

Группа Р3214

К работе допущен

Студент Силинцев Владислав

Работа выполнена

Преподаватель Хвастунов Н.Н.

Отчет принят

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №03.10

Изучение свободных затухающих электромагнитных колебаний

1. Цель работы.

Изучение основных характеристик свободных затухающих колебаний.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- Изучить зависимость логарифмического декремента от сопротивления.
- Найти собственное сопротивление контура R_0 и полного сопротивления R .
- Сравнить полученное значение L_{cp} с исходным значением L .
- Сравнить периоды колебаний, полученные экспериментальным путем, с периодами, полученными теоретическим путем.
- Сравнить добротности контура, полученные разными путями.
- Сравнить критическое сопротивление, полученное экспериментальным путем, с критическим сопротивлением, полученным теоретическим путем.
- Измерить период колебаний при разных емкостях конденсатора и сравнить значения с формулой Томсона.

3. Объект исследования.

СЗ-ЭМ01.

4. Метод экспериментального исследования.

Изучение свободных затухающих электромагнитных колебаний на примере СЗ-ЭМ01.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

- $C_1 = 0,022 \text{ мкФ} \pm 10\%$ – емкость первого конденсатора.
- $C_2 = 0,033 \text{ мкФ} \pm 10\%$ – емкость второго конденсатора.
- $C_3 = 0,047 \text{ мкФ} \pm 10\%$ – емкость третьего конденсатора.
- $C_4 = 0,47 \text{ мкФ} \pm 10\%$ – емкость четвертого конденсатора.
- $L = 10 \text{ мГн} \pm 10\%$ – индуктивность катушки.
- $\lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{U_i}{U_{i+n}}$ – логарифмический декремент затухания.
- $R_0 = -R_M|_{\lambda=0}$ – собственное сопротивление контура.
- $R = R_M + R_0$ – полное сопротивление.
- $\lambda \approx \pi R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$ – зависимость логарифмического декремента от сопротивления.
- $L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}$ – среднее значение индуктивности.
- $\Delta_{L_{cp}} = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{cp})^2}{n(n-1)}}$ – абсолютная погрешность среднего значения индуктивности.
- $t_{\alpha,n} = 2,26$ – коэффициент Стьюдента, при $\alpha = 0,95$ и $n = 10$.
- $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$ – период затухающих колебаний.
- $Q = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\lambda}}$ – добротность контура через логарифмический декремент.
- $Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ – добротность контура.

- $R_{кр} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ – критическое сопротивление контура.
- $T = 2\pi \sqrt{LC}$ – формула Томсона.
- $\beta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания.
- $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ – собственная циклическая частота незатухающих колебаний контура.

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Осциллограф ОЦЛ2	Электронный	Настраиваемый	Настраиваемая

7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

Схема 1: рабочая схема для изучения затухающих колебаний напряжения на конденсаторе.

8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

$R_M, \text{Ом}$	$T, \text{мс}$	$2U_i, \text{дел}$	$2U_{i+n}, \text{дел}$	n	λ	Q	$R, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$
0	0,1	3,6	1,3	3	0,340	12,747	64,3	7,798
10	0,1	3,6	1,1	3	0,395	11,500	74,3	7,683
20	0,1	3,6	1	3	0,427	10,941	84,3	8,472
30	0,1	3,5	1	3	0,418	11,097	94,3	11,083
40	0,1	3,5	0,8	3	0,492	10,034	104,3	9,767
50	0,1	3,5	0,7	3	0,536	9,549	114,3	9,864
60	0,1	3,5	0,6	3	0,588	9,088	124,3	9,714
70	0,1	3,5	0,5	3	0,649	8,646	134,3	9,314
80	0,1	3,5	0,4	3	0,723	8,219	144,3	8,654
90	0,1	3,4	0,3	3	0,809	7,836	154,3	7,898
100	0,1	3,3	0,3	3	0,799	7,875	164,3	9,179
200	0,1	3	0,8	1	1,322	6,764	264,3	8,685
300	0,1	3	0,5	1	1,792	6,463	364,3	8,978
400	0,1	2,8	0,2	1	2,639	6,315	464,3	6,722

Пример вычислений: $\lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{U_i}{U_{i+n}} = \frac{1}{3} \cdot \ln \frac{3,6}{1,3} \approx 0,340$.

