

Кафедра физики МГУЛ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 49

ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ
В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

МОСКВА, 2014

Изучение затухающих электромагнитных колебаний в колебательном контуре

Цель работы – изучение затухающих электромагнитных колебаний в колебательном контуре при различных сопротивлениях контура, расчет логарифмического декремента затухания и параметров колебательного контура.

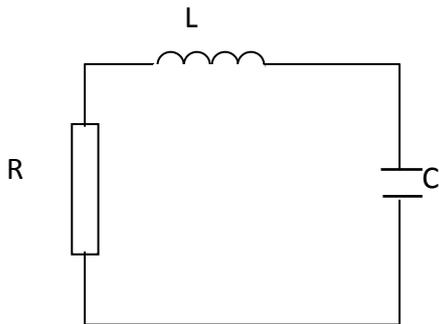


Рис.1 . Колебательный контур

Колебательный контур – электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора С, катушки индуктивности L и омического сопротивления R (рис. 1). При замыкании на катушку предварительно заряженного конденсатора в контуре возникают

свободные колебания заряда на конденсаторе и тока в контуре. Энергия, запасённая в контуре, постепенно диссипирует (переходит в тепло и рассеивается.). Поэтому эти колебания будут затухающими.

Дифференциальное уравнение свободных колебаний в колебательном контуре имеет вид:

$$\frac{d^2 U}{dt^2} + 2\beta \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 U = 0. \quad (1)$$

где U - напряжение на конденсаторе:

$\beta = R/2L$ - коэффициент затухания;

$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ - циклическая частота свободных незатухающих колебаний системы ($\beta = 0$).

Решением уравнения (1) является выражение

$$U = U_0 \cdot e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (2)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - циклическая частота свободных затухающих колебаний системы;

U_0 и φ - постоянные, определяемые из начальных условий.

Период затухающих колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega}$, а величина $A = U_0 \cdot e^{-\beta t}$ называется амплитудой. График зависимости $U(t)$ изображен на рис. 2. Степень затухания колебаний принято характеризовать логарифмическим декрементом затухания, равным натуральному логарифму отношения амплитуд двух последовательных колебаний, соответствующих моментам времени, отличающимся на период.

$$\lambda = \ln \left[\frac{A(t)}{A(t+T)} \right] = \ln \left(U_0 \cdot \frac{e^{-\beta t}}{U_0 \cdot e^{-\beta(t+T)}} \right) = \beta T \quad (3)$$

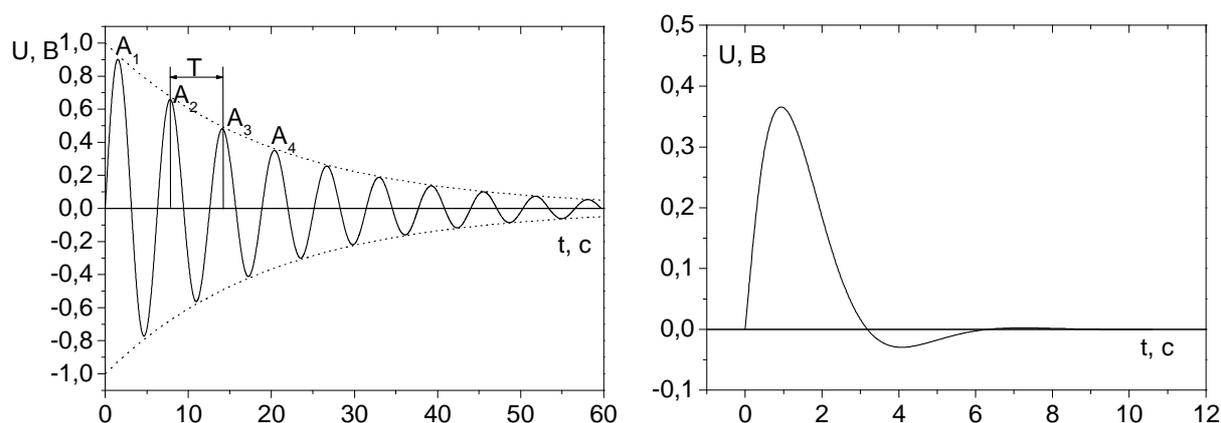


Рис.2. Графики а) затухающих колебаний; б) аperiodических колебаний

При увеличении коэффициента затухания β период затухающих колебаний растет согласно (2) и при $\beta = \omega_0$ обращается в бесконечность, т.е. процессы, протекающие в контуре при разряде конденсатора, не носят периодического характера. Такие колебания называют аperiodическими.

