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

Розрахунково-графічна робота

“Розрахунок перехідних процесів у лінійних колах“

Варіант № 689

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.

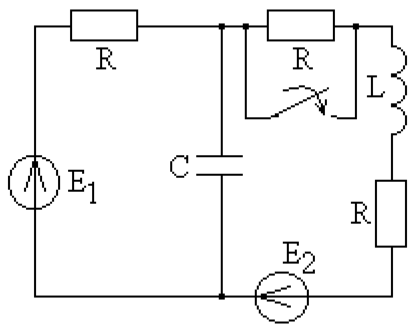
2. В післякомутаційній схемі закоротити джерело ЕДС E2.

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 реактивному 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.



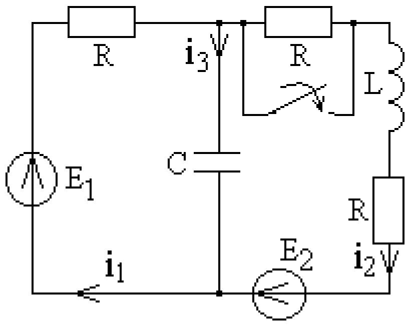
Вхідні данні:

$L := 0.125$ Гн $\quad C := 70 \cdot 10^{-6}$ Ф $\quad R := 40$ Ом

$E_1 := 180$ В $\quad E_2 := 70$ В $\quad \psi := 120 \cdot deg$ C^0 $\quad \omega := 250$ c^{-1}

Класичний метод

Оберемо додатній напрямок струмів у вітках схеми:



Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := \frac{E_1 + E_2}{3 \cdot R}$ $\quad i_{2дк} := i_{1дк} \quad i_{2дк} = 2.083$

$i_{3дк} := 0 \qquad u_{Lдк} := 0$

$u_{Cдк} := E_1 - i_{1дк} \cdot R \qquad u_{Cдк} = 96.667$

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

$i'_1 := \frac{E_1 + E_2}{2 \cdot R} \qquad i'_2 := i'_1 \qquad i'_2 = 3.125$

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

$u'_C := E_1 - i'_1 \cdot R \qquad u'_C = 55$

Незалежні початкові умови

$i_{20} := i_{2дк} \qquad i_{20} = 2.083$

$u_{C0} := u_{Cдк} \qquad u_{C0} = 96.667$

Залежні початкові умови

Given

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

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

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

$$\begin{pmatrix} i_{10} \\ i_{30} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{L0}) \text{ float}, 5 \rightarrow \begin{pmatrix} 2.0833 \\ 0 \\ 83.333 \end{pmatrix}$$

$i_{30} = 0 \qquad i_{10} = 2.083 \qquad u_{L0} = 83.333$

Незалежні початкові умови

$di_{20} := \frac{u_{L0}}{L} \qquad di_{20} = 666.664$

$du_{C0} := \frac{i_{30}}{C} \qquad du_{C0} = 0$

Залежні початкові умови

Given

$$di_{10} = di_{20} + di_{30}$$
$$0 = du_{C0} + di_{10} \cdot R$$
$$0 = di_{20} \cdot R + du_{L0} - du_{C0}$$

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

$di_{10} = 0$ $\quad di_{30} = -666.664$ $\quad du_{L0} = -2.667 \times 10^{4}$

Вільний режим після комутайії: $t = 0$

Складемо характерестичне рівняння схеми

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

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := \frac{1}{p \cdot C} \cdot (R + p \cdot L) + R \cdot \left(R + p \cdot L + \frac{1}{p \cdot C}\right) \Bigg| \begin{matrix} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -338.57 - 337.55 \cdot i \\ -338.57 + 337.55 \cdot i \end{pmatrix}$$

Одже корні характеристичного рівняння мають вигляд:

$p_1 = -338.57 - 337.55i$ $\quad p_2 = -338.57 + 337.55i$

Коефіцієнт затухання та кутова частота вільних коливань:

$\delta := |\mathrm{Re}(p_1)|$ $\quad \delta = 338.57$ $\quad \omega_0 := |\mathrm{Im}(p_2)|$ $\quad \omega_0 = 337.55$

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

$$i_{10} - i'_1 = A \cdot \sin(v_1)$$
$$di_{10} = -A \cdot \delta \cdot \sin(v_1) + A \cdot \omega_0 \cdot \cos(v_1)$$

$$\begin{pmatrix} A \\ v_1 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(A, v_1) \text{ float}, 5 \rightarrow \begin{pmatrix} 1.4754 & -1.4754 \\ -2.3577 & .78389 \end{pmatrix}$$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$A = 1.475$ $\quad v_1 = -2.358$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$$i''_1(t) := A \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_1) \text{ float}, 5 \rightarrow 1.4754 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.55 \cdot t - 2.3577)$$
$$i_1(t) := i'_1 + i''_1(t) \text{ float}, 4 \rightarrow 3.125 + 1.475 \cdot \exp(-338.6 \cdot t) \cdot \sin(337.6 \cdot t - 2.358)$$

Для струму i2(t):

