



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

## **Учебно-методическое пособие**

Лабораторная работа Э-37

«Определение характеристик затухающих  
электромагнитных колебаний»  
по дисциплине

**«Физика»**

Авторы  
Шкиль Т. В.,  
Беликова Т. С.,  
Мардасова И. В.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной, заочной формы обучения для всех направлений в учебном плане которых есть дисциплина «Физика»

## Авторы

к.ф.-м.н., Шкиль Т.В.,	доцент	кафедры	«Физика»
к.ф.-м.н., Беликова Т.С.,	доцент	кафедры	«Физика»
к.ф.-м.н., Мардасова И В.	доцент	кафедры	«Физика»



## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Краткая теория .....</b>	<b>4</b>
<b>Описание экспериментальной установки и методики выполнения работы .....</b>	<b>6</b>
<b>Порядок выполнения работы .....</b>	<b>8</b>
<b>Контрольные вопросы .....</b>	<b>10</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Цель работы:** определение характеристик затухающих колебаний и параметров колебательного контура.

**Оборудование:** базовая установка «Кобра 3» с модулем функционального генератора FG, адапторы, катушка возбуждения, катушка индуктивности, коммуникационная плата с конденсатором, соединительные провода, персональный компьютер с программным обеспечением.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Среди электрических явлений особое место занимают электромагнитные колебания, при которых электрические величины (заряды, токи, электрические и магнитные поля) изменяются периодически. Для возбуждения и поддержания электромагнитных колебаний требуются определенные системы, простейшей из которых является колебательный контур.

Колебательный контур – это цепь, состоящая из последовательно соединенных катушки индуктивностью  $L$  и конденсатора емкостью  $C$ .

Если сопротивление контура пренебрежимо мало ( $R \approx 0$ ) и потерями энергии в нём можно пренебречь, контур называют идеализированным (рис. 1).

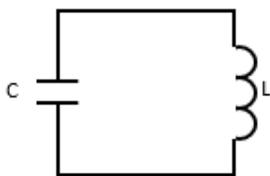


Рис. 1

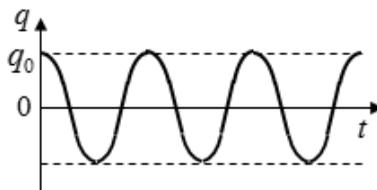


Рис. 2

Для возбуждения в контуре колебаний конденсатор предварительно заряжают, сообщая его обкладкам заряд  $q_0$  от внешнего источника. С течением времени изменения заряда (и напряжения) происходят по гармоническому закону (рис. 2,  $\varphi_0 = 0$ )

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  – циклическая частота собственных незатухающих колебаний.

Период собственных незатухающих колебаний определяется по формуле Томсона

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

Так как всякий проводник обладает сопротивлением, в процессе прохождения тока в колебательном контуре выделяется джоулево тепло, т.е. теряется энергия, поэтому свободные электромагнитные колебания в реальном контуре (рис. 3) всегда затухающие.

Запишем для контура 2-е правило Кирхгофа для произвольного момента времени: сумма падений напряжений равна сумме действующих в контуре эдс. В контуре действует только одна эдс – эдс самоиндукции  $\varepsilon_S$ , а падение напряжения происходит на конденсаторе и активном сопротивлении контура.

Для такого контура

$$U_C + U_R = \varepsilon_S,$$

где  $U_C$  – падение напряжения на конденсаторе,  $U_R$  – падение напряжения на активном сопротивлении контура.

$$U_C = \frac{q}{C}, \quad U_R = RI = R \frac{dq}{dt}, \quad \varepsilon_S = -L \frac{dI}{dt} = -L \frac{d^2q}{dt^2},$$

$$\frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt} = -L \frac{d^2q}{dt^2}; \quad \frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0.$$

Обозначим  $\frac{R}{L} = 2\beta$ ,  $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$ ,  $\beta$  – коэффициент затухания.

$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$  – дифференциальное уравнение свободных затухающих электромагнитных колебаний.

Решением этого уравнения является выражение

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  – циклическая частота собственных затухающих колебаний;

$q_m = q_0 e^{-\beta t}$  – закон убывания амплитуды (рис. 4), где  $q_0$  – амплитуда при  $t = 0$ .

