Національний технічний університет України

‘ Київський політехнічний інститут’

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра обчислювальної техніки

Розрахунково-графічна робота № 2

“ Розрахунок перехідних процесів у складних

електричних колах”

Виконав: *Мроць Ю.Б.*

Група: *ІО-12*

Номер зк: *1219*

Шифр: *569*

Перевірила: *Перетятко Ю.В.*

Київ — 2013

Дані для розрахунків

Таблиця	Варіант	*L, мГн*	*C, мкФ*	*R, Ом*
№ 1	5	150	60	30

Таблиця	Варіант	E_1, *В*	E_2, *В*	*k*
№ 2	6	120	100	1

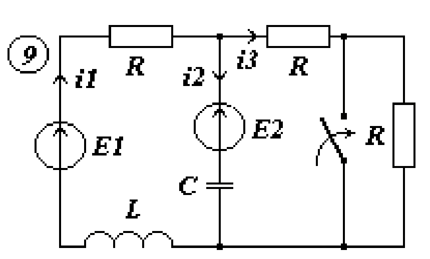
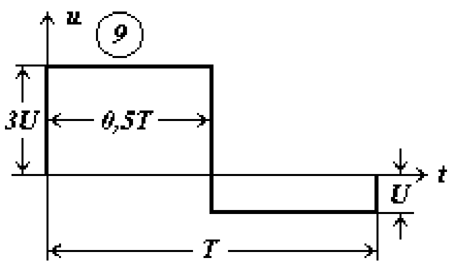


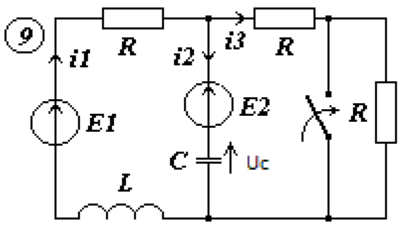
Схема кола



Часова діаграма ЕРС джерела збудження

1.a) Розрахувати класичним методом струми перехідного процесу та напруги на реактивних елементах.

1) Розрахунок усталеного режиму до комутації (t=-0). Визначення незалежних початкових умов.



$$i_{1дк} := \frac{E_1}{3 \cdot R} = 1.333 \ \ (A)$$

$$i_{2дк} := 0 \ \ (A)$$

$$i_{3дк} := i_{1дк} = 1.333 \ (A)$$

$$u_{Сдк} := E_1 - i_{1дк} \cdot R - E_2 = -20 \ (B) \qquad u_{Сдк2} := i_{3дк} \cdot (2 \cdot R) - E_2 = -20 \ (B)$$

$$u_{Lдк} := 0 \quad (B)$$

Незалежні початкові умови:

За першим законом комутації: $i_{10} := i_{1дк} = 1.333 \ \ (A)$

За другим законом комутації: $u_{C0} := u_{Сдк} = -20 \ \ (B)$

2) Запишемо систему рівнянь за законами Кірхгофа для після комутаційної схеми (t=0).

Given

$$i_{10} = i_{30} + i_{20}$$

$$u_{L0} + i_{10} \cdot R + u_{C0} = E_1 - E_2$$

$$i_{30} \cdot R - u_{C0} = E_2$$

3) Рохрахунок залежних початкових умов (струми у вітках без індуктивностей; шукані напруги, але не на ємностях; похідні усіх шуканих струмів та напруг) (t=0).

Знайдемо струми та напругу на індуктивності із системи рівнянь з п. 2:

$$\begin{pmatrix} i_{30} \\ i_{20} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{30}, i_{20}, u_{L0}) \ \mathrm{float}, 4 \ \rightarrow \begin{pmatrix} 2.667 \\ -1.333 \\ 1.0e\text{-}15 \end{pmatrix} \begin{matrix} (A) \\ (A) \\ (A) \end{matrix}$$

Знайдемо похідні незалежних початкових умов:

$$di_{10} := \frac{u_{L0}}{L} = 0$$

$$du_{C0} := \frac{i_{20}}{C} = -2.222 \times 10^4$$

Знайдемо похідні залежних початкових умов:

Given

$di_{10} = di_{30} + di_{20}$

$du_{L0} + di_{10} \cdot R + du_{C0} = 0$

$di_{30} \cdot R - du_{C0} = 0$

$$\begin{pmatrix} di_{30} \\ di_{20} \\ du_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}\left(di_{30}, di_{20}, du_{L0}\right) \text{ float}, 6 \ \rightarrow \begin{pmatrix} -740.556 \\ 740.556 \\ 22216.7 \end{pmatrix}$$

4) Запишемо шукані струми і напруги на реактивних елементах як суми усталених і вільних складових.

$i_1(t) := i_{1уст} + i_{1в}(t)$

$i_2(t) := i_{2уст} + i_{2в}(t)$

$i_3(t) := i_{3уст} + i_{3в}(t)$

$u_C(t) := u_{Cуст} + u_{Cв}(t)$

$u_L(t) := u_{Lуст} + u_{Lв}(t)$

5) Розрахунок усталених струмів та напруг після закінчення перехідного процесу.

$i_{1уст} := \dfrac{E_1}{2 \cdot R} = 2$ (A)

$i_{2уст} := 0$ (A)

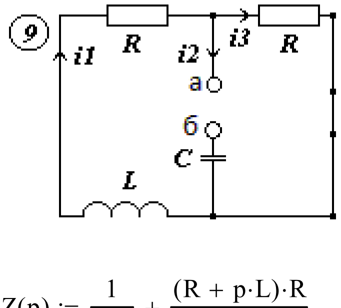
$i_{3уст} := i_{1уст} = 2$ (A)

$u_{Cуст} := E_1 - i_{1уст} \cdot R - E_2 = -4($ (B)

$u_{Lуст} := 0$ (B)

6) Складемо характеристичне рівняння для кола й знайдемо його корені.

