МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Московский энергетический институт
(технический университет)
Волжский филиал

Кафедра общетехнических дисциплин

В.П.Мельников, С.В.Кулешина

Лабораторная работа № 24

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №24 по курсу «Физика»

ВОЛЖСКИЙ 2000

УДК 532
Л 125

Рецензент:

Петухов И.М.,кандидат технических наук,доцент кафедры

В. П. Мельников, С. В. Кулешина,
Лабораторная работа № 24.Исследование затухающих колебаний в колебательном контуре.
Методические указания к выполнению лабораторной работы №24по курсу «Физика».

При выполнении лабораторной работы студенты визуально наблюдают форму электрических сигналов на экране осцилографа,определяют логарифмический декремент затухания и параметры колебательного контура,выполняют графические построения.

Предназначено для студентов 2 курса дневной и вечерней форм обучения всех специальностей.

УДК 532
Л 125

Лабораторная работа № 24
Исследование затухающих колебаний в колебательном контуре

1. Цель работы

Измерение и расчет параметров колебательного контура.

2.Теоретические основы

В цепи ,содержащей индуктивность L, емкость C и активное сопротивление R могут возникать электрические колебания. Если зарядить конденсатор C от батареи $Б$ до напряжения U_c(рис.1), а затем повернуть переключатель K вправо,то конденсатор начнет разряжаться через катушку и по цепи потечет электрический ток.Энергия электрического поля и напряжение на конденсаторе будут уменьшаться,но зато начнут возрастать энергия магнитного поля индуктивности и ток в цепи.

Когда напряжение на конденсаторе, а следовательно и энергия электрического поля обратятся в нуль, энергия магнитного поля, а значит и ток, достигнут наибольшего значения. Затем процесс протекает в обратном направлении: ток и магнитная энергия катушки уменьшаются, а напряжение на конденсаторе и энергия электрического поля возрастают. В дальнейшем процесс повторяется. В цепи возникают колебания, называемые свободными, т.к. происходят без подвода энергии извне, а сама электрическая цепь, содержащая элементы R, C, L,называется колебательным контуром.

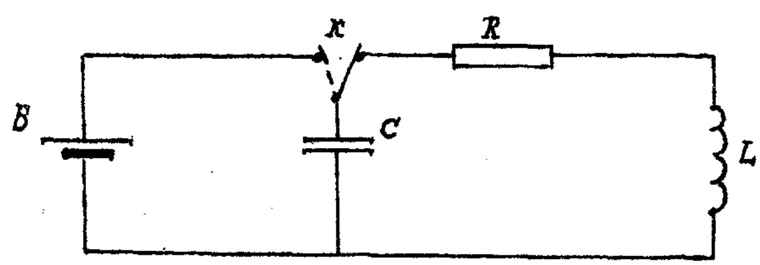

Рис.1

Согласно второму правилу Кирхгофа в любой момент времени сумма напряжений на элементах C и R контура равна ЭДС самоиндукции E_S , возникающей в катушке L.

$$IR+U_C=E_S \tag{2.1}$$

Из закона Фарадея $E_S=-L\frac{dI}{dt}$ следует

$$L\frac{dI}{dt}+IR+\frac{q}{C}=0 \tag{2.2}$$

Последнее уравнение можно записать в виде

$$\frac{d^2q}{dt^2}+\frac{R}{L}\frac{dq}{dt}+\frac{1}{LC}q=0 \tag{2.3}$$

Здесь

$$\frac{dq}{dt}=I, \quad \frac{d^2q}{dt^2}=\frac{d}{dt}\left(\frac{dq}{dt}\right)=\frac{dI}{dt}$$

Введем следующие обозначения:

$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$ - циклическая частота собственных колебаний,

$\beta=\frac{R}{2L}$ - коэффициент затухания ,

$\omega=\sqrt{\omega_0^{\,2}-\beta^2}$ - циклическая частота затухающих колебаний.

С учетом введенных обозначений дифференциальное уравнение (2.3) запишем в виде

$$\frac{d^2q}{dt^2}+2\beta\frac{dq}{dt}+\omega_0^{\,2}q=0 \tag{2.4}$$

Последнее уравнение представляет собой уравнение затухающих электрических колебаний.Его решение имеет вид

$$q=q_0\ell^{\beta t}\sin(\varpi\cdot t+L)\ , \tag{2.5}$$

здесь L-начальная фаза колебаний.

