

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.6

ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Исследование затухающих электрических колебаний, измерение характеристик колебательного контура: периода колебаний T , логарифмического затухания λ , критического сопротивления контура $R_{кр}$.

2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 1.

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики.- М.: Высшая школа, 1989. - параграф 28.1

2. Калашников С.Г. Электричество.- М.: Наука, 1977.- параграфы 207, 208, 210.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Колебательный контур – это электрическая цепь (рис. 1), содержащая индуктивность L и емкость C .

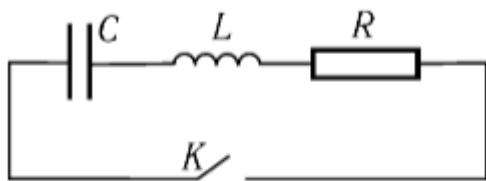


Рис. 1. Колебательный контур: C – конденсатор, L – катушка индуктивности, R – активное сопротивление, K – ключ.

Если конденсатор зарядить и тем самым сообщить ему некоторую энергию, а затем ключом K замкнуть контур, то конденсатор начнет разряжаться. Как показывает опыт, в цепи появляется переменный ток. Объясняется это тем, что протекание разрядного тока сопровождается появлением ЭДС самоиндукции, которая сначала препятствует росту тока, но по окончании разрядки конденсатора поддерживает ток в первоначальном направлении. В результате происходит перезарядка конденсатора. По достижении максимального заряда его обкладок снова начинается процесс разрядки, при этом ток в контуре меняет свое направление.

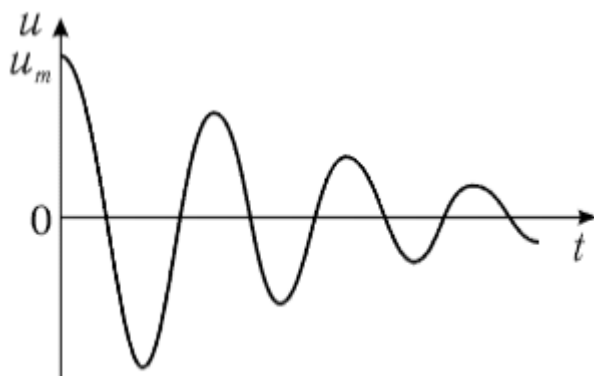


Рис. 2. Затухающие колебания

При протекании тока энергия, сообщенная контуру при зарядке конденсатора, превращается в тепловую, которая выделяется в резисторе R . Поэтому колебания затухают. На рис. 2 показан график изменения напряжения $u=q/C$ на обкладках конденсатора с течением времени.

Закон изменения напряжения имеет следующий вид:

$$u(t) = U_m e^{-\delta t} \cos(\omega t + \alpha), \quad (1)$$

где $u(t)$ – мгновенное значение напряжения; U_m – его начальная амплитуда; ω – циклическая частота затухающих колебаний, t – время от начала разрядки; α – начальная фаза; δ – коэффициент затухания.

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad (2)$$

Циклическая частота ω затухающих колебаний определяется параметрами цепи – ее индуктивностью L , емкостью C и активным сопротивлением R :

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + \delta^2}, \quad (3)$$

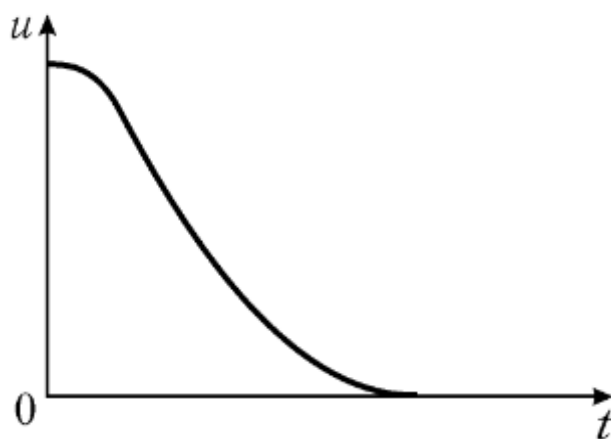
где ω_0 – собственная частота контура

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

Период затухающий колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right) - \delta^2}} \quad (5)$$

Больше, чем период незатухающих $T_0 = 2\pi/\omega_0$ и, как следует из формул (2)-(5), отличается от него тем сильнее, чем больше величина δ . При $\delta \ll \omega_0$ период колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$.



