

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

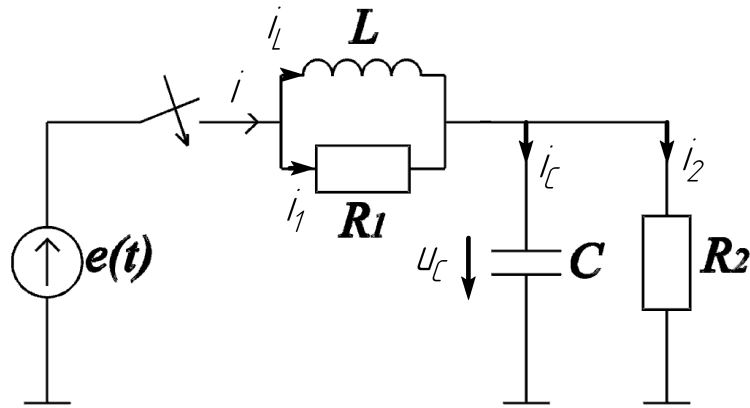


Рис. 1 - Схема заданной цепи

## Исходные данные

$L$ , Гн	$C$ , мкФ	Характер процесса
1	1.0	Колебательный

Система уравнений, описывающих заданную цепь

$$i_L + i_1 - i_C - i_2 = 0 \Rightarrow i_C = i_L + i_1 - i_2$$

$$i_1 R_1 + u_C = e \Rightarrow i_1 = \frac{e - u_C}{R_1}$$

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

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

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} i_1 R_1$$

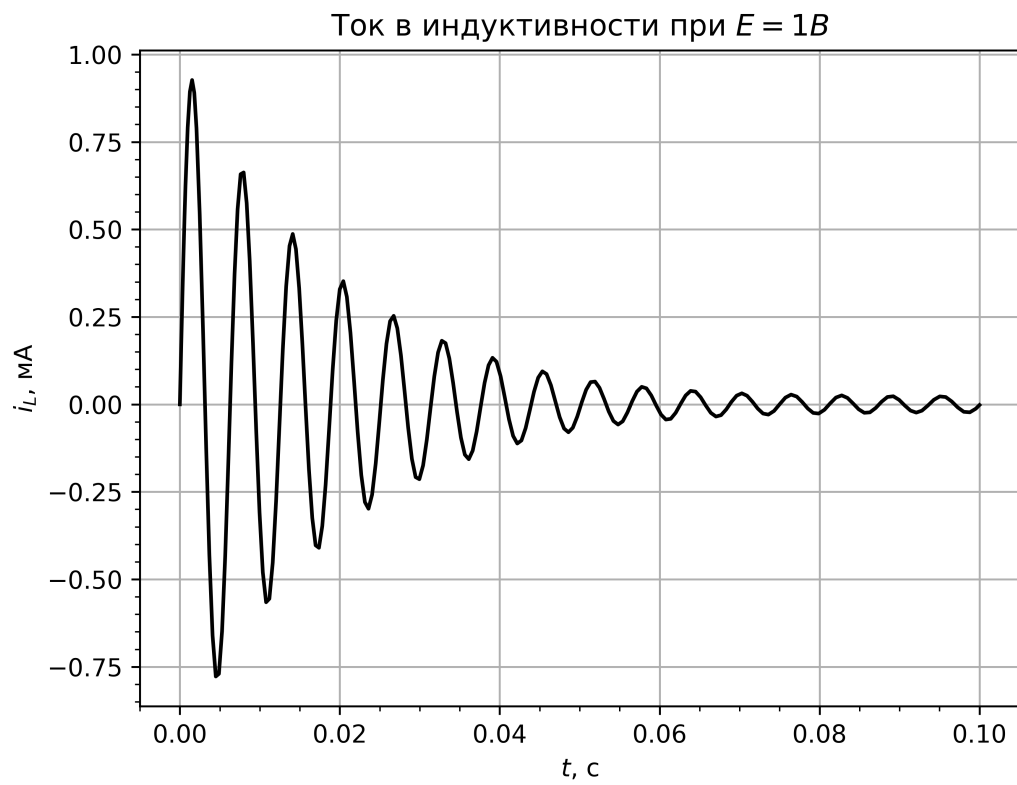
Подставим значения  $i_1$  и  $i_C$ , выраженные через  $i_L$  и  $u_C$ , в выражения в форме Коши

