

Лабораторная работа 3.2.3

Сидорчук Максим

12 октября 2023 г.

1 Цель работы

Исследование резонанса токов в параллельном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, включающее получение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, а также определение основных параметров контура.

2 В работе используются:

Генератор сигналов, источник тока, колебательный контур с переменной ёмкостью, двулучевой осциллограф, цифровые вольтметры

3 Теоретические положения

Схема экспериментального стенда для изучения резонанса токов в параллельном колебательном контуре показана на рис. 1. Синусоидальный сигнал от генератора GFG-8255A поступает на вход источника тока, собранного на операционном усилителе ОУ с полевым транзистором ПТ, питание которых осуществляется встроенным блоком-выпрямителем от сети переменного тока 220 вольт. Цепи питания на схеме не показаны, представлен только резистор, переменное напряжение, на котором в используемой схеме равно напряжению на входе «+» операционного усилителя.

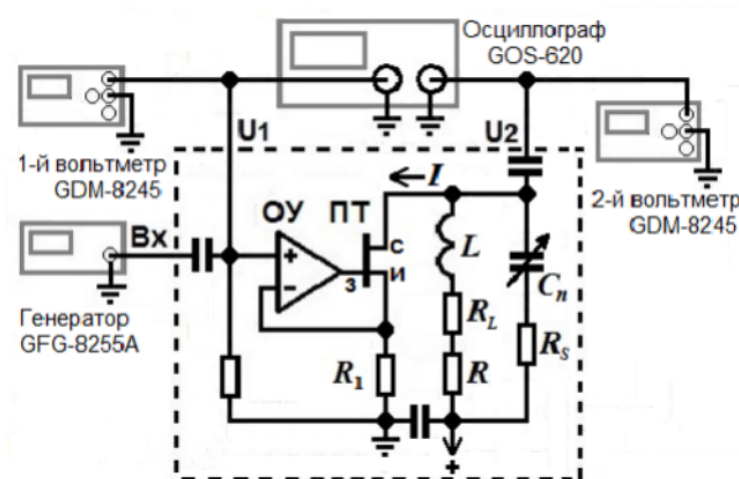


Рис. 1: Схема экспериментального стенда

Напряжение $E = E_0 \cos(\omega t + \phi_0)$ поступает на вход «+» операционного усилителя от генератора через согласующую RC-цепочку. Это же напряжение через разъём «U1» подаётся одновременно на канал 1 осциллографа GOS-620 и вход 1-го цифрового вольтметра GDM-8245. Переменное напряжение на резисторе R1, как отмечалось выше, при этом также равно E. Напряжение на контуре U, совпадающее с напряжением на конденсаторе, подаётся со знаком «-» через разъём «U2» на канал 2 осциллографа и вход 2-го цифрового вольтметра GDM-8245. Показанные на схеме установки ещё два конденсатора без наименований (помимо входящего в RC-цепочку) играют вспомогательную роль и не влияют на характеристики контура. Символ «-»+» отмечает наличие источника питания полевого транзистора. Ток затвора «з» полевого транзистора ничтожно мал, так что токи истока «и» и стока «с» практически совпадают и равны току во внешней цепи контура. Как видно из схемы,

$$I = \frac{E}{R_1} = I_0 \cos(\omega t + \phi_0), \quad I_0 = \frac{E_0}{R_1}$$

4 Ход работы

4.1 Характеристики контура при разных ёмкостях

Проведём измерения характеристик контура при разных значениях ёмкости конденсатора. Будем фиксировать резонансные частоты f и напряжения U в контуре при разных C , так же регистрируя входное напряжение E .

Таблица 1: Измерения характеристик контура при разных ёмкостях

Cn , нФ	f , кГц	U , В	E , В	L , мкГн	ρ , Ом	Z_{res} , Ом	Q	R_{Σ} , Ом	R_{max} , Ом	R_L , Ом
25.1	32	2	0.4	985.522	198.151	5040	25.435	7.790	0.198	4.092
33.2	27.8	1.6	0.4	987.216	172.439	4032	23.382	7.374	0.172	3.702
47.3	23.2	1.3	0.4	994.954	145.034	3276	22.587	6.420	0.145	2.775
57.4	21.1	1.1	0.4	991.204	131.409	2772	21.094	6.229	0.131	2.598
67.5	19.4	0.81	0.4	997.086	121.538	2041.2	16.794	7.236	0.121	3.615
82.7	17.6	0.63	0.4	988.802	109.345	1587.6	14.519	7.531	0.109	3.921
101.6	16	0.65	0.4	973.882	97.905	1638	16.730	5.851	0.097	2.254
Среднее значение				988.381						3.279
Среднеквадратичное отклонение				0.443						0.0422

