

МОСКОВСКИЙ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 123

---

Резонанс токов.

---

*Автор:*

Алексей ДОМРАЧЕВ  
615 группа

*Преподаватель:*

Николай Владимирович  
Дьячков



2 октября 2017 г.

**Цель работы.** Исследование резонанса токов в параллельном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, включающее получение АЧХ и ФЧХ, а также определение основных параметров контура.

**В работе используются:** генератор сигналов, источник тока, нагруженный на параллельный колебательный контур с переменной ёмкостью, двулучевой осциллограф, цифровые вольтметры.

**Установка и краткая теория.** Схема экспериментального стенда для изучения резонанса токов в параллельном колебательном контуре показана на рис. 1 а, на рис. 1 б контур представлен почти в натуральную величину.

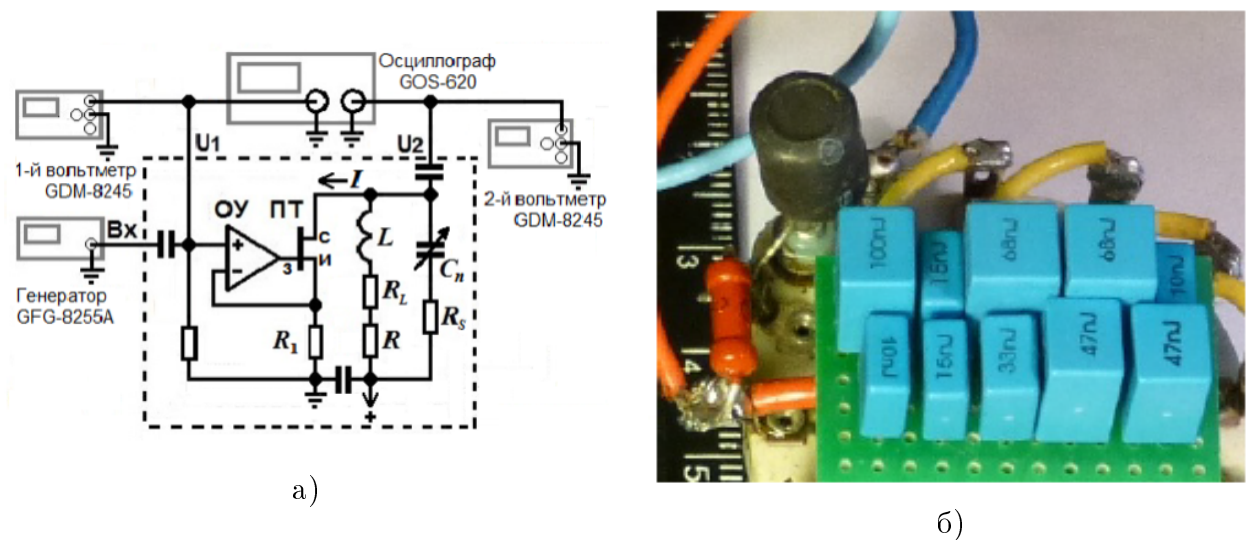


Рис. 1: Экспериментальная установка.

Выведем формулу для добротности:

$$U = Q\rho I \Rightarrow Q = \frac{UR_1}{\rho E_0} \quad (1)$$

$R_\Sigma$  будет вычисляться по формуле, так как оно должно быть рассчитано при последовательном обходе контура:

$$R_\Sigma = R_L + R + R_S \quad (2)$$

Из курса общей физики известно, что частота резонанса можно вычислить по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