Вычислим $R_0 = -R_M|_{\lambda=0} \approx -(-64,3) = 64,3 \text{ Ом}$.

Пример вычислений: $R = R_M + R_0 = 0 + 64,3 = 64,3 \text{ Ом}$.

Из формулы $\lambda \approx \pi R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$ выразим L : $L = C \cdot \left(\frac{\pi R}{\lambda}\right)^2$.

Пример вычислений: $L = C_1 \cdot \left(\frac{\pi R}{\lambda}\right)^2 \approx 0,022 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 64,3}{0,340}\right)^2 \approx 7,798 \text{ мГн}$.

Пример вычислений: $Q = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\lambda}} \approx \frac{2 \cdot 3,14}{1 - e^{-2 \cdot 0,340}} \approx 12,747$.

$C, \text{ мкФ}$	$T_{\text{эксп}}, \text{ мс}$	$T_{\text{теор}}, \text{ мс}$	$\delta T = \frac{T_{\text{эксп}} - T_{\text{теор}}}{T_{\text{теор}}}, \%$
0,022	0,1	0,0887	12,72
0,033	0,12	0,1087	10,37
0,047	0,13	0,1299	0,11
0,47	0,44	0,4210	4,51

Пример вычислений:

$$T_{\text{теор}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{L_{\text{ср}} C} - \frac{R_0^2}{4L_{\text{ср}}^2}}} \approx \frac{3,14 \cdot 2}{\sqrt{\frac{1}{9,039 \cdot 10^{-3} \cdot 0,022 \cdot 10^{-6}} - \frac{64,3^2}{(2 \cdot 9,039 \cdot 10^{-3})^2}}} \approx 0,0887 \text{ мс}.$$

Пример вычислений: $\delta T = \frac{T_{\text{эксп}} - T_{\text{теор}}}{T_{\text{теор}}} = \frac{0,1 - 0,0887}{0,0887} \cdot 100\% \approx 12,72\%$.

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Найдем $L_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{10} L_i}{10} = 9,039 \text{ мГн}$.

Найдем T при $R_M = 0 \text{ Ом}$:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} = \frac{2 \cdot 3,14}{\sqrt{\frac{1}{7,798 \cdot 0,022 \cdot 10^{-9}} - \frac{64,3^2}{4 \cdot 7,798^2 \cdot 10^{-6}}}} \approx 0,0824 \text{ мс}.$$

Найдем T при $R_M = 200 \text{ Ом}$:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} = \frac{2 \cdot 3,14}{\sqrt{\frac{1}{8,685 \cdot 0,022 \cdot 10^{-9}} - \frac{264,3^2}{4 \cdot 8,685^2 \cdot 10^{-6}}}} \approx 0,0888 \text{ мс}.$$

Найдем T при $R_M = 400 \text{ Ом}$:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} = \frac{2 \cdot 3,14}{\sqrt{\frac{1}{6,722 \cdot 0,022 \cdot 10^{-9}} - \frac{464,3^2}{4 \cdot 6,722^2 \cdot 10^{-6}}}} \approx 0,0842 \text{ мс}.$$

Вычислим добротность контура Q при $R = 64,3 \text{ Ом}$: $Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C_1}} = \frac{1}{64,3} \cdot \sqrt{\frac{7,798 \cdot 10^{-3}}{0,022 \cdot 10^{-6}}} \approx 9,253$.

При $R_M = 1000 \text{ Ом}$ исчезает периодичность процесса. Тогда критическое сопротивление контура $R = R_M + R_0 = 1000 + 64,3 = 1064,3 \text{ Ом}$.

Вычислим критическое сопротивление по формуле:

$$R_{кр} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{9,039 \cdot 10^{-3}}{0,022 \cdot 10^{-6}}} \approx 1281,96 \text{ Ом}.$$

Вычислим $\beta = \frac{R}{2L_{cp}} = \frac{64,3}{2 \cdot 9,039 \cdot 10^{-3}} \approx 3559,25 \text{ Гц}$.

