

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ**

**Методические указания к лабораторной работе № 48
по курсу общей физики**

Уфа 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ

Методические указания к лабораторной работе № 48
по курсу общей физики

Уфа 2015

Составитель В. Р. Строкина

УДК
ББК

Исследование затухающих колебаний в электрическом контуре: Методические указания к лабораторной работе № 48 по дисциплине «Физика» / Уфимский гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В. Р. Строкина – Уфа, 2015. – 17 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Приведены основные параметры и характеристики колебательного контура. Изложена методика экспериментального определения периода колебаний, логарифмического декремента затухания, сопротивления и индуктивности катушки, емкости конденсатора.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Электричество и магнетизм» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 1. Ил. 7. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Тучков С. В.,
канд. техн. наук, доц. каф. ТОЭ Медведева Л. С.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2015

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
4. Экспериментальная часть.....	12
5. Требования по технике безопасности	12
6. Задания.....	13
7. Методика выполнения заданий	13
Контрольные вопросы	16
Требования к содержанию и оформлению отчета	16
Критерии результативности выполнения лабораторной работы	16
Список литературы	17

Введение

Среди различных электрических явлений особое место занимают электромагнитные колебания, при которых электрические величины (заряды, токи, напряжения) изменяются периодически и которые сопровождаются взаимными превращениями электрических и магнитных полей. Переменные токи и свет также можно рассматривать как электромагнитные колебания. Электромагнитные колебания используются в различных технических устройствах и применяются для целей связи (телефоны, телеграф, радиосвязь).

Электромагнитные колебания генерируют с помощью колебательного контура, который представляет собой электрическую цепь, содержащую емкость и индуктивность.

В данной лабораторной работе изучаются свободные затухающие колебания в электрическом колебательном контуре и определяются параметры и характеристики этого контура.

В результате выполнения данной лабораторной работы у студентов формируются следующие компетенции:

- способность демонстрировать базовые знания в области дисциплины «Физика» и готовность использовать их в дальнейшей профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать результаты экспериментов, оценивать их погрешность и достоверность.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с электроизмерительными приборами;
- определять физические величины по экспериментальным данным;
- анализировать результаты опыта;
- оформлять отчет;
- а также владения:
 - теоретическим материалом;
 - навыками измерения физических величин по приборам;
 - технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 48

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение свободных затухающих колебаний в электрическом контуре.

2. Определение по экспериментальным данным логарифмического декремента затухания, коэффициента затухания, сопротивления и индуктивности катушки, емкости конденсатора.

2. ЗАДАЧИ

1. Закрепление теоретических знаний по теме «Электромагнитные колебания и волны».

2. Приобретение навыков правильной эксплуатации электроизмерительных приборов и оборудования в современной физической лаборатории.

3. Освоение метода определения параметров и характеристик электрического колебательного контура.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Свободные колебания в контуре без активного сопротивления

Свободные незатухающие колебания могут возникнуть в идеализированном колебательном контуре без активного сопротивления R , состоящем только из последовательно соединенных конденсатора электроемкостью C и катушки индуктивности L . На рис. 3.1 изображены последовательные стадии колебательного процесса в этом контуре. Если при разомкнутом ключе K в момент времени $t = 0$ сообщить конденсатору заряд q_m , то между пластинами конденсатора появится электрическое поле с

энергией $W_э = \frac{q_m^2}{2C}$. Напряженность электрического поля имеет

максимальное значение, а электрический ток в цепи равен нулю (рис. 3.1, а). При замыкании контура конденсатор начнет разряжаться, его электрическое поле будет уменьшаться. При этом в

контуре возникнет электрический ток разряда конденсатора, от чего в катушке индуктивности появится магнитное поле. Через время, равное четверти периода колебаний $t = \frac{T}{4}$ конденсатор полностью разрядится ($q = 0$), его энергия станет равной нулю, а сила электрического тока I_m в контуре достигнет максимума. Энергия электрического поля полностью превратится в энергию магнитного поля и станет равной $W_m = \frac{LI_m^2}{C}$ (рис. 3.1, б).

