

## Работа 3.2.5

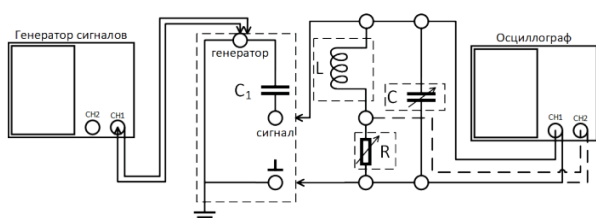
# Свободные и вынужденные колебания в электрическом контуре

Андрей Киркича, Б01-202, МФТИ

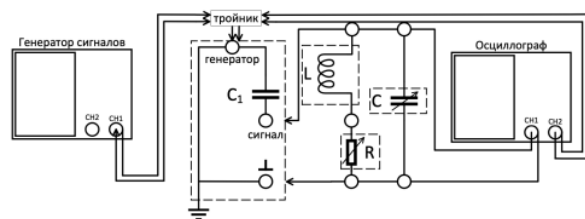
**В работе используются:** осциллограф; генератор сигналов специальной формы; магазин сопротивлений; магазин емкости; магазин индуктивности; соединительная коробка с шунтирующей емкостью; соединительные одножильные и коаксиальные провода.

## Экспериментальная установка

Картина колебаний напряжения на емкости наблюдается на экране двухканального осциллографа. Для возбуждения затухающих колебаний используется генератор сигналов специальной формы. Сигнал с генератора поступает через конденсатор  $C_1$  на вход колебательного контура. Данная емкость необходима, чтобы выходной импеданс генератора был много меньше импеданса колебательного контура и не влиял на процессы, проходящие в контуре.



(а) Схема установки для исследования вынужденных колебаний



(б) Схема установки для исследования АЧХ и ФЧХ

При изучении свободно затухающих колебаний генератор специальных сигналов на вход колебательного контура подает периодические короткие импульсы, которые заряжают конденсатор  $C$ . За время между последовательными импульсами происходит разрядка конденсатора через резистор и катушку индуктивности. Напряжение на конденсаторе  $U_C$  поступает на вход канала 1(X) электронного осциллографа. Для наблюдения фазовой картины затухающих колебаний на канал 2(Y) подается напряжение с резистора  $R$  (пунктирная линия на схеме установки), которое пропорционально току  $I$ .

При изучении возбужденных колебаний на вход колебательного контура подается синусоидальный сигнал. С помощью осциллографа возможно измерить зависимость амплитуды возбужденных колебаний в зависимости от частоты внешнего

сигнала, из которого возможно определить добротность колебательного контура. Альтернативным способом расчета добротности контура является определение декремента затухания по картине установления возбужденных колебаний. В этом случае генератор сигналов используется для подачи цугов синусоидальной формы.

## Выполнение работы

### Измерение периодов свободных колебаний

На генераторе предварительно была установлена последовательность импульсов со следующими параметрами: длительность импульсов - 10 мкс, частота повторения - 100 Гц, амплитуда сигнала - 20 В. На магазине сопротивлений было установлено минимальное значение, на магазине индуктивностей -  $L = 100$  мГн (во время проведения работы это значение оставалось постоянным), на магазине емкостей -  $C = 0$  мкФ. На экране осциллографа была получена картина свободных затухающих колебаний.

