

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по электричеству

**Резонанс напряжений в последовательном контуре  
[3.2.2]**

Талашкевич Даниил Александрович  
Группа Б01-009

Долгопрудный  
2021

# Содержание

<b>1</b>	<b>Аннотация</b>	<b>1</b>
1.1	Теоретическое вступление и модель . . . . .	1
1.2	Экспериментальная установка . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Ход работы</b>	<b>2</b>
2.1	Закон Ома в цепи переменного тока . . . . .	2
2.2	Резонанс напряжений . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Обработка результатов</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Вывод</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Литература</b>	<b>7</b>

## 1 Аннотация

**Цель работы:** исследование резонанса напряжений в последовательном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, получение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, определение основных параметров контура.

**В работе используются:** генератор сигналов, источник напряжения, нагрузкой которого является последовательный колебательный контур с переменной ёмкостью, двухканальный осциллограф, цифровые вольтметры.

### 1.1 Теоретическое вступление и модель

XXX

### 1.2 Экспериментальная установка

В данной работе изучаются резонансные явления в последовательном колебательном контуре (резонанс напряжений). Схема экспериментального стенда показана на рис. 1. Синусоидальный сигнал от генератора поступает на вход управляемого напряжением источника напряжения (см., например, [3]), собранного на операционном усилителе, питание которого осуществляется встроенным блоком-выпрямителем от сети  $\sim 220$  В (цепь питания на схеме не показана). Источник напряжения (источник с нулевым внутренним сопротивлением) обеспечивает с высокой точностью постоянство амплитуды сигнала  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$  на меняющейся по величине нагрузке - последовательном колебательном контуре, изображённом на рис. 1 в виде эквивалентной схемы.

Источник напряжения, колебательный контур и блок питания заключены в отдельный корпус, отмеченный на рисунке штриховой линией. На корпусе имеются коаксиальные разъёмы «Вход», « $U_1$ » и « $U_2$ », а также переключатель магазина ёмкостей  $C_n$  с указателем номера  $n = 1, 2, \dots, 7$ . Величины ёмкостей  $C_n$  указаны на установке. Напряжение  $\mathcal{E}$  на контуре через разъём « $U_1$ » попадает одновременно на канал 1 осциллографа и вход 1-го цифрового вольтметра. Напряжение на конденсаторе  $U_C$  подаётся через разъём « $U_2$ » одновременно на канал 2 осциллографа и вход 2-го цифрового вольтметра.

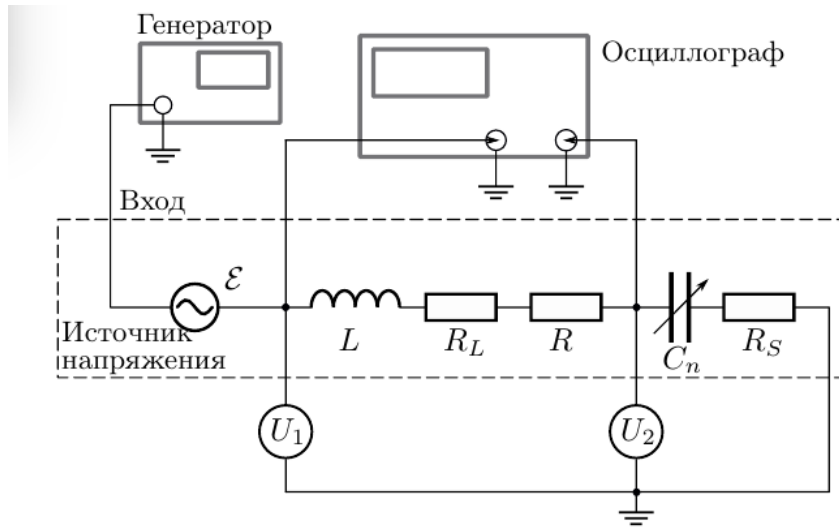


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

## 2 Ход работы

### 2.1 Закон Ома в цепи переменного тока

Подготовив установку, выставив пределы всех измерительных приборов и выкрутив ручку регулятора напряжения в положение напряжения  $\approx 127\text{В}$ , можем приступить к снятию данных.

