

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕРАЗВЕТВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

#### Цель работы

Экспериментальное исследование аperiodических и колебательных переходных процессов в линейных электрических цепях первого и второго порядков и сопоставление экспериментальных результатов с предварительно рассчитанными параметрами.

#### Задание 1. Определение постоянной времени

Рассчитаем переходный процесс в RL-цепи (рис.1) при

$$U = 4 \text{ В};$$

$$R = R_{\text{кр}} = 2 \sqrt{\frac{L}{C}} = 200 \text{ , Ом};$$

$$C = \text{int} \left( \frac{100}{N} \right) = \text{int} \left( \frac{100}{16} \right) = 6, \text{ мкФ};$$

$$L = 10 \text{int} \left( \frac{100}{N} \right) = 10 \text{int} \left( \frac{100}{16} \right) = 60 \text{ , мГн},$$

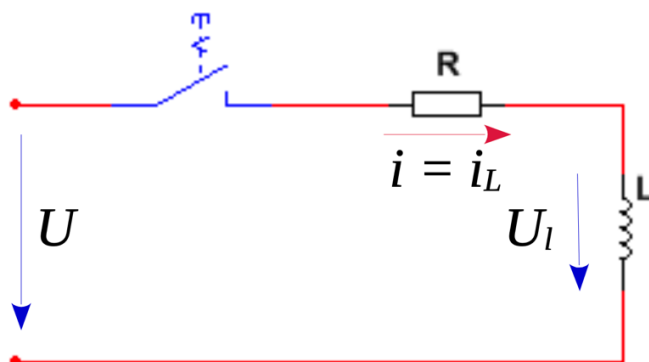


Рис.1 RL-цепь

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{60 * 10^{-3}}{200} = 0,0003 \text{ с} = 0.3 \text{ мс}$$

$$I_0 = \frac{U}{R} = \frac{4}{200} = 0.02$$

$$a = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0.0003} = 3333.3$$

$$i_L(t) = I_0 (1 - e^{-at}) = 0.02(1 - e^{-3333.3t})$$

$$u_L(t) = Ue^{-at} = 4e^{-3333.3t}$$

Построим графики функций  $i_L(t)$  и  $u_L(t)$ .

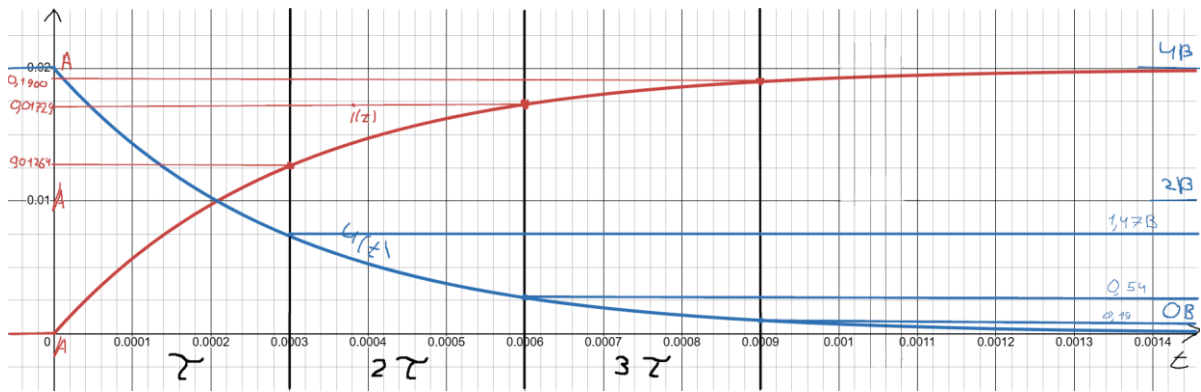


Рис.2 Функции времени тока и напряжения на катушке

Определим постоянную времени  $\tau$  RL-цепи и найдем значения тока и напряжения  $i_L(0), i_L(\tau), i_L(2\tau), i_L(3\tau)$  и занесем их значения в таблицу 1

Таблица 1

Вариант N=16					
Время, мс		Рассчитано		Измерено	
		$u_L, \text{В}$	$i_L, \text{А}$	$u_L, \text{В}$	$i_L, \text{А}$
0	0	4	0	4	0
$\tau$	0.3	1.47	0.01264	1.475	0.012627
$2\tau$	0.6	0.54	0.01729	0.539	0.017302
$3\tau$	0.9	0.19	0.01900	0.191	0.0179

Вывод: Ток в RL-цепи постепенно нарастает до своего установившегося значения и тем медленней, чем больше постоянная времени  $\tau$ . Напряжение же наоборот спадает по экспоненте.

