

Умова завдання

1. В колі з джерелом постійної ЕДС необхідно:

- 1) класичним методом розрахувати напруги на реактивних елементах та струми перехідного процесу;
- 2) розрахувати струм в колі з джерелом ЕДС E_1 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 E_1 , 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 E_1 і E_2 в колі діють синусоїдні джерела.

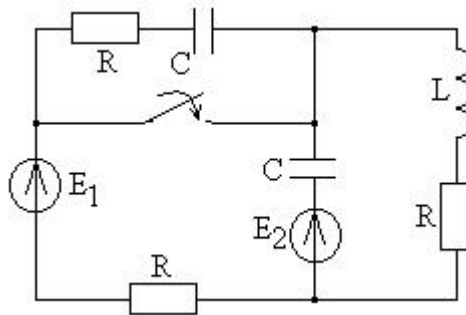
3. В післякомутаційній схемі замкнути джерело ЕДС E_2 .

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

б) вважаючи, що замість джерела постійної ЕДС E_1 до отриманого 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 елементах.



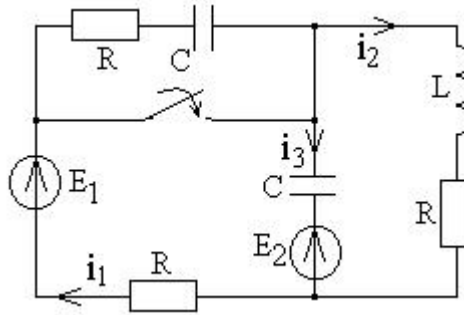
Основна схема

Вхідні данні:

$L := 0.19$	Гн	$C := 250 \times 10^{-6}$	Ф	$R := 70$	Ом		
$E_1 := 90$	В	$E_2 := 60$	В	$y := 45 \times \text{deg}$	С0	$w := 200$	с^{-1}
1		2					

Класичний метод

Оберемо додатній напрямок струмів у вітках схеми:



Знайдемо значення струмів та напруг безпосередньо до комутації:

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$$i_{1\text{ДК}} := 0 \quad i_{2\text{ДК}} := i_{1\text{ДК}} \quad i_{2\text{ДК}} = 0$$

$$i_{3\text{ДК}} := 0$$

$$u_{\text{CДК}} := E_2 \quad u_{\text{CДК}} = 60 \quad u_{\text{LДК}} := 0$$

Усталений режим після комутації: $t = 0^+$

$$i'1 := \frac{E_1}{2 \times R} \quad i'2 := i'1 \quad i'2 = 0.643$$

$$i'3 := 0 \quad u'L := 0$$

$$u'C := E_1 - E_2 - i'1 \times R \quad u'C = -15$$

Незалежні початкові умови

$$i_{20} := i_{2\text{ДК}} \quad i_{20} = 0$$

$$u_{\text{C}0} := u_{\text{CДК}} \quad u_{\text{C}0} = 60$$

Залежні початкові умови

Given

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

$$E_1 - E_2 = u_{\text{C}0} + i_{10} \times R$$

$$E_2 = i_{20} \times R + u_{\text{L}0} - u_{\text{C}0}$$

$$i_{10} := \text{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{\text{L}0}) \text{ float, 7} \quad i_{10} = -0.4285714$$

$$i_{30} := \text{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{\text{L}0}) \text{ float, 7} \quad i_{30} = -0.4285714$$

$$u_{\text{L}0} := \text{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{\text{L}0}) \text{ float, 7} \quad u_{\text{L}0} = 120$$

$$i_{10} = -0.429 \quad i_{30} = -0.429 \quad u_{\text{L}0} = 120$$

Незалежні початкові умови

$$di_{20} := \frac{u_{\text{L}0}}{L} \quad di_{20} = 631.579$$

$$du_{\text{C}0} := \frac{i_{30}}{C} \quad du_{\text{C}0} = -1.714 \times 10^{-3}$$

Залежні початкові умови

Given

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

$$0 = du_{\text{C}0} + di_{10} \times R$$

$$0 = di_{20} \times R + du_{\text{L}0} - du_{\text{C}0}$$

$$\begin{aligned} & \text{Find } di_{10}, di_{30}, du_{L0} \\ & di_{10} = 24.49 \quad di_{30} = -607.089 \quad du_{L0} = -4.592 \cdot 10^4 \end{aligned}$$

Вільний режим після комутайії: $t = 0$

Складемо характеристичне рівняння схеми

$$Z(p) := \frac{\frac{1}{p \times C} \times (R + p \times L)}{R + p \times L + \frac{1}{p \times C}} + R \quad Z(p) := \frac{\frac{1}{p \times C} \times (R + p \times L) + R \times \frac{1}{p \times C}}{R + p \times L + \frac{1}{p \times C}}$$

$$\begin{aligned} & \text{Solve } p^2 + 269.09p - 156.47 = 0 \\ & p_1 = -269.09 \quad p_2 = -156.47 \end{aligned}$$

Отже корні характеристичного рівняння мають вигляд:

$$p_1 = -269.09 \quad p_2 = -156.47$$

Вільні складові повних струмів та напруг будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} i''(t) &= A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \\ i''_1(t) &= B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t} \\ i''_3(t) &= C_1 e^{p_1 t} + C_2 e^{p_2 t} \\ u''_c(t) &= D_1 e^{p_1 t} + D_2 e^{p_2 t} \\ u''_L(t) &= F_1 e^{p_1 t} + F_2 e^{p_2 t} \end{aligned}$$

