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

Розрахунково-графічна робота

“Розрахунок перехідних процесів у лінійних колах“
Варіант № 424

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.

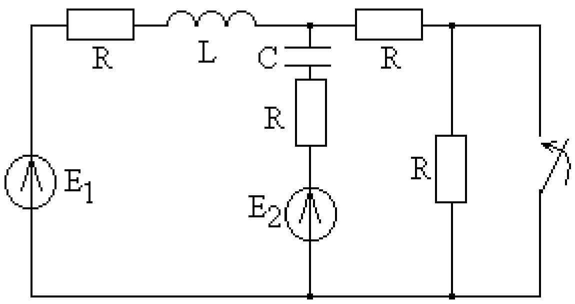
3. В післякомутаційній схемі закоротити джерело ЕДС Е2.

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 реактивному 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

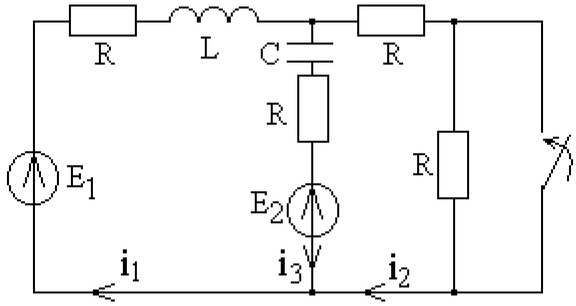
Вхідні данні:

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

$E_1 := 80$ В $\quad E_2 := 130$ В $\quad \psi := 135 \cdot deg$ C^0 $\quad \omega := 150$ c^{-1}

Класичний метод

Оберемо додатній напрямок струмів у вітках схеми:



Знайдемо значення струмів та напруг безпосередньо до комутації:

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := \frac{E_1}{3 \cdot R}$ $\quad i_{2дк} := i_{1дк} \quad i_{2дк} = 0.533$

$i_{3дк} := 0 \quad u_{Lдк} := 0$

$u_{Cдк} := E_1 - E_2 - i_{1дк} \cdot R \quad u_{Cдк} = -76.667$

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

$i'_1 := \frac{E_1}{2 \cdot R} \quad i'_2 := i'_1 \quad i'_2 = 0.8$

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

$u'_C := E_1 - E_2 - i'_1 \cdot R \quad u'_C = -90$

Незалежні початкові умови

$i_{10} := i_{1дк} \quad i_{10} = 0.533$

$u_{C0} := u_{Cдк} \quad u_{C0} = -76.667$

Залежні початкові умови

Given

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

$E_1 - E_2 = u_{L0} + u_{C0} + i_{30} \cdot R + i_{10} \cdot R$

$E_2 = i_{20} \cdot R - i_{30} \cdot R - u_{C0}$

$$\begin{pmatrix} i_{30} \\ i_{20} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{30}, i_{20}, u_{L0}) \text{ float}, 6 \rightarrow \begin{pmatrix} -.266667 \\ .800000 \\ 13.3333 \end{pmatrix}$$

$i_{30} = -0.267 \quad i_{20} = 0.8 \quad u_{L0} = 13.333$

Незалежні початкові умови

$di_{10} := \frac{u_{L0}}{L} \quad di_{10} = 88.889$

$du_{C0} := \frac{i_{30}}{C} \quad du_{C0} = -380.953$

Залежні початкові умови

Given

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

$0 = du_{L0} + du_{C0} + di_{30} \cdot R + di_{10} \cdot R$

$0 = di_{20} \cdot R - di_{30} \cdot R - du_{C0}$

$$\begin{pmatrix} di_{20} \\ di_{30} \\ du_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(di_{20}, di_{30}, du_{L0})$$

$di_{20} = 40.635$ $\quad di_{30} = 48.254$ $\quad du_{L0} = -6.476 \times 10^{3}$

Вільний режим після комутайії: $t = 0$

Складемо характерестичне рівняння схеми

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

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := R \cdot \left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) + \left(2 \cdot R + \frac{1}{p \cdot C}\right) \cdot (p \cdot L + R) \;\Bigg|\begin{matrix} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -495.05 \\ -19.238 \end{pmatrix}$$

Одже корні характеристичного рівняння мають вигляд:

$p_1 = -495.05$ $\qquad p_2 = -19.238$

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

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

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

$\begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(A_1, A_2)$ $\qquad A_1 = -0.176$ $\qquad A_2 = -0.091$

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

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

$i_1(t) := i'_1 + i''_1(t) \text{ float}, 7 \rightarrow .8000000 - .1760328 \cdot \exp(-495.05 \cdot t) - 9.063384 \cdot 10^{-2} \cdot \epsilon$ $\quad i_1(0) = 0.533$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(B_1, B_2) \qquad B_1 = -0.085 \qquad B_2 = 0.085$$

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

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

$$i_2(t) := i'_2 + i''_2(t) \text{ float}, 7 \;\rightarrow .8000000 - 8.540097 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(-495.05 \cdot t) + 8.540097 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(\cdot \quad i_2(0) = 0.8$$

