Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Новосибирский государственный технический университет

Кафедра ТЭВН

Лабораторная работа № 1

Исследование переходных процессов в цепях с сосредоточенными параметрами

Вариант 27

Факультет: ФЭН

Группа: Эн1-22

Студент: Кашталапов И.С.

Преподаватель: Цуркан Н.В.

Отметка о защите:

Новосибирск, 2025 г.

Цель работы

Исследовать переходные процессы в цепях с сосредоточенными параметрами

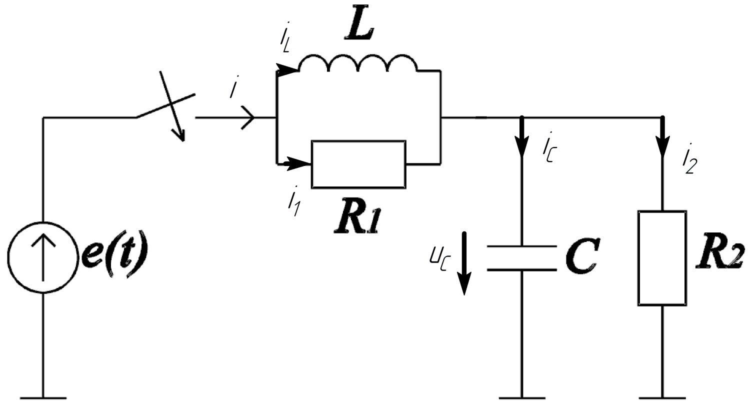


Рис. 1 - Схема заданной цепи

Исходные данные

L, Гн	C, мкФ	Характер процесса
1	1.0	Колебательный

Система уравнений, описывающих заданную цепь

$i_L + i_1 - i_C - i_2 = 0; \quad i_C = i_L + i_1 - i_2$

$i_1 R_1 + u_c = e; \quad i_1 = \dfrac{e - u_c}{R_1}$

$i_2 = \dfrac{u_C}{R_2}$

$\dfrac{du_C}{dt} = \dfrac{1}{C} i_C$

$\dfrac{di_L}{dt} = \dfrac{1}{L} i_1 R1$

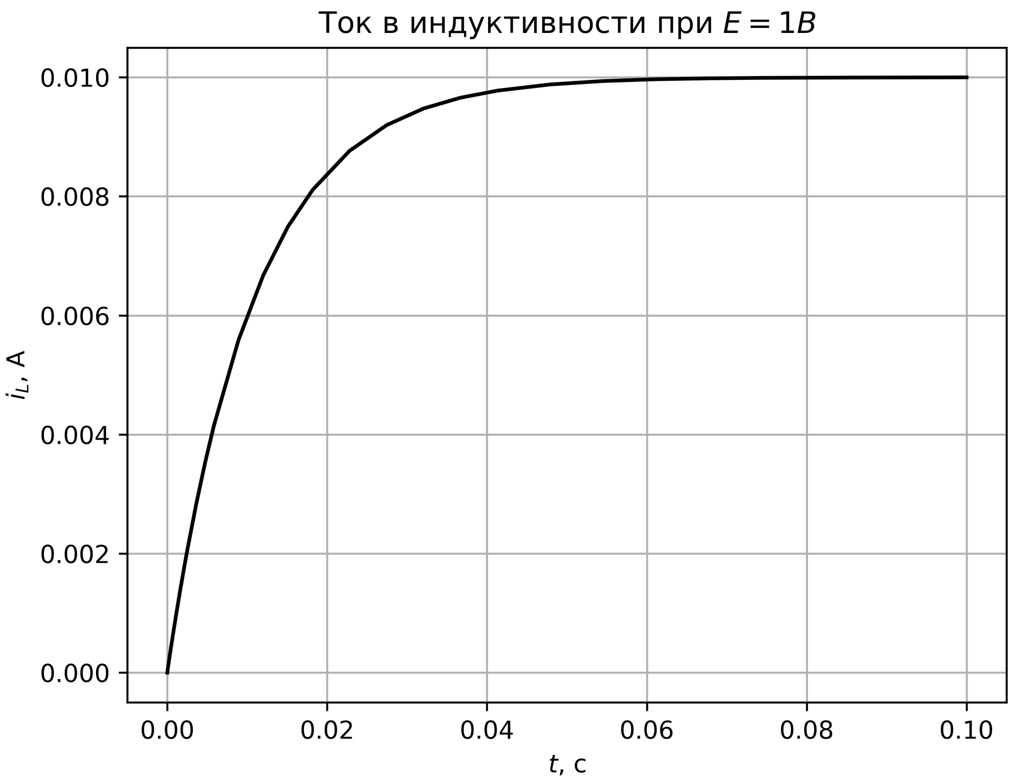
Подставим значения i_1 и i_C, выраженные через i_L и u_C, в выражения в форме Коши