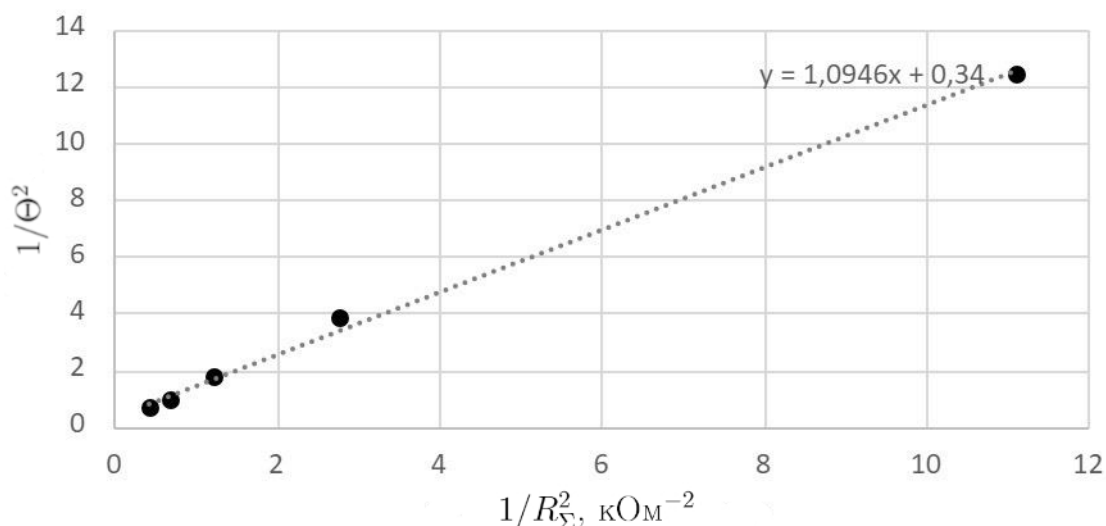
Был измерен период затухающих колебаний  $T = (67,0 \pm 1,0)$  мкс. По этому значению была найдена нулевая ёмкость колебательного контура:

$$C_0 = \frac{T^2}{4\pi^2 L} = (1,1 \pm 0,2) \text{ нФ}.$$

Изменяя ёмкость (по курбелям) от 0 до 9 нФ, мы провели измерения периодов:

$C$ , нФ	1	3	5	7	9
$T_{\text{эксп}}$ , мкс	$110 \pm 9$	$127 \pm 9$	$142 \pm 9$	$154 \pm 9$	$169 \pm 9$
$T_{\text{теор}}$ , мкс	$108 \pm 7$	$126 \pm 7$	$141 \pm 7$	$153 \pm 7$	$166 \pm 7$

Учитывая, что  $R_{\Sigma} = R + R_L$ , построим график:



Как видно из графика, зависимость является линейной, что подтверждается теоретической справкой.

## Критическое сопротивление и декремент затухания

Ёмкость  $C^*$ , при которой собственная частота колебаний составляет  $\nu_0 = 6,5$  кГц:

$$C^* = \frac{1}{4\pi^2 L \nu_0^2} = (6,1 \pm 0,6) \text{ нФ},$$

и критическое сопротивление контура:

$$R_{\text{крит}} = 2\sqrt{\frac{L}{C^*}} = (7,5 \pm 0,3) \text{ кОм}.$$

На магазине емкостей было установлено значение  $0,007$  мкФ, близкое к  $C^*$ . Увеличивая сопротивление  $R$  от  $0$  до  $R_{\text{крит}}$ , мы определили сопротивление, при котором колебательный режим переходит в апериодический:  $R_{\text{апер}} = 4$  кОм. Затем мы устанавливали сопротивления в интервале  $(0,05 - 0,25)R_{\text{крит}}$  и для каждого значения рассчитывали логарифмический декремент затухания по формуле:  $\Theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_m}{U_{n+m}}$ , где  $n$  - целое число периодов, разделяющее максимумы.