Визначення сталих інтегрування:

Given

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

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

$$\begin{aligned} & \text{Find}(A_1, A_2) \quad A_1 = 1.271 \quad A_2 = -2.343 \end{aligned}$$

Отже вільна складова струму $i_1(t)$ буде мати вигляд:

$$i''_1(t) := A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \quad \text{float, 5} \quad @ 1.2711 \times \exp(-269.09 \times t) - 2.3426 \times \exp(-156.47 \times t)$$

$$i_1(t) := i'_1 + i''_1(t) \quad \text{float, 5} \quad @ .64286 + 1.2711 \times \exp(-269.09 \times t) - 2.3426 \times \exp(-156.47 \times t) \quad i_1(0) = -0.429$$

Given

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

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

$$\begin{aligned} & \text{Find}(B_1, B_2) \quad B_1 = -4.715 \quad B_2 = 4.072 \end{aligned}$$

Отже вільна складова струму $i_2(t)$ буде мати вигляд:

$$i''_2(t) := B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t} \quad \text{float, 5} \quad @ -4.7149 \times \exp(-269.09 \times t) + 4.0720 \times \exp(-156.47 \times t)$$

$$i_2(t) := i'_2 + i''_2(t) \quad \text{float, 5} \quad @ .64286 - 4.7149 \times \exp(-269.09 \times t) + 4.0720 \times \exp(-156.47 \times t) \quad i_2(0) = -4 \cdot 10^{-5}$$

Given

$$i_3 - i_3 = C_1 + C_2$$

$$di_3 - 0 = p_1 \times C_1 + p_2 \times C_2$$

$$\begin{matrix} \text{C} \\ \text{1} \\ \text{0} \end{matrix} := \text{Find}(C_1, C_2) \quad C_1 = 5.986 \quad C_2 = -6.415$$

Отже вільна складова струму $i_3(t)$ буде мати вигляд:

$$i_3''(t) := C_1 \times e^{p_1 \times t} + C_2 \times e^{p_2 \times t} \quad \text{float, 5} \quad @ \quad 5.9860 \times \exp(-269.09 \times t) - 6.4146 \times \exp(-156.47 \times t)$$

$$i_3(t) := i_3 + i_3''(t) \quad \text{float, 5} \quad @ \quad 5.9860 \times \exp(-269.09 \times t) - 6.4146 \times \exp(-156.47 \times t) \quad i_3(0) = -0.429$$

Given

$$u_C - u_C = D_1 + D_2 \quad du_C$$

$$-0 = p_1 \times D_1 + p_2 \times D_2$$

$$\begin{matrix} \text{D} \\ \text{1} \\ \text{0} \end{matrix} := \text{Find}(D_1, D_2) \quad D_1 = -88.98 \quad D_2 = 163.98$$

Отже вільна складова напруга на конденсаторі буде мати вигляд:

$$p_1 \times t \quad p_2 \times t \quad \text{float, 6} \quad @ \quad -88.9803 \times \exp(-269.09 \times t) + 163.980 \times \exp(-156.47 \times t) \\ @ \quad -15. - 88.980 \times \exp(-269.09 \times t) + 163.98 \times \exp(-156.47 \times t)$$

$$u_C(t) := D_1 \times e^{p_1 \times t} + D_2 \times e^{p_2 \times t}$$

$$u_C(t) := u_C + u_C''(t) \quad \text{float, 5}$$

Given

$$u_L - u_L = F_1 + F_2 \quad du_L$$

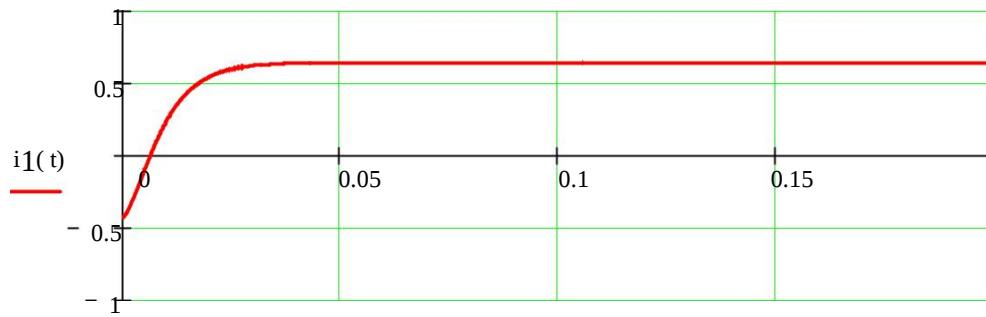
$$-0 = p_1 \times F_1 + p_2 \times F_2 \quad F_1 = 241.062 \quad F_2 = -121.062$$

$$\begin{matrix} \text{F} \\ \text{1} \\ \text{0} \end{matrix} := \text{Find}(F_1, F_2)$$

