

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ “ЛЭТИ” ИМ. В. И.**  
**УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА) (СПБГЭТУ «ЛЭТИ»)**

**Кафедра теоретических основ электротехники**

**Отчет**

**по лабораторной работе №3**

**по дисциплине “МОЭ”**

**Тема: “ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ”**

Студент гр.8382

\_\_\_\_\_

Мирончик П.Д.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Зубарев А.В.

Санкт-Петербург

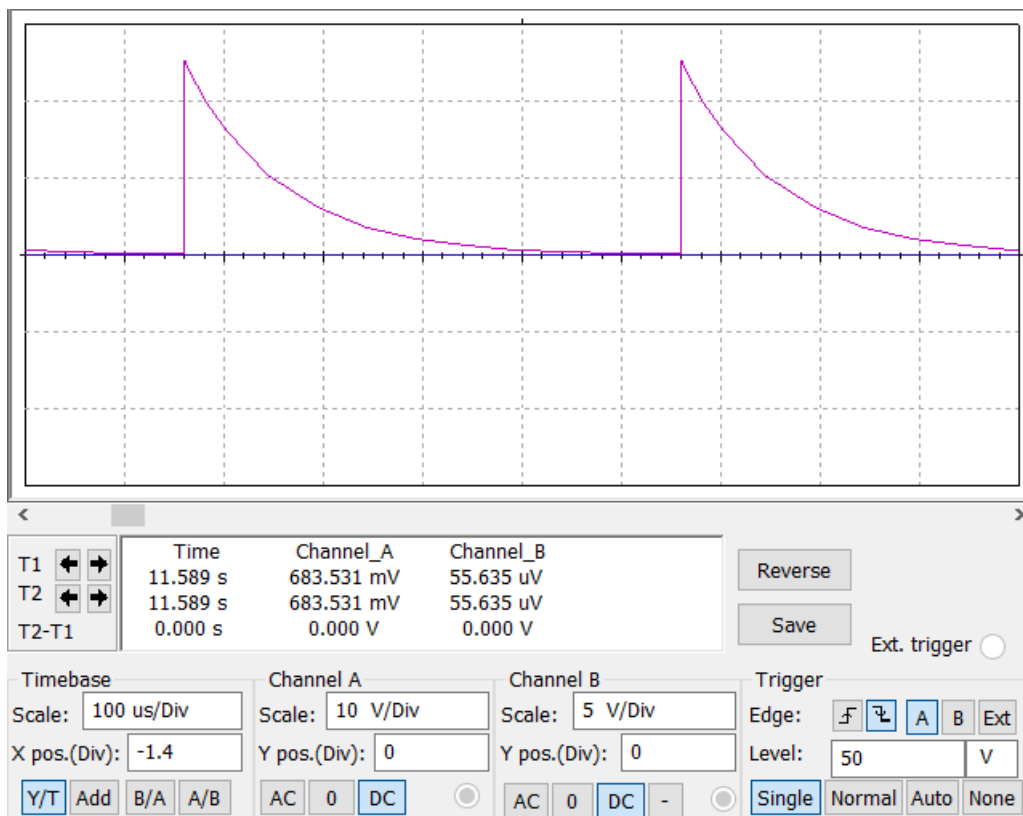
2020

# ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### “ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ”

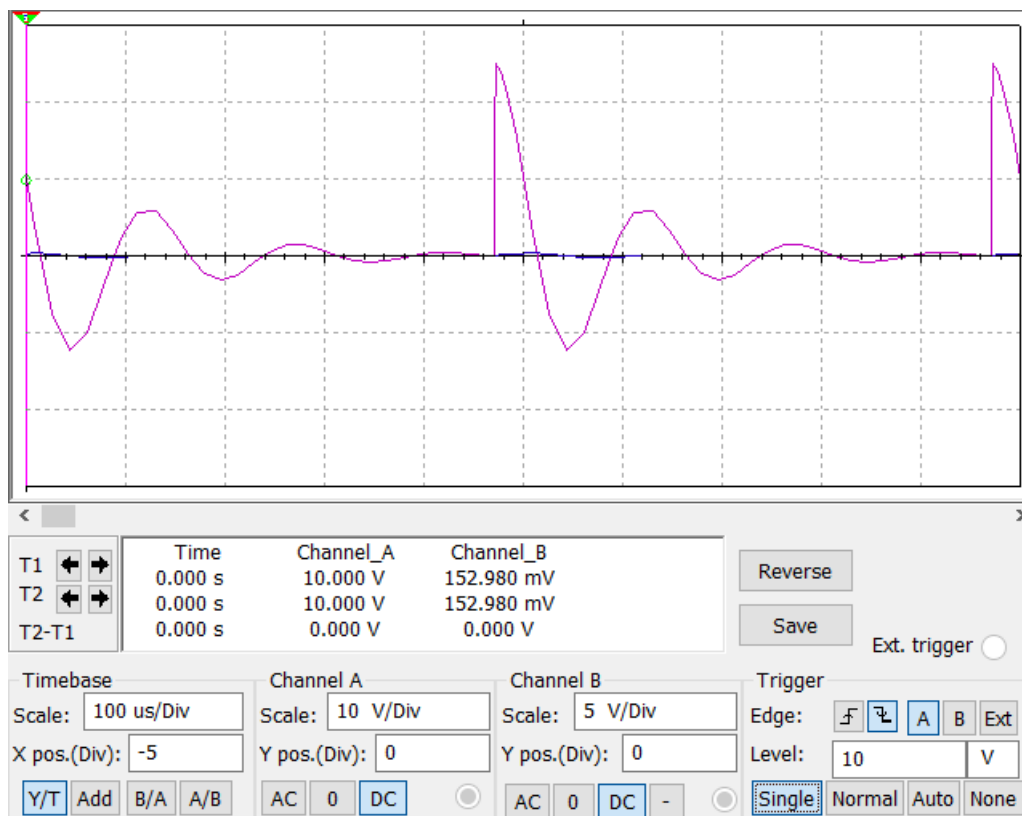
#### 1. Исследование свободных процессов в цепи первого порядка