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

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

$$\begin{pmatrix} B \\ v_2 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(B, v_2)\ \mathrm{float}, 5\ \rightarrow \begin{pmatrix} -1.3965 & 1.3965 \\ 2.2997 & -.84187 \end{pmatrix}$$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$B = -1.397$ $\quad v_2 = 2.3$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$$i''_2(t) := B \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_2)\ \mathrm{float}, 5\ \rightarrow -1.3965 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.55 \cdot t + 2.2997)$$

$$i_2(t) := i'_2 + i''_2(t)\ \mathrm{float}, 4\ \rightarrow 3.125 - 1.397 \cdot \exp(-338.6 \cdot t) \cdot \sin(337.6 \cdot t + 2.300)$$

Для струму i3(t):

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

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

$$\begin{pmatrix} C \\ v_3 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(C, v_3)\ \mathrm{float}, 5\ \rightarrow \begin{pmatrix} -1.9750 & 1.9750 \\ 0 & 3.1416 \end{pmatrix}$$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$C = -1.975$ $\quad v_3 = 0$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$$i''_3(t) := C \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_3)\ \mathrm{float}, 5\ \rightarrow -1.9750 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.55 \cdot t)$$

$$i_3(t) := i'_3 + i''_3(t)\ \mathrm{float}, 4\ \rightarrow -1.975 \cdot \exp(-338.6 \cdot t) \cdot \sin(337.6 \cdot t)$$

Для напруги Uc(t):

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

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

$$\begin{pmatrix} D \\ v_C \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(D, v_C)\ \left| \begin{array}{l} \mathrm{float}, 5 \\ \mathrm{complex} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -59.015 & 59.015 \\ -2.3577 & .78389 \end{pmatrix}$$

Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$D = -59.015$ $\quad v_C = -2.358$

Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$$u''_C(t) := D \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_C)\ \mathrm{float}, 5\ \rightarrow -59.015 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.55 \cdot t - 2.3577)$$

$$u_C(t) := u'_C + u''_C(t)\ \mathrm{float}, 4\ \rightarrow 55. - 59.02 \cdot \exp(-338.6 \cdot t) \cdot \sin(337.6 \cdot t - 2.358)$$

Для напруги Ul(t):

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

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

$$\begin{pmatrix} F \\ v_L \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(F, v_L)\ \left| \begin{array}{l} \mathrm{float}, 5 \\ \mathrm{complex} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -83.459 & 83.459 \\ -1.6258 & 1.5158 \end{pmatrix}$$

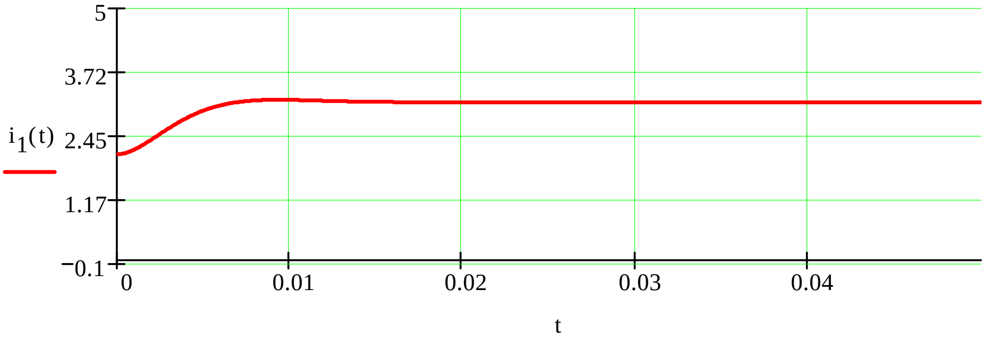
Отже сталі інтегрування дорівнюють:

$F = -83.459$ $\quad v_L = -1.626$

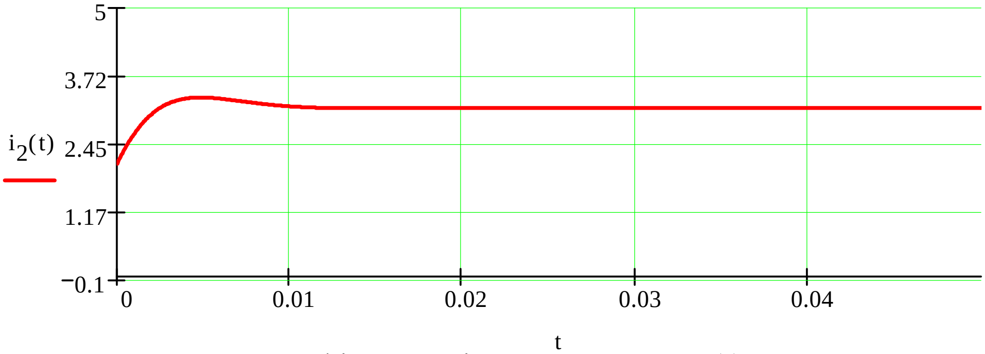
Тоді вільна складова буде мати вигляд:

$$u''_L(t) := F \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + v_L)\ \mathrm{float}, 5\ \rightarrow -83.459 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.55 \cdot t - 1.6258)$$