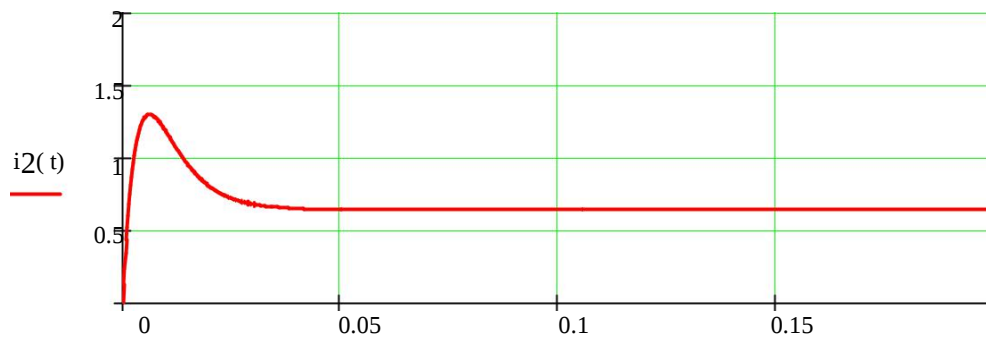
Отже вільна складова напруга на індуктивності буде мати вигляд:

$$u_L''(t) := F_1 \times e^{p_1 \times t} + F_2 \times e^{p_2 \times t} \quad \text{float, 5} \quad @ \quad 241.06 \times \exp(-269.09 \times t) - 121.06 \times \exp(-156.47 \times t)$$

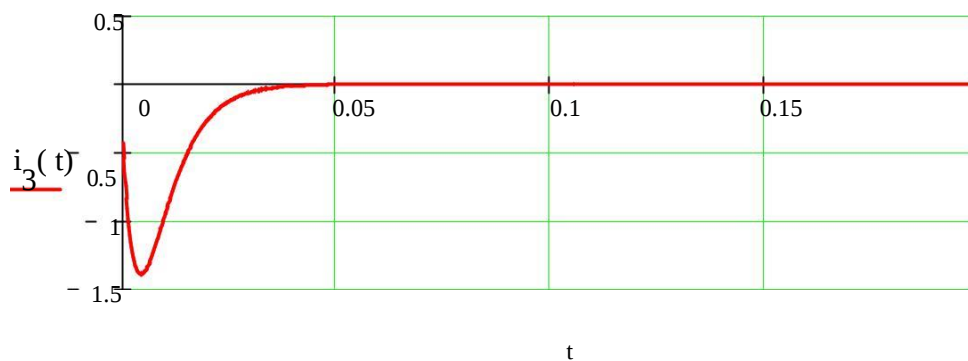
$$u_L(t) := u_L + u_L''(t) \quad \text{float, 5} \quad @ \quad 241.06 \times \exp(-269.09 \times t) - 121.06 \times \exp(-156.47 \times t) \quad u_L(0) = 120$$



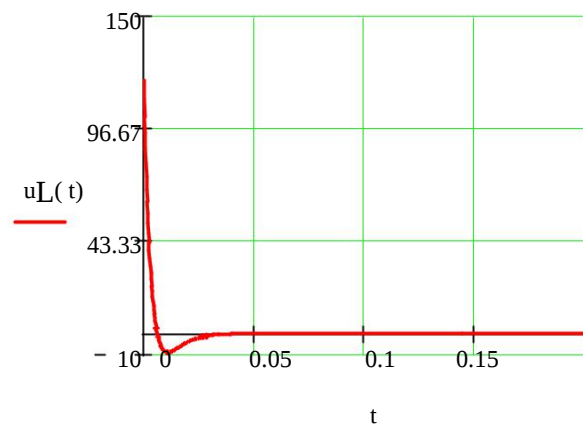
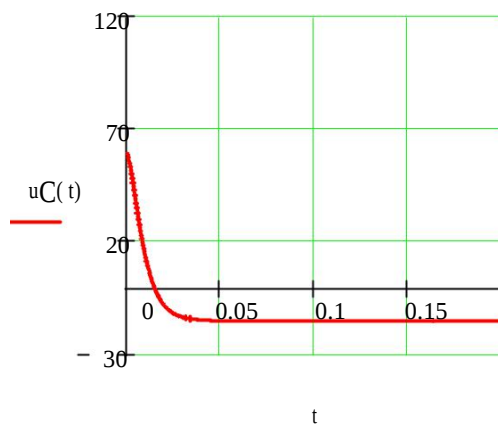
Графік перехідного струму $i_1(t)$.



Графік перехідного струму $i_2(t)$.

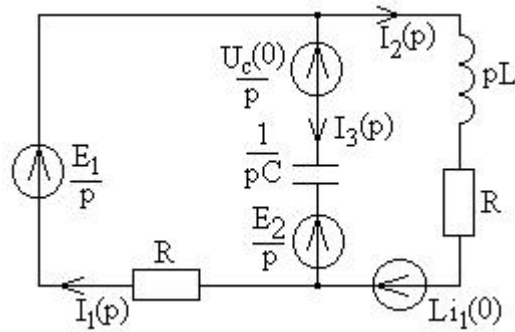


Графік перехідного струму $i_3(t)$.



Графік перехідних напруг на ємності та індуктивності.

