

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Отчёт по лабораторной работы 3.2.5**  
**Вынужденные колебания в электрическом контуре**

Выполнил студент:  
Сериков Василий Романович  
группа: Б03-102

Москва, 2022 г.

## Аннотация

### Цель работы:

Исследование вынужденных колебаний и процессов их установления в колебательном контуре.

### В работе используются:

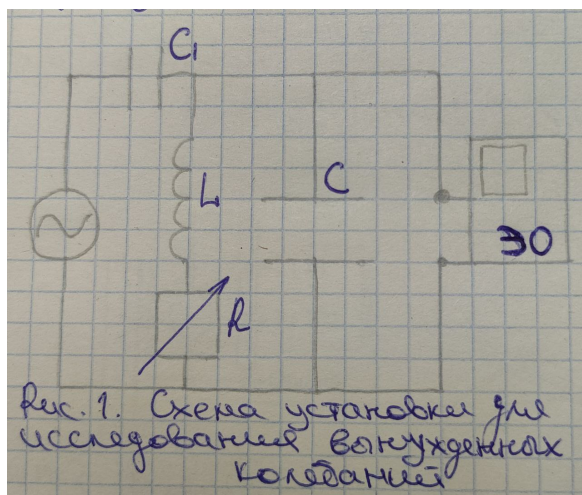
генератор звуковых частот, вольтметр, частотомер, конденсатор, катушка индуктивности, магазин сопротивлений, осциллограф, универсальный измеритель импеданса (LCR-метр).

### Теоретические сведения:

При подключении к контуру внешнего синусоидального источника в нём возникают колебания, которые можно представить как суперпозицию двух синусоид: первая — с частотой собственных колебаний контура и амплитудой, экспоненциально убывающей со временем; вторая — с частотой внешнего источника и постоянной амплитудой. Со временем собственные колебания затухают, и в контуре устанавливаются вынужденные колебания. Амплитуда этих колебаний максимальна при резонансе: совпадении или достаточной близости частоты внешнего сигнала и собственной частоты контура. Зависимость амплитуды установившихся колебаний от частоты внешнего сигнала называется резонансной кривой.

#### А. Резонансная кривая колебательного контура

Для экспериментального исследования резонансной кривой тока в параллельном колебательном контуре используется схема, представленная на рис. 1. Синусоидальный сигнал с генератора подаётся на параллельный колебательный контур через небольшую разделительную ёмкость  $C_1$ . Напряжение с конденсатора контура  $C$  поступает на вертикальный вход электронного осциллографа (ЭО). Для регистрации резонансной кривой необходимо, чтобы модули импедансов возбуждающей  $Z_{ист}$  и измеряющей  $Z_{изм}$  цепей намного превосходили модуль импеданса самого контура вблизи резонанса  $Z_{рез} = 1/RC$ . С этой целью разделительная ёмкость  $C_1$  выбирается



настолько малой, что в рабочем диапазоне частот модуль её импеданса  $|ZC_1| = 1/\omega C_1$  много больше модуля импеданса контура на частоте  $\omega$ . Таким образом, амплитуда тока в цепи генератора определяется импедансом  $|ZC_1|$ . Эта амплитуда относительно мало меняется в пределах резонансной кривой колебательного контура, что, однако, приводит к некоторому искажению последней по сравнению со случаем, рассмотренным в п. 3.2, где в качестве генератора предполагается источник тока, обладающий большим и постоянным внутренним сопротивлением во всём исследуемом частотном диапазоне. Входное сопротивление осциллографа (измеряющей цепи) достаточно велико:  $|Z| \approx R \approx 1 \text{ МОм}$ , поэтому его влиянием можно пренебречь.

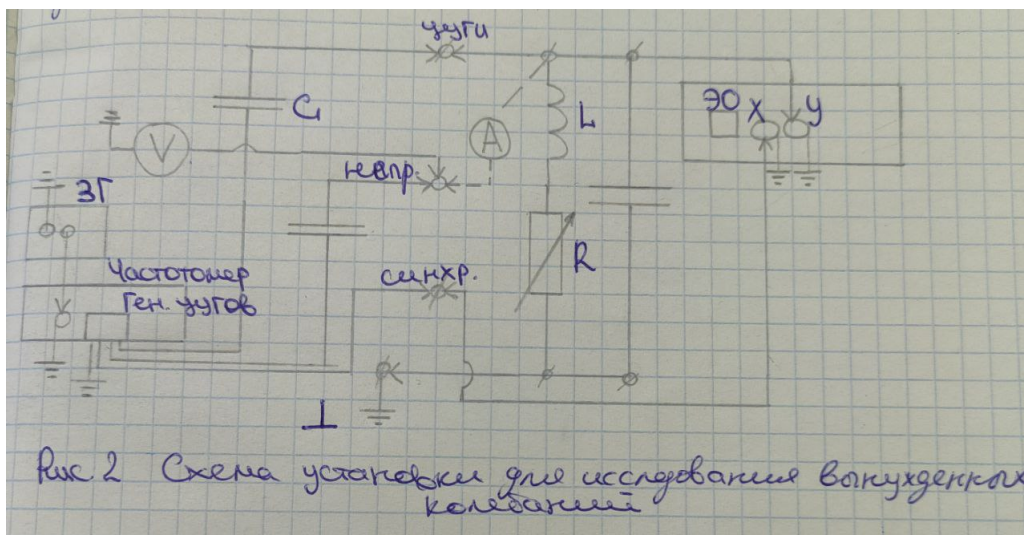
$$I_c(\omega) = I(\omega) \sqrt{\frac{1 + Q_m^2(\omega/\omega_0)^2}{1 + Q_m^2(\omega/\omega_0 - \omega_0/\omega)^2}}$$