## Задание 2. Расчет коэффициента затухания

Рассчитаем коэффициент затухания  $\alpha$ , частоту свободных колебаний  $\omega_c$  и период свободных колебаний  $T_{св}$  переходного тока в RLC-цепи (рис. 3) при ее подключении к источнику постоянного напряжения  $U$  при параметрах, рассчитанных в задании 1, приняв

$$R = (0,1 \dots 0,2)R_{кр} = 0,1 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 0,1 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{0,06}{0,000006}} = 20 \text{ Ом}$$

$$R < 2 \sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow$$

$$\alpha = \frac{R}{2L} = \frac{20}{2 \cdot 0,06} = 166.6$$

$$\tau = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{166.6} = 0,006 \frac{1}{c}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,06 \cdot 0,000006}} = 1666.6$$

$$\omega_c = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = \sqrt{1666.6^2 - 166.6^2} = 1658.25$$

$$T_{CB} = \frac{2\pi}{\omega_c} = \frac{2\pi}{1658.25} = 0,00378$$

$$i(t) = \frac{U}{\omega_c L} e^{-\alpha t} \sin \omega_c t$$

$$i(t) = \frac{4}{1658.25 \cdot 0,06} e^{-166.6t} \sin 1658.25t = 0,04 e^{-166.6t} \sin 1658.25t$$