Операторний метод



Операторна схема

Усталений режим до комутації: $t < 0$

$$i_{1\text{ДК}} := 0 \quad i_{2\text{ДК}} := i_{1\text{ДК}} \quad i_{2\text{ДК}} = 0$$

$$i_{3\text{ДК}} := 0$$

$$u_{\text{СДК}} := \frac{E_2 - E_1}{2} \quad u_{\text{СДК}} = -15 \quad u_{\text{ЛДК}} := -u_{\text{СДК}} + E_2 \quad u_{\text{ЛДК}} = 75$$

Початкові умови:

$$i_{\text{L0}} := i_{2\text{ДК}} \quad i_{\text{L0}} = 0$$

$$u_{\text{C0}} = 60$$

$$\begin{aligned} I_1(p) \times \left(R + \frac{1}{p \times C} \right) - I_2(p) \times \frac{1}{p \times C} &= \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{\text{C0}}}{p} \\ -I_1(p) \times \frac{1}{p \times C} + I_2(p) \times (p \times L + R + \frac{1}{p \times C}) &= \frac{E_2}{p} + \frac{u_{\text{C0}}}{p} + L \times i_{20} \end{aligned}$$

$$D(p) := \begin{vmatrix} \frac{1}{p \times C} & -\frac{1}{p \times C} \\ -\frac{1}{p \times C} & p \times L + R + \frac{1}{p \times C} \end{vmatrix}$$

$$D(p) \text{ float,5 } @ 1 \times (5660.0 \times p + 13.30 \times p^2 + 5.6000 \times 10^5) p^1.$$

$$D1(p) := \begin{vmatrix} \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{\text{C0}}}{p} & -\frac{1}{p \times C} \\ \frac{E_2}{p} + \frac{u_{\text{C0}}}{p} + L \times i_{20} & p \times L + R + \frac{1}{p \times C} \end{vmatrix}$$

$$D1(p) \text{ float,5 } @ -1. \times (2100. \times p + 5.70 \times p^2 - 3.6000 \times 10^5) p^2.$$

$$D2(p) := \begin{vmatrix} \frac{1}{p \times C} & \frac{E_1}{p} - \frac{E_2}{p} - \frac{u_{\text{C0}}}{p} \\ -\frac{1}{p \times C} & \frac{E_2}{p} + \frac{u_{\text{C0}}}{p} + L \times i_{20} \end{vmatrix}$$

$$D2(p) \text{ float,5 } @ 1200. \times \frac{(7. \times p + 300.)}{p^2}.$$

Контурні струми та напруга на конденсаторі будуть мати вигляд:

$$I_{k1}(p) := \frac{D1(p)}{D(p)} \quad I_1(p) := I_{k1}(p) \cdot \frac{(2100 \cdot p + 5.70 \cdot p^2 - 3.6000 \cdot 10^5)}{p^1 \cdot (5660.0 \cdot p + 13.30 \cdot p^2 + 5.6000 \cdot 10^5)^1}$$

$$I_{k2}(p) := \frac{D2(p)}{D(p)} \quad I_2(p) := I_{k2}(p) \cdot \frac{(7 \cdot p + 300)}{p^1 \cdot (5660.0 \cdot p + 13.30 \cdot p^2 + 5.6000 \cdot 10^5)^1}$$

$$I_3(p) := I_{k1}(p) - I_{k2}(p) \quad \left| \begin{array}{l} \text{float, 5} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \cdot \frac{(35000. + 19 \cdot p)}{(5600000. + 56600 \cdot p + 133 \cdot p^2)}$$

$$u_C(p) := \frac{u_{C0}}{C} + \frac{I_3(p)}{p \times C} \quad \left| \begin{array}{l} \text{factor} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \cdot \frac{(-1400000 + 52800 \cdot p + 133 \cdot p^2)}{(5600000 + 56600 \cdot p + 133 \cdot p^2) \cdot p}$$

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

$$u_L(p) \quad \left| \begin{array}{l} \text{factor} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \cdot \frac{(7 \cdot p + 300)}{(5600000 + 56600 \cdot p + 133 \cdot p^2)}$$

Перейдемо тепер від зображення до функції часу за формулою розкладу: Для струму $I_1(p)$:

$$N_1(p) := -1 \cdot (2100 \cdot p + 5.70 \cdot p^2 - 3.6000 \cdot 10^5) \quad M_1(p) := p^1 \cdot (5660.0 \cdot p + 13.30 \cdot p^2 + 5.6000 \cdot 10^5)^1$$

$$\begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, 5} \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} \text{float, 5} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 0 \\ -269.09 \end{array}$$

$$p_0 = 0$$

$$p_1 = -269.09$$

$$p_2 = -156.47$$

$$N_1(p_0) = 3.6 \cdot 10^5$$

$$N_1(p_1) = 5.124 \cdot 10^5$$

$$N_1(p_2) = 5.49 \cdot 10^5$$

$$dM_1(p) := \frac{d}{dp} M_1(p) \quad \left| \begin{array}{l} \text{factor} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \cdot \frac{11320 \cdot p + 39.900 \cdot p^2 + 5.6000 \cdot 10^5}{(5660.0 \cdot p + 13.30 \cdot p^2 + 5.6000 \cdot 10^5)^1}$$

$$dM_1(p_0) = 5.6 \cdot 10^5$$

$$dM_1(p_1) = 4.03 \cdot 10^5$$

$$dM_1(p_2) = -2.344 \cdot 10^5$$

Отже струм як функція часу буде мати вигляд:

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

$$i_1(t) \quad \left| \begin{array}{l} \text{float, 5} \\ \text{complex} \end{array} \right. \cdot .64286 + 1.2712 \cdot \exp(-269.09 \cdot t) - 2.3426 \cdot \exp(-156.47 \cdot t)$$