Для вычисления значений использовались формулы:

$$Z_{\text{res}} = \frac{U}{I_0} = \frac{U}{E/R_1}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q = \frac{Z_{\text{res}}}{\rho}$$

$$R_{\Sigma} = \frac{Z_{\text{res}}}{Q^2}$$

$$R_{\text{smax}} = \frac{tg\delta}{\omega C}$$

$$R_L = R_{\text{smax}} - R$$

4.2 Нахождение АЧХ для с2 и с4

Снимем амплитудно-частотную характеристику контура при ёмкостях C_2 и C_4 . Для этого будем снимать зависимость напряжения в контуре от частоты колебаний.

Таблица 2: Зависимость частоты колебаний от напряжения

C_2		C_4	
$f, \text{кГц}$	$U, \text{В}$	$f, \text{кГц}$	$U, \text{В}$
18	0.039	15	0.03
19	0.04	16	0.04
20	0.05	17	0.05
21	0.06	18	0.07
22	0.07	19	0.11
23	0.09	19.3	0.12
24	0.11	19.6	0.15
25	0.16	20	0.2
26	0.24	20.1	0.21
26.3	0.28	20.2	0.22
26.7	0.37	20.3	0.24
27.1	0.512	20.4	0.27
27.2	0.576	20.5	0.29
27.3	0.649	20.6	0.33
27.4	0.68	20.7	0.38
27.4	0.73	20.8	0.4
27.6	0.91	20.9	0.46
27.7	0.87	21	0.52
27.9	0.89	21.2	0.56
28	0.85	21.3	0.57
28.1	0.79	21.4	0.53
28.2	0.74	21.5	0.52
28.3	0.69	21.6	0.49
28.4	0.62	21.7	0.4
28.5	0.56	21.8	0.38
28.7	0.45	22	0.3
28.9	0.41	22.3	0.24
29	0.36	22.6	0.2
30.1	0.21	23	0.15
31	0.15	24	0.1
32	0.12	25	0.08
33	0.1	26	0.06
34	0.08	28	0.04
35	0.07	30	0.03
36	0.06	32	0.03

