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

Розрахунково-графічна робота

“Розрахунок перехідних процесів у лінійних колах“
Варіант № 419

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

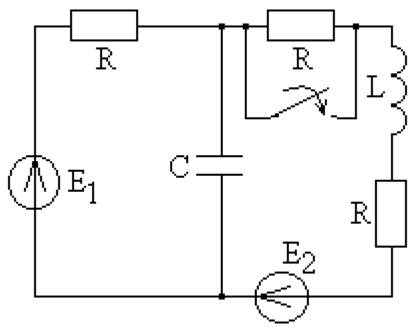
2. В післякомутаційній схемі закоротити джерело ЕДС Е2.

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.



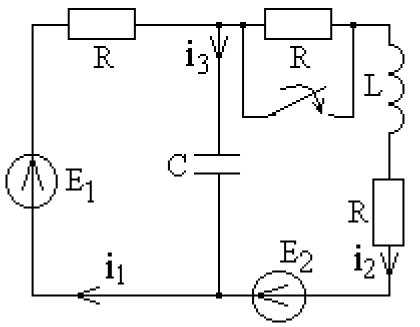
Вхідні данні:

$L := 0.15$ 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:



Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := \dfrac{E_1 + E_2}{3 \cdot R}$ $\quad i_{2дк} := i_{1дк} \quad i_{2дк} = 1$

$i_{3дк} := 0$ $\quad u_{Lдк} := 0$

$u_{Cдк} := E_1 - i_{1дк} \cdot R$ $\quad u_{Cдк} = 40$

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

$i'_1 := \dfrac{E_1 + E_2}{2 \cdot R}$ $\quad i'_2 := i'_1 \quad i'_2 = 1.5$

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

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

Незалежні початкові умови

$i_{20} := i_{2дк}$ $\quad i_{20} = 1$

$u_{C0} := u_{Cдк}$ $\quad u_{C0} = 40$

Залежні початкові умови

Given

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

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

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

$$\begin{pmatrix} i_{10} \\ i_{30} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{L0}) \text{ float}, 5 \rightarrow \begin{pmatrix} 1. \\ 0 \\ 50. \end{pmatrix}$$

$i_{30} = 0$ $\quad i_{10} = 1$ $\quad u_{L0} = 50$

Незалежні початкові умови

$di_{20} := \dfrac{u_{L0}}{L}$ $\quad di_{20} = 333.333$

$du_{C0} := \dfrac{i_{30}}{C}$ $\quad du_{C0} = 0$

Залежні початкові умови

Given

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

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

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

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

$di_{10} = 0$ $\quad di_{30} = -333.333$ $\quad du_{L0} = -1.667 \times 10^{4}$

Вільний режим після комутайії: $t = 0$

Складемо характерестичне рівняння схеми

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

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

Одже корні характеристичного рівняння мають вигляд:

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

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

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

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

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

$A_1 = 0.137$ $\quad A_2 = -0.637$

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

$$i''_1(t) := A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \text{ float}, 5 \rightarrow .13655 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - .63655 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$$

$$i_1(t) := i'_1 + i''_1(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 1.5000 + .13655 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - .63655 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$$

$i_1(0) = 1$

Given

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

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

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

$B_1 = -1.288$ $\quad B_2 = 0.788$

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

$$i''_2(t) := B_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + B_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \text{ float}, 5 \rightarrow -1.2876 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) + .78760 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$$

$$i_2(t) := i'_2 + i''_2(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 1.5000 - 1.2876 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) + .78760 \cdot \exp(-63.922 \cdot t) \qquad i_2(0) = 1$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix} := \text{Find}(C_1, C_2) \qquad C_1 = 1.424 \qquad C_2 = -1.424$$

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

$$i''_3(t) := C_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \text{ float}, 5 \rightarrow 1.4241 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - 1.4241 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$$

$$i_3(t) := i'_3 + i''_3(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 1.4241 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - 1.4241 \cdot \exp(-63.922 \cdot t) \qquad i_3(0) = 0$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \end{pmatrix} := \text{Find}(D_1, D_2) \qquad D_1 = -6.828 \qquad D_2 = 31.828$$

Отже вільна складова напруга на конденсаторі буде мати вигляд:

$$u''_C(t) := D_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + D_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \text{ float}, 6 \rightarrow -6.82758 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) + 31.8276 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$$

$$u_C(t) := u'_C + u''_C(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 15. - 6.8276 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) + 31.828 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$$

