Міністерство освіти України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”
Кафедра ТОЕ

Розрахунково-графічна робота

“Розрахунок перехідних процесів у лінійних колах“
Варіант № 418

Виконав: ________________
____
____
____

Перевірив: ______________

Київ 2007

Умова задання

1. В колі з джерелом постійної ЕДС необхідно:

1) класичним методом розрахзувати напруги на реактивних елементах та струми перехідного процесу;

2) розрахувати струм в колі з джерелом ЕДС Е1 та напругу на реактивному елементі операторним методом;

3) побудувати в одному часовому масштабі діаграми струму та напруги на реактивних елементах.

2. Дослідити, яким повинен бути активний опір у вітці з джерелом Е1, щоб перехідний процес проходив в граничному режимі.

3. Визначити струми в вітках та напруги на реактивних елементах в момент комутації (t=0), якщо замість джерел постійних ЕДС Е1і Е2 в колі діють синусоїдні джерела.

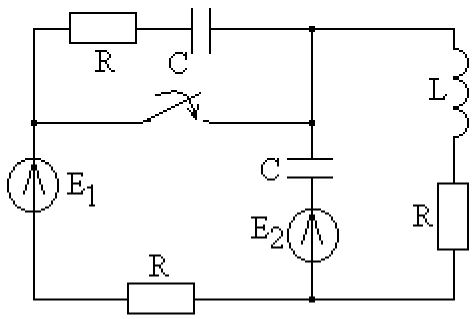
3. В післякомутаційній схемі закоротити джерело ЕДС Е2.

а) виключити катушку індуктивності чи ємність, замінивши останню опором R;

б) вважаючи, що замість ждерела постійної ЕДС Е1 до отриманного кола подається напруга, форма якої показана на малюнку;

в) розрахувати вхідний струм та напругу на реактивном елементі методом інтеграла Дюамеля при періоді Т, заданому в долях від τ;

г) побудувати в одному часовому масштабі діаграми напруги на вході, вхідного струму і напруги на реактивних елементі.



Основна схема

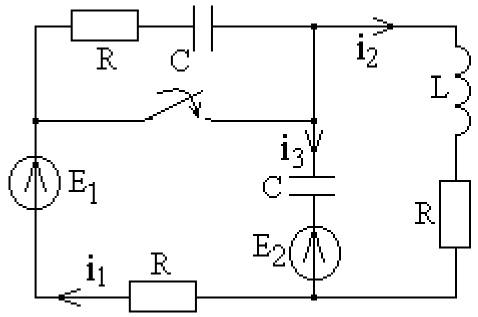
Вхідні данні:

$L := 0.15$ Гн $C := 700\cdot 10^{-6}$ Ф $R := 50$ Ом

$E_1 := 90$ В $E_2 := 60$ В $\psi := 45\cdot deg$ C^0 $\omega := 200$ c^{-1}

Класичний метод

Оберемо додатній напрямок струмів у вітках схеми:



Знайдемо значення струмів та напруг безпосередньо до комутації:

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := 0$ $\quad$ $i_{2дк} := i_{1дк}$ $\quad$ $i_{2дк} = 0$

$i_{3дк} := 0$

$u_{Cдк} := -E_2$ $\quad$ $u_{Cдк} = -60$ $\quad$ $u_{Lдк} := 0$

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

$i'_1 := \frac{E_1}{2 \cdot R}$ $\quad$ $i'_2 := i'_1$ $\quad$ $i'_2 = 0.9$

$i'_3 := 0$ $\quad$ $u'_L := 0$

$u'_C := E_1 - E_2 - i'_1 \cdot R$ $\quad$ $u'_C = -15$

Незалежні початкові умови

$i_{20} := i_{2дк}$ $\quad$ $i_{20} = 0$

$u_{C0} := u_{Cдк}$ $\quad$ $u_{C0} = -60$

Залежні початкові умови

Given

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

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

$E_2 = i_{20} \cdot R + u_{L0} - u_{C0}$

$$\begin{pmatrix} i_{10} \\ i_{30} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \text{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{L0}) \text{ float}, 7 \ \rightarrow \begin{pmatrix} 1.800000 \\ 1.800000 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$i_{10} = 1.8$ $\quad$ $i_{30} = 1.8$ $\quad$ $u_{L0} = 0$

