



Группа М3205

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Степанюк Аврора, Тросько  
Виктория

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Шоев В.И.

Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.10

Изучение свободных затухающих электромагнитных колебаний

### 1. Цель работы.

Изучение основных характеристик свободных затухающих колебаний.

### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Провести многократные измерения периода колебаний контура при различных значениях сопротивления магазина.
2. Построить график зависимости логарифмического декремента затухания от сопротивления магазина.
3. Рассчитать полное сопротивление контура и индуктивность катушки на основе экспериментальных данных.
4. Подобрать значение сопротивления магазина, при котором процесс разрядки конденсатора теряет периодичность, и оценить критическое сопротивление контура.

### 3. Объект исследования.

Колебательный контур.

### 4. Метод экспериментального исследования.

Эксперимент, анализ данных.

### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

Рабочие формулы:

1.  $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$ , где  $T$  – период затухающих колебаний,  $R$  – сопротивление цепи,  $C$  – емкость конденсатора,  $L$  – индуктивность катушки.
2.  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  – формула Томсона.
3.  $R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ , где  $R_{кр}$  – критическое сопротивление катушки.
4.  $\lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{U_i}{U_{i+n}} \sim \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}$ , где  $\lambda$  – логарифмический декремент,  $U_i$  – значение напряжения на конденсаторе.
5.  $R = R_m + R_0$ , где  $R$  – полное сопротивление контура,  $R_m$  – сопротивление магазина,  $R_0$  – собственное сопротивление контура.
6.  $L = \frac{\pi^2 R^2 C}{\lambda^2}$
7.  $Q = \frac{2\pi}{1 - \exp(-2\lambda)}$  – где  $Q$  – добротность контура.

8.  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$  – формула добротности контура для малых затуханий.

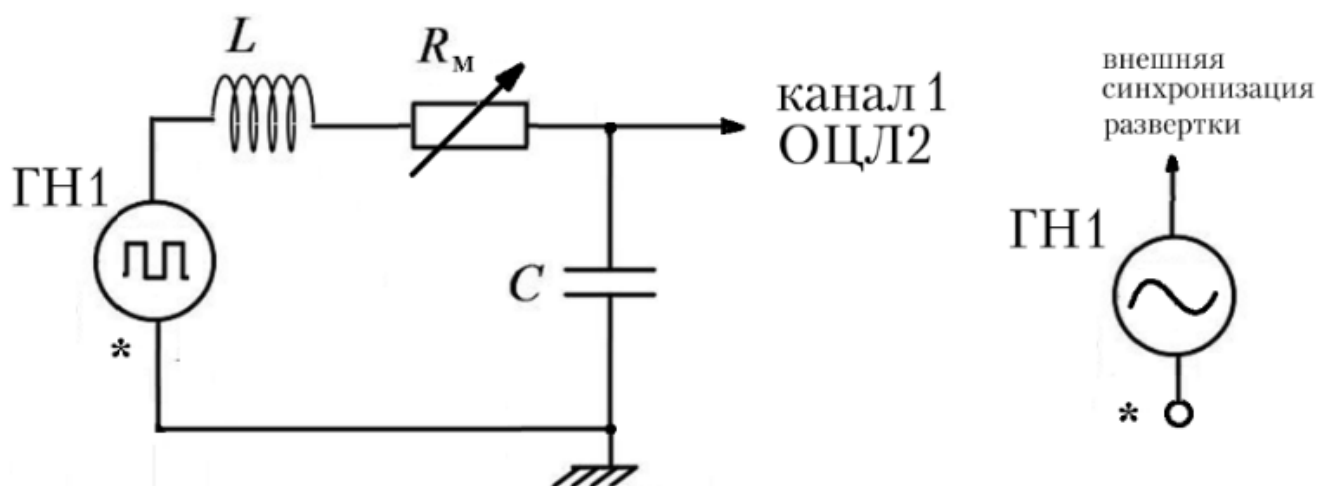
Исходные данные:

1.  $C_1 = 0,022$  мкФ
2.  $C_2 = 0,033$  мкФ
3.  $C_3 = 0,047$  мкФ
4.  $C_4 = 0,47$  мкФ
5.  $L = 10$  мГн

