Лабораторная работа №5

Изучение затухающих колебаний с помощью осциллографа

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить период затухающих колебаний и декремент затухания колебательного контура.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Генератор затухающих колебаний
2. Осциллограф
3. Миллиметровая линейка

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Колебательным контуром называется *цепь*, состоящая из активного сопротивления R, емкости C и индуктивности L, соединенных последовательно (**рис.1**).

В таком контуре возникают периодические изменения заряда q, напряжения U на обкладках конденсатора и тока в цепи I. Такие колебания носят название **электромагнитных колебаний**.

Рассмотрим *процесс возникновения* электромагнитных колебаний. Пусть в момент времени $t = 0$ колебательный контур подключен к источнику тока ε с помощью ключа K (ключ находится в положении *1*, **рис.2**).

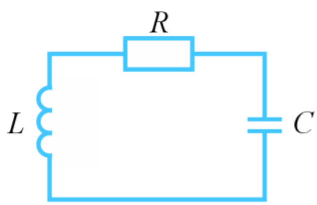

Рис.1. Колебательный контур

Конденсатор начнет заряжаться, получая заряд q , вследствие чего, на обкладках конденсатора появляется напряжение U , а между обкладками конденсатора возникает электрическое поле с энергией $q^2/2C$, в колебательном контуре в это время тока нет.

Перебросим ключ в положение *2*, конденсатор начинает разряжаться и в цепи появляется меняющийся со временем ток, в результате чего в катушке индуктивности возникает магнитное поле с энергией $LI^2/2$.

Через четверть периода $T/4$ конденсатор разрядится полностью, электрическое поле исчезнет, заряд станет равным нулю $q=0$, зато ток и магнитное поле достигнут максимума, а следовательно *энергия электрического поля* полностью превратится в *энергию магнитного поля*.

В следующий момент магнитное поле начнет исчезать, так как в контуре нет токов, поддерживающих его. Исчезающее магнитное поле вызовет появление *экстратока* самоиндукции, который в соответствии с *законом Ленца* стремится задержать исчезновение основного тока и будет направлен так же как основной (разрядный) ток.

Поэтому конденсатор будет перезаряжаться и между обкладками конденсатора снова появится электрическое поле, *противоположное* первоначальному.

Это произойдет к моменту времени $t=T/2$. С этого момента конденсатор начнет разряжаться и по цепи потечет ток противоположного направления, достигающий максимума к моменту времени $t=3T/4$, в это время конденсатор полностью разряжен электрическое поле исчезло, а магнитное поле достигло максимума.

К моменту времени, равному периоду $t=T$ колебательный контур вернется в исходное положение.

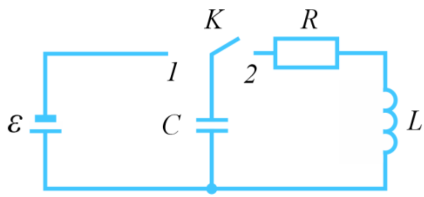

Рис.2. Электрическая схема установки

Если сопротивление контура R равно нулю, то процесс превращения электрической энергии в магнитную и обратно будет происходить неограниченно долго. Возникающие при этом колебания будут *незатухающими*.

Опишем количественно затухающие колебания. Предварительно условимся, что процессы, протекающие в контуре *квазистационарны*, в частности ток, текущий в контуре является медленно меняющимся, к таким токам можно применить закон Ома:

$$I = \frac{U + \varepsilon_i}{R}, \qquad (1)$$

$$U = \frac{q}{C} \text{ – напряжение на обкладках конденсатора} \qquad (2)$$

$$\varepsilon_i = -L\left(\frac{dI}{dt}\right) \text{ – ЭДС самоиндукции}$$

$$I = \frac{U - L\dfrac{dI}{dt}}{R}, \text{ или}$$

$$L\frac{dI}{dt} + IR - U = 0 \qquad (2a)$$

При разрядке конденсатора ток равен скорости уменьшения заряда на обкладках конденсатора:

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

Так как $q = \frac{C}{U}$, то

$$I = -\frac{d}{dt}(CU) = -C\frac{dU}{dt} \qquad (3)$$

Подставим выражение (3) в уравнение (2а) и разделив все члены этого уравнения на CL, получим:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + \frac{R}{L}\cdot\frac{dU}{dt} + \frac{1}{CL}\cdot U = 0 \qquad (4)$$

Мы получили уравнение затухающих колебаний для напряжения U на обкладках конденсатора. Решением этого уравнения будет выражение вида:

$$U = U_0 e^{-\beta t}\cos\omega t, \qquad (5)$$

где $\beta = \frac{R}{2L}$ – коэффициент затухания;

U_0 – амплитудное (наибольшее) значение напряжения;

ω – циклическая частота затухающих колебаний.