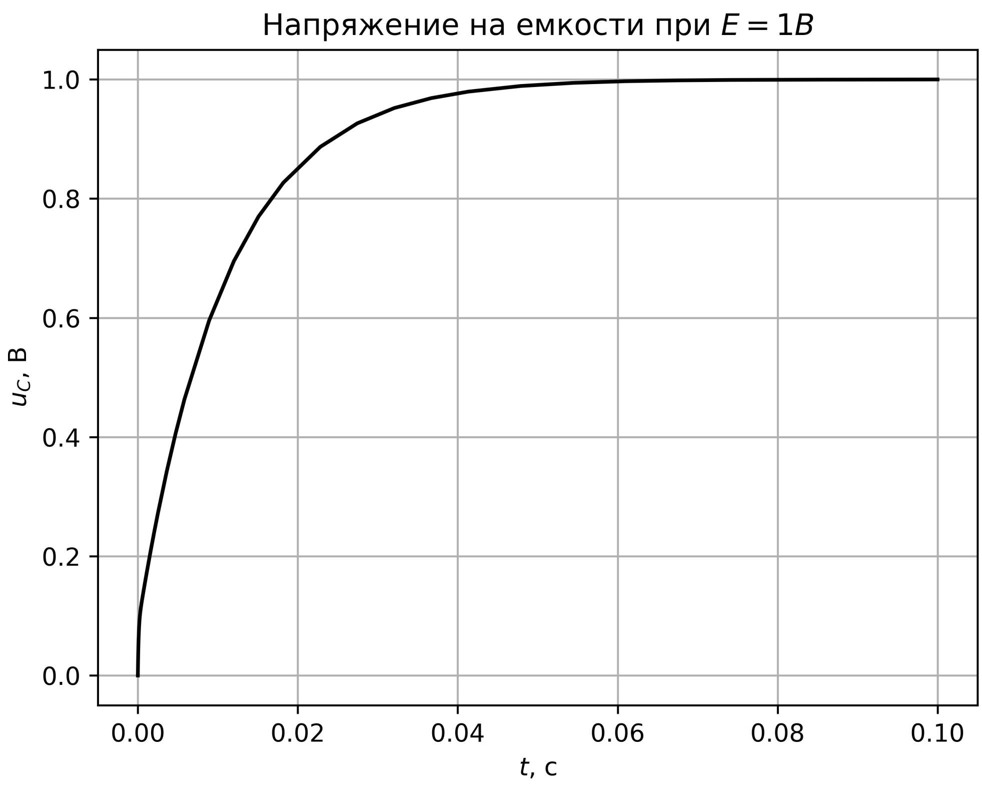
$\dfrac{du_C}{dt} = \dfrac{1}{C}\left[i_L + \dfrac{e - u_c}{R_1} - \dfrac{u_c}{R_2}\right]$

$\dfrac{di_L}{dt} = e - u_C$

Расчет переходного процесса по полученным выражениям произведен в среде Python с использованием функции solve_ivp библиотеки scipy.integrate. Вывод графиков осуществлен средствами библиотеки matplotlib.pyplot