По мере увеличения коэффициента затухания период колебаний растет, стремясь к бесконечности при $\delta = \omega_0$. Это означает, что колебания в цепи сменяются апериодическим разрядом конденсатора (рис. 3)

Рис. 3. Апериодический разряд

Сопротивление контура, при котором возникает такой заряд, называют критическим. Величина $R_{кр}$, согласно условию $\delta = \omega_0$ и с учетом формул (2), (4), определяется выражением

$$R_{кр} = 2\sqrt{L/C} \quad (6)$$

Затухание колебаний характеризуют величиной логарифмического декремента затухания:

$$\lambda = \ln \left(\frac{U_t}{U_{t+T}} \right) \quad (7)$$

где U_t и U_{t+T} – амплитуды напряжения в моменты времени, отличающиеся на период. В соответствии с законом колебаний (1) имеем

$$\lambda = \delta T \quad (8)$$

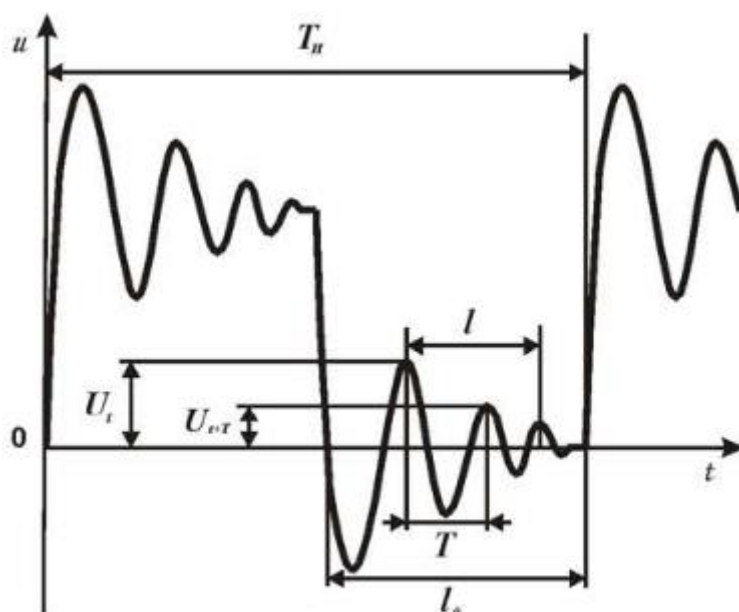


Рис. 4 Осциллограмма

Метод измерений

Для наблюдения затухающих колебаний напряжение u с обкладок конденсатора колебательного контура подают на вход Y осциллографа. Конденсатор подключен к генератору сигналов специальной формы, настроенному на выдачу унipoлярных

импульсов. В течение первой половины периода напряжение u на конденсаторе равно ЭДС источника. Через половину периода напряжение $u=0$. В контуре начинаются свободные затухающие колебания. Осциллограмма этих колебаний показана на рис. 4.

Измерение параметров затухающих колебаний по осциллограмме

Амплитуды напряжения U_t и U_{t+T} (см. рис. 4), необходимые для расчета логарифмического декремента λ по формуле (7), можно измерить в делениях шкалы Y осциллографа.

Для измерения периода колебаний T проводят предварительную калибровку оси времени осциллографа по известному периоду T_H . При этом определяют цену деления оси X как отношение $m = \frac{T_H}{2l_o}$ (с/дел). В результате измеряемый период затухающих колебаний

$$T = \frac{ml}{n} = \frac{T_H l}{2nl_o} \quad (9)$$

где l_o – число делений, соответствующее отрезку времени, равному половине периода колебаний T_H (см. рис. 4); n – целое число полных колебаний на отрезке оси длины l .

По измеренным значениям λ и T с помощью формулы (8) определяют экспериментальное значение коэффициента затухания δ .

Критическое сопротивление контура $R_{кр}$ находят опытным путем, наблюдая изменение вида зависимости $u(t)$ по мере увеличения активного сопротивления контура R . Признаком выхода на режим апериодического разряда конденсатора является получение кривой $u(t)$, не содержащей колебаний (см. рис. 3).

4.ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Генератор сигналов специальной формы.
2. Миниблок «Конденсатор»
3. Миниблок «Индуктивность»
4. Миниблок «Реостат».
5. Осциллограф.

5. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Схема электрической цепи представлена на рис. 5, монтажная схема – на рис. 6.

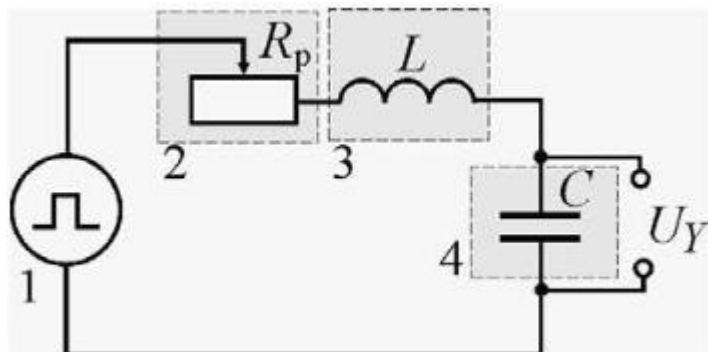


Рис. 5. Электрическая схема:
1- генератор сигналов специальной формы (униполярные импульсы «П»);

2 – миниблок «Реостат» сопротивлением R_p ;

3 – миниблок «Индуктивность»;

4 – миниблок «Конденсатор»; U_Y – сигнал на вход Y осциллографа.