Для напруги на конденсаторі $U_C(p)$:

$$N_U(p) := 60 \cdot (-1400000 + 52800 \cdot p + 133 \cdot p^2)$$

$$M_U(p) := p \cdot (5600000 + 56600 \cdot p + 133 \cdot p^2)$$

$$\begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, 5} \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} \text{float, 5} \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 0 \\ -156.47 \end{array}$$

$$p_0 = 0$$

$$p_1 = -156.47$$

$$p_2 = -269.09$$

$$N(p_0) = -8.4 \cdot 10^7 \quad N(p_1) = -3.843 \cdot 10^8$$

$$N(p_2) = -3.586 \cdot 10^8$$

$$dM(p) := \frac{d}{dp} M(p) \text{ factor } @ 5600000 + 113200 \times p + 399 \times p^2$$

$$dM(p_0) = 5.6 \cdot 10^6$$

$$dM(p_1) = -2.344 \cdot 10^6$$

$$dM(p_2) = 4.03 \cdot 10^6$$

Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

$$u_C(t) := \frac{N(p_0)}{dM(p_0)} e^{p_0 t} + \frac{N(p_1)}{dM(p_1)} e^{p_1 t} + \frac{N(p_2)}{dM(p_2)} e^{p_2 t}$$

$$u_C(0) = 59.992$$

$$u_C(t) \Big|_{\text{float, 5}} \Big|_{\text{complex}} @ -15. + 163.98 \times \exp(-156.47 \times t) - 88.987 \times \exp(-269.09 \times t)$$

Для напруги на індуктивності:

$$N_L(p) := 2280 \times (7 \times p + 300)$$

$$M_L(p) := (5600000 + 56600 \times p + 133 \times p^2)$$

$$\begin{aligned} & p_1 \text{ } \emptyset \\ & \zeta \div := M_L(p) \Big|_{\text{float, 5}} \Big|_{\text{complex}} @ -156.47 \text{ } \emptyset \\ & p_2 \text{ } \emptyset \end{aligned}$$

$$p_1 = -156.47 \quad p_2 = -269.09$$

$$N_L(p_1) = -1.813 \cdot 10^6$$

$$N_L(p_2) = -3.611 \cdot 10^6$$

$$dM_L(p) := \frac{d}{dp} M_L(p) \text{ factor } @ 56600 + 266 \times p$$

$$dM_L(p_1) = 1.498 \cdot 10^4$$

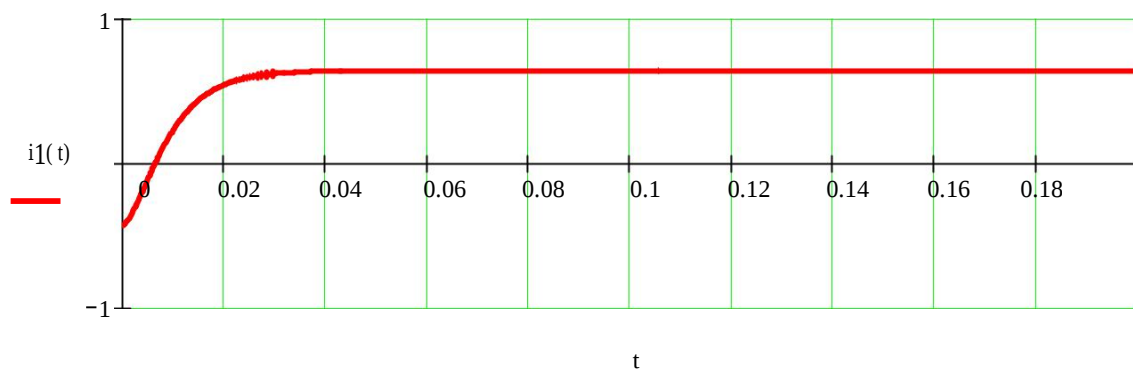
$$dM_L(p_2) = -1.498 \cdot 10^4$$

Отже напруга як функція часу буде мати вигляд:

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

$$u_L(0) = 120.013$$

$$u_L(t) \Big|_{\text{float, 5}} \Big|_{\text{complex}} @ -121.05 \times \exp(-156.47 \times t) + 241.07 \times \exp(-269.09 \times t)$$

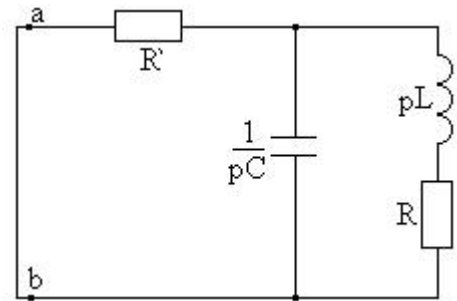


Графік перехідного струму $i_L(t)$.