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

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

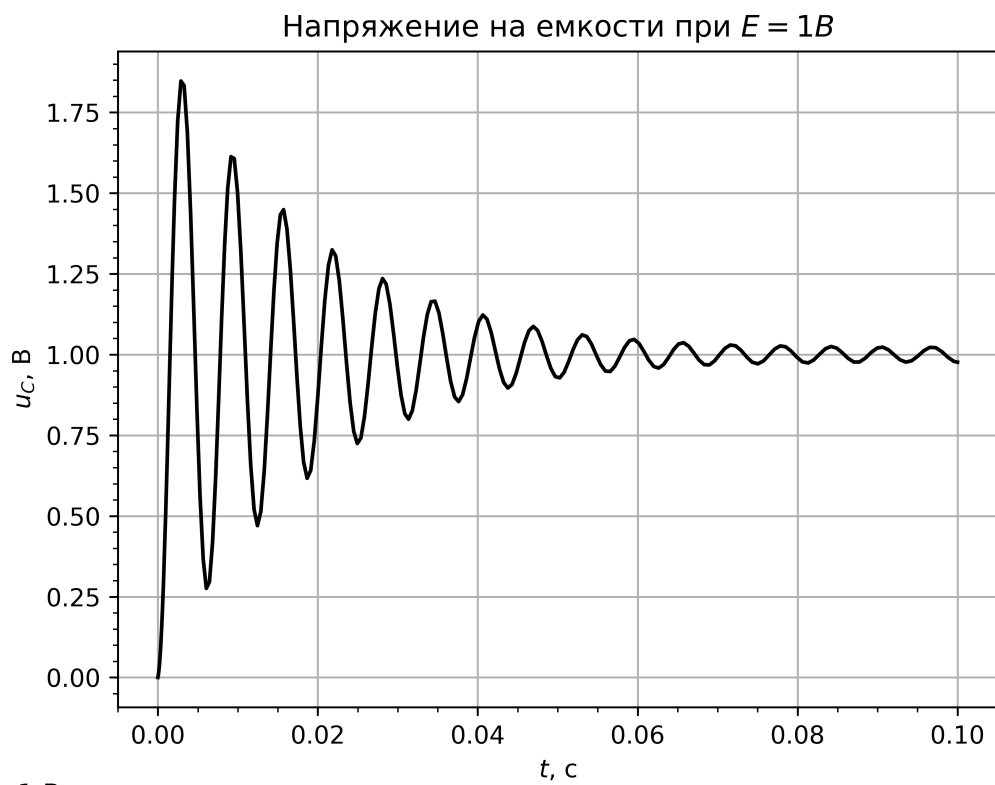
Расчет переходного процесса по полученным выражениям произведен в среде Python с использованием функции `solve_ivp` библиотеки `scipy.integrate`. Вывод графиков осуществлен средствами библиотеки `matplotlib.pyplot`

