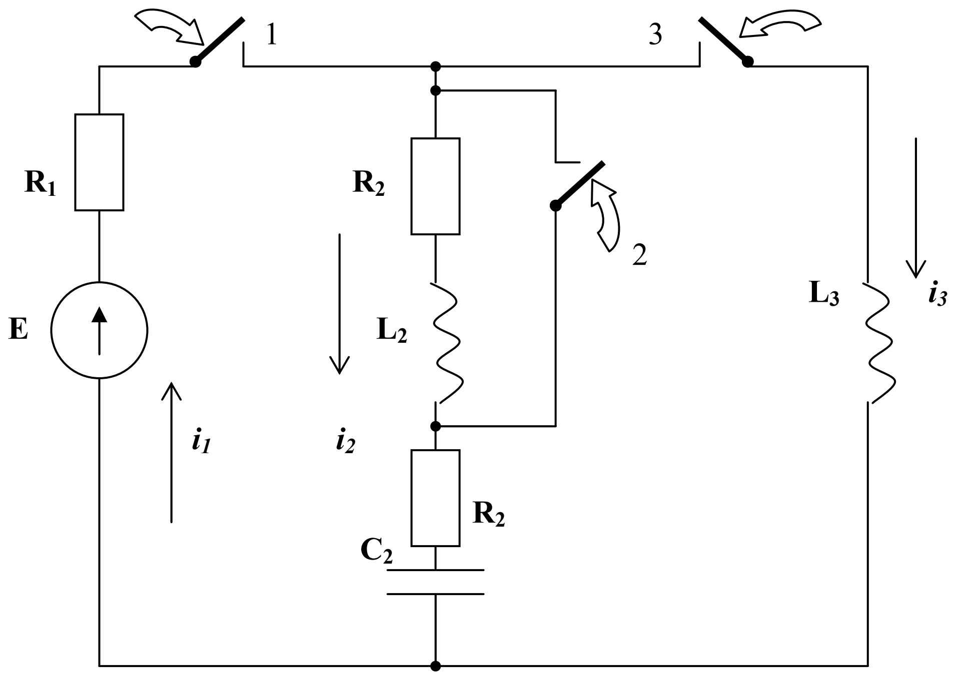
Схема 10.

Номер студента: **n = 10** Номер потока: **$N_{пот}$ = 1** Номер группы: **$N_{гр}$ = 1**

E, В	**R_1**, Ом	**R_2**, Ом	**R_3**, Ом	**L_1**, Гн	**L_2**, Гн	**L_3**, Гн	**C_1**, мкФ	**C_2**, мкФ	**C_3**, мкФ
90	**30**	**40**	**50**	**0,1**	**0,06**	**0,1**	**130**	**135**	**130**

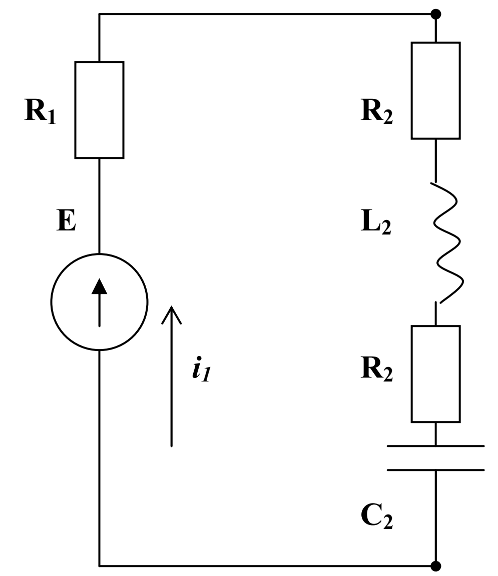


Значения переменных состояния до коммутации:

$i_L(0)$ = **0** мА; $Uc(0)$ = **0** В

1. Первая коммутация.

1.1. Рассматриваем схему, получаемую после первой коммутации.



Находим значение принужденных составляющих переменных состояния:

$i_{Lпр}$ = **0** мА; $U_{Cпр}$ = **E** = **90,0** В

1.2. Определим характеристическое уравнение схемы и найдём его корни. Для этого приравняем к нулю сопротивление схемы со стороны ЭДС**,** предварительно заменив в выражении сопротивления реактивных элементов **jω** на **p.** Внутреннее сопротивление ЭДС принимаем равным нулю.

$$Z_{вх} = R_1 + 2R_2 + pL_2 + \frac{1}{pC_2} = \frac{(R_1 + 2R_2 + pL_2)\, pC_2 + 1}{pC_2} = \frac{p^2 L_2C_2 + pC_2(R_1 + 2R_2) + 1}{pC_2} = 0$$

Дробь равна нулю если равен нулю ее числитель. Приводим подобные члены и делим все на множитель L_2C_2**.**

$$p^2 + \left(\frac{R_1 + 2R_2}{L_2}\right)p + \frac{1}{L_2C_2} = 0$$

Подставляя значение сопротивлений, ёмкости и индуктивности получаем квадратное

Уравнение относительно **p**: $p^2 + 1833{,}3p + 0{,}123 \cdot 10^6 = 0$

Определитель**:** $D = 1833{,}3^2 - 4 \cdot 0{,}123 \cdot 10^6 = 2{,}867 \cdot 10^6$

Значение **D** положительно - корни уравнения действительные.

