

# Лабораторная работа 3.2.3

Сидорчук Максим

11 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, нагруженный на параллельный 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.

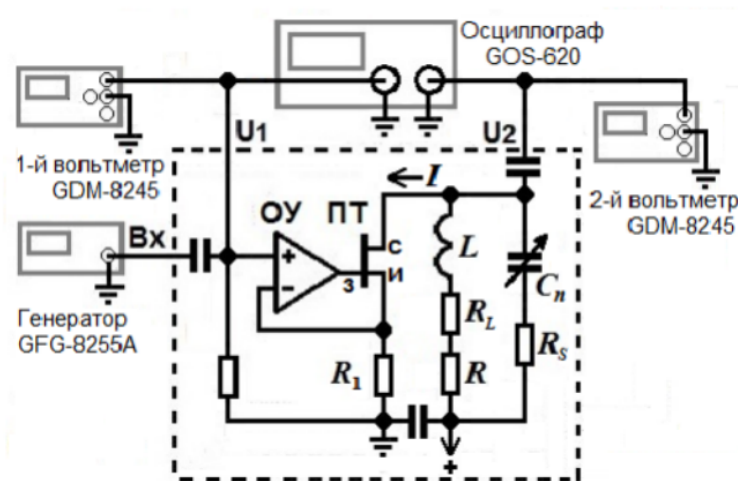


Рис. 1: Схема экспериментального стенда

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

1. 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  $E$ . Результаты измерений занесём в таблицу 1. При расчётах импеданса при резонансе  $Z_{\text{res}}$ , добротности контура  $Q$ , суммарного сопротивления  $R_{\Sigma}$ , реактивного сопротивления  $\rho$ , эквивалентного последовательного сопротивления конденсатора  $R_{\text{smax}}$  были использованы формулы:

$$\begin{aligned} Z_{\text{res}} &= \frac{U}{I_0} = \frac{U}{E/R_1} & \rho &= \sqrt{\frac{L}{C}} & Q &= \frac{Z_{\text{res}}}{\rho} \\ R_{\Sigma} &= \frac{Z_{\text{res}}}{Q^2} & R_{\text{smax}} &= \frac{tg\delta}{\omega C} & R_L &= R_{\text{smax}} - R \end{aligned}$$

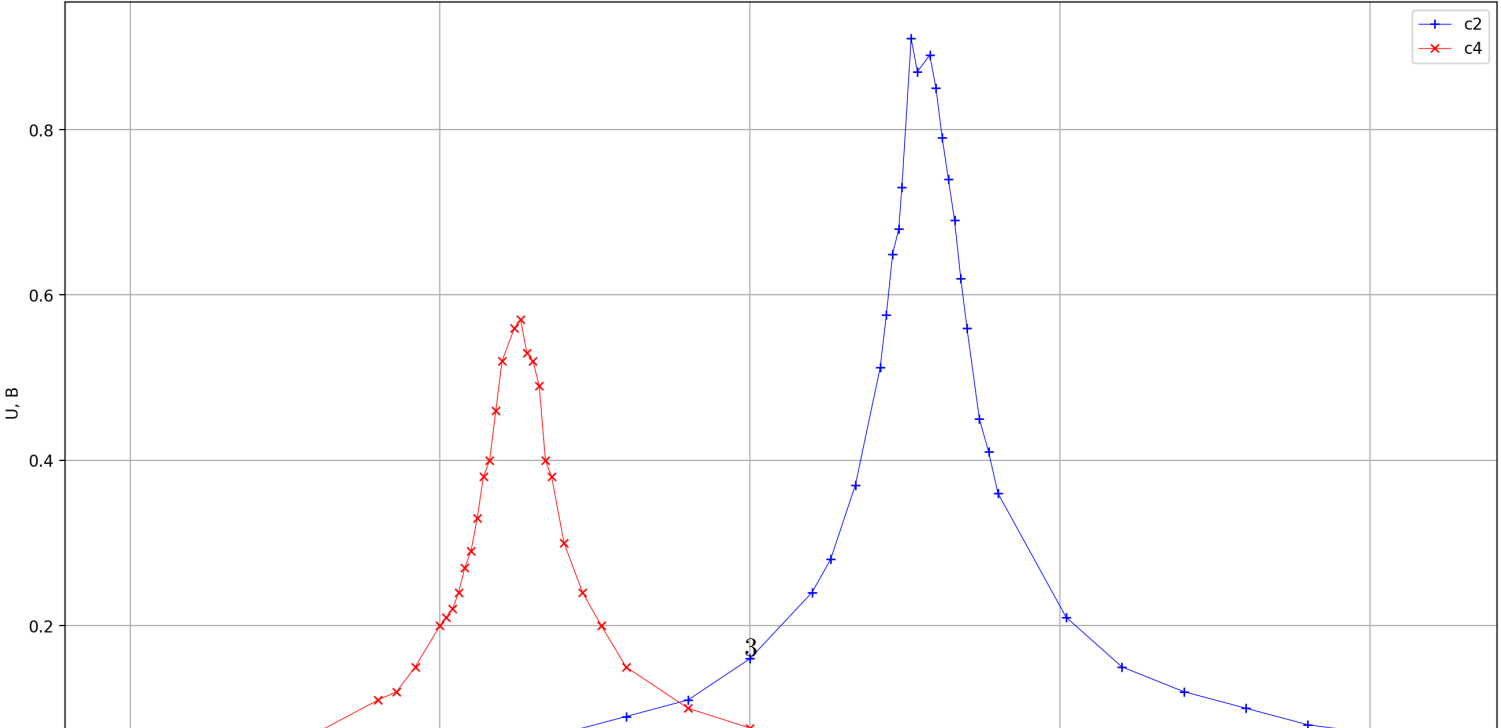
Таблица 1: Измерения характеристик контура при разных ёмкостях