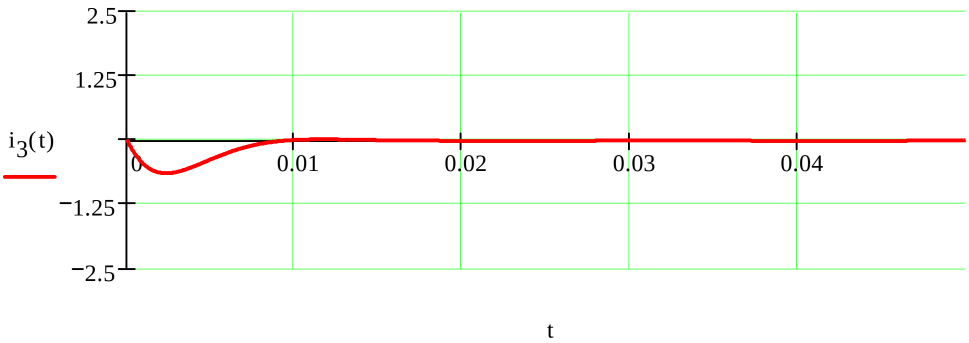
$$u_L(t) := u'_L + u''_L(t)\ \mathrm{float}, 4\ \rightarrow -83.46 \cdot \exp(-338.6 \cdot t) \cdot \sin(337.6 \cdot t - 1.626)$$



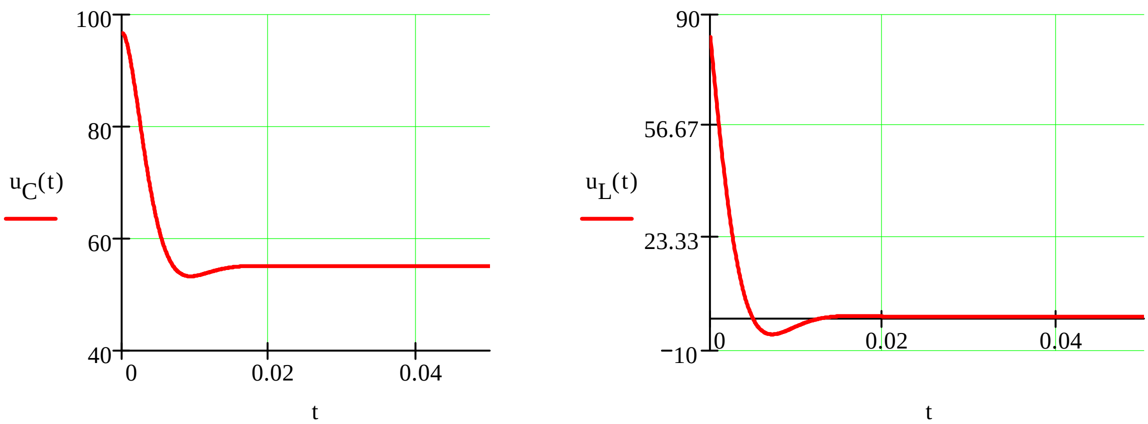
Графік перехідного струму i1(t).



Графік перехідного струму i2(t).

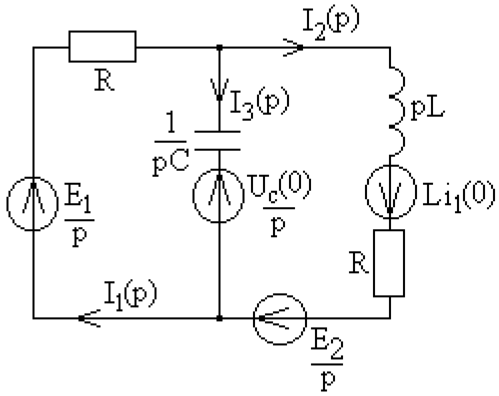


Графік перехідного струму i3(t).



Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

Операторний метод



Операторна схема

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$i_{1дк} := \frac{E_1 + E_2}{3 \cdot R}$ $\quad i_{2дк} := i_{1дк} \quad i_{2дк} = 1.667$

$i_{3дк} := 0$ $\quad u_{Lдк} := 0$

$u_{Cдк} := E_1 - i_{1дк} \cdot R$ $\quad u_{Cдк} = 96.667$

Початкові умови:

$i_{L0} := i_{2дк}$ $\quad i_{L0} = 1.667$

$u_{C0} = 96.667$

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

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

$$\Delta(p) := \left\| \begin{bmatrix} R + \frac{1}{p \cdot C} & -\left(\frac{1}{p \cdot C}\right) \\ -\left(\frac{1}{p \cdot C}\right) & \frac{1}{p \cdot C} + R + p \cdot L \end{bmatrix} \right\| \qquad \Delta(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{1}{p^{1.}} \cdot \left(3385.7 \cdot p + 1.1429 \cdot 10^{6} + 5.0000 \cdot p^{2.}\right.$$

$$\Delta_1(p) := \left\| \begin{bmatrix} \frac{E_1}{p} - \frac{u_{C0}}{p} & -\left(\frac{1}{p \cdot C}\right) \\ \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{20} & \frac{1}{p \cdot C} + R + p \cdot L \end{bmatrix} \right\| \qquad \Delta_1(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(7053.6 \cdot p + 3.5714 \cdot 10^{6} + 10.417 \cdot p^{2.}\right)}{p^{2.}}$$

$$\Delta_2(p) := \left\| \begin{bmatrix} R + \frac{1}{p \cdot C} & \frac{E_1}{p} - \frac{u_{C0}}{p} \\ -\left(\frac{1}{p \cdot C}\right) & \frac{E_2}{p} + \frac{u_{C0}}{p} + L \cdot i_{20} \end{bmatrix} \right\| \qquad \Delta_2(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(10387. \cdot p + 10.417 \cdot p^{2.} + 3.5714 \cdot 10^{6}\right)}{p^{2.}}$$