Given

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

$$di_{30} - 0 = p_1 \cdot C_1 + p_2 \cdot C_2 \qquad di_{30} = 48.254$$

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(C_1, C_2) \qquad C_1 = -0.091 \qquad C_2 = -0.176$$

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

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

$$i_3(t) := i'_3 + i''_3(t) \text{ float}, 7 \;\rightarrow -9.063185 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(-495.05 \cdot t) - .1760351 \cdot \exp(-19.2 \quad i_3(0) = -0.267$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(D_1, D_2) \qquad D_1 = 0.262 \qquad D_2 = 13.072$$

Отже вільна складова напруга на конденсаторі буде мати вигляд:

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

$$u_C(t) := u'_C + u''_C(t) \text{ float}, 7 \;\rightarrow -90. + .2615449 \cdot \exp(-495.05 \cdot t) + 13.07179 \cdot \exp(- \quad u_C(0) = -76.667$$

Given

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

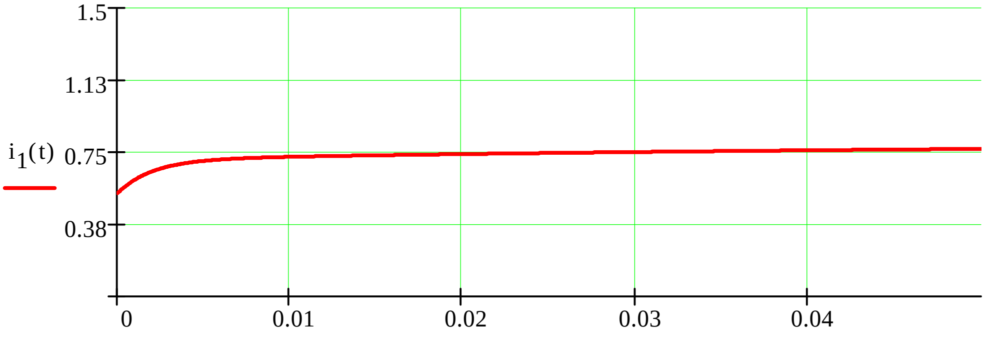
$$du_{L0} - 0 = p_1 \cdot F_1 + p_2 \cdot F_2$$

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(F_1, F_2) \qquad F_1 = 13.072 \qquad F_2 = 0.262$$

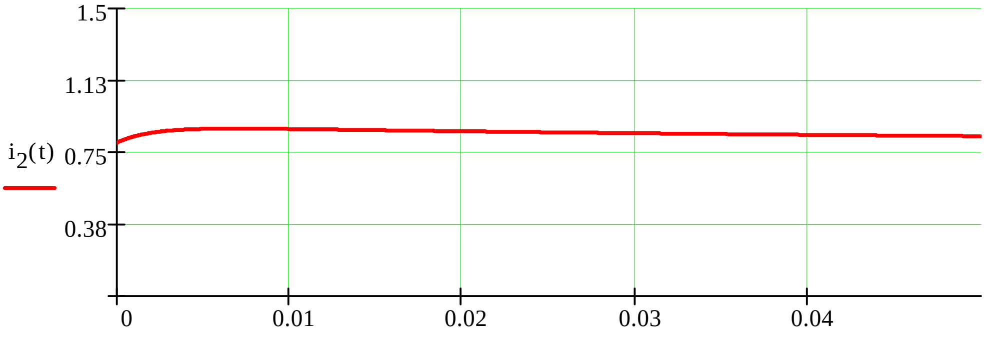
Отже вільна складова напруга на індуктивності буде мати вигляд:

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

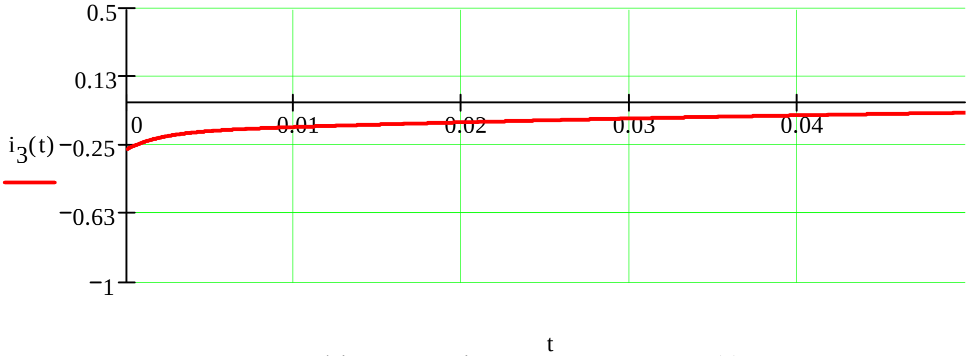
$$u_L(t) := u'_L + u''_L(t) \text{ float}, 7 \;\rightarrow 13.07169 \cdot \exp(-495.05 \cdot t) + .2616088 \cdot \exp(-19.2 \quad u_L(0) = 13.333$$