В дальнейшем магнитное поле будет уменьшаться, т.к. в цепи не имеется токов, его поддерживающих. В соответствии с законом электромагнитной индукции, исчезающее магнитное поле создает в катушке индуктивности ток самоиндукции, который согласно правилу Ленца стремится поддержать ток разряда конденсатора и направлен в сторону убывающего тока. Происходит перезарядка конденсатора, в нем образуется электрическое поле, направление которого противоположно начальному. В момент времени $t = \frac{T}{2}$ магнитное поле исчезает, а заряд конденсатора и его энергия достигают максимума. Энергия магнитного поля вновь переходит в энергию электрического поля (рис. 3.1, в). Затем процесс разрядки конденсатора повторяется, но в обратном направлении. Через $\frac{3T}{4}$ конденсатор вновь оказывается разряженным ($q = 0$), а энергия электрического поля снова превращается в энергию магнитного поля (рис. 3.1, г). В дальнейшем магнитное поле будет ослабевать, а ток самоиндукции – препятствовать этому ослаблению. Индукционный ток перезарядит конденсатор. Через промежуток времени, равный периоду колебаний T , электрическое состояние контура будет таким же, как в начале колебаний (рис. 3.1, д). Очевидно, что в контуре возникают незатухающие электромагнитные колебания с периодическим переходом энергии электрического поля в энергию магнитного поля и наоборот.