Для визначення коренів хар. р-ння скористаємось методом вхідного опору.
Для цього вилучимо всі джерела енергії, заміняємо jω на p.
Розриваємо коло у точках а-б та записуємо вираз для вхідного опору відносно точок розриву.



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

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := \frac{1}{p \cdot C} + \frac{(R + p \cdot L) \cdot R}{2 \cdot R + p \cdot L} \ \middle| \begin{array}{l} \text{solve}, p \\ \text{float}, 6 \end{array} \rightarrow \begin{pmatrix} -377.778 + 281.968i \\ -377.778 - 281.968i \end{pmatrix}$$

$\omega_0 := \left|\mathrm{Im}\left(p_1\right)\right| = 281.968$ - кутова частота власних коливань контуру

$\delta := \left|\mathrm{Re}\left(p_1\right)\right| = 377.778$ - коефіцієнт загасання

7) Запишемо вирази для шуканих напруг і струмів та їх похідних в загальному вигляді.

$$i_1(t) := i_{1уст} + \left(A_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + A_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$i_2(t) := i_{2уст} + \left(B_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + B_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$i_3(t) := i_{3уст} + \left(K_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + K_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$u_C(t) := u_{Cуст} + \left(D_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + D_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$u_L(t) := u_{Lуст} + \left(N_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + N_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$di_1(t) := \left(-\delta\left(A_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + A_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) + \omega_0\left(A_1 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - A_2 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)\right)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$di_2(t) := \left(-\delta\left(B_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + B_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) + \omega_0\left(B_1 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - B_2 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)\right)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$di_3(t) := \left(-\delta\left(K_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + K_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) + \omega_0\left(K_1 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - K_2 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)\right)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$du_C(t) := \left(-\delta\left(D_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + D_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) + \omega_0\left(D_1 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - D_2 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)\right)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

$$du_L(t) := \left(-\delta\left(N_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + N_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) + \omega_0\left(N_1 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - N_2 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)\right)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t}$$

8) Розрахуємо сталі інтегрування.

Для цього запишемо вирази з п.7 для моменту часу t=0:

Given

$$i_{10} = i_{1уст} + A_2$$

$$di_{10} = -\delta \cdot A_2 + \omega_0 \cdot A_1$$

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(A_1, A_2)\ \mathrm{float}, 3 \ \rightarrow \begin{pmatrix} -0.893 \\ -0.667 \end{pmatrix}$$

Given

$$i_{20} = i_{2уст} + B_2$$

$$di_{20} = -\delta \cdot B_2 + \omega_0 \cdot B_1$$

$$\begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(B_1, B_2)\ \mathrm{float}, 3 \ \rightarrow \begin{pmatrix} 0.84 \\ -1.33 \end{pmatrix}$$

Given

$$i_{30} = i_{3уст} + K_2$$

$$di_{30} = -\delta \cdot K_2 + \omega_0 \cdot K_1$$

$$\begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(K_1, K_2)\ \mathrm{float}, 3 \ \rightarrow \begin{pmatrix} -1.73 \\ 0.667 \end{pmatrix}$$

Given

$u_{C0} = u_{Cуст} + D_2$

$du_{C0} = -\delta \cdot D_2 + \omega_0 \cdot D_1$

$$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(D_1, D_2) \text{ float}, 3 \rightarrow \begin{pmatrix} -52.0 \\ 20.0 \end{pmatrix}$$

Given

$u_{L0} = u_{Lуст} + N_2$

$du_{L0} = -\delta \cdot N_2 + \omega_0 \cdot N_1$

$$\begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(N_1, N_2) \text{ float}, 3 \rightarrow \begin{pmatrix} 78.8 \\ 1.0e\text{-}15 \end{pmatrix}$$

9) Підставимо отримані значення у вирази п. 7.

$$i_1(t) := i_{1уст} + \left(A_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + A_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t} \rightarrow e^{-377.778 \cdot t} \cdot (-0.667 \cdot \cos(281.968 \cdot t) + -0.893 \cdot \sin(281.968 \cdot t)) + \text{ (A)}$$

$$i_2(t) := i_{2уст} + \left(B_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + B_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t} \rightarrow e^{-377.778 \cdot t} \cdot (-1.33 \cdot \cos(281.968 \cdot t) + 0.84 \cdot \sin(281.968 \cdot t)\text{ (A)}$$

$$i_3(t) := i_{3уст} + \left(K_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + K_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t} \rightarrow e^{-377.778 \cdot t} \cdot (0.667 \cdot \cos(281.968 \cdot t) + -1.73 \cdot \sin(281.968 \cdot t)) + 2 \text{ (A)}$$

$$u_C(t) := u_{Cуст} + \left(D_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + D_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t} \rightarrow e^{-377.778 \cdot t} \cdot (20.0 \cdot \cos(281.968 \cdot t) + -52.0 \cdot \sin(281.968 \cdot t)) - 4(\text{ (B)}$$

$$u_L(t) := u_{Lуст} + \left(N_1 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + N_2 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)\right) \cdot e^{-\delta \cdot t} \rightarrow e^{-377.778 \cdot t} \cdot (1.0e\text{-}15 \cdot \cos(281.968 \cdot t) + 78.8 \cdot \sin(281.968 \cdot t) \text{ (B)}$$

10) Зробимо перевірку отриманих результатів.