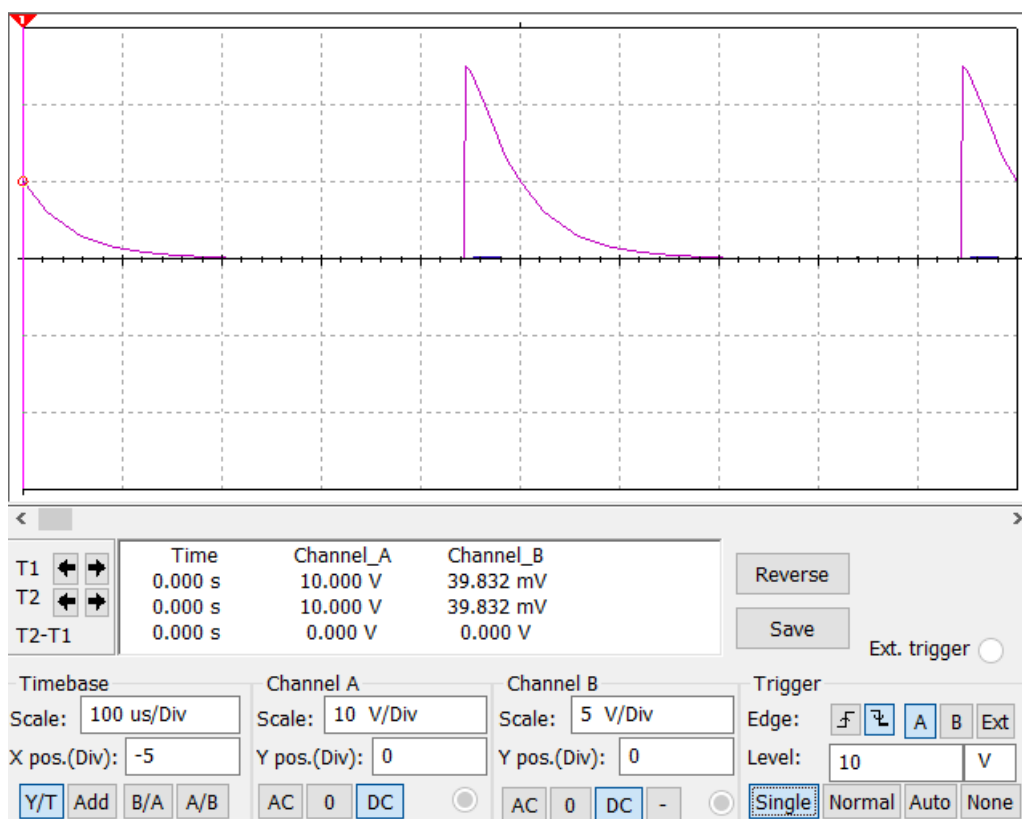
Полный полупериод сигнала равен  $\frac{T_c}{2} = 250\text{мс}$

#### 2. Исследование свободных процессов в цепи второго порядка

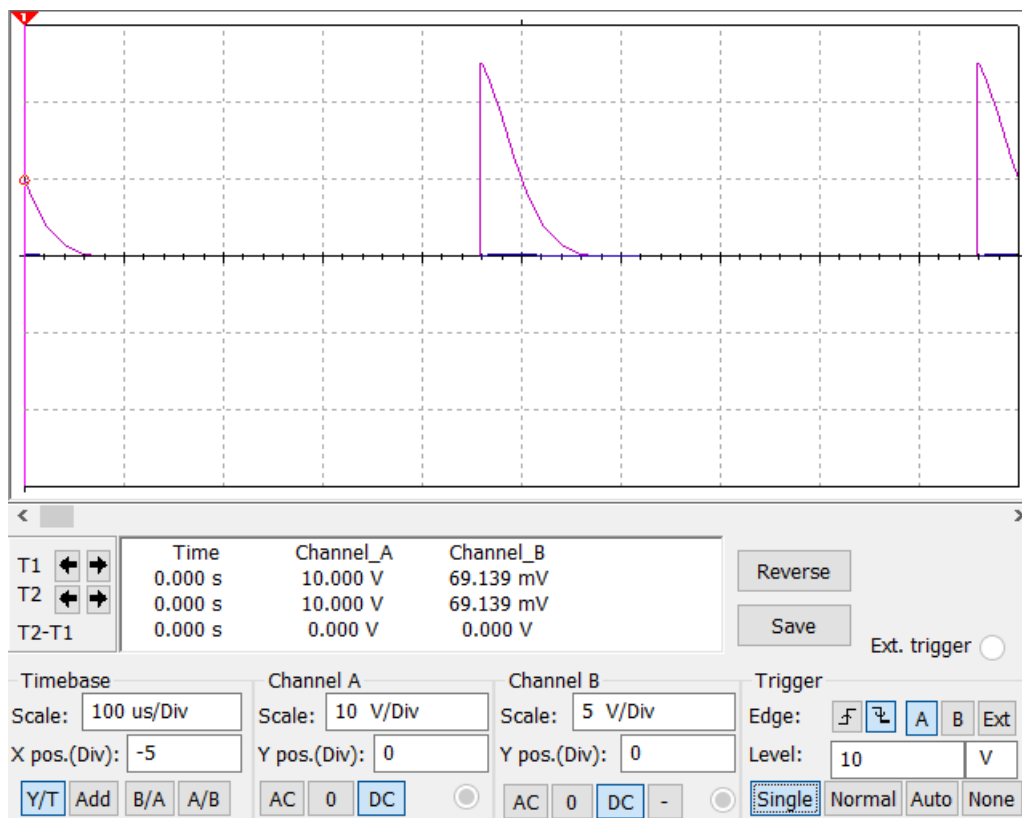
1. Колебательный режим ( $R1=0.5\text{кОм}$ )



