

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по электричеству

Свободные колебаний в электрическом контуре [3.2.4]

Талашкевич Даниил Александрович
Группа Б01-009

Долгопрудный
2021

Содержание

1	Аннотация	1
1.1	Цель работы	1
1.2	В работе используются:	1
1.3	Теоретическое вступление и модель	1
2	Экспериментальная установка	3
3	Ход работы	3
3.1	Подготовка	5
3.2	Измерение периодов свободных колебаний	5
3.3	Измерение критического сопротивления и декремента за- тухания	6
3.4	Свободные колебания на фазовой плоскости	7
3.5	Добротность свободных колебаний в контуре	7
4	Вывод	8
5	Литература	8

1 Аннотация

1.1 Цель работы

1. Исследование свободных колебаний в электрическом контуре.

1.2 В работе используются:

- Генератор импульсов
- электронное реле
- магазин сопротивлений
- магазин емкостей
- катушка индуктивности
- электронный осциллограф
- универсальный измерительный мост

1.3 Теоретическое вступление и модель

В работе планируется:

1. Исследовать зависимость периода свободных колебаний контура от емкости. Согласно теории, зависимость должна иметь вид (Формула Томпсона):

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (1)$$

где T - период колебаний, L и C - индуктивность и емкость контура соответственно.

Период планируется измерять с помощью осциллографа.

2. Исследовать зависимость логарифмического декремента затухания от сопротивления.

Расчет логарифмического декремента затухания будет производиться по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{W_k}{W_{k+n}} \quad (2)$$

где W_i - энергия контура после i -того колебания.

Энергию контура планируется высчитывать используя напряжение на конденсаторе, которое в свою очередь, измеряется с помощью осциллографа.

Согласно теории, логарифмический декремент затухания пропорционален сопротивлению

$$\lambda \propto R \tag{3}$$

3. Определить критическое сопротивление. Критическое сопротивление вычисляется по формуле:

$$R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4)$$

4. Определить добротность контура. Добротность планируется вычислить двумя способами, с последующим сравнением результатов.

Первый способ - Через формулу для логарифмического декремента затухания.

Второй способ - используя параметры контура R, L, C.

Формула для вычисления добротности через логарифмический декремент затухания:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} \quad (5)$$

Формула для вычисления добротности с использованием параметров контура

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

2 Экспериментальная установка

Схема установки представлена на рисунке 1.

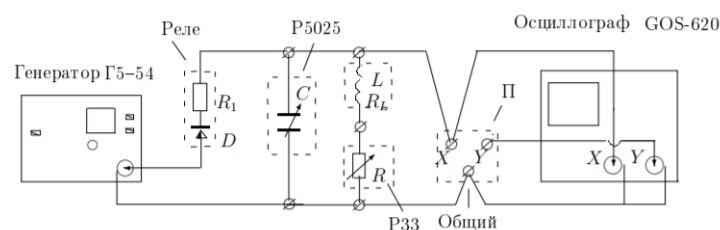


Рис. 1. Схема установки

3 Ход работы

После совершения всей предварительной настройки оборудования: сборки схемы, настройки осциллографа и т.п., мы можем наблюдать картину затухающих колебаний

Прежде всего измерим индуктивность L и сопротивление катушки R_L в зависимости от частоты

ν , Гц	L , мГн	R_L , Ом
50	200,4	11,1
1000	200,1	18,8
5000	200,4	41,2

Таблица 1: Некоторые параметры катушки индуктивности

В итоге мы получаем, что $L = 200 \pm 0,2$ мГн.

3.1 Подготовка

Проделав всю подготовительную работу: полная настройка осциллографа, разобраться с его работой, сборка схемы, настройка емкостного магазина вместе с магазином сопротивлений, мы можем приступить к основной части работы.

