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

Розрахунково-графічна робота

“Розрахунок перехідних процесів у лінійних колах“

Варіант № 227

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 E1 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 E1, 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 E1і E2 в колі діють синусоїдні джерела.

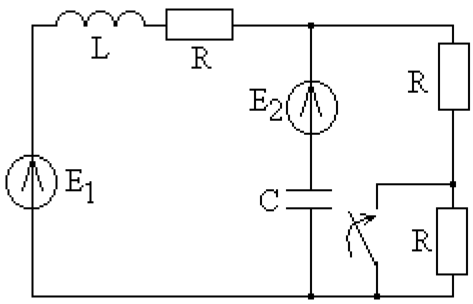
3. В післякомутаційній схемі закоротити джерело ЕДС E2.

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

б) вважаючи, що замість ждерела постійної ЕДС E1 до отриманного кола подається напруга, форма якої показана на малюнку;

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

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



Основна схема

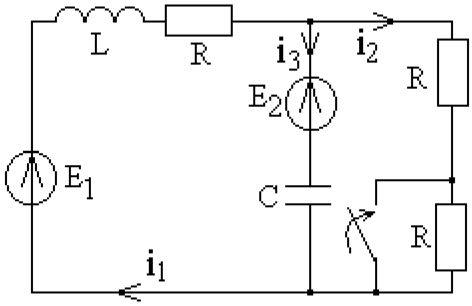
Вхідні данні:

$L := 0.1$ Гн $\quad C := 100 \cdot 10^{-6}$ 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}

<u>Класичний метод</u>

Оберемо додатній напрямок струмів у вітках схеми:



Знайдемо значення струмів та напруг безпосередньо до комутації:

Усталений режим до комутації: $t < 0$

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

$i_{3дк} := 0$ $\qquad u_{Lдк} := 0$

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

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

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

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

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

Незалежні початкові умови

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

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

Залежні початкові умови

Given

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

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

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

$$\begin{pmatrix} i_{30} \\ i_{20} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{30}, i_{20}, u_{L0}) \text{ float}, 6 \rightarrow \begin{pmatrix} -.533333 \\ 1.06667 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$i_{30} = -0.533 \quad i_{20} = 1.067 \qquad u_{L0} = 0$

Незалежні початкові умови

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

$du_{C0} := \frac{i_{30}}{C} \qquad du_{C0} = -5.333 \times 10^3$

Залежні початкові умови

Given

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

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

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

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

$di_{20} = -106.667$ $\quad di_{30} = 106.667$ $\quad du_{L0} = 5.333 \times 10^{3}$

Вільний режим після комутайії: $\quad t = 0$

Складемо характерестичне рівняння схеми

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

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := R \cdot \left(\frac{1}{p \cdot C}\right) + \left(R + \frac{1}{p \cdot C}\right) \cdot (p \cdot L + R) \ \left|\begin{matrix} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{matrix}\right. \rightarrow \begin{pmatrix} -350. - 278.39 \cdot i \\ -350. + 278.39 \cdot i \end{pmatrix}$$

Одже корні характеристичного рівняння мають вигляд:

$p_1 = -350 - 278.39i$ $\qquad p_2 = -350 + 278.39i$

Коефіцієнт затухання та кутова частота вільних коливань:

$\delta := |\mathrm{Re}(p_1)|$ $\quad \delta = 350$ $\qquad \omega_0 := |\mathrm{Im}(p_2)|$ $\quad \omega_0 = 278.39$

Вільні складові повних струмів та напруг будуть мати вигляд:

$$i''_1(t) = A \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_1)$$

$$i''_2(t) = B \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_2)$$

$$i''_3(t) = C \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_3)$$

$$u''_C(t) = D \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_C)$$

$$u''_L(t) = F \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_L)$$

Визначення сталих інтегрування:

Для струму i1(t):

Given

$$i_{10} - i'_1 = A \cdot \sin(v_1)$$

$$di_{10} = -A \cdot \delta \cdot \sin(v_1) + A \cdot \omega_0 \cdot \cos(v_1)$$

$$\begin{pmatrix} A \\ v_1 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(A, v_1) \ \text{float}, 5 \ \rightarrow \begin{pmatrix} .42838 & -.42838 \\ -2.4697 & .67193 \end{pmatrix}$$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$A = 0.428$ $\qquad v_1 = -2.47$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$$i''_1(t) := A \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_1) \ \text{float}, 5 \ \rightarrow .42838 \cdot \exp(-350.00 \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t - 2.4697)$$

$$i_1(t) := i'_1 + i''_1(t) \ \text{float}, 4 \ \rightarrow .8000 + .4284 \cdot \exp(-350.0 \cdot t) \cdot \sin(278.4 \cdot t - 2.470)$$

Для струму i2(t):

$i_{20} - i'_2 = B \cdot \sin(v_2)$

$di_{20} = -B \cdot \delta \cdot \sin(v_2) + B \cdot \omega_0 \cdot \cos(v_2)$

$\begin{pmatrix} B \\ v_2 \end{pmatrix} := \text{Find}(B, v_2) \text{ float}, 5 \rightarrow \begin{pmatrix} -.27094 & .27094 \\ -1.3931 & 1.7485 \end{pmatrix}$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$B = -0.271$ $v_2 = -1.393$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$i''_2(t) := B \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_2) \text{ float}, 5 \rightarrow -.27094 \cdot \exp(-350.00 \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t - 1.3931)$