## 2. Анериодический режим ( $R1=3\text{кОм}$ )

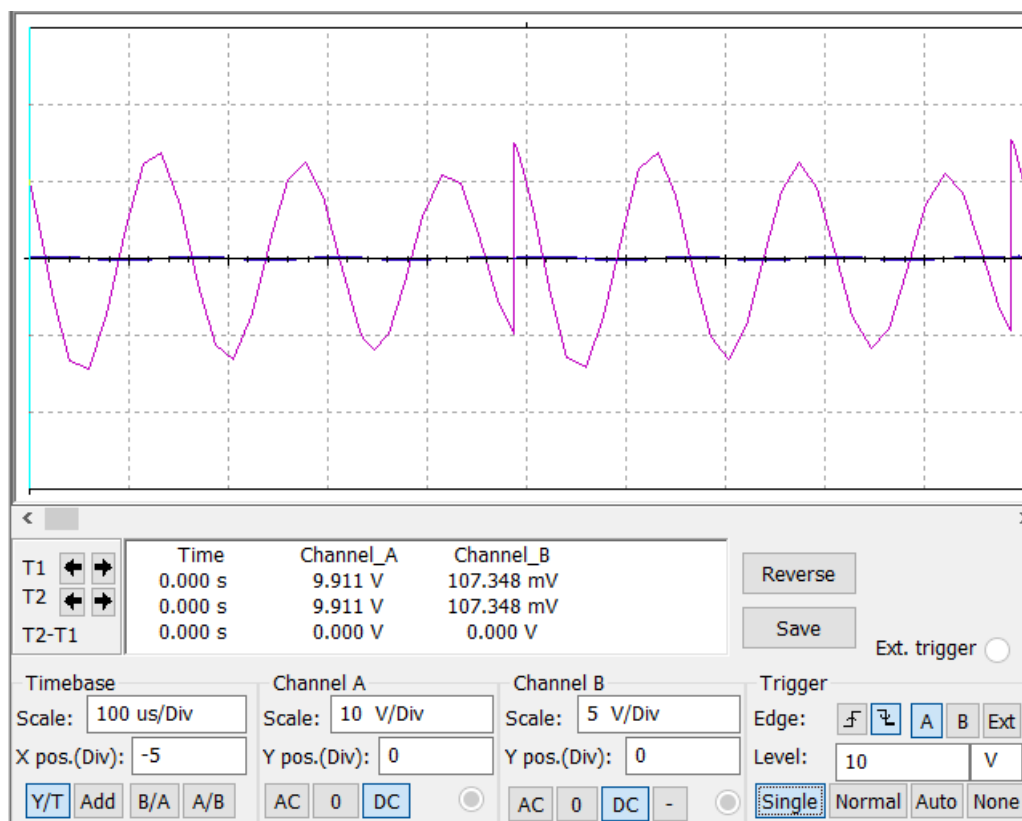


## 3. Критический режим

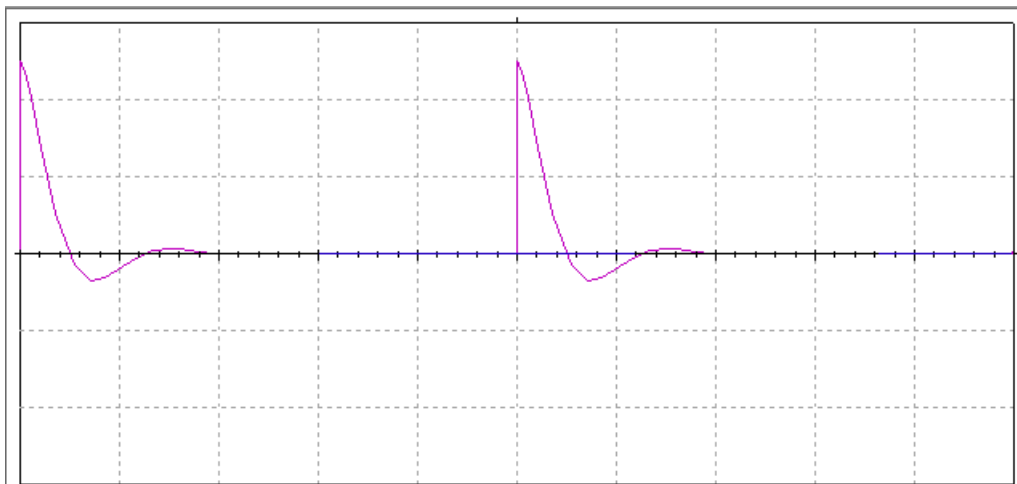


$$R1 = R_{кр} = 2.17 \text{ кОм}$$

4. Осциллограмма напряжения на конденсаторе ( $R1=0$ )



### 3. Исследование свободных процессов в цепи третьего порядка



	Time	Channel_A	Channel_B
T1	1.447 s	27.849 mV	0.000 V
T2	1.447 s	27.849 mV	0.000 V
T2-T1	0.000 s	0.000 V	0.000 V

Reverse Save Ext. trigger ☐

Timebase Channel A Channel B Trigger

Scale: 100 us/Div Scale: 10 V/Div Scale: 50 mV/Div Edge: ☐ ☒ A B Ext

X pos.(Div): -5 Y pos.(Div): 0 Y pos.(Div): 0 Level: 10 V

Y/T Add B/A A/B AC 0 DC ☐ AC 0 DC - ☐ Single Normal Auto None

## Цель работы

Изучение связи между видом свободного процесса в электрической цепи и расположением свободных частот (корней характеристического уравнения) на комплексной плоскости; приближенная оценка собственных частот и добротности контура по осциллограммам.

## Экспериментальные исследования

1. Исследование свободных процессов в цепи первого порядка.