Контурні струми та напруга на конденсаторі будуть мати вигляд:

$$I_{k1}(p) := \frac{\Delta_1(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k1}(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(7053.6 \cdot p + 3.5714 \cdot 10^{6} + 10.417 \cdot p^{2.}\right)}{p^{1.} \cdot \left(3385.7 \cdot p + 1.1429 \cdot 10^{6} + 5.0000 \cdot p^{2.}\right)^{1.}}$$

$$I_{k2}(p) := \frac{\Delta_2(p)}{\Delta(p)} \qquad I_{k2}(p) \text{ float}, 5 \ \rightarrow \frac{\left(10387. \cdot p + 10.417 \cdot p^{2.} + 3.5714 \cdot 10^{6}\right)}{p^{1.} \cdot \left(3385.7 \cdot p + 1.1429 \cdot 10^{6} + 5.0000 \cdot p^{2.}\right)^{1.}}$$

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

$$u_C(p) \ \begin{vmatrix} \text{float}, 5 \\ \text{factor} \end{vmatrix} \rightarrow \frac{1}{1000} \cdot \frac{\left(3272854619 \cdot p + 628597619000 + 4833350 \cdot p^2\right)}{p \cdot \left(33857 \cdot p + 11429000 + 50 \cdot p^2\right)}$$

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

$$u_L(p) \ \text{factor} \ \rightarrow \frac{250}{3} \cdot \frac{(7 \cdot p + 2500)}{\left(1600000 + 4740 \cdot p + 7 \cdot p^2\right)}$$

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

$$N_1(p) := 7053.6 \cdot p + 3.5714 \cdot 10^6 + 10.417 \cdot p^{2.} \qquad M_1(p) := p^{1.} \cdot \left(3385.7 \cdot p + 1.1429 \cdot 10^6 + 5.0000 \cdot p^{2.}\right)^{1.}$$

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_1(p) \ \begin{vmatrix} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -338.57 - 337.57 \cdot i \\ -338.57 + 337.57 \cdot i \end{pmatrix}$$

$p_0 = 0 \qquad p_1 = -338.57 - 337.57i \qquad p_2 = -338.57 + 337.57i$

$N_1(p_0) = 3.571 \times 10^6 \qquad N_1(p_1) = 1.19 \times 10^6 + 56.502i \qquad N_1(p_2) = 1.19 \times 10^6 - 56.502i$

$$dM_1(p) := \frac{d}{dp} M_1(p) \ \text{factor} \ \rightarrow \frac{33857}{5} \cdot p + 1142900 + 15 \cdot p^2$$

$dM_1(p_0) = 1.143 \times 10^6 \qquad dM_1(p_1) = -1.14 \times 10^6 + 1.143i \times 10^6 \qquad dM_1(p_2) = -1.14 \times 10^6 - 1.143i \times 10^6$

Отже струм як функція часу буде мати вигляд:

$$i_1(t) := \frac{N_1(p_0)}{dM_1(p_0)} + \frac{N_1(p_1)}{dM_1(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_1(p_2)}{dM_1(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad i_1(0) = 2.083$$

$$i_1(t) \ \begin{vmatrix} \text{float}, 5 \\ \text{complex} \end{vmatrix} \rightarrow 3.1249 - 1.04142 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \cos(337.57 \cdot t) - 1.04458 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.57 \cdot t)$$

Для напруги на конденсаторі Uc(p):

$$N_u(p) := \frac{1}{1000} \cdot \left(3272854619 \cdot p + 628597619000 + 4833350 \cdot p \qquad M_u(p) := p \cdot \left(33857 \cdot p + 11429000 + 50 \cdot p^2\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_u(p) \ \begin{vmatrix} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -338.57 + 337.57 \cdot i \\ -338.57 - 337.57 \cdot i \end{pmatrix}$$

$p_0 = 0 \qquad p_1 = -338.57 + 337.57i \qquad p_2 = -338.57 - 337.57i$

$N_u(p_0) = 6.286 \times 10^8 \qquad N_u(p_1) = -4.762 \times 10^8 \qquad N_u(p_2) = -4.762 \times 10^8$

$$dM_u(p) := \frac{d}{dp} M_u(p) \ \text{factor} \ \rightarrow 67714 \cdot p + 11429000 + 150 \cdot p^2$$

$dM_u(p_0) = 1.143 \times 10^7 \qquad dM_u(p_1) = -1.14 \times 10^7 - 1.143i \times 10^7 \qquad dM_u(p_2) = -1.14 \times 10^7 + 1.143i \times 10^7$

Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_C(t) := \frac{N_u(p_0)}{dM_u(p_0)} + \frac{N_u(p_1)}{dM_u(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_u(p_2)}{dM_u(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad u_C(0) = 96.668$$

$$u_C(t) \left| \begin{matrix} \text{float}, 5 \\ \text{complex} \end{matrix} \right. \rightarrow 55.000 + 41.668 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \cos(337.57 \cdot t) + 41.790 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.57 \cdot t)$$