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

$$Z(p) = R' + \frac{\frac{1}{p \times C} \times (R + p \times L)}{\frac{1}{p \times C} + R + p \times L}$$

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



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

$$D = 0$$

$$R \times R' + \frac{L}{C} - 4 \times (R' \times L) \times \frac{R}{C} + \frac{R}{C} = 0$$

$$R \times R' + \frac{L}{C} - 4 \times (R' \times L) \times \frac{R}{C} + \frac{R}{C} \quad \left| \begin{array}{l} \text{solve, } R' \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \approx 6.0734 \\ \approx 51.131 \end{array}$$

Визначити струми віток і напруги на реактивних елементах у момент комутації (t=0), якщо замість джерел постійної напруги E1 і E2 у колі діють джерела синусоїдної напруги:

$$e_1(t) := \sqrt{2} \times E_1 \times \sin(\omega \times t + y)$$

$$e_2(t) := \sqrt{2} \times E_2 \times \sin(\omega \times t + y)$$

$$X_C := \frac{1}{\omega \times C}$$

$$X_C = 20$$

$$X_L := \omega \times L$$

$$X_L = 38$$

$$E_1 := E_1 \times e^{y \times i}$$

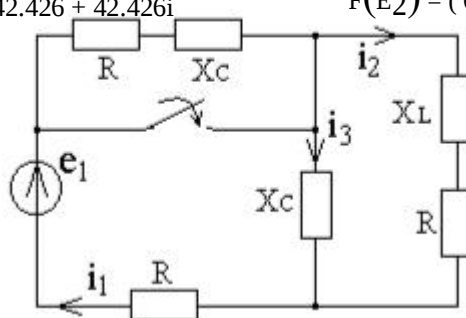
$$E_1 = 63.64 + 63.64i$$

$$F(E_1) = (90 \quad 45)$$

$$E_2 := E_2 \times e^{y \times i}$$

$$E_2 = 42.426 + 42.426i$$

$$F(E_2) = (60 \quad 45)$$



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

$$Z'_{vx} = 145.36 - 41.378i$$

$$\Gamma'_{1ДК} := \frac{E_1}{Z'_{vx}}$$

$$\Gamma'_{1ДК} = 0.29 + 0.52i$$

$$F(\Gamma'_{1ДК}) = (0.595 \quad 60.89)$$

$$\Gamma'_{2ДК} := \Gamma'_{1ДК} \times \frac{(-i \times X_C)}{R + X_L \times i - i \times X_C}$$

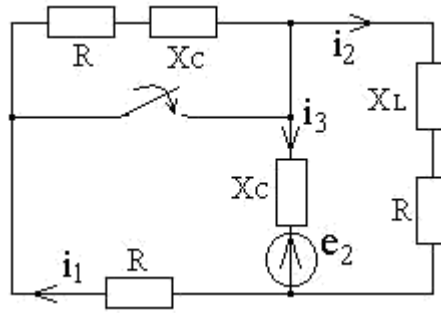
$$\Gamma'_{2ДК} = 0.119 - 0.113i$$

$$F(\Gamma'_{2ДК}) = (0.165 \quad -43.531)$$

$$\Gamma'_{3ДК} := \Gamma'_{1ДК} - \Gamma'_{2ДК}$$

$$\Gamma'_{3ДК} = 0.17 + 0.634i$$

$$F(\Gamma'_{3ДК}) = (0.656 \quad 74.964)$$



$$Z''_{vx} := -X_C \times i + \frac{(R + i \times X_L) \times (2 \times R - i \times X_C)}{R + i \times X_L + R + R - i \times X_C} \quad Z''_{vx} = 51.507 - 5.748i$$

$$I''_{3DK} := \frac{E_2}{Z''_{vx}} \quad I''_{3DK} = 0.723 + 0.904i \quad F(I''_{3DK}) = (1.158 \ 51.368)$$

$$I''_{1DK} := I''_{3DK} \times \frac{(R + i \times X_L)}{R + i \times X_L + R + R - i \times X_C} \quad I''_{1DK} = 0.113 + 0.423i \quad F(I''_{1DK}) = (0.437 \ 74.964)$$

$$I''_{2DK} := I''_{3DK} - I''_{1DK} \quad I''_{2DK} = 0.609 + 0.482i \quad F(I''_{2DK}) = (0.777 \ 38.339)$$

$$I_{1DK} := I'_{1DK} + I''_{1DK} \quad I_{1DK} = 0.403 + 0.943i \quad F(I_{1DK}) = (1.025 \ 66.845)$$

$$I_{2DK} := I'_{2DK} + I''_{2DK} \quad I_{2DK} = 0.729 + 0.368i \quad F(I_{2DK}) = (0.817 \ 26.815)$$

$$I_{3DK} := I'_{3DK} - I''_{3DK} \quad I_{3DK} = -0.553 - 0.271i \quad F(I_{3DK}) = (0.615 \ -153.908)$$

$$u_{CDK} := I_{3DK} \times (-i \times X_C) \quad u_{CDK} = -5.412 + 11.051i \quad F(u_{CDK}) = (12.305 \ 116.092)$$

$$u_{LDK} := I_{1DK} \times i \times X_L \quad u_{LDK} = -35.826 + 15.322i \quad F(u_{LDK}) = (38.965 \ 156.845)$$

$$i_{1DK}(t) := |I_{1DK}| \times \sqrt{2} \times \sin(w \times t + \arg(I_{1DK}))$$

$$i_{2DK}(t) := |I_{2DK}| \times \sqrt{2} \times \sin(w \times t + \arg(I_{2DK}))$$

$$i_{3DK}(t) := |I_{3DK}| \times \sqrt{2} \times \sin(w \times t + \arg(I_{3DK}))$$

$$u_{CDK}(t) := |u_{CDK}| \times \sqrt{2} \times \sin(w \times t + \arg(u_{CDK}))$$

$$u_{LDK}(t) := |u_{LDK}| \times \sqrt{2} \times \sin(w \times t + \arg(u_{LDK}))$$

