

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ФТФ

Группа	Р3110	К работе допущен	
Студент	Цыпандин Николай Петрович	Работа выполнена	
Преподаватель	Коробков Максим Петрович	Отчет принят	

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 3.10

«Изучение свободных затухающих электромагнитных колебаний»

Цель работы:

1. Изучение основных характеристик свободных затухающих колебаний.

Задачи, решаемые при выполнении работы:

1. Собрать схему, в качестве индуктивности использовать L , с ёмкостью C_1 .
2. Измерить период колебаний при разном сопротивлении магазина R_M
3. Измерить значения $2U_i$ и $2U_{i+n}$, удвоенные значения амплитуд колебания напряжения.
4. Построить график зависимости логарифмического декремента от R_M
5. Подобрать резонирующее сопротивление $R_{рез}$

Объект исследования:

Стенд с объектом исследования СЗ-ЭМ01, а именно свободные затухающие электромагнитные колебания.

Метод экспериментального исследования:

Прямые и косвенные измерения.

Рабочие формулы:

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{U_i}{U_{i+n}} \quad (1)$$

$$R = R_0 + R_M \quad (2)$$

$$L = \frac{\pi^2 R^2 C}{\lambda^2} \quad (3)$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\lambda}} \quad (5)$$

$$R_{кр} = 2 * \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{R} * \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (7)$$

Измерительные приборы:

№	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Погрешность прибора
1	Осциллограф ОЦЛ2	Больше чем надо	0,1 дел	0,05 дел

Схема установки:

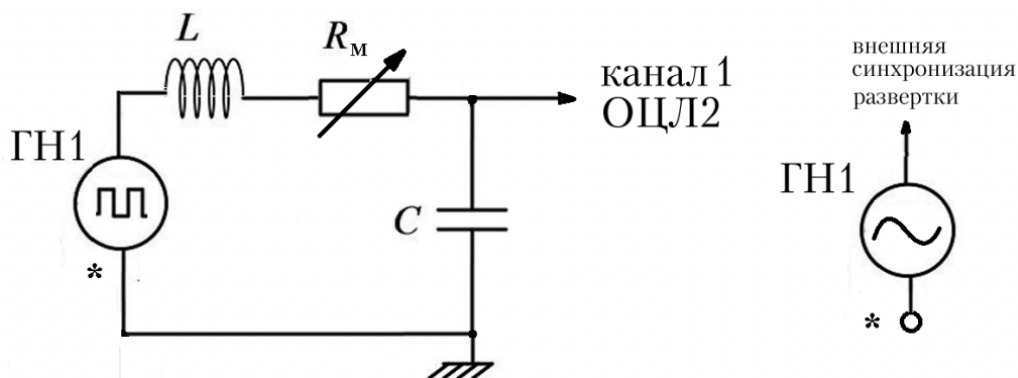


Рис 6. Рабочая схема для изучения затухающих колебаний напряжения на конденсаторе

Принципиальная схема установки изображена на Рисунке 1. Буквой L обозначена катушка, использующаяся в качестве индуктивности; буквой С обозначен конденсатор, использующийся в качестве ёмкости; R_м – добавочное сопротивление, выставяемое в магазине сопротивлений; ГН1 – генератор переменного напряжения; ОЦЛ2 – канал осциллографа, на который подается сигнал с конденсатора. На генераторе напряжения была установлена частота 40 Гц.

Результаты прямых измерений и их обработки:

Измерения проводились:

Пятница 14 Май 2021 14:00 – 14:50

Таблица 1.