Given

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

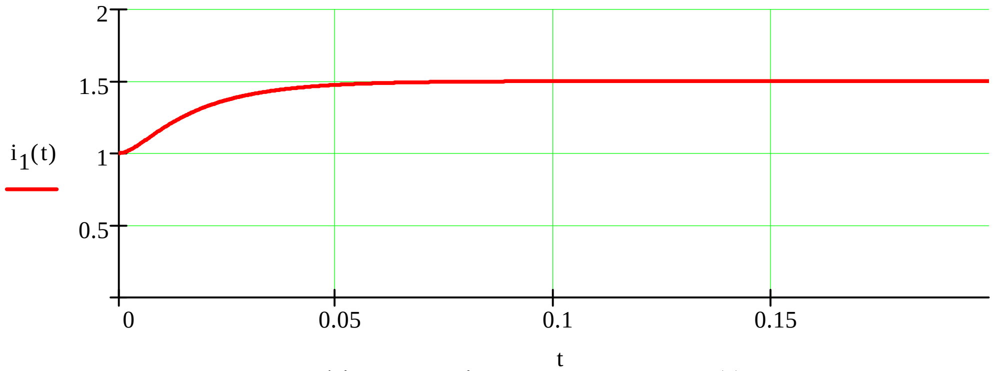
$$du_{L0} - 0 = p_1 \cdot F_1 + p_2 \cdot F_2$$

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} := \text{Find}(F_1, F_2) \qquad F_1 = 57.552 \qquad F_2 = -7.552$$

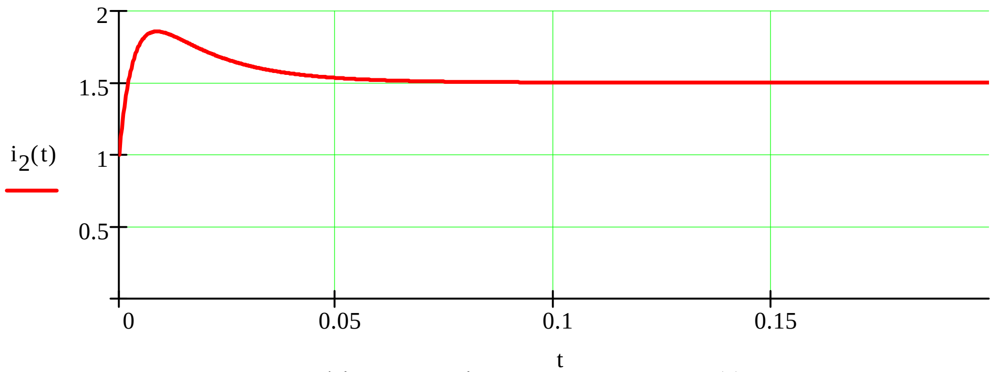
Отже вільна складова напруга на індуктивності буде мати вигляд:

$$u''_L(t) := F_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + F_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \text{ float}, 5 \rightarrow 57.552 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - 7.5523 \cdot \exp(-63.922 \cdot t)$$

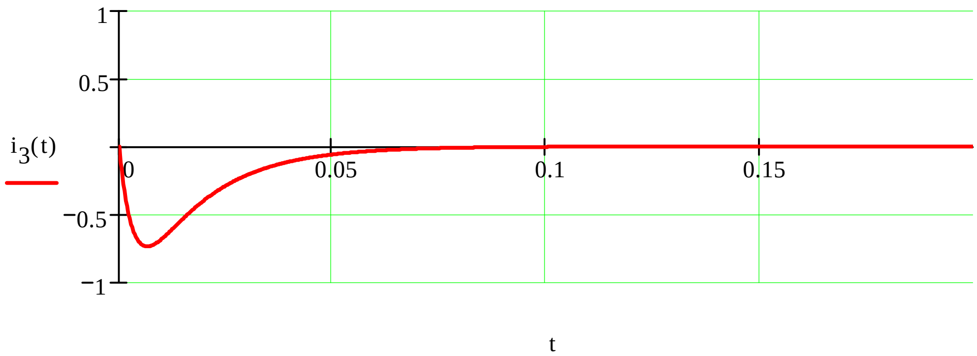
$$u_L(t) := u'_L + u''_L(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 57.552 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - 7.5523 \cdot \exp(-63.922 \cdot t) \qquad u_L(0) = 50$$