Исследуемый колебательный контур состоит из последовательно соединенных катушки (с известной индуктивностью L и активным сопротивлением R_k), реостата R_p и конденсатора известной емкости C (C_1 или C_2).

Напряжение U_Y с конденсатора колебательного контура подают на вход Y осциллографа. Масштабная сетка, нанесенная на его экране, позволяет измерять параметры зависимости $u(t)$: амплитуду и период затухающих колебаний. По осциллограмме $u(t)$ наблюдают также переход от колебаний к апериодическому разряду конденсатора. Для его достижения увеличивают сопротивление контура с помощью реостата.

Генератор сигналов специальной формы 1 предназначен для получения униполярных импульсов с целью сообщения энергии колебательному контуру

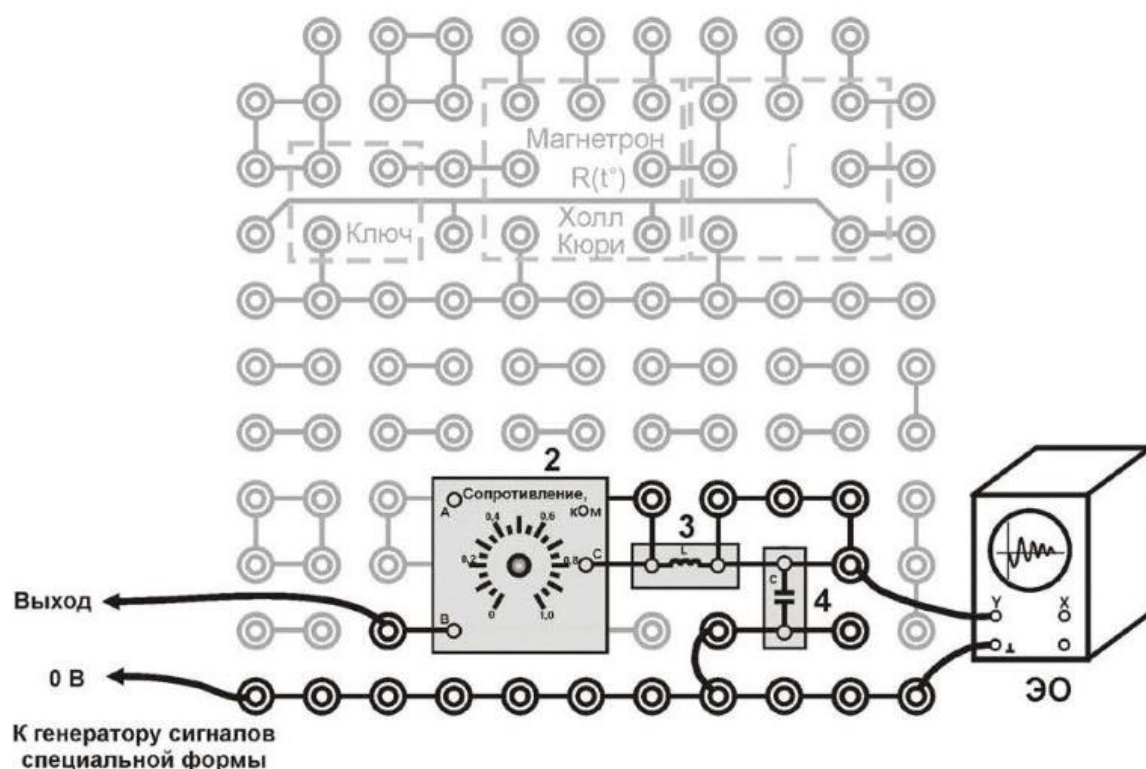


Рис. 6. Монтажная схема:
ЭО – электронный осциллограф; 2, 3, 4 – см. рис. 5

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите электрическую цепь по монтажной схеме, приведенной на рис. На место конденсатора C установите конденсатор с известной емкостью C_1 (по указанию преподавателя). Для устойчивого изображения соедините выход «Синхр.» генератора сигналов специальной формы с выходом «Синхронизация» осциллографа. Установите сопротивление реостата R_p равным 0 кОм.
2. Включите осциллограф и выведите электронный луч в центр экрана.
Калибровка установки
3. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения. Нажмите кнопку «Исходная установка». Кнопкой на панели блока генератора специальной формы выбрать униполярные импульсы – « \square », кнопками установки частоты «0,2-20 кГц» установите частоту сигнала $\nu=200$ Гц (период $T_n=0,005$ с).
4. На осциллографе получите осциллограмму вида, показанного на рис.4, устанавливая амплитуду импульсов кнопками регулировки амплитуды сигнала блока генераторов. Устойчивое изображение кривой обеспечивается регулировкой осциллографа ручками установки частоты развертки и блока синхронизации, а необходимые размеры осциллограммы можно задать с помощью ручек «Усиление X» и «Усиление Y». При этом, изменяя усиление по оси X, добейтесь, чтобы отрезок l_o занял всю сетку экрана. Значение l_o запишите в табл.1.