14.05.21 БД

R, Ом	T, мс	2U _i , дел	2U(i+n), дел	n	I	Q	R, Ом	L, мГн
0	0,09	5,3	1,9	3				
10	0,09	5	1,6	3				
20	0,09	4,7	1,3	3				
30	0,09	4,4	1,2	3				
40	0,09	4,2	0,9	3				
50	0,09	4	0,8	3				
60	0,09	3,7	0,7	3				
70	0,09	3,5	0,6	3				
80	0,09	3,3	0,8	2				
90	0,09	3,1	1,5	1				
100	0,09	2,9	1,3	1				
200	0,09	1,6	0,5	1				
300	0,1	1,3	0,3	1				
400	0,11	0,7	0,1	1				

L =

R_{рез} = 1080 Ом

L = 10 мГн ± 10%, C₁ = 0,012 мкФ ± 10%, C₂ = 0,033 ± 10% мкФ, C₃ = 0,047 ± 10% мкФ, C₄ = 0,47 ± 10% мкФ

Таблица 2

14.05.21 БД

C, мкФ	Тэскп, мс	Ттеор, мс	δТ = (Тэскп-Ттеор)/(Ттеор), %
C ₁ = 0,012 мкФ	0,09		
C ₂ = 0,033	0,11		
C ₃ = 0,047	0,13		
C ₄ = 0,47	0,45		

Расчёт результатов косвенных измерений:

Таблица 1								
R _м , Ом	T, мс	2U _i , дел	2U _{i+n} , дел	n	λ	Q	R, Ом	L, мГн
0	0,09	5,3	1,9	3	0,34	12,68	55,2	5,66
10	0,09	5	1,6	3	0,38	11,81	65,2	6,40
20	0,09	4,7	1,3	3	0,43	10,92	75,2	6,69
30	0,09	4,4	1,2	3	0,43	10,84	85,2	8,40
40	0,09	4,2	0,9	3	0,51	9,79	95,2	7,46
50	0,09	4	0,8	3	0,54	9,55	105,2	8,35
60	0,09	3,7	0,7	3	0,56	9,37	115,2	9,35
70	0,09	3,5	0,6	3	0,59	9,09	125,2	9,85
80	0,09	3,3	0,8	2	0,71	8,29	135,2	7,91
90	0,09	3,1	1,5	1	0,73	8,20	145,2	8,69
100	0,09	2,9	1,3	1	0,80	7,86	155,2	8,12
200	0,09	1,6	0,5	1	1,16	6,96	255,2	10,45
300	0,09	1,3	0,3	1	1,47	6,64	355,2	12,74
400	0,09	0,7	0,1	1	1,95	6,41	455,2	11,88

Сначала нужно измерить период колебаний T на экране, а далее значения удвоенной амплитуды 2U_i и 2U_{i+n}. Период колебаний у меня немножко поменялся при большом сопротивлении, но потом я понял, что период должен быть везде одинаков, поэтому немного скорректировал результаты измерений.

Логарифмический декремент для текущего сопротивления магазина

$$\lambda = \ln \left(\frac{U_i}{U_{i+n}} \right)^{\frac{1}{n}} = \frac{\ln \frac{5,3}{1,9}}{3} = \frac{1,025}{3} = 0,34$$

Значение добротности для текущего сопротивления магазина

$$Q = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\lambda}} = \frac{2\pi}{1 - e^{-2 \cdot 0,34}} = \frac{2\pi}{1 - 0,51} = 12,68$$

$$Q_{\text{теор}} = \frac{1}{R} * \sqrt{\frac{10 * 10^3}{C}} = 12,21$$

Полное сопротивление для текущего сопротивления магазина

$$R = R_0 + R = 55,2 + 0 = 55,2$$

R₀ находится по графику при пересечении самого графика и оси абсцисс, общее сопротивление находится как сумма сопротивлений магазина и самого контура. R₀ = 55,2 Ом.

Значение индуктивности для текущего сопротивления магазина

$$L = \frac{\pi^2 * R^2 * C}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 * 55,2^2 * 0,022}{0,34^2} = 5,66 \text{ мГн}$$

$$L_{\text{ср}} = 7,9 \text{ мГн}$$

Среднее значение индуктивности для всех $R_m \leq 100 \text{ Ом}$

Таблица 2			
С, мкФ	Т _{эксп} , мс	Т _{теор} , мс	Сигма Т, %
0,022	0,09	0,08	8,1
0,033	0,11	0,10	7,8
0,047	0,13	0,12	6,7
0,47	0,45	0,39	14,4

$$T_{\text{теор}0} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{10^9}{5,66 * 0,022} - \frac{55,2^2 * 10^6}{4 * (5,66)^2}}} * 10^3 = 0,08 \text{ мс}$$

$$T_{\text{теор}200} = 0,1 \text{ мс}$$

$$T_{\text{теор}400} = 0,12 \text{ мс}$$

Теоретическое значение периода колебаний при соответствующих значениях сопротивления магазина 0, 200, 400 Ом.