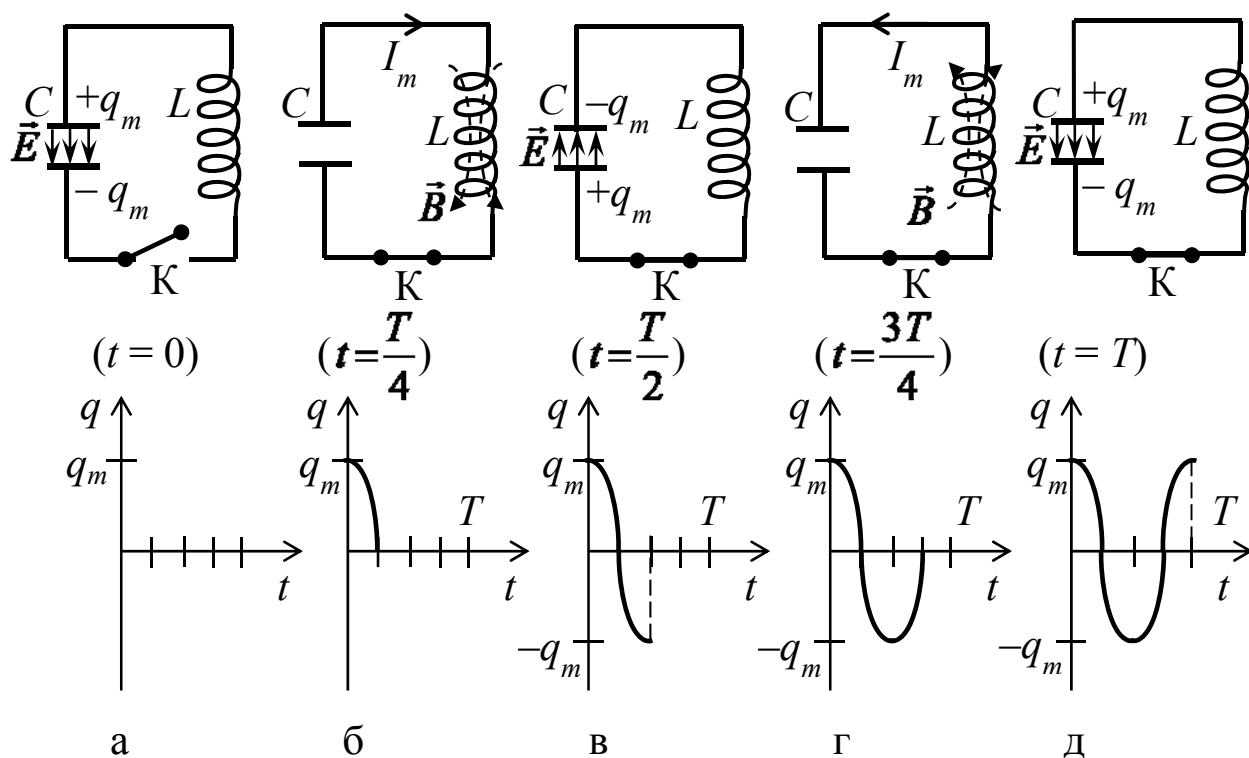


Рис. 3.1

Переменное электромагнитное поле распространяется в пространстве со скоростью света. Поэтому, если линейные размеры l контура не слишком велики ($l \ll \frac{c}{\nu}$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме, а ν – частота колебаний в контуре), то можно считать, что в каждый момент времени t сила тока I во всех частях контура одинакова. Такой ток называется квазистационарным. Мгновенное значение квазистационарных токов подчиняется закону Ома и вытекающим из него правилам Кирхгофа.

Получим уравнение колебаний в контуре без активного сопротивления (рис. 3.2).

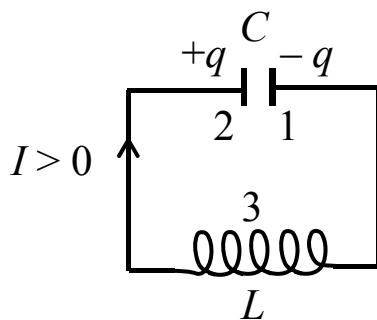


Рис. 3.2

Закон Ома для цепи 1 – 3 – 2 имеет вид:

$$\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{si} = 0, \quad (3.1)$$

или

$$-\frac{q}{C} - L \frac{dI}{dt} = 0, \quad (3.2)$$

где q и $\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{q}{C}$ – заряд конденсатора и разность потенциалов между его обкладками в произвольный момент времени t ; $\mathcal{E}_{si} = -L \frac{dI}{dt}$ – ЭДС самоиндукции, возникающая при протекании в катушке переменного тока.

Условимся считать положительным ток, заряжающий конденсатор. Тогда $I = \frac{dq}{dt}$. Перейдя в уравнении (3.2) от силы тока I к заряду q и введя обозначение

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \quad (3.3)$$

получаем дифференциальное уравнение свободных колебаний в контуре без активного сопротивления

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0, \quad (3.4)$$

где ω_0 – собственная частота контура. Если L измеряется в Гн, C – в Ф, то ω_0 выражается в с^{-1} .

Решением этого уравнения является выражение

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (3.5)$$

где φ – начальная фаза колебаний.

Таким образом, заряд на обкладках конденсатора изменяется по гармоническому закону с собственной частотой ω_0 .

Период колебаний в контуре определяется формулой Томсона

$$T = 2\pi \sqrt{LC}. \quad (3.6)$$

Разность потенциалов обкладок конденсатора (напряжение) $u = \varphi_1 - \varphi_2$ отличается от заряда q множителем $\frac{1}{C}$, а фаза его колебаний совпадает с фазой колебания заряда

$$u = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi) = u_m \cos(\omega_0 t + \varphi). \quad (3.7)$$

Продифференцировав формулу (2.5) по времени, получим выражение для силы тока в контуре

$$I = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}), \quad (3.8)$$

где u_m и I_m – амплитудные значения напряжения и тока в контуре.

Таким образом, сила тока опережает по фазе колебания заряда на $\frac{\pi}{2}$.

Энергия электрического поля конденсатора $W_э$ и энергия магнитного поля катушки $W_м$ соответственно равны:

$$W_э = \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} \cos^2(\omega_0 t + \varphi), \quad (3.9)$$

$$W_м = \frac{LI^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi).$$

Колебания, происходящие в электрическом колебательном контуре, называют электромагнитными колебаниями.