$i_2(t) := i'_2 + i''_2(t) \text{ float}, 4 \rightarrow .8000 - .2709 \cdot \exp(-350.0 \cdot t) \cdot \sin(278.4 \cdot t - 1.393)$

Для струму i3(t):

$i_{30} - i'_3 = C \cdot \sin(v_3)$

$di_{30} = -C \cdot \delta \cdot \sin(v_3) + C \cdot \omega_0 \cdot \cos(v_3)$

$\begin{pmatrix} C \\ v_3 \end{pmatrix} := \text{Find}(C, v_3) \text{ float}, 5 \rightarrow \begin{pmatrix} -.60582 & .60582 \\ 1.0766 & -2.0650 \end{pmatrix}$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$C = -0.606$ $v_3 = 1.077$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$i''_3(t) := C \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_3) \text{ float}, 5 \rightarrow -.60582 \cdot \exp(-350.00 \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t + 1.0766)$

$i_3(t) := i'_3 + i''_3(t) \text{ float}, 4 \rightarrow -.6058 \cdot \exp(-350.0 \cdot t) \cdot \sin(278.4 \cdot t + 1.077)$

Для напруги Uc(t):

$u_{C0} - u'_C = D \cdot \sin(v_C)$

$du_{C0} = -D \cdot \delta \cdot \sin(v_C) + D \cdot \omega_0 \cdot \cos(v_C)$

$\begin{pmatrix} D \\ v_C \end{pmatrix} := \text{Find}(D, v_C) \left| \begin{matrix} \text{float}, 5 \\ \text{complex} \end{matrix} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -13.547 & 13.547 \\ -1.3931 & 1.7485 \end{pmatrix}$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$D = -13.547$ $v_C = -1.393$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$u''_C(t) := D \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_C) \text{ float}, 5 \rightarrow -13.547 \cdot \exp(-350.00 \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t - 1.3931)$

$u_C(t) := u'_C + u''_C(t) \text{ float}, 4 \rightarrow -90. - 13.55 \cdot \exp(-350.0 \cdot t) \cdot \sin(278.4 \cdot t - 1.393)$

Для напруги Ul(t):

$u_{L0} - u'_L = F \cdot \sin(v_L)$

$du_{L0} = -F \cdot \delta \cdot \sin(v_L) + F \cdot \omega_0 \cdot \cos(v_L)$

$\begin{pmatrix} F \\ v_L \end{pmatrix} := \text{Find}(F, v_L) \left| \begin{matrix} \text{float}, 5 \\ \text{complex} \end{matrix} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 19.158 & -19.158 \\ 0 & 3.1416 \end{pmatrix}$

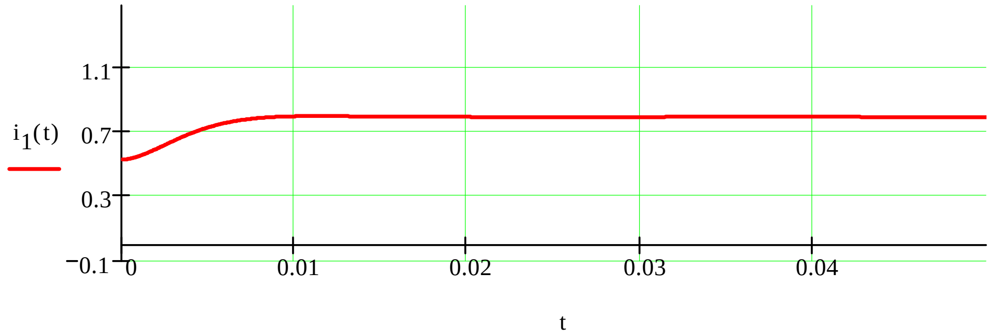
Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$F = 19.158$ $v_L = 0$

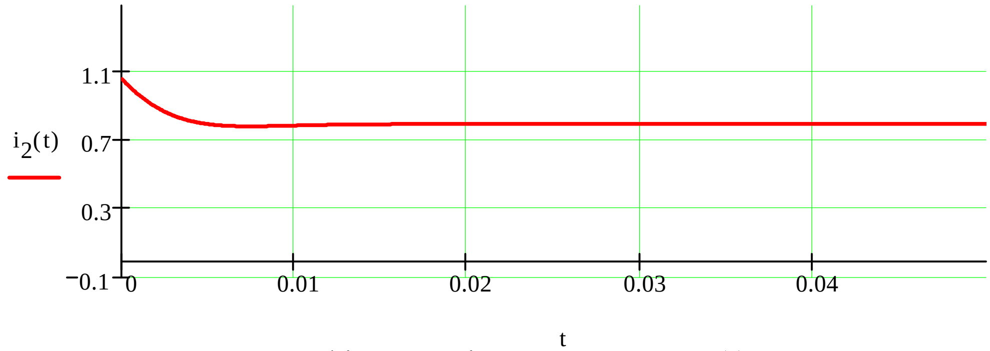
Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$u''_L(t) := F \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_L) \text{ float}, 5 \rightarrow 19.158 \cdot \exp(-350.00 \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t)$