Для напруги на індуктивності:

$$N_L(p) := \frac{250}{3} \cdot (7 \cdot p + 2500) \qquad M_L(p) := \left(1600000 + 4740 \cdot p + 7 \cdot p^2\right)$$

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} := M_L(p) \left| \begin{matrix} \text{solve}, p \\ \text{float}, 5 \end{matrix} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -338.57 + 337.56 \cdot i \\ -338.57 - 337.56 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$p_1 = -338.57 + 337.56i \qquad p_2 = -338.57 - 337.56i$$

$$N_L(p_1) = 1.083 \times 10^4 + 1.969i \times 10^5 \qquad N_L(p_2) = 1.083 \times 10^4 - 1.969i \times 10^5$$

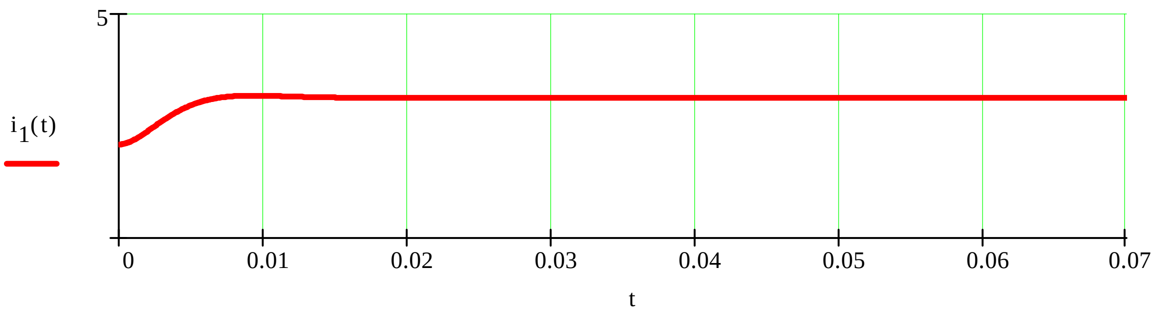
$$dM_L(p) := \frac{d}{dp} M_L(p) \text{ factor } \rightarrow 4740 + 14 \cdot p$$

$$dM_L(p_1) = 0.02 + 4.726i \times 10^3 \qquad dM_L(p_2) = 0.02 - 4.726i \times 10^3$$

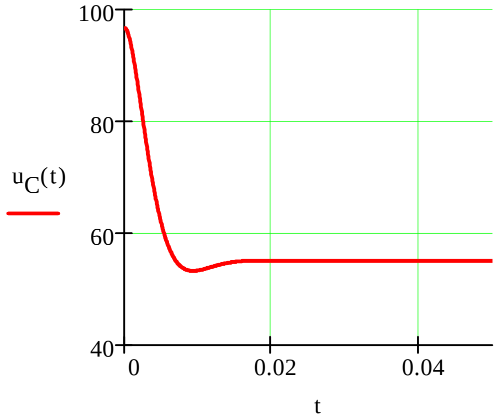
Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

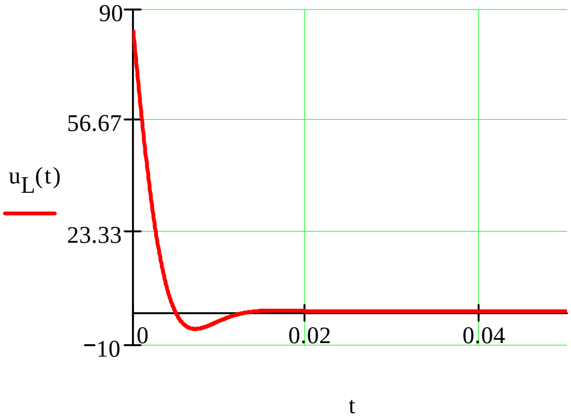
$$u_L(t) := \frac{N_L(p_1)}{dM_L(p_1)} \cdot e^{p_1 \cdot t} + \frac{N_L(p_2)}{dM_L(p_2)} \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad u_L(0) = 83.333$$

$$u_L(t) \left| \begin{matrix} \text{float}, 5 \\ \text{complex} \end{matrix} \right. \rightarrow 83.334 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \cos(337.56 \cdot t) + 4.5848 \cdot \exp(-338.57 \cdot t) \cdot \sin(337.56 \cdot t)$$



Графік перехідного струму i1(t).

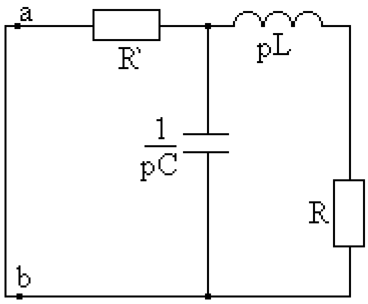




Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

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

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



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

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

$$D = 0$$

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

$$\left(R \cdot R' + \frac{L}{C}\right)^2 - 4 \cdot (R' \cdot L) \cdot \left(\frac{R'}{C} + \frac{R}{C}\right) \Bigg| \begin{matrix} \text{solve}, R' \\ \text{float}, 5 \end{matrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -40.115 \\ 14.341 \end{pmatrix}$$

$$R'_1 := 14.341$$

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

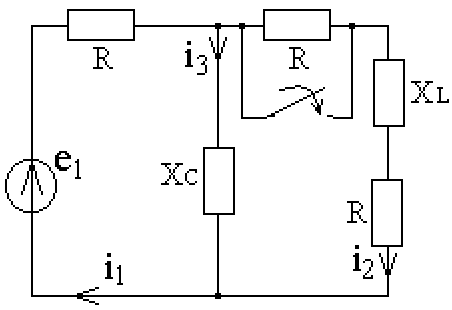
Визначити струми віток і напруги на реактивних елементах у момент комутації (t=0), якщо замість джерел постійної напруги Е1 і Е2 у колі діють джерела синусоїдної напруги:

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

$$X_C := \frac{1}{\omega \cdot C} \qquad X_C = 57.143 \qquad X_L := \omega \cdot L \qquad X_L = 31.25$$

$$E_1 := E_1 \cdot e^{\psi \cdot i} \qquad E_1 = -90 + 155.885i \qquad F(E_1) = (180 \;\; 120)$$

$$E_2 := E_2 \cdot e^{\psi \cdot i} \qquad E_2 = -35 + 60.622i \qquad F(E_2) = (70 \;\; 120)$$

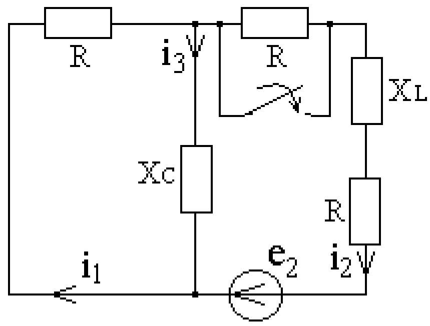


$$Z'_{vx} := R + \frac{(2R + X_L \cdot i) \cdot (-i \cdot X_C)}{2R + X_L \cdot i - i \cdot X_C} \qquad Z'_{vx} = 76.946 - 45.185i$$

$$I'_{1дк} := \frac{E_1}{Z'_{vx}} \qquad I'_{1дк} = -1.754 + 0.996i \qquad F(I'_{1дк}) = (2.017 \;\; 150.423)$$

$$I'_{2дк} := I'_{1дк} \cdot \frac{(-i \cdot X_C)}{2R + X_L \cdot i - i \cdot X_C} \qquad I'_{2дк} = 0.277 + 1.343i \qquad F(I'_{2дк}) = (1.371 \;\; 78.357)$$

$$I'_{3дк} := I'_{1дк} \cdot \frac{2R + X_L \cdot i}{2R + X_L \cdot i - i \cdot X_C} \qquad I'_{3дк} = -2.031 - 0.347i \qquad F(I'_{3дк}) = (2.06 \;\; -170.306)$$



$$Z''_{vx} := 2R + X_L \cdot i + \frac{R \cdot (-i \cdot X_C)}{R - i \cdot X_C} \qquad Z''_{vx} = 106.846 + 12.458i$$

$$I''_{2дк} := \frac{E_2}{Z''_{vx}} \qquad I''_{2дк} = -0.258 + 0.597i \qquad F(I''_{2дк}) = (0.651 \quad 113.349)$$

$$I''_{1дк} := I''_{2дк} \cdot \frac{(-i \cdot X_C)}{R - i \cdot X_C} \qquad I''_{1дк} = 0.108 + 0.522i \qquad F(I''_{1дк}) = (0.533 \quad 78.357)$$

$$I''_{3дк} := I''_{2дк} \cdot \frac{R}{R - i \cdot X_C} \qquad I''_{3дк} = -0.365 + 0.075i \qquad F(I''_{3дк}) = (0.373 \quad 168.357)$$

$$I_{1дк} := I'_{1дк} + I''_{1дк} \qquad I_{1дк} = -1.647 + 1.518i \qquad F(I_{1дк}) = (2.24 \quad 137.333)$$

$$I_{2дк} := I'_{2дк} + I''_{2дк} \qquad I_{2дк} = 0.019 + 1.94i \qquad F(I_{2дк}) = (1.94 \quad 89.447)$$

$$I_{3дк} := I'_{3дк} - I''_{3дк} \qquad I_{3дк} = -1.665 - 0.422i \qquad F(I_{3дк}) = (1.718 \quad -165.773)$$

$$u_{Cдк} := I_{3дк} \cdot (-i \cdot X_C) \qquad u_{Cдк} = -24.129 + 95.171i \qquad F(u_{Cдк}) = (98.183 \quad 104.227)$$

$$u_{Lдк} := I_{1дк} \cdot i \cdot X_L \qquad u_{Lдк} = -47.432 - 51.461i \qquad F(u_{Lдк}) = (69.986 \quad -132.667)$$

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

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

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

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

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

Початкові умови:

$u_{Cдк}(0) = 134.593$

$i_{Lдк}(0) = 2.744$

Given

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

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

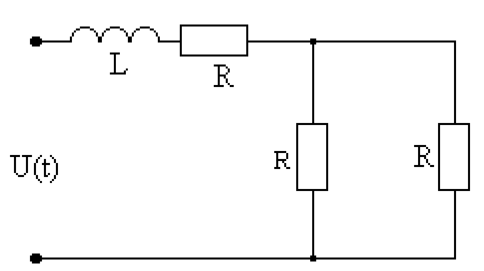
$$e_2(0) = i_{20} \cdot R + u_{L0} - u_{C0}$$