#### 6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Осциллограф	Настраиваемый	Настраиваемый

#### 7. Схема установки



#### 8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Таблица 1.

$R_M, \text{Ом}$	$T, \text{мс}$	$2U_i, \text{дел}$	$2U_{i+n}, \text{дел}$	n	$\lambda$	Q	R, Ом	L, мГн
0	5	5,3	2,7	2	0,34	0,29	204,17	78,3
10	5	5,2	2,4	2	0,39	11,6	214,17	65,48
20	5	5	2	2	0,46	10,45	224,17	51,57
30	5	4,95	1,7	2	0,53	9,61	234,17	42,39
40	5	4,7	1,6	2	0,54	9,51	244,17	44,39
50	5	4,5	1,3	2	0,62	8,84	254,17	36,49
60	5	4,1	1,2	2	0,61	8,92	264,17	40,72
70	5	3,9	1	2	0,68	8,45	274,17	35,3
80	5	3,75	0,8	2	0,77	8	284,17	29,57
90	5	3,4	0,7	2	0,79	7,91	294,17	30,11
100	3,7	2,9	0,6	2	0,79	7,91	304,17	32,19
200	2,5	2,4	0,4	2	0,9	7,53	404,17	43,79
300	1,8	1,8	0,2	2	1,1	7,07	504,17	45,61
400	1,3	1,5	0,1	2	1,35	6,74	604,17	43,49

Таблица 2.

$C, \text{мкФ}$	$T_{\text{эксп}}, \text{мс}$	$T_{\text{теор}}, \text{мс}$	$\delta T = \frac{T_{\text{эксп}} - T_{\text{теор}}}{T_{\text{теор}}}, \%$
0,022	0,08	0,05	0,6
0,033	0,11	0,08	0,38
0,047	0,13	0,1	0,3
0,47	0,43	0,33	0,3

Таблица 3.

$R_M, \text{Ом}$	$T_{\text{эксп}}, \text{мс}$	$T_{\text{теор}}, \text{мс}$
0	0,18	0,09
200	0,15	0,13
400	0,1	0,15

## 9. Расчет результатов косвенных измерений.

$$1. \lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{U_i}{U_{i+n}}.$$

Для  $R_M = 0 \text{ Ом}$ ,  $T = 5 \text{ мс}$ ,  $2U_i = 5,3 \text{ дел}$ ,  $2U_{i+n} = 2,7 \text{ дел}$ ,  $n = 2$  получим  $\lambda = \frac{1}{2} \ln \frac{5,3}{2,7} \sim 0,34$ .

$$2. Q = \frac{2\pi}{1 - \exp - 2\lambda}$$

Для  $\lambda = 0,34$  получим  $Q = \frac{2\pi}{1 - \exp - 2 \times 0,34} \sim 12,73$ .

3. Посчитаем коэффициенты аппроксимирующей прямой функции зависимости логарифмического декремента  $\lambda$  от сопротивления магазина  $R_M$ :  $\lambda = AR_M + B$  с помощью МНК.

$$A = 0,0023 \text{ Ом}^{-1}$$

$$B = 0,4696$$

$$\text{Тогда } R_0 = \frac{B}{A}; R_0 = \frac{0,4696}{0,0023} = 95,95 \text{ Ом}.$$

$$\text{При } R_M = 0: R = 0 + 204,174 = 204,174 \text{ Ом}.$$

$$4. L = \frac{\pi^2 R^2 C}{\lambda^2}$$

Для  $R = 204,174 \text{ Ом}$ ,  $C_1 = 0,022 \text{ мкФ}$ ,  $\lambda = 0,34$  получим  $L = \frac{\pi^2 \times 204,174^2 \times 0,022}{0,34^2} = 78,3 \text{ мГн}.$

$$5. T_{\text{теор}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

Для  $L_{\text{ср}} = 44,243 \text{ мГн}$ ,  $R_0 = 204,174 \text{ Ом}$ ,  $C_1 = 0,022 \text{ мкФ}$  получим  $T_{\text{теор}} = 0,05 \text{ мс}.$

$$6. R_{\text{кр}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_{\text{кр, теор}} = 2236,227 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{кр, эксп}} = 1200 \text{ Ом}$$

