

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова  
Департамент электронной инженерии

Курс: ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ №2

«РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ»

Ефремов Виктор Васильевич  
БИТ-203  
Вариант 6

Москва  
2021

## Домашнее задание 2 «Расчёт переходных процессов в электрических схемах» группа БИТ-203

Указания к оформлению:

- 1) Решение выполняется на белых листах формата А4 с одной стороны.
- 2) Решение каждой задачи должно быть проверено с помощью программы схемотехнического моделирования (следует приложить описание электрической схемы и листинг/график с результатами машинного расчёта).

**вариант 6**

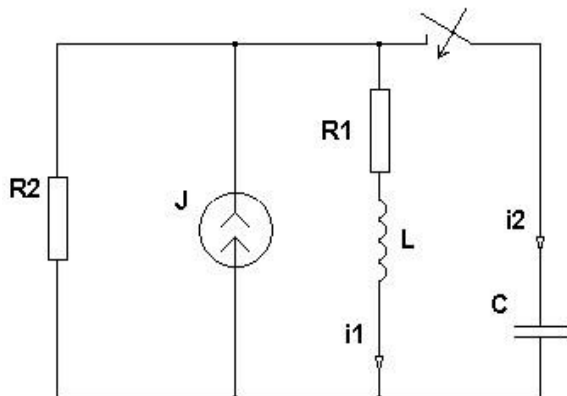
R	R1	R2	L	C	E	J
Ом			мГн	мкФ	В	А
100	25	100	40	5	100	10

### Найти:

1. Выражения для токов  $i_1(t)$  и  $i_2(t)$  классическим методом.
2. Практическую длительность переходного процесса, а в случае колебательного характера этого процесса также и период свободных колебаний и логарифмический декремент колебаний.
3. Построить графики переходных процессов токов  $i_1(t)$  и  $i_2(t)$ .
4. Рассчитать переходные процессы токов  $i_1(t)$  и  $i_2(t)$  с помощью программы моделирования электрических и электронных схем.

### Указания

1. Номер схемы соответствует порядковому номеру, под которым фамилия студента занесена в групповом журнале.
2. Числовые данные параметров схем приведены в таблице.



Запишем характеристическое уравнение.

Будем использовать метод входного сопротивления. Замыкаем ключ (т.к. это его состояние после коммутации). Выкидываем источник тока (оставляя разрыв на его месте). Разрываем цепь в правом верхнем углу.

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

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

$$R_2 + R_1 + pL + pR_1R_2C + p^2R_2LC = 0$$

$$p^2R_2LC + p(R_1R_2C + L) + (R_1 + R_2) = 0$$

Подставляем числа:

$$p^2 * 100 * 40 * 10^{-3} * 5 * 10^{-6} + p * (25 * 100 * 5 * 10^{-6} + 40 * 10^{-3}) + (25 + 100) = 0$$

$$p^2 + 2625p + 6250000 = 0$$

$$p_{1,2} = -1312.5 \pm 2127.8j$$

Корни комплексно-сопряженные, поэтому свободная составляющая токов имеет вид

$$i_{св} = Ae^{-1312.5t} \sin(2127.8t + \varphi)$$

Найдем принужденную составляющую.  $t \rightarrow \infty$ , после комм.

$$i_1 = J \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 * \frac{100}{125} = 8 \text{ A}$$

$$i_2 = 0 \text{ A}$$

Найдем независимые начальные условия. (схема до комм.  $i_L$   $u_C$ )

$$i_L(0_-) = i_L(0_+) = i_L(0) = J \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 8 \text{ A}$$

$$u_C(0_-) = u_C(0_+) = u_C(0) = 0 \text{ В}$$

Напряжение на конденсаторе до коммутации 0, т.к. ключ разомкнут.

Найдем зависимые начальные условия. (см рис)

Запишем уравнения Кирхгофа для времени  $0_+$

$$J - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i_3R_2 - u_C = 0$$

$$i_3R_2 - u_L - i_1R_1 = 0$$

Из второго уравнения получаем  $i_3(0_+) = i_C(0_+) = 0 \text{ A}$ . Далее из третьего  $u_L(0_+) = -200 \text{ В}$ , т.к.

$i_1 = i_L = 8 \text{ A}$ . И наконец  $i_2(0_+) = 2 \text{ A}$ .

Из основного уравнения индуктивности находим производную:

$$i'_L(0_+) = \frac{u_L}{L} = \frac{-200}{40 * 10^{-3}} = -5000 \frac{\text{A}}{\text{с}}$$

$$u'_C(0_+) = \frac{i_C(0_+)}{C} = \frac{0}{5 * 10^{-6}} = 0 \frac{\text{В}}{\text{с}}$$

Дифференцируя второе уравнение Кирхгофа, получаем  $i'_3(0_+) = 0 \text{ A/с}$ , откуда, дифференцируя первое уравнение, получаем  $i'_2(0_+) = -i'_3(0_+) = 5000 \text{ A/с}$ .