Результат расчета при постоянной ЭДС  $E = 1$  В



$$i_{L\text{уст}} = -0 \text{ мА}$$

$$i_{L\text{max}} = 0.9 \text{ мА}$$

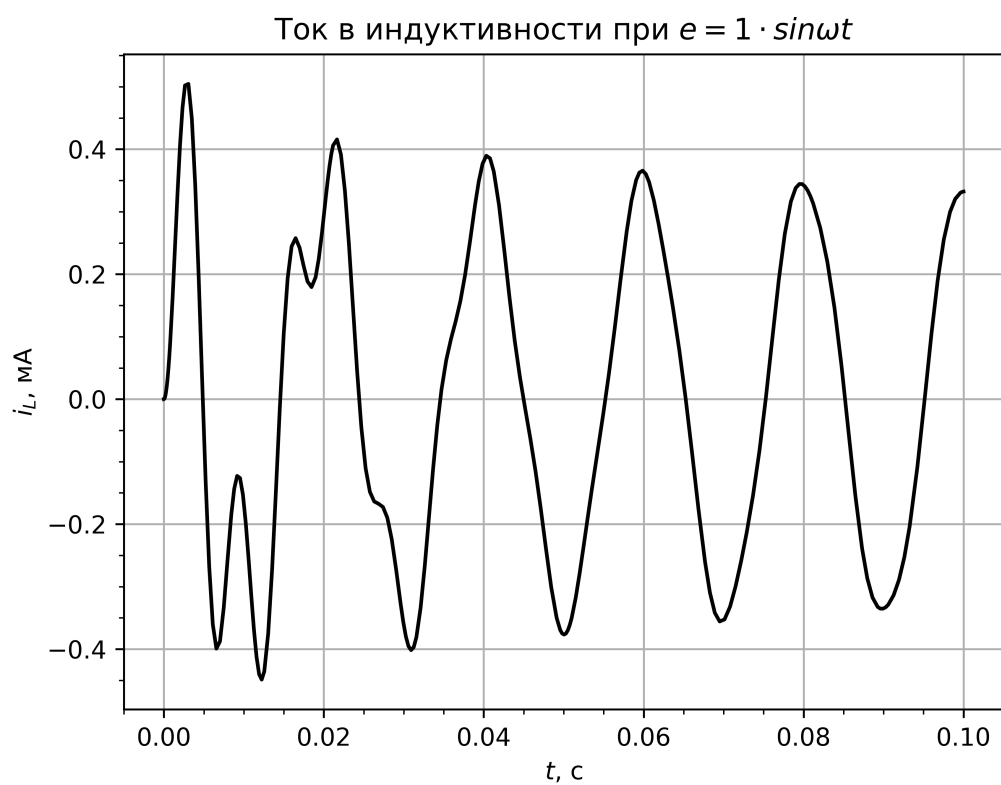


$$u_{C\text{уст}} = 1 \text{ В}$$

$$u_{C\text{max}} = 1.847 \text{ В}$$

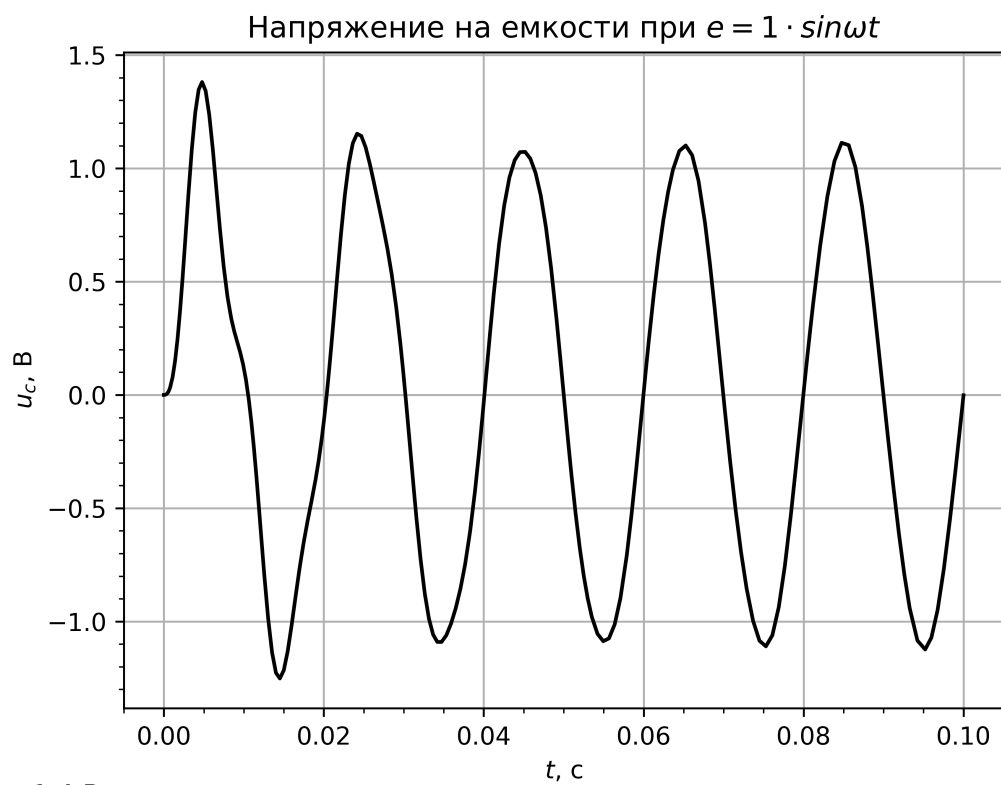
Результат расчета при переменной ЭДС

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



$$i_{L \max} = 0.50 \text{ mA}$$

$$i_{L \text{уст}} = 0.3 \text{ mA}$$



$$u_{C \max} = 1.4 \text{ V}$$

$$u_{C \text{уст}} = 1.1 \text{ V}$$

## Ручной расчет

Составим характеристическое уравнение вида:

$$p^2 + 2\delta + \beta^2 = 0$$

$$z_{BX} = \frac{x_C R_2}{x_C + R_2} + \frac{x_L R_1}{x_L + R_1} = 0$$

$$\frac{\frac{1}{pC} R_2}{\frac{1}{pC} + R_2} + \frac{pL R_1}{pL + R_1} = 0$$

$$\frac{\frac{R_2(pL + R_1)}{pC}}{\left(\frac{1}{pC} + R_2\right)(pL + R_1)} + \frac{pL R_1 \left(\frac{1}{pC} + R_2\right)}{(pL + R_1) \left(\frac{1}{pC} + R_2\right)} = 0$$

$$R_2 \frac{L R_2 R_1}{pC} + \frac{L R_1}{C} + pL R_1 R_2 = 0$$

$$p^2 L R_1 R_2 + p \left( \frac{R_2 L R_2 + R_1}{C} \right) + \frac{R_2 R_1}{pC} + \frac{L R_1}{C} = 0$$