Результат расчета при постоянной ЭДС E = 1 В





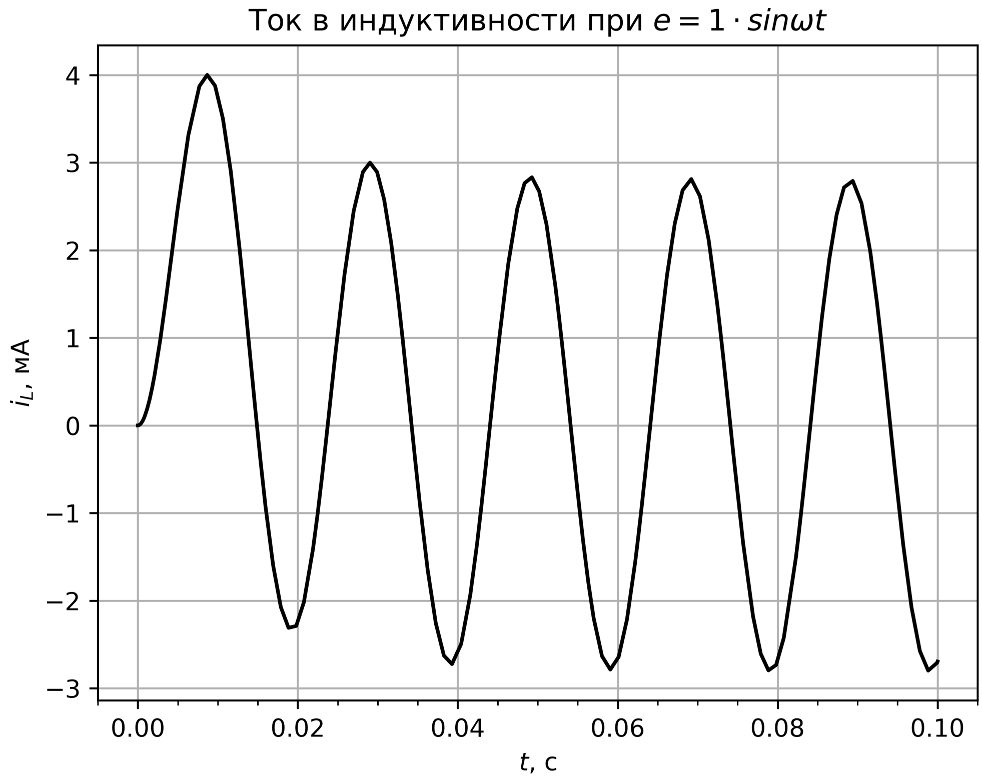
Установившиеся значения тока и напряжения:
$u_{C\,уст} = 0.977$ В
$i_{L\,уст} = -0.00$ мА

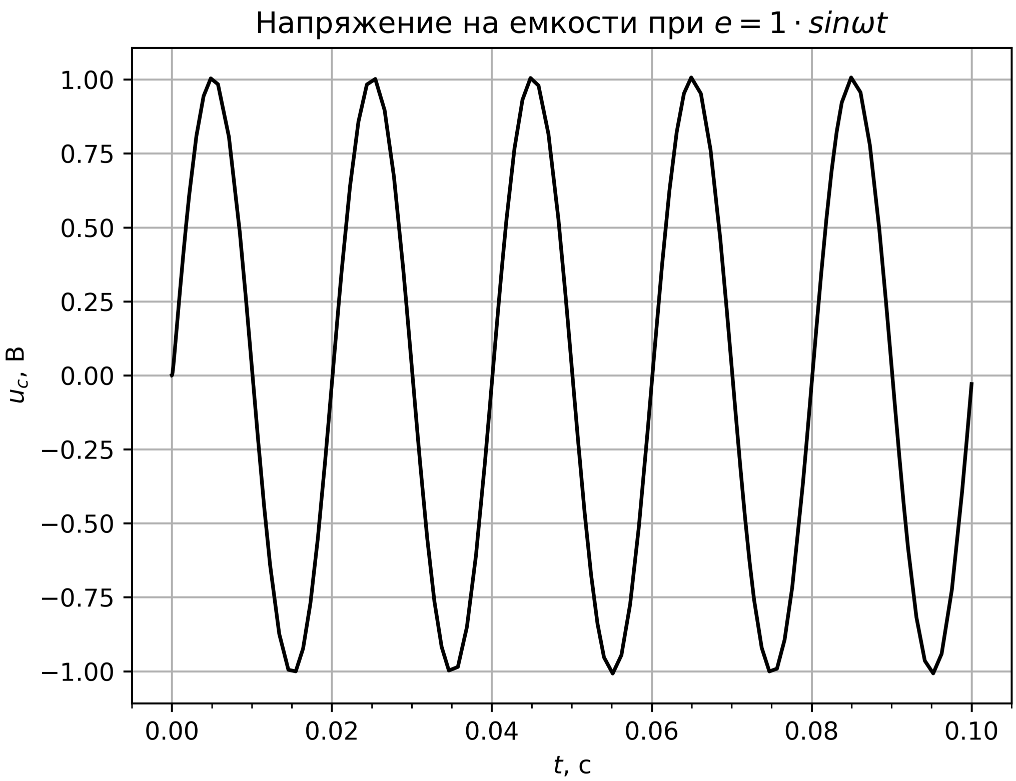
Максимальные значения тока и напряжения:

$u_{C\,max} = 1.847$ В
$i_{L\,max} = 0.9$ мА

Результат расчета при переменной ЭДС

$e(t) = sin(\omega t)$





Амплитудные значения установившихся тока и напряжения:

$u_{C\,уст} = 0.3$ В
$i_{L\,уст} = 2.7$ мА

Максимальные значения тока и напряжения:

$u_{C\,max} = 1.4$ В
$i_{L\,max} = 0.50$ мА

Ручной расчет

Конталанов Эн1-22

Вариант 27

2. $z_{вх} = \frac{x_c r_2}{x_c + r_2} + \frac{x_L r_1}{x_L + r_1}$; $C = 1$ мкФ; $L = 1$ Гн

$\cancel{z_{вх} = \omega L r_2}$ $\cancel{z_{вх}(p) = \frac{p/C\, r_2}{}}$

$z_{вх}(p) = \frac{1/(pC)\, r_2}{1/(pC) + r_2} + \frac{pL r_1}{pL + r_1} = 0$

$$\frac{\frac{r_2(pL + r_1)}{pC} + \frac{pL r_1\left(\frac{1}{pC} + r_2\right)}{(pL + r_1)(1/(pC) + r_2)}}{(1/(pC) + r_2)(pL_1 + r_1)} = 0$$

$\frac{r_2 pL}{pC} + \frac{r_2 r_1}{pC} + \frac{pLr_1}{pC} + \frac{pL r_1 r_2}{C} = 0 \,|\cdot p$

$p^2(L r_1 r_2) + p\left(\frac{r_2 L}{C} + \frac{L r_1}{C}\right) + \frac{r_2 r_1}{C} = 0 \,|: L r_1 r_2$

$p^2 + p\left(\frac{\frac{L}{C}(r_2 + r_1)}{L r_1 r_2}\right) + \frac{r_2 r_1}{C L r_1 r_2} = 0$ $C = [Ф] = \left[\frac{с}{Ом}\right]$

$L = [Гн] = [Ом \cdot с]$

$p^2 + p\,\frac{r_2 + r_1}{C r_1 r_2} + \frac{1}{CL} = 0$

$p^2 + 2\delta + \beta^2 = 0$; δ

$2\delta = \frac{r_2 + r_1}{C r_1 r_2}$; $\delta = \frac{r_2 + r_1}{2C r_1 r_2}$; $\beta = \sqrt{\frac{1}{CL}}$

$\delta \le \beta$ при колебательном процессе $r \ge L$

$\frac{r_2 + r_1}{C r_1 r_2} \le \frac{1}{CL}$; $\frac{2r}{2Cr^2} = \frac{1}{CL}$; $\frac{1}{Cr} = \frac{1}{CL}$; $\frac{1}{r} \le \frac{1}{L}$;

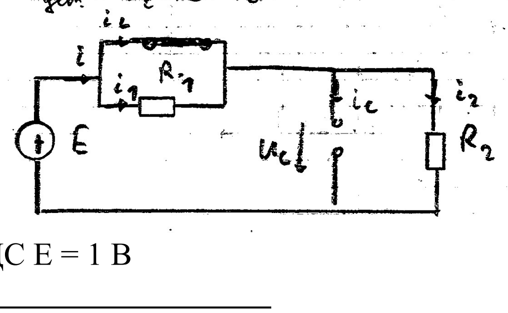
3. $r_1 = \cancel{r_2} = 1000$ Ом; $r_2 = 100$ Ом

$\beta = \sqrt{\frac{1}{10^{-6}}} = 10^3$; $\delta = \frac{200}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 1$; $\omega_0 = \sqrt{\beta^2 - \delta^2}$