Вычислим $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{cp} C_1}} = \frac{1}{\sqrt{9,039 \cdot 10^{-3} \cdot 0,022 \cdot 10^{-6}}} \approx 70914,32 \text{ Гц}$.

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

Вычислим абсолютную погрешность среднего значения индуктивности:

$$\Delta_{L_{cp}} = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{cp})^2}{n(n-1)}} = 2,26 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (L_i - L_{cp})^2}{10 \cdot 9}} = 0,79321 \text{ мГн}.$$

11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

График 1: зависимость логарифмического декремента λ от сопротивления магазина R_M .

График 2: зависимость добротности от сопротивления контура.

График 3: зависимость периода $T_{эксп}$ от ёмкости конденсатора.

График 4: зависимость периода $T_{теор}$ от ёмкости конденсатора.

12. Окончательные результаты.

$$L_{cp} = 9,0 \pm 0,8 \text{ мГн.}$$

$$R_0 = 64,3 \text{ Ом.}$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

Среднее значение $L_{cp} = 9,0 \text{ мГн}$ достаточно близко к значению, указанному на стенде

$L = 10 \text{ мГн} \pm 10\%$. Значения T , вычисленные по формуле $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$ при сопротивлениях

$R_M = 0 \text{ Ом}$, $R_M = 200 \text{ Ом}$ и $R_M = 400 \text{ Ом}$ равны соответственно $0,0824 \text{ мс}$, $0,0888 \text{ мс}$ и $0,0842 \text{ мс}$, что довольно близко к значению, указанному в таблице $T = 0,1 \text{ мс}$. Добротность контура,

вычисленная по формуле $Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ при $R = 64,3 \text{ Ом}$ равно $9,253$, а табличное значение,

вычисленное по формуле $Q = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\lambda}}$ равно $12,747$. Значения добротности контура,

вычисленные разными путями, достаточно сильно отличаются друг от друга. Критическое сопротивление, полученное экспериментальным путем, равно $1064,3 \text{ Ом}$, а критическое

сопротивление, полученное по формуле $R_{kp} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ равно $1281,96 \text{ Ом}$, что достаточно

близко к экспериментальному значению, но при этом имеет ощутимую разницу. Из

графиков 3 и 4 можно увидеть, что периоды, полученные экспериментальным и теоретическим путями, лежат близко к кривой, которая соответствует формуле Томсона,

что означает, что период можно вычислять по этой формуле. После вычисления значений β и ω_0 можно сделать вывод, что выполняется условие $\beta \ll \omega_0$. Таким образом, можно

сделать вывод, что значения, вычисленные экспериментальным путем совпадают с теми, что описываются в теоретической части.

14. Дополнительные задания.

15. Выполнение дополнительных заданий.

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

Примечание:

1. Пункты 1-6,8-13 Протокола-отчета **обязательны** для заполнения.
2. Необходимые исправления выполняют непосредственно в протоколе-отчете.
3. При ручном построении графиков рекомендуется использовать миллиметровую бумагу.
4. Приложения 1 и 2 вкладывают в бланк протокола-отчета.

Приложение 1

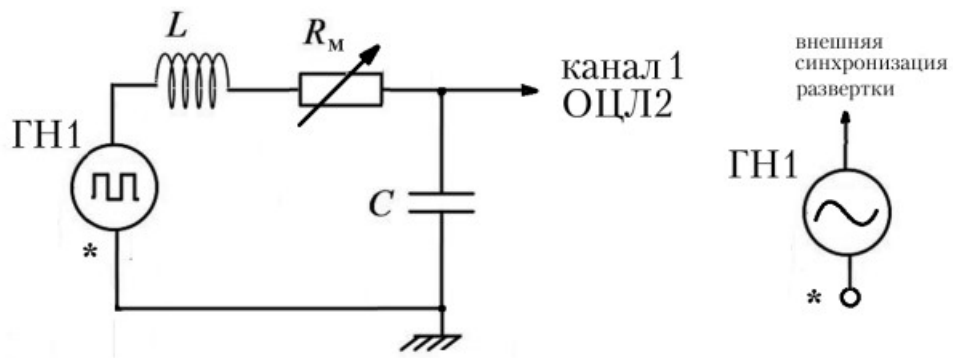


Рисунок 1: рабочая схема для изучения затухающих колебаний напряжения на конденсаторе.