Незалежні початкові умови

$di_{20} := \frac{u_{L0}}{L}$ $\quad$ $di_{20} = 0$

$du_{C0} := \frac{i_{30}}{C}$ $\quad$ $du_{C0} = 2.571 \times 10^3$

Залежні початкові умови

Given

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

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

$0 = di_{20} \cdot R + du_{L0} - du_{C0}$

$$\begin{pmatrix} di_{10} \\ di_{30} \\ du_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(di_{10}, di_{30}, du_{L0})$$

$di_{10} = -51.429 \quad di_{30} = -51.429 \quad du_{L0} = 2.571 \times 10^{3}$

Вільний режим після комутайії: $t = 0$

Складемо характерестичне рівняння схеми

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

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := \frac{1}{p\cdot C}\cdot(R + p\cdot L) + R\cdot\left(R + p\cdot L + \frac{1}{p\cdot C}\right) \Bigg|\begin{matrix} \mathrm{solve}, p \\ \mathrm{float}, 5 \end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -297.98 \\ -63.922 \end{pmatrix}$$

Одже корні характеристичного рівняння мають вигляд:

$p_1 = -297.98 \qquad p_2 = -63.922$

Вільні складові повних струмів та напруг будуть мати вигляд:

$i''_1(t) = A_1\cdot e^{p_1\cdot t} + A_2\cdot e^{p_2\cdot t}$

$i''_2(t) = B_1\cdot e^{p_1\cdot t} + B_2\cdot e^{p_2\cdot t}$

$i''_3(t) = C_1\cdot e^{p_1\cdot t} + C_2\cdot e^{p_2\cdot t}$

$u''_C(t) = D_1\cdot e^{p_1\cdot t} + D_2\cdot e^{p_2\cdot t}$

$u''_L(t) = F_1\cdot e^{p_1\cdot t} + F_2\cdot e^{p_2\cdot t}$

Визначення сталих інтегрування:

Given

$i_{10} - i'_1 = A_1 + A_2$

$di_{10} - 0 = p_1\cdot A_1 + p_2\cdot A_2$

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(A_1, A_2)$$

$A_1 = -0.026 \qquad A_2 = 0.926$

Отже вільна складова струму i1(t) буде мати вигляд:

$i''_1(t) := A_1\cdot e^{p_1\cdot t} + A_2\cdot e^{p_2\cdot t}$

$i_1(t) := i'_1 + i''_1(t)$ float, 7 $\rightarrow .9000000 - 2.606717\cdot 10^{-2}\cdot \exp(-297.98\cdot t) + .9260672\cdot \exp(-63.922\cdot t$ $i_1(0) = 1.8$

Given

$i_{20} - i'_2 = B_1 + B_2$

$di_{20} - 0 = p_1\cdot B_1 + p_2\cdot B_2$

$$\begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(B_1, B_2)$$

$B_1 = 0.246 \qquad B_2 = -1.146$

Отже вільна складова струму i2(t) буде мати вигляд:

$i''_2(t) := B_1\cdot e^{p_1\cdot t} + B_2\cdot e^{p_2\cdot t}$

$i_2(t) := i'_2 + i''_2(t)$ float, 7 $\rightarrow .9000000 + .2457929\cdot \exp(-297.98\cdot t) - 1.145793\cdot \exp(-63.922\cdot t)$ $\quad i_2(0) = -1 \times 10^{-7}$

Given

$i_{30} - i'_3 = C_1 + C_2$

$di_{20} - 0 = p_1 \cdot C_1 + p_2 \cdot C_2$

$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(C_1, C_2)$ $\quad C_1 = -0.492 \quad C_2 = 2.292$

Отже вільна складова струму i3(t) буде мати вигляд:

$i''_3(t) := C_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{p_2 \cdot t}$

$i_3(t) := i'_3 + i''_3(t) \text{ float}, 7 \rightarrow -.4915858 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) + 2.291586 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$ $\quad i_3(0) = 1.8$