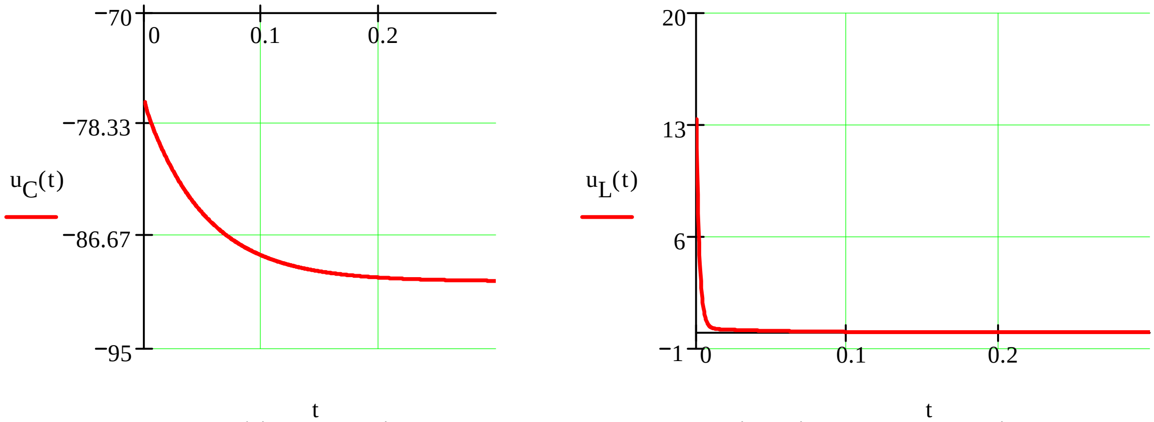
Графік перехідного струму i1(t).



Графік перехідного струму i2(t).

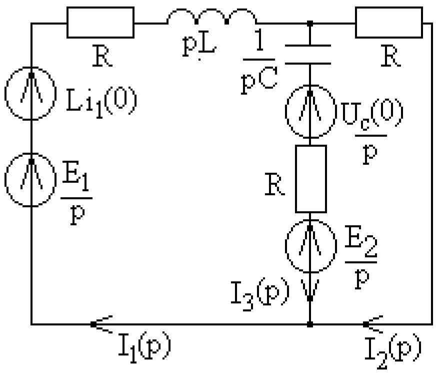


Графік перехідного струму i3(t).



Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

Операторний метод



Операторна схема

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := \dfrac{E_1}{3 \cdot R}$ $\quad i_{2дк} := i_{1дк} \quad i_{2дк} = 0.533$

$i_{3дк} := 0 \quad u_{Lдк} := 0$

$u_{Cдк} := E_1 - E_2 - i_{1дк} \cdot R \quad u_{Cдк} = -76.667$

Початкові умови:

$i_{L0} := i_{1дк} \quad i_{L0} = 0.533$

$u_{C0} = -76.667$

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

$$-I_{k1}(p) \cdot \left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) + I_{k2}(p) \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C} + 2 \cdot R\right) = \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p}$$

$$\Delta(p) := \left|\begin{bmatrix} R + p \cdot L + \frac{1}{p \cdot C} + R & -\left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) \\ -\left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) & \frac{1}{p \cdot C} + 2 \cdot R \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta(p) \text{ float}, 5 \;\rightarrow \frac{1}{p^{1.}} \cdot \left(7714.3 \cdot p + 1.4286 \cdot 10^5 + 15.000 \cdot p^{2.}\right)$$

$$\Delta_1(p) := \left|\begin{bmatrix} \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{10} & -\left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) \\ \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} & \frac{1}{p \cdot C} + 2 \cdot R \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta_1(p) \text{ float}, 5 \;\rightarrow \frac{\left(5447.6 \cdot p + 1.1429 \cdot 10^5 + 8.0000 \cdot p^{2.}\right)}{p^{2.}}$$

$$\Delta_2(p) := \left|\begin{bmatrix} R + p \cdot L + \frac{1}{p \cdot C} + R & \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{10} \\ -\left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) & \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} \end{bmatrix}\right|$$

$$\Delta_2(p) \text{ float}, 5 \;\rightarrow \frac{\left(6781.0 \cdot p + 12.000 \cdot p^{2.} + 1.1429 \cdot 10^5\right)}{p^{2.}}$$

Контурні струми та напруга на конденсаторі будуть мати вигляд:

$$I_{k1}(p) := \frac{\Delta_1(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k1}(p)\ \text{float},5\ \rightarrow \frac{\left(5447.6\cdot p + 1.1429\cdot 10^5 + 8.0000\cdot p^{2.}\right)}{p^{1.}\cdot\left(7714.3\cdot p + 1.4286\cdot 10^5 + 15.000\cdot p^{2.}\right)^{1.}}$$

$$I_{k2}(p) := \frac{\Delta_2(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k2}(p)\ \text{float},5\ \rightarrow \frac{\left(6781.0\cdot p + 12.000\cdot p^{2.} + 1.1429\cdot 10^5\right)}{p^{1.}\cdot\left(7714.3\cdot p + 1.4286\cdot 10^5 + 15.000\cdot p^{2.}\right)^{1.}}$$

$$u_C(p) := \frac{u_{C0}}{p} + \frac{I_3(p)}{p\cdot C}$$

$$u_C(p)\ \left|\begin{array}{l}\text{float},5\\ \text{factor}\end{array}\right. \rightarrow \frac{-1}{1000\cdot p}\cdot\frac{\left(5971466381\cdot p + 128575428600 + 11500050\cdot p^2\right)}{\left(77143\cdot p + 1428600 + 150\cdot p^2\right)}$$

$$u_L(p) := L\cdot p\cdot I_{k1}(p) - L\cdot i_{1дк}$$

$$u_L(p)\ \text{factor}\ \rightarrow 40\cdot\frac{(7\cdot p + 200)}{\left(10800\cdot p + 200000 + 21\cdot p^2\right)}$$