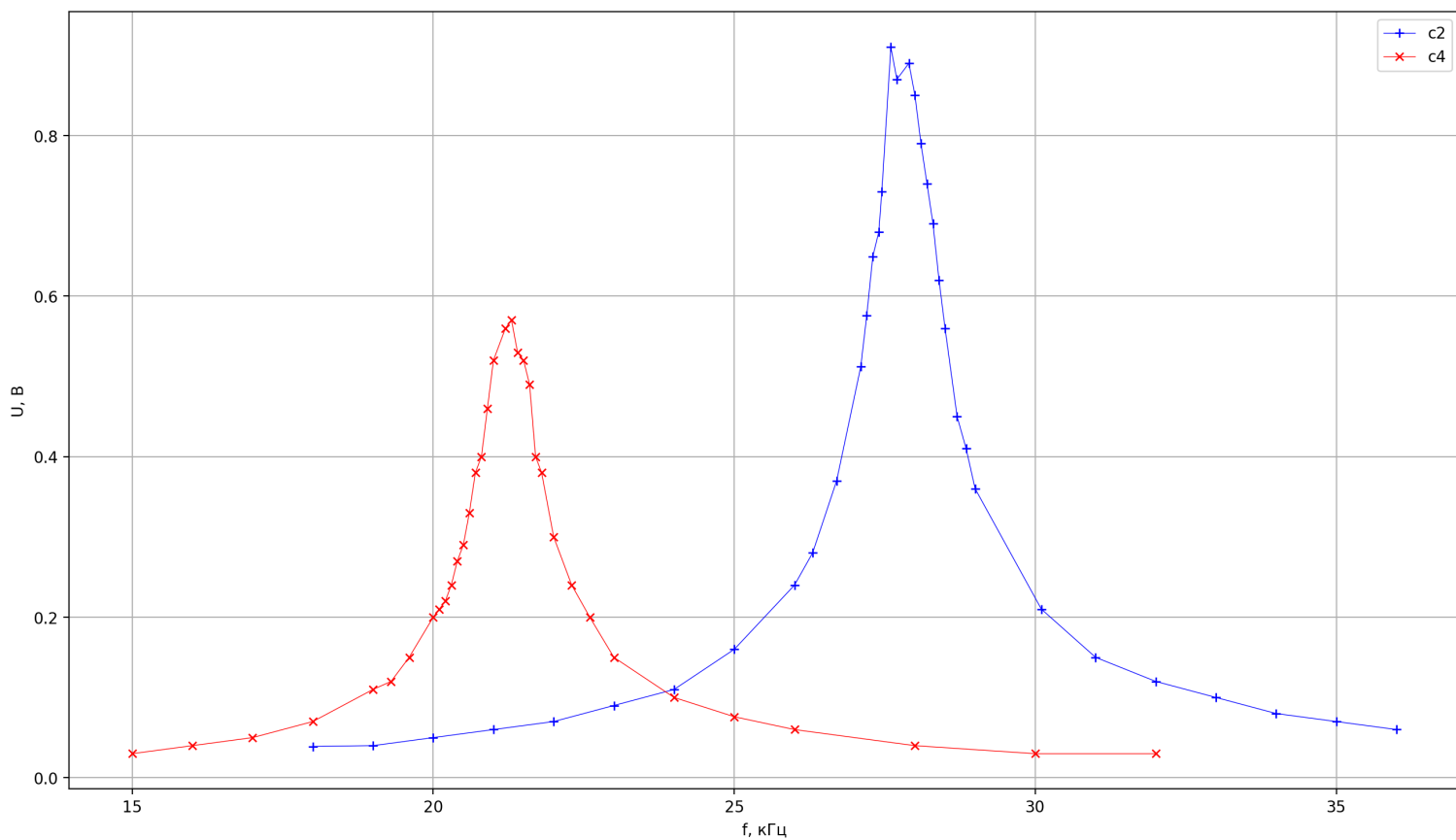


Рис. 2: АЧХ контуров с C2 и C4

4.3 АЧХ в относительных координатах

Построим графики АЧХ в координатах $U/U_0(f/f_0)$. По этим графикам (ширина резонансной кривой на уровне $\frac{1}{\sqrt{2}}$) определим добротность контуров: $Q_2 = 25.44$ и $Q_4 = 23.92$

Значения, определённые в пункте 1: $Q_2 = 23.38$ и $Q_4 = 21.09$

Полученные значения заметно различаются.

