{1}{j\omega C}}.$$

Проводим замену $j\omega = p$ и приравниваем нулю.

$$R + \frac{\left(R + \frac{1}{pC}\right) \cdot 2R}{3R + \frac{1}{pC}} = 0,$$

$$3R^2 + \frac{R}{pC} + 2R^2 + \frac{2R}{pC} = 0,$$

$$5RCp = -3.$$

Корень характеристического уравнения

$$p = -\frac{3}{5RC}, \text{ p} = -600.$$

4.2 *Определим постоянные интегрирования*.

$$\begin{cases} i_1 = 6 + A_1 e^{-167t}, \\ i_2 = 4 + A_2 e^{-167t}, \\ i_3 = 2 + A_3 e^{-167t}, \\ u_C = A_4 e^{-167t}. \end{cases}$$

Вычислим начальные значения для момента времени $t = 0_+$, используя систему дифференциальных уравнений (1) и закон коммутации для индуктивного элемента:

$u_C(0_+) = u_C(0_-) = 100$ В.

$$\begin{cases} i_1(0_+) - i_2(0_+) - i_3(0_+) = 0, \\ 10 i_1(0_+) + 10 i_2(0_+) + 100 = 100, \\ -100 - 10 i_2(0_+) + 20 i_3(0_+) = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_1(0_+) - i_2(0_+) - i_3(0_+) = 0, \\ 10 i_1(0_+) + 10 i_2(0_+) = 0, \\ -10 i_2(0_+) + 20 i_3(0_+) = 100. \end{cases}$$

Решение этой системы:

$i_1(0_+) = 2$ А, $i_2(0_+) = 2$ А, $i_3(0_+) = 4$ А.

Тогда для момента времени $t = 0_+$

$$\begin{cases} i_1(0_+) = 2 = 3{,}33 + A_1, \\ i_2(0_+) = -2 = A_2, \\ i_3(0_+) = 4 = 3{,}33 + A_3, \\ u_C(0_+) = 100 = 66{,}6 + A_4. \end{cases}$$

Откуда

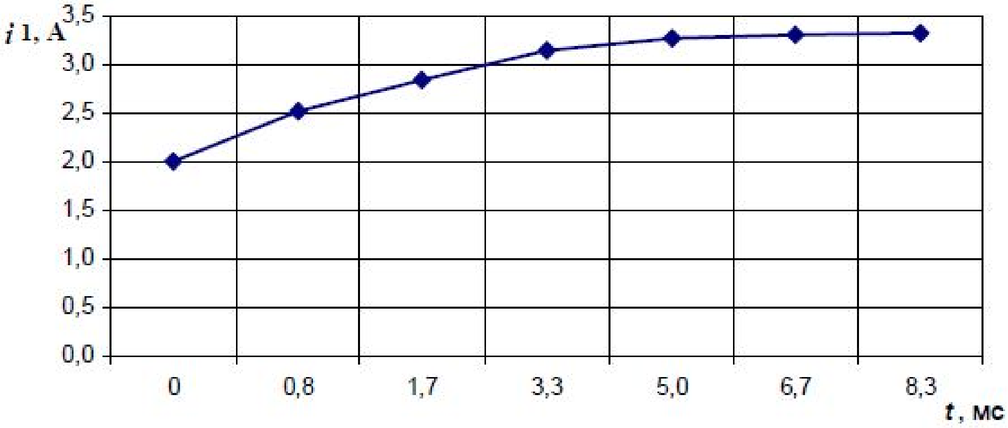
$A_1 = -1{,}33$, $A_2 = -2$, $A_3 = 0{,}67$, $A_4 = 33{,}4$.

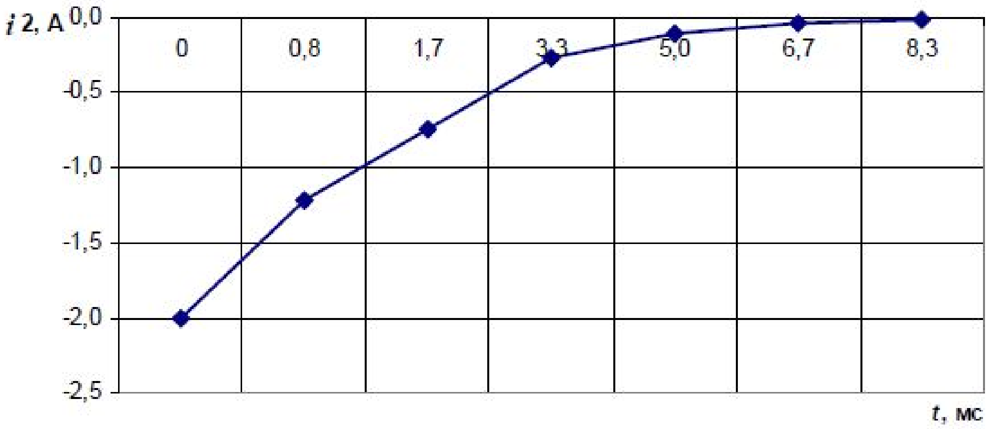
Токи и напряжение переходного процесса:

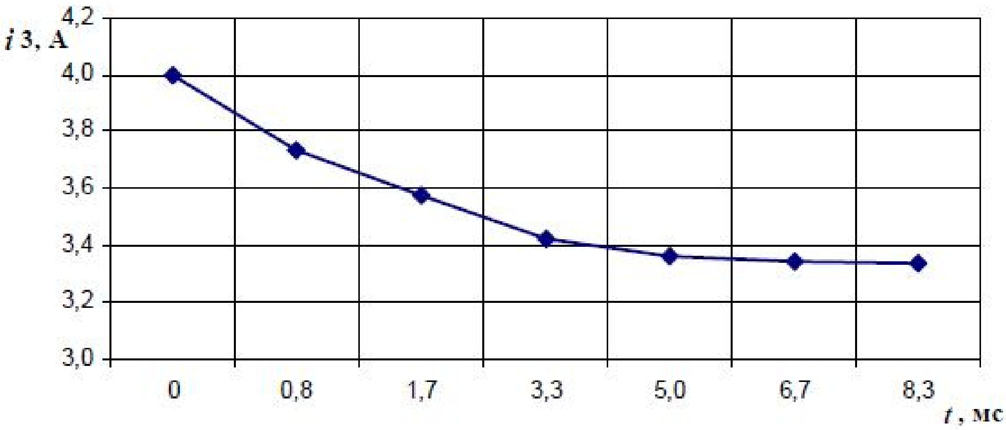
$$\begin{cases} i_1 = 3{,}33 - 1{,}33 e^{-600t}, \\ i_2 = -2 e^{-600t}, \\ i_3 = 3{,}33 + 0{,}67 e^{-600t}, \\ u_C = 66{,}6 + 33{,}4 e^{-600t}. \end{cases}$$

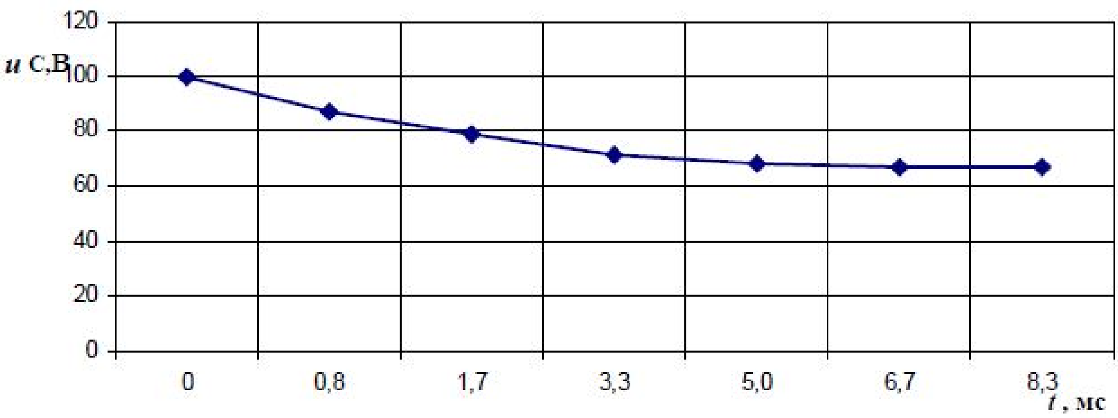
Графики переходного процесса строим по 7 точкам для моментов времени t, равных 0, 0,5τ, τ, 2τ, 3τ, 4τ, 5τ. τ – постоянная времени переходного процесса

$\tau = \dfrac{1}{|p|} = 1{,}67$ мс.


i 1, A
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,0
0
0,8
1,7
3,3
5,0
6,7
8,3
t, мс


i 2, A
0,0
-0,5
-1,0
-1,5
-2,0
-2,5
0
0,8
1,7
3,3
5,0
6,7
8,3
t, мс


i 3, A
4,2
4,0
3,8
3,6
3,4
3,2
3,0
0
0,8
1,7
3,3
5,0
6,7
8,3
t, мс


u C,B
120
100
80
60
40
20
0
0
0,8
1,7
3,3
5,0
6,7
8,3
t, мс