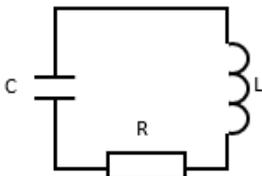


Рис. 3

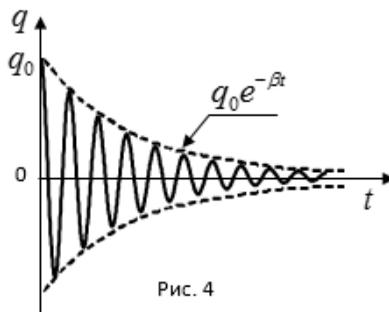


Рис. 4

Получим закон изменения напряжения:

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

$$U = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Логарифмический декремент затухания – натуральный логарифм отношения двух амплитуд, отличающихся по времени на период:

$$\theta = \ln \frac{q_0}{q_0 e^{-\beta T}} = \beta T.$$

Добротность характеризует способность колебательного контура к затуханию колебаний:

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

Добротность пропорциональна числу колебаний, за которые амплитуда уменьшается в  $e$  раз.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 5, а её схематическое изображение на рисунке 6.

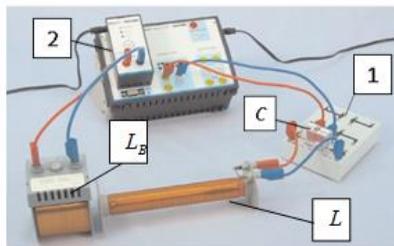


Рис. 5

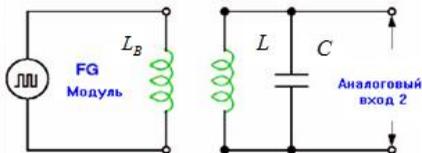


Рис. 6

Колебательный контур состоит из катушки индуктивности  $L$  и конденсатора  $C$ , помещённого на коммуникационную плату 1. Катушка  $L$  индуктивно связана с катушкой возбуждения  $L_B$ , на которую от модуля функционального генератора 2 подаётся сигнал в виде импульсов прямоугольной формы; период этих импульсов во много раз больше периода свободных колебаний в колебательном контуре.

При резком изменении силы тока в катушке возбуждения  $L_B$  в катушке  $L$  возникает эдс взаимной индукции, и в цепи колебательного контура возникает импульс тока; за счёт полученной энергии в контуре происходят свободные затухающие электромагнитные колебания. Как видно из схемы установки (рис. 5 и 6), изменения напряжения на конденсаторе подаются на аналоговый вход установка «Кобра 3» и могут быть выведены на экран монитора персонального компьютера.

Программное обеспечение позволяет вывести на экран график зависимости  $U = f(t)$  с указанием амплитудных значений напряжения  $U_m$  и соответствующего времени. Зная время, за которое совершилось  $N$  колебаний, можно вычислить средние значения периода колебаний и циклической частоты:

$$T = \frac{t_N - t_0}{N}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}, \quad (1)$$

где  $t_N$  – время, соответствующее  $N$  колебаниям;  $t_0$  – время, соответствующее началу отсчёта колебаний.

Для нахождения  $\beta$  можно использовать закон убывания амплитуды:

$$U_m = U_0 e^{-\beta t}, \quad \frac{U_m}{U_0} = e^{-\beta t}, \quad \frac{U_0}{U_m} = e^{\beta t}, \quad \ln \frac{U_0}{U_m} = \beta t$$

$$\beta = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{U_0}{U_m} = \frac{1}{t_N - t_0} \cdot \ln \frac{U_0}{U_m}. \quad (2)$$

Зная  $\beta$ , можно рассчитать логарифмический декремент затухания и добротность колебательного контура:

$$\theta = \beta T, \quad Q = \frac{\pi}{\theta}. \quad (3)$$

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Записать в таблицу 1 значения  $C$ ,  $L$  и  $R$  для данной установки.

2. Подключить к сети через адапторы установку «Кобра 3», функциональный генератор и персональный компьютер (ПК).