## 10. Расчет погрешностей измерений.

$$1. \Delta_\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\delta \lambda}{\delta U_i} \Delta U_i\right)^2 + \left(\frac{\delta \lambda}{\delta U_{i+n}} \Delta U_{i+n}\right)^2} = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta U_i}{U_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{i+n}}{U_{i+n}}\right)^2} = \lambda \sqrt{(\delta U_i)^2 + (\delta U_{i+n})^2}$$

$$\Delta_\lambda = 0,34 \sqrt{0,01 + 0,01} = 0,05$$

$$2. \Delta_{R_0} = R_0 \sqrt{\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2}$$

$\Delta_A = \sigma_A \times t$ , где  $t$  – коэффициент Стьюдента для 11 измерений.

$$\Delta_B = \sigma_B \times t$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{D(N-2)} \sum_{i=1}^N d_i^2}$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{D(N-2)} \sum_{i=1}^N d_i^2 \left( \frac{1}{N} + \frac{(R_i - \bar{R})^2}{D} \right)}$$

$$d_i = \lambda_i - (A + BR_i); D = \sum_{i=1}^N (R_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N R_i)^2)$$

$$\sigma_A = 0,18 \times 10^{-6}; \sigma_B = 0,17 \times 10^{-8}$$

$$\Delta_A = 0,18 \times 2,23 \times 10^{-6} = 0,4 \times 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}; \Delta_B = 0,17 \times 2,23 \times 10^{-8} = 0,38 \times 10^{-8} \text{ Ом}^{-1}$$

$$\Delta_{R_0} = 204,17 \sqrt{\left( \frac{0,4 \times 10^{-6}}{0,0041} \right)^2 + \left( \frac{0,38 \times 10^{-8}}{0,3934} \right)^2} = 0,93 \times 10^{-2} \text{ Ом}$$

$$3. \Delta_R = \Delta_{R_M} + \Delta_{R_0}$$

$$\Delta_R = 0,11 \text{ Ом}$$

$$4. \Delta_L = L \sqrt{4 \left( \frac{\Delta_R}{R} \right)^2 + \left( \frac{\Delta_C}{C} \right)^2 + 4 \left( \frac{\Delta_\lambda}{\lambda} \right)^2}$$

$$\Delta_L = 1,1 \text{ мГн}$$

$$5. \Delta_Q = \frac{4\pi e^{-2\lambda}}{(1-e^{-2\lambda})^2} \Delta_\lambda$$

$$\Delta_Q = 0,34$$

$$6. \Delta_{L_{cp}} = \sigma_{L_{cp}} \times t$$

$$\sigma_{L_{cp}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (L_i - L_{cp})^2}$$