У меня вышло экспериментально $R_{\text{рез}} = 1080 \text{ Ом}$, вычислим теоретическое значение:

$$R_{\text{рез теор}} = 2 * \sqrt{\frac{10 * 10^3}{0,022}} = 1348,4 \text{ Ом}$$

Расчёт погрешности измерений:

Среднее квадратичное отклонение величины индукции L:

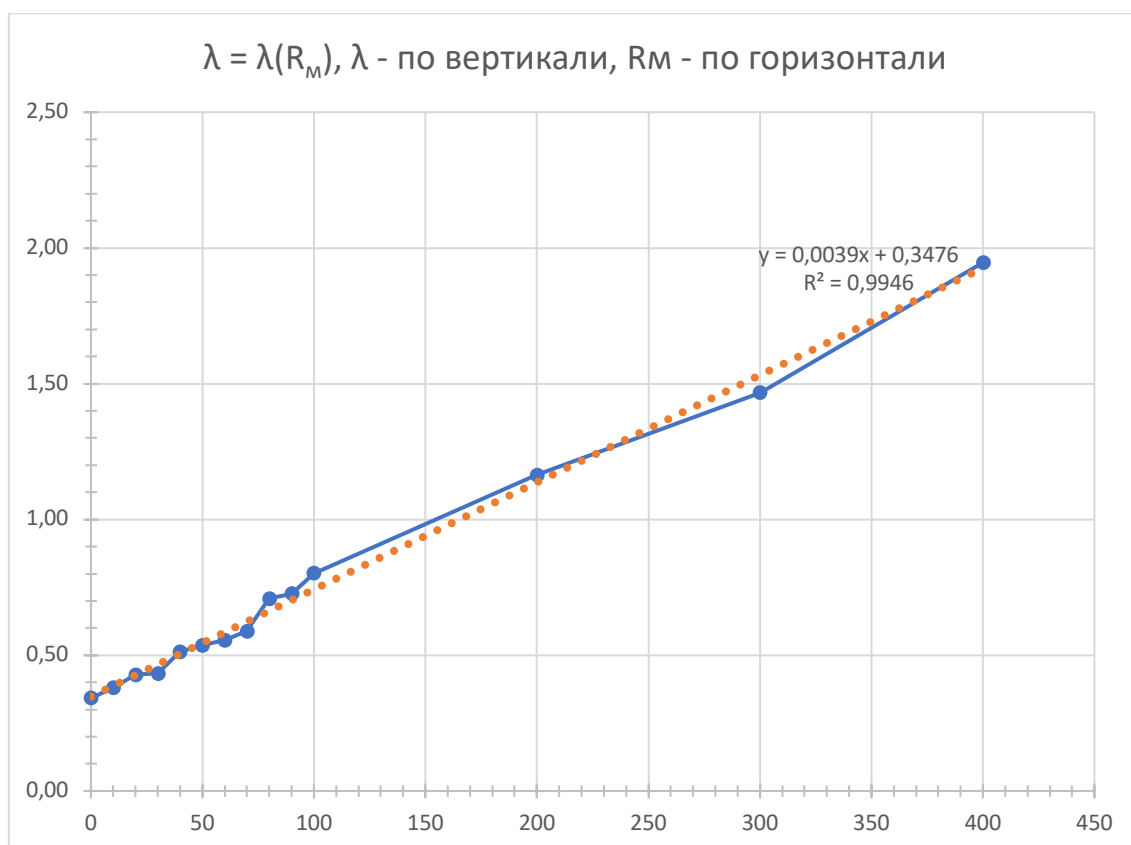
$$\sigma(L) = \sqrt{\frac{\sum (L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} = 0,32 \text{ мГн}$$

