

## 3.2.2. Резонанс напряжений

Рябых Владислав и Исыпов Илья, Б05-905

9 декабря 2020 г.

**Цель работы:** исследование резонанса напряжений в последовательном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, включающее получение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, а также определение основных параметров контура.

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

### Экспериментальная установка

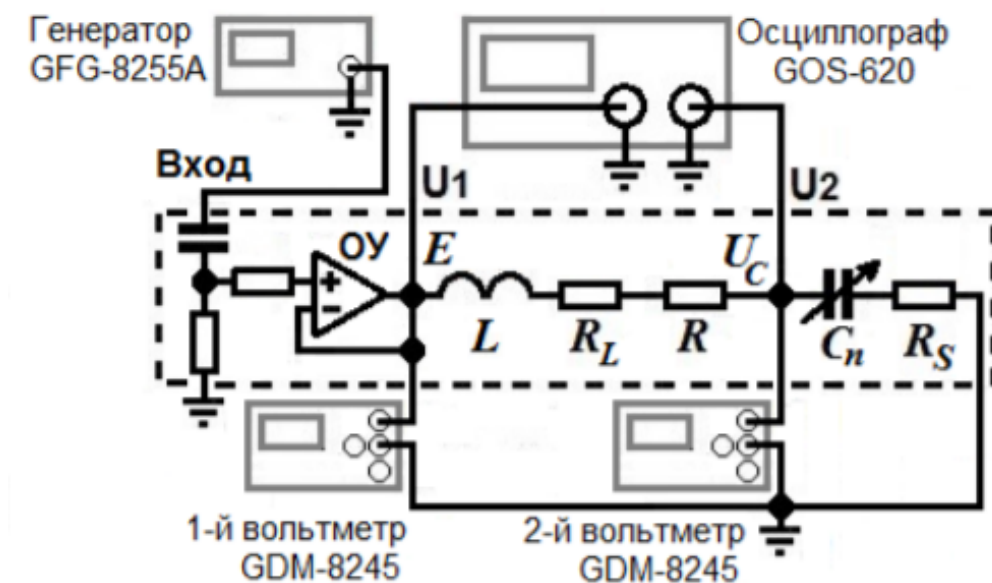


Рис. 1: Схема установки для исследования свободных колебаний

Схема экспериментального стенда для изучения резонанса напряжений в последовательном колебательном контуре показана на рис. 1. Синусоидальный сигнал от генератора GFG8255A поступает через согласующую RC-цепочку на вход источника напряжения, собранного на операционном усилителе ОУ. Питание операционного усилителя осуществляется встроенным блоком-выпрямителем от сети переменного тока 220 Вольт (цепь питания на схеме не показана). Источник напряжения, обладающий по определению нулевым внутренним сопротивлением, фактически обеспечивает с высокой точностью постоянство амплитуды сигнала на меняющейся по величине нагрузке – последовательном колебательном контуре, изображенном на рисунке в виде эквивалентной схемы.

## Ход работы

1. Подготавливаем установку к работе и включаем приборы.
2. Выставляем на входе контура напряжение  $E = 175.5$  мВ, в течение всей работы поддерживая его постоянным.
3. Добиваемся получения двух отцентрированных синусоид на осциллографе. Убеждаемся, что одна из синусоид при изменении частоты  $f$  генератора меняет амплитуду относительно начала координат, в то время как амплитуда другой не меняется с погрешностью не более 1%.
4. Для контуров с семью различными ёмкостями, меняя их с помощью переключателя на блоке, измеряем резонансные частоты  $f_{0n}$  и напряжения  $U_C(f_{0n})$ . Регистрируем также напряжения  $E(f_{0n})$ , игнорируя отклонения в пределах относительной погрешности 1%.
5. Для контуров ёмкостями  $C_2 = 47.6$  нФ и  $C_5 = 68.0$  нФ снимаем амплитудно-частотные характеристики  $U(f)$  при том же напряжении  $E$ .
6. По данным из таблицы 1 построим на одном графике амплитудно-частотные характеристики в координатах  $f, U$ . См. рис. 2