Given

$u_{C0} - u'_C = D_1 + D_2$

$du_{C0} - 0 = p_1 \cdot D_1 + p_2 \cdot D_2$

$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(D_1, D_2)$ $\quad D_1 = 1.303 \quad D_2 = -46.303$

Отже вільна складова напруга на конденсаторі буде мати вигляд:

$u''_C(t) := D_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + D_2 \cdot e^{p_2 \cdot t}$

$u_C(t) := u'_C + u''_C(t) \text{ float}, 7 \rightarrow -15. + 1.303358 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - 46.30336 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$ $\quad u_C(0) = -60$

Given

$u_{L0} - u'_L = F_1 + F_2$

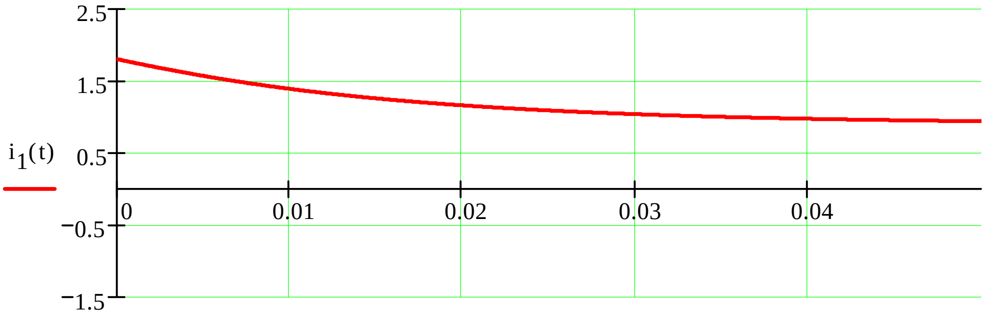
$du_{L0} - 0 = p_1 \cdot F_1 + p_2 \cdot F_2$

$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(F_1, F_2)$ $\quad F_1 = -10.986 \quad F_2 = 10.986$

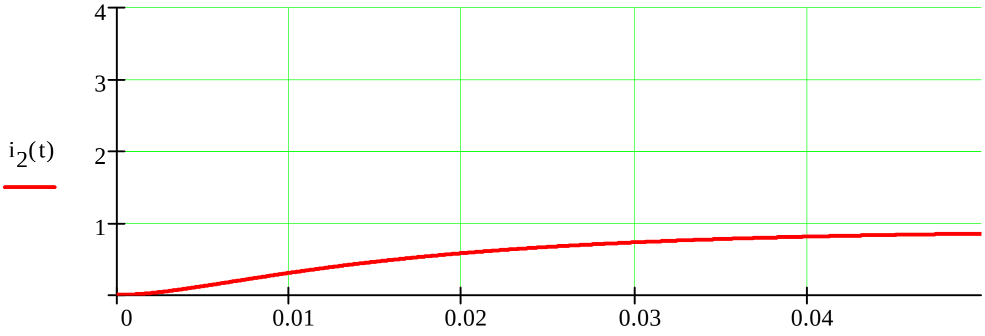
Отже вільна складова напруга на індуктивності буде мати вигляд:

$u''_L(t) := F_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + F_2 \cdot e^{p_2 \cdot t}$

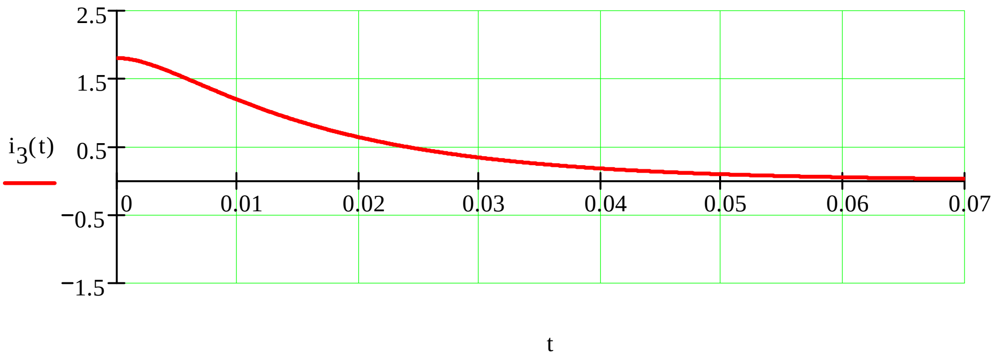
$u_L(t) := u'_L + u''_L(t) \text{ float}, 7 \rightarrow -10.98629 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) + 10.98629 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$ $\quad u_L(0) = 0$