Полная энергия электромагнитных колебаний в контуре не изменяется с течением времени и равняется сумме энергий электрического и магнитного полей

$$W = W_э + W_м = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \text{const}. \quad (3.10)$$

3.2. Свободные затухающие колебания

Всякий реальный контур обладает активным сопротивлением. Энергия, запасенная в контуре, в соответствии с законом Джоуля-Ленца постепенно расходуется в этом сопротивлении на нагревание, вследствие чего свободные колебания затухают (рис. 3.3). При достаточно большом сопротивлении контура колебания в нем вообще не возникают, а происходит апериодический разряд конденсатора.

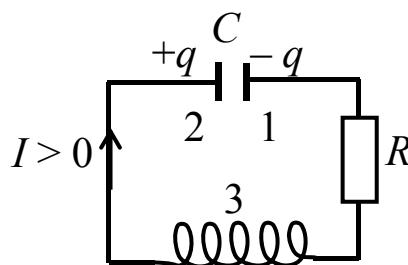


Рис. 3.3. Электрический контур с активным сопротивлением

Закон Ома, записанный для цепи 1–3–2, имеет вид:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{si} \quad \text{или} \quad IR = -\frac{q}{C} - L \frac{dI}{dt}. \quad (3.11)$$

Разделив это уравнение на L , перейдя от силы тока I к заряду q и введя обозначения

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \quad 2\beta = \frac{R}{L}, \quad (3.12)$$

получаем дифференциальное уравнение затухающих колебаний

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0, \quad (3.13)$$

где β – коэффициент затухания. β – физическая величина, обратная времени, по истечении которого амплитуда колебаний уменьшается в e раз.

При условии, что $\beta^2 < \omega_0^2$, то есть $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$, решение уравнения

(3.13) имеет вид

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (3.14)$$

где ω – частота затухающих колебаний, равная

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}. \quad (3.15)$$

Подставив (3.12) в формулу (3.15), получаем

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \quad (3.16)$$

Разделив функцию (3.14) на емкость C , получаем разность потенциалов (напряжение) на конденсаторе

$$u = \frac{q_m}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) = u_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi). \quad (3.17)$$

Сила тока в контуре изменяется по закону

$$I = I_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi + \psi), \quad (3.18)$$

где $\frac{\pi}{2} < \psi < \pi$.

Таким образом, при наличии в контуре активного сопротивления сила тока опережает по фазе заряд и напряжение на конденсаторе более чем на $\frac{\pi}{2}$.

График функции (3.14) изображен на рис. 3.4. Графики для силы тока и напряжения в зависимости от времени имеют аналогичный вид.

Для количественной характеристики быстроты убывания амплитуды затухающих колебаний вводится величина, называемая логарифмическим декрементом затухания. Логарифмический декремент затухания – безразмерная величина λ , равная натуральному логарифму отношения амплитуд колебаний в моменты времени t и $t + T$ (T – период колебаний)

$$\lambda = \ln \frac{\alpha(t)}{\alpha(t+T)} = \beta T, \quad (3.19)$$

где $\alpha(t)$ – амплитуда соответствующей величины (q, u, I).

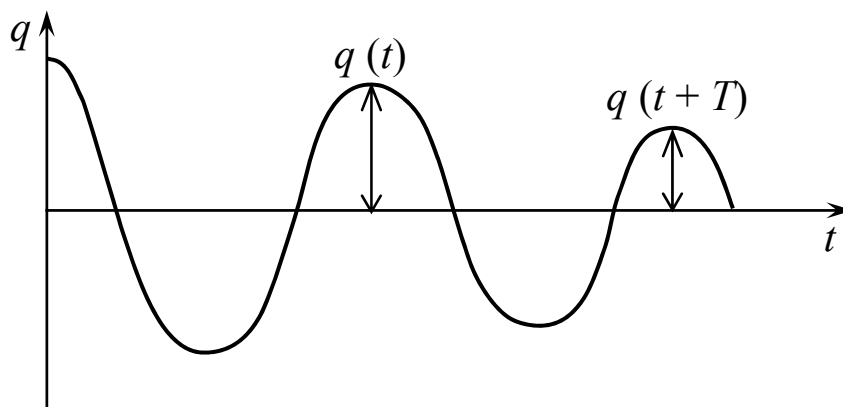


Рис. 3.4. График затухающих колебаний заряда

Для электрического контура

$$\lambda = \frac{R}{2L} T. \quad (3.20)$$

Логарифмический декремент затухания обратен числу колебаний N , совершаемых за время, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в e раз,