Сопротивление контура, при котором колебательный процесс переходит в аperiodический, называется критическим. Значение этого сопротивления определяется условием :

$$\frac{R_{кр}}{2L} = \sqrt{\frac{1}{LC}}, \text{ откуда } R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Методика эксперимента

Описание установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис.3. Установка состоит из источника питания ИП, кассеты ФПЭ-10/11 с вмонтированными на ней элементами схемы колебательного контура, магазина сопротивлений R ,

преобразователя импульсов ФПЭ-9, электронного осциллографа ЭО и звукового генератора ЗГ.

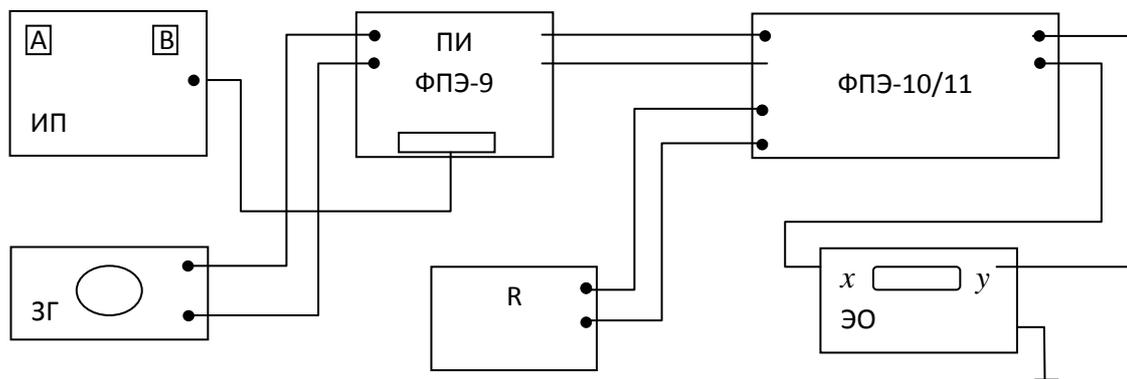


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Прямоугольный импульс напряжения поступает от преобразователя импульсов на конденсатор колебательного контура. Зарядка конденсатора осуществляется практически мгновенно, поскольку сопротивление цепи зарядки мало. Затем конденсатор разряжается через сопротивление и катушку индуктивности контура. Если сопротивление контура $R < R_{кр}$, то в колебательном контуре возникают затухающие колебания. При прохождении следующего импульса процессы зарядки и разрядки повторяются. Напряжение с конденсатора колебательного контура поступает на вход Y электронного осциллографа. При включённой развертке на экране осциллографа можно наблюдать кривую затухающих колебаний, как на рис. 2.

Изучение затухающих колебаний при различных сопротивлениях контура.

Определение R_L , L и $R_{кр}$.

1. Установите по шкале вольтметра звукового генератора напряжение 1-2 В, 2 – частоту 100 Гц. На осциллографе установите: усилитель V/дел в позицию 1, а развёртка время/дел – 0,2 ms/дел. Включите установку.
2. Получите на экране осциллографа устойчивую картину 3÷4 периодов затухающих колебаний при сопротивлении магазина $R_m = 0$.
3. Вращением ручек \updownarrow и \leftrightarrow осциллографа совместите верхний уровень второй амплитуды сигнала (рис. 2) с вертикальной градуированной линией сетки экрана. Измерьте в делениях шкалы амплитуду A_2 . Данные запишите в табл. 1. Аналогично проведите измерения амплитуд A_3 , A_4 .
4. Проведите измерения A_2 , A_3 , A_4 при сопротивлениях магазина по табл. 1.

5. Измерьте период колебаний T . Установите переключатель развёртки осциллографа в такое положение, чтобы расстояние между измеряемыми точками было примерно 8 клеток. Измерьте в делениях шкалы горизонтальное расстояние между точками, умножьте это расстояние на длительность развёртки. Запишите полученное значение периода T .
6. Подберите такое сопротивление магазина $R_{кр}$, при котором начинается апериодический разряд конденсатора. Запишите это значение в табл. 1.
7. Постройте график зависимости логарифмического декремента λ от R_M . Покажите этот график преподавателю и дальнейшую обработку экспериментальных данных проведите по указанию преподавателя. Среднее значение периода $T =$, с.