Умножив обе части уравнения (5) на C, получим зависимость величины заряда q от времени:

$$q = q_0 e^{-\beta t}\cos\omega t \qquad (6)$$

Для нахождения зависимости тока контура I от времени продифференцируем уравнение (6) по времени t.

$$\frac{dq}{dt} = -q(\beta e^{-\beta t}\cos\omega t + \omega e^{-\beta t}\sin\omega t)$$

и после замены $I = \dfrac{dq}{dt}$ получим:

$$I = -q(\beta e^{-\beta t}\cos\omega t + \omega e^{-\beta t}\sin\omega t) \qquad (7)$$

Если обозначить в выражении (7) $\dfrac{\beta}{\omega_0}$ через $\cos\varphi$, $\dfrac{\omega}{\omega_0}$ через $\sin\varphi$, то после элементарных тригонометрических преобразований получим:

$$I = q_0\omega_0 e^{-\beta\cdot t}\cos(\omega t - \varphi) = I_0 e^{-\beta\cdot t}\cos(\omega t - \varphi) \qquad (8)$$

График зависимости тока от времени приведен на **рис.3**.

Для характеристики затухающих колебаний служит логарифмический декремент затухания Δ (натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд A_1 и A_2, отстающих друг от друга по времени на один период):

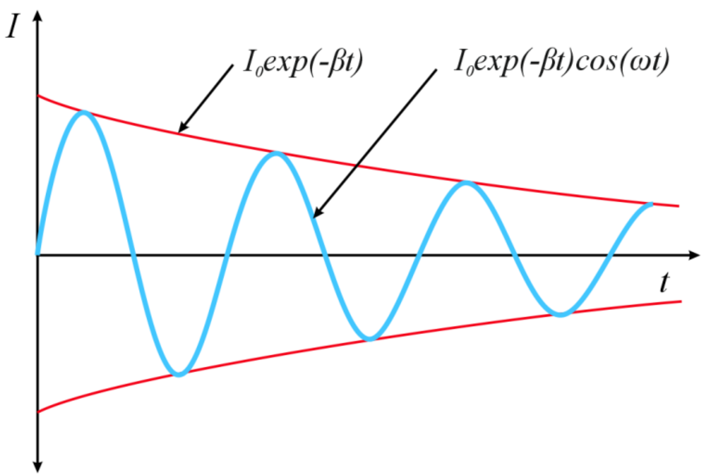

Рис.3. График затухающих колебаний

$$\Delta = \ln\frac{A_1}{A_2} = \ln\frac{U_0 e^{-\beta \cdot t}}{U_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln e^{\beta \cdot t} = \beta T \;, \tag{9}$$

$$\beta = \frac{\Delta}{T} \tag{10}$$

Для наблюдения затухающих колебаний, определения периода и логарифмического декремента затухания в данной работе используется осциллограф. Принципиальная схема лабораторной установки состоит из следующих частей: катушка индуктивности (вторичная обмотка трансформатора), конденсатора, активного сопротивления, осциллографа, источника питания на *220 В*, трансформатора.

Для получения устойчивой картины затухающих колебаний на экране осциллографа необходимо периодически пополнять энергию колебательного контура. Этой цели служит остальная часть схемы.

Если переключатель *П* находится в положении *1*, то последовательно с первичной обмоткой трансформатора включается полупроводниковое устройство, пропускающее кратковременные импульсы сетевого тока. Каждый такой импульс намагничивает сердечник трансформатора и вызывает во вторичной обмотке кратковременную ЭДС индукции. Эта ЭДС заряжает конденсатор C и в контуре возникает затухающие колебания.

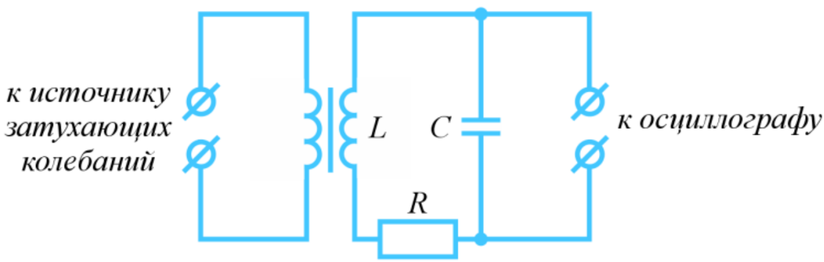

Рис.4. Принципиальная схема лабораторной установки

Если переключатель *П* находится в положении *2*, то первичная обмотка трансформатора оказывается постоянно подключенной к сети переменного тока и в катушке возникнут незатухающие вынужденные колебания с частотой $f = 50\,Гц$.