Погрешность среднего значения индукции $L_{\text{ср}}$

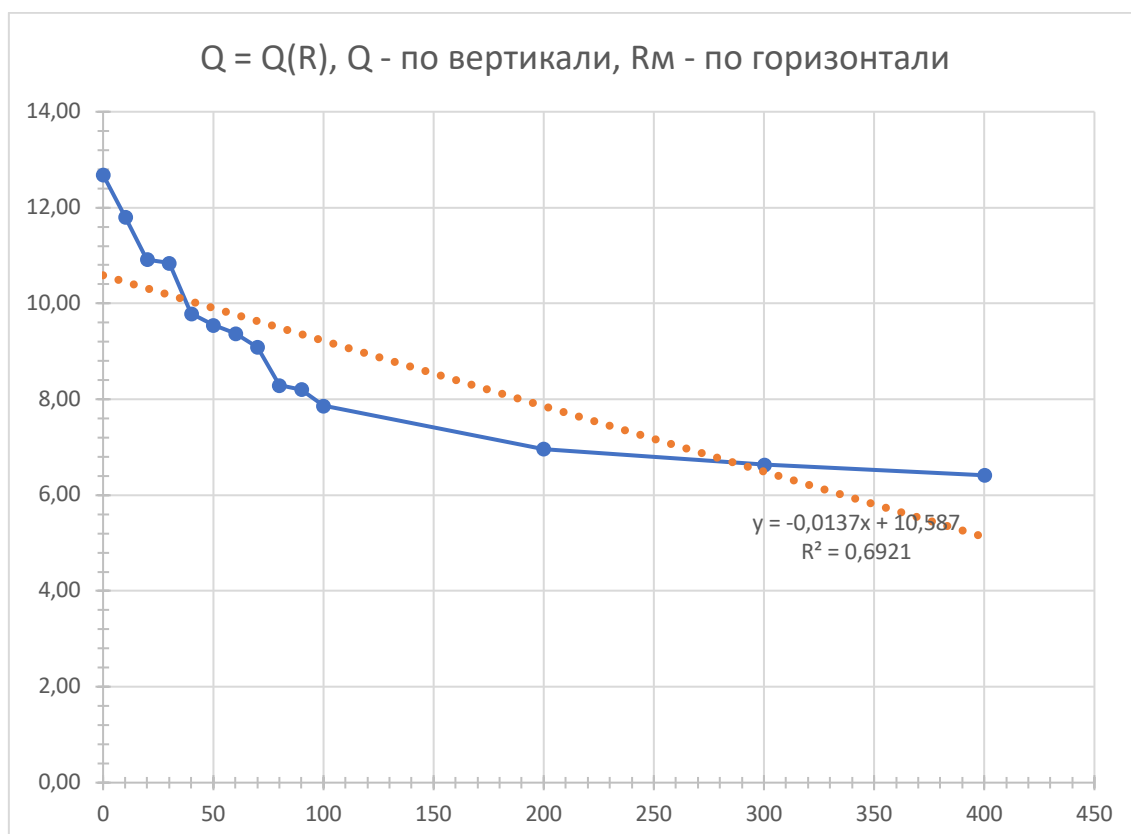
$$\Delta L_{\text{ср}} = t_{\alpha, n} * \sigma(L) = 0,72 \text{ мГн}$$

Графики:

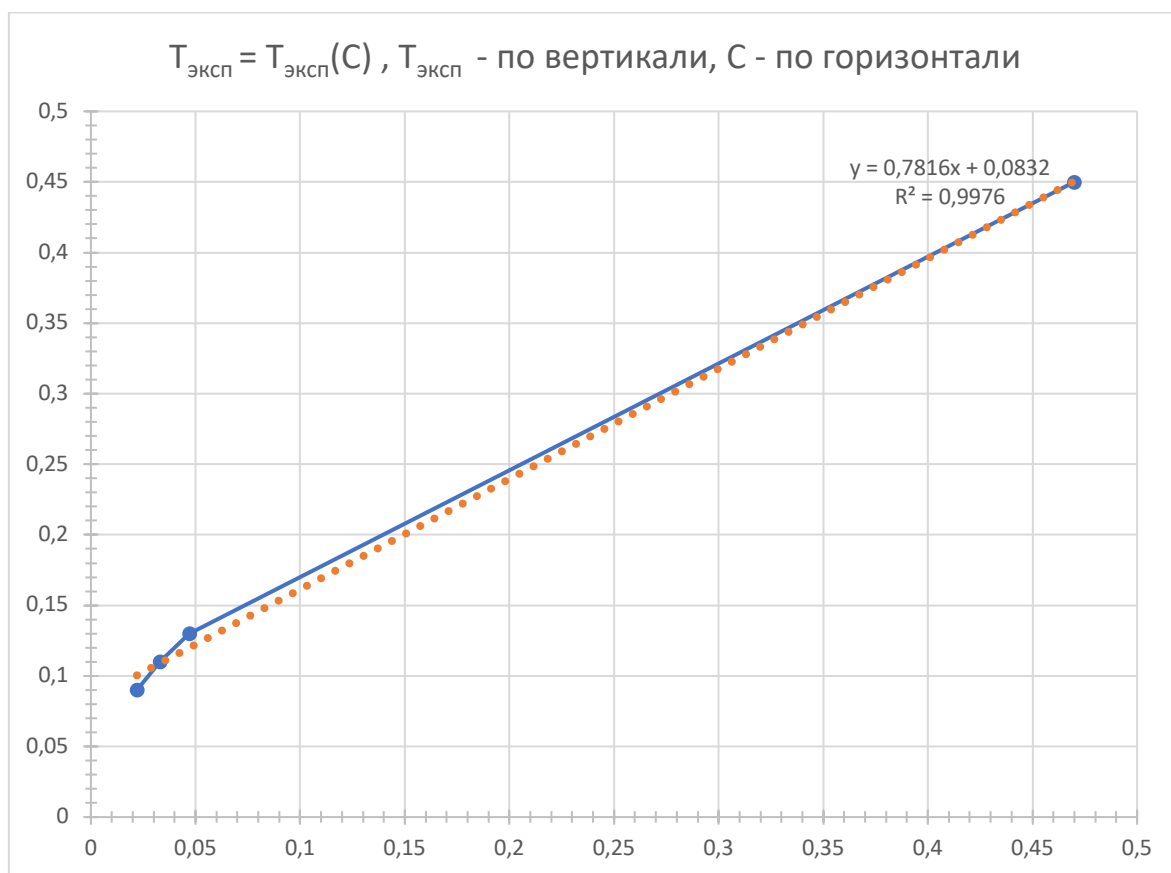
$\lambda = \lambda(R_M)$ – логарифмический декремент от сопротивления магазина