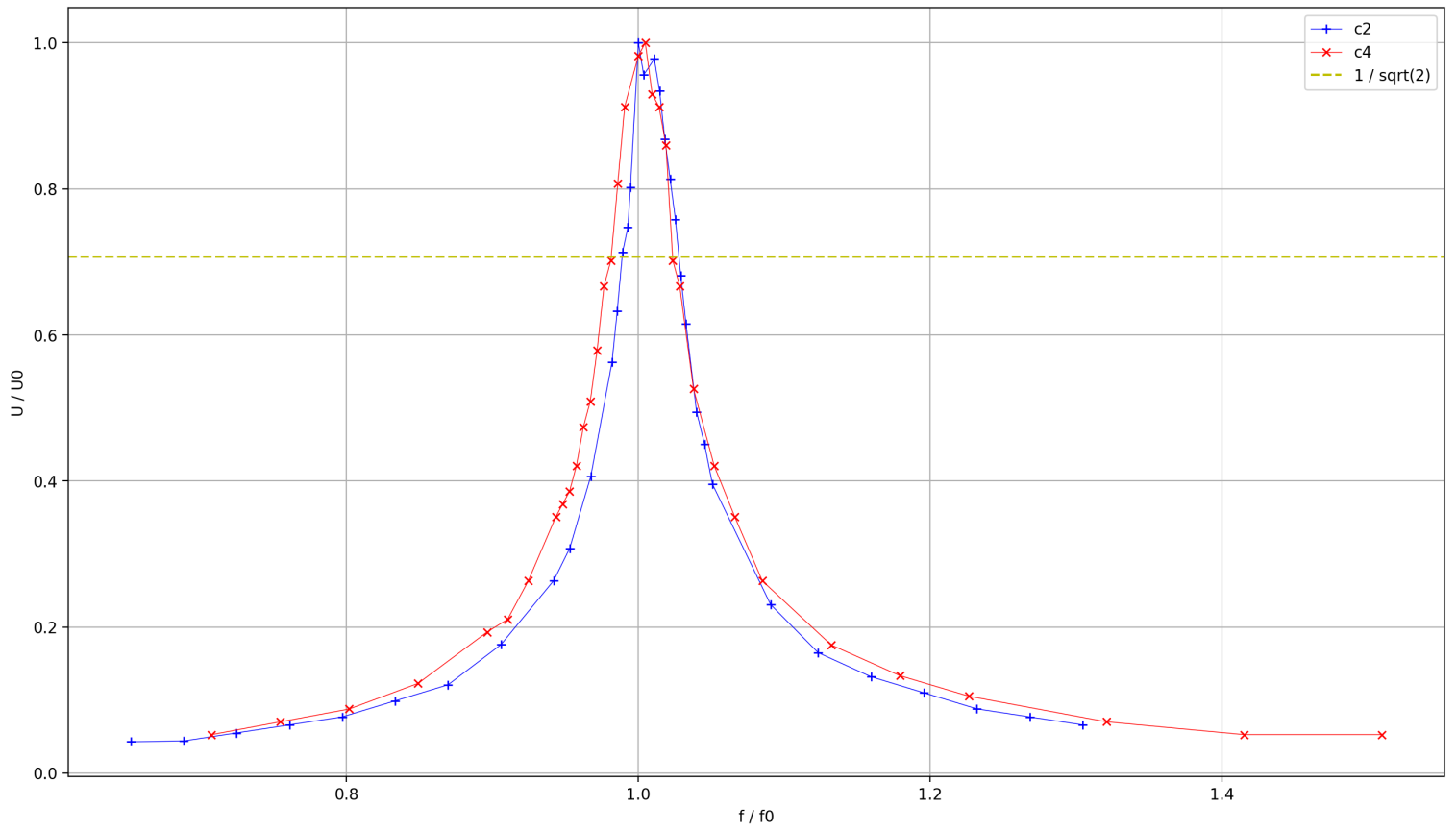


Рис. 3: АЧХ контуров с C2 и C4 в относительных координатах

4.4 ФЧХ

Построим ФЧХ для контура с C_2 в координатах $x = f/f_0$ $y = \varphi/\pi$ (рис. 4). По графику определим добротность контура следующим методом: расстояние между точками по оси x , в которых y меняется от $-\pi/4$ до $\pi/4$, равно $1/Q$.