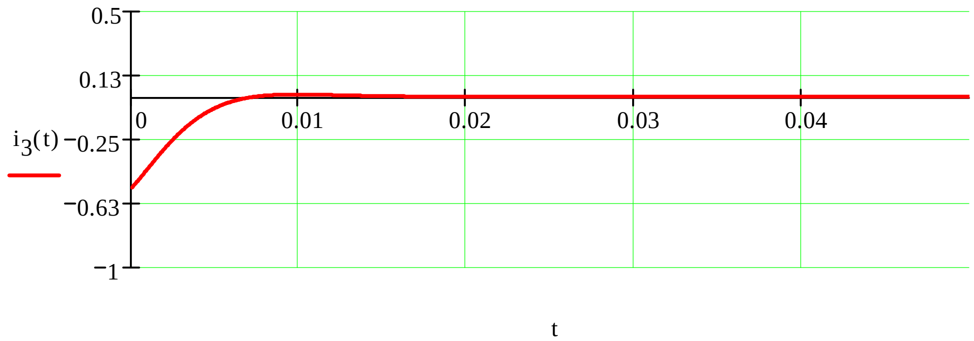
$u_L(t) := u'_L + u''_L(t) \text{ float}, 4 \rightarrow 19.16 \cdot \exp(-350.0 \cdot t) \cdot \sin(278.4 \cdot t)$



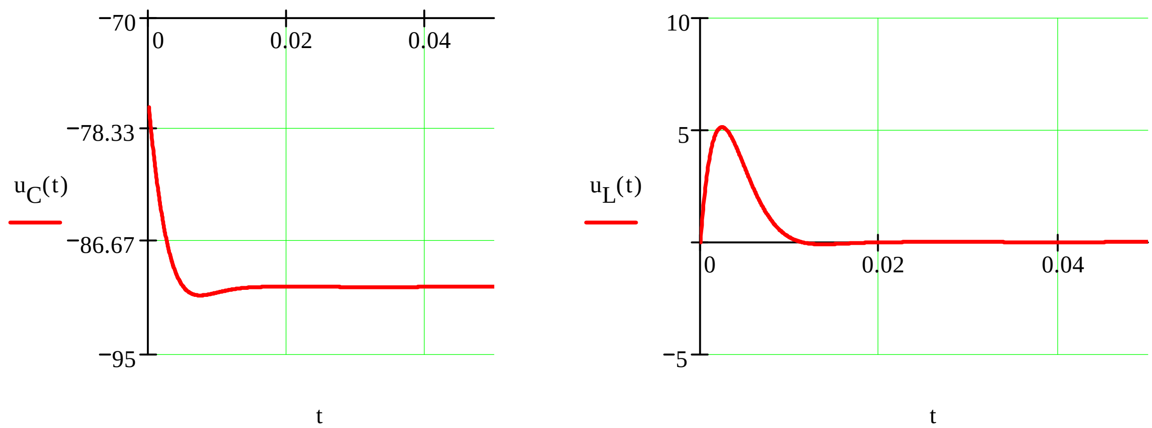
Графік перехідного струму i1(t).



Графік перехідного струму i2(t).

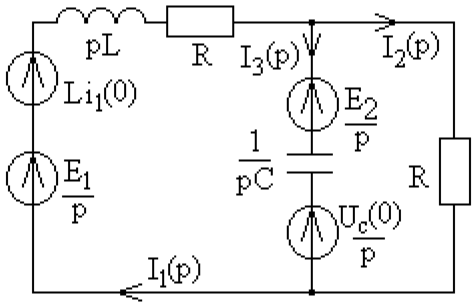


Графік перехідного струму i3(t).



Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

<u>Операторний метод</u>



Операторна схема

Усталений режим до комутації: $t < 0$

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

$i_{3дк} := 0$ $\quad$ $u_{Lдк} := 0$

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

Початкові умови:

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

$u_{C0} = -76.667$

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

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

$$\Delta(p) := \left|\begin{bmatrix} R + p \cdot L + \dfrac{1}{p \cdot C} & -\left(\dfrac{1}{p \cdot C}\right) \\ -\left(\dfrac{1}{p \cdot C}\right) & \dfrac{1}{p \cdot C} + R \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{1}{p^{1.}} \cdot \left(5.0 \cdot p^{2.} + 3500.0 \cdot p + 1.0000 \cdot 10^{6}\right)$$

$$\Delta_1(p) := \left|\begin{bmatrix} \dfrac{E_1}{p} - \dfrac{E_2}{p} - \dfrac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{10} & -\left(\dfrac{1}{p \cdot C}\right) \\ \dfrac{E_2}{p} + \dfrac{u_{C0}}{p} & \dfrac{1}{p \cdot C} + R \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta_1(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(1866.7 \cdot p + 8.0000 \cdot 10^{5} + 2.6667 \cdot p^{2.}\right)}{p^{2.}}$$

$$\Delta_2(p) := \left|\begin{bmatrix} R + p \cdot L + \dfrac{1}{p \cdot C} & \dfrac{E_1}{p} - \dfrac{E_2}{p} - \dfrac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{10} \\ -\left(\dfrac{1}{p \cdot C}\right) & \dfrac{E_2}{p} + \dfrac{u_{C0}}{p} \end{bmatrix}\right| \qquad \Delta_2(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(5.3333 \cdot p^{2.} + 3200.0 \cdot p + 8.0000 \cdot 10^{5}\right)}{p^{2.}}$$