$p_1 = -70{,}0$ $p_2 = -1763{,}3$

1.4. Решим задачу классическим методом. Будем искать напряжение на ёмкости в виде:

$$Uc = Uc_{пр} + A \cdot e^{p_1t} + B \cdot e^{p_2t}$$

Здесь **A** и **B** постоянные, которые мы определим через начальные условия задачи, одновременно применяя первый и второй законы коммутации.

Подставляем значения величин в формулу для напряжения:

$$Uc = 90{,}0 + A \cdot e^{-70{,}0\, t} + B \cdot e^{-1763{,}3t}$$

Согласно второму закону коммутации, напряжение на ёмкости не может измениться скачкообразно, то есть **Uc(0+) = Uc(0-).** Подставим в предыдущую формулу значение времени, равное нулю:

$$Uc(0) = 90{,}0 + A + B = 0{,}0 \text{ B}$$

Выражаем коэффициент **A** через коэффициент **B:** $A = -B + (-90{,}0)$ **(1)**

Второе уравнение для связи коэффициентов A и B найдём продифференцировав выражение для **Uc** по времени:

$$\frac{\partial Uc}{\partial t} = A \cdot e^{-70\ t} \cdot [-70{,}0] + B \cdot e^{-1763\ t} \cdot [-1763{,}3] \qquad (2)$$

Подставляем **t = 0** и значение **A** из формулы **(1):**

$$\left.\frac{\partial Uc}{\partial t}\right|_{t=0} = -70{,}0 \cdot A - 1763{,}3 \cdot B = 6301{,}2 - 1693{,}3 \cdot B \qquad (3)$$

Учитываем, что $\frac{\partial Uc}{\partial t} = \frac{i_2}{C_2}$; **(4)** $\left.\frac{\partial Uc}{\partial t}\right|_{t=0} = \frac{i_2(0)}{C_2} = 0$

Подставляя значение производной в уравнение **(3)** находим коэффициенты:

$B = 3{,}72$ В, $A = -93{,}72$ В

Закон изменения напряжения на ёмкости после коммутации:

$$U_C = 90{,}0 - 93{,}72e^{-70t} + 3{,}72e^{-1763t} \quad \text{В}$$

1.5. Ток i_1 найдём из соотношения **(4)**. Подставляем в выражение для производной **(3)** значение коэффициентов **A** и **B**.

$$i_1 = C_2\frac{\partial U_C}{\partial t} = 0{,}886\, e^{-70t} - 0{,}886\, e^{-1763t}, \text{ А}$$

Определим значение тока через индуктивность в момент времени, соответствующий второй коммутации.

Момент времени, в который происходит вторая коммутация: $t_1 = \dfrac{1}{|p_1|} = 14{,}283$ мс

Ток через катушку и напряжение на емкости в момент второй коммутации:

$i_L(t_1) = 0{,}326$, А ; $U_C(t_1) = 55{,}52$ В.

Эти значения будут начальными значениями для переменных состояния второй коммутации.

2. Вторая коммутация.

2.1. Рассматриваем схему после второй коммутации.

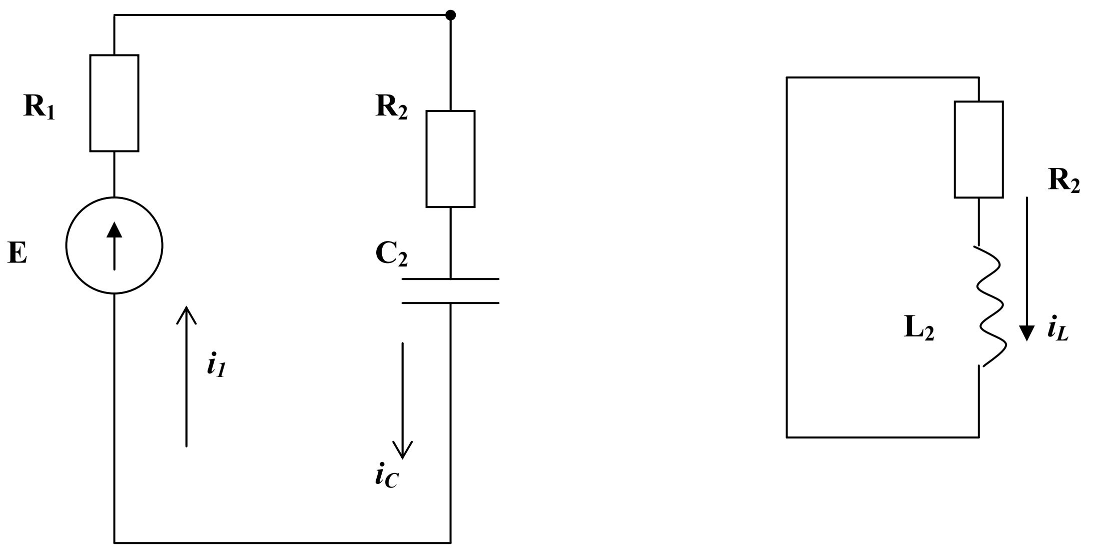


Схема разбивается на две, в каждой из которых происходит переходный процесс.