Решение (2.5) получено при условии, что $\beta^2<\omega_0^{\,2}$. В противном случае колебания не возникают, будет наблюдаться апериодический процесс разряда конденсатора. Разделив (2.5) на C, получим уравнение для напряжения на конденсаторе

$$U=U_0\ell^{-\beta t}\ \sin(\omega t+L) \tag{2.6}$$

Продифференцировав (2.5) по времени получим уравнение для тока в контуре

$$I=\frac{dq}{dt}=q_0\ell^{-\beta t}[\beta\cdot\sin(\omega\cdot t+L)-\omega\cdot\cos(\omega\cdot t+L)] \tag{2.7}$$

На рис.2 показана зависимость напряжения на конденсаторе от времени. Период колебаний определяется по формуле

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^{\,2}-\beta^2}} \tag{2.8}$$

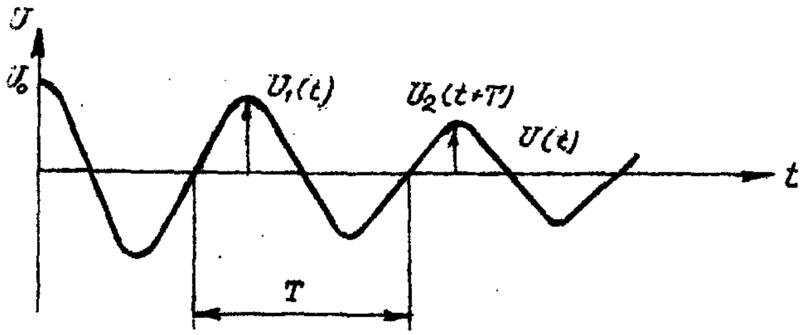

Рис. 2

Важной характеристикой затухающих колебаний является логарифмический декремент.

Логарифмический декремент V равен логарифму отношения двух последующих максимальных отклонений напряжений в одну и ту же сторону

$$V = \ell n \frac{U_1(t)}{U_2(t+T)} \tag{2.9}$$

Из (2.6) следует, что $U_1(t) = U_0 \ell^{-\beta t}$; $U_2(t+T) = U_0 \ell^{-\beta(t+T)}$

и для логарифмического декремента можно записать

$$V = \beta T \tag{2.10}$$

В ряде случаев удобно изучать колебательный процесс в системе координат I и U, называемой фазовой плоскостью. Кривая зависимости напряжения от тока на фазовой плоскости называется фазовой кривой.

Для идеального колебательного контура $R=0$ имеем $\beta = \frac{R}{2L} = 0$

$$\varpi = \varpi_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad ; \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Отсюда

$$U = U_0 \sin \varpi_0 t;$$
$$I = U_0 C \varpi_0 \cos \varpi \cdot t = I_0 cos \varpi \cdot t \tag{2.11}$$

Система из двух уравнений (2.11) описывает незатухающие колебания. Для получения уравнения фазовой кривой из (2.11) надо исключить параметр t, получим

$$\frac{U^2}{U_o^2} + \frac{I^2}{I_o^2} = 1 \tag{2.12}$$

Это уравнение эллипса. Соответствующая (2.12) фазовая кривая изображена на рис.3.

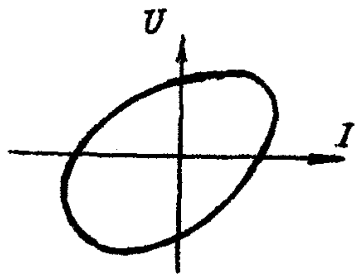

Рис.3

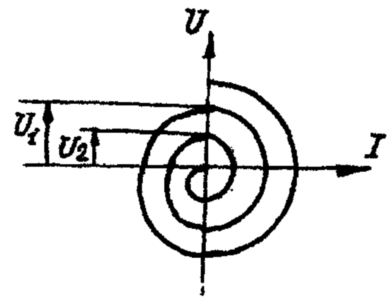

Рис.4

В реальном контуре, активное сопротивление которого отлично от нуля,колебания напряжения и тока описываются уравнениями (2.6) и (2.7). В этом случае амплитуды напряжения и тока в контуре монотонно убывают и фазовая траектория получается незамкнутой (рис.4).

3. Метод измерений и описание установки

На рис.5 показана принципиальная электрическая схема лабораторной работы.