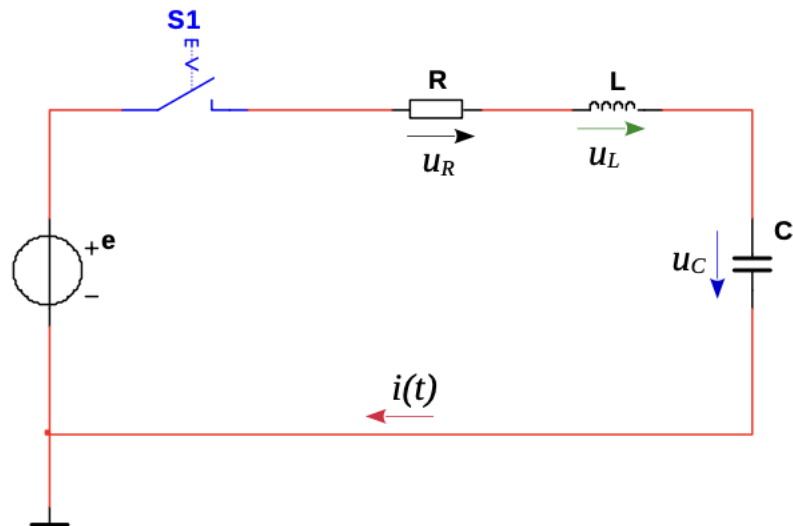


Рисунок 3. RLC-цепь

Построим график  $i(t)$

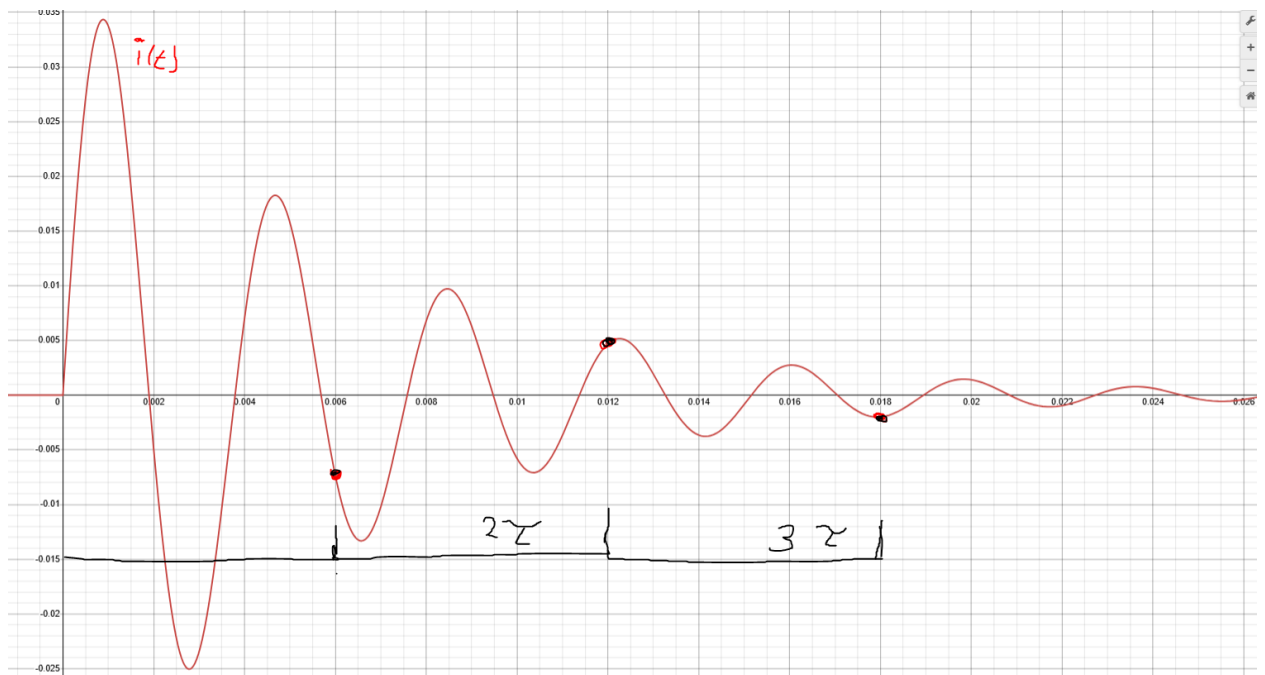


Рисунок 4. RLC-цепь

Вывод: Переходный процесс в этом случае является колебательным вследствие периодического перераспределения запасов энергии в магнитном и электрическом полях элементов  $L$  и  $C$  цепи. Так как  $\alpha < \omega_0$ , цепь показывает затухающие колебания.

### Задание 3. RL и RC-цепи

Соберем на рабочем поле схему (рис.5) для исследования переходных процессов в неразветвленных цепях первого и второго порядков.

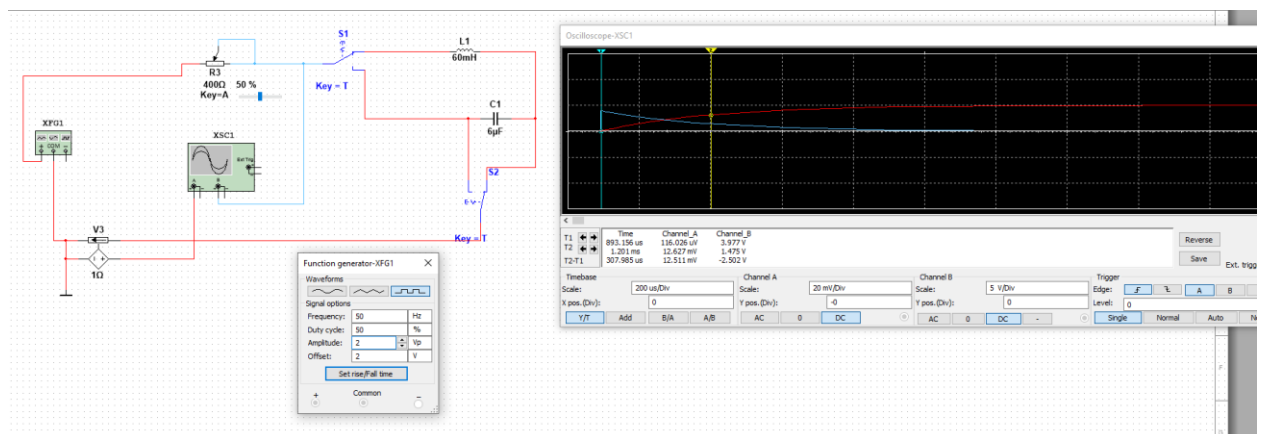


Рис.5 Рабочая схема для исследования переходных процессов в неразветвленной цепи первого порядка