| $C_2 = 47.6 \text{ нФ}$ |           |                  |         |                | $C_5 = 68.0 \text{ нФ}$ |           |                  |         |                |
|-------------------------|-----------|------------------|---------|----------------|-------------------------|-----------|------------------|---------|----------------|
| $n$                     | $f$ , кГц | $\sigma_f$ , кГц | $A$ , В | $\sigma_A$ , В | $n$                     | $f$ , кГц | $\sigma_f$ , кГц | $A$ , В | $\sigma_A$ , В |
| 1                       | 23.27     | 0.1              | 3.30    | 0.01           | 1                       | 19.60     | 0.1              | 2.89    | 0.01           |
| 2                       | 23.49     | 0.1              | 3.10    | 0.01           | 2                       | 19.32     | 0.1              | 2.54    | 0.01           |
| 3                       | 23.66     | 0.1              | 2.80    | 0.01           | 3                       | 19.20     | 0.1              | 2.28    | 0.01           |
| 4                       | 23.84     | 0.1              | 2.49    | 0.01           | 4                       | 19.00     | 0.1              | 1.93    | 0.01           |
| 5                       | 24.03     | 0.1              | 2.15    | 0.01           | 5                       | 18.94     | 0.1              | 1.81    | 0.01           |
| 6                       | 24.15     | 0.1              | 1.96    | 0.01           | 6                       | 18.77     | 0.1              | 1.57    | 0.01           |
| 7                       | 24.49     | 0.1              | 1.55    | 0.01           | 7                       | 18.55     | 0.1              | 1.34    | 0.01           |
| 8                       | 25.12     | 0.1              | 1.07    | 0.01           | 8                       | 18.19     | 0.1              | 1.06    | 0.01           |
| 9                       | 23.21     | 0.1              | 3.34    | 0.01           | 9                       | 19.55     | 0.1              | 2.86    | 0.01           |
| 10                      | 23.00     | 0.1              | 3.05    | 0.01           | 10                      | 19.88     | 0.1              | 2.66    | 0.01           |
| 11                      | 22.90     | 0.1              | 2.83    | 0.01           | 11                      | 20.00     | 0.1              | 2.47    | 0.01           |
| 12                      | 22.74     | 0.1              | 2.47    | 0.01           | 12                      | 20.18     | 0.1              | 2.17    | 0.01           |
| 13                      | 22.49     | 0.1              | 1.97    | 0.01           | 13                      | 20.27     | 0.1              | 2.01    | 0.01           |
| 14                      | 22.32     | 0.1              | 1.72    | 0.01           | 14                      | 20.41     | 0.1              | 1.80    | 0.01           |
| 15                      | 21.99     | 0.1              | 1.37    | 0.01           | 15                      | 20.72     | 0.1              | 1.43    | 0.01           |
| 16                      | 21.45     | 0.1              | 1.02    | 0.01           | 16                      | 21.20     | 0.1              | 1.05    | 0.01           |

Таблица 1: Результаты измерений

7. По тем же данным таблицы 1 построим на одном графике амплитудо-частотные характеристики в безразмерных координатах  $f/f_0, U/U_0$ . См. рис. 3. По ширине резонансных кривых на уровне определим добротности  $Q$  соответствующих контуров:  $Q_{C_2} = 20.6$  и  $Q_{C_5} = 17.2$ .