Складемо наступне рівняння за другим законом Кірхгофа:

$E_1 - E_2 = i_1(t) \cdot R + u_L(t) + u_C(t)$

Розрахуємо ліву частину:

$E_1 - E_2 = 20$ (В)

Розрахуємо праву частину:

$$\lim_{t \to \infty} \left(i_1(t) \cdot R + u_L(t) + u_C(t)\right) \rightarrow 20.0 \quad \text{(В)}$$

Складемо ще одне рівняння за другим законом Кірхгофа:

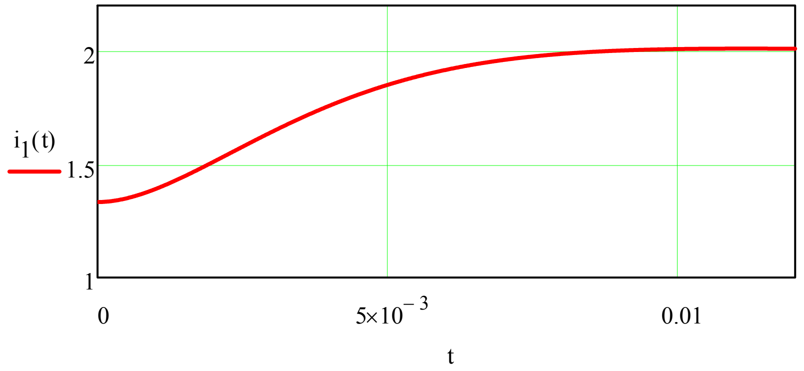
$E_2 = i_3(t) \cdot R - u_C(t)$

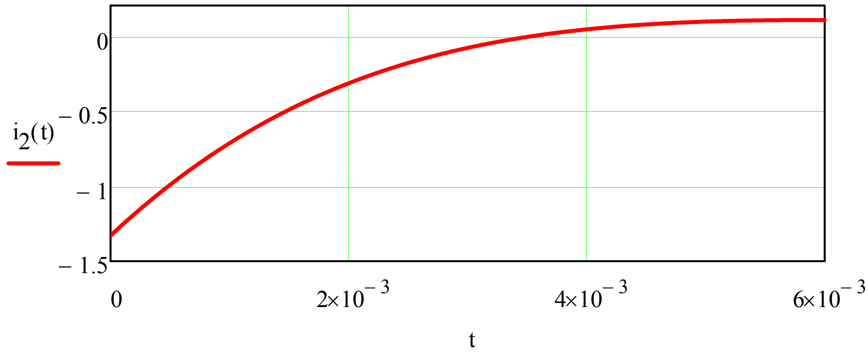
$E_2 = 100$ (В)

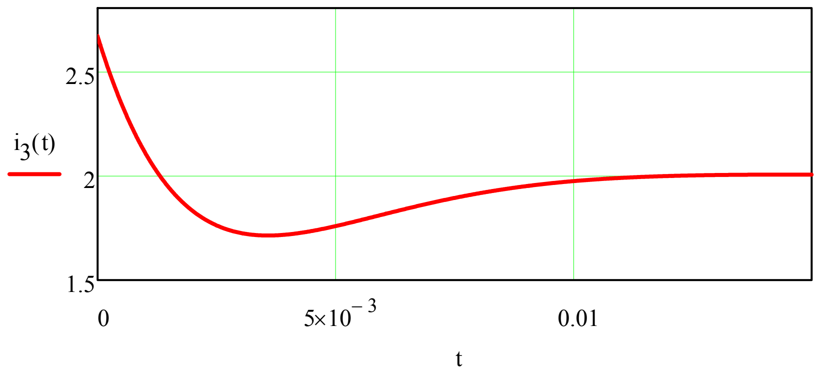
$$\lim_{t \to \infty} \left(i_3(t) \cdot R - u_C(t)\right) \rightarrow 100.0 \quad \text{(В)}$$

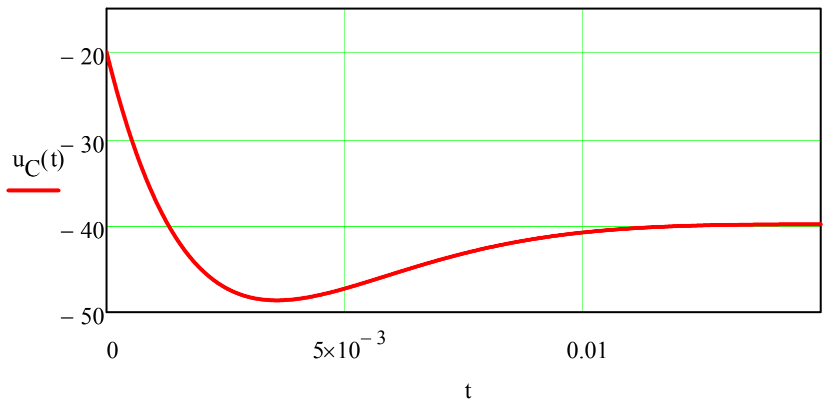
При t -> ∞ розв'язки правих частини прямують до значень лівих частин рівнянь.
Отже, розрахунки правильні.

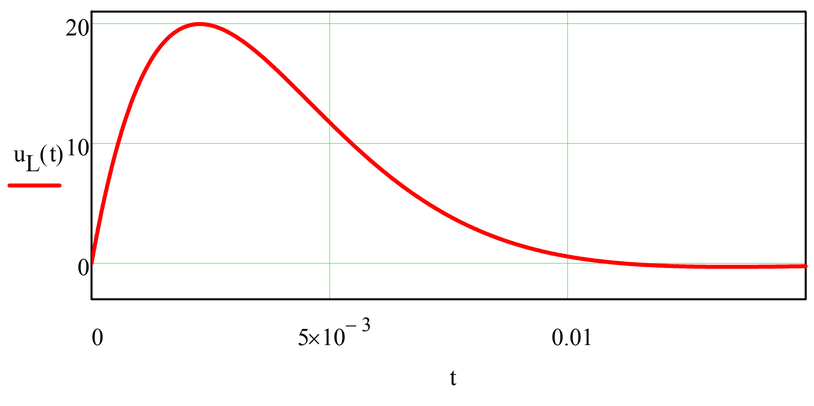
11) Побудуємо графіки для шуканих струмів та напруг.