Приложение 2

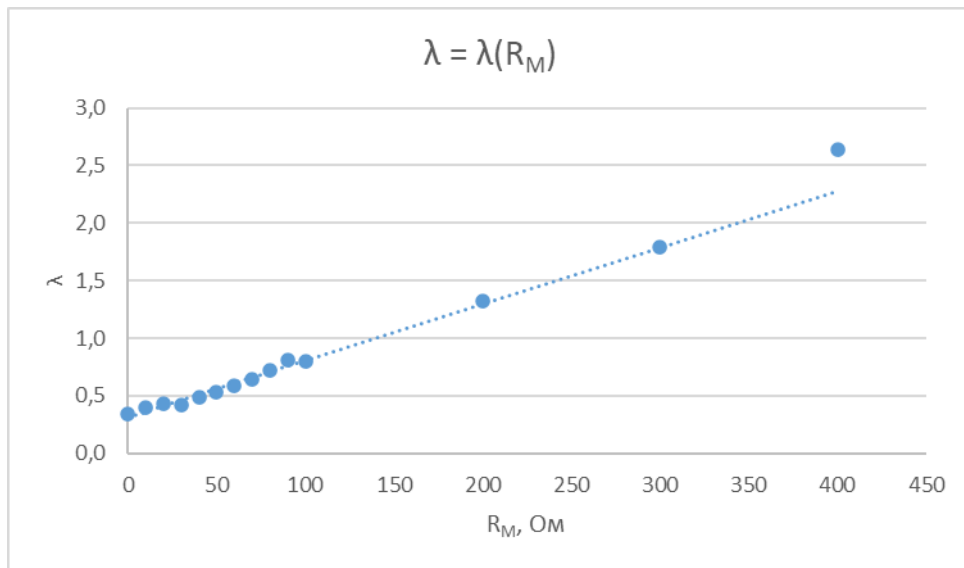


График 1: зависимость логарифмического декремента λ от сопротивления магистина R_M .

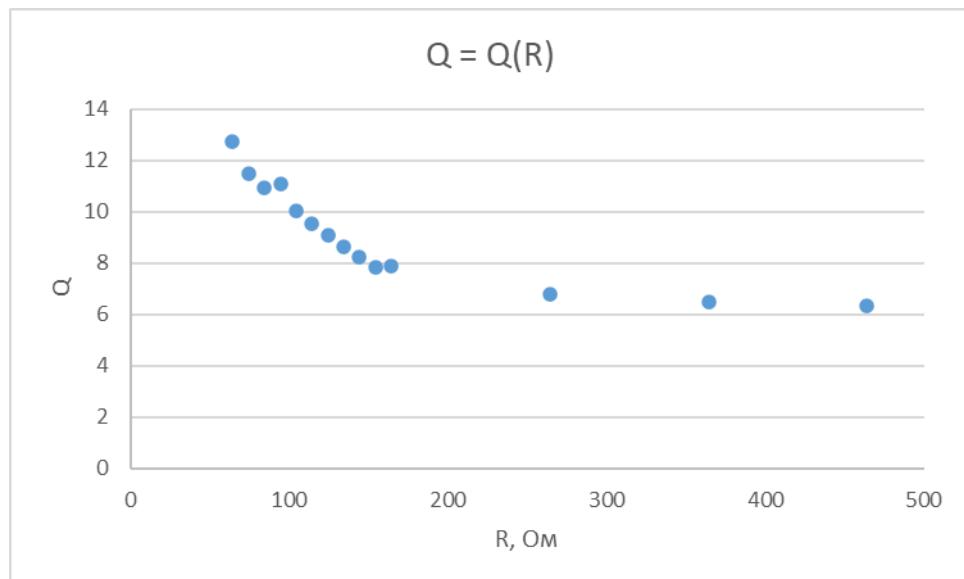


График 2: зависимость добротности от сопротивления контура.