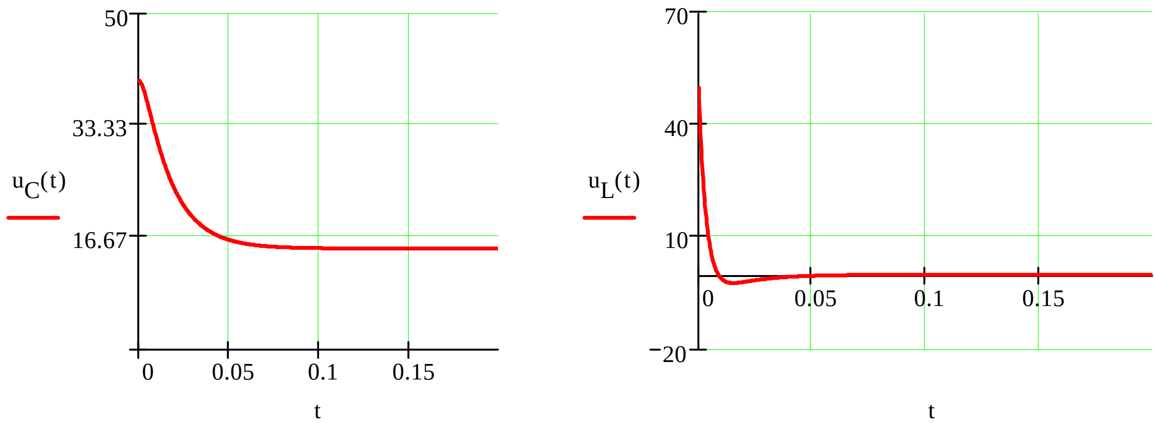
Графік перехідного струму i1(t).



Графік перехідного струму i2(t).

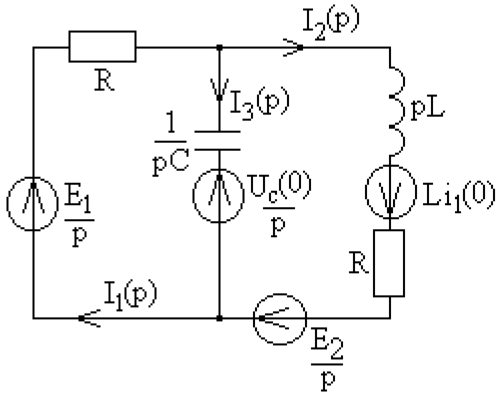


Графік перехідного струму i3(t).



Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

Операторний метод



Операторна схема

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := \frac{E_1 + E_2}{3 \cdot R}$ $\quad$ $i_{2дк} := i_{1дк}$ $\quad$ $i_{2дк} = 1$

$i_{3дк} := 0$ $\quad$ $u_{Lдк} := 0$

$u_{Cдк} := E_1 - i_{1дк} \cdot R$ $\quad$ $u_{Cдк} = 40$

Початкові умови:

$i_{L0} := i_{2дк}$ $\quad$ $i_{L0} = 1$

$u_{C0} = 40$

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

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

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

$$\Delta_1(p) := \left\|\begin{bmatrix} \frac{E_1}{p} - \frac{u_{C0}}{p} & -\left(\frac{1}{p \cdot C}\right) \\ \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{20} & \frac{1}{p \cdot C} + R + p \cdot L \end{bmatrix}\right\| \qquad \Delta_1(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(2714.3 \cdot p + 2.1429 \cdot 10^5 + 7.50 \cdot p^{2.}\right)}{p^{2.}}$$

$$\Delta_2(p) := \left\|\begin{bmatrix} R + \frac{1}{p \cdot C} & \frac{E_1}{p} - \frac{u_{C0}}{p} \\ -\left(\frac{1}{p \cdot C}\right) & \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{20} \end{bmatrix}\right\| \qquad \Delta_2(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(5214.3 \cdot p + 7.5000 \cdot p^{2.} + 2.1429 \cdot 10^5\right)}{p^{2.}}$$

Контурні струми та напруга на конденсаторі будуть мати вигляд:

$$I_{k1}(p) := \frac{\Delta_1(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k1}(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(2714.3 \cdot p + 2.1429 \cdot 10^5 + 7.50 \cdot p^{2.}\right)}{p^{1.} \cdot \left(2714.3 \cdot p + 1.4286 \cdot 10^5 + 7.5000 \cdot p^{2.}\right)^{1.}}$$

$$I_{k2}(p) := \frac{\Delta_2(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k2}(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(5214.3 \cdot p + 7.5000 \cdot p^{2.} + 2.1429 \cdot 10^5\right)}{p^{1.} \cdot \left(2714.3 \cdot p + 1.4286 \cdot 10^5 + 7.5000 \cdot p^{2.}\right)^{1.}}$$