$$p^2 + p \left( \frac{\frac{L}{C} (R_2 + R_1)}{L R_1 R_2} \right) + \frac{R_2 R_1}{C L R_1 R_2} = 0$$

$$p^2 + p \frac{R_2 + R_1}{C R_1 R_2} + \frac{1}{CL} = 0$$

$$\delta = \frac{R_2 + R_1}{2 C R_1 R_2}; \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{CL}}$$

Подберем сопротивления  $R_1$   $R_2$  для выполнения условия колебательного процесса

$$\delta < \beta; \quad R_1 = 1e + 04 \text{ Ом}, \quad R_2 = 1e + 12 \text{ Ом}$$

$$\delta = \frac{1e + 12 + 1e + 04}{2 \cdot 1e - 06 \cdot 1e + 04 \cdot 1e + 12} = 50.0; \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{1e - 06 \cdot 1}} = 1000.0$$

$$\omega_0 = \sqrt{\delta^2 + \beta^2}; \quad \omega_0 = \sqrt{50.0^2 + 1000.0^2} = 998.7$$

При постоянной ЭДС  $E = 1$  В индуктивность является короткой, а емкость - разрывом.

$$I_{уст} = I_L = I_2 = \frac{E}{R_2} = 0.01 \text{ А}$$

$$U_{уст} = U_C = E = 1 \text{ В}$$

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

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

$$\text{где } Z = \sqrt{\frac{L}{C}} - \text{характеристическое сопротивление контура}; \quad Z = \sqrt{\frac{1}{1.0e - 06}} = 1000.0$$