$$\sigma_{L_{cp}} = 0,01$$

$$\Delta_{L_{cp}} = 0,01 \times 2,23 = 0,02 \text{ Гн}$$

$$7. \Delta_{R_{кр,эксп}} = \Delta_{R_{Mкр}} + \Delta_{R_0}$$

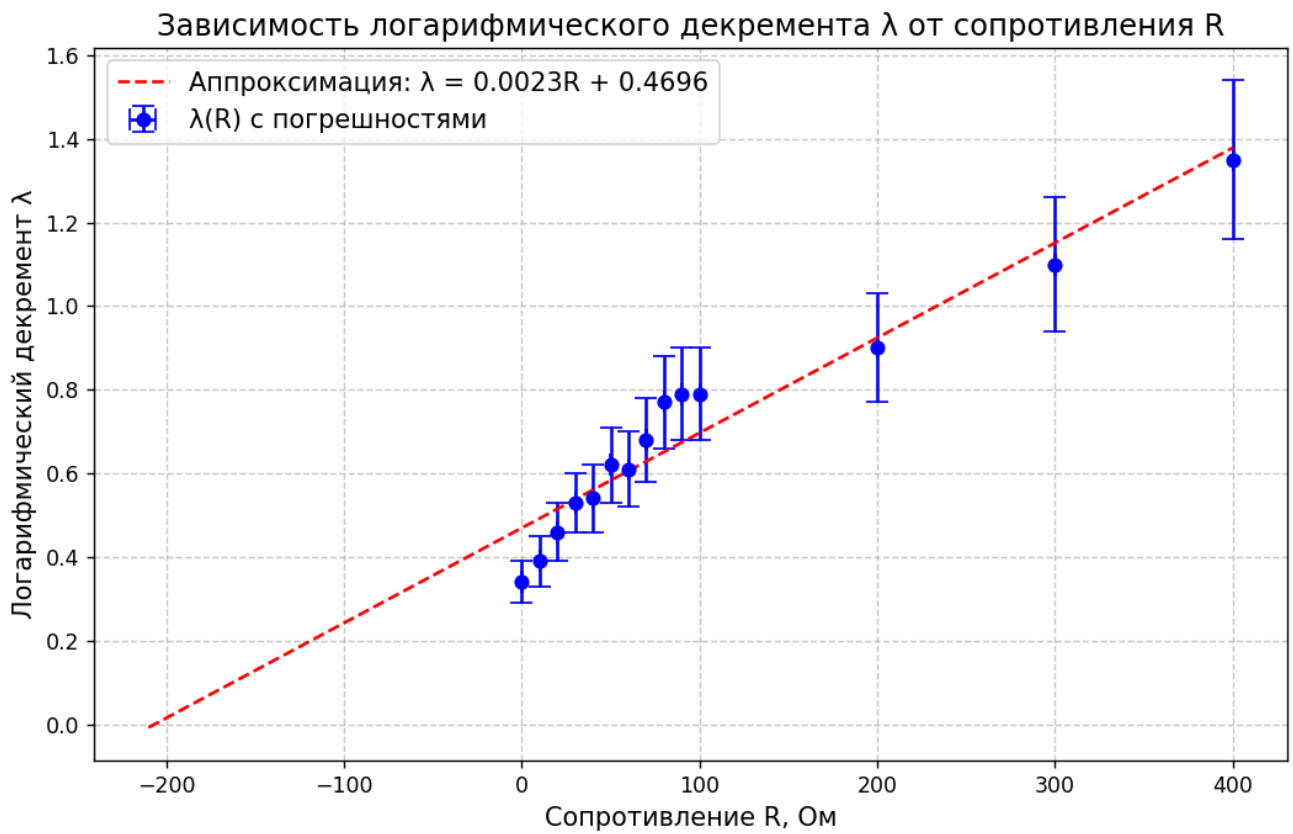
$$\Delta_{R_{кр,эксп}} = 400 \text{ Ом}$$

**Таблица 4.**

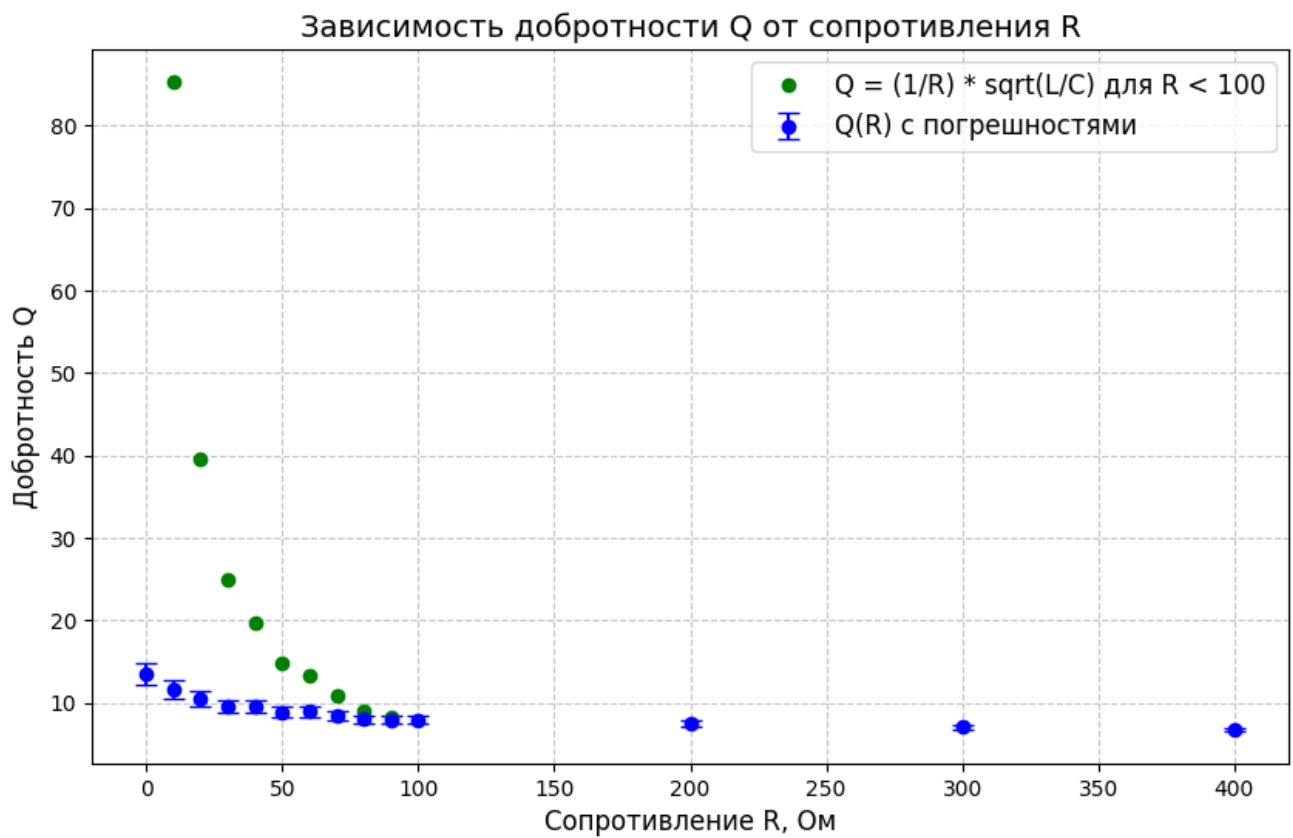
$\Delta_\lambda$	$\Delta_Q$	$\Delta_R, \text{ Ом}$	$\Delta_L, \text{ мГн}$
0,05	1,31	0,11	1,73
0,06	1,18	0,11	1,92
0,07	0,97	0,11	1,93
0,07	0,71	0,11	1,72
0,08	0,78	0,11	2,2
0,09	0,65	0,11	2,17
0,09	0,67	0,11	2,55
0,1	0,58	0,11	2,59
0,11	0,48	0,11	2,49
0,11	0,45	0,11	2,65
0,11	0,45	0,11	2,94
0,13	0,39	0,11	6,1
0,16	0,28	0,11	9
0,19	0,18	0,11	11,13
0,05	1,31	0,11	1,73

