

# Отчёт о выполнении лабораторной работы

## 3.2.2

### Резонанс напряжений в последовательном контуре

Автор:  
Клименко Виталий Евгеньевич  
Б01-202

# 1 Введение

**Цель работы:** изучение последовательной цепи переменного тока, наблюдение резонанса напряжений.

**В работе используются:** регулировочный автотрансформатор, катушка индуктивности с выдвижным сердечником, магазин ёмкостей, реостат, резистор, амперметр, три вольтметра, ваттметр, осциллограф, универсальный мост.

## 2 Теоретические сведения

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из резистора  $R$  и катушки индуктивности  $L$  с импедансом  $Z_L = r_L + i\Omega L$ , последовательно подключённых к внешнему источнику, ЭДС которого меняется по синусоидальному закону с частотой  $\Omega$  (рис. 1).

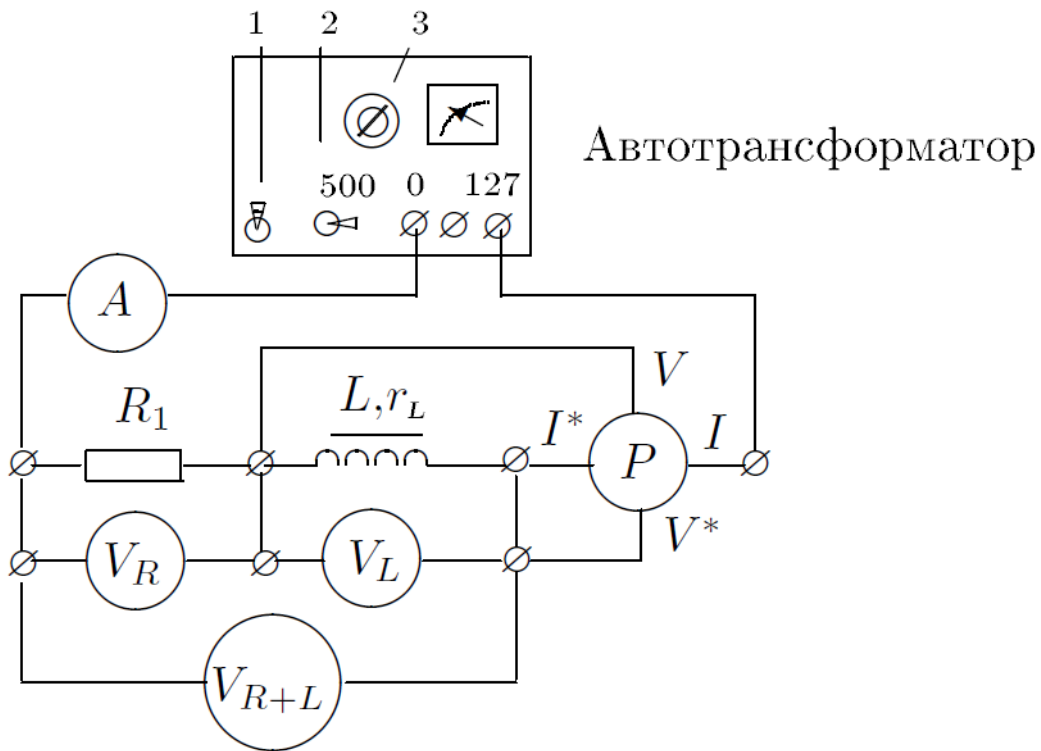


Рис. 1: Схема установки для изучения закона Ома в цепи переменного тока.

Обозначим через  $U_R$  напряжение на резисторе, через  $U_L$  – напряжение на катушке и через  $U_{R+L}$  – суммарное напряжение на катушке и на резисторе. Для этих напряжений справедливы комплексные соотношения:

$$\hat{U}_R = \hat{I}R, \quad \hat{U}_L = \hat{I}(r_L + i\Omega L), \quad \hat{U}_{R+L} = \hat{I}(R + r_L + i\Omega L). \quad (1)$$

Напомним, что здесь  $r_L$  – активное сопротивление катушки, которое характеризует суммарные потери энергии в катушке, в том числе потери в её ферромагнитном сердечнике.

Переходя к модулям и фазам токов и напряжений, найдём из (1):

$$U_R = I \cdot R, \quad \text{tg } \psi_1 = 0; \quad (2)$$

$$U_L = I \cdot \sqrt{r_L^2 + (\Omega L)^2}, \quad \text{tg } \psi_2 = \frac{\Omega L}{r_L}; \quad (3)$$

$$U_{R+L} = I \sqrt{(R + r_L)^2 + (\Omega L)^2}, \quad \operatorname{tg} \psi_3 = \frac{\Omega L}{R + r_L}. \quad (4)$$

В этих формулах  $U$  и  $I$  обозначают *эффективные* значения напряжений и токов (показания приборов), как принято в электротехнике.

