

- а) величину и направление рабочего тока датчика,  
б) величину и направление тока в обмотке электромагнита?
10. Какой размер пластинки полупроводника необходим для вычисления постоянной Холла?
11. Каким способом измеряют напряжение Холла?
12. Запишите формулы, которые используются в данной работе для расчета концентрации электронов проводимости в полупроводнике.

## **Лабораторная работа № 8.**

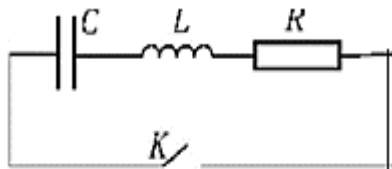
### **ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ**

**ЦЕЛЬ:** исследование затухающих электрических колебаний, измерение характеристик колебательного контура: периода колебаний  $T$ , логарифмического декремента затухания  $\lambda$ , критического сопротивления контура  $R_{кр}$ .

**ОБОРУДОВАНИЕ:** генератор сигналов специальной формы; миниблоки «Конденсатор», «Индуктивность» и «Реостат»; осциллограф.

#### **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.

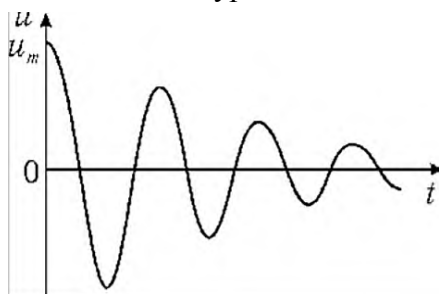


Рис.2. Затухающие колебания

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;  $\omega$  – циклическая частота затухающих колебаний,  $t$  – время от начала разрядки,  $\alpha$  – начальная фаза;  $\delta$  – коэффициент затухания.

$$\delta = R/2L \quad (2)$$

Циклическая частота  $\omega$  затухающих колебаний определяется параметрами цепи – её индуктивностью  $L$ , емкостью  $C$  и активным сопротивлением  $R$ :

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}. \quad (3)$$

где  $\omega_0$  - собственная частота контура

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

Период затухающих колебаний

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

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

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

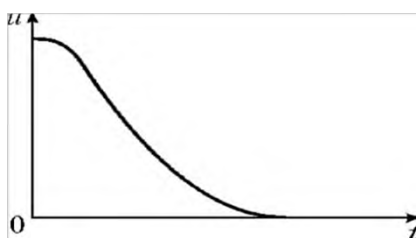


Рис. 3. Апериодический разряд

$$R_{кр} = 2\sqrt{L/C} \quad (6)$$

Затухание колебаний характеризуют величиной логарифмического декремента затухания

$$\lambda = \ln(U_t/U_{t+T}), \quad (7)$$

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

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

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

### *Измерение параметров затухающих колебаний по осциллограмме*

Амплитуды напряжения на конденсаторе  $U_t$  и  $U_{t+T}$  (см. рис. 4), необходимые для расчета логарифмического декремента  $\lambda$  по формуле (7), можно измерить в делениях шкалы  $Y$  осциллографа. Для измерения периода колебаний  $T$  проводят предварительную калибровку оси времени осциллографа по известному периоду  $T_{\text{и}}$ . При этом определяют цену деления оси  $X$  как отношение  $m = T_{\text{и}}/2l_0$ , (с/дел.). В результате измеряемый период затухающих колебаний

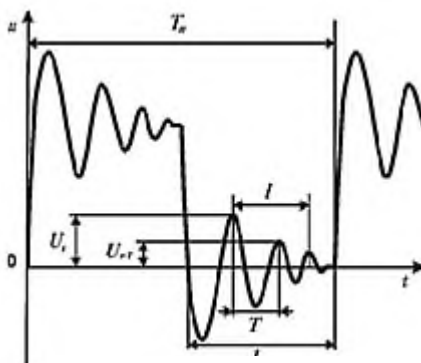


Рис. 4. Осциллограмма

$$T = ml/n = T_{\text{и}}l/2nl_0 \quad (9)$$

$l_0$  – число делений, соответствующее отрезку времени, равному половине периода колебаний  $T_{\text{и}}$  (см. рис. 4);  $n$  – целое число полных колебаний на отрезке оси длины  $l$ . По измеренным значениям  $\lambda$  и  $T$  с помощью формулы (8) определяют экспериментальное значение коэффициента затухания  $\delta$ . Критическое сопротивление контура  $R_{\text{кр}}$  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).

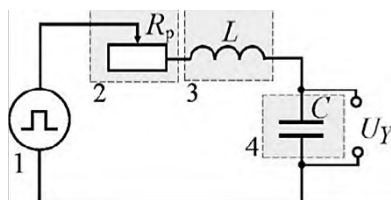
### Описание установки

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  $C_2$ ).