Перейдемо тепер від зображення до функції часу за формулою розкладу:

Для струму I1(p):

$$N_1(p) := \left(5447.6\cdot p + 1.1429\cdot 10^5 + 8.0000\cdot p^{2.}\right) \qquad M_1(p) := p\cdot\left(7714.3\cdot p + 1.4286\cdot 10^5 + 15.000\cdot p^{2.}\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_0\\ p_1\\ p_2\end{pmatrix} := M_1(p)\ \left|\begin{array}{l}\text{solve},p\\ \text{float},5\end{array}\right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0\\ -495.05\\ -19.239\end{pmatrix}$$

$p_0 = 0$ $\qquad p_1 = -495.05$ $\qquad p_2 = -19.239$

$N_1(p_0) = 1.143\times 10^5$ $\qquad N_1(p_1) = -6.219\times 10^5$ $\qquad N_1(p_2) = 1.244\times 10^4$

$$dM_1(p) := \frac{d}{dp}M_1(p)\ \text{factor}\ \rightarrow \frac{77143}{5}\cdot p + 142860 + 45\cdot p^2$$

$dM_1(p_0) = 1.429\times 10^5$ $\qquad dM_1(p_1) = 3.533\times 10^6$ $\qquad dM_1(p_2) = -1.373\times 10^5$

Отже струм як функція часу буде мати вигляд:

$$i_1(t) := \frac{N_1(p_0)}{dM_1(p_0)} + \frac{N_1(p_1)}{dM_1(p_1)}\cdot e^{p_1\cdot t} + \frac{N_1(p_2)}{dM_1(p_2)}\cdot e^{p_2\cdot t} \qquad i_1(0) = 0.533$$

$$i_1(t)\ \left|\begin{array}{l}\text{float},5\\ \text{complex}\end{array}\right. \rightarrow .80001 - .17603\cdot\exp(-495.05\cdot t) - 9.0629\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-19.239\cdot t)$$

Для напруги на конденсаторі Uc(p):

$$N_u(p) := \frac{-1}{1000}\cdot\left(5971466381\cdot p + 128575428600 + 11500050\cdot p\right. \; M_u(p) := p\cdot\left(77143\cdot p + 1428600 + 150\cdot p^2\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_0\\ p_1\\ p_2\end{pmatrix} := M_u(p)\ \left|\begin{array}{l}\text{solve},p\\ \text{float},5\end{array}\right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0\\ -19.24\\ -495.04\end{pmatrix}$$

$p_0 = 0$ $\qquad p_1 = -19.24$ $\qquad p_2 = -495.04$

$N_u(p_0) = -1.286\times10^{8}$ $\quad N_u(p_1) = -1.794\times10^{7}$ $\quad N_u(p_2) = 9.284\times10^{6}$

$$dM_u(p) := \frac{d}{dp}M_u(p)\ \text{factor}\ \rightarrow 154286\cdot p + 1428600 + 450\cdot p^2$$

$dM_u(p_0) = 1.429\times10^{6}$ $\quad dM_u(p_1) = -1.373\times10^{6}$ $\quad dM_u(p_2) = 3.533\times10^{7}$

Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_C(t) := \frac{N_u(p_0)}{dM_u(p_0)} + \frac{N_u(p_1)}{dM_u(p_1)}\cdot e^{p_1\cdot t} + \frac{N_u(p_2)}{dM_u(p_2)}\cdot e^{p_2\cdot t} \qquad u_C(0) = -76.674$$

$$u_C(t)\ \begin{vmatrix}\text{float},5\\ \text{complex}\end{vmatrix}\rightarrow -90.001 + 13.065\cdot\exp(-19.24\cdot t) + .26278\cdot\exp(-495.04\cdot t)$$

Для напруги на індуктивності:

$N_L(p) := 40\cdot(7\cdot p + 200)$ $\qquad M_L(p) := \left(10800\cdot p + 200000 + 21\cdot p^2\right)$

$$\begin{pmatrix}p_1\\p_2\end{pmatrix} := M_L(p)\ \begin{vmatrix}\text{solve},p\\ \text{float},5\end{vmatrix}\rightarrow\begin{pmatrix}-19.24\\-495.04\end{pmatrix} \qquad p_1 = -19.24 \qquad p_2 = -495.04$$