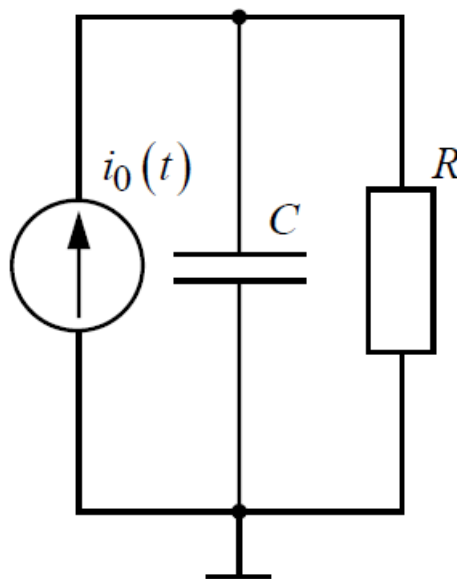


Рис. 1, схема цепи для 1 опыта

Соберем схему, показанную на рис. 1 ( $C = 0,02$  мкФ,  $R = 5$  кОм, источником тока  $i_0(t)$  является генератор импульсов). Снимем осциллограмму напряжения на конденсаторе, зафиксировав на ней один полный полупериод сигнала  $\frac{T_c}{2} = 250$  мс.

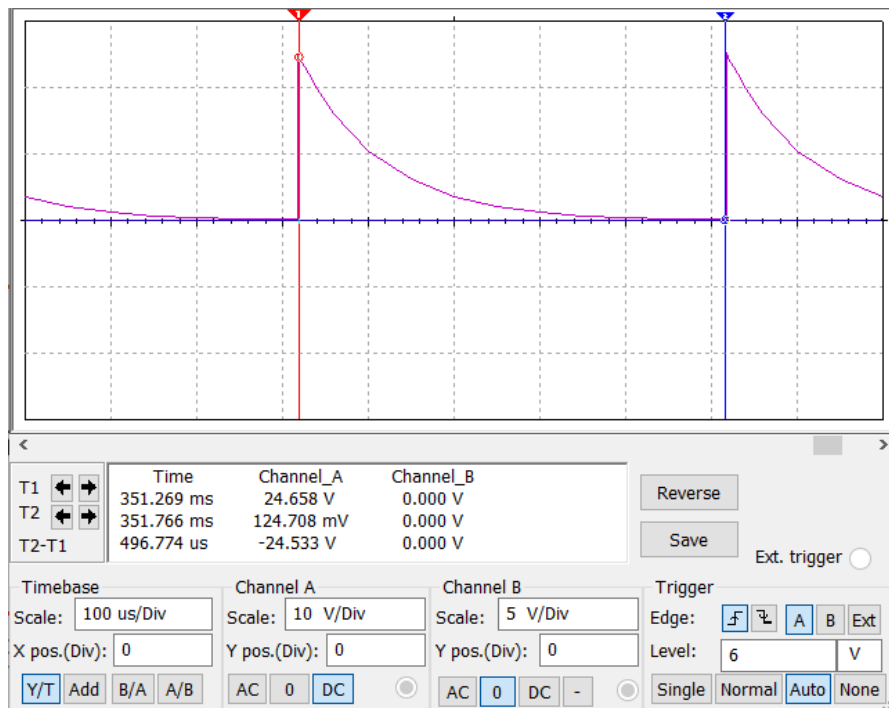


Рис.2, осциллограмма для 1 опыта

Теоретический расчет собственной частоты:

$$p_1 = -\alpha = -\frac{1}{\tau} = -\frac{1}{RC} = -\frac{1}{5 * 0.02 * 10^{-3}} = -10000 \text{ c}^{-1}$$

Практический расчет частоты:

$$p_1 = -\alpha = -\frac{1}{\tau} = -\frac{\ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right)}{\Delta t} = -\frac{\ln\left(\frac{24.533}{0.125}\right)}{497 * 10^{-6}} = -10\,624 \text{ c}^{-1}$$

**Вопрос 1: каким аналитическим выражением описывается осциллографируемый процесс?** осциллографируемый процесс описывается аналитической формулой:

$$U(t) = Ae^{p_1 t} = Ae^{at} = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

где  $u$  - напряжение на каком-либо элементе цепи;  $t$  - время;  $\alpha$  - постоянная затухания;  $\tau$  — постоянная времени;  $A$  - постоянная времени;  $A$  - постоянная интегрирования,  $p_1$  – вещественная и отрицательная.

**Вопрос 2: соответствует ли найденная собственная частота теоретическому расчету?** да, найденная СЧ соответствует теоретическому расчету с некоторой погрешностью.

## 2. Исследование свободных процессов в цепи второго порядка.

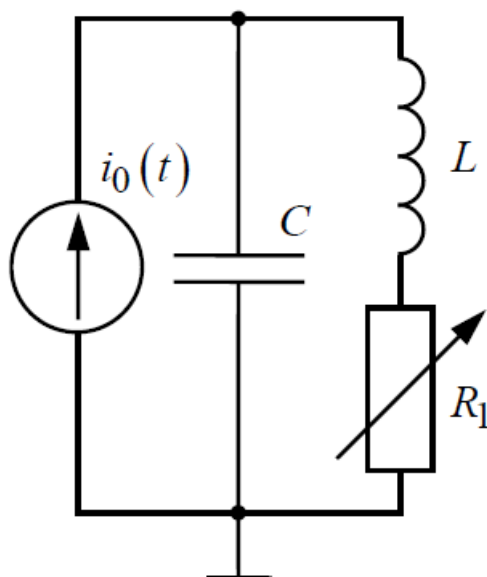


Рис.3, Схема цепи для второго эксперимента

Соберем схему, показанную на рис. 3 ( $C = 0,02$  мкФ,  $L = 25$  мГн). Снимем осциллограмму напряжения на резисторе при  $R_1 = 0,5$  кОм (колебательный режим).