$$\lambda = \frac{1}{N}. \quad (3.21)$$

Электрический контур часто характеризуется добротностью Q

$$Q = 2\pi \frac{W(t)}{W(t) - W(t+T)}, \quad (3.22)$$

где $W(t), W(t+T)$ – энергия контура в моменты времени t и $t + T$.

Так как энергия $W(t)$ пропорциональна квадрату амплитуды колебаний соответствующей величины, например q , то

$$Q = 2\pi \frac{q^2(t)}{q^2(t) - q^2(t+T)} = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\beta T}} = \frac{2\pi}{1 - e^{-2\lambda}}. \quad (3.23)$$

При малых значениях логарифмического декремента затухания $1 - e^{-2\lambda} \approx 2\lambda$ и добротность контура

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (3.24)$$

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Приборы и оборудование

Принципиальная схема экспериментальной установки изображена на рис. 4.1.

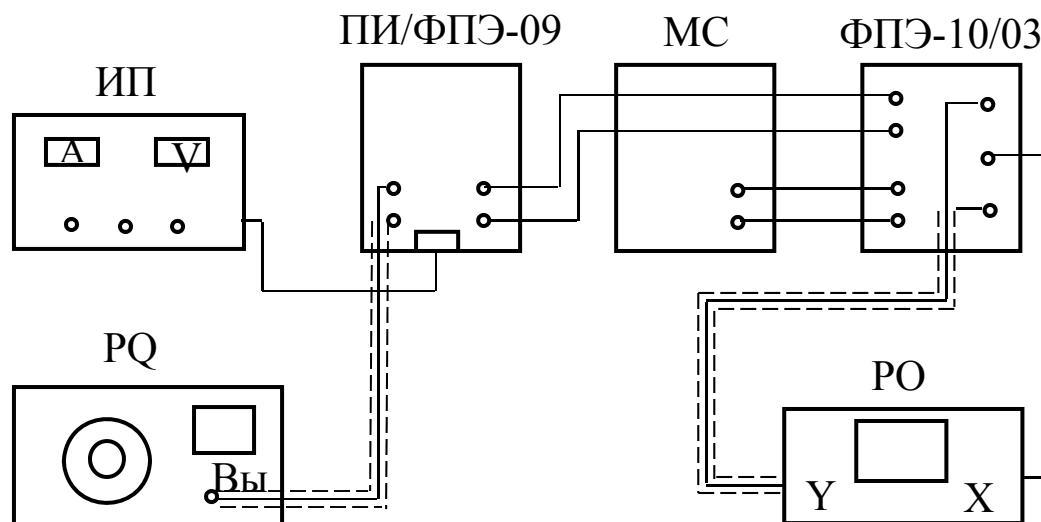


Рис. 4.1.

PQ – генератор звуковых сигналов, РО – осциллограф, ФПЭ – 10/03 кассета с колебательным контуром, ПИ/ФПЭ-9 – преобразователь импульсов, ИП – источник питания, МС – магазин сопротивлений

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.

2. Проверьте заземление лабораторной установки и изоляцию токонесущих проводов. Немедленно сообщите лаборанту или преподавателю о замеченных неисправностях.

3. Не загромождайте свое рабочее место предметами, не относящимися к выполняемой работе.

4. Не оставляйте без присмотра включенную лабораторную установку.

5. По окончании работы приведите в порядок свое рабочее место. Обесточьте приборы и стенд.

6. ЗАДАНИЯ

1. Изучить процесс возникновения электромагнитных колебаний в электрическом контуре.