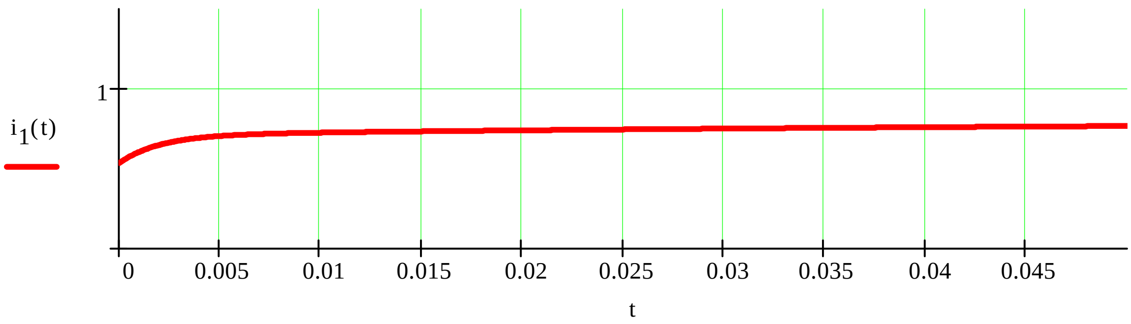
$N_L(p_1) = 2.613\times10^{3}$ $\quad N_L(p_2) = -1.306\times10^{5}$

$$dM_L(p) := \frac{d}{dp}M_L(p)\ \text{factor}\ \rightarrow 10800 + 42\cdot p$$

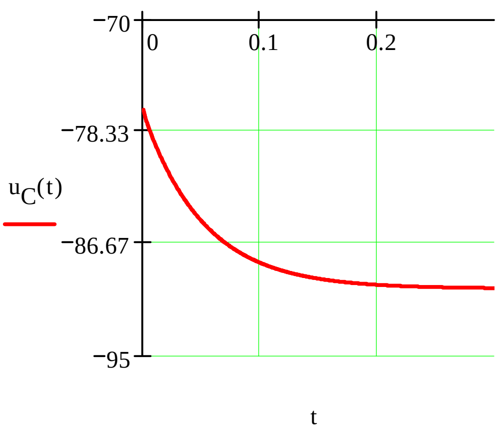
$dM_L(p_1) = 9.992\times10^{3}$ $\quad dM_L(p_2) = -9.992\times10^{3}$

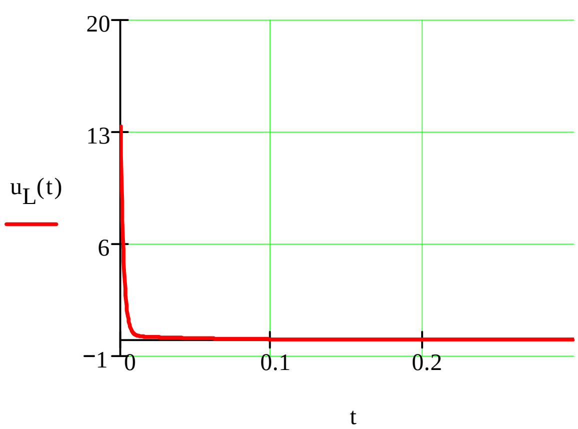
Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_L(t) := \frac{N_L(p_1)}{dM_L(p_1)}\cdot e^{p_1\cdot t} + \frac{N_L(p_2)}{dM_L(p_2)}\cdot e^{p_2\cdot t} \qquad u_L(0) = 13.333$$



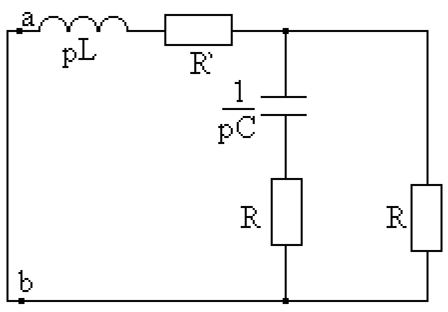
Графік перехідного струму i1(t).





Дослідити чому повинен дорівнювати активний опір вітки с джерелом ЕРС Е1 щоб аперіодичний процес переходив у коливальний

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



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

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

$$D = 0$$

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

$$R' := \left(2\cdot R\cdot R' + \frac{L}{C} + R^2\right)^2 - 4\cdot(2\cdot R\cdot L)\cdot\left(\frac{R'}{C} + \frac{R}{C}\right) \,\Bigg|\, \begin{matrix}\text{solve}, R'\\ \text{float}, 5\end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix}-37.496\\ -8.2186\end{pmatrix}$$

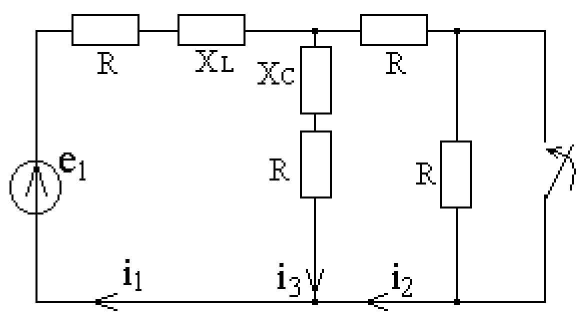
Визначити струми віток і напруги на реактивних елементах у момент комутації (t=0), якщо замість джерел постійної напруги Е1 і Е2 у колі діють джерела синусоідної напруги:

$$e_1(t) := \sqrt{2}\cdot E_1\cdot\sin(\omega\cdot t + \psi) \qquad e_2(t) := \sqrt{2}\cdot E_2\cdot\sin(\omega\cdot t + \psi)$$

$$X_C := \frac{1}{\omega\cdot C} \qquad X_C = 9.524 \qquad X_L := \omega\cdot L \qquad X_L = 22.5$$

$$E_1 := E_1\cdot e^{\psi\cdot i} \qquad E_1 = -56.569 + 56.569i \qquad F(E_1) = (80\ \ 135)$$

$$E_2 := E_2\cdot e^{\psi\cdot i} \qquad E_2 = -91.924 + 91.924i \qquad F(E_2) = (130\ \ 135)$$