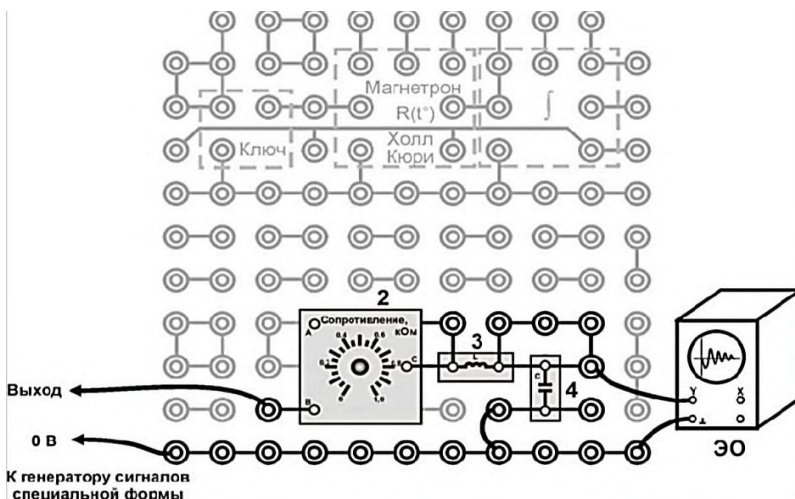


Рис. 6. Монтажная схема:

ЭО – электронный осциллограф; 2, 3, 4 – см. рис. 5

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.

### Порядок выполнения работы

#### Выполнение измерений

1. Соберите электрическую цепь по монтажной схеме, приведенной на рис. 6. На место конденсатора  $C$  установите

конденсатор с известной емкостью  $C_1$  (по указанию преподавателя). Для устойчивого изображения соедините выход «Синхр.» генератора сигналов специальной формы (поз. 7, см. рис. 1 на стр. 93) с входом «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» (поз. 19, см. рис. 1 на стр. 93). Кнопкой (поз. 8, см. рис. 1 на стр. 93) на панели блока генератора специальной формы выбрать униполярные импульсы - «Г», кнопками установки частоты «0,2 – 20 кГц» (поз. 11, см. рис. 1 на стр. 93) установите частоту сигнала  $\nu = 200$  Гц (период  $T_{и} = 0,005$  с).

4. На осциллографе получите осциллограмму вида, показанного на рис. 4, устанавливая амплитуду импульсов кнопками регулировки амплитуды сигнала блока генераторов (поз. 10, см. рис. 1 на стр. 93). 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  $l_0$  занял всю сетку экрана. Значение  $l_0$  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

| $C$ ,<br>мкФ | $L$ ,<br>мГн | $R_k$ ,<br>Ом | $l_0$ ,<br>мм | $l$ ,<br>мм | $n$ | $U_t$ ,<br>дел. | $U_{t+T}$ ,<br>дел. | $R_{кр}$ ,<br>кОм |
|--------------|--------------|---------------|---------------|-------------|-----|-----------------|---------------------|-------------------|
| $C_1=...$    |              |               |               |             |     |                 |                     |                   |
| $C_2=...$    |              |               |               |             |     |                 |                     |                   |

### ***Измерение параметров колебательного контура***

6. Перенесите осциллограмму колебаний напряжения  $u(t)$  с экрана на лист бумаги. По координатной сетке экрана или линейкой измерьте длину участков  $L$

7. Проведите измерения величин  $l$  и  $l_0$ , амплитуды  $U_t$  и  $U_{t+T}$  (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.

8. 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  $R_{кр}=R_k+R_p$ . Запишите значение  $R_{кр}$  в табл.1.

9. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.

10. Вместо конденсатора  $C_1$  установите конденсатор  $C_2$  другой емкости и повторите пп. 3-9.

### **Обработка результатов измерений**

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

Таблица 2

|               | $\lambda$ | $\delta, \text{с}^{-1}$ |          | $T, \text{мс}$ |          | $R_{кр}, \text{кОм}$ |                  |
|---------------|-----------|-------------------------|----------|----------------|----------|----------------------|------------------|
|               | э<br>(7)  | р<br>(2)                | э<br>(8) | р<br>(5)       | э<br>(9) | р<br>(6)             | э<br>$R_k + R_p$ |
| $C_1 = \dots$ |           |                         |          |                |          |                      |                  |
| $C_2 = \dots$ |           |                         |          |                |          |                      |                  |

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

## 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 « $RCL$ » - контура:
  - 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  $\delta \gg \omega_0$ ?
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  $\delta$ ;
  - в) расчетные (теоретические) значения величин  $T$ ,  $\delta$  и  $R_{кр}$ ?