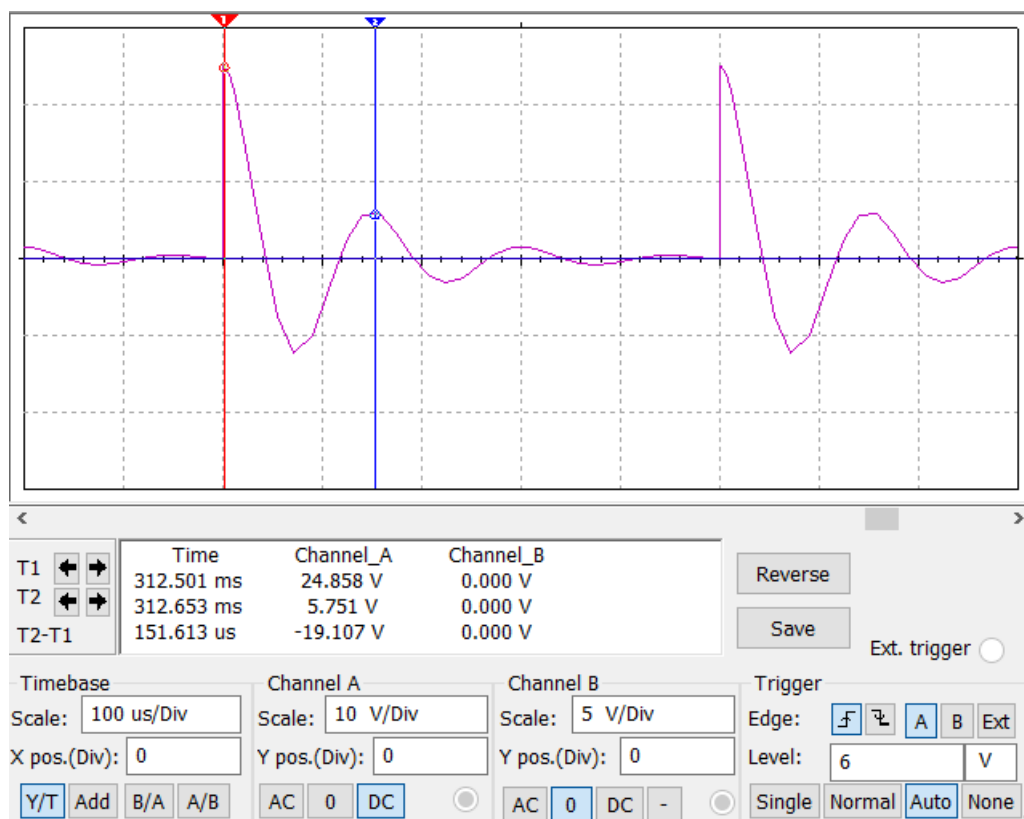


Рис. 4. Осциллограмма при  $R_1 = 0,5$  кОм, полученная во втором опыте.

Теоретический расчет собственных частот:



$$\alpha = \frac{R_1}{2L} = \frac{0.5 * 10^3}{2 * 25 * 10^{-3}} = 10000 \text{ c}^{-1}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{25 * 10^{-3} * 0.02 * 10^{-6}}} = 44720 \text{ рад/с}$$

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} = (-10000 \pm 43578j) \text{ c}^{-1}$$

Практический расчет собственных частот:

$$\alpha = \frac{1}{T} = \frac{\ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right)}{T} = \frac{\ln\left(\frac{24.8}{5.7}\right)}{151.6 * 10^{-6}} = 9699 \text{ c}^{-1}$$

$$p_{1,2} = -\alpha \pm j * \frac{2\pi}{T} = 9699 \pm 41446j \text{ c}^{-1}$$

Теоретический расчет добротности:

$$Q = \frac{L}{R} * \omega_0 = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \frac{4.47 * 10^4}{2 * 10^4} = 2.23$$

Практический расчет добротности:

$$Q = \frac{\pi}{\ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right)} = \frac{\pi}{\ln\left(\frac{24.8}{5.7}\right)} = 2.14$$

Снимем осциллограмму напряжения на резисторе при  $R_1 = 3 \text{ кОм}$   
(апериодический режим).