Находим значение принужденных составляющих переменных состояния, а также для удобства вычислений перепишем их начальные значения для второй коммутации:

$i_{Lnp} = 0$ $\qquad$ $i_L(0) = i_2(t_1) = 0{,}326$ А

$Uc_{np} = E = 0{,}4$ В; $\qquad$ $Uc(0) = U_C(t_1) = 55{,}52$ В

Обе цепи имеют первый порядок. Ищем корни характеристического уравнения.

2.2. Характеристические уравнения для схем и их корни.

$p_3 = \dfrac{-R_2}{L_2} = -667\ \text{c}^{-1}$; $\qquad$ $p_4 = \dfrac{-1}{(R_1 + R_2)C_2} = -106\ \text{c}^{-1}$;

Переходный процесс затухающий и апериодический.

2.3. Ищем ток в индуктивности.

$$i_L = i_{Lпр} + \mathbf{A_1} \cdot e^{p_3 t}$$, **A_1** постоянная. Применим первый закон коммутации.

$i_L(0) =$ **0,0** + **A_1 = 0,326** А; **A_1 = 0,326** А.

Закон изменения тока катушки после коммутации:

$$i_L = 0{,}0 + 0{,}326 \cdot e^{-667t}, \text{ А} \qquad (5)$$

2.4. Ищем напряжение на емкости.

$$U_C = Uc_{пр} + \mathbf{B_1} \cdot e^{p_4 t}$$, **B_1** постоянная. Применим второй закон коммутации.

$U_C(0) =$ **90,0** + **B_1 = 55,52** В; **B_1 = -34,48** В.

Закон изменения напряжения на емкости после коммутации:

$$U_C = 90{,}0 - 34{,}48 \cdot e^{-106t}, \text{ В} \qquad (6)$$

Закон изменения тока через емкость после коммутации:

$$i_C = p_4 C_2 (E - U_C) = 1{,}149\, e^{-106t}, \text{ А}$$

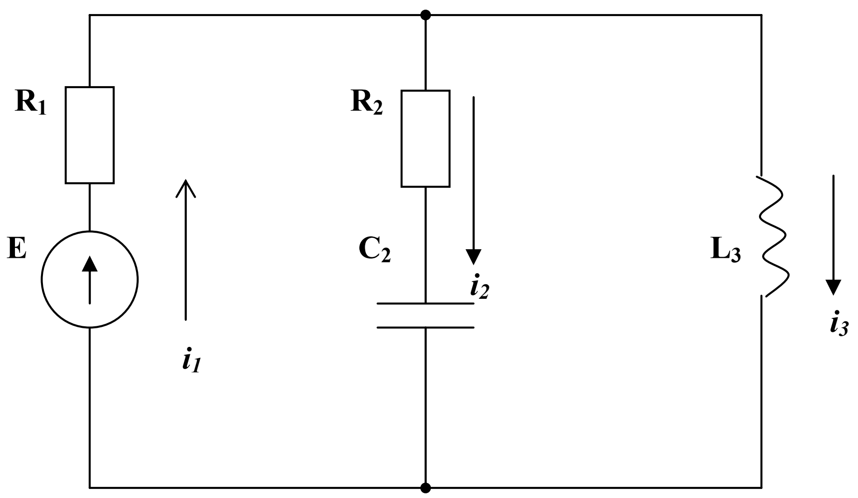
Определим значение тока через индуктивность в момент времени, соответствующий третьей коммутации.

Момент времени, в который происходит третья коммутация: $t_2 = \dfrac{1}{|p_4|} = 9{,}45$ мс

Напряжение на конденсаторе в момент третьей коммутации:

$Uc(t_2) =$ **77,3** В.

3. Третья коммутация. Чертим полученную схему:



Находим значение принужденных составляющих переменных состояния:

$i_{3пр} = \dfrac{E}{R_1} = 3{,}0$ А; $i_3(0) = 0$

$Uc_{пр} = 0$ $Uc(0) = U_C(t_2) = 77{,}32$ В

3.1. Определим характеристическое уравнение схемы и найдём его корни. Для этого приравняем к нулю сопротивление схемы со стороны ЭДС**,** предварительно заменив в выражении сопротивления реактивных элементов **jω** на **p.**

$$\mathbf{Z_{вх} = R_1 + \frac{(R_2pC_2 + 1)pL_3}{(R_2 + pL_3)pC_2 + 1} = \frac{p^2L_3C_2\cdot(R_1 + R_2) + p(L_3 + R_1R_2C_2) + R_1}{(R_2 + pL_3)pC_2 + 1} = 0}$$