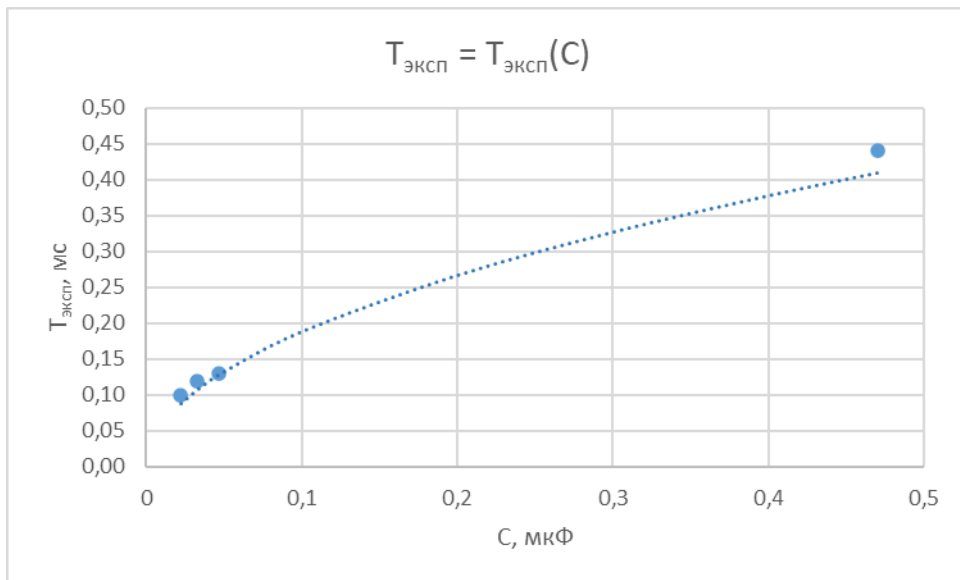


График 3: зависимость периода $T_{\text{эксп}}$ от ёмкости конденсатора.

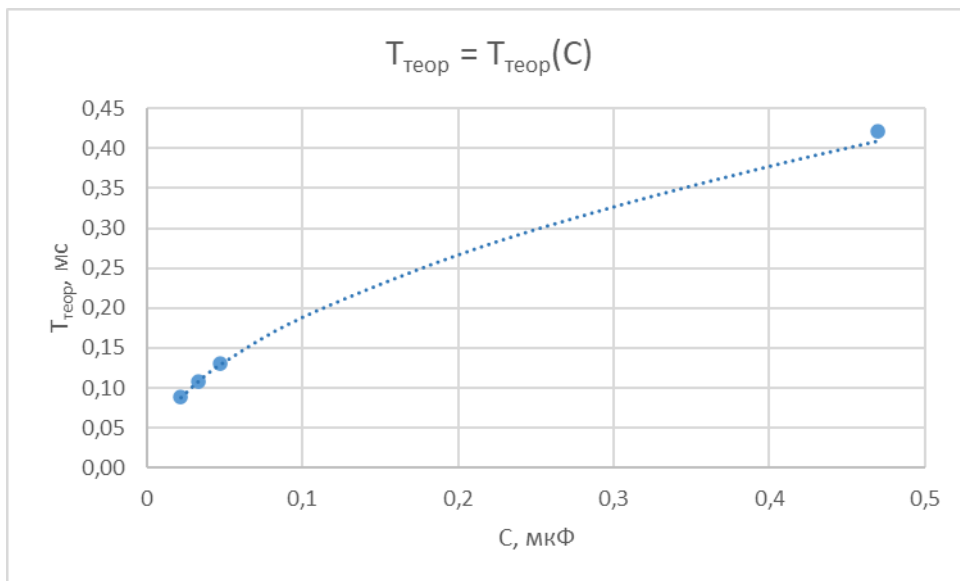


График 4: зависимость периода $T_{\text{теор}}$ от ёмкости конденсатора.