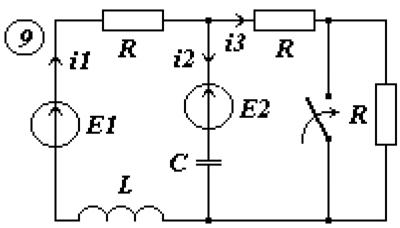






1.б) Розрахувати операторним методом струм у вітці з ЕРС Е1 та напруги на реактивних елементах.

1) Розрахунок усталеного режиму до комутації (t=-0). Визначення незалежних початкових умов.



$$i_{1дк} := \frac{E_1}{3 \cdot R} = 1.333 \ \ (A)$$

$$i_{2дк} := 0 \ \ (A)$$

$$i_{3дк} := i_{1дк} = 1.333 \ \ (A)$$

$$u_{Cдк} := E_1 - i_{1дк} \cdot R - E_2 = -2(\ (B) \qquad u_{Cдк2} := i_{3дк} \cdot (2 \cdot R) - E_2 = -20 \ (B)$$

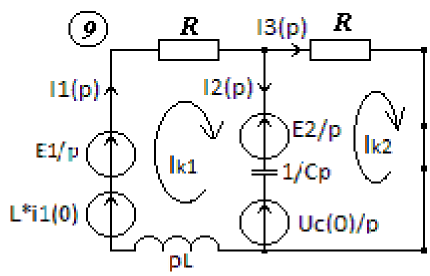
$$u_{Lдк} := 0 \ \ (B)$$

Незалежні початкові умови:

За першим законом комутації: $i_{10} := i_{1дк} = 1.333 \ \ (A)$

За другим законом комутації: $u_{C0} := u_{Cдк} = -20 \ \ (B)$

2) За допомогою методу контурних струмів, складемо для операторної схеми заміщення кола систему рівнянь.



$$I_{k1}(p) \cdot \left(R + p \cdot L + \frac{1}{p \cdot C}\right) - I_{k2}(p) \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C}\right) = \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{10}$$

$$-I_{k1}(p) \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C}\right) + I_{k2}(p) \cdot \left(R + \frac{1}{C \cdot p}\right) = \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p}$$

3) Розахуємо визначники для записаної системи рівнянь.

$$\Delta(p) := \left| \begin{pmatrix} R + p \cdot L + \frac{1}{p \cdot C} & -\frac{1}{p \cdot C} \\ -\frac{1}{p \cdot C} & R + \frac{1}{C \cdot p} \end{pmatrix} \right| \rightarrow \frac{9 \cdot p^2 + 6800 \cdot p + 2000000}{2 \cdot p}$$

$$\Delta_1(p) := \left|\begin{pmatrix} \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{C0}}{p} + L\cdot i_{10} & -\frac{1}{p\cdot C} \\ \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} & R + \frac{1}{C\cdot p} \end{pmatrix}\right| \text{ float}, 4 \ \rightarrow \frac{5.0e\text{-}17\cdot\left(9.067e19\cdot p + 1.2e17\cdot p^2 + 4.0e22\right)}{p^2}$$

$$\Delta_2(p) := \left|\begin{pmatrix} R + p\cdot L + \frac{1}{p\cdot C} & \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{C0}}{p} + L\cdot i_{10} \\ -\frac{1}{p\cdot C} & \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} \end{pmatrix}\right| \text{ float}, 4 \ \rightarrow \frac{2.5e\text{-}13\cdot\left(2.293e16\cdot p + 4.8e13\cdot p^2 + 8.0e18\right)}{p^2}$$

4) Розрахуємо контурні струми, за допомогою визначників.

$$I_{k1}(p) := \frac{\Delta_1(p)}{\Delta(p)} \rightarrow \frac{2\cdot\left(4533.5\cdot p + 6.0\cdot p^2 + 2.0e6\right)}{p\cdot\left(9\cdot p^2 + 6800\cdot p + 2000000\right)}$$

$$I_{k2}(p) := \frac{\Delta_2(p)}{\Delta(p)} \rightarrow \frac{2\cdot\left(5732.5\cdot p + 12.0\cdot p^2 + 2.0e6\right)}{p\cdot\left(9\cdot p^2 + 6800\cdot p + 2000000\right)}$$

5) Знайдемо операторні зображення струмів і напруг, використовуючи обчислені контурні струми.