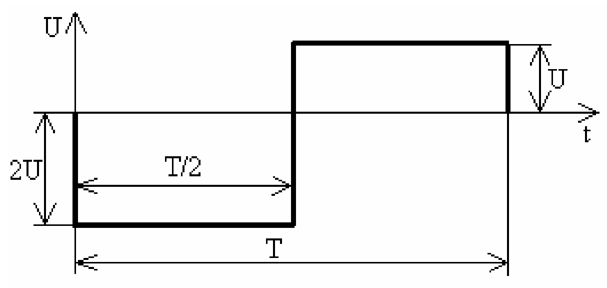
$$\begin{pmatrix} i_{10} \\ i_{30} \\ u_{L0} \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{L0})$$

$i_{10} = 2.147 \qquad i_{20} = 2.744 \qquad i_{30} = -0.597 \qquad u_{L0} = 110.576 \qquad u_{C0} = 134.593$

Інтеграл Дюамеля

$T := 0.85 \qquad E_1 := 180 \qquad E := 1$





За допомогою класичного метода визначим:

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

$p := 1.5 \cdot R + p \cdot L \,\Big|\, \begin{matrix}\text{solve}, p\\ \text{float}, 5\end{matrix} \rightarrow -480. \qquad p = -480 \qquad T := \frac{1}{|p|} \cdot T \qquad T = 1.771 \times 10^{-3}$

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

$U_L(t) := L \cdot \frac{d}{dt} i_1(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 1.0000 \cdot \exp(-480. \cdot t)$

$g_{11}(t) := i_1(t) \qquad g_{11}(t) \text{ float}, 5 \rightarrow 1.6667 \cdot 10^{-2} - 1.6667 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(-480. \cdot t)$

$h_{uL}(t) := U_L(t) \rightarrow 1.0000 \cdot \exp(-480. \cdot t)$

Визначимо закони зміни напруги на всіх проміжках часу:

$U_0 := -2E_1 \qquad U_0 = -360$

$U_1 := -2E_1 \qquad U_1 = -360 \qquad 0 < t < \frac{T}{2}$

$U_2 := E_1 \qquad U_2 = 180 \qquad \frac{T}{2} < t < T$

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

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

Струм на цих проміжках буде мати вигляд:

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

$i_1(t) \,\Big|\, \begin{matrix}\text{factor}\\ \text{float}, 3\end{matrix} \rightarrow -6. + 6. \cdot \exp(-480. \cdot t)$

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

$i_2(t) \text{ float}, 3 \rightarrow 3.00 + 6.00 \cdot \exp(-480. \cdot t) - 9.00 \cdot \exp(-480. \cdot t + .425)$

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

$i_3(t) \,\Big|\, \begin{matrix}\text{factor}\\ \text{float}, 3\end{matrix} \rightarrow 6. \cdot \exp(-480. \cdot t) - 9. \cdot \exp(-480. \cdot t + .425) + 3. \cdot \exp(-480. \cdot t + .850)$

Напруга на індуктивністі на цих проміжках буде мати вигляд:

$$u_{L1}(t) := U_0 \cdot h_{uL}(t) \text{ float}, 5 \;\rightarrow -360.00 \cdot \exp(-480. \cdot t)$$

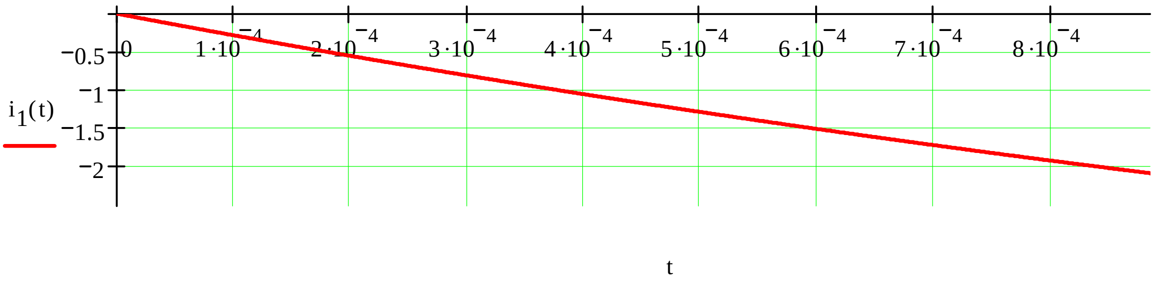
$$u_{L2}(t) := U_0 \cdot h_{uL}(t) + \left(U_2 - U_1\right) \cdot h_{uL}\left(t - \frac{T}{2}\right)$$

$$u_{L2}(t) \text{ float}, 5 \;\rightarrow -360.00 \cdot \exp(-480. \cdot t) + 540.00 \cdot \exp(-480. \cdot t + .42500)$$