Початкові умови:

$$u_{CDK}(0) = 15.628$$

$$i_{20} = 0.521$$

Given

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

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

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

$$\begin{aligned} & \text{æ } i_{10} \ddot{0} \\ & \text{ç } \div \\ & \text{ç } i_{30} \div := \text{Find}(i_{10}, i_{30}, u_{L0}) \\ & \text{ç } u \div \\ & \text{è } L0 \text{ } \emptyset \end{aligned}$$

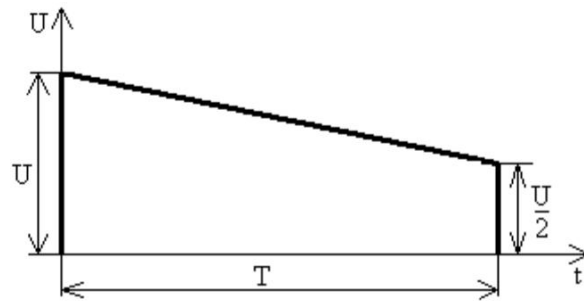
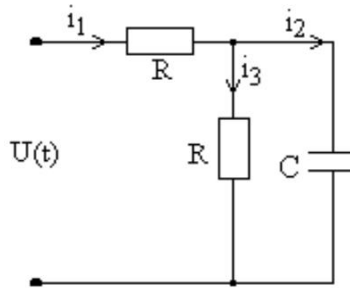
$$i_{10} = 0.205 \quad i_{20} = 0.521 \quad i_{30} = -0.316 \quad u_{L0} = 39.163 \quad u_{C0} = 15.628$$

Інтеграл Дюамеля

$$T := 0.9$$

$$E1 := 90$$

$$E := 1$$



Усталений режим до комутації: $t < 0$

$$i_{1\text{ДК}} := \frac{0}{R + R}$$

$$i_{1\text{ДК}} = 0$$

$$i_{3\text{ДК}} := i_{1\text{ДК}}$$

$$i_{3\text{ДК}} = 0$$

$$i_{2\text{ДК}} := 0$$

$$i_{2\text{ДК}} = 0$$

$$u_{\text{СДК}} := 0 - i_{1\text{ДК}} \times R$$

$$u_{\text{СДК}} = 0$$

Усталений режим після комутації: $t = \infty$

$$i'1 := \frac{E}{R + R}$$

$$i'1 = 7.143 \cdot 10^{-3}$$

$$i'3 := i'1$$

$$i'3 = 7.143 \cdot 10^{-3}$$

$$i'2 := 0$$

$$i'2 = 0$$

$$u'_{\text{C}} := E - i'1 \times R$$

$$u'_{\text{C}} = 0.5$$

Незалежні початкові умови

$$u_{\text{C0}} := u_{\text{СДК}}$$

$$u_{\text{C0}} = 0$$

Залежні початкові умови

Given

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

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

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

$$\text{Find } i_{10}, i_{20}, i_{30}$$

$$\text{Find } i_{10}, i_{20}, i_{30}$$

$$i_{10} = 0.014$$

$$i_{20} = 0.014$$

$$i_{30} = 0$$

Вільний режим після комутації: $t = 0$

Складемо характеристичне рівняння схеми

$$Z_{\text{VX}}(p) := R + \frac{R \times \frac{1}{p \times C}}{R + \frac{1}{p \times C}}$$

$$Z_{\text{VX}}(p) := \frac{R \times \frac{1}{p \times C} + \frac{1}{p \times C} + R \times \frac{1}{p \times C}}{R + \frac{1}{p \times C}}$$

$$p := R \times \frac{1}{p \times C} + \frac{1}{p \times C} + R \times \frac{1}{p \times C} \quad \text{solve } p$$

$$T := \frac{1}{|p|} \times T$$

$$T = 7.875 \cdot 10^{-3}$$

Одже корень характеристичного рівняння має вигляд:

$$p = -114.29$$

Вільна складова струма буде мати вигляд:

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

Визначення сталих інтегрування:

$$A_1 := i_{10} - i'_1 \quad A_1 = 7.143 \cdot 10^{-3}$$

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

Повні значення цих струмів:

$$g_{11}(t) := i'_1 + i''_1(t) \quad g_{11}(t) \text{ float}, 5 \text{ @ } 7.1429 \times 10^{-3} + 7.1429 \times 10^{-3} \times \exp(-114.29 \times t)$$

$$h_{cU}(t) := A_1 \times R - A_1 \times R \times e^{p \times t} \quad \text{float}, 5 \text{ @ } .50000 - .50000 \times \exp(-114.29 \times t)$$

Визначимо закони зміни напруги на всіх проміжках часу:

$$U_0 := E_1 \quad U_0 = 90$$

$$U_1(t) := U_0 - \frac{E_1}{2T} \times t \quad U_1(t) \text{ float}, 5 \text{ @ } 90. - 5714.5 \times t \quad 0 < t < T$$

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

$$U'_1 := \frac{d}{dt} U_1(t) \text{ float}, 5 \text{ @ } -5714.5$$

Струм на цих проміжках буде мати вигляд:

$$i_1(t) := U_0 \times g_{11}(t) + \int_0^t U'_1 \times g_{11}(t-t) dt \quad i_1(t) \Big|_{\text{float}, 2}^{\text{factor}} \text{ @ } .29 + \exp(-1.1 \times 10^2 \times t) - 41. \times t$$

$$i_2(t) := U_0 \times g_{11}(t) + \int_0^T U'_1 \times g_{11}(t-t) dt + \int_T^t U'_1 \times g_{11}(t-t) dt + \int_T^t U'_1 \times g_{11}(t-t) dt$$

$$i_2(t) \Big|_{\text{float}, 3}^{\text{factor}} \text{ @ } \exp(-114. \times t) - .679 \times \exp(-114. \times t + .900)$$