Необходимые значения токов и их производных в нуле найдены, поэтому можно искать произвольные постоянные.

$$i_1(0_+) = 8 \text{ A}$$

$$i'_1(0_+) = -5000 \frac{\text{A}}{\text{с}}$$

$$i_2(0_+) = 2 \text{ A}$$

$$i'_2(0_+) = 5000 \frac{\text{A}}{\text{с}}$$

$$i_1 = 8 + Ae^{-1312.5t} \sin(2127.8t + \varphi)$$

$$i'_1 = -1312.5 * Ae^{-1312.5t} \sin(2127.8t + \varphi) + 2127.8 * Ae^{-1312.5t} \cos(2127.8t + \varphi)$$

$$i_1(0_+) = 8 + A \sin(\varphi) = 8$$

$$i'_1(0_+) = -1312.5 * A \sin(\varphi) + 2127.8 * A \cos(\varphi) = -5000$$

$$\text{Очевидно, что } \varphi = 0, \text{ откуда } A = -\frac{5000}{2127.8} \approx -2.34984491024$$

$$\mathbf{i_1 = 8 - 2.35e^{-1312.5t} \sin(2127.8t)}$$

$$i_2 = Ae^{-1312.5t} \sin(2127.8t + \varphi)$$

$$i'_2 = -1312.5 * Ae^{-1312.5t} \sin(2127.8t + \varphi) + 2127.8 * Ae^{-1312.5t} \cos(2127.8t + \varphi)$$

$$i_2(0_+) = A \sin(\varphi) = 2$$

$$i'_2(0_+) = -1312.5 * A \sin(\varphi) + 2127.8 * A \cos(\varphi) = 5000$$

Подставляя первое уравнение во второе и деля первое на второе находим тангенс фи, откуда сам угол. Затем из первого уравнения константу A.

$$\varphi = \arctg\left(2 * \frac{2127.8}{5000 + 2 * 1312.5}\right) \approx 0.50910531$$

$$A = \frac{2}{\sin(0.50910531)} \approx 4.103437686$$

$$\mathbf{i_2 = 4.10e^{-1312.5t} \sin(2127.8t + 0.51)}$$

Переходный процесс колебательный.

Длительность переходного процесса:

$$T_{\text{пр}} = 5\tau = 5 * \left( \frac{-1}{\text{Re}(p)} \right) = \frac{5}{1312.5} \approx 0.0038095238 \text{ с} \approx \mathbf{3.81 \text{ мс}}$$

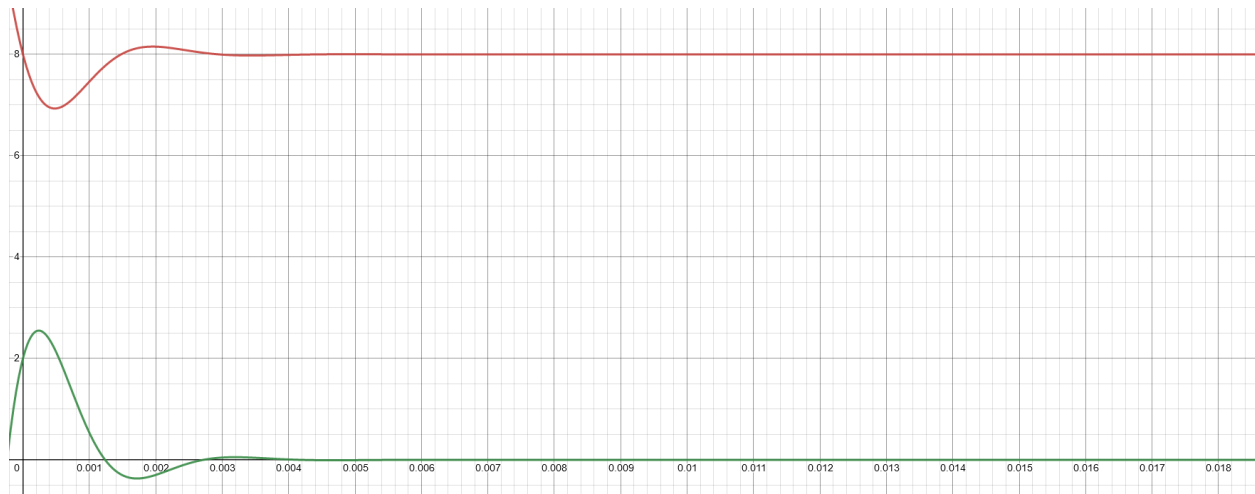
Период свободных колебаний:

$$T_{\text{св}} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\text{Im}(p)} = 2 * \frac{3.14159256}{2127.8} = 0.0029529022 \text{ с} \approx \mathbf{2.95 \text{ мс}}$$

Логарифмический декремент:

$$d = -\text{Re}(p) * T_{\text{св}} = 1312.5 * 0.0029529022 \approx \mathbf{3.88}$$

Графики (построены в desmos.com)



## Графики из LTSpice



## Схема из LTSpice