Дробь равна нулю если равен нулю ее числитель. Приводим подобные члены и делим все на множитель $\mathbf{L_3C_2\cdot(R_1 + R_2)}$.

$$\mathbf{p^2 + \frac{L_3 + R_1R_2C_2}{L_3C_2\cdot(R_1 + R_2)}p + \frac{R_1}{L_3C_2\cdot(R_1 + R_2)} = 0}$$

Подставляя значение сопротивлений, ёмкости и индуктивности получаем квадратное уравнение относительно **p**: $\mathbf{p^2 + 277{,}2p + 3{,}175\bullet10^4 = 0}$

Определитель: $\mathbf{D = 277{,}2^{\,2} - 4\bullet 3{,}175\cdot10^4 = -5{,}012\bullet10^4}$

Значение **D** отрицательно - корни уравнения мнимые и комплексно сопряженные.

Действительная часть корня: $\mathbf{Re[p] = -0.5\bullet 277{,}2 = -139}$

Мнимая часть корня: $\mathbf{Im[p] = \pm 0.5\sqrt{5{,}012}\bullet10^3 = \pm 112}$

Записываем решение уравнения в алгебраической и показательной форме:

$\mathbf{p_1 = -139 + 112j = 178{,}2e^{141{,}1^\circ j}}$; $\mathbf{p_2 = -139 - 112j = 178{,}2e^{-141{,}1^\circ j}}$

3.2. Решим задачу классическим методом. Будем искать напряжение на ёмкости в виде:

$$\boldsymbol{Uc = Uc_{пр} + A\bullet e^{Re[p]t}\bullet Sin(Im[p]t + B)}$$

Здесь **A** и **B** постоянные, которые мы определим через начальные условия задачи, одновременно применяя первый и второй законы коммутации.

Подставляем значения величин в формулу для напряжения:

$$\boldsymbol{Uc = 0{,}0 + A\bullet e^{-139\,t}\bullet Sin(112\,t + B)}$$

Согласно второму закону коммутации, напряжение на ёмкости не может измениться скачкообразно, то есть ***Uc*(0+) = *Uc*(0-)**. Подставим в предыдущую формулу значение времени, равное нулю:

$\boldsymbol{Uc(0) = 0{,}0 + A\bullet Sin(B) = 77{,}32}$ В

Выражаем коэффициент **A** через коэффициент **B:** $\mathbf{A = \dfrac{77{,}32}{Sin(B)}}$ **(7)**

Второе уравнение для связи коэффициентов **A** и **B** найдём продифференцировав выражение для ***Uc*** по времени**:**

$$\boldsymbol{\frac{\partial Uc}{\partial t} = A\bullet e^{-139\,t}\bullet[-138{,}6\bullet Sin(111{,}9\,t + B) + 111{,}9\bullet Cos(111{,}9)\,t + B)]} \quad \mathbf{(8)}$$

Подставляем **t** = **0** и значение **A** из формулы **(7)**:

$$\boldsymbol{\left.\frac{\partial Uc}{\partial t}\right|_{t=0} = A\bullet[-138{,}6\bullet Sin(B) + 111{,}9\bullet Cos(B)] = -10718 + 8654\bullet Ctg(B),} \quad \mathbf{(9)}$$

Учитываем, что $\boldsymbol{\dfrac{\partial Uc}{\partial t} = \dfrac{i_2}{C_2} = \dfrac{i_1 - i_3}{C_2}}$ - по 1 закону Кирхгоффа для схемы.

Ток i_1 найдём из уравнения по 2 закону Кирхгоффа для левого контура схемы:

$$i_1 \cdot \mathbf{R_1} + i_2 \cdot \mathbf{R_2} + \mathbf{U_C} = \mathbf{E}$$

$$i_2 = \frac{\mathbf{E - U_C - } i_3 \cdot \mathbf{R_1}}{(\mathbf{R_1 + R_2})}; \quad i_2(\mathbf{0}) = \frac{\mathbf{E} - U_C(\mathbf{0}) - i_3(\mathbf{0}) \cdot \mathbf{R_1}}{(\mathbf{R_1 + R_2})} = \frac{\mathbf{12{,}68}}{\mathbf{70}} = \mathbf{0{,}18}\ \text{А}$$

$$\left.\frac{\partial Uc}{\partial t}\right|_{t=0} = \frac{i_2(\mathbf{0})}{\mathbf{C_2}} = \mathbf{1342{,}2}$$

Подставляя значение производной в уравнение **(9)** находим коэффициенты:

Ctg(B) = **1,39** ; **B =** **35,7** °, **A =** **132,6** А

Закон изменения напряжения на ёмкости после коммутации:

$$Uc = \mathbf{0{,}0} + \mathbf{132{,}6} \cdot e^{-139\ t} \cdot \mathbf{Sin(}\ \mathbf{112t} + \mathbf{35{,}7}°\mathbf{)},\ \text{В}$$