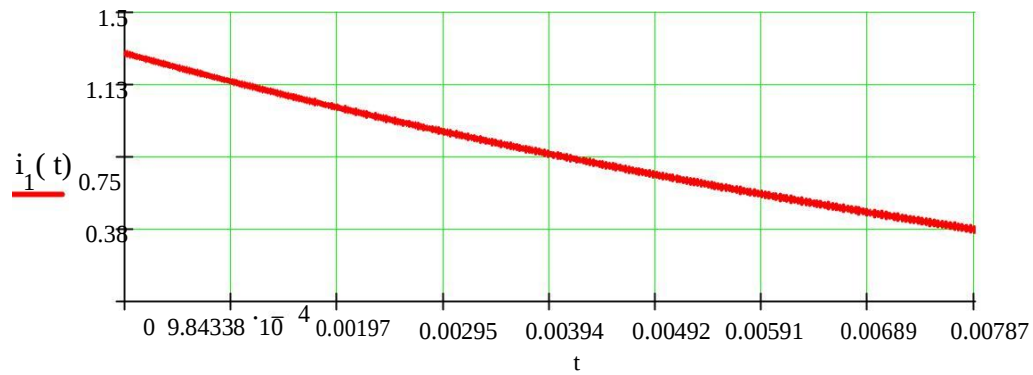
Напруга на ємності на цих проміжках буде мати вигляд:

$$u_{C1}(t) := U_0 \times h_{cU}(t) + \int_0^t U'_1 \times h_{cU}(t-t) dt \quad \text{float}, 5 \text{ @ } 70.000 - 70.000 \times \exp(-114.29 \times t) - 2857.3 \times t$$

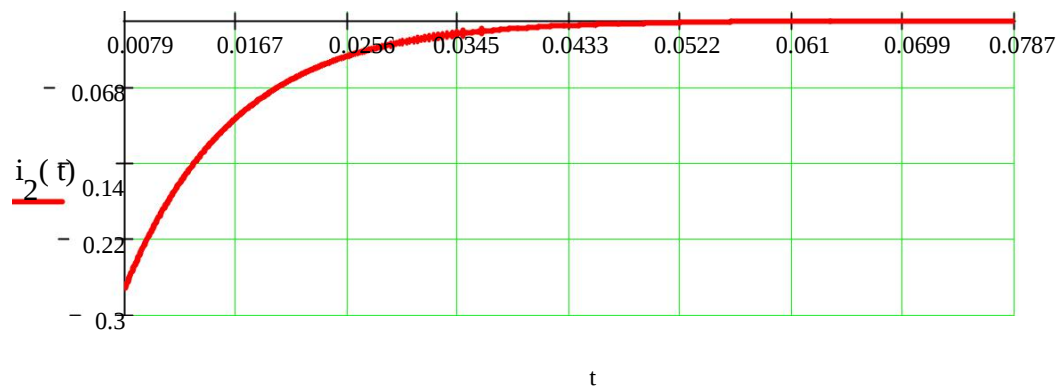
$$u_{C2}(t) := U_0 \times h_{cU}(t) + \int_0^T U'_1 \times h_{cU}(t-t) dt + \int_T^t U'_1 \times h_{cU}(t-t) dt + \int_T^t U'_1 \times h_{cU}(t-t) dt$$

$$u_{C2}(t) \text{ float}, 3 \text{ @ } -70.0 \times \exp(-114. \times t) + 47.5 \times \exp(-114. \times t + .900)$$

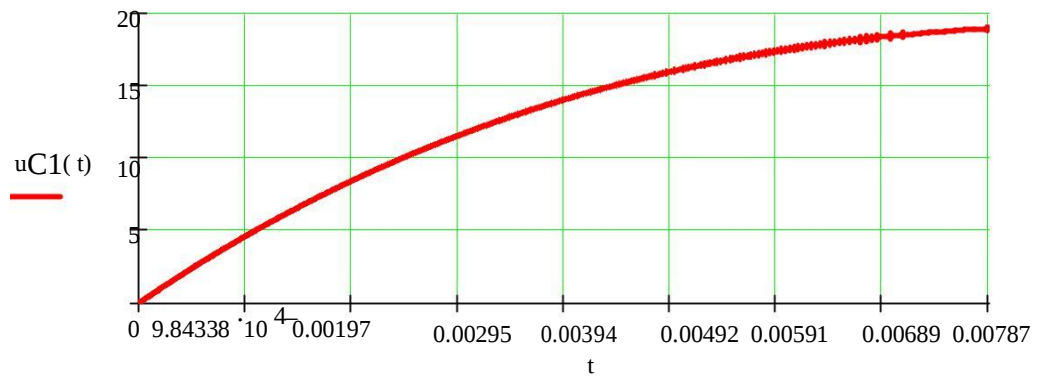
Графік вхідного струму на проміжку: $0 \leq t \leq T$



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



Графік наруги на реактивному елементі на проміжку: $0 \leq t \leq T$



Графік наруги на реактивному елементі на проміжку: $T \leq t \leq \infty$