3. Запустить программу Measure; на рабочем столе выбрать на панели инструментов «Прибор», щёлкнуть левой кнопкой два раза, в появившемся меню активировать «Кобра 3. Универсальный измеритель», щёлкнув левой кнопкой. В открывшемся окне нажать на «Далее».

4. В окне «Кобра 3 – измерение» нажать «Начать измерение». Измерения проводятся в автоматическом режиме; на экране монитора выводится график затухающих колебаний; для анализа графика  $U = f(t)$  на панели инструментов нажать левой кнопкой на символ I.

5. На панели инструментов выбрать пиктограмму «Анализ кривой» ; щёлкнуть левой кнопкой на командах «Рассчитать» и «Изобразить результат». После этого на экране монитора будет представлен график затухающих колебаний с указанием амплитудных значений  $U_m$ , и времени  $t_N$ .

6. Увеличить масштаб графика по горизонтали (правой кнопкой); записать в таблицу 1 с экрана монитора экспериментальные данные  $t_N$  и  $U_m$ .

7. Завершить работу персонального компьютера.

**Таблица 1**

	$C = \Phi,$	$L = \Gamma n,$	$R = \text{Ом}$	
$N$	$t, \text{мс}$	$U, \text{В}$	$\beta, \text{с}^{-1}$	$\Delta\beta, \text{с}^{-1}$
0			—	—
1				
2				
3				
4				
5				
6				
среднее значение				

**Задание1.** Определение основных характеристик затухающих электромагнитных колебаний.

1. Вычислить значения коэффициента затухания по формуле:

$$\beta = \frac{1}{t_N - t_0} \cdot \ln \frac{U_0}{U_N}.$$

Так как  $N$  – число полных совершённых колебаний, то для первой строчки табл.1  $\beta$  не рассчитывается.

2. Рассчитать среднее значение  $\langle \beta \rangle$ , абсолютные и относительную погрешности:

$$\langle \beta \rangle = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n}{n};$$

$$\Delta\beta_i = |\langle \beta \rangle - \beta_i|,$$

$$\langle \Delta\beta_i \rangle = \frac{\Delta\beta_1 + \Delta\beta_2 + \dots + \Delta\beta_n}{n},$$

$$\delta\beta = \frac{\langle \Delta\beta \rangle}{\langle \beta \rangle} \cdot 100\%.$$

3. Записать окончательный результат в виде

$$\beta = \langle \beta \rangle \pm \langle \Delta\beta \rangle.$$

4. По формулам (1) вычислить средние значения периода колебаний и циклической частоты.

5. Определить логарифмический декремент затухания  $\theta$  и добротность  $Q$  колебательного контура:

$$\theta = \langle \beta \rangle \cdot T, \quad Q = \frac{\pi}{\theta}.$$

6. Используя средние значения  $\langle \beta \rangle$  и  $\omega$ , записать уравнение затухающих колебаний в виде:

$$U = U_0 e^{-\langle \beta \rangle t} \cos \omega t.$$

**Задание 2.** Определение основных параметров контура.

1. Используя формулу Томсона, вычислить индуктивность контура  $L_{\text{эксн}} = \frac{T^2}{4\pi^2 C}$

и относительную погрешность  $\delta L = \frac{|L_{\text{эксн}} - L|}{L}$ .

2. Вычислить активное сопротивление контура

$$R_{\text{эксн}} = 2 \langle \beta \rangle L_{\text{эксн}}.$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляют собой колебания?
2. Что такое период колебаний? Частота? Циклическая частота? Запишите соответствующие формулы и единицы измерений указанных величин.
3. Что представляет собой амплитуда колебаний?
4. Какие колебания называются свободными? Затухающими? Вынужденными? Гармоническими?
5. Что представляет собой идеальный колебательный контур? Изобразите его. Графически изобразите зависимость  $q = q(t)$  в таком контуре.
6. Запишите формулу Томсона для периода собственных незатухающих колебаний.
7. Что представляет собой реальный колебательный кон-

тур? Изобразите его графически.

8. Запишите уравнение затухающих колебаний в реальном колебательном контуре и изобразите графически зависимость  $q = q(t)$ .

9. Что такое логарифмический декремент затухания и добротность колебательного контура? Запишите соответствующие формулы.