Измеряя с помощью трёх вольтметров значения  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_{R+L}$  и зная сопротивление резистора  $R$ , нетрудно вычислить, пользуясь формулами (2), (3) и (4), силу тока в цепи, активное сопротивление катушки  $r_L$ , её индуктивность  $L$ , мощность  $P_L$ , выделяемую на катушке, и сдвиг фаз между током и напряжением на катушке.

Рассчитаем мощность переменного тока, выделяемую в катушке. Мгновенное значение мощности равно

$$P = U(t) \cdot I(t).$$

Средняя мощность за период  $T$  определяется формулой

$$\overline{P} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) \cdot I(t) dt.$$

Полагая  $I(t) = I\sqrt{2} \cos \Omega t$ ,  $U(t) = U\sqrt{2} \cos(\Omega t + \psi)$ , получим после интегрирования:

$$P_L = U_L \cdot I \cos \psi = I^2 \cdot r_L. \quad (5)$$

Средняя мощность, выделяющаяся в катушке самоиндукции, определяется, таким образом, действительной частью её импеданса.

Активное сопротивление катушки  $r_L$  можно определить, если включить её в последовательный колебательный контур с известными параметрами – сопротивлением  $R$  и ёмкостью  $C$  (рис. 2). В контуре, настроенном в резонанс на частоту  $\Omega$  внешнего источника (собственная частота контура и внешняя совпадают:  $\omega_0 = \Omega$ , реактивные сопротивления индуктивности и ёмкости одинаковы:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}. \quad (6)$$

Определив каким-либо экспериментальным способом добротность  $Q$  этого контура, можно рассчитать полное сопротивление контура  $R_\Sigma$  в резонансе, поскольку

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R_\Sigma} = \frac{1}{\omega_0 C R_\Sigma}. \quad (7)$$

Резонансное сопротивление контура  $R_\Sigma$ , включает в себя известное сопротивление резистора  $R$  и активное сопротивление катушки  $r_L$ :

$$R_\Sigma = R + r_L. \quad (8)$$

### 3 Экспериментальная установка

Схема установки для исследования закона Ома в цепи переменного тока представлена на рис. 1. Цепь, состоящая из резистора  $R_1 \simeq 100$  Ом и катушки  $L$  с выдвижным сердечником, подключена к автотрансформатору, выходное напряжение которого можно менять от 0 до 127 В. Напряжения на каждом из элементов и суммарное напряжение цепи измеряются тремя вольтметрами:  $V_R$ ,  $V_L$  и  $V_{R+L}$ . Амперметр  $A$  измеряет ток в цепи, а ваттметр  $P$  – мощность, выделяющуюся на катушке.

Ваттметр электродинамической системы состоит из двух катушек, одна из которых вращается в магнитном поле другой, если через них течёт ток. Токовая катушка ваттметра  $II^*$  включается последовательно в исследуемую цепь, а катушка напряжений (потенциальная)  $VV^*$  – параллельно к элементу, в котором измеряется выделяемая мощность.

Два из четырёх зажимов ваттметра помечены звёздочкой (\*). Эти зажимы надо соединить вместе. Предел измерений устанавливается при помощи переключателей или штепселей, которые вставляются в соответствующие гнёзда: произведение цифр против штепселя токовой катушки  $II^*$  и против переключателя катушки напряжений  $VV^*$  определяет мощность, соответствующую отклонению стрелки на всю шкалу. Отсчёт мощности ведётся по любой из шкал, обозначенных буквой  $P$ .