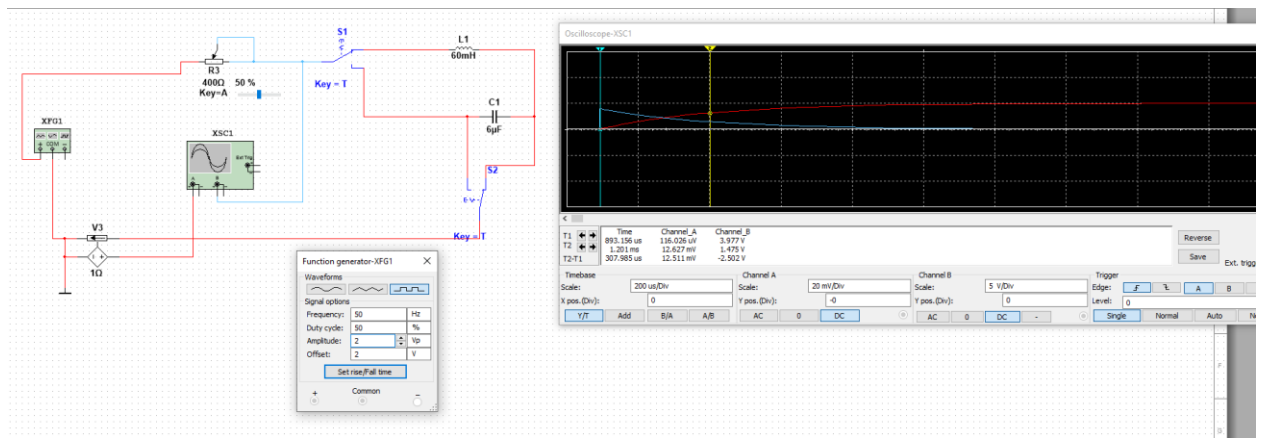
Исследуем переходные процессы в RL-цепи. Для этого установим переключатель  $Q$  в верхнее, а  $W$  – в правое положение, скорректируем развертку и уровни кривых  $i(t)$  и  $u_L(t)$  на экране осциллографа.

Воспользовавшись визирными линиями и таблицей параметров, выводимой внизу экрана осциллографа, определим постоянную времени переходного процесса в RL-цепи и измерим значения переходных функций  $i(t)$  и  $u_L(t)$  при