2. По экспериментальным данным определить период колебаний и логарифмический декремент затухания. Построить график зависимости логарифмического декремента затухания от сопротивления. По графику определить сопротивление катушки индуктивности.

3. Используя полученные значения периода колебаний, логарифмического декремента затухания, полного сопротивления контура, определить индуктивность катушки и емкость конденсатора.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

1. Включить лабораторный стенд.

2. Подготовить приборы к работе:

- на преобразователе импульсов ПИ/ФПЭ-08 нажать на клавишу «скважность грубо»;

- установить на генераторе 400 Гц;

- установить на магазине сопротивление $R_M = 100 \text{ Ом}$.

3. Включить источник питания и осциллограф.

4. Получить на экране осциллографа устойчивую картину затухающих колебаний напряжения на обкладках конденсатора (рис. 7.1).

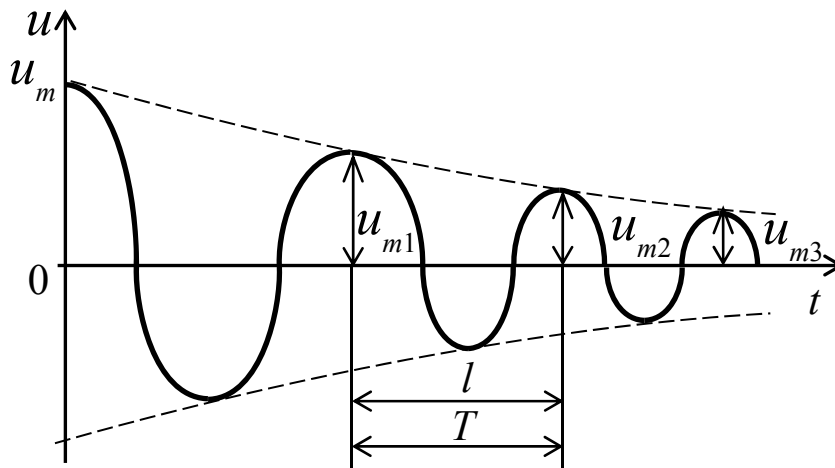


Рис. 7.1

5. Определить период колебаний T в контуре. Для этого измерить в сантиметрах расстояние l между двумя максимумами и умножить эту величину на цену деления k_x шкалы осциллографа, установленной переключателем «время/дел», т.е.

$$T = l \cdot k_x. \quad (7.1)$$

6. Измерить амплитуды колебаний u_{m1} , u_{m2} , u_{m3} и, комбинируя их попарно, вычислить логарифмический декремент затухания

$$\lambda = \ln \frac{u_{m1}}{u_{m2}} \approx \ln \frac{u_{m2}}{u_{m3}}. \quad (7.2)$$

7. По формуле (3.19) определить коэффициент затухания β .

8. Повторить измерения, включив в магазин сопротивлений $R_M = 200, 300, 400$ Ом.

9. Построить график зависимости логарифмического декремента затухания от сопротивления R_M . Экстраполируя график до пересечения с осью абсцисс (к $\lambda = 0$), определить сопротивление R_K катушки индуктивности (рис. 7.2).