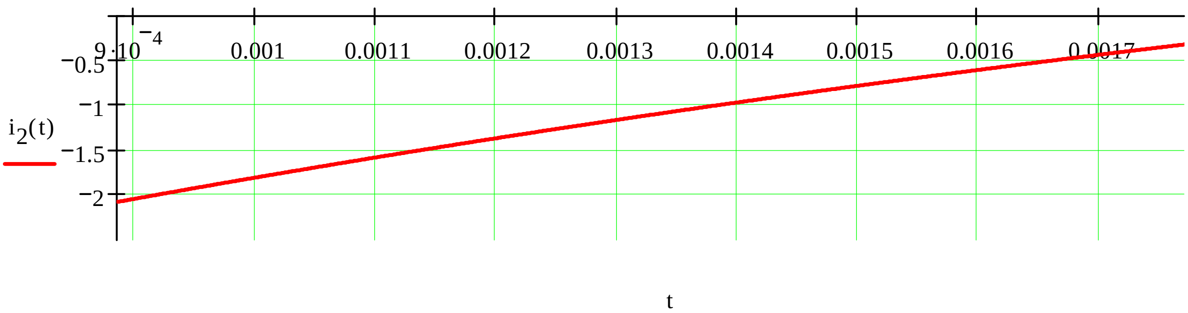
$$u_{L3}(t) := U_0 \cdot h_{uL}(t) + \left(U_2 - U_1\right) \cdot h_{uL}\left(t - \frac{T}{2}\right) + \left(U_3 - U_2\right) \cdot h_{uL}(t - T)$$

$$u_{L3}(t) \text{ float}, 5 \;\rightarrow -360.00 \cdot \exp(-480. \cdot t) + 540.00 \cdot \exp(-480. \cdot t + .42500) - 180.00 \cdot \exp(-480. \cdot t + .85000)$$

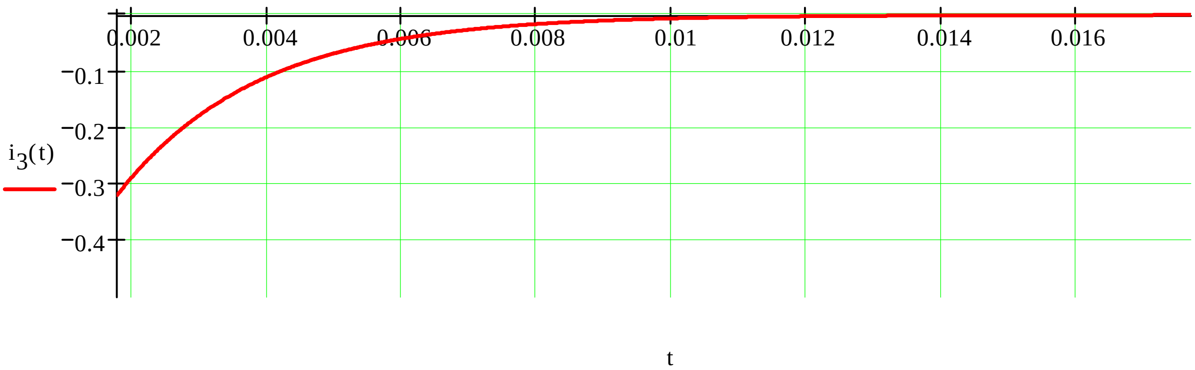
На промежутке от 0 до T/2



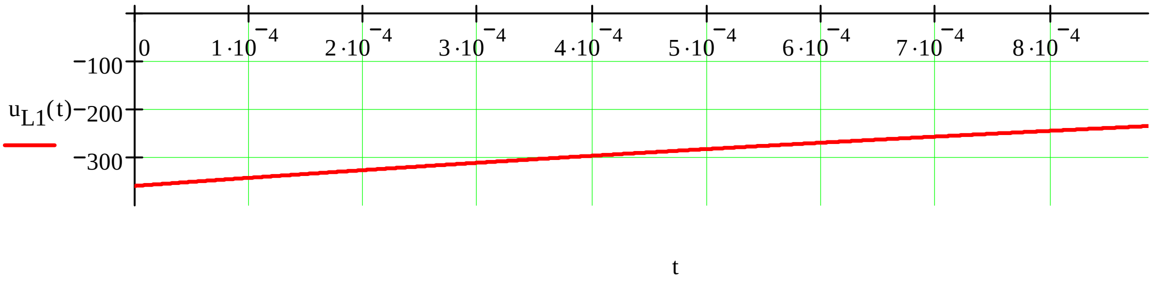
На промежутке от T/2 до T



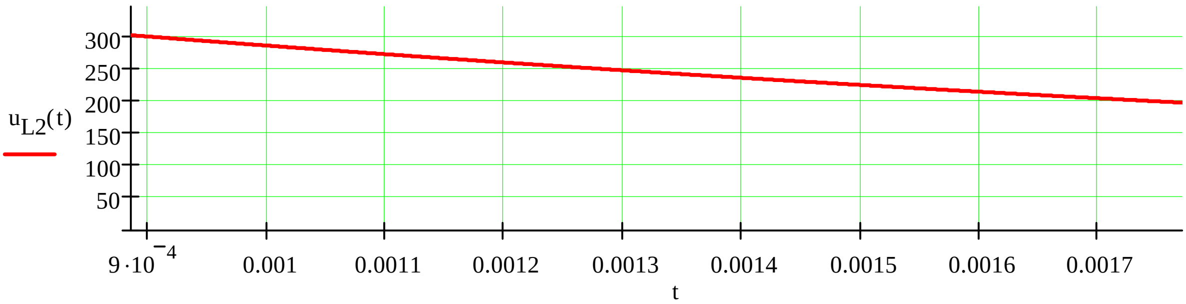
На промежутке от T до 10T



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