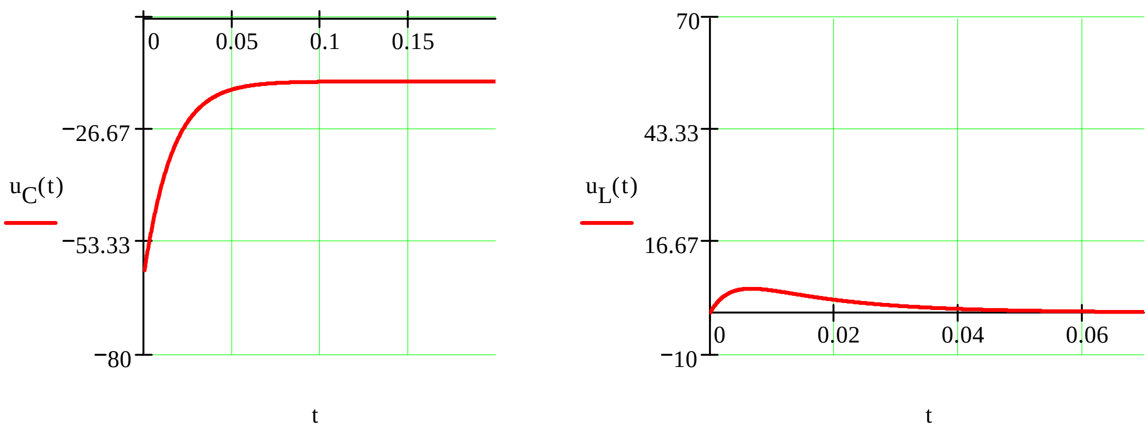
Графік перехідного струму i1(t).



Графік перехідного струму i2(t).

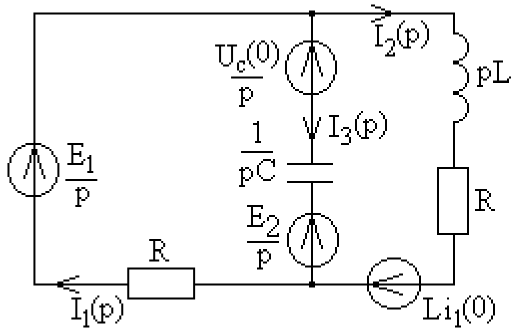


Графік перехідного струму i3(t).



Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

Операторний метод



Операторна схема

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := 0$ $\quad i_{2дк} := i_{1дк} \quad i_{2дк} = 0$

$i_{3дк} := 0$

$u_{Cдк} := -E_2$ $\quad u_{Cдк} = -60$ $\quad u_{Lдк} := -u_{Cдк} + E_2$ $\quad u_{Lдк} = 120$

Початкові умови:

$i_{L0} := i_{2дк}$ $\quad i_{L0} = 0$

$u_{C0} = -60$

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

$$-I_{k1}(p)\cdot\left(\frac{1}{p\cdot C}\right) + I_{k2}(p)\cdot\left(p\cdot L + R + \frac{1}{p\cdot C}\right) = \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} + L\cdot i_{20}$$

$$\Delta(p) := \left|\begin{bmatrix} R + \frac{1}{p\cdot C} & -\left(\frac{1}{p\cdot C}\right) \\ -\left(\frac{1}{p\cdot C}\right) & p\cdot L + R + \frac{1}{p\cdot C} \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta(p) \text{ float}, 5 \;\rightarrow \frac{1}{p^{1.}}\cdot\left(2714.3\cdot p + 7.5000\cdot p^{2.} + 1.4286\cdot 10^{5}\right)$$

$$\Delta_1(p) := \left|\begin{bmatrix} \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{C0}}{p} & -\left(\frac{1}{p\cdot C}\right) \\ \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} + L\cdot i_{20} & p\cdot L + R + \frac{1}{p\cdot C} \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta_1(p) \text{ float}, 5 \;\rightarrow \frac{90.}{p^{1.}}\cdot\left(50. + .15\cdot p + \frac{1428.6}{p^{1.}}\right)$$

$$\Delta_2(p) := \left|\begin{bmatrix} R + \frac{1}{p\cdot C} & \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{C0}}{p} \\ -\left(\frac{1}{p\cdot C}\right) & \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} + L\cdot i_{20} \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta_2(p) \text{ float}, 5 \;\rightarrow \frac{1.2857\cdot 10^{5}}{p^{2.}}$$