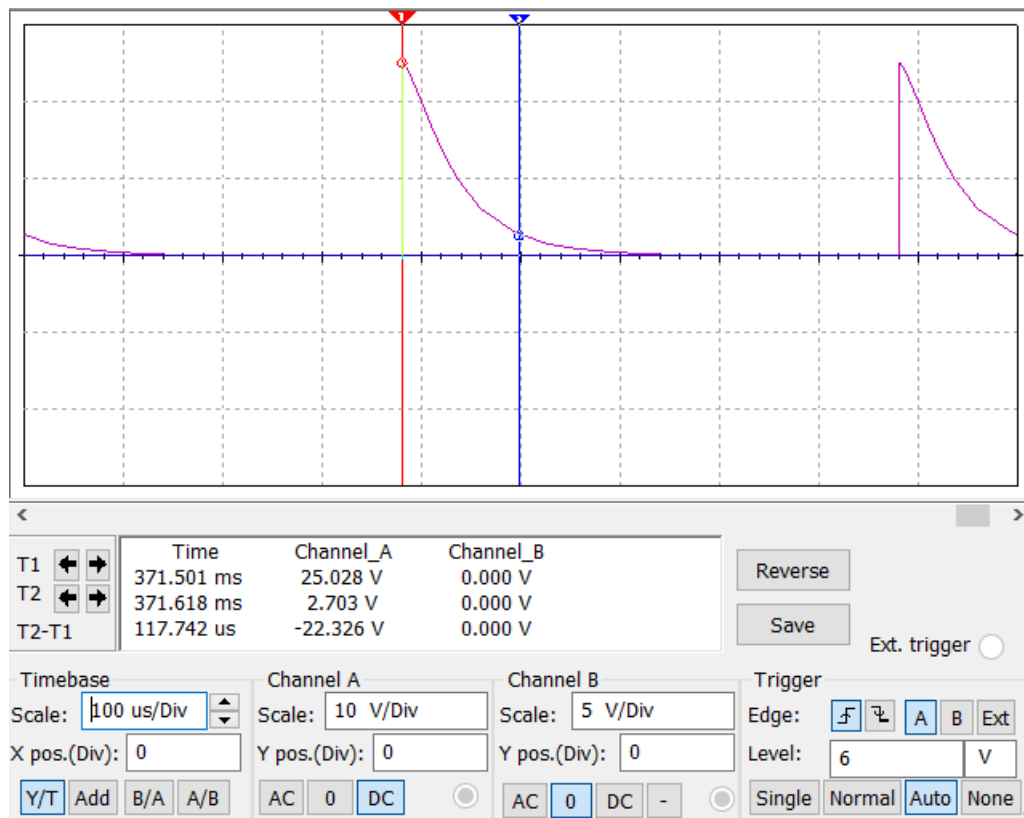


Рис. 5. Осциллограмма при  $R1 = 3 \text{ кОм}$ , полученная во втором опыте.

Теоретический расчет собственных частот:

$$\alpha = \frac{R_1}{2L} = \frac{3 * 10^3}{2 * 25 * 10^{-3}} = 60000 \text{ c}^{-1}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{25 * 10^{-3} * 0.02 * 10^{-6}}} = 44720 \text{ рад/с}$$

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} = (-60000 \pm 43578j) \text{ c}^{-1}$$

$$p_1 = -103578 \text{ c}^{-1}, p_2 = -16422 \text{ c}^{-1}$$

Практический расчет собственных частот:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right)}{T} = \frac{\ln\left(\frac{25}{2.7}\right)}{117.7 * 10^{-6}} = 18909 \text{ c}^{-1}$$

$$p_1 = -\alpha = -18909 \text{ c}^{-1}$$

Затем найдем такое значение  $R1$ , при котором в цепи будет наблюдаться критический режим, т. е. режим, граничный между колебательным и апериодическим. Снимем осциллограмму процесса и

запишем полученное значение сопротивления  $R_1 = R_{1кр}$ .

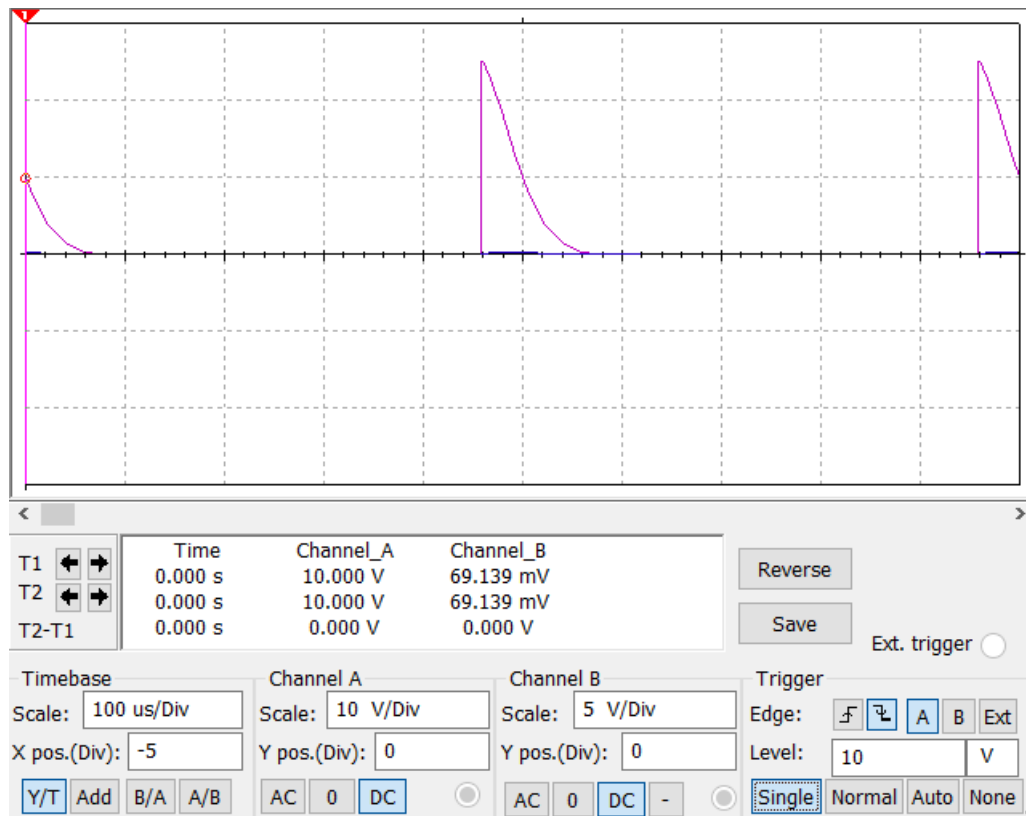


Рис. 6. Осциллограмма при  $R_1 = R_{1кр}$ , полученная во втором опыте.

$$R_1 = R_{кр} = 2.17 \text{ Ом}$$

Теоретический расчет собственных частот:

$$\alpha = \frac{R_1}{2L} = \frac{2.17 \cdot 10^3}{2 \cdot 25 \cdot 10^{-3}} = 43400 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{25 \cdot 10^{-3} \cdot 0.02 \cdot 10^{-6}}} = 44720 \text{ рад/с}$$

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \approx 43400 \text{ с}^{-1}$$

Практический расчет СЧ:

$$p_1 = p_2 = -\alpha = -\frac{1}{t_m} = -\frac{1}{0.02 \cdot 10^{-3}} = -50000 \text{ с}^{-1}$$

В заключение установим  $R_1 = 0$  и снимем осциллограмму напряжения на конденсаторе.