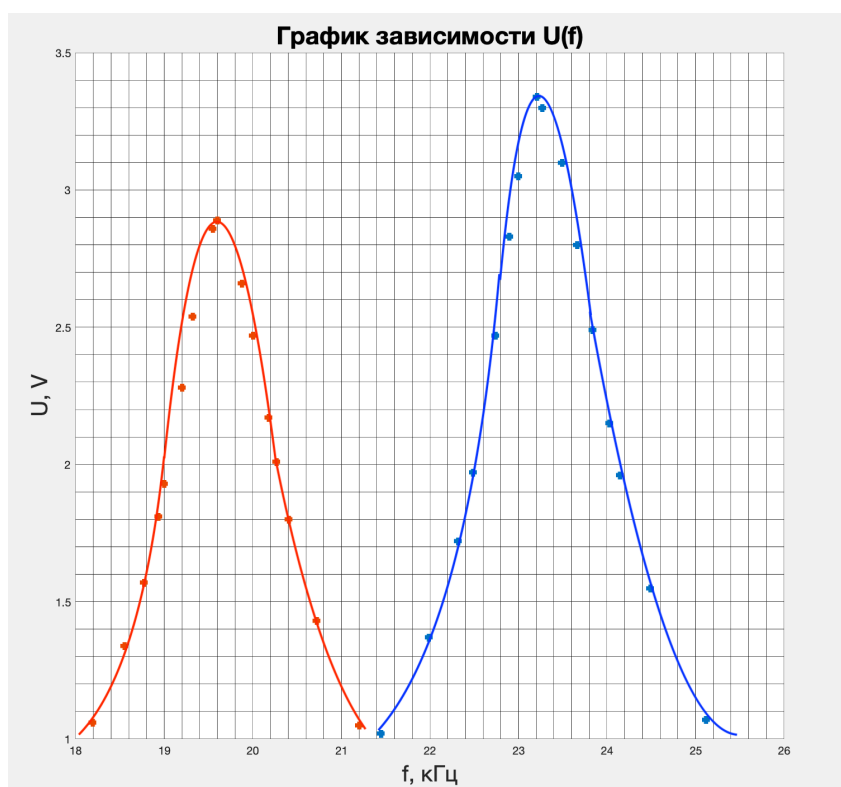


Рис. 2: Амплитудно-частотные характеристики

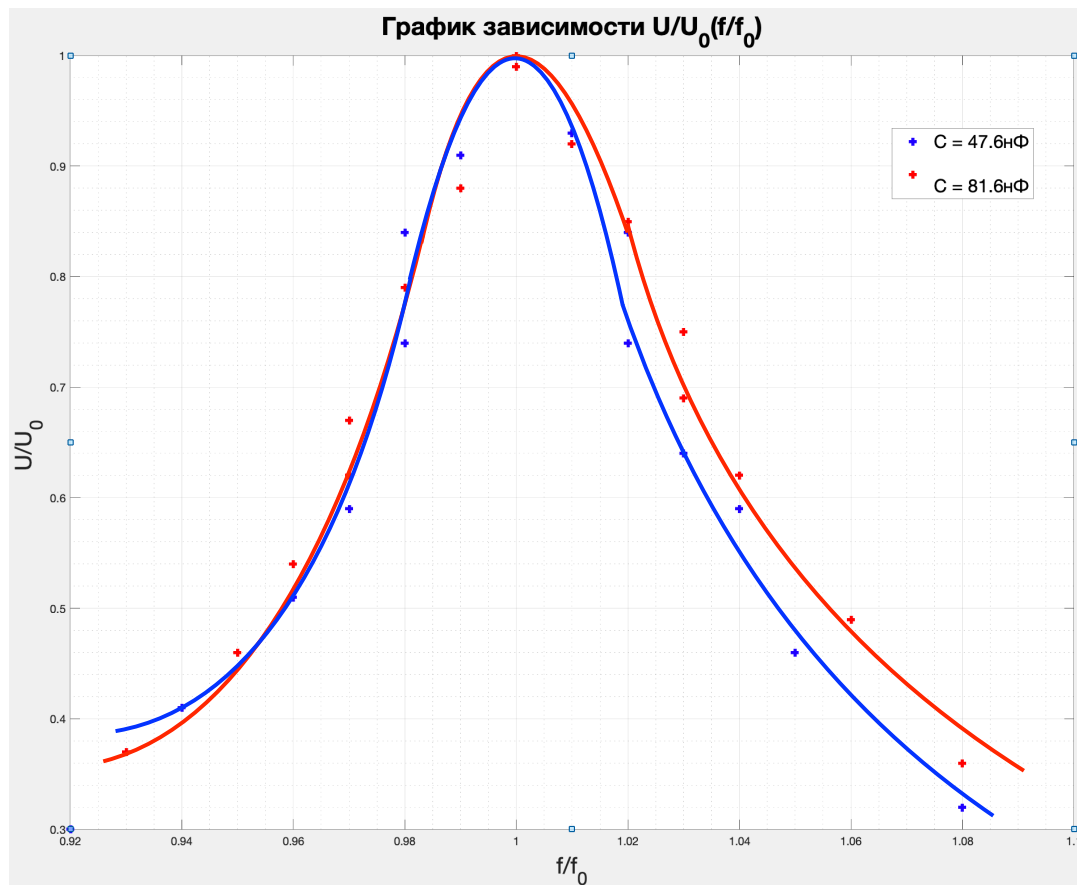


Рис. 3: Амплитудно-частотные характеристики

8. Для тех же двух контуров снимаем фазово-частотные характеристики  $\varphi_C(f)$  при том же напряжении  $E$ .

| $C_2 = 47.6 \text{ нФ}$ |           |                | $C_5 = 68.0 \text{ нФ}$ |           |                |
|-------------------------|-----------|----------------|-------------------------|-----------|----------------|
| $n$                     | $f$ , кГц | $-\varphi/\pi$ | $n$                     | $f$ , кГц | $-\varphi/\pi$ |
| 1                       | 23.21     | 0.46           | 1                       | 19.65     | 0.48           |
| 2                       | 23.47     | 0.61           | 2                       | 19.27     | 0.32           |
| 3                       | 23.57     | 0.64           | 3                       | 19.13     | 0.24           |
| 4                       | 23.69     | 0.69           | 4                       | 18.91     | 0.20           |
| 5                       | 23.93     | 0.75           | 5                       | 18.76     | 0.18           |
| 6                       | 24.26     | 0.80           | 6                       | 18.56     | 0.13           |
| 7                       | 24.56     | 0.83           | 7                       | 18.27     | 0.11           |
| 8                       | 25.11     | 0.88           | 8                       | 18.03     | 0.09           |
| 9                       | 23.20     | 0.46           | 9                       | 19.61     | 0.49           |
| 10                      | 22.95     | 0.34           | 10                      | 19.86     | 0.60           |
| 11                      | 22.77     | 0.27           | 11                      | 19.98     | 0.65           |
| 12                      | 22.67     | 0.23           | 12                      | 20.24     | 0.74           |
| 13                      | 22.51     | 0.18           | 13                      | 20.43     | 0.76           |
| 14                      | 22.20     | 0.14           | 14                      | 20.68     | 0.82           |
| 15                      | 21.71     | 0.10           | 15                      | 20.84     | 0.83           |
| 16                      | 21.35     | 0.08           | 16                      | 21.15     | 0.86           |

Таблица 2: Результаты измерений

9. По данным таблицы 2 построим на одном графике фазово-частотные характеристики в координатах  $f/f_0, \varphi_C/\pi$  для выбранных контуров. См. рис. 4. По этим характеристикам определим добротности контуров:  $Q_{C_2} = 20$  и  $Q_{C_5} = 16.4$ .