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

$$I_{пер} = \sqrt{(1.00 - 0)^2 / 1000^2 + (0.0100 - 0)^2} = 0.35 \text{ мА}$$

$$\tan \phi_n = -Z \cdot \frac{i_{ВЫН}(0) - i_0}{u_{ВЫН}(0) - u_0}; \quad \tan \phi_n = -1000.0 \cdot \frac{0 - 0}{0 - 0} = \infty$$

$$t_{max}^u = \frac{\pi - \phi_n}{\omega_0}; \quad t_{max}^u = \frac{\pi - 1.571\pi}{998.7} = 1.57 \text{ мс}$$

$$t_{max}^i = \frac{\pi/2 - \phi_n}{\omega_0}; \quad t_{max}^i = \frac{\pi/2 - 1.571\pi}{998.7} = 0.00 \text{ мс}$$

$$K_{уд}^u = e^{-\delta t_{max}^u} + 1; \quad K_{уд}^u = e^{-50.00 \cdot 0.00157} + 1 = 2.0$$

$$K_{уд}^i = e^{-\delta t_{max}^i} + 1; \quad K_{уд}^i = e^{-50.00 \cdot 0.00} + 1 = 2.0$$

При переменной ЭДС

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

$$i_{вын} = \frac{e}{Z}$$

$$Z_{ЭКВ} = \frac{x_C R_2}{x_C + R_2} + \frac{x_L R_1}{x_L + R_1}; \quad Z_{ЭКВ} = 2869.3 \angle -89.8^\circ \text{ Ом}$$

$$i_{вын} = \frac{(1 + 0j)}{9.9 - 2869.2j} = 0.35 \angle 89.80^\circ \text{ мА}$$

$$i_{L \text{ вын}} = i_{вын} \frac{R_1}{x_L + R_1}; \quad i_{L \text{ вын}} = 0.35 \angle 89.8^\circ \text{ мА}$$

$$i_{1 \text{ вын}} = i_{вын} - i_{L \text{ вын}}; \quad i_{1 \text{ вын}} = 0.3 \angle 89.8^\circ - 0.35 \angle 89.8^\circ = 0.01 \angle 178.0^\circ \text{ мА}$$

$$U_{C \text{ вын}} = E - i_{1 \text{ вын}} R_1; \quad U_{C \text{ вын}} = 1.00 \angle 0.0^\circ - 0.01 \angle 178.0^\circ \cdot 10000 = 1.11 \angle -0.2^\circ \text{ В}$$

$$U_{пер} = \sqrt{(1.11 - 0)^2 + 1000^2 \cdot (0.0003 - 0)^2} = 999.4 \text{ В}$$

$$I_{пер} = \sqrt{(1.11 - 0.00j - 0)^2 / 1000^2 + (0.0000 + 0.0003j - 0)^2} = 0.35 \text{ мА}$$

$$\tan \phi_n = -Z \cdot \frac{i_{вын}(0) - i0}{U_{вын}(0) - u0}; \quad \tan \phi_n = -1000.0 \cdot \frac{0.0 - 0}{1.11 - 0} = 0.314$$

$$t_{max}^u = \frac{\pi - \phi_n}{\omega_0}; \quad t_{max}^u = \frac{\pi - 0.325\pi}{998.7} = 3.17 \text{ мс}$$

$$t_{max}^i = \frac{\frac{\pi}{2} - \phi_n}{\omega_0}; \quad t_{max}^i = \frac{\frac{\pi}{2} - 0.325\pi}{998.7} = 1.62 \text{ мс}$$

$$K_{уд}^u = e^{-\delta t_{max}^u} + 1; \quad K_{уд}^u = e^{-50.0 \cdot 0.00317} + 1 = 2.000$$

$$K_{уд}^i = e^{-\delta t_{max}^i} + 1; \quad K_{уд}^i = e^{-50.0 \cdot 0.00162} + 1 = 2.000$$

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