Контурні струми та напруга на конденсаторі будуть мати вигляд:

$$I_{k1}(p) := \frac{\Delta_1(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k1}(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(1866.7 \cdot p + 8.0000 \cdot 10^{5} + 2.6667 \cdot p^{2.}\right)}{p^{1.} \cdot \left(5.0 \cdot p^{2.} + 3500.0 \cdot p + 1.0000 \cdot 10^{6}\right)^{1.}}$$

$$I_{k2}(p) := \frac{\Delta_2(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k2}(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(5.3333 \cdot p^{2.} + 3200.0 \cdot p + 8.0000 \cdot 10^{5}\right)}{p^{1.} \cdot \left(5.0 \cdot p^{2.} + 3500.0 \cdot p + 1.0000 \cdot 10^{6}\right)^{1.}}$$

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

$$u_C(p) \;\Big|\begin{smallmatrix}\text{float}, 5\\ \text{factor}\end{smallmatrix} \to \frac{-1}{1000 \cdot p} \cdot \frac{\left(18000000000 + 76667 \cdot p^2 + 59000100 \cdot p\right)}{\left(200000 + p^2 + 700 \cdot p\right)}$$

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

$$u_L(p) \text{ factor } \to \frac{16000}{3 \cdot \left(200000 + p^2 + 700 \cdot p\right)}$$

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

$$N_1(p) := 1866.7 \cdot p + 8.0000 \cdot 10^5 + 2.6667 \cdot p^{2.} \qquad M_1(p) := p \cdot \left(5.0 \cdot p^{2.} + 3500.0 \cdot p + 1.0000 \cdot 10^6\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_1(p) \;\Big|\begin{smallmatrix}\text{solve}, p\\ \text{float}, 5\end{smallmatrix} \to \begin{pmatrix} 0 \\ -350. - 278.39 \cdot i \\ -350. + 278.39 \cdot i \end{pmatrix}$$

$p_0 = 0 \qquad p_1 = -350 - 278.39i \qquad p_2 = -350 + 278.39i$

$N_1(p_0) = 8 \times 10^5 \qquad N_1(p_1) = 2.667 \times 10^5 - 2.784i \qquad N_1(p_2) = 2.667 \times 10^5 + 2.784i$

$$dM_1(p) := \frac{d}{dp} M_1(p) \text{ factor } \to 15 \cdot p^2 + 7000 \cdot p + 1000000$$

$dM_1(p_0) = 1 \times 10^6 \qquad dM_1(p_1) = -7.75 \times 10^5 + 9.744i \times 10^5 \qquad dM_1(p_2) = -7.75 \times 10^5 - 9.744i \times 10^5$

Отже струм як функція часу буде мати вигляд:

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

$$i_1(t) \;\Big|\begin{smallmatrix}\text{float}, 5\\ \text{complex}\end{smallmatrix} \to .80000 - .26666 \cdot \exp(-350. \cdot t) \cdot \cos(278.39 \cdot t) - .33524 \cdot \exp(-350. \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t)$$

Для напруги на конденсаторі Uc(p):

$$N_u(p) := \frac{-1}{1000} \cdot \left(18000000000 + 76667 \cdot p^2 + 59000100 \cdot p\right) \qquad M_u(p) := p \cdot \left(200000 + p^2 + 700 \cdot p\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_u(p) \;\Big|\begin{smallmatrix}\text{solve}, p\\ \text{float}, 5\end{smallmatrix} \to \begin{pmatrix} 0 \\ -350. + 278.39 \cdot i \\ -350. - 278.39 \cdot i \end{pmatrix}$$

$p_0 = 0 \qquad p_1 = -350 + 278.39i \qquad p_2 = -350 - 278.39i$

$N_u(p_0) = -1.8 \times 10^7 \qquad N_u(p_1) = -7.999 \times 10^5 - 1.485i \times 10^6 \qquad N_u(p_2) = -7.999 \times 10^5 + 1.485i \times 10^6$

$$dM_u(p) := \frac{d}{dp} M_u(p) \text{ factor } \to 200000 + 3 \cdot p^2 + 1400 \cdot p$$

$dM_u(p_0) = 2 \times 10^5 \qquad dM_u(p_1) = -1.55 \times 10^5 - 1.949i \times 10^5 \qquad dM_u(p_2) = -1.55 \times 10^5 + 1.949i \times 10^5$

Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_C(t) := \frac{N_u(p_0)}{dM_u(p_0)} + \frac{N_u(p_1)}{dM_u(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_u(p_2)}{dM_u(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad u_C(0) = -76.667$$

$$u_C(t) \ \Big|\begin{array}{l}\text{float}, 5\\ \text{complex}\end{array} \rightarrow -90. + 13.3326 \cdot \exp(-350. \cdot t) \cdot \cos(278.39 \cdot t) - 2.3952 \cdot \exp(-350. \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t)$$