$$I_1(p) := I_{k1}(p) \rightarrow \frac{9067.0\cdot p + 12.0\cdot p^2 + 4.0e6}{p\cdot\left(9\cdot p^2 + 6800\cdot p + 2000000\right)}$$

$$I_3(p) := I_{k2}(p) \rightarrow \frac{11465.0\cdot p + 24.0\cdot p^2 + 4.0e6}{p\cdot\left(9\cdot p^2 + 6800\cdot p + 2000000\right)}$$

$$I_2(p) := I_1(p) - I_3(p) \text{ factor } \rightarrow -\frac{2\cdot(6.0\cdot p + 1199.0)}{9.0\cdot p^2 + 6800.0\cdot p + 2.0e6}$$

$$U_C(p) := \frac{u_{C0}}{p} + \frac{I_2(p)}{p\cdot C} \text{ factor } \rightarrow -\frac{20\cdot\left(27.0\cdot p^2 + 50400.0\cdot p + 1.1995e7\right)}{3\cdot p\cdot\left(9.0\cdot p^2 + 6800.0\cdot p + 2.0e6\right)}$$

$$U_L(p) := I_1(p)\cdot p\cdot L - L\cdot i_{10} \ \left|\begin{array}{l}\text{factor} \\ \text{float}, 4\end{array}\right. \rightarrow \frac{1.5e\text{-}17\cdot\left(3.333e15\cdot p + 3.0\cdot p^2 + 1.333e22\right)}{6800.0\cdot p + 9.0\cdot p^2 + 2.0e6}$$

6) Визначимо оригінали струмів та напруг по їх операторним зображенням.

Для струму в вітці з джерелом напруги E1:

Чисельник операторного зображення напруги на котушці:

$$G_1(p) := \text{numer}\left(I_{k1}(p)\right) \rightarrow 12.0\cdot p^2 + 9067.0\cdot p + 4.0e6$$

Знаменник операторного зображення напруги на котушці:

$$F_1(p) := \text{denom}\left(I_{k1}(p)\right) \rightarrow 1.0\cdot p\cdot\left(9\cdot p^2 + 6800\cdot p + 2000000\right)$$

Корені знаменника:

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := F_1(p)\ \left|\begin{matrix}\text{solve} \\ \text{float}, 5\end{matrix}\right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -377.78 + 281.97i \\ -377.78 - 281.97i \end{pmatrix}$$

$$G_1(p_0) = 4 \times 10^6$$

$$G_1(p_1) = 1.333 \times 10^6$$

$$G_1(p_2) = 1.333 \times 10^6$$

$$dF_1(p) := \frac{d}{dp}F_1(p)\ \text{factor} \ \rightarrow 27.0 \cdot p^2 + 13600.0 \cdot p + 2.0e6$$

$$dF_1(p_0) = 2 \times 10^6$$

$$dF_1(p_1) = -1.431 \times 10^6 - 1.917i \times 10^6$$

$$dF_1(p_2) = -1.431 \times 10^6 + 1.917i \times 10^6$$

$$i_1(t) := \frac{G_1(p_0)}{dF_1(p_0)} + \frac{G_1(p_1)}{dF_1(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{G_1(p_2)}{dF_1(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t}$$

$$i_1(t)\ \text{float}, 5 \ \rightarrow 2.0 - (0.33332 - 0.44653i) \cdot e^{-(377.78-281.97i) \cdot t} - (0.33332 + 0.44653i) \cdot e^{-(377.78+281.97i) \cdot t}\ (A)$$

Для напруги на конденсаторі:

Чисельник операторного зображення напруги на котушці:

$$G_2(p) := \text{numer}\left(U_C(p)\right) \rightarrow -540.0 \cdot p^2 - 1.008e6 \cdot p - 2.399e8$$

Знаменник операторного зображення напруги на котушці:

$$F_2(p) := \text{denom}\left(U_C(p)\right) \rightarrow 3.0 \cdot p \cdot \left(9.0 \cdot p^2 + 6800.0 \cdot p + 2.0e6\right)$$

Корені знаменника:

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := F_2(p)\ \left|\begin{matrix}\text{solve} \\ \text{float}, 5\end{matrix}\right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -377.78 - 281.97i \\ -377.78 + 281.97i \end{pmatrix}$$

$$G_2(p_0) = -2.399 \times 10^8$$

$$G_2(p_1) = 1.068 \times 10^8 + 1.692i \times 10^8$$

$$G_2(p_2) = 1.068 \times 10^8 - 1.692i \times 10^8$$

$$dF_2(p) := \frac{d}{dp}F_2(p)\ \text{factor} \ \rightarrow 3 \cdot \left(27.0 \cdot p^2 + 13600.0 \cdot p + 2.0e6\right)$$

$$dF_2(p_0) = 6 \times 10^6$$

$dF_2(p_1) = -4.293 \times 10^6 + 5.752i \times 10^6$

$dF_2(p_2) = -4.293 \times 10^6 - 5.752i \times 10^6$

$$u_C(t) := \frac{G_2(p_0)}{dF_2(p_0)} + \frac{G_2(p_1)}{dF_2(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{G_2(p_2)}{dF_2(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t}$$

$u_C(t)$ float, 5 $\rightarrow (9.9916 - 26.019i) \cdot e^{-(377.78+281.97i) \cdot t} + (9.9916 + 26.019i) \cdot e^{-(377.78-281.97i) \cdot t} - 39.98$ (B)

Для напруги на котушці:

Чисельник операторного зображення напруги на котушці:

$G_3(p) := \mathrm{numer}(U_L(p)) \rightarrow 9.0 \cdot p^2 + 9.999e15 \cdot p + 3.999e22$

Знаменник операторного зображення напруги на котушці:

$F_3(p) := \mathrm{denom}(U_L(p)) \rightarrow 1.8e18 \cdot p^2 + 1.36e21 \cdot p + 4.0e23$

Корені знаменника:

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := F_3(p) \left| \begin{matrix} \text{solve} \\ \text{float}, 5 \end{matrix} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -377.78 - 281.97i \\ -377.78 + 281.97i \end{pmatrix}$$

$G_3(p_1) = 3.999 \times 10^{22}$

$G_3(p_2) = 3.999 \times 10^{22}$

$$dF_3(p) := \frac{d}{dp} F_3(p) \left| \begin{matrix} \text{factor} \\ \text{float}, 4 \end{matrix} \right. \rightarrow 3.6e18 \cdot p + 1.36e21$$