11. Графики.

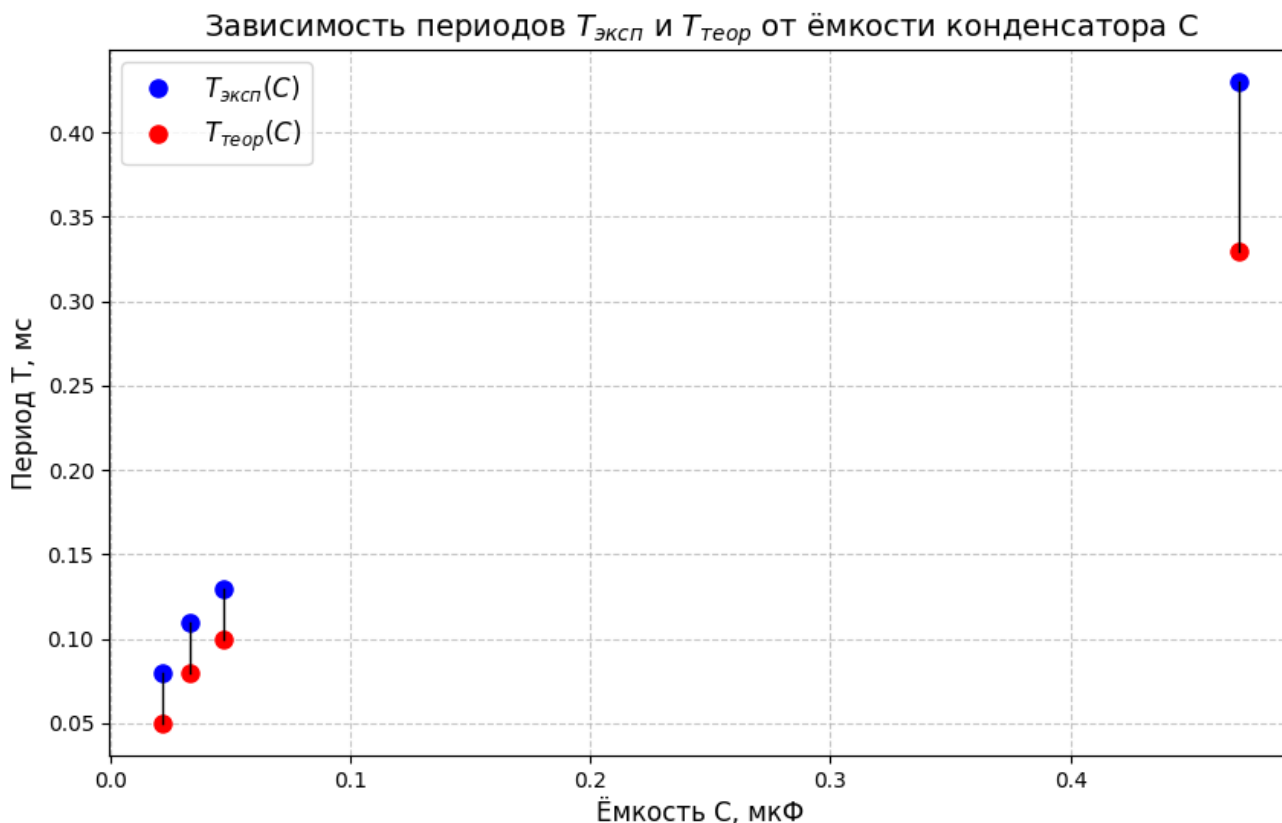
**График 1.** Зависимость логарифмического декремента  $\lambda$  от сопротивления  $R$ .