Для напруги на індуктивності:

$$N_L(p) := \frac{16000}{3} \qquad M_L(p) := \left(200000 + p^2 + 700 \cdot p\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_L(p) \ \Big|\begin{array}{l}\text{solve}, p\\ \text{float}, 5\end{array} \rightarrow \begin{pmatrix} -350. + 278.39 \cdot i \\ -350. - 278.39 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$p_1 = -350 + 278.39i \qquad p_2 = -350 - 278.39i$$

$$N_L(p_1) = 5.333 \times 10^3 \qquad N_L(p_2) = 5.333 \times 10^3$$

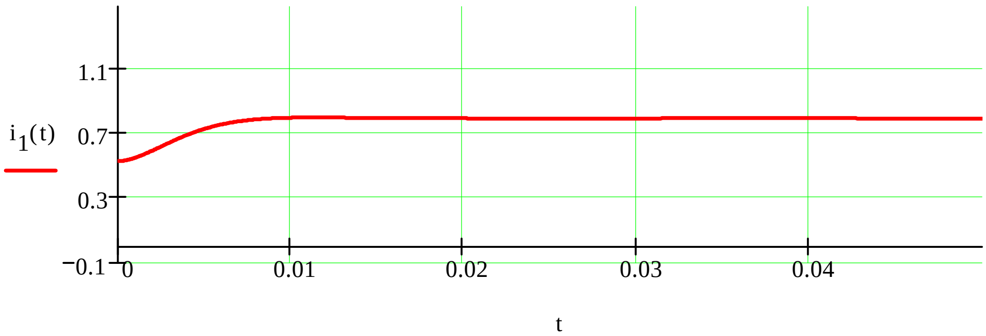
$$dM_L(p) := \frac{d}{dp} M_L(p) \ \text{factor} \ \rightarrow 2 \cdot p + 700$$

$$dM_L(p_1) = 556.78i \qquad dM_L(p_2) = -556.78i$$

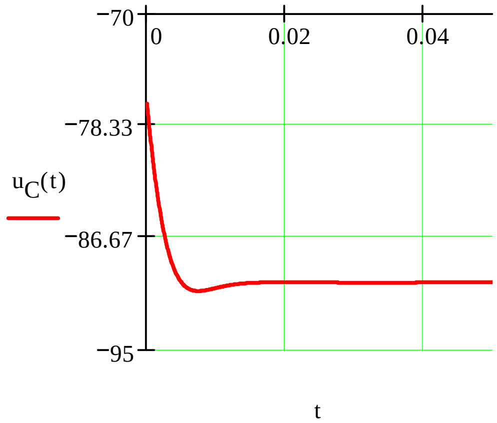
Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

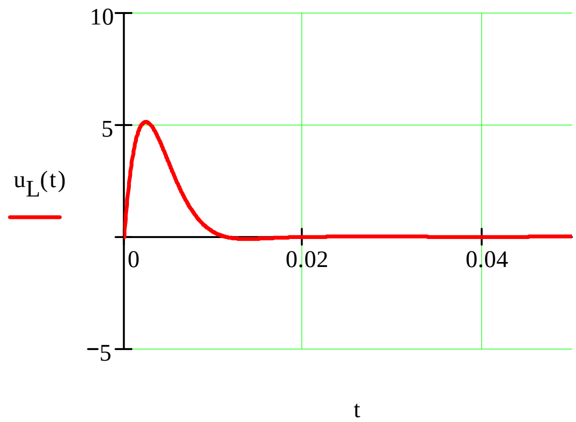
$$u_L(t) := \frac{N_L(p_1)}{dM_L(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_L(p_2)}{dM_L(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad u_L(0) = 0$$

$$u_L(t) \ \Big|\begin{array}{l}\text{float}, 5\\ \text{complex}\end{array} \rightarrow 19.1578 \cdot \exp(-350. \cdot t) \cdot \sin(278.39 \cdot t)$$



Графік перехідного струму i1(t).

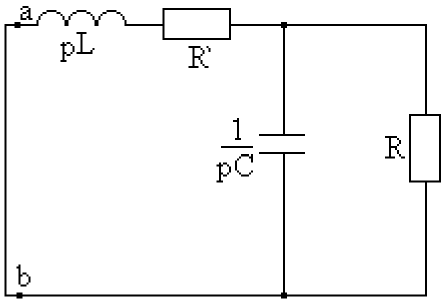




Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

Дослідити чому повинен дорівнювати активний опір вітки с джерелом ЕРС Е1 щоб перехідний процес переходив в граничний режим

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



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

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

$$D=0$$

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

$$\left(R\cdot R'+\frac{L}{C}\right)^2-4\cdot(R\cdot L)\cdot\left(\frac{R'}{C}+\frac{R}{C}\right)\ \Big|\ \begin{matrix}\text{solve}, R'\\ \text{float}, 5\end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix}-43.246\\ 83.246\end{pmatrix}$$

$$R' := 83.246$$

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

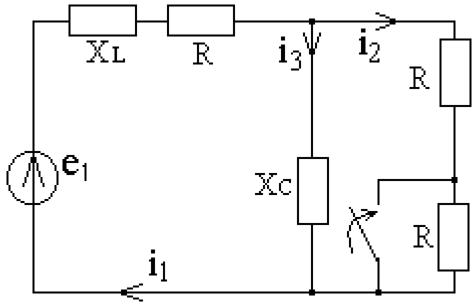
Визначити струми в вітках та напруги на реактивних елементах в момент комутації (t=0), якщо замість джерел постійних ЕДС Е1і Е2 в колі діють синусоїдні джерела.