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

$$u_C(p) \;\Big|\begin{matrix}\text{float},5\\ \text{factor}\end{matrix} \rightarrow 40 \cdot \frac{\left(27143 \cdot p + 535725 + 75 \cdot p^2\right)}{p \cdot \left(27143 \cdot p + 1428600 + 75 \cdot p^2\right)}$$

$$u_L(p) := L \cdot p \cdot I_{k2}(p) - L \cdot i_{2дк}$$

$$u_L(p) \text{ factor } \rightarrow 150 \cdot \frac{(7 \cdot p + 200)}{\left(400000 + 7600 \cdot p + 21 \cdot p^2\right)}$$

Перейдемо тепер від зображення до функції часу за формулою розкладу:
Для струму I1(p):

$$N_1(p) := \left(2714.3 \cdot p + 2.1429 \cdot 10^5 + 7.50 \cdot p^{2.}\right) \qquad M_1(p) := p^{1.} \cdot \left(2714.3 \cdot p + 1.4286 \cdot 10^5 + 7.5000 \cdot p^{2.}\right)^{1.}$$

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

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

$N_1(p_0) = 2.143 \times 10^5 \qquad N_1(p_1) = 7.142 \times 10^4 \qquad N_1(p_2) = 7.143 \times 10^4$

$$dM_1(p) := \frac{d}{dp} M_1(p) \text{ factor } \rightarrow \frac{27143}{5} \cdot p + 142860 + \frac{45}{2} \cdot p^2$$

$dM_1(p_0) = 1.429 \times 10^5 \qquad dM_1(p_1) = 5.231 \times 10^5 \qquad dM_1(p_2) = -1.122 \times 10^5$

Отже струм як функція часу буде мати вигляд:

$$i_1(t) := \frac{N_1(p_0)}{dM_1(p_0)} + \frac{N_1(p_1)}{dM_1(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_1(p_2)}{dM_1(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad i_1(0) = 1$$

$$i_1(t) \;\Big|\begin{matrix}\text{float},5\\ \text{complex}\end{matrix} \rightarrow 1.5000 + .13655 \cdot \exp(-297.98 \cdot t) - .63655 \cdot \exp(-63.923 \cdot t)$$

Для напруги на конденсаторі Uc(p):

$$N_u(p) := 40 \cdot \left(27143 \cdot p + 535725 + 75 \cdot p^2\right) \qquad M_u(p) := p \cdot \left(27143 \cdot p + 1428600 + 75 \cdot p^2\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_u(p) \;\Big|\begin{matrix}\text{solve}, p\\ \text{float},5\end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -63.92 \\ -297.98 \end{pmatrix}$$

$p_0 = 0 \qquad p_1 = -63.92 \qquad p_2 = -297.98$

$N_u(p_0) = 2.143 \times 10^7 \qquad N_u(p_1) = -3.571 \times 10^7 \qquad N_u(p_2) = -3.572 \times 10^7$

$$dM_u(p) := \frac{d}{dp} M_u(p) \text{ factor } \rightarrow 54286 \cdot p + 1428600 + 225 \cdot p^2$$

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

Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_C(t) := \frac{N_u(p_0)}{dM_u(p_0)} + \frac{N_u(p_1)}{dM_u(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_u(p_2)}{dM_u(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad u_C(0) = 39.999$$

$$u_C(t) \left| \begin{array}{l} \text{float}, 5 \\ \text{complex} \end{array} \right. \rightarrow 15. + 31.828 \cdot \exp(-63.92 \cdot t) - 6.8285 \cdot \exp(-297.98 \cdot t)$$

Для напруги на індуктивності:

$$N_L(p) := 150 \cdot (7 \cdot p + 200) \qquad M_L(p) := \left(400000 + 7600 \cdot p + 21 \cdot p^2\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_L(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -63.92 \\ -297.98 \end{pmatrix}$$