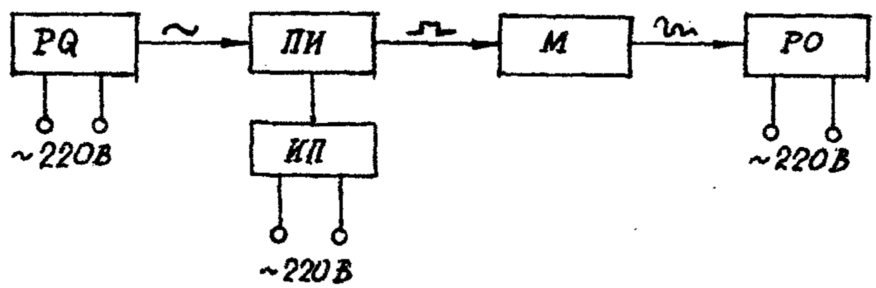

Рис.5

РО – осциллограф СI-96
PQ – генератор импульсов ГЗ - 118
ПИ – преобразователь импульсов
М – модуль (колебательный контур)
ИП – источник питания «Марс»

Принципиальная схема модуля лабораторной работы М показана на рис.6.

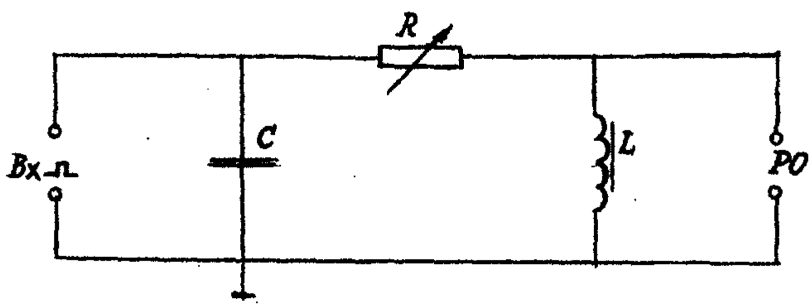

Рис.6

Модуль содержит элементы колебательного контура: емкость C, катушку L, магазин сопротивлений R. Периодическая зарядка конденсатора C осуществляется через преобразователь импульсов *ПИ* в виде прямоугольных импульсов.Импульсы подаются на гнезда «Вх⎍»

Затухающие колебания напряжения на конденсаторе наблюдаются на экране осцилографа *РО* при подключении его входа “Y” к соответствующим гнездам *РО* модуля М.

Общее сопротивление контура равно

$$R_{общ.} = R + R_K \tag{3.1}$$

Где R– сопротивление магазина, R_K - сопротивление катушки.

Параметры колебательного контура : индуктивность катушки L и емкость конденсатора С определяются с использованием графической зависимости $V=f(R)$. Для различных величин сопротивлений магазина R определяются значения логарифмического декремента. V.

При малых значениях сопротивления R (для данной установки R<700 *Ом*) $\omega_0^2 >> \beta^2$, и логарифмический декремент линейно зависит от величины сопротивления R магазина

$$V = \frac{T}{2L} R\,общ = \frac{T}{2L}(R + R_K) = \frac{T}{2L}R + \frac{TR_K}{2L} \tag{3.2}$$

или $V = KR + в$, здесь $K = \dfrac{T}{2L}$; $в = \dfrac{TR_K}{2L}$

На рис.7 показана зависимость $V=f(R)$

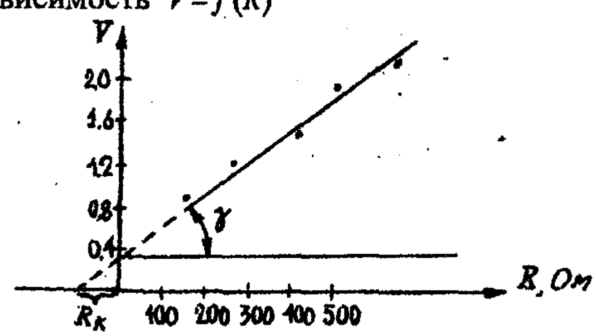

Рис.7

Как видно из рис.7 этот метод позволяет определить сопротивление катушки, аппроксимируя опытную зависимость $V=f(R)$ до пересечения с осью абсцисс – $V=0$.Индуктивность катушки рассчитывается по формуле

$$L = \frac{T}{2tg\gamma}, \tag{3.3}$$

а емкость C можно получить из формулы

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad ; \quad C = \frac{T^2}{4\pi^2 L} \qquad (3.4)$$

4.Порядок выполнения работы

4.1. Собрать электрическую схему (рис.5).