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

$$X_C := \frac{1}{\omega\cdot C} \qquad X_C = 66.667 \qquad X_L := \omega\cdot L \qquad X_L = 15$$

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

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

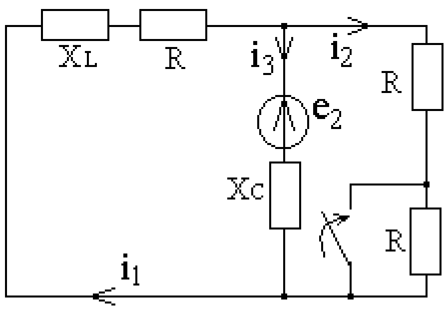


$$Z'_{vx} := R + i\cdot X_L + \frac{2\cdot R\cdot(i\cdot X_C)}{R+R-i\cdot X_C} \qquad Z'_{vx} = 19.231+61.154i$$

$$I'_{1дк} := \frac{E_1}{Z'_{vx}} \qquad I'_{1дк} = 0.577+1.106i \qquad F(I'_{1дк}) = (1.248\ \ 62.457)$$

$$I'_{2дк} := I'_{1дк}\cdot\frac{(-i\cdot X_C)}{R+R-i\cdot X_C} \qquad I'_{2дк} = 0.688+0.074i \qquad F(I'_{2дк}) = (0.692\ \ 6.147)$$

$$I'_{3дк} := I'_{1дк}\cdot\frac{2\cdot R}{R+R-i\cdot X_C} \qquad I'_{3дк} = -0.111+1.032i \qquad F(I'_{3дк}) = (1.038\ \ 96.147)$$



$Z''_{vx} := -X_C \cdot i + \frac{(R + i \cdot X_L) \cdot 2 \cdot R}{R + i \cdot X_L + R + R}$ $\quad Z''_{vx} = 33.993 - 60.066i$

$I''_{3дк} := \frac{E_2}{Z''_{vx}}$ $\quad I''_{3дк} = -1.815 - 0.503i$ $\quad F(I''_{3дк}) = (1.884 \ \ -164.507)$

$I''_{1дк} := I''_{3дк} \cdot \frac{2 \cdot R}{R + i \cdot X_L + 2 \cdot R}$ $\quad I''_{1дк} = -1.231 - 0.212i$ $\quad F(I''_{1дк}) = (1.249 \ \ -170.218)$

$I''_{2дк} := I''_{3дк} \cdot \frac{R + i \cdot X_L}{R + i \cdot X_L + 2 \cdot R}$ $\quad I''_{3дк} = -1.815 - 0.503i$ $\quad F(I''_{3дк}) = (1.884 \ \ -164.507)$

$I_{1дк} := I'_{1дк} + I''_{1дк}$ $\quad I_{1дк} = -0.654 + 0.894i$ $\quad F(I_{1дк}) = (1.108 \ \ 126.191)$

$I_{2дк} := I'_{2дк} + I''_{2дк}$ $\quad I_{2дк} = 0.104 - 0.217i$ $\quad F(I_{2дк}) = (0.241 \ \ -64.272)$

$I_{3дк} := I'_{3дк} - I''_{3дк}$ $\quad I_{3дк} = 1.704 + 1.536i$ $\quad F(I_{3дк}) = (2.294 \ \ 42.024)$

$u_{Cдк} := I_{3дк} \cdot (-i \cdot X_C)$ $\quad u_{Cдк} = 102.367 - 113.596i$ $\quad F(u_{Cдк}) = (152.916 \ \ -47.976)$

$u_{Lдк} := I_{1дк} \cdot i \cdot X_L$ $\quad u_{Lдк} = -13.413 - 9.814i$ $\quad F(u_{Lдк}) = (16.62 \ \ -143.809)$

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

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

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

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

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

Початкові умови:

$u_{Cдк}(0) = -160.65$

$i_{Lдк}(0) = 1.265$

Given

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

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

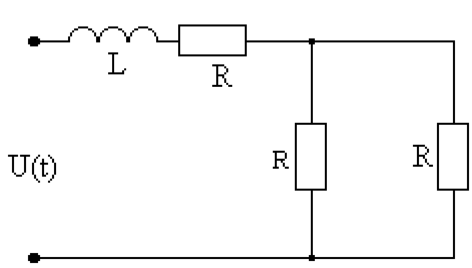
$e_2(0) = i_{20} \cdot R - u_{C0}$

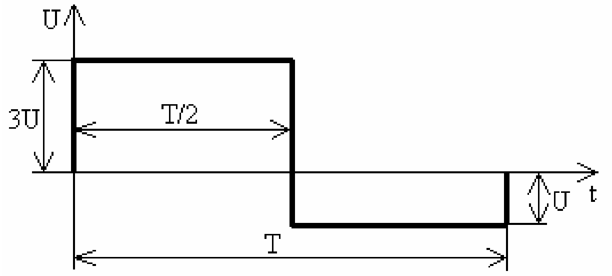
$\begin{pmatrix} i_{30} \\ i_{20} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \text{Find}(i_{30}, i_{20}, u_{L0})$

$i_{10} = 1.265$ $\quad i_{20} = -0.613$ $\quad i_{30} = 1.878$ $\quad u_{L0} = 47.421$ $\quad u_{C0} = -160.65$

