

# МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.2.5

---

## Вынужденные колебания в электрическом контуре

---

*Автор:*

Ришат ИСХАКОВ  
513 группа

*Преподаватель:*

Александр Александрович  
КАЗИМИРОВ



19 ноября 2016 г.

# 1 Цель работы

Исследование вынужденных колебаний и процессов их установления. В работе используются: генератор звуковой частоты, осциллограф, вольтметр, частотомер, ёмкость, индуктивность, магазин сопротивлений, универсальный мост.

## 2 Теоретическая часть

В данной работе будем рассматривать колебания в электрическом колебательном контуре под воздействием внешней ЭДС, гармонически изменяющейся во времени. Получаем, что при подключении внешнего источника возникнут колебания, которые будем рассматривать как решение дифференциального уравнения:

$$L\ddot{I} + R\dot{I} + \frac{I}{C} = -\mathcal{E}\Omega \sin \Omega t, \quad (1)$$

в качестве суперпозиции двух синусоид:

$$I = Be^{-\gamma t} \sin(\omega t - \theta) + \frac{\mathcal{E}\Omega}{L\rho_0} \sin(\Omega t - \psi), \quad (2)$$

одна из которых с частотой собственных колебаний контура  $\omega$  и амплитудой, экспоненциально убывающей со временем; вторая - с частотой внешнего источника и постоянной амплитудой. Однако со временем собственные колебания затухают, и в контуре устанавливаются вынужденные колебания. А их амплитуда максимальна, когда знаменатель второй синусоиды  $\rho_0 = \sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + (2\gamma\Omega)^2}$  минимален, то есть  $\omega_0 = \Omega$  (частота внешнего сигнала совпадает с собственной частотой контура). Это явление и называется *резонансом*. Зависимость амплитуды колебаний от частоты внешнего напряжения называется *резонансной кривой*.

### 2.1 Резонансная кривая колебательного контура

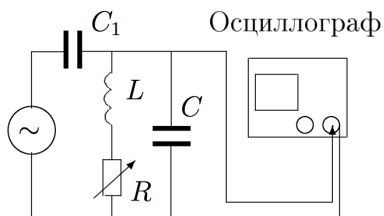
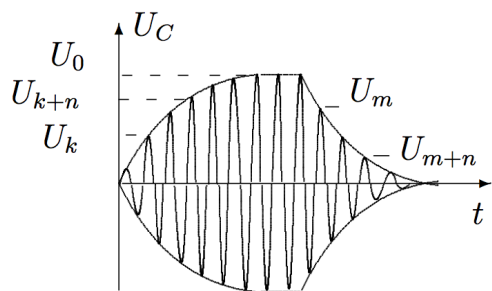


Рис. 1: Схема установки

Мы можем снять зависимость амплитуды напряжения на резисторе  $R$  от частоты на генераторе (при постоянной амплитуде выходного напряжения), однако для этого выходное сопротивление генератора должно быть много меньше импеданса контура. Для этого в цепи используется конденсатор  $C_1$ . И в таком случае импеданс внешней по отношению к контуру цепи был гораздо больше импеданса самого контура вблизи резонанса:

$$\frac{1}{\omega C_1} \gg |Z_{\text{рез}}| = \frac{L}{RC}$$

### 2.2 Процессы установления и затухания колебаний



Добротность контура можно определить и другими способами, например, по скорости затухания свободных колебаний. Подавая на контур цуги синусоид конечной длины, можно наблюдать процессы установления и затухания колебаний в контуре. И те, и другие могут быть использованы для определения добротности контура по скорости нарастания/затухания напряжения:

Рис. 2: Нарастание и затухание вынужденных колебаний

Измеряя амплитуды напряжения в какой-нибудь момент времени и через  $n$  периодов, можем посчитать добротность по формуле:

$$\Theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_0 - U_k}{U_0 - U_{k+n}}$$