Отсюда можно посчитать  $L$ :

$$L = \frac{1}{4\pi C f_0^2} \quad (4)$$

Для расчета  $Z_{\text{рез}}$  понадобится вычислить волновое сопротивление:

$$\rho = \sqrt{L/C} \quad (5)$$

Теперь можем рассчитать  $Z_{\text{рез}}$ :

$$Z_{\text{рез}} = \rho Q^2 \quad (6)$$

Эквивалентное последовательное сопротивление связано с волновым соотношением:

$$R_S = \rho \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

**Обработка и представление результатов.** Представим полученные и рассчитанные по формулам выше значения в таблице 1

Таблица 1: Расчеты пункта 11

$n$	$C_n$ , нФ	$f_{0n}$ , кГц	$U$ , В	$E$ , В	$L$ , мкГн	$\rho$ , Ом	$Z_{\text{рез}}$ , Ом	$Q$	$R_{\Sigma}$ , Ом	$R_{\text{сmax}}$ , Ом	$R_L$ , Ом
1	25.1	32.1	1.12	0.185	979	198	178945	33.0	5.99	0.20	2.29
2	33.2	27.8	0.91	0.186	987	172	134405	30.7	5.60	0.17	1.93
3	47.3	23.2	0.66	0.188	995	144	82602	26.3	5.48	0.14	1.84
4	57.4	21.2	0.55	0.188	982	131	63191	24.1	5.42	0.13	1.79
5	67.5	19.5	0.47	0.189	987	121	49512	22.3	5.42	0.12	1.80
6	82.7	17.7	0.39	0.189	978	109	37735	20.4	5.33	0.11	1.73
7	101.6	16.0	0.32	0.190	974	98	27863	18.5	5.32	0.10	1.72

Сделаем несколько выводов из таблицы:

1.  $\langle L \rangle = 983$ ,  $\Delta L = 3$ , случайная погрешность равна 0.23.
2.  $\langle R_L \rangle = 1.87$ ,  $\Delta R_L = 0,08$ , случайная погрешность равна 0.01.

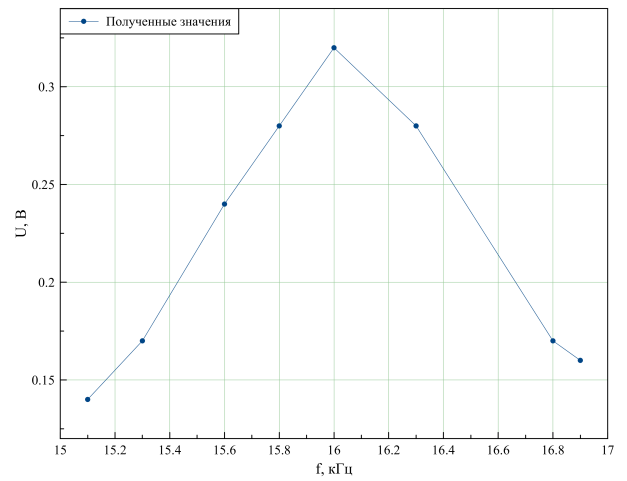
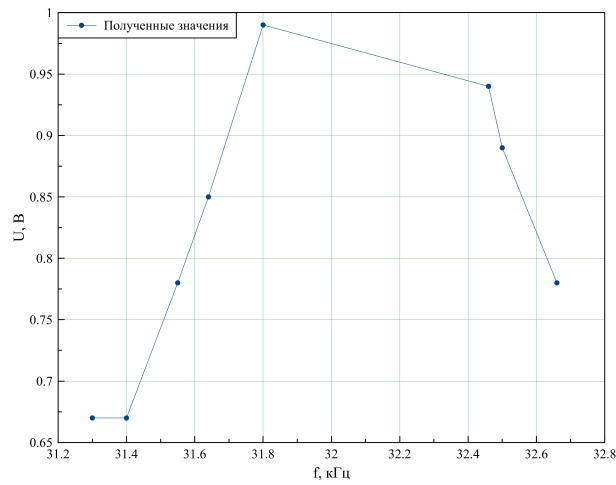
Построим и сравним графики АЧХ для  $C_1$  и  $C_7$

Таблица 2: АЧХ для  $C_1$

$f$ , кГц	31.30	31.40	31.55	31.64	31.80	32.46	32.50	32.66
$U$ , В	0.67	0.67	0.78	0.85	0.99	0.94	0.89	0.78