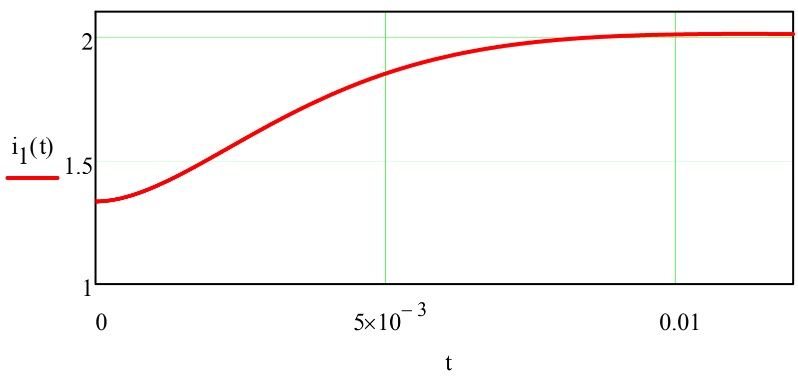
$dF_3(p_1) = -1.015i \times 10^{21}$

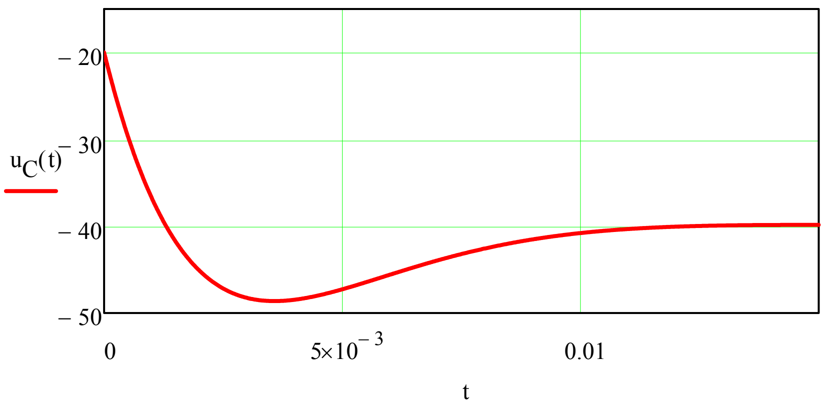
$dF_3(p_2) = 1.015i \times 10^{21}$

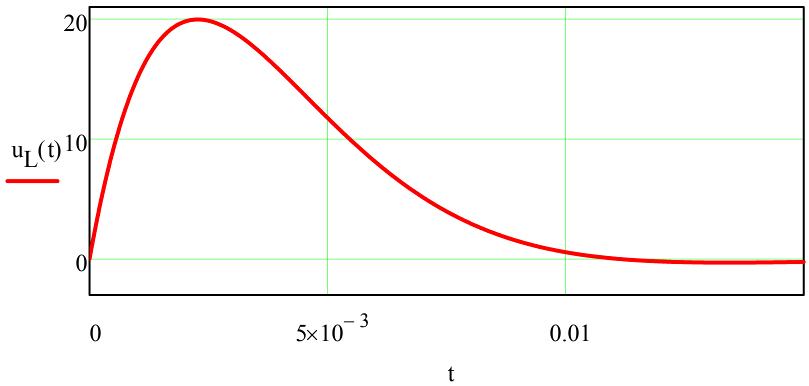
$$u_L(t) := \frac{G_3(p_1)}{dF_3(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{G_3(p_2)}{dF_3(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t}$$

$u_L(t)$ float, 5 $\rightarrow (0.0024671 + 39.392i) \cdot e^{-(377.78+281.97i) \cdot t} + (0.0024671 - 39.392i) \cdot e^{-(377.78-281.97i) \cdot t}$(B)

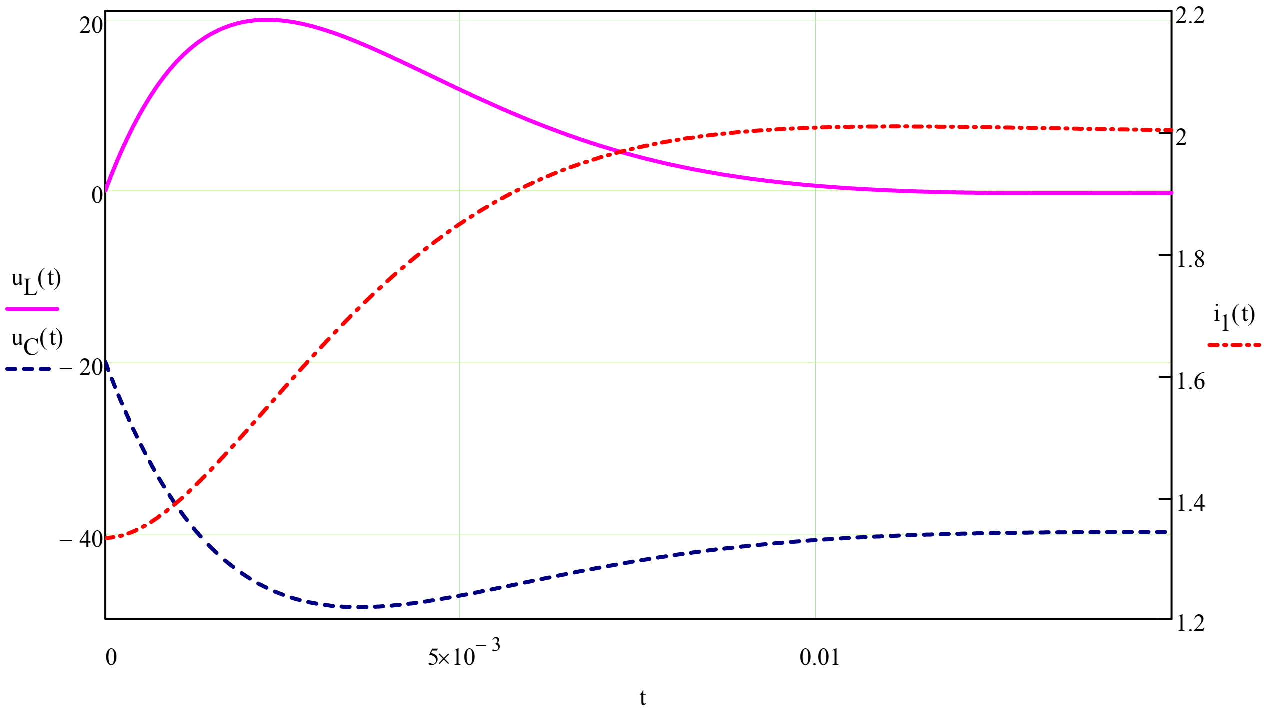
7) Графіки шуканого струму та напруг:





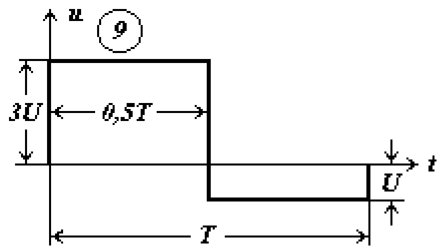


1.в) Побудувати в одному часовому масштабі діаграми ***i1(t), uL(t), uc(t).***



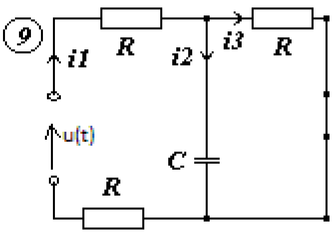
2. Розрахувати вхідний струм і напругу на конднсаторі методом інтеграла Дюамеля.

Для виконання даного завдання потрібно закоротити джерело E2, замінит опором R індуктивність. Вважати, що замість джерела постійної ЕРС E1 на вхідних полюсах діє напруга u(t), форма якої зображена на рисунку нижче.



Де U=E1, T =k*т, т - стала часу кола.

Схема кола матиме вигляд:



Щоб визначити перехідні функції для аналізу перехідних процесів у колі, потрібно розрахувати струм i1 і напругу на конденсаторі після увімкнення кола до джерела постійної ЕРС E.

$E := 1$ (B)

1) Розрахунок усталеного режиму до комутації (t=-0). Визначення незалежних початкових умов.

$$i_{1дк} := \frac{0}{3\cdot R} = 0 \text{ (A)}$$

$$i_{2дк} := 0 \text{ (A)}$$

$$i_{3дк} := i_{1дк} = 0 \text{ (A)}$$

$$u_{Cдк} := i_{3дк}\cdot R = 0 \text{ (B)}$$

Незалежні початкові умови:

За другим законом комутації: $u_{C0} := u_{Cдк} = 0$ (B)

2) Запишемо систему рівнянь за законами Кірхгофа для після комутаційної схеми (t=0).

Given

$$i_{10} = i_{30} + i_{20}$$

$$i_{10}\cdot 2\cdot R + i_{30}\cdot R = E$$

$$-i_{30}\cdot R + u_{C0} = 0$$

3) Рохрахунок залежних початкових умов (струми у вітках без індуктивностей; шукані напруги, але не на ємностях; похідні усіх шуканих струмів та напруг) (t=0).

Знайдемо струми та напругу на індуктивності із системи рівнянь з п. 2:

$$\begin{pmatrix} i_{10} \\ i_{20} \\ i_{30} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{10}, i_{20}, i_{30})\ \mathrm{float}, 4\ \rightarrow \begin{pmatrix} 0.01667 \\ 0.01667 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} (A) \\ (A) \\ (A) \end{matrix}$$

4) Запишемо шукані струми і напруги на реактивних елементах як суми усталених і вільних складових.

$$g_{i1}(t) := i_{1уст} + i_{1в}(t)$$

$$h_{uC}(t) := u_{Cуст} + u_{Cв}(t)$$

5) Розрахунок усталених струмів та напруг після закінчення перехідного процесу.

$$i_{1уст} := \frac{E}{3 \cdot R} = 0.011\ (A)$$

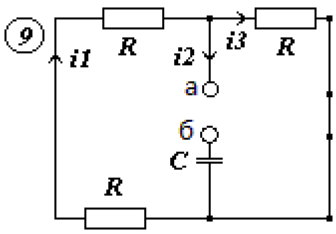
$$i_{2уст} := 0\ \ (A)$$

$$i_{3уст} := i_{1уст} = 0.011\ \ (A)$$

$$u_{Cуст} := i_{3уст} \cdot R = 0.333\ (B)$$

6) Складемо характеристичне рівняння для кола й знайдемо його корінь.

