

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Набережночелнинский институт (филиал)
ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Изучение затухающих колебаний

*Методические указания
к лабораторной работе по физике*

Набережные Челны
2018

УДК 530 (077)

Изучение затухающих колебаний: Методические указания к лабораторной работе по физике. Составители: М.Н. Карпова, Д.Н. Ахунов, Л.Ф.Ряднинская - Набережные Челны: Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, 2018, 10 стр.

Методические указания предназначены в помощь студентам, проходящим лабораторный практикум по физике. Содержат теоретическую и практическую части. Приводится список литературы.

Ил.-5. Табл.-1. Список лит.- 5 назв.

Рецензент: к.т.н., доцент Х.К. Тазмеев.

Печатается по решению Научно-методического совета Набережночелнинского института К(П)ФУ.

©Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, 2018 год.

Цель работы: изучение затухающих электрических колебаний.

Принадлежности: комплекс приборов для изучения электрических затухающих колебаний.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Колебательное движение является одним из самых распространённых в технике. Колебания относятся к процессам, точно или приблизительно повторяющимся через одинаковые промежутки времени. При механических колебаниях повторяются, например, изменение положений и скоростей тел. Электрические колебания – это повторяющиеся изменения напряжений и сил токов в электрических цепях, изменения электрического и магнитного полей вокруг этих цепей. Среди различных видов колебаний наиболее простой формой является гармоническое колебание, т.е. такое, при котором колеблющиеся величины изменяются в зависимости от времени по закону синуса или косинуса:

$$X = A \cos(\omega_0 t + \alpha),$$

где X – смещение колеблющейся величины от положения равновесия в момент времени t ;

A – амплитуда колебания (наибольшее смещение колеблющейся величины от положения равновесия);

ω_0 – собственная циклическая частота;

$\omega_0 t + \alpha$ – фаза колебания в момент времени t ;

α – начальная фаза (фаза в момент времени $t=0$).

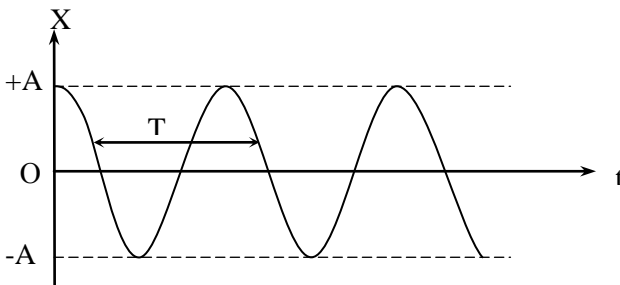


Рис.1

Поскольку косинус (синус) – периодическая функция с периодом 2π , различные состояния системы, совершающей гармонические колебания, повторяются через такой промежуток времени T , за который фаза колебания получает приращение равное 2π . Этот промежуток времени называется периодом колебания (за это время система совершит одно полное колебание и придёт в исходное положение). Период и циклическая частота связаны соотношением $T = 2\pi / \omega_0$.

График изменения гармонически колеблющейся величины представлен на рис. 1.

Все реальные колебательные системы являются диссипативными. Энергия колебания такой системы постоянно расходуется на работу против сил трения (сопротивления) и превращается в тепло. Если убыль энергии не восполняется за счёт работы внешних сил, колебания будут затухать. Затухающие колебания – это колебания, амплитуда которых убывает со временем. Закон убывания зависит от характера сил трения (сопротивления), действующих на систему. В случае электрических колебаний часть электрической энергии переходит в энергию теплового движения частиц проводника и окружающей среды.

Для возбуждения и поддержания электромагнитных колебаний используется колебательный контур. Рассмотрим закры-

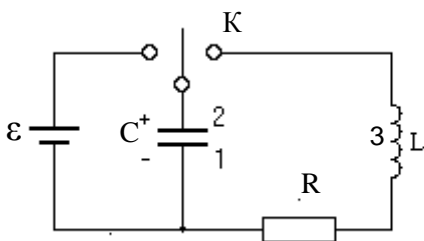


Рис.2

тый колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности L , конденсатора C и сопротивления R (рис.2), который ключом K заряжается от источника ε , а затем разряжается на катушку индуктивности L и сопротивление R .