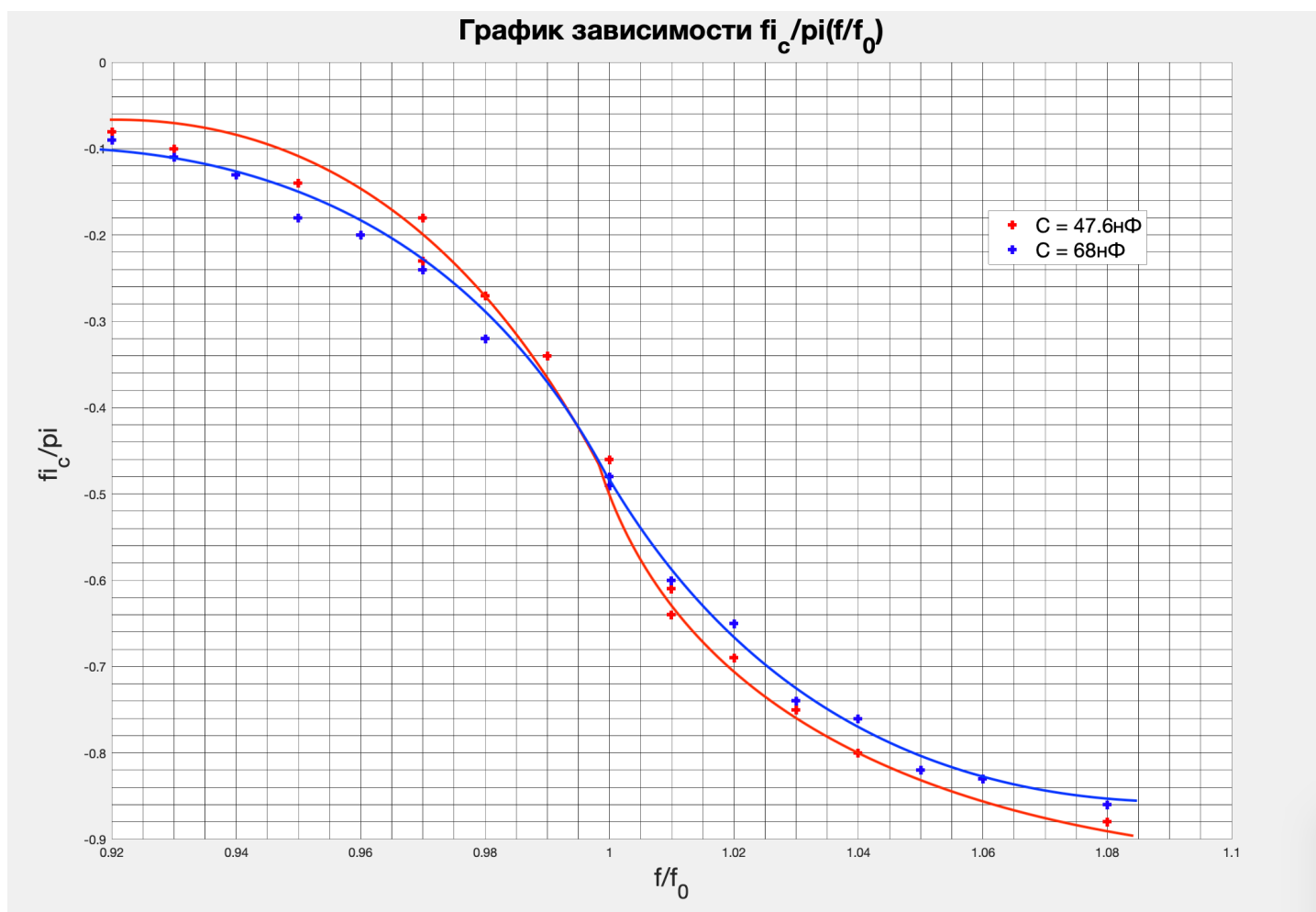


Рис. 4: Фазово-частотные характеристики

10. Результаты измерений представим в таблице.

| $n$                   | $C_n$ , нФ | $f_{0n}$ , кГц | $U_C$ , В | $E$ , мВ | $L$ , мкГн | $Q$  | $\rho$ , Ом | $R_\Sigma$ , Ом | $R_{S_{\max}}$ , Ом | $R_L$ , Ом | $I$ , мА |
|-----------------------|------------|----------------|-----------|----------|------------|------|-------------|-----------------|---------------------|------------|----------|
| 1                     | 24.8       | 32.20          | 4.38      | 175.5    | 986.1      | 25.0 | 199.4       | 7.99            | 0.20                | 4.34       | 21.97    |
| 2                     | 33.2       | 27.78          | 3.88      | 175.5    | 989.6      | 22.1 | 172.7       | 7.81            | 0.17                | 4.19       | 22.47    |
| 3                     | 47.6       | 23.27          | 3.35      | 175.5    | 983.7      | 19.1 | 143.8       | 7.53            | 0.14                | 3.94       | 23.30    |
| 4                     | 57.5       | 21.17          | 3.10      | 175.5    | 983.9      | 17.7 | 130.8       | 7.41            | 0.13                | 3.82       | 23.70    |
| 5                     | 68.0       | 19.42          | 2.88      | 175.5    | 988.7      | 16.4 | 120.6       | 7.35            | 0.12                | 3.78       | 23.88    |
| 6                     | 81.6       | 17.73          | 2.90      | 175.5    | 988.5      | 16.5 | 110.1       | 6.66            | 0.11                | 3.63       | 26.35    |
| 7                     | 102.8      | 15.82          | 2.42      | 175.5    | 985.5      | 13.8 | 97.9        | 7.10            | 0.10                | 3.55       | 24.72    |
| Среднее значение      |            |                |           |          | 986.6      | 18.6 | 139.3       | 7.41            | 0.14                | 3.89       | 23.77    |
| Коэффициент Стьюдента |            |                |           |          | 2.23       | —    |             |                 |                     | 2.26       | —        |