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

$$N_L(p_1) = -3.712 \times 10^4 \qquad N_L(p_2) = -2.829 \times 10^5$$

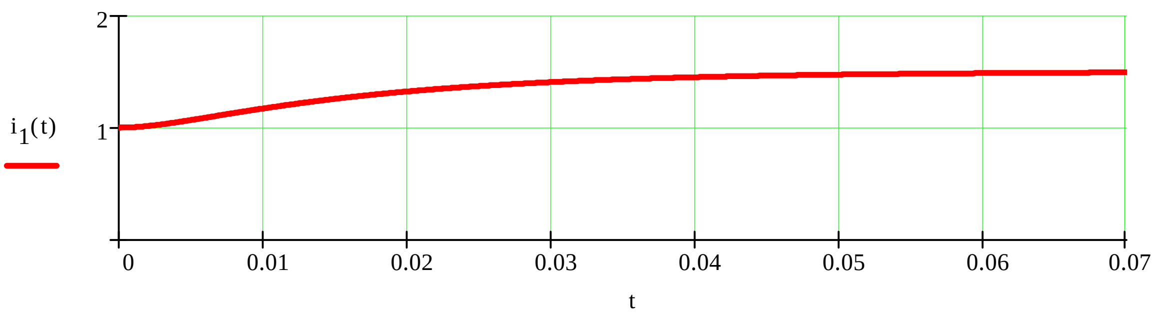
$$dM_L(p) := \frac{d}{dp} M_L(p) \text{ factor } \rightarrow 7600 + 42 \cdot p$$

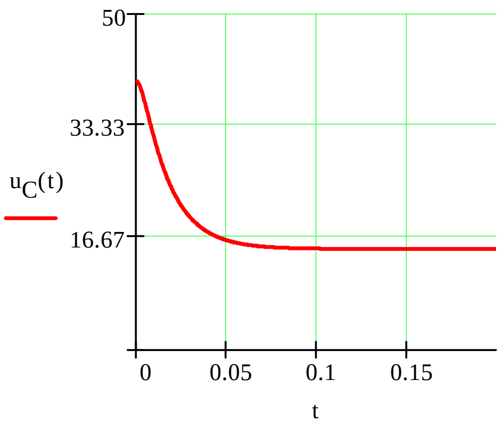
$$dM_L(p_1) = 4.915 \times 10^3 \qquad dM_L(p_2) = -4.915 \times 10^3$$

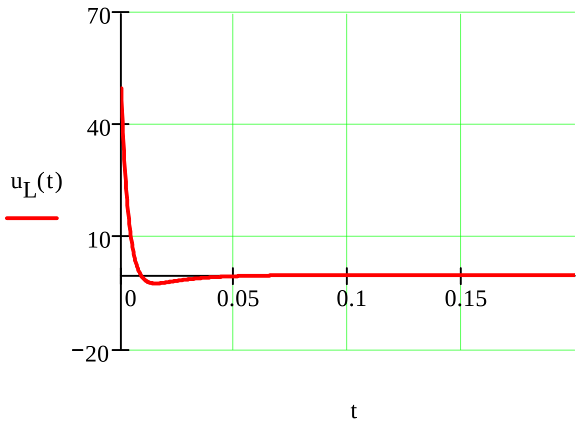
Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_L(t) := \frac{N_L(p_1)}{dM_L(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_L(p_2)}{dM_L(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad u_L(0) = 50.001$$

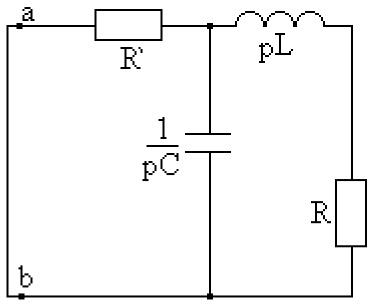
$$u_L(t) \left| \begin{array}{l} \text{float}, 5 \\ \text{complex} \end{array} \right. \rightarrow -7.5510 \cdot \exp(-63.92 \cdot t) + 57.552 \cdot \exp(-297.98 \cdot t)$$







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



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

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

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

$$D = 0$$

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

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

Отже при таких значеннях активного опору у вітці з джерелом напруги Е1 аперіодичний процес перейде в коливальний.