**График 2.** Зависимость добротности  $Q$  от сопротивления  $R$ .



**График 3.** Зависимость периодов  $T_{\text{эксп}}$  и  $T_{\text{теор}}$  от ёмкости конденсатора  $C$ .



Период колебаний возрастает с ростом емкости, однако экспериментальная зависимость меньше теоретической. Формулу Томсона применять можно, так как для ее справедливости необходимо выполнение  $\beta \ll \omega$ ,  $\omega = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ , в нашем случае  $\omega = 2\sqrt{\frac{44,243 \times 10^{-3}}{0,022 \times 10^{-6}}} = 2236,227 \text{ Ом}$ .  $R_{\text{max}} = 400 \text{ Ом} \Rightarrow R_{\text{max}} \ll \omega$ , значит формула Томсона справедлива.

## 12. Окончательные результаты.

В результате мы получили следующие значения:

1.  $L_{\text{ср}} = (44,243 \pm 3) \text{ мГн} = (44,243 \pm 3) \times 10^{-3} \text{ Гн}$
2.  $R_0 = 204,17 \pm 0,11 \text{ Ом}$
3.  $R_{\text{кр,эксп}} = 1200 \pm 400 \text{ Ом}$
4.  $R_{\text{кр,теор}} = 2236,227 \text{ Ом}$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы были изучены характеристики свободных затухающих электромагнитных колебаний в RLC-контуре. Экспериментально определены основные параметры колебаний, такие как период  $T$ , логарифмический декремент затухания  $\lambda$ , добротность контура  $Q$  и критическое сопротивление  $R_{\text{кр}}$ . Установлено, что при малом сопротивлении контура период колебаний может описываться формулой Томсона  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , так как условие  $\beta \ll \omega_0$  выполняется. Также подтверждено, что с увеличением сопротивления контура затухание колебаний усиливается, а добротность контура уменьшается.

15. Замечания преподавателя (*исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт*).

Замечания:

1. Кажется, что схема не имела внешней синхронизации развертки...  
График №3: зачем соединять по точкам линией? до этого момента все было хорошо.  
Аппроксимация, у которой большая часть точек лежит по одну сторону от прямой — плохая аппроксимация. Возможно, что есть «выбивающиеся точки»
2. Добротность, вычисленная по формуле для малых колебаний, находится слишком низко.
3. Выбрать другой способ аппроксимации для 1 графика.
4. В таблице 1 везде одинаковый период  $T$ .
5. Два  $R_{кр}$ .

Исправления:

1. Изменена аппроксимация для графика 1.
2. Убрана линия между точками для графика 3.
3. Исправлен график зависимости добротности от сопротивления (забыли перевести в СИ).
4. 1 график аппроксимирован зависимостью  $\lambda = k\sqrt{R} + c$ .
5. Исправлен период в таблице 1.
6. Было уточнено, что из  $R_{кр}$  чем является.