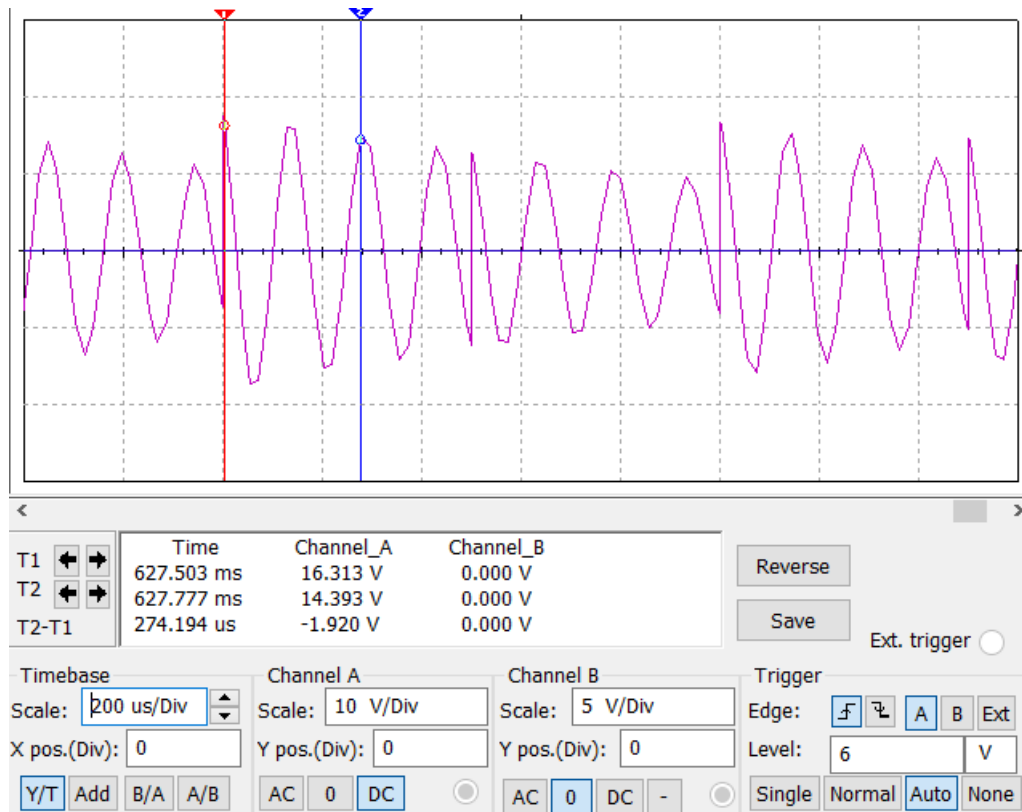


Рис. 7. Осциллограмма при  $R1 = 0$  кОм, полученная во втором опыте.

Теоретический расчет добротности:

$$Q = \frac{L}{R} * \omega_0 = \frac{\omega_0}{2\alpha} = \infty$$

Практический расчет добротности:

$$Q = \frac{\pi}{\ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right)} = \frac{\pi}{\ln\left(\frac{16.3}{14.4}\right)} = 25.35$$

**Вопрос 3: какими аналитическими выражениями (в общем виде) описываются процессы во всех четырех случаях?** Осциллографируемые процессы описывается аналитической формулой:

$$U(t) = A_1 * e^{p_1 * t} + A_2 * e^{p_2 * t}$$

где  $p_1, p_2$  могут быть вещественными (простыми или кратными) или комплексно-сопряженными.

**Вопрос 4: соответствуют ли найденные собственные частоты теоретическому расчету?** Частоты практически совпадают для  $R_1 = 0.5$  кОм и  $R_1 = R_{кр}$ .

**Вопрос 5: Каковы теоретические значения собственных частот при  $R_1 = 3 \text{ кОм}$  и соответствует ли этим значениям снятая осциллограмма?**

теоретические значения собственных частот при  $R_1 = 3 \text{ кОм}$   $p_1 = -103578 \text{ с}^{-1}$  и  $p_2 = -16422 \text{ с}^{-1}$ . Практические значения при этом получились  $p_{1,2} = -18909 \text{ с}^{-1}$ , что примерно соответствует теоретическим.

Вопрос 6: как соотносятся найденные значения добротности с результатами теоретического расчета? При  $R_1 = 0,5 \text{ кОм}$  теоретические и практические расчёты совпадают. При  $R_1 = 0 \text{ кОм}$  теоретическая добротность  $Q_{\text{теор}} = \infty$ , а практическая  $Q_{\text{пр}} = 25,3$ . Это связано с тем, что в теории сопротивление отсутствует.

### 3. Исследование свободных процессов в цепи третьего порядка.

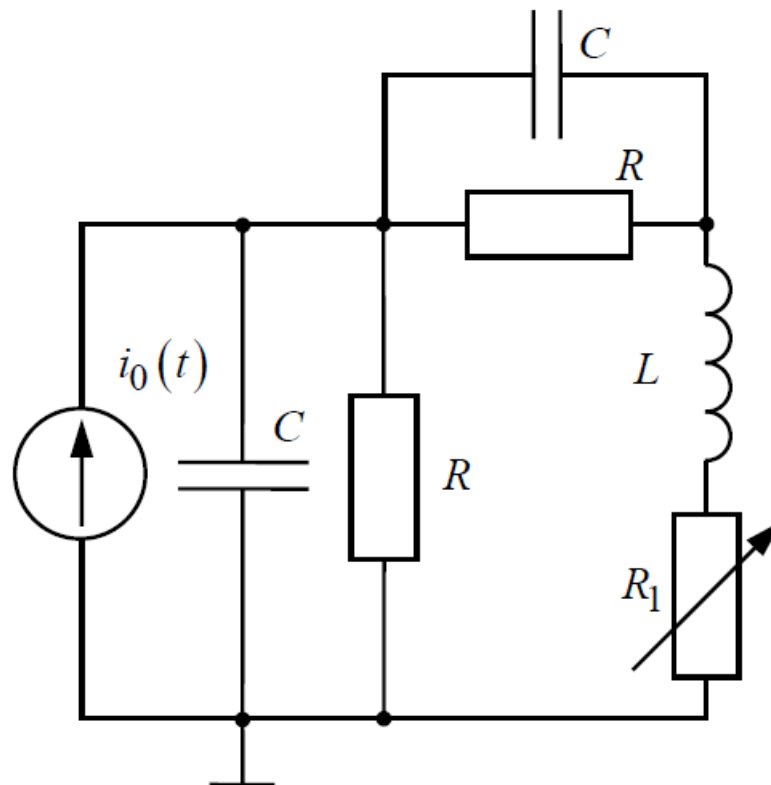


Рис. 8. Схема цепи для третьего эксперимента.