$$Q = \frac{\pi}{\gamma T} = \frac{\pi}{\Theta}$$

### 3 Установка и параметры измерения

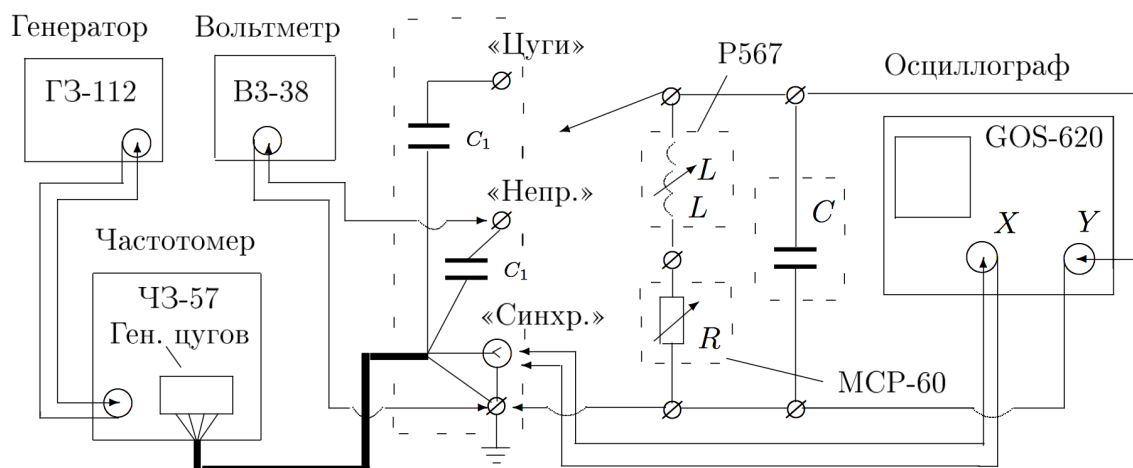


Рис. 3: Схема экспериментальной установки для исследования вынужденных колебаний

Идеальная схема, изображённая на рисунке 2, не соответствует действительности. Элементы цепи не идеальны и имеют паразитные сопротивления. Измерим все величины с помощью RLC – моста:

$$R_L = 24.6 \text{ Ом}, L = 99.97 \text{ мГн}, C = 103.34 \text{ нФ}, R = 105.7 \text{ Ом}$$

Снимем зависимость напряжения на конденсаторе от входной частоты, и получим таким образом резонансную кривую. Рассчитаем добротность контура при разных значениях резистора по известной формуле:

$$Q = \frac{\nu_0}{\Delta\nu}$$

|                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| U, В              | 4.10  | 4.40  | 4.90  | 5.40  | 6.00  | 6.80  | 7.80  | 8.60  | 9.50  | 9.80  | 9.80  | 9.00  | 8.40  | 7.20  | 6.60  | 9.90  | 9.60  | 9.40  | 9.70  | 9.70  | 9.60  | 9.80  |
| $\nu$ , Гц        | 1575  | 1584  | 1588  | 1591  | 1595  | 1600  | 1605  | 1609  | 1615  | 1624  | 1636  | 1566  | 1562  | 1560  | 1556  | 1553  | 1550  | 1546  | 1541  | 1535  | 1527  | 1517  |
| $\nu/\nu_0$       | 0.99  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.01  | 1.01  | 1.01  | 1.01  | 1.02  | 1.03  | 0.98  | 0.98  | 0.98  | 0.98  | 0.98  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 0.96  | 0.96  | 0.95  |
| U/U0              | 0.41  | 0.44  | 0.49  | 0.55  | 0.61  | 0.69  | 0.79  | 0.87  | 0.96  | 0.99  | 0.99  | 0.91  | 0.85  | 0.73  | 0.67  | 1.00  | 0.97  | 0.95  | 0.98  | 0.98  | 0.97  | 0.99  |
| $\Delta\nu/\nu_0$ | 6.22  | 6.25  | 6.27  | 6.28  | 6.30  | 6.32  | 6.34  | 6.35  | 6.38  | 6.41  | 6.46  | 6.18  | 6.17  | 6.16  | 6.14  | 6.13  | 6.12  | 6.10  | 6.08  | 6.06  | 6.03  | 5.99  |
| $\Delta U/U0$     | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |

Таблица 1: Полученные значения при  $R = 0$

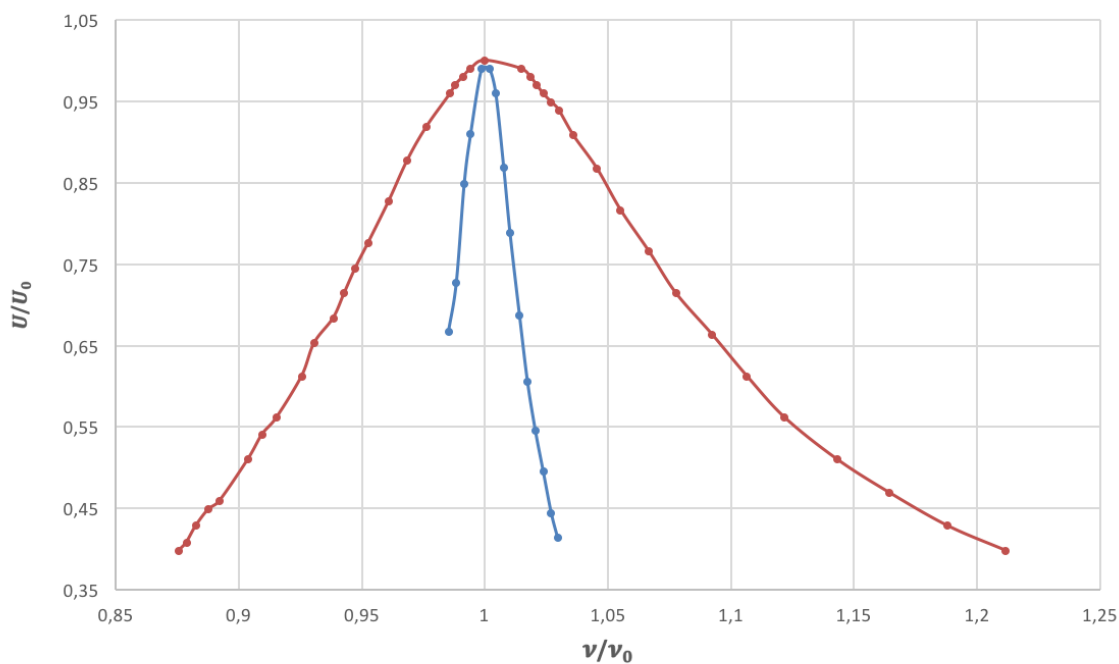


Рис. 4: Резонансные кривые для  $R = 100$  Ом и для  $R = 0$  Ом

**Экспериментальные значения добротностей:**

$$Q_{R=0} = 38.4 \pm 1.2$$

$$Q_{R=100} = 7.3 \pm 0.4$$

|                | Возрастание |      |      |     | Затухание |     |     |     |
|----------------|-------------|------|------|-----|-----------|-----|-----|-----|
| $R$ , Ом       | 0           |      |      | 100 | 0         |     | 100 |     |
| $U_n$ , мВ     | 44          | 68   | 56   | 16  | 680       | 380 | 152 | 164 |
| $U_{k+n}$ , мВ | 160         | 160  | 160  | 60  | 100       | 100 | 24  | 24  |
| $U_0$ , мВ     | 177         |      |      | 61  | -         |     |     |     |
| n              | 25          | 23   | 23   | 6   | 25        | 17  | 5   | 5   |
| Q              | 38.2        | 38.8 | 36.8 | 5   | 41        | 40  | 8.5 | 8.2 |

Таблица 2: Измерение добротности по нарастанию и затуханию

Экспериментальные значения добротности (нарастание напряжения):

$$Q_{R=0} = 38 \pm 4$$

$$Q_{R=100} = 5 \pm 2$$

Экспериментальные значения добротности (убывание напряжения):

$$Q_{R=0} = 40.5 \pm 3$$

$$Q_{R=100} = 8.3 \pm 2$$

Сравнение экспериментальных значений добротности, полученных разными методами

|             | Теория | Резонансная кривая | Нарастание | Убывание     |
|-------------|--------|--------------------|------------|--------------|
| $Q_{R=0}$   | 38.8   | $38.4 \pm 1.2$     | $38 \pm 4$ | $40.5 \pm 3$ |
| $Q_{R=100}$ | 7.51   | $7.3 \pm 0.4$      | $5 \pm 2$  | $8.3 \pm 2$  |

Таблица 3: Сравнение экспериментальных значений добротности, полученных разными методами

## 4 Вывод

Были изучены законы, описывающие переходные процессы в резонансном контуре, изучена резонансная кривая и определение добротности из разных физических соображений.