Указатель на положение сердечника установили на отметку  $x = 5\text{ мм}$  и, перемещая сердечник шагами по  $2\text{ мм}$ , снимаем зависимость тока  $I$ , напряжения  $U_R, U_L, U_{R+L}$ , а так же мощности  $P_L$  от координаты сердечника  $x$ .

Полученные результаты представлены в таблице.

	$x, \text{ мм}$	$U_R, \text{ В}$	$U_{R+L}, \text{ В}$	$U_L, \text{ В}$	$I, \text{ дел}$	$I, \text{ А}$	$P_L, \text{ дел}$	$P_L, \text{ Вт}$
1	5	73	112	73	34	85	42	10.5
2	7	78	110	65	36	90	38	9.5
3	9	81	109	61	37	92.5	36	9
4	11	84	108	56	37.5	93.75	34	8.5
5	13	85	107	52	39.5	98.75	32	8
6	15	87	107	50	40	100	31	7.75
7	17	89	107	47	41	102.5	30	7.5

Таблица 1: Показания приборов от положения сердечника

Так же для снятия и обработки результатов пригодилась таблица с характеристиками приборов.

Амперметр – 2.5 А
Вольтметры – 150 В
Ваттметр – 25 В
Переключатель катушки напряжений – 100 В
Штепсель токовой катушки I – 0.25 А
$R_1$ – 98 Ом

Таблица 2: Характеристики установки

## 2.2 Резонанс напряжений

Подготовим установку вместе с измерительными приборами. Установив сердечник в среднее положение ( $x \approx 12$  мм), подбираем значение ёмкости так, чтобы наблюдать резонанс тока по изменению эллипса на экране ЭО.

При резонанс измерим показания  $I, U_{C, \text{рез}}, U_{\Sigma, \text{рез}}$  и по полученным данным оценим добротность контура по формуле (10).

$x$ , мм	$C$ , мкФ	$I$ , А	$U_C$ , В	$U_{\Sigma}$ В	$Q$	$R_{\text{доп}}$
12	55.2	410	242	41	5.902	5.6

Таблица 3: Показания приборов при резонансе

Для резонансного положения сердечника измерим омическое сопротивление витков катушки с помощью мультиметра  $GDM$ , а затем –  $L$ ,  $r_L$  с помощью измерителя  $LCR$  на частотах 50 Гц и 1 кГц.

	Омметр	$LCR$	График	Вект.диагр	$f(I, U_{\Sigma})_{\text{рез}}$	$f(Q)$
$r_L$	2170					
$L$	—				—	

Таблица 4: Данные с мультиметра  $GDM$  и  $LCR$  измерителя

### 3 Обработка результатов

- По результатам измерений  $P_L$  и  $I$  найдем значение  $r_L$  по следующей формуле  $P_L = I^2 r_L$ . Теперь по следующей формуле

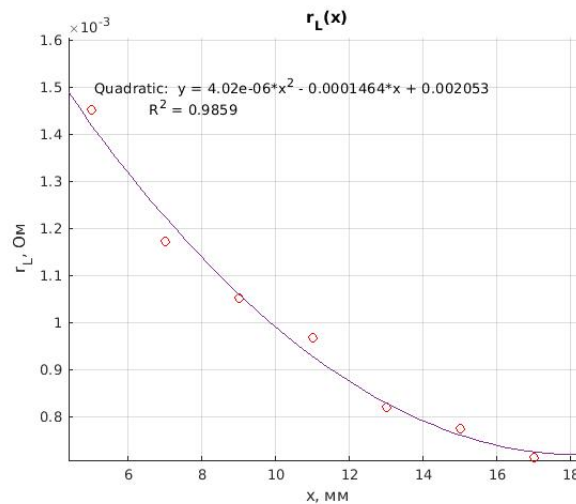
$$U_L = I \sqrt{r_L^2 + (\Omega L)^2} \quad (1)$$

вычислим  $L$  ( $\Omega = 50$  Гц).