3.3. Ток через емкость найдём из соотношения **(4)**. Подставляем в выражение для производной **(9)** значение коэффициентов **A** и **B**.

$$i_2 = \mathbf{C}\frac{\partial Uc}{\partial t} = \mathbf{17902{,}8}\, e^{-139\ t}\,[\mathbf{-139}\ \mathbf{Sin(}\ \mathbf{112}\ \mathbf{t + 35{,}7}°\mathbf{)} + \mathbf{112}\ \mathbf{Cos(}\ \mathbf{112}\ \mathbf{t + 35{,}7}°\mathbf{)}],\ \text{А}$$

Учитывая, что **-138,6** = **178,2 •Cos(141,1 °)** и **111,9** = **178,2•Sin(141,1°)**

и используя соотношение **Cos(x)Sin(y)+Sin(x)Cos(y) = Sin(x + y)** получаем:

$$\boxed{i_2 = \mathbf{3{,}19} \cdot e^{-139\ t} \cdot \mathbf{Sin(}\ \mathbf{112\,t} + \mathbf{176{,}7}°\mathbf{)},\ \text{А} \qquad \mathbf{(10)}}$$

Ток через индуктивность ищем в виде:

$$i_3 = i_{3пр} + \mathbf{A_1} \cdot e^{\mathbf{Re[p]t}} \cdot \mathbf{Sin(\ Im[p]t + B_1)}$$

Подставляем значения величин в формулу для тока:

$$i_3 = \mathbf{3{,}0} + \mathbf{A_1} \cdot e^{-139\ t} \cdot \mathbf{Sin(}\ \mathbf{112}\ \mathbf{t + B_1}\mathbf{)}$$

Согласно первому закону коммутации, ток через индуктивность не может измениться скачкообразно, то есть i_3 **(0+) =** i_3 **(0-)**. Подставим в предыдущую формулу значение **t = 0**.

$$i_3(\mathbf{0}) = \mathbf{3{,}0} + \mathbf{A_1 \cdot Sin(B_1)} = \mathbf{0{,}0}\ \text{А}; \quad \mathbf{A_1} = \frac{\mathbf{-3{,}0}}{\mathbf{Sin(B_1)}}\ \text{А}$$

Второе уравнение для связи коэффициентов **A**$_1$ и **B**$_1$ найдём продифференцировав выражение для i_1 по времени**:**

$$\frac{\partial i_3}{\partial t} = \mathbf{A_1} \cdot e^{-139\ t} \cdot [\ \mathbf{-139 \cdot Sin(}\ \mathbf{112}\ \mathbf{t + B_1)} + \mathbf{112} \cdot \mathbf{Cos(}\ \mathbf{112}\ \mathbf{t + B_1)}]$$

$$\left.\frac{\partial i_3}{\partial t}\right|_{t=0} = \mathbf{A_1[}\ \mathbf{-139Sin(B_1)} + \mathbf{112\ Cos(B_1)]} = \mathbf{415{,}9} - \mathbf{335{,}8} \cdot \mathbf{Ctg(B_1)}, \qquad \mathbf{(11)}$$

Составим уравнение по 2 закону Кирхгоффа для мгновенных значений применительно к правому контуру послекоммутационной схемы.

$$\mathbf{L_3}\frac{\partial i_3}{\partial t} - i_2\mathbf{R_2} - U_C = \mathbf{0}$$

. Выразим отсюда производную тока i_3 по времени:

$$\frac{\partial i_3}{\partial t} = \frac{i_2\mathbf{R_2} + U_C}{\mathbf{L_3}}; \qquad \left.\frac{\partial i_3}{\partial t}\right|_{t=0} = \frac{i_2(\mathbf{0})\,\mathbf{R_2} + U_C(\mathbf{0})}{\mathbf{L_3}}$$

Значение тока i_2 в начальный момент времени найдем из формулы **(10)**, подставив **t = 0**:

$$i_2(0) = 3{,}19 \cdot e^{0} \cdot \mathrm{Sin}(0 + 176{,}7^\circ) = 0{,}18 \text{ , A}$$

$$\left.\frac{\partial i_3}{\partial t}\right|_{t=0} = 845{,}6$$ **;** Подставляем в выражение **(11)**:

$$\mathrm{Ctg}(B_1) = -1{,}28 \; ; \quad B_1 = -38{,}0 ^\circ, \quad A_1 = 4{,}873 \text{ A}$$

Закон изменения тока через индуктивность после 3-й коммутации:

$$\boxed{i_3 = 3{,}0 + 4{,}873 \cdot e^{-139\, t} \cdot \mathrm{Sin}(112\, t - 38{,}0^\circ), \text{ A}}$$