3.2 Измерение периодов свободных колебаний

Установим на магазине сопротивлений $R = 0$ Ом и $C = 0,02$ мкФ. Подбрав частоту развертки получим изображение наших колебаний на осциллографе:

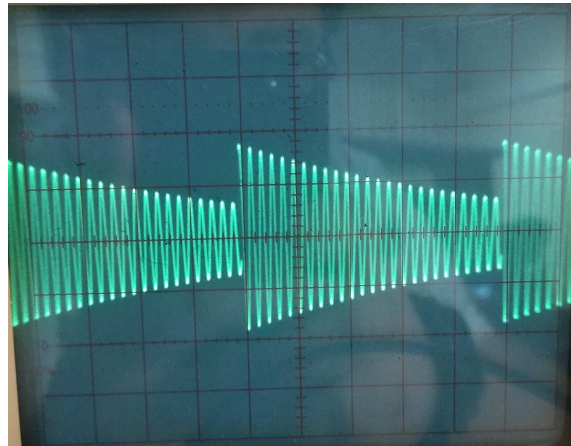


Рис. 1: Колебания в контуре

Подбираем частоту развёртки ЭО так, чтобы расстояние x_0 между импульсами, поступающими с генератора, занимало почти весь экран, получено значение $x_0 = 10$ см.

Теперь, изменяя ёмкость в диапазоне от 0,02 до 0,09 мкФ проведем измерения периодов свободных колебаний и сравним их с теоретическими данными по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Как видно из таблицы, теоритические данные сходятся с экспериментальными:

С, нФ	N периодов	$T_{\text{теор}}, \text{мс}$	$T_{\text{эксп}}, \text{мс}$	$\sigma_T, \text{мс}$
20	29	0,33	0,31	0,03
40	2	0,50	0,49	0,03
80	3	0,67	0,66	0,03
120	6	0,83	0,81	0,03
200	4	1,05	1,04	0,03
300	3	1,33	1,31	0,04
400	2	1,50	1,50	0,04
500	2	1,75	1,72	0,04

Таблица 2: Таблица данных измерения периода свободных колебаний и сравнение с теорией

3.3 Измерение критического сопротивления и декремента затухания

Для начала рассчитаем емкость, при которой частота собственных колебаний контура будет равна $\nu_0 = 5 \text{ кГц}$.

$$C = \frac{1}{4\pi^2\nu_0^2 L} \approx 5 \text{ нФ}$$

И для значений L и C рассчитаем R_{crit}

$$R_{crit} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{C}} \approx 12,6 \text{ кОм}$$

Для этих значений L и C рассчитаем декремент затухания для каждого сопротивления из интервала $(0, 1 - 0,3)R_{crit}$. Из этих данных по формуле

$$R_{crit} = R_{\Sigma} \sqrt{\left[\frac{2\pi}{\theta}\right]^2 + 1}$$

находим R_{crit} запишем все в таблицу.

В итоге мы получаем, что $R_{crit} = (12,1 \pm 1,8) \text{ кОм}$.

Так же мы можем получить R_{crit} просто подбором, добиваясь подобной картины

Подбирая мы получаем, что $R_{crit} \approx 12 \text{ кОм}$.

R, Ом	U_1 , дел	σ_{U_1} , дел	U_2 , дел	σ_{U_2} , дел	θ	σ_θ	R_{crit} , Ом	$\sigma_{R_{crit}}$, Ом
1200	4	0,2	2,1	0,2	0,64	0,07	11800	1000
1500	4	0,2	1,8	0,2	0,80	0,10	11900	1300
1800	4	0,2	1,6	0,2	0,92	0,12	12500	1600
2100	4	0,2	1,3	0,2	1,1	0,2	11900	1400
2400	4	0,2	1,1	0,2	1,3	0,2	11900	1300
2700	4	0,2	1	0,2	1,4	0,3	12500	1000
3000	4	0,2	0,8	0,2	1,6	0,4	12000	1300
3300	4	0,2	0,7	0,2	1,7	0,5	12300	1600

Таблица 3: Таблица измерения R_{crit}

3.4 Свободные колебания на фазовой плоскости

Рассмотрим свободные колебания на фазовой плоскости, для этого подключим место соединения катушки индуктивности и магазина сопротивлений к выходу X и включим на осциллографе канал $X - Y$. В итоге мы получаем картинку на экране как на рисунке ниже.