Інтеграл Дюамеля

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





За допомогою класичного метода визначим:

$Z_{vx}(p) := 1.5 \cdot R + p \cdot L$

$p := 1.5 \cdot R + p \cdot L \left| \begin{matrix} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{matrix} \right. \rightarrow -750. \qquad p = -750 \qquad T := \dfrac{1}{|p|} \cdot T \qquad T = 1.333 \times 10^{-3}$

$i_1(t) := \dfrac{E}{1.5 \cdot R} - \dfrac{E}{1.5 \cdot R} \cdot e^{p \cdot t}$

$U_L(t) := L \cdot \dfrac{d}{dt} i_1(t) \ \text{float}, 5 \ \rightarrow 1.0000 \cdot \exp(-750. \cdot t)$

$g_{11}(t) := i_1(t) \qquad g_{11}(t) \ \text{float}, 5 \ \rightarrow 1.3333 \cdot 10^{-2} - 1.3333 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(-750. \cdot t)$

$h_{uL}(t) := U_L(t) \rightarrow 1.0000 \cdot \exp(-750. \cdot t)$

Визначимо закони зміни напруги на всіх проміжках часу:

$U_0 := 3E_1 \qquad U_0 = 240$

$U_1 := 3E_1 \qquad U_1 = 240 \qquad 0 < t < \dfrac{T}{2}$

$U_2 := -E_1 \qquad U_2 = -80 \qquad \dfrac{T}{2} < t < T$

$U_3 := 0 \qquad T < t < \infty$

$U'_1 := 0 \qquad U'_2 := 0$

Струм на цих проміжках буде мати вигляд:

$i_1(t) := U_0 \cdot g_{11}(t)$

$i_1(t) \left| \begin{matrix} \text{factor} \\ \text{float}, 3 \end{matrix} \right. \rightarrow 3.20 - 3.20 \cdot \exp(-750. \cdot t)$

$i_2(t) := U_0 \cdot g_{11}(t) + \left(U_2 - U_1\right) \cdot g_{11}\left(t - \dfrac{T}{2}\right)$

$i_2(t) \ \text{float}, 3 \ \rightarrow -1.07 - 3.20 \cdot \exp(-750. \cdot t) + 4.27 \cdot \exp(-750. \cdot t + .500)$

$i_3(t) := U_0 \cdot g_{11}(t) + \left(U_2 - U_1\right) \cdot g_{11}\left(t - \dfrac{T}{2}\right) + \left(U_3 - U_2\right) \cdot g_{11}(t - T)$

$i_3(t) \left| \begin{matrix} \text{factor} \\ \text{float}, 3 \end{matrix} \right. \rightarrow -1.00 \cdot 10^{-19} - 3.20 \cdot \exp(-750. \cdot t) + 4.27 \cdot \exp(-750. \cdot t + .500) - 1.07 \cdot \exp(-750. \cdot t + 1.)$

Напруга на індуктивнисті на цих проміжках буде мати вигляд:

$$u_{L1}(t) := U_0 \cdot h_{uL}(t) \text{ float}, 5 \; \rightarrow 240.00 \cdot \exp(-750. \cdot t)$$

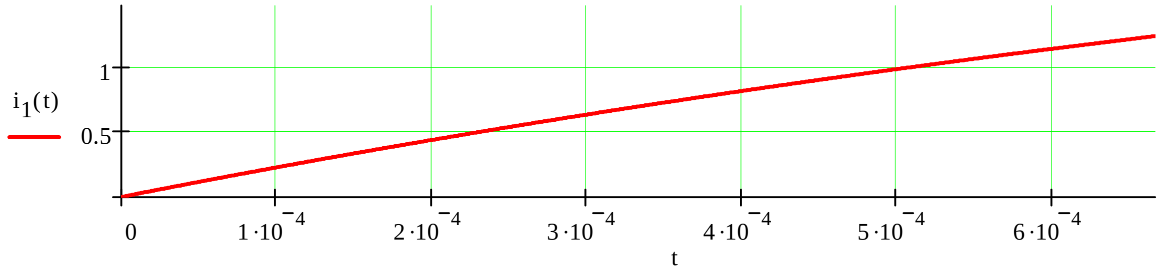
$$u_{L2}(t) := U_0 \cdot h_{uL}(t) + (U_2 - U_1) \cdot h_{uL}\left(t - \frac{T}{2}\right)$$

$$u_{L2}(t) \text{ float}, 5 \; \rightarrow 240.00 \cdot \exp(-750. \cdot t) - 320.00 \cdot \exp(-750. \cdot t + .50000)$$