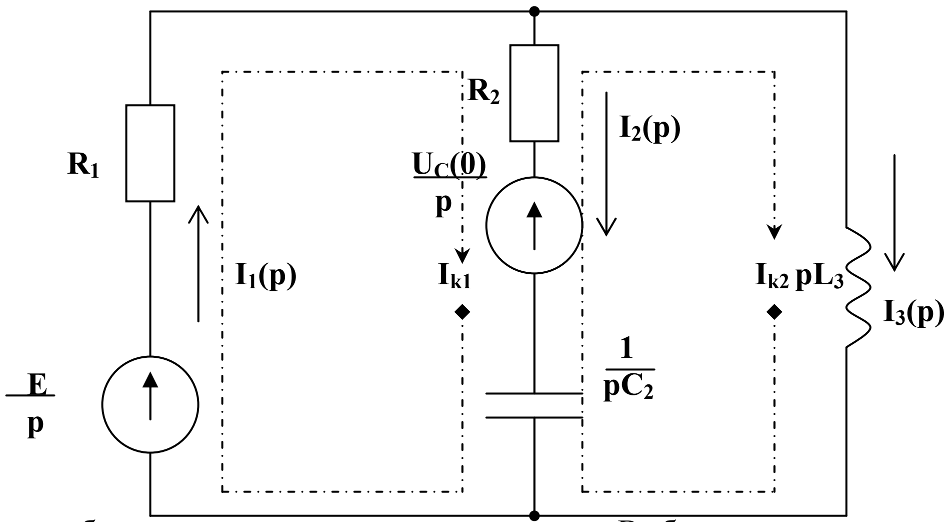
Ток через источник найдем по первому закону Кирхгоффа.

$$i_1 = i_2 + i_3 = 3{,}0 + e^{-139\, t} [\, 3{,}19 \;\mathrm{Sin}(112\, t + 176{,}7^\circ) + 4{,}9 \;\mathrm{Sin}(112\, t - 38{,}0^\circ)] =$$

используем для сложения синусоид правила символического метода:

$$i_1 = 3{,}0 + 2{,}894 \cdot e^{-139\, t} \cdot \mathrm{Sin}(112\, t - 76{,}9^\circ), \text{ A}$$

4. Находим ток i_3 при помощи операторного метода. Составим послекоммутационную операторную схему:



Задачу удобно решать методом контурных токов. Выбираем два контура. Составляем для контуров уравнения по второму закону Кирхгоффа.

$$I_{k1}\left(R_1 + R_2 + \frac{1}{pC_2}\right) - I_{k2}\left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right) = \frac{E - U_C(0)}{p}$$

$$-I_{k1}\left(R_2 + \frac{1}{pC_2}\right) + I_{k2}\left(pL_3 + R_2 + \frac{1}{pC_2}\right) = \frac{U_C(0)}{p}$$

Умножаем первое уравнение системы на $\mathbf{pC_2}$ и выделяем из него $\mathbf{I_{k1}}$:

$$I_{k1} = \frac{C_2\cdot(E - U_C(0)) + I_{k2}(R_2pC_2 + 1)}{(R_1 + R_2)pC_2 + 1} ;$$

$$-\frac{C_2\cdot(E - U_C(0)) + I_{k2}(R_2pC_2 + 1)}{(R_1 + R_2)pC_2 + 1}\cdot(R_2pC_2 + 1) + I_{k2}(p^2L_3C_2 + R_2pC_2 + 1) = C_2\cdot U_C(0)$$

Получаем соотношение, в которое входит контурный ток 2:

$$-C_2\cdot[(E - U_C(0)) + I_{k2}(R_2pC_2 + 1)]\cdot(R_2pC_2 + 1) + I_{k2}(p^2L_3C_2 + R_2pC_2 + 1)((R_1 + R_2)pC_2 + 1) =$$

$$= C_2 \cdot U_C(0)[(R_1 + R_2)pC_2 + 1]$$

$$I_{k2} \cdot [-C_2 \cdot (R_2pC_2+1)^2 + (p^2L_3C_2 + R_2pC_2 + 1)((R_1 + R_2)pC_2 + 1)] =$$

$$= C_2 \cdot (U_C(0)[(R_1 + R_2)pC_2 + 1] + C_2 \cdot [(E-U_C(0))] \cdot (R_2pC_2 + 1)$$

$$pC_2 \cdot I_{k2} \cdot [\, p^2L_3C_2 \cdot (R_1 + R_2) + p(L_3 + R_1R_2C_2) + R_1] = C_2 \cdot [\, (ER_2 + U_C(0)R_1\,)pC_2 + E]$$

Выражение для контурного тока 2:

$$I_{k2} = \frac{(ER_2 + U_C(0)R_1\,)pC_2 + E}{p \cdot [\, p^2L_3C_2 \cdot (R_1 + R_2) + p(L_3 + R_1R_2C_2) + R_1]} = \frac{(ER_2 + U_C(0)R_1\,)pC_2 + E}{p \cdot L_3C_2 \cdot (R_1+R_2)[\, p^2 + \frac{L_3 + R_1R_2C_2}{L_3C_2 \cdot (R_1 + R_2)}\, p + \frac{R_1}{L_3C_2 \cdot (R_1 + R_2)}\,]} = \frac{N(p)}{M(p)}$$

Знаменатель выражения для контурного тока содержит характеристическое уравнение относительно параметра **p**. Его корни мы определили в п. 3.1. Поэтому можно записать:

$$I_3 = I_{k2} = \frac{(ER_2 + U_C(0)R_1\,)pC_2 + E}{p \cdot L_3C_2 \cdot (R_1+R_2) \cdot (p - p_1)(p - p_2)} = \frac{N(p)}{M(p)}$$

Для нахождения оригинала тока применяем формулу разложения.

$$i_3(t) = \sum \frac{N(p_k)}{M'(p_k)} e^{p_k t}$$

Здесь $\mathbf{p_k}$ - корни уравнения $\mathbf{M(p) = 0}$. Значение $\mathbf{p = 0}$ соответствует изображению принуждённой составляющей тока.