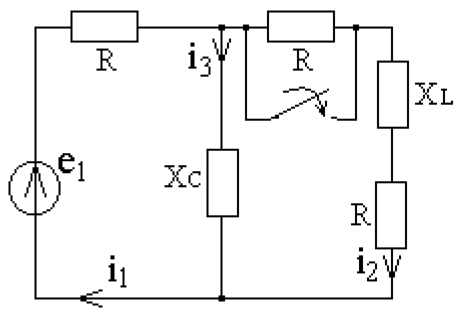
Визначити струми віток і напруги на реактивних елементах у момент комутації (t=0), якщо замість джерел постійної напруги Е1 і Е2 у колі діють джерела синусоїдної напруги:

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

$$X_C := \frac{1}{\omega\cdot C} \qquad X_C = 7.143 \qquad X_L := \omega\cdot L \qquad X_L = 30$$

$$E_1 := E_1\cdot e^{\psi\cdot i} \qquad E_1 = 63.64 + 63.64i \qquad F(E_1) = (90\ \ 45)$$

$$E_2 := E_2\cdot e^{\psi\cdot i} \qquad E_2 = 42.426 + 42.426i \qquad F(E_2) = (60\ \ 45)$$

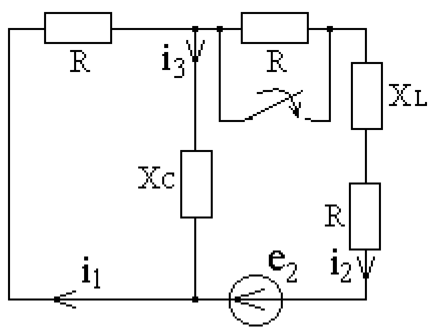


$$Z'_{vx} := R + \frac{(2R + X_L\cdot i)\cdot(-i\cdot X_C)}{2R + X_L\cdot i - i\cdot X_C} \qquad Z'_{vx} = 50.485 - 7.254i$$

$$I'_{1дк} := \frac{E_1}{Z'_{vx}} \qquad I'_{1дк} = 1.058 + 1.413i \qquad F(I'_{1дк}) = (1.765\ \ 53.176)$$

$$I'_{2дк} := I'_{1дк}\cdot\frac{(-i\cdot X_C)}{2R + X_L\cdot i - i\cdot X_C} \qquad I'_{2дк} = 0.079 - 0.094i \qquad F(I'_{2дк}) = (0.123\ \ -49.699)$$

$$I'_{3дк} := I'_{1дк}\cdot\frac{2R + X_L\cdot i}{2R + X_L\cdot i - i\cdot X_C} \qquad I'_{3дк} = 0.978 + 1.506i \qquad F(I'_{3дк}) = (1.796\ \ 57.001)$$



$$Z''_{vx} := 2R + X_L \cdot i + \frac{R \cdot (-i \cdot X_C)}{R - i \cdot X_C} \qquad Z''_{vx} = 101 + 23i$$

$$I''_{2дк} := \frac{E_2}{Z''_{vx}} \qquad I''_{2дк} = 0.49 + 0.308i \qquad F(I''_{2дк}) = (0.579 \quad 32.171)$$

$$I''_{1дк} := I''_{2дк} \cdot \frac{(-i \cdot X_C)}{R - i \cdot X_C} \qquad I''_{1дк} = 0.053 - 0.062i \qquad F(I''_{1дк}) = (0.082 \quad -49.699)$$

$$I''_{3дк} := I''_{2дк} \cdot \frac{R}{R - i \cdot X_C} \qquad I''_{3дк} = 0.437 + 0.371i \qquad F(I''_{3дк}) = (0.573 \quad 40.301)$$

$$I_{1дк} := I'_{1дк} + I''_{1дк} \qquad I_{1дк} = 1.111 + 1.35i \qquad F(I_{1дк}) = (1.748 \quad 50.558)$$

$$I_{2дк} := I'_{2дк} + I''_{2дк} \qquad I_{2дк} = 0.57 + 0.215i \qquad F(I_{2дк}) = (0.609 \quad 20.647)$$

$$I_{3дк} := I'_{3дк} - I''_{3дк} \qquad I_{3дк} = 0.541 + 1.135i \qquad F(I_{3дк}) = (1.258 \quad 64.529)$$

$$u_{Cдк} := I_{3дк} \cdot (-i \cdot X_C) \qquad u_{Cдк} = 8.11 - 3.863i \qquad F(u_{Cдк}) = (8.983 \quad -25.471)$$

$$u_{Lдк} := I_{1дк} \cdot i \cdot X_L \qquad u_{Lдк} = -40.502 + 33.318i \qquad F(u_{Lдк}) = (52.445 \quad 140.558)$$

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

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

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

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

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

Початкові умови:

$u_{Cдк}(0) = -5.463$

$i_{Lдк}(0) = 0.304$

Given

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

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

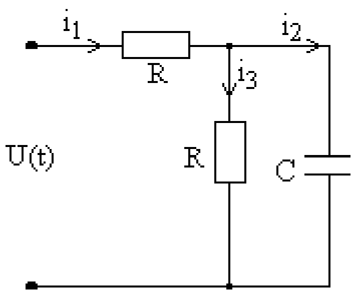
$$e_2(0) = i_{20} \cdot R + u_{L0} - u_{C0}$$

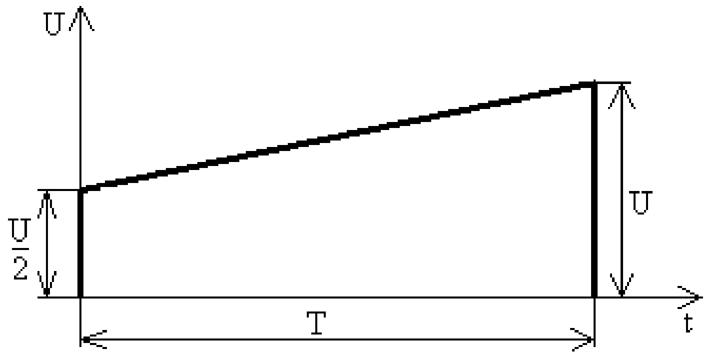
$$\begin{pmatrix} i_{10} \\ i_{30} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \text{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{L0})$$

$i_{10} = 1.909$ $\quad i_{20} = 0.304$ $\quad i_{30} = 1.606$ $\quad u_{L0} = 39.355$ $\quad u_{C0} = -5.463$

Інтеграл Дюамеля

$T := 0.9$ $E_1 := 90$ $E := 1$





Усталений режим до комутації: $t < 0$

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

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

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

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

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

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

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

Незалежні початкові умови

$u_{C0} := u_{Cдк}$ $u_{C0} = 0$

Залежні початкові умови

Given

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

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

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

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

$i_{10} = 0.02$ $i_{20} = 0.02$ $i_{30} = 0$

Вільний режим після комутайії: $t = 0$

Складемо характерестичне рівняння схеми

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

$$p := R \cdot \left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) + R \cdot \frac{1}{p \cdot C} \,\Big|\begin{matrix}\text{solve}, p \\ \text{float}, 5\end{matrix} \rightarrow -57.143 \qquad T := \frac{1}{|p|} \cdot T \qquad T = 0.016$$

Одже корень характеристичного рівняння має вигляд: $p = -57.143$

Вільна складова струма буде мати вигляд:

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

Визначення сталих інтегрування:

$A_1 := i_{10} - i'_1$ $\quad\quad A_1 = 0.01$

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

Повні значення цих струмів:

$g_{11}(t) := i'_1 + i''_1(t) \quad\quad g_{11}(t) \text{ float}, 5 \ \rightarrow 1.0000 \cdot 10^{-2} + 1.0000 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(-57.143 \cdot t)$

$h_{cU}(t) := E \cdot \frac{R}{R+R} \cdot \left(1 - e^{p \cdot t}\right) \text{ float}, 5 \ \rightarrow .50000 - .50000 \cdot \exp(-57.143 \cdot t)$

Визначимо закони зміни напруги на всіх проміжках часу:

$U_0 := 0 \quad\quad U_0 = 0$

$U_1(t) := U_0 + \frac{E_1}{T} \cdot t \quad\quad U_1(t) \text{ float}, 5 \ \rightarrow 5714.3 \cdot t \quad\quad 0 < t < T$

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

$U'_1 := \frac{d}{dt} U_1(t) \text{ float}, 5 \ \rightarrow 5714.3$

Струм на цих проміжках буде мати вигляд:

$i_1(t) := U_0 \cdot g_{11}(t) + \int_0^t U'_1 \cdot g_{11}(t - \tau)\, d\tau \quad\quad i_1(t) \left| \begin{array}{l} \text{factor} \\ \text{float}, 3 \end{array} \right. \rightarrow 57.1 \cdot t + 1. - 1. \cdot \exp(-57.1 \cdot t)$