| $Cn$ , нФ                     | $f$ , кГц | $U$ , В | $E$ , В | $L$ , мкГн | $\rho$ , Ом | $Z_{\text{res}}$ , Ом | $Q$    | $R_{\Sigma}$ ,Ом | $R_{\text{max}}$ ,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     |

2. Снимем амплитудно-частотную характеристику контура при ёмкостях  $C_2$  и  $C_4$ . Для этого будем снимать зависимость напряжения в контуре от частоты колебаний. Результаты измерений занесём в табл. 2, резонансные кривые  $U(f)$  представим на рис. 2

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          |



Проведём сравнительный анализ АЧХ для двух ёмкостей в контуре.  $C_4 > C_2$ , формула для добротности  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ . При повышении ёмкости падает добротность контура.

- 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.

$$Q_2 = 25.44 \quad Q_4 = 23.92$$

Значения, определённые в пункте 1:

$$Q_2 = 23.38 \quad Q_4 = 21.09$$

Полученные значение заметно, но не сильно, отличаются.

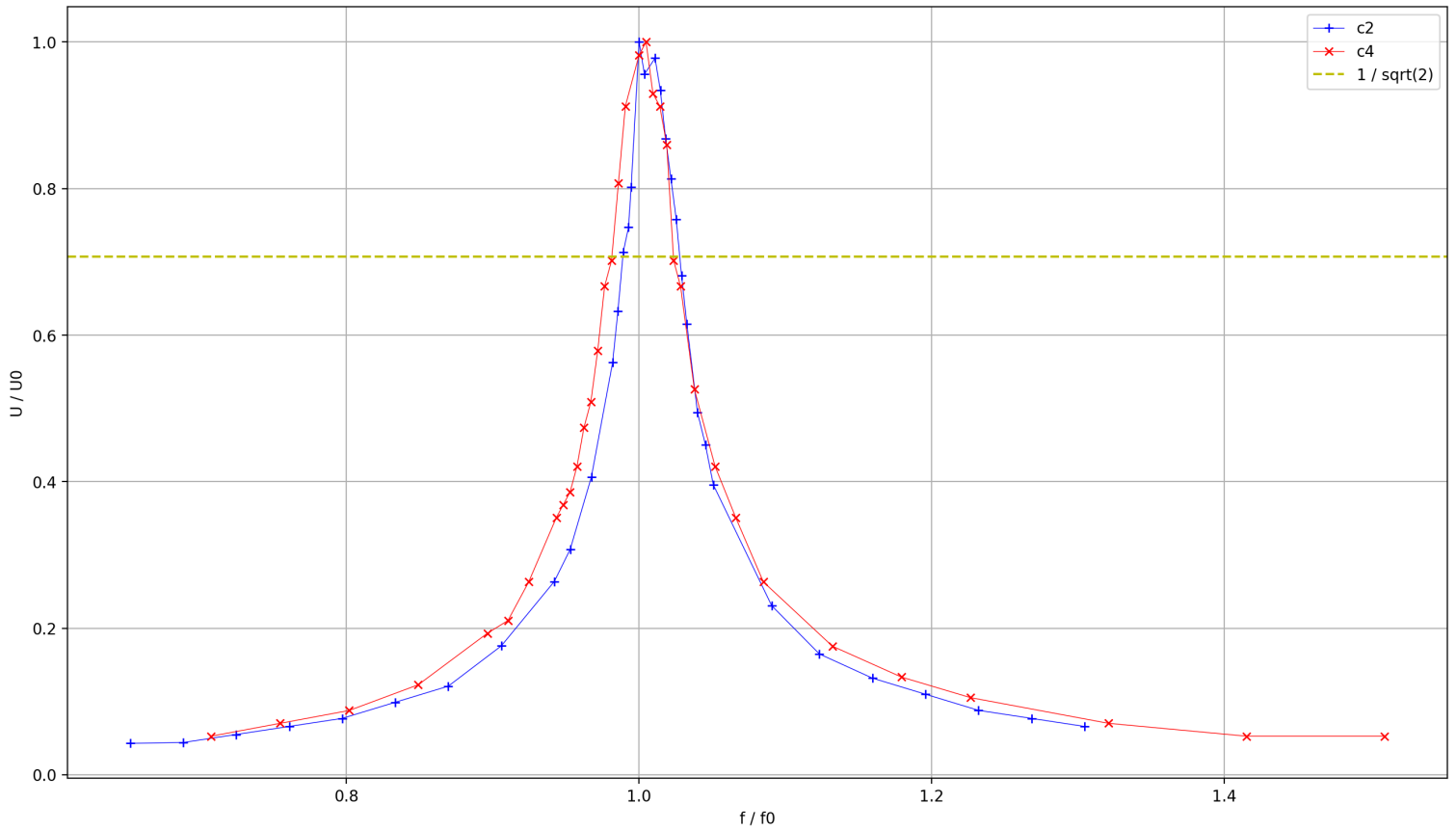


Рис. 3: АЧХ контуров с  $C_2$  и  $C_4$  в относительных координатах

- 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  $1/Q$ .