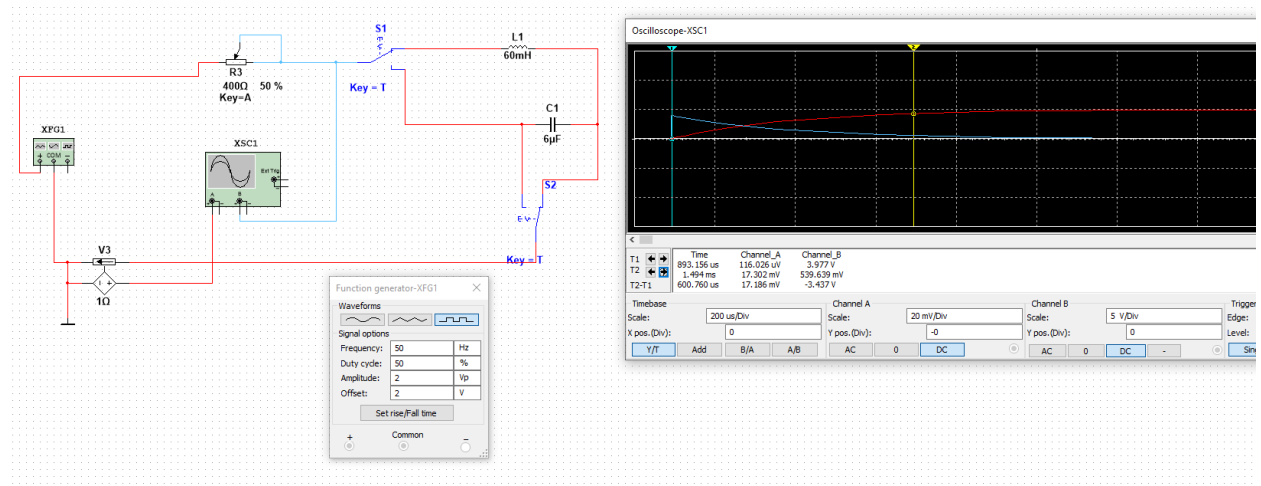
$t = 0$

и

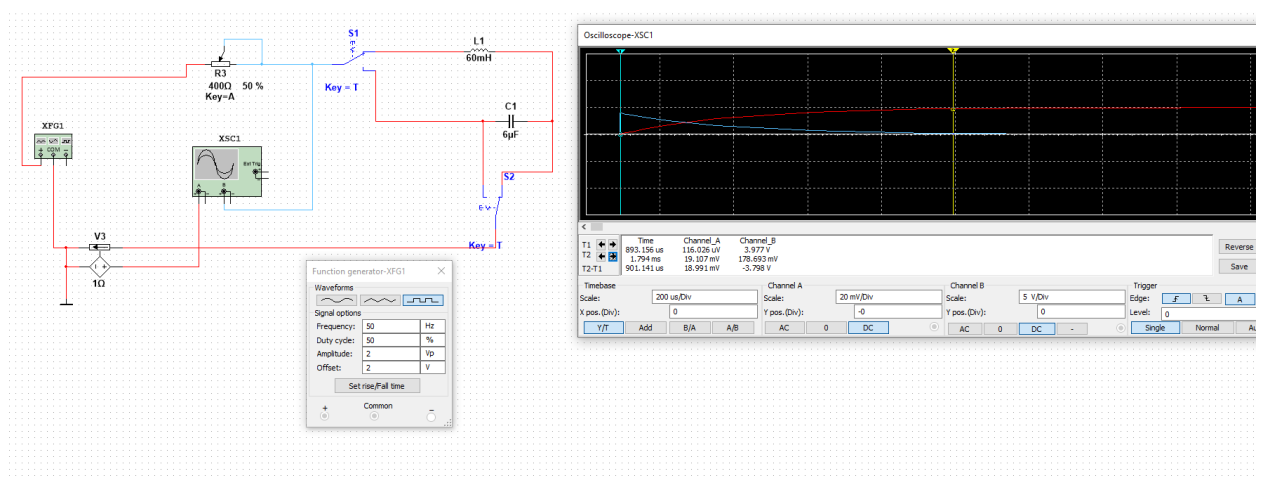
$t = \tau$



$t = 2\tau$



$t = 3\tau$



Занесем измеренные параметры тока  $i_L$  напряжения на катушке  $u_L$  в таблицу 1.

Вывод: Ток в RL-цепи постепенно нарастает до своего установившегося значения и тем медленней, чем больше постоянная времени  $\tau$ . Напряжение же наоборот падает по экспоненте. Чем больше постоянная времени цепи, тем медленнее затухает переходный процесс.

#### Задание 4. RLC-цепь

Установим переключатель Q в верхнее, а W – в левое положение для исследования переходных процессов в RLC-цепи

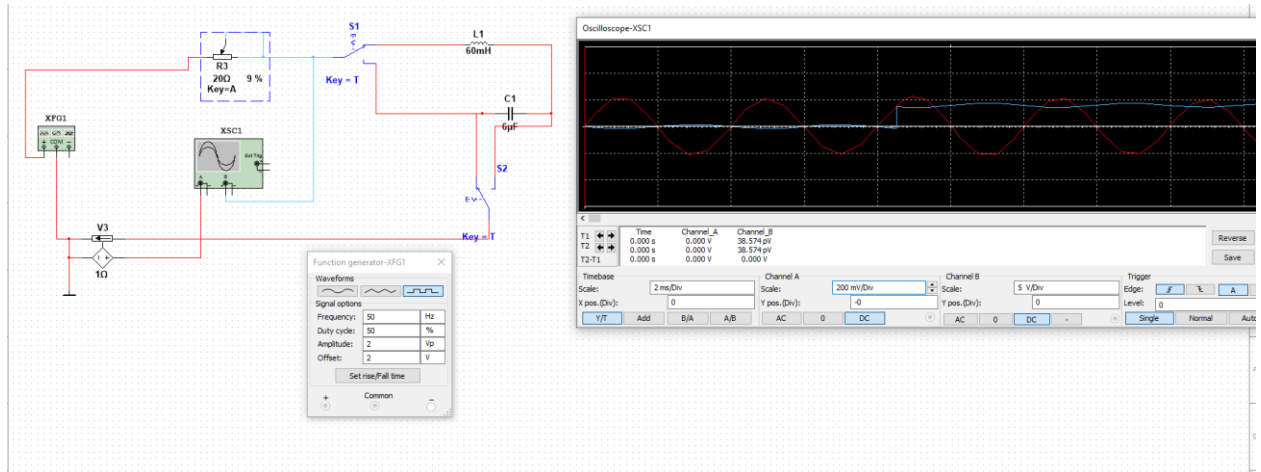


Рис.6 Рабочая схема для исследования переходных процессов в неразветвленной цепи второго порядка

Для исследования колебательного затухающего процесса установим сопротивление потенциометра  $R = (0,08 \dots 0,15)R_{кр}$  (Setting = (8...10) %); скорректируем развёртку и уровни кривых  $i(t)$  и  $u(t)$  на экране осциллографа.