11. По данным таблицы построим график зависимости  $R_L(f_0)$ , также нанесём на него прямую  $\langle R_L \rangle$ . См. рис. 5

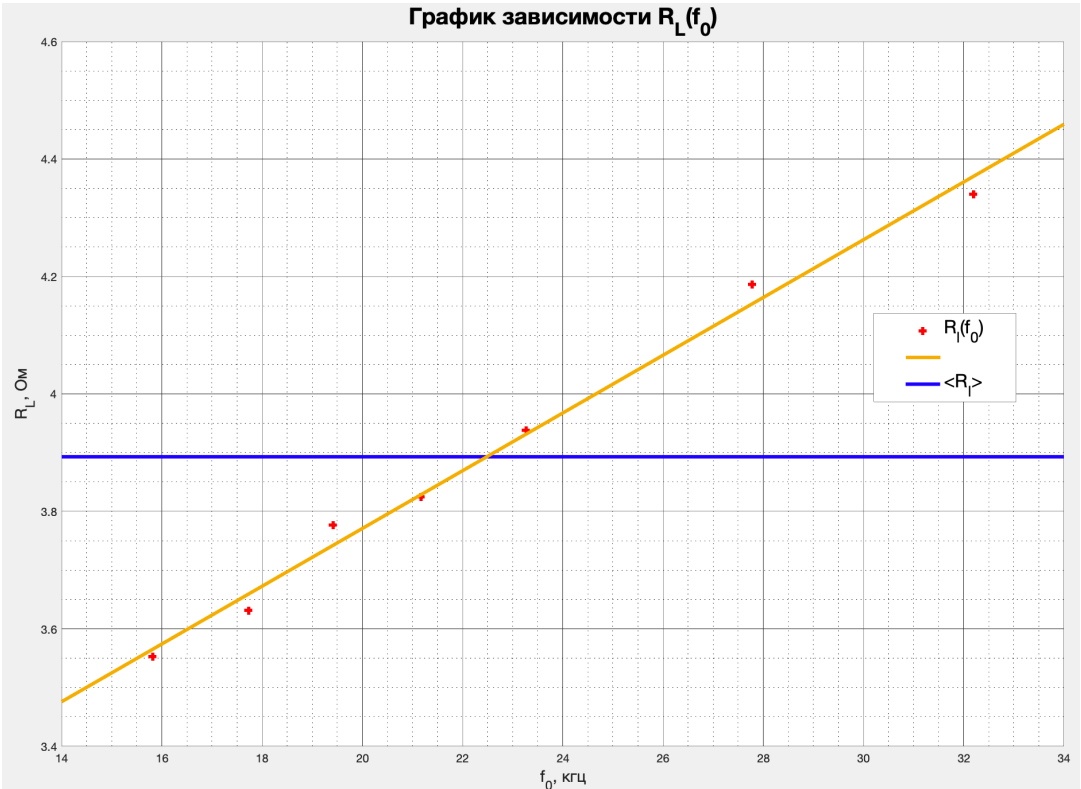


Рис. 5: график зависимости  $R_L(f_0)$

## Выводы

В данной работе мы исследовали резонансы напряжений в последовательном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, получали амплитудно-частотные характеристики, а также определили основные параметры контура.