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

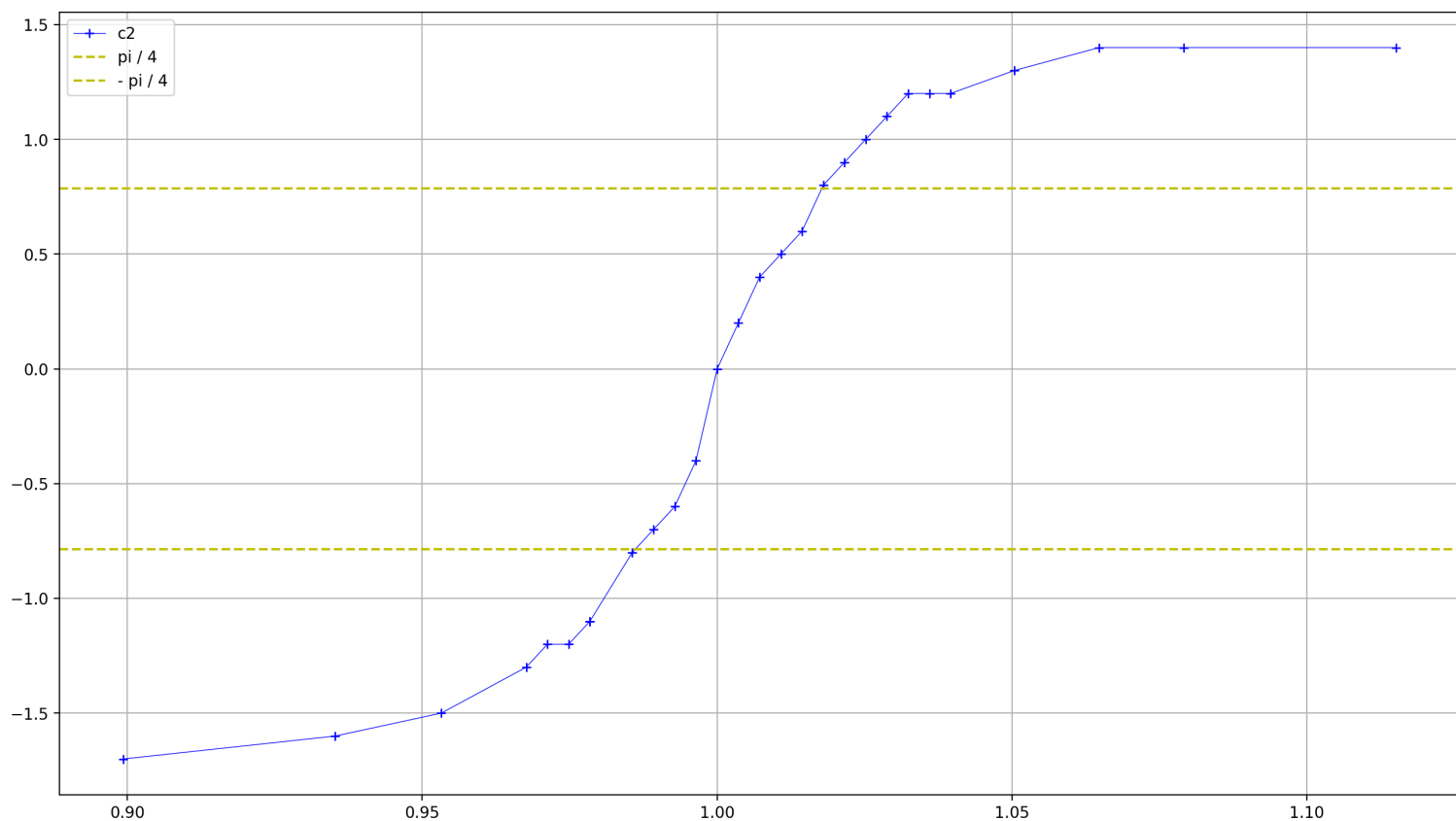


Рис. 4: ФЧХ контура  $C_2$

5. 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

$$I_0 = \frac{E}{R_1} = 0.0004A \quad I_c = I_L = QI_0 = \frac{QE}{R_1} = 0.007A \quad U = Q\rho I_0 = \frac{Q\rho E}{R_1} = 0.650B$$

Также определим сдвиги по фазе их от основного тока  $I_0$ :

$$\varphi_c = \frac{\pi}{4} - \frac{R+R_L}{\rho} = 41^\circ \quad \varphi_L = -\frac{\pi}{2} + \delta = -90^\circ \quad \varphi_U = \frac{R+R_L}{\rho} + \delta = 4^\circ$$

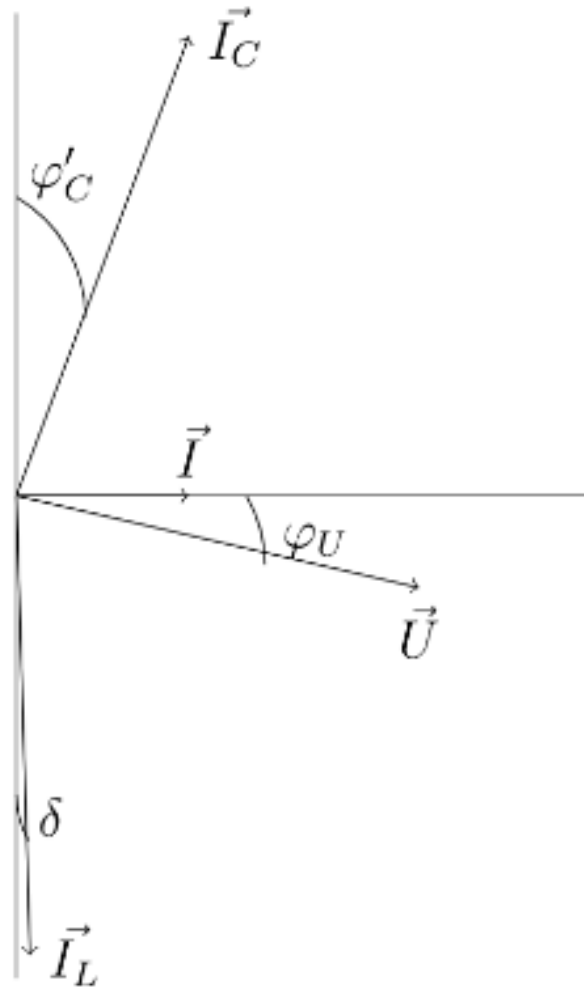


Рис. 5: Векторная диаграмма токов и напряжения для контура с добротностью  $Q = 17.414$

## 5 Вывод

В ходе работы мы ознакомились с явлением резонанса токов, изучили метод комплексных амплитуд, изучили амплитудно-частотные и фазово-частотную характеристику колебательного контура, составленного из элементов, используемых в современной радиотехнике. В ходе эксперимента была с большой точностью разными методами определена добротность колебательного контура при разных значениях ёмкости конденсатора в цепи, а также рассчитаны некоторые другие характеристики контура. Результаты определения добротности непосредственными измерениями параметров контура, методом резонансных кривых и по исследованию ФЧХ совпадают.

Также было исследовано само поведение токов и напряжений в контуре. Выяснено, какой вклад вносят в цепь сопротивление конденсатора (очень незначительный) и катушки (порядка сопротивления резистора в цепи). Численно получено значение индуктивности катушки и её сопротивления. Сделан вывод, что при точном расчёте цепей обязательно нужно учитывать сопротивление катушки. Была также построена векторная диаграмма токов и напряжений в исследуемом контуре, изучена природа явления резонанса токов.