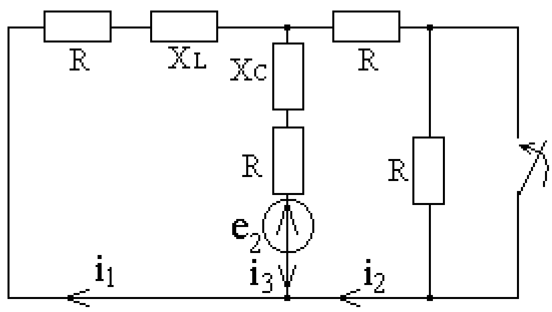


$$Z'_{vx} := R + i\cdot X_L + \frac{2\cdot R\cdot(R - i\cdot X_C)}{2\cdot R + R - i\cdot X_C} \qquad Z'_{vx} = 83.601 + 18.284i$$

$$I'_{1дк} := \frac{E_1}{Z'_{vx}} \qquad I'_{1дк} = -0.505 + 0.787i \qquad F(I'_{1дк}) = (0.935\ \ 122.663)$$

$$I'_{2дк} := I'_{1дк}\cdot\frac{(R - i\cdot X_C)}{2\cdot R + R - i\cdot X_C} \qquad I'_{2дк} = -0.136 + 0.286i \qquad F(I'_{2дк}) = (0.317\ \ 115.512)$$

$$I'_{3дк} := I'_{1дк} - I'_{2дк} \qquad I'_{3дк} = -0.368 + 0.501i \qquad F(I'_{3дк}) = (0.622\ \ 126.296)$$



$$Z''_{vx} := R - X_C \cdot i + \frac{(R + i \cdot X_L) \cdot (2 \cdot R)}{R + i \cdot X_L + 2 \cdot R} \qquad Z''_{vx} = 84.8 + 0.256i$$

$$I''_{3дк} := \frac{E_2}{Z''_{vx}} \qquad I''_{3дк} = -1.081 + 1.087i \qquad F(I''_{3дк}) = (1.533 \quad 134.827)$$

$$I''_{1дк} := I''_{3дк} \cdot \frac{(2 \cdot R)}{R + i \cdot X_L + 2 \cdot R} \qquad I''_{1дк} = -0.598 + 0.815i \qquad F(I''_{1дк}) = (1.011 \quad 126.296)$$

$$I''_{2дк} := I''_{3дк} - I''_{1дк} \qquad I''_{2дк} = -0.482 + 0.273i \qquad F(I''_{2дк}) = (0.554 \quad 150.524)$$

$$I_{1дк} := I'_{1дк} + I''_{1дк} \qquad I_{1дк} = -1.103 + 1.602i \qquad F(I_{1дк}) = (1.945 \quad 124.551)$$

$$I_{2дк} := I'_{2дк} + I''_{2дк} \qquad I_{2дк} = -0.619 + 0.558i \qquad F(I_{2дк}) = (0.833 \quad 137.937)$$

$$I_{3дк} := I'_{3дк} - I''_{3дк} \qquad I_{3дк} = 0.713 - 0.586i \qquad F(I_{3дк}) = (0.923 \quad -39.433)$$

$$u_{Cдк} := I_{3дк} \cdot (-i \cdot X_C) \qquad u_{Cдк} = -5.581 - 6.786i \qquad F(u_{Cдк}) = (8.786 \quad -129.433)$$

$$u_{Lдк} := I_{1дк} \cdot i \cdot X_L \qquad u_{Lдк} = -36.036 - 24.813i \qquad F(u_{Lдк}) = (43.752 \quad -145.449)$$

$$i_{1дк}(t) := |I_{1дк}| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \arg(I_{1дк}))$$

$$i_{2дк}(t) := |I_{2дк}| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \arg(I_{2дк}))$$

$$i_{3дк}(t) := |I_{3дк}| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \arg(I_{3дк}))$$

$$u_{Cдк}(t) := |u_{Cдк}| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \arg(u_{Cдк}))$$

$$u_{Lдк}(t) := |u_{Lдк}| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \arg(u_{Lдк}))$$

i

Початкові умови:

$u_{Cдк}(0) = -9.597$

$i_{Lдк}(0) = 2.265$

Given

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

$$e_1(0) - e_2(0) = u_{L0} + i_{10} \cdot R + u_{C0} + i_{30} \cdot R$$

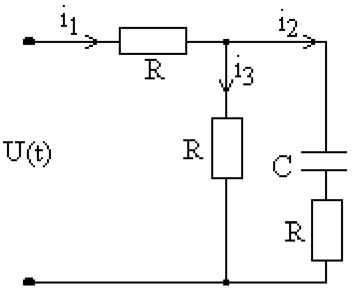
$$e_2(0) = i_{20} \cdot R - i_{30} \cdot R - u_{C0}$$