Таблица 3: АЧХ для  $C_7$

$f$ , кГц	15.10	15.30	15.61	15.83	16.01	16.32	16.80	16.90
$U$ , В	0.14	0.17	0.24	0.28	0.32	0.28	0.17	0.16



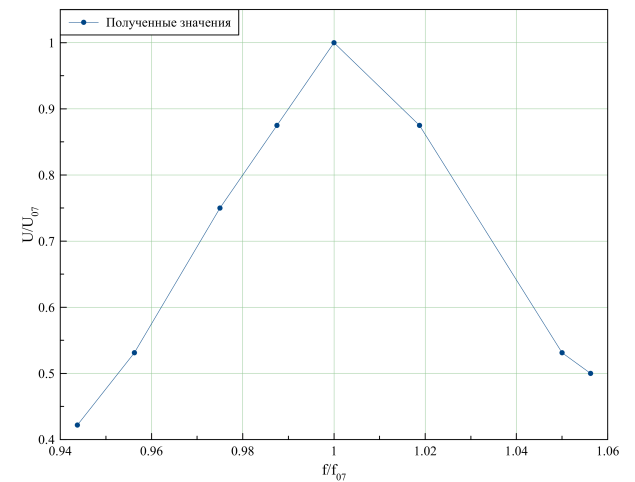
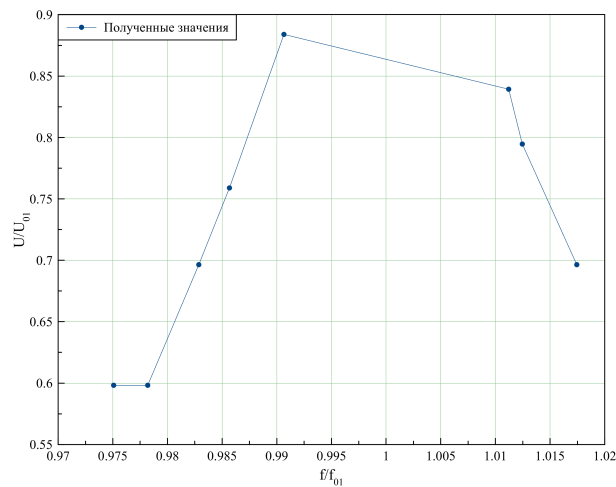
$C_1$

$C_7$

Рис. 2: Амплитудно-частотные характеристики.

По графикам видно, что частоты, при которых достигается резонанс отличаются в два раза, а резонансные значения амплитуды примерно в 3 раза.

Также построим АЧХ в безразмерных координатах  $x \equiv f/f_{0n}$ ,  $y \equiv U(x)/U(f_{0n})$ , чтобы определить добротность.



$C_1$

$C_7$

Рис. 3: Амплитудно-частотные характеристики в безразмерных координатах.

Ширина резонансных кривых на уровне 0.707 для  $C_1$  равна 0.03, тогда добротность равна  $Q = 0.03^{-1} = 30.0$

Ширина резонансных кривых на уровне 0.707 для  $C_7$  равна 0.06, тогда добротность равна  $Q = 0.06^{-1} = 16.7$

Проведем аналогичные действия с ФЧХ для  $C_1$  и  $C_7$ :

Таблица 4: ФЧХ  $C_1$ 

$f$ , кГц	30.4	30.9	31.3	31.8	32.5	32.9	33.2	33.4
$f/f_0$	0.95	0.96	0.98	0.99	1.01	1.03	1.03	1.04
$x_0$	1.6	1.6	1.6	1.5	0.3	0.4	0.5	0.6
$x$	0.9	1	1	1.3	1.5	1.5	1.5	1.6
$x/x_0$	1.78	1.60	1.60	1.15	-0.20	-0.27	-0.33	-0.375

Таблица 5: ФЧХ  $C_7$ 

$f$ , кГц	14.7	15	15.2	15.6	15.8	16	16.3	16.6	17.2	17.4	17.6
$f/f_0$	0.92	0.94	0.95	0.98	0.99	1.00	1.02	1.04	1.08	1.09	1.1
$x_0$	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.2	0.6	0.8	1.2	1.2	1.2
$x$	2.1	2.1	2.2	2.4	2.6	3.2	3	3	2.8	2.8	2.8
$x/x_0$	1.62	1.57	1.50	1.33	1.19	1	-0.2	-0.27	-0.43	-0.43	-0.43