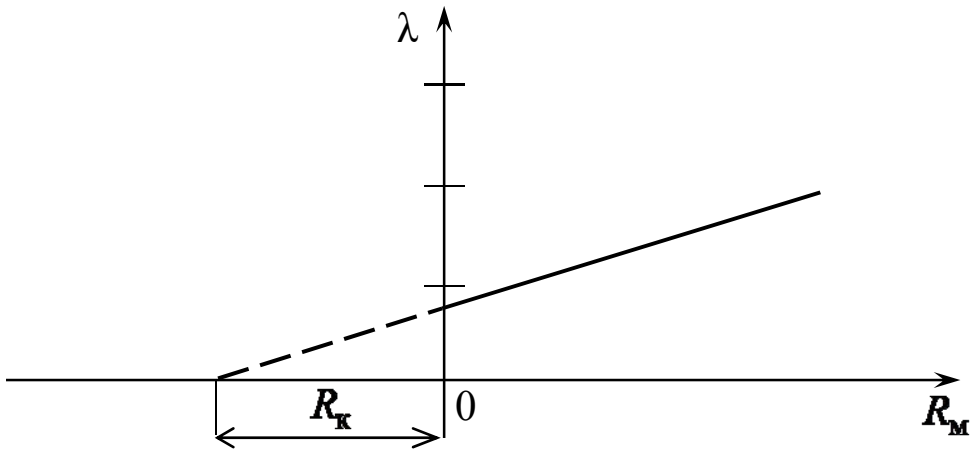


Рис. 7.2

10. Вычислить полное сопротивление контура, которое равно R

$$R = R_M + R_K. \quad (7.3)$$

11. Определить индуктивность контура по формуле (7.4), используя найденные значения T и R ,

$$\lambda = \beta T = \frac{R}{2L} T = \frac{R_M + R_K}{2L} T. \quad (7.4)$$

12. Вычислить емкость конденсатора по формуле (3.6), используя найденные значения периода колебаний T и индуктивности катушки L .

13. Определить средние значения для параметров контура (индуктивности L и емкости C).

14. Подобрать сопротивление $R_{кр}$ магазина сопротивлений, при котором наблюдается апериодический разряд конденсатора, т.е. колебания перестают быть гармоническими.

15. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Таблица

п/п	R_M , Ом	l , см	T , мс	u_{m1} , дел.шкалы	u_{m2} , дел.шкалы	u_{m3} , дел.шкалы	λ	β , c^{-1}	R_K , Ом	R , Ом	L , Гн	C , Ф
1	100											
2	200											
3	300											
сред.												

Контрольные вопросы

1. Какие токи называются квазистационарными?
2. В какой электрической цепи могут возникнуть электромагнитные колебания?
3. Какие величины в электрическом контуре изменяются периодически?
4. Выведите дифференциальное уравнение колебаний в контуре без активного сопротивления.
5. Выведите дифференциальное уравнение затухающих колебаний.
6. Какие колебания называются затухающими? Дайте определение логарифмического декремента затухания. Каков физический смысл логарифмического декремента затухания?
7. Какова связь между собственной частотой и частотой затухающих колебаний?
8. Чему равен период затухающих колебаний?
9. Как связаны добротность контура и логарифмический декремент затухания?
10. Чему равен сдвиг фаз между током и напряжением на конденсаторе в случае электромагнитных колебаний в контуре без активного сопротивления, с активным сопротивлением?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название, номер, цели и задачи лабораторной работы.
2. Основные положения теории метода.
3. Основные формулы для выполнения расчетов.
4. Схему экспериментальной установки.
5. Таблицу с результатами измерений и вычислений.
6. График зависимости логарифмического декремента затухания λ от сопротивления R_M на миллиметровой бумаге.
7. Результаты вычислений λ , β , L , C для одного из значений R_M .
8. Выводы по работе.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел понятиями электрический колебательный контур,

квазистационарный ток, электромагнитные колебания, знает характеристики колебаний и параметры контура;

- может записать и объяснить закон Ома для электрического контура без активного и с активным сопротивлением;

- вывести дифференциальное уравнение для свободных без затухания и затухающих колебаний в электрическом контуре, записать и объяснить решение этих уравнений;

- может раскрыть физический смысл величин, характеризующих электромагнитные колебания;

- освоил метод определения и вычисления характеристик электромагнитных колебаний и параметров электрического контура;

- правильно выполнил экспериментальную и расчетную часть работы;

- составил отчет, соответствующий требованиям;

- сформулировал выводы по проделанной работе;

- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т.2. – Спб.: Изд-во Лань, 2011.

2. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики. – М.: Академия, 2012.

3. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Академия, 2012.

Составитель СТРОКИНА Венера Рамазановна

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТУРЕ

Методические указания к лабораторной работе № 48
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12