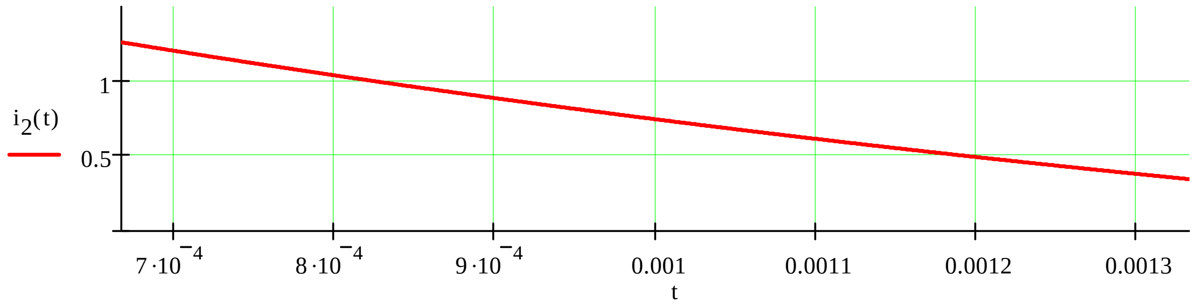
$$u_{L3}(t) := U_0 \cdot h_{uL}(t) + (U_2 - U_1) \cdot h_{uL}\left(t - \frac{T}{2}\right) + (U_3 - U_2) \cdot h_{uL}(t - T)$$

$$u_{L3}(t) \text{ float}, 5 \; \rightarrow 240.00 \cdot \exp(-750. \cdot t) - 320.00 \cdot \exp(-750. \cdot t + .50000) + 80.000 \cdot \exp(-750. \cdot t + 1.0000)$$

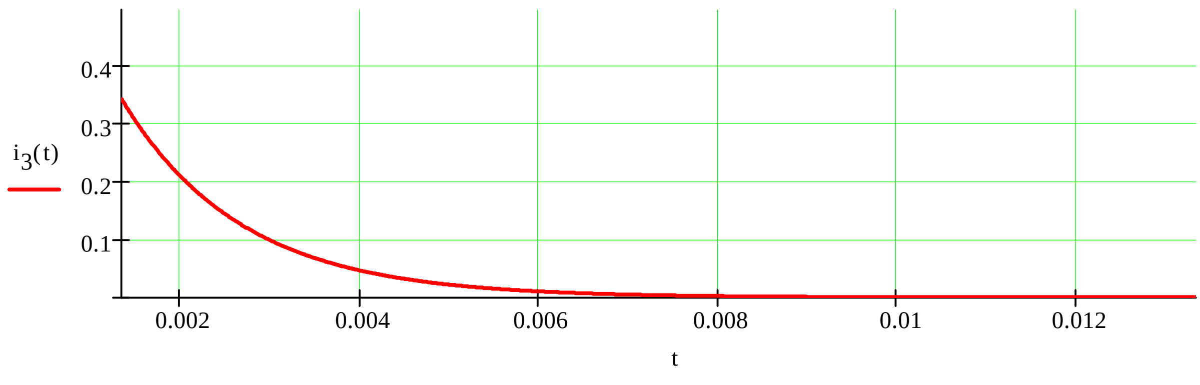
На промежутке от 0 до T/2



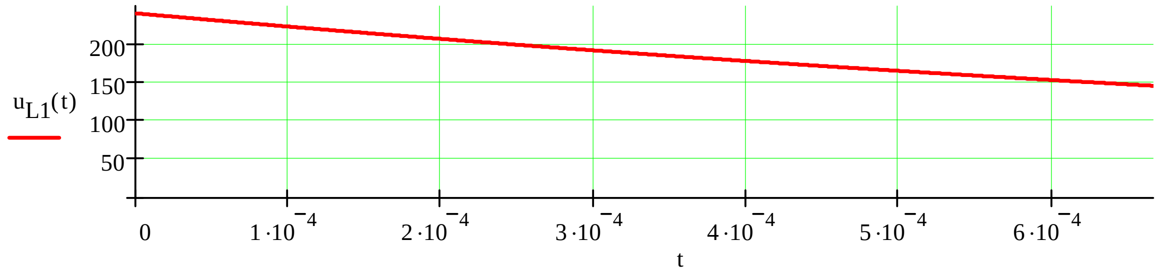
На промежутке от T/2 до T



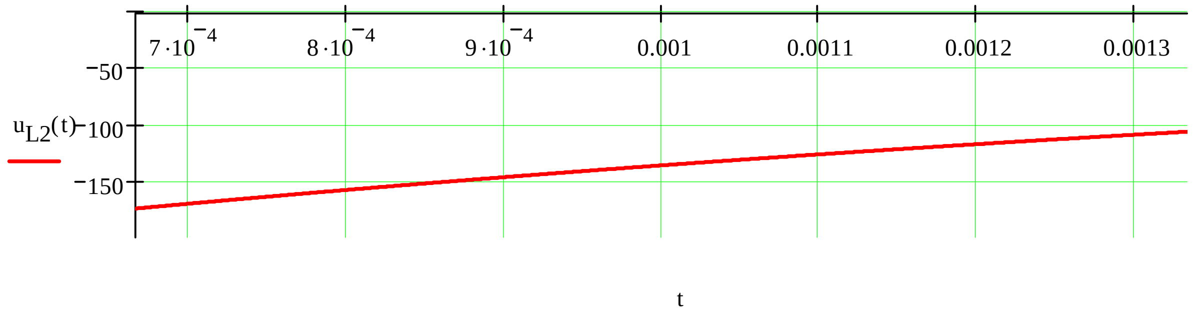
На промежутке от T до 10T



Графік напруги на реактивному елементі на проміжку: от 0 до T/2



Графік напруги на реактивному елементі на проміжку: от T/2 до T



Графік напруги на реактивному елементі на проміжку: от T до 10T