Контурні струми та напруга на конденсаторі будуть мати вигляд:

$$I_{k1}(p) := \frac{\Delta_1(p)}{\Delta(p)} \qquad I_1(p) := I_{k1}(p) \;\Big|\begin{matrix}\text{float},5\\ \text{simplify}\end{matrix} \rightarrow 45.\cdot\frac{(1000.\cdot p + 3.\cdot p^2 + 28572.)}{p\cdot(27143.\cdot p + 75.\cdot p^2 + 1428600.)}$$

$$I_{k2}(p) := \frac{\Delta_2(p)}{\Delta(p)} \qquad I_2(p) := I_{k2}(p)\ \text{float},5 \ \rightarrow \frac{1.2857\cdot 10^5}{p^{1.}\cdot\left(2714.3\cdot p + 7.5000\cdot p^{2.} + 1.4286\cdot 10^5\right)^{1.}}$$

$$I_3(p) := I_{k1}(p) - I_{k2}(p) \;\Big|\begin{matrix}\text{float},5\\ \text{simplify}\end{matrix} \rightarrow 5.\cdot\frac{(9000.\cdot p + 27.\cdot p^2 + 8.)}{p\cdot(27143.\cdot p + 75.\cdot p^2 + 1428600.)}$$

$$u_L(p) := L\cdot p\cdot I_2(p) - L\cdot i_{2\text{дк}}$$

$$u_L(p)\ \text{factor} \ \rightarrow \frac{192855}{(27143\cdot p + 75\cdot p^2 + 1428600)}$$

Перейдемо тепер від зображення до функції часу за формулою розкладу:

Для струму I1(p):

$$N_1(p) := 45\cdot(1000.\cdot p + 3.\cdot p^2 + 28572.) \qquad M_1(p) := p^{1.}\cdot(27143.\cdot p + 75.\cdot p^2 + 1428600.)^{1.}$$

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_1(p) \;\Big|\begin{matrix}\text{solve}, p\\ \text{float},5\end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -297.98 \\ -63.923 \end{pmatrix}$$

$$p_0 = 0 \qquad p_1 = -297.98 \qquad p_2 = -63.923$$

$$N_1(p_0) = 1.286\times 10^6 \qquad N_1(p_1) = -1.364\times 10^5 \qquad N_1(p_2) = -1.039\times 10^6$$

$$dM_1(p) := \frac{d}{dp}M_1(p) \;\Big|\begin{matrix}\text{factor}\\ \text{float},5\end{matrix} \rightarrow 54286.\cdot p + 225.\cdot p^{2.} + 1.4286\cdot 10^6$$

$$dM_1(p_0) = 1.429\times 10^6 \quad dM_1(p_1) = 5.231\times 10^6 \qquad dM_1(p_2) = -1.122\times 10^6$$

Отже струм як функція часу буде мати вигляд:

$$i_1(t) := \frac{N_1(p_0)}{dM_1(p_0)} + \frac{N_1(p_1)}{dM_1(p_1)}\cdot e^{p_1\cdot t} + \frac{N_1(p_2)}{dM_1(p_2)}\cdot e^{p_2\cdot t}\ \text{float},3 \ \rightarrow .900 - 2.61\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-298.\cdot t) + .926\cdot\exp(-63.9\cdot t)$$