Таблица 1

R_M , Ом	0	30	60	90	120	150
A_2 , дел						
A_3 , дел						
A_4 , дел						
$\lambda_1 = \ln(A_2/A_3)$						
$\lambda_2 = \ln(A_3/A_4)$						
$\langle \lambda \rangle = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$						
-----	эксперимент		график		МНК	
$R_{кр}$, Ом						
R_L , Ом						

Обработка экспериментальных данных

Учитывая, что $\beta = R/2L$, из (3) имеем

$$\lambda = RT/2L = (R_L + R_M)T/2L, \quad (8)$$

где R – полное сопротивление колебательного контура;

R_L и R_M – сопротивление катушки индуктивности и магазина.

Уравнение (8) представим в виде

$$\lambda = RT/2L + (T/2L) \cdot R_M, \quad (9)$$

т.е. в виде уравнения прямой линии $y = A + Bx$, где

$$y = \lambda; \quad x = R_M; \quad B = T/2L; \quad A = R_L T/2L = R_L \cdot B. \quad (10)$$

Далее обработку результатов провести в среде Excel.

А. Графический метод

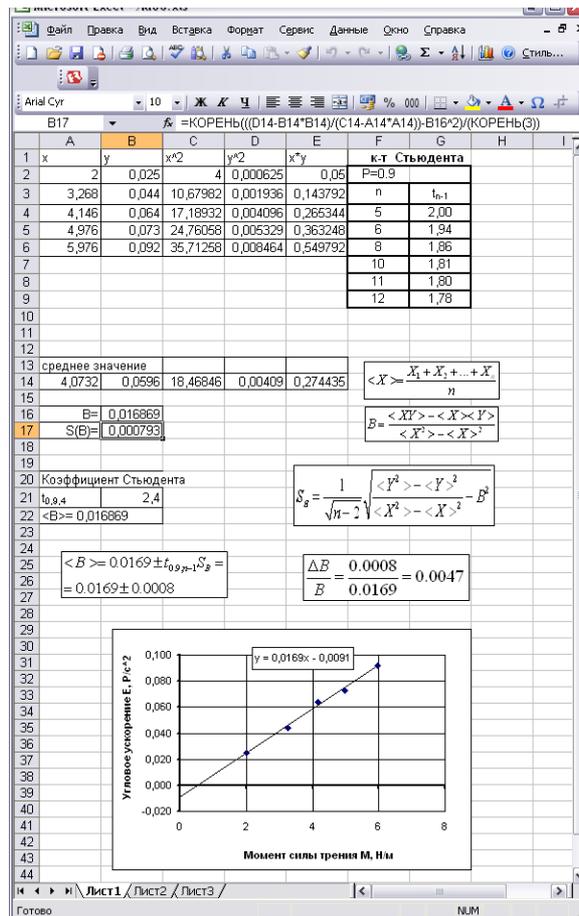


Рис.2. Образец обработки результатов измерения λ

1. Экстраполируйте прямую зависимость λ от R_M до пересечения с осью абсцисс и определите сопротивление катушки индуктивности $\langle R_L \rangle$. Запишите это значение в табл. 1.
2. На графике зависимости λ от R_M определите угловой коэффициент B .
3. Рассчитайте индуктивность катушки по (10): $\langle L \rangle = T/2B$.
4. Рассчитайте критическое сопротивление, $R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ $C = 0,1$ мкФ.

Б. Аналитический метод

1. Рассчитайте A , B и S_B .
2. Рассчитайте индуктивность катушки по (10): $\langle L \rangle = T/2B$ и погрешность её определения $S_{\langle L \rangle} = \langle L \rangle S_B/B$.
3. Окончательный результат представьте в виде $L = \langle L \rangle \pm S_{\langle L \rangle}$.
4. По значению A из (10) определите сопротивление катушки индуктивности $R_L = A/B$.
5. Рассчитайте критическое сопротивление, $R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ $C = 0,1$ мкФ.

Данные расчетов запишите в табл. 1.