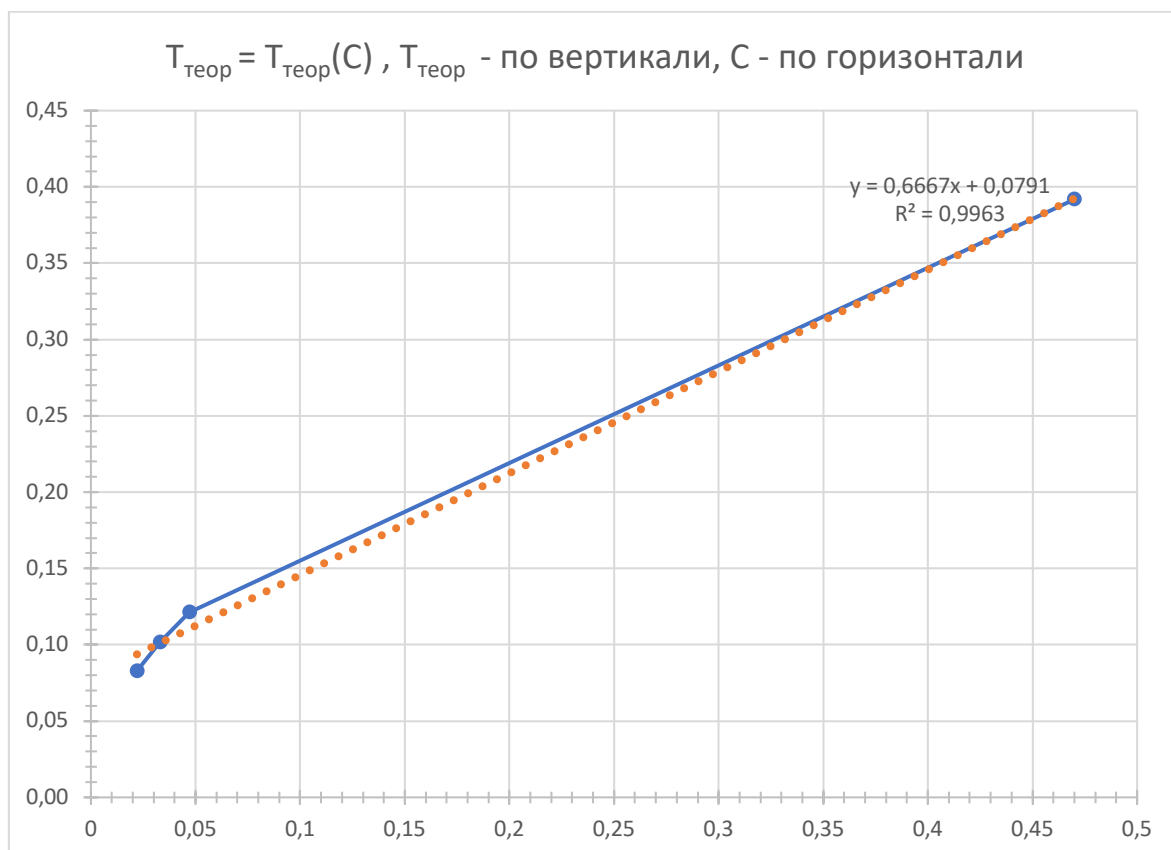
$Q = Q(R)$ – добротность от сопротивления цепи



$T_{\text{эксп}} = T_{\text{эксп}}(C)$ – экспериментальное значение периода от ёмкости



$T_{\text{теор}} = T_{\text{теор}}(C)$ – теоретическое значение периода от ёмкости



Окончательные результаты:

$$L_{\text{ср}} = (7,9 \pm 0,72) \text{ мГн}, \quad \varepsilon = 9,1\%$$

$$R_0 = 55,2 \text{ Ом}$$

$$T_{\text{теор}0} = 0,08 \text{ мс}$$

$$T_{\text{теор}200} = 0,1 \text{ мс}$$

$$T_{\text{теор}400} = 0,12 \text{ мс}$$

$$T_{\text{эксп}0} = T_{\text{эксп}200} = T_{\text{эксп}400} = 0,09 \text{ мс}$$

$$Q_{\text{теор}} = 10,21, \quad Q_{\text{эксп}} = 12,68$$

$$R_{\text{теор}} = 1348,4 \text{ Ом} \quad R_{\text{эксп}} = 1080 \text{ Ом}$$

Выводы и анализ результатов работы:

- Графики зависимостей теоретического периода колебаний от емкости и экспериментального периода колебаний от емкости практически совпадают;
- Экспериментальная средняя индуктивность катушки меньше, чем теоретическая индуктивность стэнда, равная 10 мГн;
- Теоретические периоды колебаний при 0 Ом, 200 Ом и 400 Ом сопротивления магазина практически совпадают с экспериментальными;
- Теоретическое значение добротности при 0 Ом сопротивления магазина практически совпадает с экспериментальным;
- Теоретическое критическое значение сопротивления различается с экспериментальным меньше, чем на 20%;
- $\beta \ll \omega_0$, и мы можем использовать формулу Томпсона для расчетов: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.