Для фазовой диаграммы для двух значений посчитаем так же декремент затухания

R , Ом	U_1 , дел	U_2 , дел	θ	σ_θ
1800	4,1	1,6	0,94	0,15
3000	3	0,5	1,8	0,2

Таблица 4: Декремент затухания для фазовой диаграммы

Видим, что мы получили такой же декремент затухания как и при его подсчете из графика колебаний.

3.5 Добротность свободных колебаний в контуре

Добротность можно найти по формуле

$$Q = \frac{\pi}{\theta}$$

Найдем ее для $R_{max} = 3 \text{ кОм}$ и для $R_{min} = 1,8 \text{ кОм}$ из графика и фазовой диаграммы. Итоговые результаты запишем в таблицу.

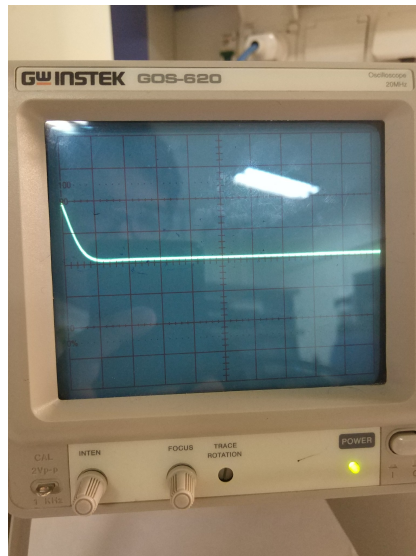


Рис. 2: Затухание колебаний

Так же добротность можно найти и из теоретических соображений по формуле

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Результаты так же занесем в таблицу, и в итоге мы получаем эту таблицу со всеми данными из данного эксперимента, по которой мы можем сравнить все полученные значения

4 Вывод

Как видно из таблицы 5, наилучший способ измерения добротности — с помощью графика, потому что получаются наиболее близкие значения с меньшими погрешностями. Так же из графика видно, что R_{crit} лучше измеряется при более высоком сопротивлении в контуре.

5 Литература

1. **Лабораторный практикум по общей физике:** Учебное пособие. В трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм /Гладун А.Д., Александров Д.А., Берулёва Н.С. и др.; Под ред. А.Д. Гладуна - М.: МФТИ, 2007. - 280 с.

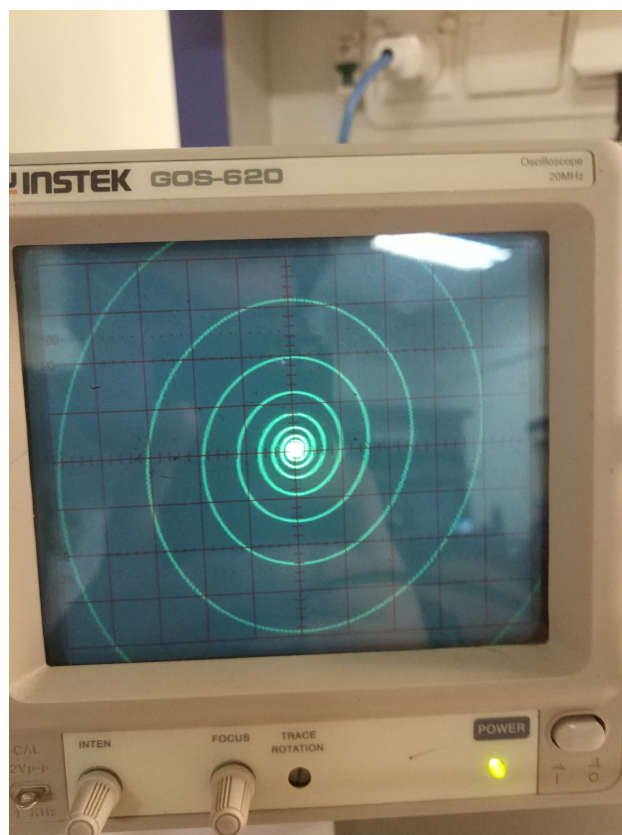


Рис. 3: Фазовая диаграмма для свободных колебаний

2. **Дополнительное описание лабораторной работы 3.2.4:** Свободные колебания в электрическом контуре; Под ред. МФТИ, 2018 г. - 4 с.