Подставим значения: $N(p) = 845{,}6 \cdot p + 95238{,}1$

Подставляем значения корней. Вычислим предварительно величины:

$$p_1^2 = 0{,}317 \cdot 10^5 e^{282{,}2^\circ j} = (0{,}067 - 0{,}31j) \cdot 10^5$$

$$p_2^2 = 0{,}317 \cdot 10^5 e^{-282{,}2^\circ j} = (0{,}067 + 0{,}31j) \cdot 10^5$$

$$p_1p_2 = 0{,}317 \cdot 10^5$$

$$N(0) = 9{,}524 \cdot 10^4$$

$$N(p_1) = (-2{,}199 + 9{,}466j) \cdot 10^4 = 9{,}718 \cdot 10^4 e^{103{,}1^\circ j}$$

$$N(p_2) = (-2{,}199 - 9{,}466j) \cdot 10^4 = 9{,}718 \cdot 10^4 e^{256{,}9^\circ j}$$

Найдём производную от функции **M(p)**: $M'(p) = (p - p_1)(p - p_2) + p(p - p_1) + p(p - p_2)$

$$M'(0) = p_1p_2 = 3{,}175 \cdot 10^4$$

$$M'(p_1) = p_1^2 - p_1p_2 = (-2{,}506 - 3{,}103j) \cdot 10^4 = 3{,}989 \cdot 10^4 e^{231{,}1^\circ j}$$

$$M'(p_2) = p_2^2 - p_1p_2 = (-2{,}506 + 3{,}103j) \cdot 10^4 = 3{,}989 \cdot 10^4 e^{-231{,}1^\circ j}$$

Находим отношения функций:

$$\frac{N(p_1)}{M'(p_1)} = 2{,}4363 e^{-128{,}0^\circ j}\; ; \quad \frac{N(p_2)}{M'(p_2)} = 2{,}4363 e^{128{,}0^\circ j}\; ; \quad \frac{N(0)}{M'(0)} = 3{,}0$$

Подставляем найденные значения в формулу **(9)** принимая во внимание соотношения:

$$e^{(X+Y)} = e^{X} e^{Y} \text{; } 2\mathrm{Cos}(\alpha) = e^{j\alpha} + e^{-j\alpha} \text{ и } \mathrm{Sin}(\alpha) = \mathrm{Cos}(\alpha - 90°)$$

$$i_3 = 3{,}0 + 4{,}873 e^{-139\,t} \cdot \mathrm{Sin}(112t - 38{,}0°),\ \text{А}$$

Найдём постоянную времени и период переходного процесса:

$$\tau = \frac{1}{\mathrm{Re}[p]} = 7{,}214 \text{ мс} \qquad T_{св} = \frac{2\pi}{\mathrm{Im}[p]} = 56{,}133 \text{ мс;}$$

5. Строим график функции тока через емкость на всех этапах коммутации. Рассчитываем значение тока, задаваясь различными значениями времени.

Шаг по времени для первой коммутации: $\Delta t_1 = \frac{t_1}{10} = 1{,}428$ мс

Шаг по времени для второй коммутации: $\Delta t_2 = \frac{t_2}{10} = 0{,}945$ мс

Шаг по времени для третьей коммутации: $\Delta t_3 = \frac{1}{10|p_5|} = 2{,}339$ мс

Первая коммутация:

t, мс	0,0	1,428	2,857	4,285	5,713	7,141	8,57	9,998	11,426	12,855	14,283
exp(-70 t)	1,0	0,905	0,819	0,741	0,67	0,607	0,549	0,497	0,449	0,407	0,368
exp(-752 t)	1,0	0,081	0,006	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
i_1, А	0,0	0,73	0,72	0,656	0,594	0,537	0,486	0,44	0,398	0,36	0,326