Из соотношения выше следует, что на собственной частоте  $\omega_0$  ток в высокодобротном контуре почти в  $Q \gg 1$  раз превосходит ток во внешней цепи. Именно по этой причине резонанс в параллельном контуре называется резонансом токов.

### Экспериментальная установка:

Схема установки для исследования вынужденных колебаний приведена на рис. 2. Колебательный контур состоит из конденсатора с ёмкостью  $C$ , катушки с индуктивностью  $L$  и магазина сопротивлений  $R$ . Синусоидальный сигнал генерируется звуковым генератором (ЗГ), а сигнал, состоящий из отрезков синусоиды (цугов), формируется цифровым генератором электрических сигналов произвольной формы или комбинацией генератора синусоидального сигнала звукового диапазона и электронного реле, прерывающего сигнал с заданной периодичностью.

Эффективное значение тока  $I(\omega)$ , текущего к контуру от генератора в режиме непрерывного сигнала, измеряется амперметром  $A$ , а соответствующее значение тока в контуре определяется по формуле  $IC(\omega) = \omega C U_C(\omega)$ , где  $U_C(\omega)$  — эффективное напряжение на конденсаторе, измеряемое вольтметром  $V$ .



## Ход работы и обработка результатов:

1. Рассчитаем собственную частоту:  $\nu_0 = 1/2\pi\sqrt{LC} = 1591,5 \text{ Гц}$
2. Меняя частоту генератора в обе стороны от резонансной, получим зависимость показаний вольтметра  $V$  от частоты сигнала  $\nu$ . Полученные данные для различных сопротивлений занесем в таблицу 1. По полученным данным построим графики зависимости  $\frac{U}{U_0}(\frac{\nu}{\nu_0})$

$R = 0 \text{ Ом} \searrow$	$\nu, \text{ Гц}$	1567	1557	1552	1548	1543	1540	1535	1531	1526	1522
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	9,8	9,5	9	8,5	7,8	7,4	6,8	6,4	5,8	5,4
	$\nu, \text{ Гц}$	1514	1505	1499	1493	1489					
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	4,6	4,2	3,8	3,5	3,4					
$R = 0 \text{ Ом} \nearrow$	$\nu, \text{ Гц}$	1563	1574	1579	1585	1588	1590	1592	1597	1600	1604
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	9,8	9,5	9	8,4	8	7,7	7,4	7,0	6,6	6,2
	$\nu, \text{ Гц}$	1608	1615	1625	1641	1648					
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	5,8	5,2	4,6	3,8	3,5					
$R = 100 \text{ Ом} \searrow$	$\nu, \text{ Гц}$	1573	1547	1525	1518	1498	1487	1474	1462	1451	1430
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	10	9,7	9,2	9	8,4	7,9	7,4	6,8	6,5	5,8
	$\nu, \text{ Гц}$	1420	1390	1370	1352	1316					
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	5,5	4,7	4,2	3,9	3,4					
$R = 100 \text{ Ом} \nearrow$	$\nu, \text{ Гц}$	1573	1602	1612	1635	1647	1672	1685	1703	1727	1750
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	10	9,7	9,3	8,8	8,5	7,8	7,4	6,9	6,4	5,9
	$\nu, \text{ Гц}$	1795	1829	1862	1945	2058					
	$U \cdot 30, \text{ мВ}$	5,2	4,8	4,4	3,8	3,4					

Таблица 1: Полученные данные для напряжения и частоты.