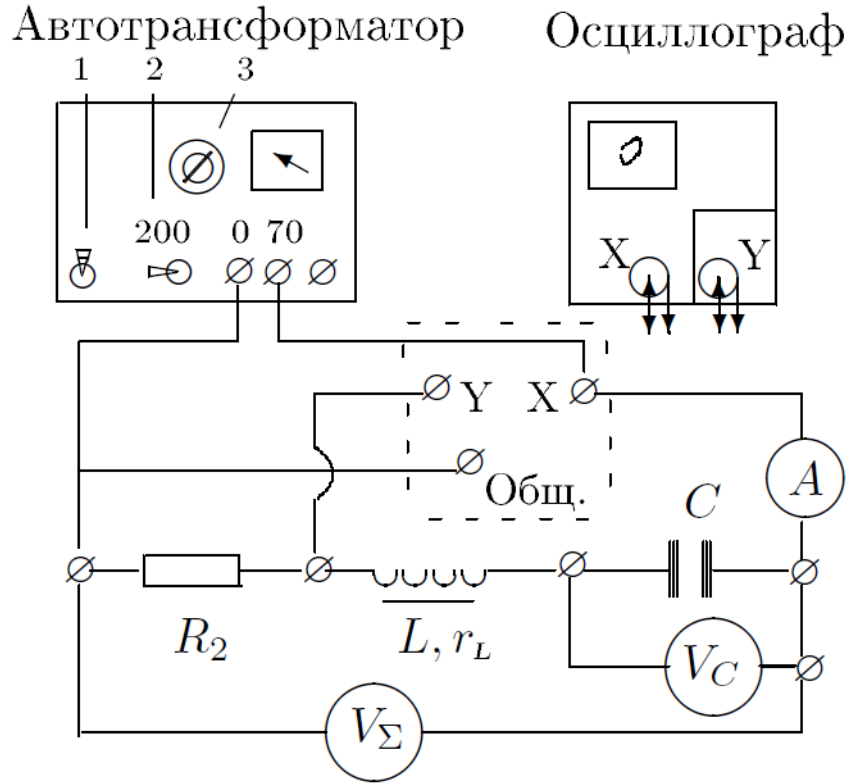


Рис. 2: Схема установки для наблюдения резонанса напряжений.

Схема установки для изучения резонанса напряжений изображена на рис. 2. Последовательно соединены резистор  $R_2 \approx 5$  Ом, катушка  $L$  и магазин ёмкостей  $C$ . Амперметр  $A$  измеряет ток в цепи, вольтметр  $V_C$  — напряжение на ёмкости, вольтметр  $V_\Sigma$  — суммарное напряжение на контуре. Резонанс можно зафиксировать с помощью осциллографа, если подать на вход  $X$  напряжение с контура, а на вход  $Y$  — напряжение с резистора  $R_2$ , пропорциональное току в цепи. В общем случае на экране виден эллипс. При резонансе эллипс вырождается в прямую линию. Резонансные напряжения на контуре  $U_{\Sigma, \text{рез}}$  и на ёмкости  $U_{C, \text{рез}}$  равны соответственно

$$U_{\Sigma, \text{рез}} = I_{\text{рез}} R_\Sigma, \quad U_{C, \text{рез}} = \frac{I_{\text{рез}}}{\Omega C}. \quad (9)$$

Сравнивая (7) и (9), получим

$$Q = \frac{U_{C, \text{рез}}}{U_{\Sigma, \text{рез}}}, \quad \sigma_Q = Q \sqrt{\left( \frac{\sigma_{U_{C, \text{рез}}}}{U_{C, \text{рез}}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{U_{\Sigma, \text{рез}}}}{U_{\Sigma, \text{рез}}} \right)^2}. \quad (10)$$

Формула (10) показывает, что добротность контура может быть найдена по измеренным значениям напряжений на контуре и на конденсаторе при резонансе. Зная добротность контура и ёмкость  $C$ , можно рассчитать  $R_\Sigma$ , по формуле (7), а затем определить  $r_L$ .

## 4 Обработка и предоставление результатов

N	C <sub>n</sub> , nF	f <sub>0n</sub> , kHz	U(f <sub>0n</sub> ), V	E(f <sub>0n</sub> ), V	L, мГ	ρ, Ом	Z <sub>res</sub> , Ом	Q	R <sub>sum</sub> , Ом	R <sub>sm</sub> , Ом	R <sub>L</sub> , Ом
1	25,1	32	1,5	0,3019	986,523	198,252	5008,28	25,2751	7,839786	0,19825	4,141534
2	33,2	27,8	1,38	0,302	988,219	172,527	4606,09	26,7113	6,455678	0,17253	2,78315
3	47,3	23	0,99	0,3021	1013,36	146,37	3303,28	22,5795	6,479139	0,14637	2,832769
4	57,4	21	0,85	0,3021	1001,68	132,102	2836,15	21,4803	6,146801	0,1321	2,514699
5	67,5	19,4	0,7	0,302	998,099	121,6	2336,42	19,2237	6,322337	0,1216	2,700736
6	82,7	17,7	0,59	0,302	978,653	108,783	1969,27	18,1119	6,003121	0,10878	2,394338
7	101,6	16,1	0,48	0,3019	962,798	97,3466	1602,65	16,4717	5,906938	0,09735	2,309592
Ср. знач.					989,905						2,810974
Случ. погр.					16,4908						0,618673