Найдём уравнение колебаний в колебательном контуре. Будем считать сопротивление конденсатора, катушки индуктивности и соединительных проводов равным нулю. Условимся также считать положительным ток, заряжающий конденсатор. Тогда:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Запишем закон Ома для участка цепи 1-3-2:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}.$$

В нашем случае: $\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{q}{C}$; $\varepsilon_{12} = \varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$,

где ε_s – э.д.с. самоиндукции.

Подставив эти формулы в закон Ома, получаем:

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

Окончательно запишем:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\delta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0, \quad (1)$$

где $\delta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания; (2)

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ – циклическая частота колебаний заряда в контуре в отсутствии сопротивления.

Решение дифференциального уравнения (1) зависит от знака разности $\omega_0^2 - \delta^2$. При условии, что $\omega_0^2 > \delta^2$, т.е., когда потери энергии в системе малы, эта разность является действительной величиной и решение уравнения (1) будет иметь вид:

$$q(t) = q_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \alpha),$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ – циклическая частота затухающих колебаний.

Напряжение на конденсаторе будет изменяться по закону:

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} e^{-\delta t} \cos(\omega t + \alpha) = U_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \alpha).$$

Кривую этой зависимости (рис.3, кривая 1) можно наблюдать при помощи электронного осциллографа. Пунктиром 2 изображено изменение амплитуды

$$U_m(t) = U_0 e^{-\delta t}, \quad (3)$$

где U_0 - амплитуда колебаний в начальный момент времени.

Период затухающих колебаний зависит от сопротивления и определяется формулой:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}} \quad (4)$$

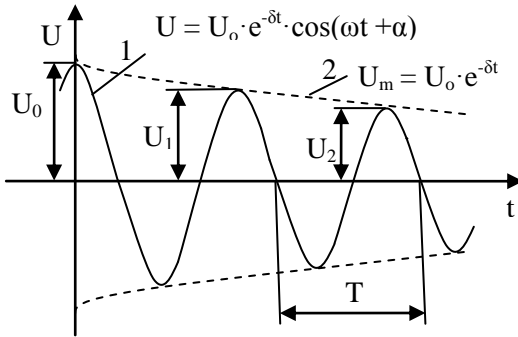


Рис.3

При малом сопротивлении период затухающих колебаний близок к периоду незатухающих свободных колебаний:

$$T \approx \frac{2\pi}{\omega_0}.$$

Коэффициент затухания характеризует скорость убывания амплитуды: чем

сильнее тормозящее действие среды, чем больше R , тем больше δ и тем быстрее уменьшается амплитуда. На практике степень затухания характеризуют логарифмическим декрементом затухания, понимая под этим величину, равную натуральному логарифму отношения двух последовательных амплитуд колебаний, разделённых интервалом времени, равным периоду колебаний:

$$\theta = \ln \frac{U_m(t)}{U_m(t+T)} = \ln \frac{U_0 e^{-\delta t}}{U_0 e^{-\delta(t+T)}} = \ln e^{\delta T},$$

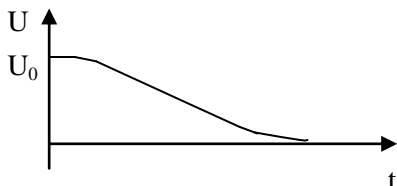
следовательно, коэффициент затухания и логарифмический декремент затухания связаны простой зависимостью:

$$\theta = \delta T. \quad (5)$$

Колебательный контур характеризуют его добротностью:

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

При сильном затухании ($\delta^2 > \omega_0^2$) из формулы (4) видно, что период колебания становится мнимой величиной. Процесс в этом случае называется аperiодическим (рис.4.). В этом случае вся энергия системы к моменту возвращения в положения равновесия оказывается израсходованной на преодоление сопротивления. Критическое сопротивление, при котором периодическое движение переходит в аperiодическое, легко определить, записав $\omega = 0$. Тогда



$$\omega_0 = \delta = \frac{R}{2L} \text{ и}$$

$$R_{\text{кр}} = 2L\omega_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (7).$$

Рис. 4

ВЫВОД РАСЧЁТНЫХ ФОРМУЛ И ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Электрическая схема для изучения затухающих электрических колебаний (рис.5) включает в себя: генератор прямоугольных импульсов 1; колебательный контур 3 и электронный