Для напруги на індуктивності:

$$N_L(p) := 192855 \qquad M_L(p) := 27143\cdot p + 75\cdot p^2 + 1428600$$

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_L(p) \;\Big|\begin{matrix}\text{solve}, p\\ \text{float},5\end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -63.92 \\ -297.98 \end{pmatrix}$$

$$p_1 = -63.92 \qquad p_2 = -297.98$$

$$N_L(p_1) = 1.929\times 10^5 \qquad N_L(p_2) = 1.929\times 10^5$$

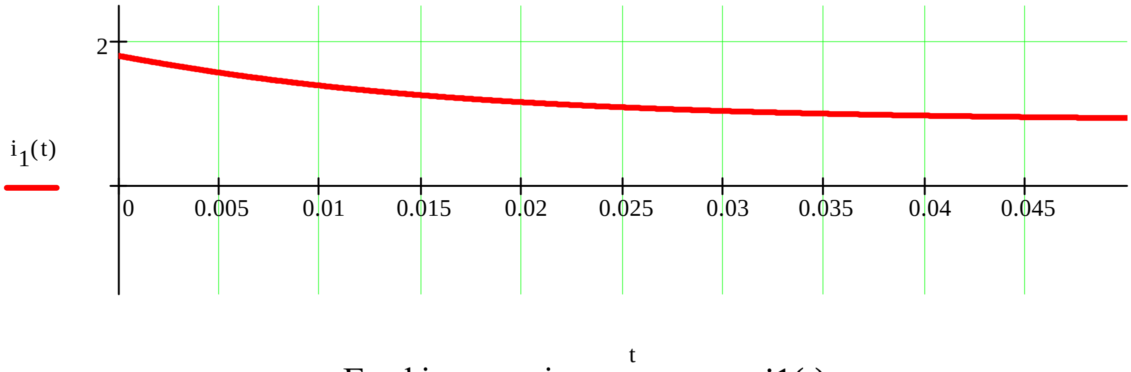
$$dM_L(p) := \frac{d}{dp}M_L(p)\ \text{factor} \ \rightarrow 27143 + 150\cdot p$$

$$dM_L(p_1) = 1.756\times 10^4 \qquad dM_L(p_2) = -1.755\times 10^4$$

Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_L(t) := \frac{N_L(p_1)}{dM_L(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_L(p_2)}{dM_L(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad u_L(0) = -6.258 \times 10^{-4}$$

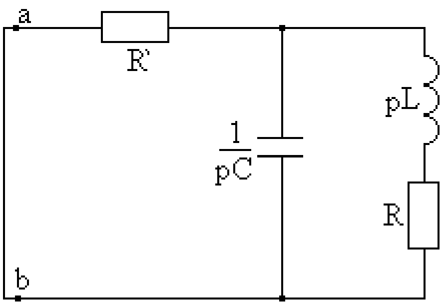
$$u_L(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 10.986 \cdot \exp(-63.92 \cdot t) - 10.986 \cdot \exp(-297.98 \cdot t)$$



Графік перехідного струму i1(t).

Дослідити чому повинен дорівнювати активний опір вітки с джерелом ЕРС E1 щоб аперіодичний процес переходив у коливальний

$$Z_{ab}(p) := R' + \frac{\left(\frac{1}{p \cdot C}\right) \cdot (R + p \cdot L)}{\frac{1}{p \cdot C} + R + p \cdot L}$$



$$Z_{ab}(p) := \frac{R' \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C} + R + p \cdot L\right) + \left(\frac{1}{p \cdot C}\right) \cdot (R + p \cdot L)}{\frac{1}{p \cdot C} + R + p \cdot L}$$

$$(R' \cdot L) \cdot p^2 + \left(R \cdot R' + \frac{L}{C}\right) \cdot p + \left(\frac{R'}{C} + \frac{R}{C}\right) = 0$$

$$D = 0$$

$$\left(R \cdot R' + \frac{L}{C}\right)^2 - 4 \cdot (R' \cdot L) \cdot \left(\frac{R'}{C} + \frac{R}{C}\right) = 0$$

$$\left(R \cdot R' + \frac{L}{C}\right)^2 - 4 \cdot (R' \cdot L) \cdot \left(\frac{R'}{C} + \frac{R}{C}\right) \Bigg| \begin{array}{l} \text{solve}, R' \\ \text{float}, 5 \end{array} \rightarrow \begin{pmatrix} 2.7030 \\ 10.340 \end{pmatrix}$$

$$R'_1 := 2.7030 \qquad R'_2 := 10.340$$