$\omega_0 = \sqrt{10^{-6} - 1} \approx 10^3$

4. $E = 1$ В, $I_{уст} = I_L = I_2 = \frac{E}{R_2} = 0{,}01$ А

$U_{уст} = U_c = E = 1$ В



При постоянной ЭДС E = 1 В

$U_{пер} = \sqrt{(u_{вын}(0) - u_0)^2 + Z^2(i_{вын}(0) - i_0)^2}$

$I_{пер} = \sqrt{(u_{вын}(0) - u_0)^2/Z^2 + (i_{вын}(0) - i_0)^2}$

где $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - характеристическое сопротивление контура; $Z = 1000.0$

$U_{пер} = \sqrt{(1.00-0)^2 + 1000^2 \cdot (0.0100-0)^2} = 10.05$ В

$I_{пер} = \sqrt{(1.00-0)^2/1000^2 + (0.0100-0)^2}\ = 0.0003$ А

$tan\phi_п = -z\dfrac{(i_{вын}(0) - i0)}{u_{вын}(0) - u0}; \quad tan\phi_п = -1000.0\dfrac{(0-0)}{0-0} = \infty$

$t^u_{max} = \dfrac{\pi - \phi_п}{\omega_0}; \quad t^u_{max} = \dfrac{\pi - 1.571\pi}{998.7} = 1.57$ мс

$t^i_{max} = \dfrac{\pi/2 - \phi_п}{\omega_0}; \quad t^i_{max} = \dfrac{\pi/2 - 1.571\pi}{998.7} = 0.00$ мс

$K^u_{уд} = e^{-\delta * t^u_m ax} + 1; \quad K^u_{уд} = e^{-50.0000005 * 0.00 + 0.00j} + 1 = 2.000$

$K^i_{уд} = e^{-\delta * t^i_m ax} + 1; \quad K^i_{уд} = e^{-50.0000005 * 0.00 + 0.00j} + 1 = 2.000$

При переменной ЭДС

$e(t) = sin(\omega t)$

$U_{пер} = \sqrt{(1.11-0)^2 + 1000^2 \cdot (0.0003-0)^2} = 1.05$ В

$I_{пер} = \sqrt{(1.11 - 0.00j - 0)^2/1000^2 + (0.0000 + 0.0003j - 0)^2}\ = 0.0003$ А

$i_{вын} = \dfrac{e}{Z}$

$Z = \dfrac{x_c R_2}{x_c + R_2} + \dfrac{x_L R1}{x_L + R_1}; Z = 2869.3\angle -0.0$ Ом

$i_{вын} = \dfrac{(1+0j)}{9.9 - 2869.2j} = 0.3\angle 0.0$ мА

$i_{L\ вын} = i_{вын}\dfrac{R_1}{x_l + R_1}; \quad i_{L\ вын} = 0.35\angle 0.0$ мА

$i_{1\ вын} = i_{вын} - i_{L\ вын}; \quad i_{1\ вын} = 0.3\angle 0.0 - 0.35\angle 0.0 = 0.01\angle -0.0$ мА

$U_{C_ вын} = E - i_{1_ вын} R_1; \quad$U_{C_ вын} = (1+0j) - 0.01 ∠ -0.0 \cdot 10000 = 1109

$tan\phi_п = -z\dfrac{i_{вын}(0) - i0}{u_{вын}(0) - u0}; \quad tan\phi_п = -1000.0\dfrac{0.0-0}{1.11 - u0} = (-0.009859874095412722 - 0.31384950827$

$t^u_{max} = \dfrac{\pi - \phi_п}{\omega_0}; \quad t^u_{max} = \dfrac{\pi - 0.325}{998.7} = 3.17$ мс

$t^i_{max} = \dfrac{ {\pi / 2} - \phi_{п} } {\omega_0}; \quad$t^i_{max} = \dfrac { {\pi / 2} - 0.3

$K^u_{уд} = e^{-\delta t^u_{max}} + 1; \quad K^u_{уд} = e^{-50.00000053.16 + 0.33j} + 1 = 2.000$

$K^i_{уд} = e^{-\delta t^i_{max}} + 1; \quad K^i_{уд} = e^{-50.00000051.58 + 0.33j} + 1 = 2.000$

Вывод: в результате работы выполнено моделирование переходного процесса в заданной схеме электрической цепи. Результат моделирования проверен ручным счетом.