$$Q = \frac{1}{1.019 - 0.986} \approx 30.3$$

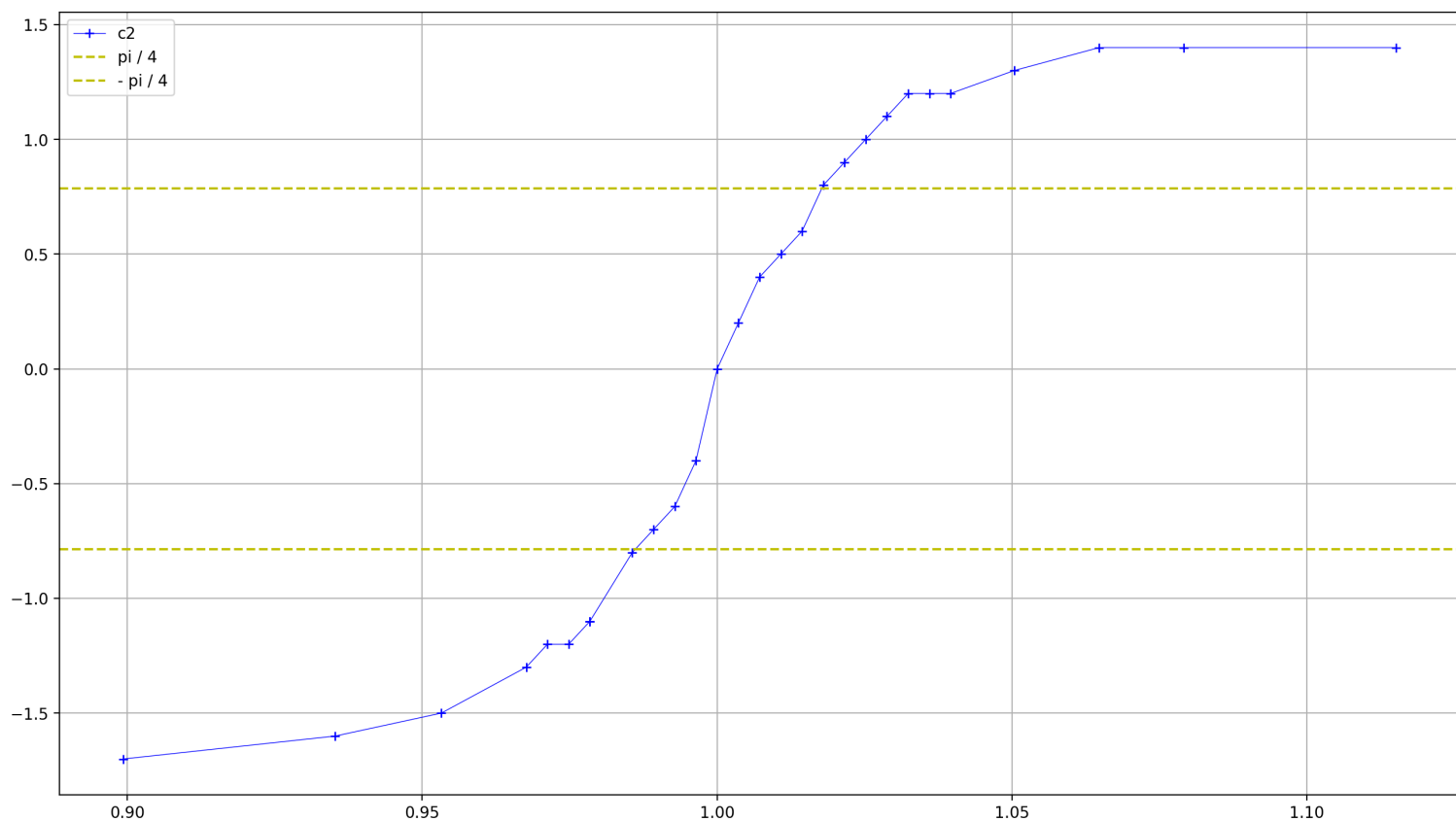


Рис. 4: ФЧХ контура C_2

4.5 Векторная диаграмма

Построим векторную диаграмму для токов и напряжений в последнем контуре (с7). Определим значения токов на конденсаторе и на катушке, а также напряжение в контуре по формулам

$$I_0 = \frac{E}{R_1} = 0.0004A$$

$$I_c = I_L = QI_0 = \frac{QE}{R_1} = 0.007A$$

$$U = Q\rho I_0 = \frac{Q\rho E}{R_1} = 0.650B$$

Также определим сдвиги по фазе их от основного тока I_0 :

$$\varphi_c = \frac{\pi}{4} - \frac{R + R_L}{\rho} = 41^\circ$$

$$\varphi_L = -\frac{\pi}{2} + \delta = -90^\circ$$

$$\varphi_U = \frac{R + R_L}{\rho} + \delta = 4^\circ$$

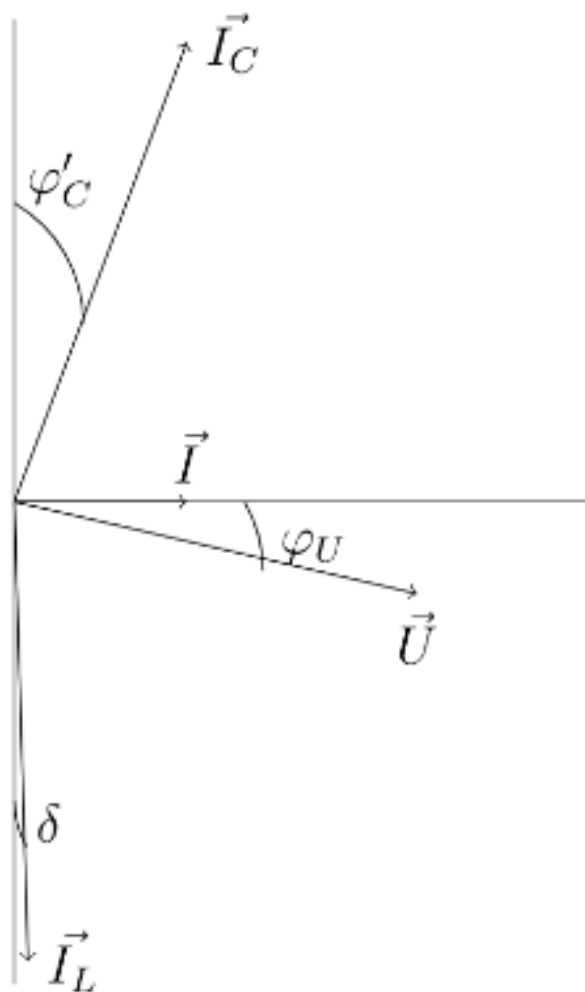


Рис. 5: Векторная диаграмма токов и напряжения для контура с добротностью $Q = 17.414$