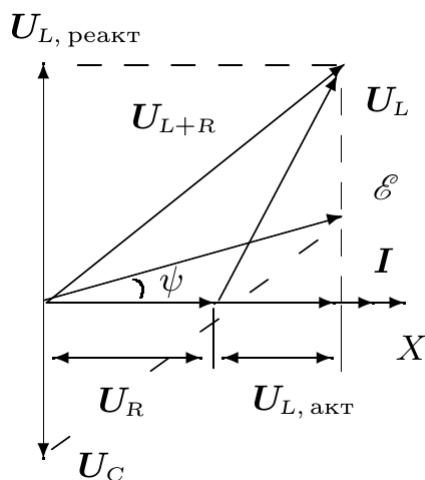
Результаты вычислений заносим в таблицу:

$r_L$ , Ом	$x$ , мм	$L$ , Гн
0,00145	5	0,01718
0,00117	7	0,01444
0,00105	9	0,01319
0,00097	11	0,01195
0,00082	13	0,01053
0,00078	15	0,01
0,00071	17	0,00917

Построим графики зависимостей  $L$  и  $r_L$  от положения сердечника и определим по ним значения  $L$  и  $r_L$  соответствующие резонансному (среднему) положению сердечника.



- Построим векторную диаграмму напряжений.


$$\begin{aligned} \text{tg } \psi_1 &= 0 \\ \text{tg } \psi_2 &= \frac{\Omega L}{r_L} \\ \text{tg } \psi_3 &= \frac{\Omega L}{r_L + R} \end{aligned} \quad (2)$$

По диаграмме получим значения для  $\cos \theta = \dots$  – сдвиг фаз между током и напряжением на катушке ( $\operatorname{tg} \psi_2$ ). Сравним полученное значение с теоретическим по формуле

$$\bar{P}_L = U_L \cdot I \cos \theta = I^2 \cdot r_L \quad (3)$$

$$\cos \theta_{\text{теор}} = \dots$$
 . Видно, что XX

- Рассчитаем активное сопротивление катушки  $r_L$  через ток и напряжение на контуре, используя следующие соотношения:

$$R_\Sigma = R_1 + r_L$$

$$U_{\Sigma, \text{pez}} = I_{\text{pez}} R_{\Sigma}, \quad U_{C, \text{pez}} = \frac{I_{\text{pez}}}{\Omega C}$$

Тогда получаем

$$r_L = \frac{U_{\Sigma, \text{рез}}}{U_{C, \text{рез}} \cdot \Omega C} - R_1 = XX$$

Так же рассчитаем  $L$  и  $r_L$  через добротность  $Q$  при помощи следующих соотношений

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R_\Sigma} = \frac{1}{\omega_0 C R_\Sigma}$$

$$R_\Sigma = R_1 + r_L$$

$$Q = \frac{U_{C, \text{рез}}}{U_{\Sigma, \text{рез}}}$$

Отсюда получаем  $L = XX$ ,  $r_L = XX$ .

- Сведем результаты измерений в таблицу:

	Омметр	$LCR$	График	Вект.диагр	$f(I, U_\Sigma)_{\text{рез}}$	$f(Q)$
$r_L$	2170					
$L$	—				—	

Таблица 5: Данные с мультиметра  $GDM$  и  $LCR$  измерителя

- Сравним величины  $L$  и  $r_L$ , определённые разными способами. Так же оценим погрешности и проанализируем возможные причины расхождения результатов.

## 4 Вывод

Х



## 5 Литература

1. **Лабораторный практикум по общей физике:** Учебное пособие. В трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм /Гладун А.Д., Александров Д.А., Берулёва Н.С. и др.; Под ред. А.Д. Гладуна - М.: МФТИ, 2007. - 280 с.