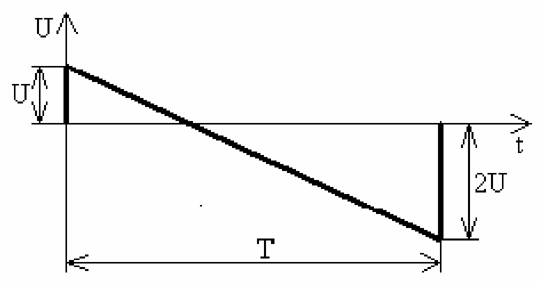
$$\begin{pmatrix} i_{30} \\ i_{20} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{30}, i_{20}, u_{L0})$$

$i_{10} = 2.265$ $i_{20} = 2.337$ $i_{30} = -0.072$ $u_{L0} = -150.075$ $u_{C0} = -9.597$

Інтеграл Дюамеля

$T := 1.0$ $\quad E_1 := 80$ $\quad E := 1$





Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := \frac{0}{R+R}$ $\quad i_{1дк} = 0$

$i_{3дк} := i_{1дк}$ $\quad i_{3дк} = 0$ $\quad i_{2дк} := 0$ $\quad i_{2дк} = 0$

$u_{Cдк} := 0 - i_{1дк} \cdot R$ $\quad u_{Cдк} = 0$

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

$i'_1 := \frac{E}{R+R}$ $\quad i'_1 = 0.01$

$i'_3 := i'_1$ $\quad i'_3 = 0.01$ $\quad i'_2 := 0$ $\quad i'_2 = 0$

$u'_C := E - i'_1 \cdot R$ $\quad u'_C = 0.5$

Незалежні початкові умови

$u_{C0} := u_{Cдк}$ $\quad u_{C0} = 0$

Залежні початкові умови

Given

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

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

$0 = u_{C0} - i_{30} \cdot R + i_{20} \cdot R$

$$\begin{pmatrix} i_{10} \\ i_{20} \\ i_{30} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{10}, i_{20}, i_{30})$$

$i_{10} = 0.013$ $\quad i_{20} = 6.667 \times 10^{-3}$ $\quad i_{30} = 6.667 \times 10^{-3}$

Вільний режим після комутайії: $t = 0$

Складемо характерестичне рівняння схеми

$$Z_{vx}(p) := R + \frac{R \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C} + R\right)}{R + R + \frac{1}{p \cdot C}} \qquad Zvx(p) := \frac{R \cdot \left(R + R + \frac{1}{p \cdot C}\right) + R \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C} + R\right)}{R + R + \frac{1}{p \cdot C}}$$

$$p := R \cdot \left(R + R + \frac{1}{p \cdot C}\right) + R \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C} + R\right) \Bigg|_{\text{float}, 5}^{\text{solve}, p} \rightarrow -19.048 \qquad T := \frac{1}{|p|} \cdot T \qquad T = 0.052$$

Одже корень характеристичного рівняння має вигляд: $p = -19.048$

Вільна складова струма буде мати вигляд:

$$i''_1(t) = A_1 \cdot e^{p \cdot t}$$

Визначення сталих інтегрування:

$$A_1 := i_{10} - i'_1 \qquad A_1 = 3.333 \times 10^{-3}$$

Отже: $\quad i''_1(t) := A_1 \cdot e^{p \cdot t}$

Повні значення цих струмів:

$$g_{11}(t) := i'_1 + i''_1(t) \qquad g_{11}(t) \text{ float}, 5 \ \rightarrow 1.0000 \cdot 10^{-2} + 3.3333 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(-19.048 \cdot t)$$

$$h_{cU}(t) := E \cdot \frac{R}{R+R} \cdot \left(1 - e^{p \cdot t}\right) \text{ float}, 5 \ \rightarrow .50000 - .50000 \cdot \exp(-19.048 \cdot t)$$

Визначимо закони зміни напруги на всіх проміжках часу:

$$U_0 := E_1 \qquad U_0 = 80$$

$$U_1(t) := U_0 - \frac{3E_1}{T} \cdot t \qquad U_1(t) \text{ float}, 5 \ \rightarrow 80. - 4571.5 \cdot t \qquad 0 < t < T$$

$$U_2 := 0 \qquad U_2 = 0 \qquad T < t < \infty$$

$$U'_1 := \frac{d}{dt} U_1(t) \text{ float}, 5 \ \rightarrow -4571.5$$

Струм на цих проміжках буде мати вигляд:

$$i_1(t) := U_0 \cdot g_{11}(t) + \int_0^t U'_1 \cdot g_{11}(t-\tau)\, d\tau \qquad i_1(t) \ \begin{vmatrix} \text{factor} \\ \text{float}, 3 \end{vmatrix} \rightarrow 3.50 \cdot 10^{-6} + 1.07 \cdot \exp(-19.0 \cdot t) - 45.7 \cdot t$$

$$i_2(t) := U_0 \cdot g_{11}(t) + \int_0^T U'_1 \cdot g_{11}(t-\tau)\, d\tau + \left(U_2 + 2E_1\right) \cdot g_{11}(t - T)$$