5. Внесите в табл. 1 следующие параметры контура: L - индуктивность катушки; C – емкость конденсатора; R_k – активное сопротивление катушки (измерьте с помощью мультиметра).

Таблица 1

C , мкФ	L , мГн	R_k , Ом	l_o , мм	l , мм	n	U_I , дел	U_{I+T} , дел	$R_{кр}$, кОм
$C_1=...$								
$C_2=...$								

Измерение параметров колебательного контура

- Перенесите осциллограмму колебаний напряжения $u(t)$ с экрана на лист бумаги. По координатной сетке экрана или линейкой измерьте длину участков.
- Проведите измерения величин l и l_o амплитуды U_I и U_{I+T} (для более точного их отсчета перемещайте измеряемую ординату на центральную линию экрана), определите число полных колебаний n на участке l . Результаты этих измерений запишите в таблицу 1.
- Увеличивая сопротивление реостата R_p , наблюдайте изменение затухания колебаний и переход осциллограммы от вида на рис.2 к виду, показанному на рис. 3. Минимальное сопротивление цепи, при котором получена осциллограмма вида рис. 3, есть $R_{кр} = R_k + R_p$, где $R_p = 1$ кОм. Запишите значение $R_{кр}$ в табл. 1.
- Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.
- Вместо конденсатора C_1 установите конденсатор C_2 другой емкости и повторите пп. 3-9.

7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

- По данным табл. 1 для каждого значения емкости вычислите расчетные (р) и экспериментальные (э) величины логарифмического декремента λ , коэффициента затухания δ , периода колебаний T и критического сопротивления контура $R_{кр}$. Используйте формулы, номера которых указаны в табл. 2, предназначенной для записи результатов расчета.

Таблица 2

	λ	δ , с ⁻¹		T , мс		$R_{кр}$, кОм	
	э (7)	р (2)	э (8)	р (5)	э (9)	р (6)	э ($R_k + R_p$)
$C_1=...$							
$C_2=...$							

Примечание. Обратите внимание, что экспериментальные значения коэффициента затухания больше, чем расчетные, из-за существенных потерь энергии на перемагничивание сердечника катушки.

2. В выводе по работе сделайте анализ полученных данных:

- а) укажите характерные изменения осциллограммы и параметров колебаний при изменении емкости контура;
- б) опишите изменения зависимости $u(t)$ по мере увеличения активного сопротивления цепи;
- в) сравните полученные экспериментальные значения величин T и $R_{кр}$ с расчетными.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По какому закону изменяются при разряде конденсатора в колебательном контуре, содержащем R , L , C , следующие величины: а) напряжение на конденсаторе; б) заряд обкладок в) ток в цепи?
2. Какие формулы показывают, как зависят от параметров колебательного контура следующие характеристики колебаний:
 - а) циклическая частота и период затухающих колебаний;
 - б) коэффициент затухания колебаний;
 - в) критическое сопротивление контура.
3. При изменении каких параметров контура, содержащего R , L , C :
 - а) сближаются значения периодов затухающих и незатухающих колебаний;
 - б) изменяется коэффициент затухания колебаний;
 - в) изменяется критическое сопротивление контура?
4. Что происходит в колебательном контуре при сопротивлении, большем критического значения, т.е. при выполнении условия $\delta > \omega_0$?
5. Какие величины измеряют по осциллограмме колебаний для определения:
 - а) периода затухающих колебаний;
 - б) логарифмического декремента затухания колебаний?
6. Какие величины используют для калибровки оси X осциллографа?
7. Как определяют экспериментальное значение критического сопротивления контура? Какой вид принимает осциллограмма $u(t)$ при достижении $R_{кр}$?
8. Какое назначение имеют следующие элементы электрической цепи:
 - а) генератор напряжений специальной формы; б) реостат?
9. Какой параметр колебательного контура изменяют в работе, чтобы получить апериодический разряд конденсатора?
10. С каких элементов электрической цепи можно подать напряжение на вход Y осциллографа для наблюдения затухающих колебаний?
11. По каким формулам определяют:

- а) экспериментальное значение периода колебаний T ;
- б) экспериментальное значение коэффициента затухания колебаний δ ;
- в) расчетные (теоретические) значения величин T , δ и $R_{кр}$?