Воспользовавшись визирными линиями и таблицей параметров, выводимой внизу экрана осциллографа, измерим период  $T_{CB}$  свободных колебаний тока, амплитуды тока  $I_{1m}$  и  $I_{2m}$  найти и сравнить с результатами расчёта коэффициент затухания  $\alpha$  и частоту собственных колебаний  $\omega_c$  тока  $i$  и напряжения  $u$ .

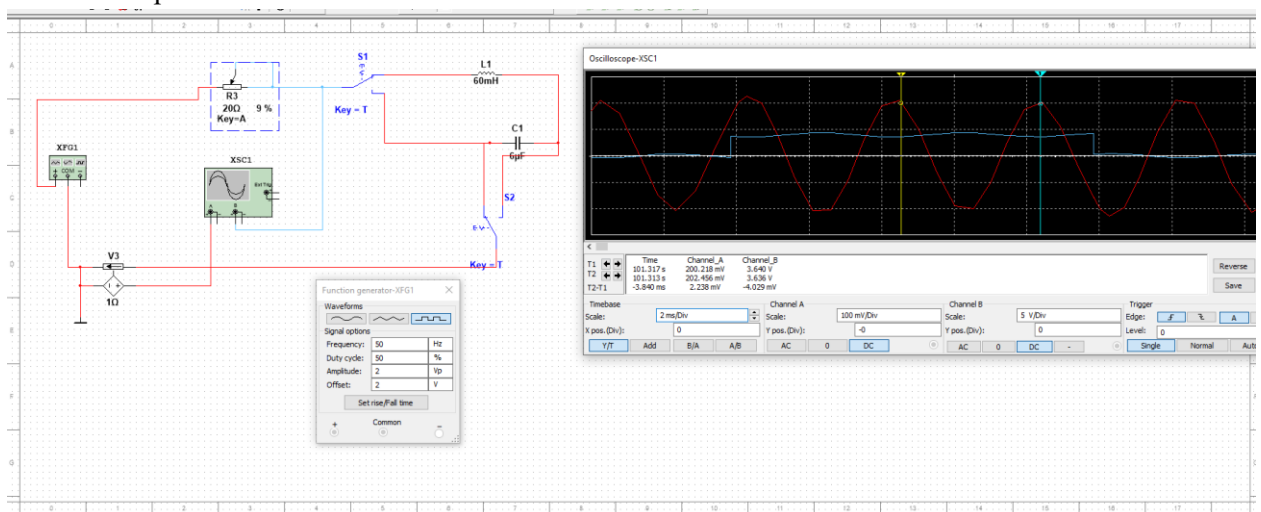


Рис.7 Осциллограммы тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$  при  $R < R_{кр}$ .

$$T_{CB} = 0,00384 \text{ с}$$

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T_{CB}} = 1635.4$$

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{I_{1m}}{I_{2m}}\right)}{T_{CB}} = \frac{\ln\left(\frac{202.4}{200.2}\right)}{0.00384} = 2.84$$

Вывод: Напряжения и ток периодически меняют знак. Амплитуда колебаний изменяется по экспоненциальному закону. В цепи совершаются затухающие колебания тока и напряжений с периодом  $T_{CB} = \frac{2\pi}{\omega_c}$ .

### Задание 5. Аперiodический переходный процесс

Задав значение сопротивления  $R = 2R_{кр}$ , убедимся, что вместо колебательного процесс стал аперiodическим:

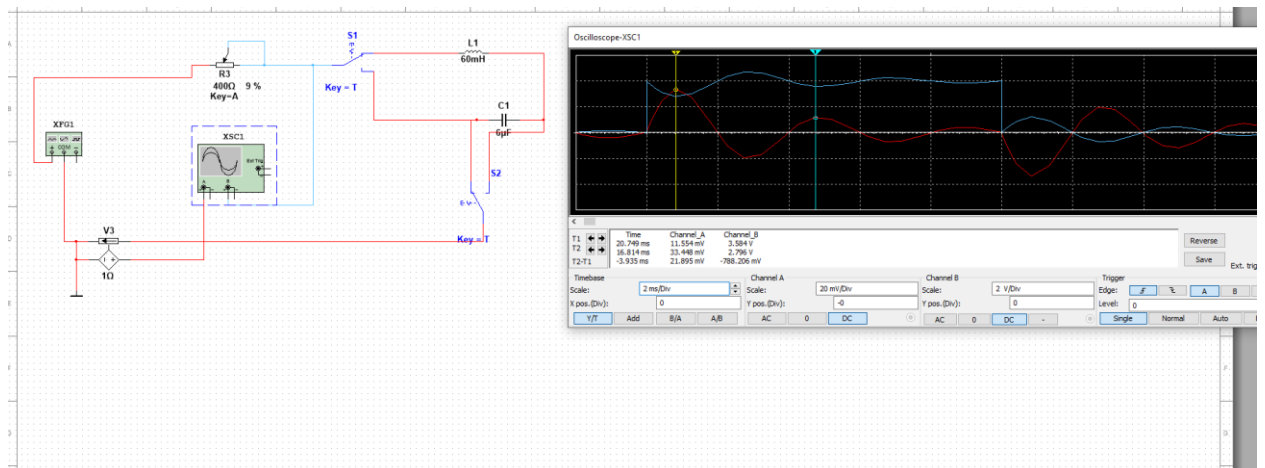


Рис.8 Осциллограммы тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$  при  $R = 2R_{кр}$ .

Выставив на потенциометре Setting =50 %, уменьшим сопротивление вдвое, чтобы сравнить крутизну нарастания критического переходного тока  $i$  и напряжения  $u$  в RLC-цепи с крутизной нарастания тока  $i$  и напряжения  $u$  при  $R = 2R_{кр}$

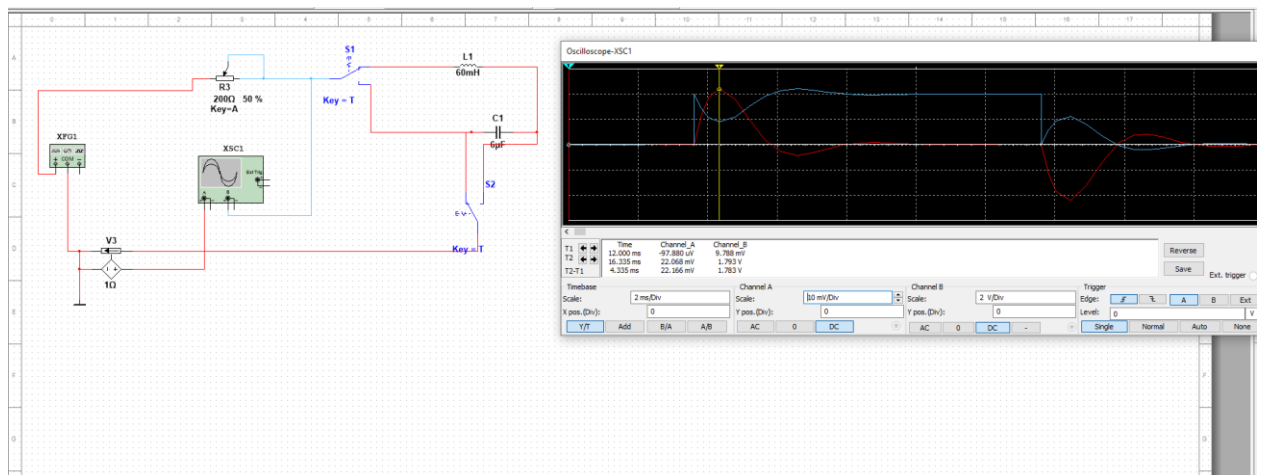


Рис.9 Осциллограммы тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$  при  $R = R_{кр}$ .

Вывод: Аперiodические процессы – переходные процессы, при которых ток и напряжение в контуре принимают новые установившиеся значения, переходя к ним монотонно, либо имеют не более одного экстремума.

$R = R_{\text{кр}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  при данном равенстве сопротивление называется критическим ( $\alpha = \omega_0$  и корни  $p_1 = p_2 = -\alpha = -\frac{R}{2L}$  уравнения  $p^2 + 2\alpha p + \omega_0^2 = 0$  вещественны и равны друг другу), получим  $\omega_c = 0$  и  $T_{\text{св}} = \infty$ . При этом периодические затухающие колебания переходят в аперiodические. Этот случай называют критическим (предельно аперiodическим)