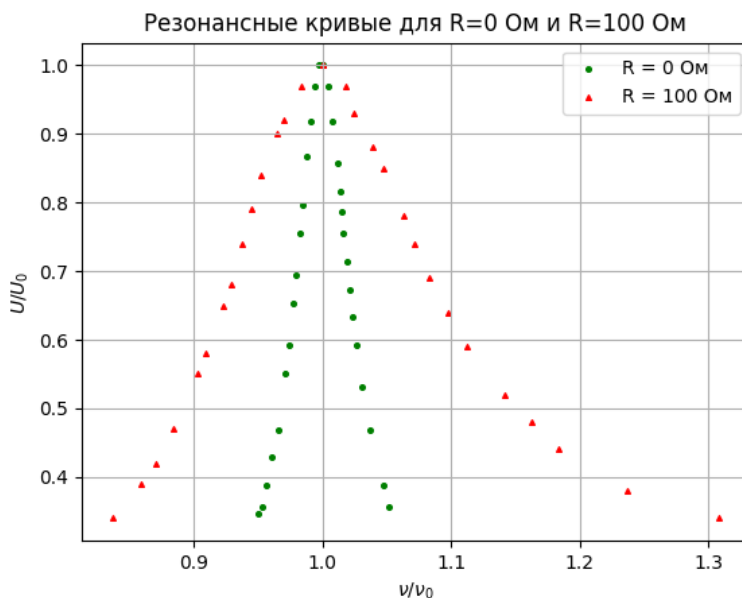


Рис. 1: График зависимости  $\frac{U}{U_0}(\frac{\nu}{\nu_0})$

3. Определим добротность по формуле  $Q = \nu_0/\delta_\nu$ , где  $\delta_\nu$  — ширина резонансной кривой на уровне 0,707.

$$Q_{100} = 6,849 \pm 0,009$$

$$Q_0 = 24,39 \pm 0,03$$

4. Для расчёта добротности по скорости нарастания амплитуды измерим амплитуды двух колебаний  $U_k, U_{k+n}$  и амплитуду установившихся колебаний  $U_\infty$

	↗				↘			
$U_k$ , дел	0,4	1,4	2,2	3	0,6	0,8	3	4,7
$U_{k+n}$ , дел	3	3,6	4,8	5,6	1	2,1	4,2	6
$n$	3	3	4	5	-4	-8	-3	-2
$Q$	21,40	21,94	19,63	19,50	24,60	26,04	26,68	25,73

Таблица 2: Данные нарастаний и затуханий цуги при  $R = 0$  Ом,  $U_\infty = 7,7$  дел

	↗				↘			
$U_k$ , дел	2,2	4,1	5,5	6,4	0,2	0,4	1,8	4,2
$U_{k+n}$ , дел	4,1	5,5	6,4	7	0,9	1,2	2,7	6,5
$n$	1	1	1	1	-4	-3	-1	-1
$Q$	7,58	6,61	6,33	5,61	8,35	8,58	7,74	7,46

Таблица 3: Данные нарастаний и затуханий цуги при  $R = 100$  Ом,  $U_\infty = 7,8$  дел

$$Q_{\text{затухания}} = \frac{\pi}{\Theta} = \pi \left( \frac{1}{n} \ln \frac{U_k}{U_{k+n}} \right)^{-1}$$

$$Q_{\text{нарастания}} = \frac{\pi}{\Theta} = \pi \left( \frac{1}{n} \ln \frac{U_0 - U_k}{U_0 - U_{k+n}} \right)^{-1}$$

5. Измерим активное сопротивление  $R_L$  и индуктивность  $L$  магазина индуктивностей с помощью измерителя импедансов на частотах 50 Гц, 500 Гц и 1500 Гц. Данные занесем в таблицу 4.

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$\nu$ , Гц	$R_L$ , Ом	$L$ , мГн	$C$ , мкФ
50	29,3	99,9	101,3
500	29,5	99,8	1,0
1500	30,4	99,5	0,1

Таблица 4: Данные, полученные с LCR-метра

6. Сведем полученные данные для  $Q$  в одну таблицу, где  $R_{\Sigma} = R + R_L$

R, Ом	$R_{\Sigma}$ , Ом	Q			
		Ширина кривой	Нарастание	Затухание	$f(RLC)$
0	30,4	$24,39 \pm 0,03$	$20,6 \pm 0,3$	$25,8 \pm 0,5$	$32,8 \pm 0,6$
100	130,4	$6,849 \pm 0,009$	$6,5 \pm 0,1$	$8,03 \pm 0,2$	$7,67 \pm 0,2$

Таблица 5: Сводная таблица для  $Q$

### Обсуждение результатов и выводы:

В данной работе мы исследовали вынужденные колебания и процессы их установления в колебательном контуре.

Получили зависимости для построения резонансной кривой, посчитали значения добротности системы различными способами: по ширине резонансной кривой, по нарастанию амплитуды, по затуханию амплитуды, по теоретическому значению добротности через параметры контура  $L$ ,  $C$  и  $R$ . Полученные значения отличаются друг от друга, так как в каждом способе есть свои приближения. Способ, которому можно больше доверять - измерение ширины кривой, так как способ имеет наименьшую ошибку и ошибку можно еще больше уменьшать, беря больше экспериментальных точек.