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

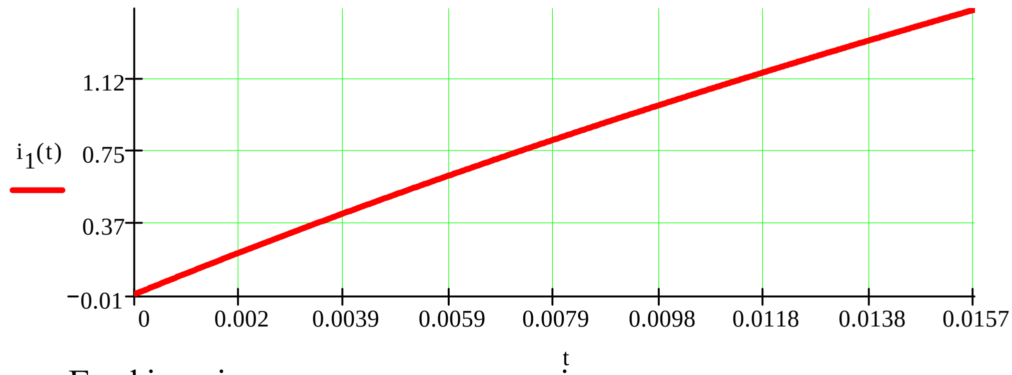
$i_2(t) \left| \begin{array}{l} \text{factor} \\ \text{float}, 3 \end{array} \right. \rightarrow 1.00 \cdot 10^{-20} + .100 \cdot \exp(-57.1 \cdot t + .900) - 1. \cdot \exp(-57.1 \cdot t)$

Напруга на індуктивнисті на цих проміжках буде мати вигляд:

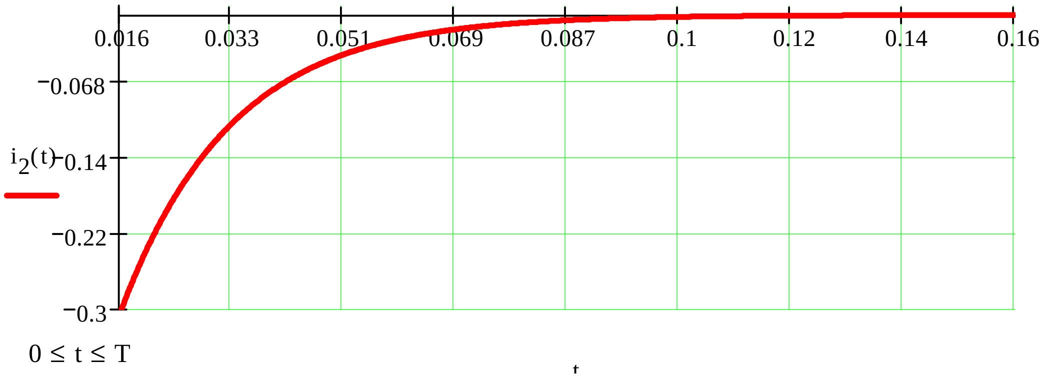
$u_{C1}(t) := U_0 \cdot h_{cU}(t) + \int_0^t U'_1 \cdot h_{cU}(t - \tau)\, d\tau \text{ float}, 4 \ \rightarrow 2857. \cdot t - 50. + 50. \cdot \exp(-57.14 \cdot t)$

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

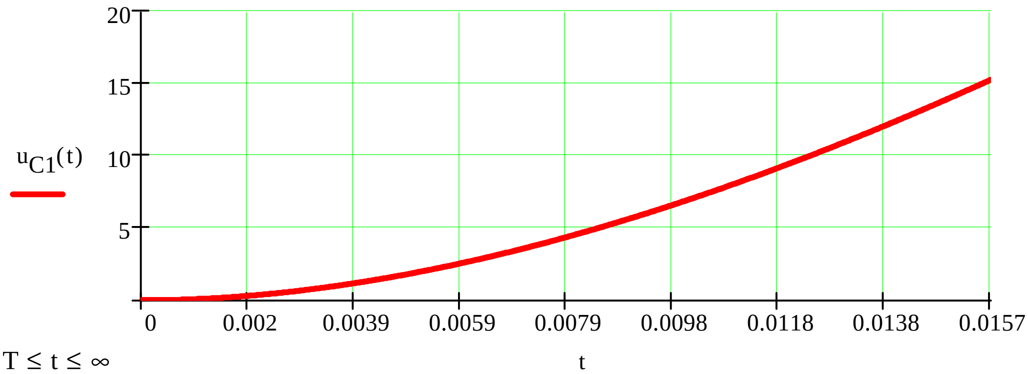
Графік вхідного струму на проміжку: $0 \le t \le T$



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



$0 \le t \le T$



$T \le t \le \infty$