Для визначення коренів хар. р-ння скористаємось методом вхідного опору.
Для цього вилучимо всі джерела енергії, заміняємо jω на p.
Розриваємо коло у точках а-б та записуємо вираз для вхідного опору відносно точок розриву.



$$Z(p) := \frac{1}{p \cdot C} + \frac{(2 \cdot R) \cdot R}{3 \cdot R}$$

$$p := \frac{1}{p \cdot C} + \frac{(2 \cdot R) \cdot R}{3 \cdot R} \left| \begin{matrix} \mathrm{solve} \\ \mathrm{float}, 6 \end{matrix} \right. \rightarrow -833.333$$

$$\tau := \left| \frac{1}{p} \right| = 1.2 \times 10^{-3}\ \ (c)$$ - стала часу кола

7) Запишемо вирази для шуканої напруги і струму.

$$g_{i1}(t) := i_{1уст} + A \cdot e^{p \cdot t}$$

$$h_{uC}(t) := u_{Cуст} + B \cdot e^{p \cdot t}$$

8) Розрахуємо сталі інтегрування.

$$A := i_{10} - i_{1уст} = 5.559 \times 10^{-3}$$

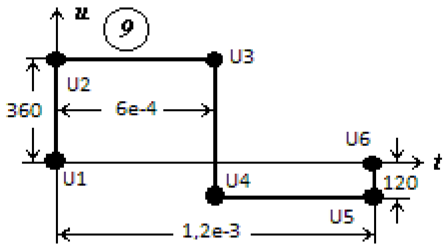
$$B := u_{C0} - u_{Cуст} = -0.333$$

9) Підставимо отримані значення у вирази п. 7.

$$g_{i1}(t) := i_{1уст} + A \cdot e^{p \cdot t}\ \mathrm{float}, 5\ \rightarrow 0.0055589 \cdot e^{-833.33 \cdot t} + 0.011111\ \ (A)$$

$h_{uC}(t) := u_{Cуст} + B \cdot e^{p \cdot t} \text{ float}, 5 \rightarrow -0.33333 \cdot e^{-833.33 \cdot t} + 0.33333 \quad (B)$

10) Визначимо закон зміни напруги на всіх проміжках часу:



$U1 := 0 \ (B)$

$U2 := 360 \ (B)$

$U3 := 360 \ (B)$

$U4 := -120 \ (B)$

$U5 := -120 \ (B)$

$U6 := 0 \ (B)$

11) Струм i1 на цих проміжках буде мати вигляд.

$i_{11}(t) := (U2 - U1) \cdot g_{i1}(t - 0) \rightarrow 2.001204 \cdot e^{-833.33 \cdot t} + 3.99996 \ (A)$

$i_{12}(t) := (U2 - U1) \cdot g_{i1}(t - 0) + (U4 - U3) \cdot g_{i1}\left(t - 6 \cdot 10^{-4}\right) \text{ float}, 4 \rightarrow 2.001 \cdot e^{-833.3 \cdot t} + -2.668 \cdot e^{-833.3 \cdot t + 0.5} - 1.3\text{: } (A)$

$i_{13}(t) := (U2 - U1) \cdot g_{i1}(t - 0) + (U4 - U3) \cdot g_{i1}\left(t - 6 \cdot 10^{-4}\right) + (U6 - U5) \cdot g_{i1}\left(t - 1.2 \cdot 10^{-3}\right)$

$i_{13}(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 2.0012 \cdot e^{-833.33 \cdot t} + -2.6683 \cdot e^{-833.33 \cdot t + 0.5} + 0.66707 \cdot e^{-833.33 \cdot t + 1.0} - 5.0487e\text{-}2 \ (A)$

12) Напруга на конденсаторі на цих проміжках матиме вигляд.

$u_{C11}(t) := (U2 - U1) \cdot h_{uC}(t - 0) \rightarrow -119.9988 \cdot e^{-833.33 \cdot t} + 119.998 \ (B)$

$u_{C12}(t) := (U2 - U1) \cdot h_{uC}(t - 0) + (U4 - U3) \cdot h_{uC}\left(t - 6 \cdot 10^{-4}\right) \text{ float}, 4 \rightarrow -120.0 \cdot e^{-833.3 \cdot t} + 160.0 \cdot e^{-833.3 \cdot t + 0.5} - 40 \ (B)$

$u_{C13}(t) := (U2 - U1) \cdot h_{uC}(t - 0) + (U4 - U3) \cdot h_{uC}\left(t - 6 \cdot 10^{-4}\right) + (U6 - U5) \cdot h_{uC}\left(t - 1.2 \cdot 10^{-3}\right)$

$u_{C13}(t) \text{ float}, 5 \rightarrow -120.0 \cdot e^{-833.33 \cdot t} + 160.0 \cdot e^{-833.33 \cdot t + 0.5} + -40.0 \cdot e^{-833.33 \cdot t + 1.0} + 8.0779e\text{-}2 \ (B)$

13) Побудуємо в одному часовому масштабі криві напруги u(t), струму i1 та напруги на конденсаторі.

$$i_1(t) := \left| \begin{array}{l} 0 \text{ if } t = 0 \\ i_{11}(t) \text{ if } 0 < t \le 6 \cdot 10^{-4} \\ i_{12}(t) \text{ if } 6 \cdot 10^{-4} \le t < 1.2 \cdot 10^{-3} \\ i_{13}(t) \text{ if } t \ge 1.2 \cdot 10^{-3} \end{array} \right. \qquad u(t) := \left| \begin{array}{l} 0 \text{ if } t = 0 \\ 360 \text{ if } 0 < t \le 6 \cdot 10^{-4} \\ -120 \text{ if } 6 \cdot 10^{-4} \le t < 1.2 \cdot 10^{-3} \\ 0 \text{ if } t \ge 1.2 \cdot 10^{-3} \end{array} \right.$$

$$u_C(t) := \begin{array}{|l} 0 \quad \text{if } t = 0 \\ u_{C11}(t) \quad \text{if } 0 < t \le 6 \cdot 10^{-4} \\ u_{C12}(t) \quad \text{if } 6 \cdot 10^{-4} \le t < 1.2 \cdot 10^{-3} \\ u_{C13}(t) \quad \text{if } t \ge 1.2 \cdot 10^{-3} \end{array}$$