Соберем схему, показанную на рис. 8 ( $C = 0,02 \text{ мкФ}$ ,  $R = 5 \text{ кОм}$ ,  $R_1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $L = 25 \text{ мГн}$ ). Снимем осциллограмму напряжения на входе цепи.

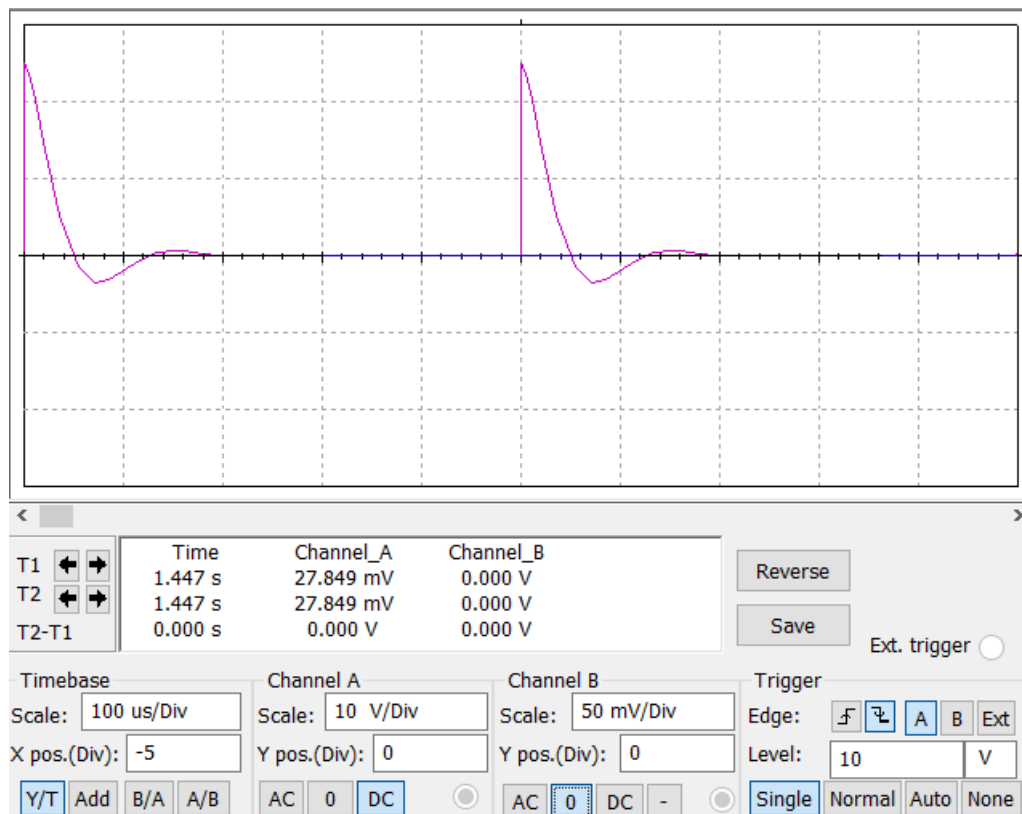


Рис. 9. Осциллограмма, полученная в третьем опыте.

**Вопрос 7: каким аналитическим выражением описывается осциллограмма?**  $U(t) = A_1 * e^{p_1 * t} + A_2 * e^{p_2 * t} + A_3 * e^{p_3 * t}$ , где  $p_1, p_2, p_3$  могут быть 1) одна вещественная и две комплексно-сопряженные; 2) все три вещественные.

**Вопрос 8: каковы значения собственных частот, соответствует ли этим значениям снятая осциллограмма?**

Теоретический расчет СЧ:

$$p_1 = -\frac{1}{\tau} = -\frac{1}{RC} = -\frac{1}{5 * 0.02 * 10^{-3}} = -10000 c^{-1}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2 \left( \frac{R_1}{L} + \frac{1}{RC} \right)} = 25000 c^{-1}$$

$$p_{1,2} = -\alpha_2 \pm \sqrt{\alpha_2^2 - \frac{2 + \frac{R_1}{R}}{LC}} = -25000 \pm 61441j c^{-1}$$

Практический расчет СЧ:

$$\alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{\ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right)}{\Delta t} = \frac{\ln\left(\frac{24.8}{0.683}\right)}{148 * 10^{-6}} = 24271 \text{ c}^{-1}$$

$$p_{1,2} = -\alpha \pm \frac{j(2\pi)}{T} = -25271 \pm j69777 \text{ c}^{-1}$$

Снятая осциллограмма соответствует теоретическим значениям собственных частот.

### **Вывод**

В результате выполнения лабораторной работы и последующей обработке результатов были изучены связи между видом свободного процесса в электрической цепи и расположением ее собственных частот (корней характеристического уравнения) на комплексной плоскости, отработаны навыки работы с осциллографом. Кроме того, по теоретическим и экспериментальным данным были определены собственные частоты и добротности RLC-контура. По расчетам, выполненным в работе, можно сделать вывод о совпадении теоретических и экспериментальных значений.