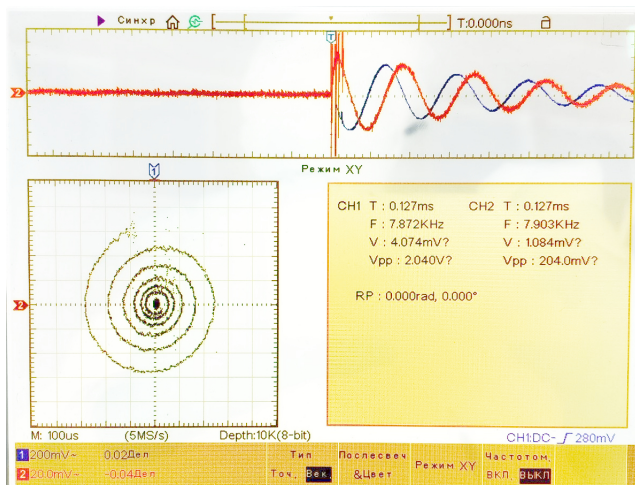
$R$ , кОм	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
$n$	5	5	3	2	2
$U_n$ , мВ	612	516	428	360	300
$U_{n+m}$ , мВ	148	40	44	44	24
$\Theta$	0,28	0,51	0,76	1,05	1,26

Для максимального и минимального значений  $\Theta$  были найдены добротности:

$$Q_{\min} = \pi/\Theta_{\min} = 11,22 \pm 0,07,$$

$$Q_{\max} = \pi/\Theta_{\max} = 2,49 \pm 0,09.$$

## Свободные колебания на фазовой плоскости

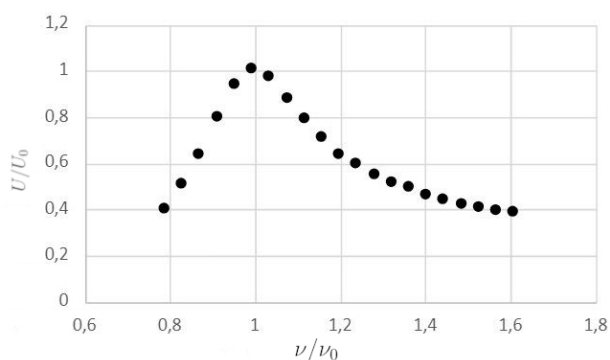


На магазине сопротивлений было установлено значение  $R = 0,3$  кОм, на канал 2(Y) осциллографа подана величина падения напряжения с резистора. Переключив осциллограф в режим XY, мы получили картину затухающих колебаний на фазовой плоскости. Она представляет из себя спираль, сходящуюся к центру.

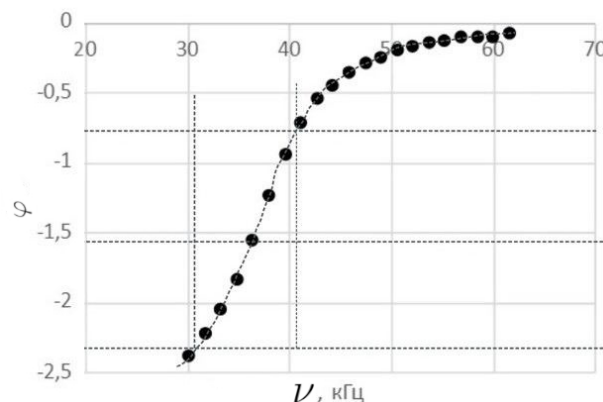
## Резонансные кривые

В этом пункте работы мы установили  $C = C^*$ ,  $R = 0,3$  кОм, подали сигнал с генератора одновременно на колебательный контур и канал 2 осциллографа. При частотах, близких к резонансным, наблюдался устойчивый синусоидальный сигнал, амплитуда колебаний при этом стремилась к максимуму. Была найдена резонансная частота:  $\nu_{\text{рез}} = 6,5$  кГц.

АЧХ и ФЧХ контура:



(с) Амплитудно-частотная характеристика



(d) Фазово-частотная характеристика

## Заключение

По данным, полученным в ходе экспериментов, были рассчитаны добротности контура при разных значениях сопротивления, получена картина затухающих колебаний на фазовой плоскости, а также построены амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики.

## Литература

1. Никулин М.Г., Попов П.В., Нозик А.А., и др. Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. II. Электричество и магнетизм. - 2-е издание. М.: МФТИ, 2019
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. Т. III. Электричество. - 6-е издание. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019