4.2. Включить лабораторный стенд; при этом должна загореться сигнальная лампочка «Сеть».

4.3. Включить генератор сигналов *PQ*. Установить ~~напряжение по индикатору 2,5*B*,~~ частоту выхода на 100-200 *Гц*.

4.4. Включить источник питания ИП "Марс", установить напряжение 12*B*.

4.5. На преобразователе импульсов ПИ нажать клавишу " П " и правую клавишу "скважность грубо".

4.6. На магазине сопротивлений МС установить $R_1 = 100$ *Ом*.

4.7. Включить осциллограф.Поставить ручку «*U*/дел» в положение «0,2».

4.8. Ручками «Фокус»,«Яркость»,«Уровень» получить устойчивую картину колебаний на экране.

4.9. Ручками «↕» и «↔» установить картину в центре экрана.

4.10. Используя переключатель коэффициентов развертки,добиться изображения на экране $5 \div 7$ периодов затухающих колебаний.

4.11.Измерить в делениях горизонтальной шкалы экрана осциллографа отрезок L_n,соответствующий выбранному числу колебаний *n*.

4.12. Измерить амплитуду колебаний $U_1(t)$, $U_n(t+nT)$ в делениях вертикальной шкалы экрана осциллографа, где n - число периодов.

4.13. Записать в таблицу значения размерного коэффициента развертки по оси *X* осциллографа X_m,время/дел ; ~~безразмерного коэффициента усиления по оси *X* осциллографа K_X~~ .

4.14. Выполнить измерения по п.4.11 $\div$4.13. при сопротивлении магазина МС *R*=200, 300, 400, 500 *Ом*.

4.15. Результаты измерений занести в таблицу.

№ опыта	R, *Ом*	L_n дел	n	X_m с/дел	~~K_X~~	T, с	$U(t)$, дел.	$U(t+nT)$, дел	V
1	100								
2	200								
3	300								
4	400								
5	500								

5.Обработка результатов замеров.

5.1. Для каждого значения сопротивления R магазина МС рассчитать значения периода колебаний по формуле

$$T = \frac{L_n X_m \cancel{K_x}}{n} \qquad 5.1$$

5.2. Рассчитать значения логарифмического декремента по формуле

$$V = \frac{1}{n} \ell n \frac{U_1(t)}{U_n(t+nT)} \qquad 5.2$$

Результаты расчета записать в таблицу.

5.3. Построить график зависимости $V=f(R)$

5.4. Определить по графику сопротивление катушки R_K.

5.5. Вычислить значение индуктивности L по формуле (3.3).

5.6. Вычислить значение емкости C по формуле (3.4).

5.7. Рассчитать погрешность определения V по формуле

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\Delta U_1^{\,2}}{U_1^{\,2}} + \frac{\Delta U_2^{\,2}}{U_2^{\,2}}} \qquad 5.3$$

Здесь $\Delta U_1 = \Delta U_2$ - погрешность измерения напряжения в делениях вертикальной шкалы экрана осциллографа.

5.8. Записать окончательный результат с учетом погрешности.

Контрольные вопросы

1. Изобразите колебательный контур и объясните,как в нем возникают колебания?
2. Какими уравнениями описываются собственные,затухающие и незатухающие колебания?
3. Запишите формулу для частоты свободных затухающих колебаний контура.
4. Дайте определение понятию «логарифмический декремент».Физический смысл.
5. Что представляет собой апериодический разряд в контуре и при каких условиях он происходит?
6. Что называют фазовой плоскостью и фазовой траекторией?
7. Какова форма фазовой кривой при незатухающих колебаниях? При затухающих колебаниях?

Содержание :

Лабораторная работа № 24
Исследование затухающих колебаний в колебательном контуре

Методические указания

В.П.Мельников, С.В.Кулешина

Редактор Г.П.Халдеева
Компьютерная верстка О.Д.Крутикова

Подписано в печать 05.06.00 Формат 60x90 $^1/_{16}$
Усл.печ.л. 0,7 Тираж 50 Заказ 18

Издатель: ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г.Волжский, пр.Ленина ,69
Отпечатано: ВФ МЭИ (ТУ), 404110, г.Волжский, пр.Ленина, 69