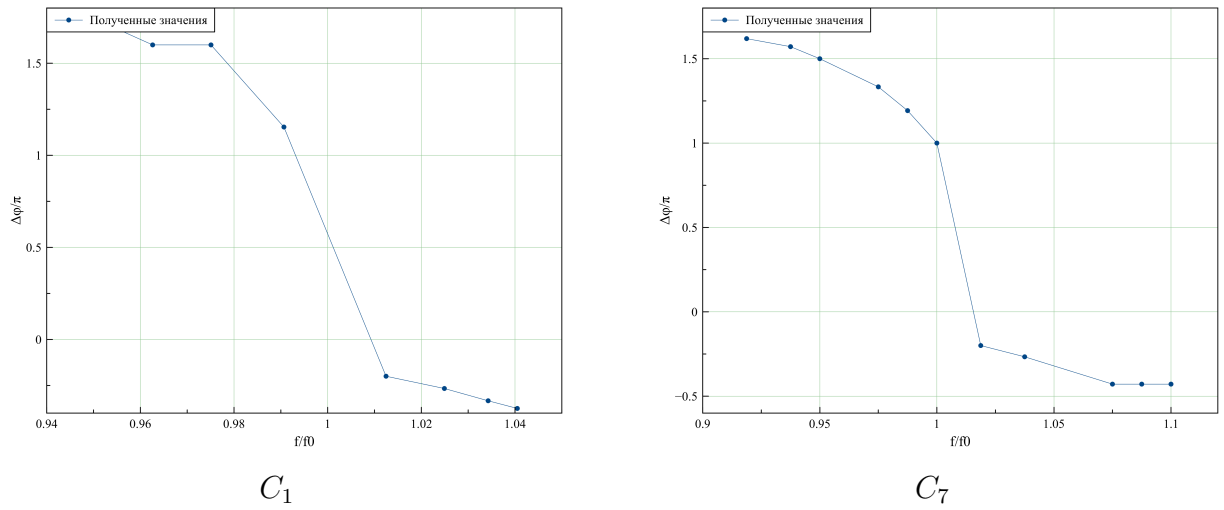


Рис. 4: Фазово-частотные характеристики.

По графикам рассчитаем добротность по расстоянию между точками по оси  $x$ , в которых  $y$  меняется от  $\pi/4$  до  $-\pi/4$ , равному  $1/Q$ . Для  $C_1$  это расстояние равно 0.027, следовательно  $Q = 36$ . Аналогично для  $C_7$   $x = 0.07$ , следовательно  $Q = 14$ .

Также отобразим зависимость  $R_L$  от  $f_{0n}$ :

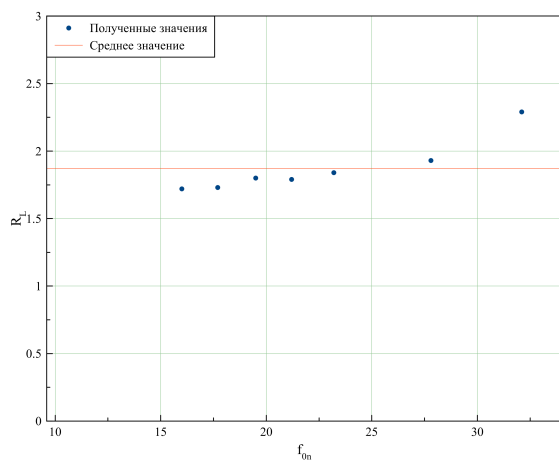


Рис. 5: Зависимость  $R_L$  от  $f_{0n}$

**Вывод:** мы исследовали резонанс токов в параллельном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, получили АЧХ и ФЧХ, а также определили основные параметры контура.