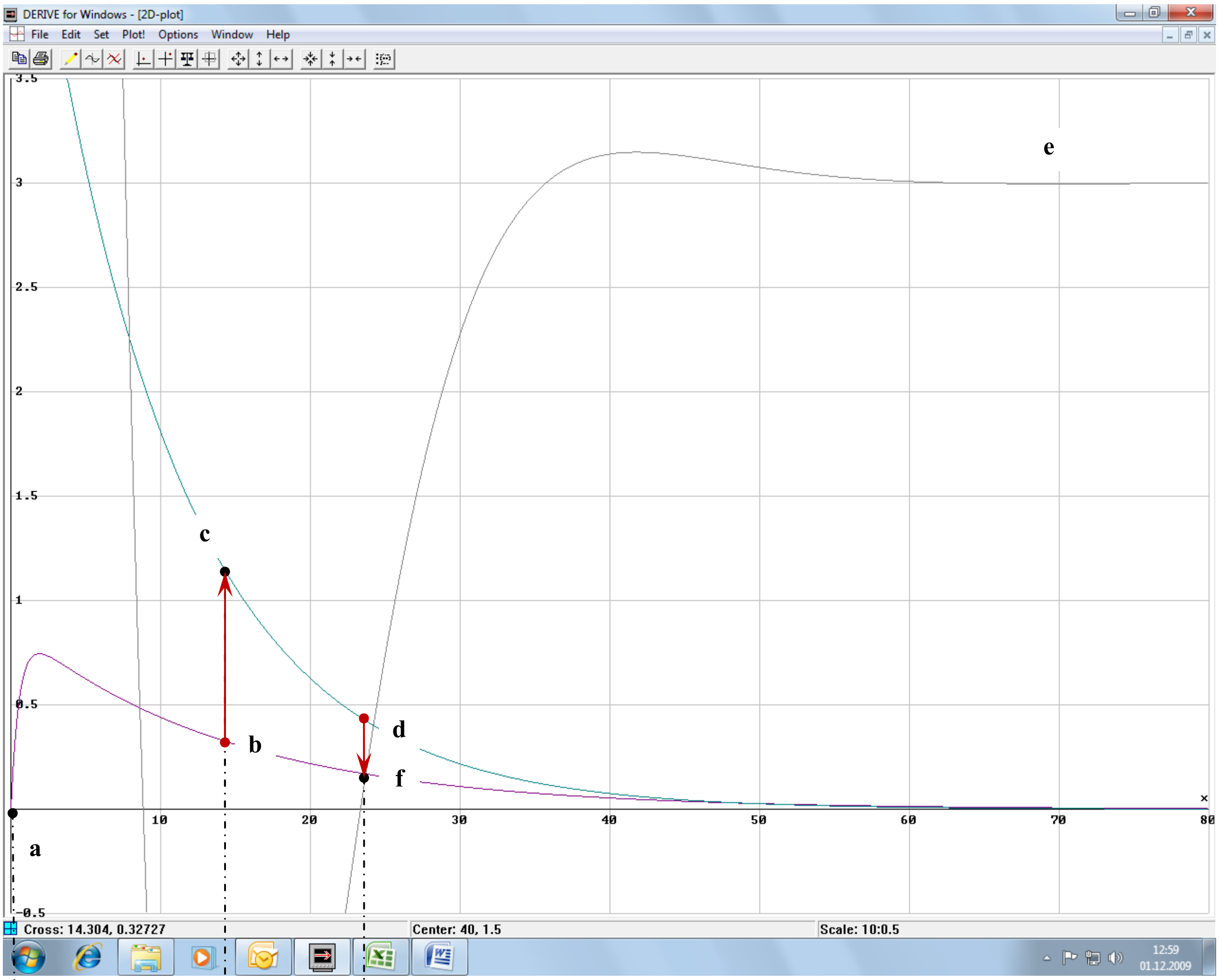
Вторая коммутация:

t, мс	14,283	15,228	16,173	17,118	18,063	19,008	19,953	20,898	21,843	22,788	23,733
exp[$-106\cdot(t - t_1)$]	1,0	0,905	0,819	0,741	0,67	0,607	0,549	0,497	0,449	0,407	0,368
i_1, А	1,149	1,04	0,941	0,851	0,77	0,697	0,631	0,571	0,516	0,467	0,423

Третья коммутация:

t, мс	23,733	26,072	28,411	30,749	33,088	35,427	37,766	40,105	42,444	44,783	47,122
exp[$-139\cdot(t - t_1 - t_2)$]	1,0	0,723	0,523	0,378	0,273	0,198	0,143	0,103	0,075	0,054	0,039
Sin(112 $(t - t_1 - t_2)$ - 76,9°)	-0,974	-0,882	-0,73	-0,529	-0,291	-0,034	0,226	0,471	0,683	0,849	0,957
i_1, А	0,181	1,154	1,895	2,421	2,77	2,981	3,094	3,141	3,148	3,133	3,108

Строим график тока на всех этапах коммутации.



Вторая коммутация

Первая коммутация

Третья коммутация

Итоговый график представляет собой сумму 3-х участков, на которых переходный процесс имеет однородную функциональную зависимость.

Участок **ab** –переходный процесс после первой коммутации.

Участок **bc** – скачкообразное увеличение тока в момент второй коммутации.

Участок **cd** – переходный процесс после второй коммутации.

Участок **df** – скачкообразный спад тока в момент третьей коммутации.

Участок **fe** – затухающий гармонический переходный процесс после третьей коммутации.