ХОД РАБОТЫ

1. Включить осциллограф в сеть переменного тока с напряжением *220 В* и подождать *2–3 мин*., необходимые для нагревания ламп.

2. Установить помощью ручки вертикального отклонения луча (*«смещение X»*) линию развертки луча посередине экрана.

3. Соединить выход генератора затухающих колебаний с входом «*Y*» осциллографа.

4. Включить генератор, а переключатель *П* генератора поставить в положение *2*.

5. С помощью переключателя диапазона частот развертки осциллографа и ручки «*частота плавно*» добиться появления на экране *1-3 периодов* синусоиды.

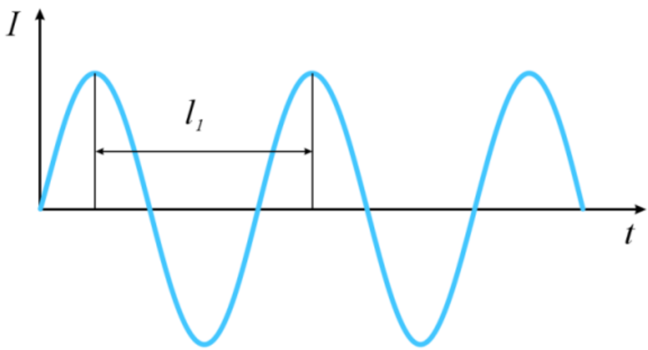

Рис.5. Определение периода колебаний

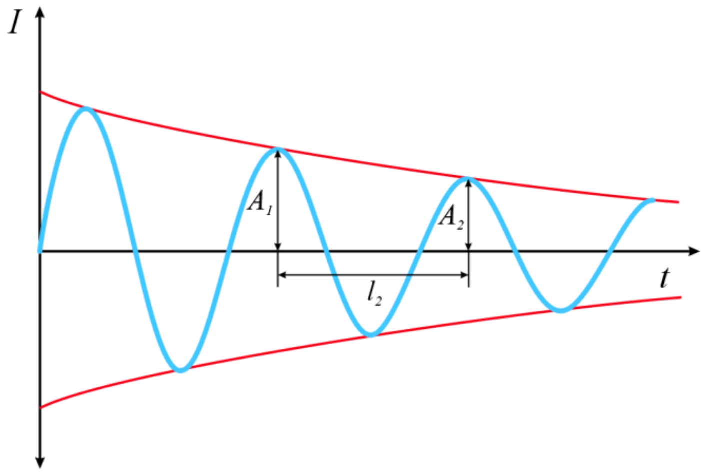

Рис.6. Определение декремента затухания

6. Измерить длину l_1 периода синусоиды и по формуле $v = l_1 f$ вычислить скорость развертки электронного луча v (f – частота переменного тока, равная *50 Гц*).

7. Поставить переключатель *П* генератора в положение *1* и получить на экране осциллографа устойчивую картину затухающих колебаний (**рис. 5**).

8. Измерить расстояние между двумя соседними амплитудами колебаний l_2 и определить период колебаний T по формуле $T = \dfrac{l_2}{v}$

9. Измерить амплитуды A_1 и A_2 и вычислить логарифмический декремент затухания $\Delta = \ln\left(\dfrac{A_1}{A_2}\right)$ и коэффициент затухания $\beta = \dfrac{\Delta}{T}$.

10. Определить циклическую частоту затухающих колебаний $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ и частоту собственных колебаний контура $\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \beta^2}$.

11. По известной емкости конденсатора C и частоте собственных колебаний ω_0 определить индуктивность контура L

$$L = \frac{1}{(\omega_0^2 C)},\ C = 0{,}5 \cdot 10^{-6}\, \Phi$$

12. Зная β и L вычислить активное сопротивление контура R

$$R = 2L\beta$$

13. Сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое колебание?
2. Какие колебания называют *электромагнитными*?
3. Что такое колебательный контур?
4. В каком случае в контуре возникли бы незатухающие электромагнитные колебания?
5. Почему в реальном контуре колебания затухают?
6. Что называется логарифмическим декрементом затухания?
7. Что такое время релаксации?
8. Какие величины характеризуют колебания?
9. Как получить незатухающие электромагнитные колебания в контуре?
10. Напишите уравнение гармонических затухающих колебаний.