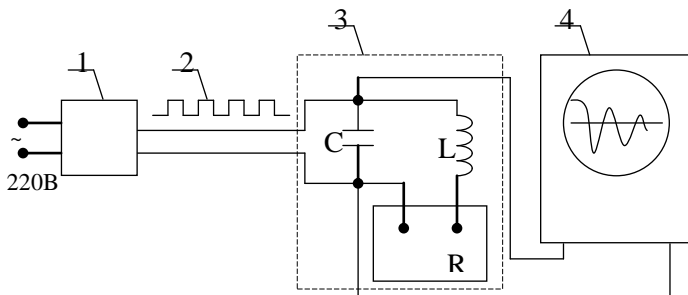


Рис.5

осциллограф 4.В колебательном контуре в качестве сопротивления используется магазин сопротивления, с помощью которого можно изменить величину R. Ёмкость конденсатора С и индуктивность катушки L указаны на установке.

Генератор импульсов 1 вырабатывает однополярные импульсы напряжения. Форма импульсов показана на рис.5 (кривая 2). Этими импульсами периодически заряжается конденсатор С, и в контуре за время между импульсами совершаются свободные затухающие колебания.

Если за время t совершится N полных колебаний, то на основании (3) амплитуда уменьшится в число раз n, равное

$$n = \frac{U_m(t_0)}{U_m(t_0 + t)} = e^{\delta t}, \quad (8)$$

где $U_m(t_0)$ – амплитуда колебаний в начальный момент времени t_0 ;

$U_m(t_0+t)$ – амплитуда в момент (t_0+t) .

Так как $t=NT$, где T- период колебаний, то $\ln n = \delta NT$ и, следовательно, по (5) логарифмический декремент затухания равен:

$$\theta = \frac{\ln n}{N} . \quad (9)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Собрать схему, изображённую на установке.
2. При небольшом значении сопротивления получить на экране осциллографа устойчивое изображение изменения напряжения на конденсаторе при затухающих колебаниях.
3. Для этого же значения R измерить амплитуду на различных участках кривой.
4. Используя (8), (9), (6), вычислить логарифмический декремент затухания и добротность.
5. Прodelать действия, указанные в п.3, ещё для четырёх значений R в порядке возрастания.

6. Постепенно увеличивая сопротивление магазина пронаблюдать за возрастанием скорости затухания колебаний. Определить критическое сопротивление $R_{кр.}$, при котором периодическое колебание переходит в аperiodическое.
7. Используя (7) вычислить $R_{кр.}$ и сравнить с полученным в опыте.
8. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 1.
9. Сделать выводы по проделанной работе.

Таблица 1

| № п/п | R | U(t ₀) | U(t ₀ +t) | N | n | θ | Q |
|-------|---|--------------------|----------------------|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие колебания называются гармоническими?
2. Выведите уравнение (1).
3. При каком условии период затухающих колебаний становится бесконечно большим?
4. Какой физический смысл величин δ, θ, Q ?
5. Какую роль играет в данной работе осциллограф?

ЛИТЕРАТУРА

1. Вафин Д. Б. Физика: учебное пособие для студ. инженерных спец./ Д. Б. Вафин. - 2-е изд., доп.. - Казань: Изд-во МОиН РТ, 2010. - Ч. I.
2. Врублевская Г. В. Физика. Практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г. В. Врублевская, И. А. Гончаренко, А. В. Ильющонок. – Москва: ИНФРА-М, 2012.– Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=252334>
3. Ильющонок А. В. Физика [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Ильющонок, П. В. Астахов, И. А. Гончаренко. – Москва: ИНФРА-М, 2013.–Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=397226>

4.Савельев И. В. Курс общей физики [Текст]. Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - 10-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2008.

5.Пинский А. А. Физика [Электронный ресурс]: учебник / А. А. Пинский, Г. Ю. Граковский; под общ. ред. проф., д.э.н. Ю. И. Дика, Н. С. Пурьшевой. – 3-е изд., испр. – Москва: Издательство "ФОРУМ", 2013.– <http://znanium.com/go.php?id=375867>.