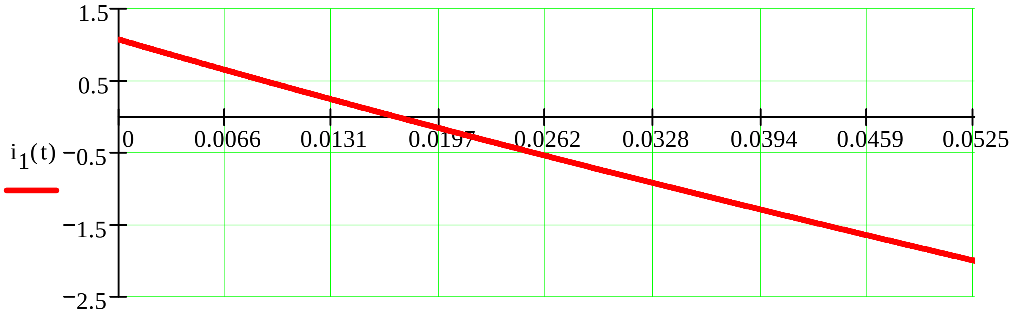
$$i_2(t) \ \begin{vmatrix} \text{factor} \\ \text{float}, 3 \end{vmatrix} \rightarrow 1.05 \cdot 10^{-5} + 1.07 \cdot \exp(-19.0 \cdot t) - .267 \cdot \exp(-19.0 \cdot t + 1.)$$

Напруга на індуктивнисті на цих проміжках буде мати вигляд:

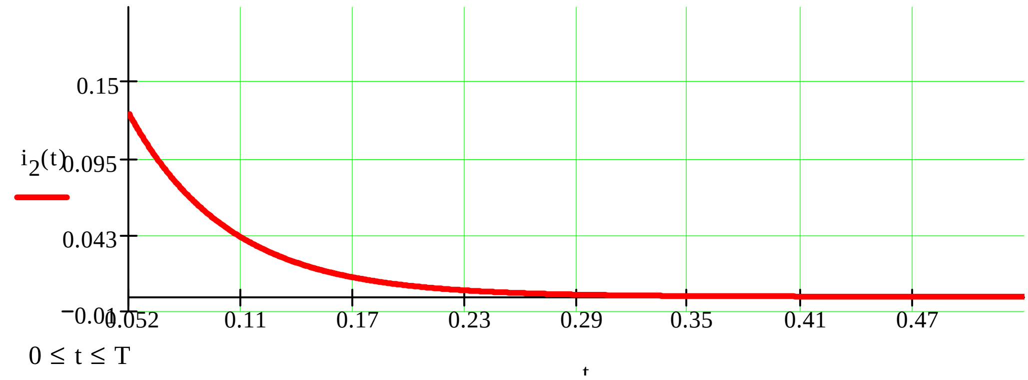
$$u_{C1}(t) := U_0 \cdot h_{cU}(t) + \int_0^t U'_1 \cdot h_{cU}(t-\tau)\, d\tau \text{ float}, 4 \ \rightarrow 160.0 - 160.0 \cdot \exp(-19.05 \cdot t) - 2286. \cdot t$$

$$u_{C2}(t) := U_0 \cdot h_{cU}(t) + \int_0^T U'_1 \cdot h_{cU}(t-\tau)\, d\tau + \left(U_2 + 2E_1\right) \cdot h_{cU}(t - T)$$

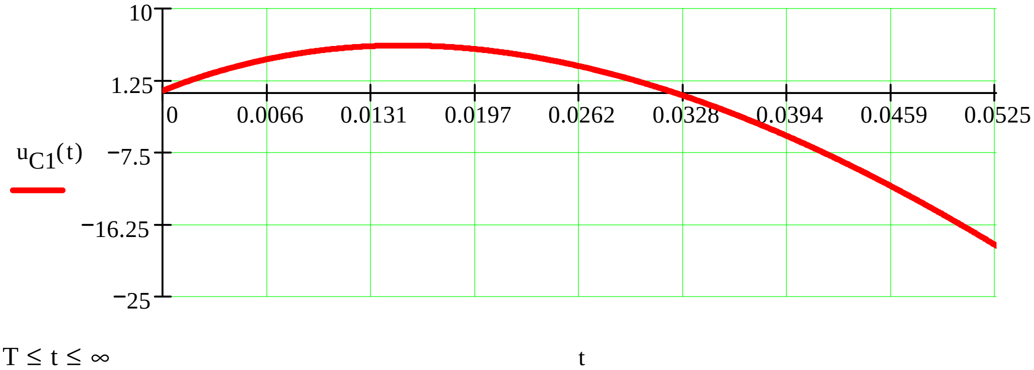
Графік вхідного струму на проміжку: $0 \le t \le T$



Графік вхідного струму на проміжку: $T \le t \le \infty$



$0 \le t \le T$



$T \le t \le \infty$