

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.2.5

# Вынужденные колебания в электрическом контуре

выполнила студентка группы Б04-108

Брюквина Дарья

# 1 Аннотация

В работе исследованы резонансные кривые при подаче на параллельный колебательный контур непрерывного гармонического сигнала. По ним определены резонансная частота и добротность контура при двух значениях активного сопротивления контура, а также определена добротность контура по декременту затухания колебаний в режиме электрических цугов.

# 2 Введение

Известно, что при подключении к контуру внешнего синусоидального источника в нем возникают колебания, представимые в виде суперпозиции двух синусоид: с частотой собственных колебаний, экспоненциально убывающей во времени, и с частотой внешнего источника и постоянной амплитудой. Целью данной работы являлось изучение зависимости получившейся амплитуды в контуре от частоты колебаний подаваемого сигнала, а также характеристик контура на основе полученной зависимости.

# 3 Методика

Рассмотрим процессы, протекающие в колебательном контуре, подсоединённом к внешней ЭДС. Для колебаний в контуре имеем, применяя метод комплексных амплитуд:

$$\ddot{I} + 2\gamma\dot{I} + \omega^2 I = -\varepsilon \frac{\Omega}{L} \sin(\Omega t) \Leftrightarrow \hat{\ddot{I}} + 2\gamma\hat{\dot{I}} + \omega^2 I = -\varepsilon \frac{\Omega}{L} e^{i\Omega t}, \quad (1)$$

где  $I$  - ток в цепи,  $\gamma$  - коэффициент затухания,  $\omega$  - частота собственная частота колебаний контура,  $\varepsilon$  - комплексная амплитуда колебаний,  $\Omega$  - частота внешнего источника,  $L$  - индуктивность контура.

Общим решением данного уравнения является суперпозиция синусоид: первая - с частотой собственных колебаний контура  $\omega$  и амплитудой, экспоненциально убывающей со временем; вторая - с частотой внешнего источника  $\Omega$  и постоянной амплитудой. Поскольку со временем собственные колебания затухают, и в контуре устанавливаются вынужденные колебания, следовательно амплитуда этих колебаний максимальна при совпадении частоты  $\Omega$  внешнего сигнала с собственной частотой контура  $\omega_0$ .

$$I = Be^{-\gamma t} \sin(\omega t - \theta) + \frac{\varepsilon_0 \Omega}{L \rho_0} \sin(\Omega t - \psi), \quad (2)$$

где  $\rho_0$  - волновое сопротивление контура,  $\psi$  и  $\theta$  - фазы колебаний.

Резонансная частота контура определяется по формуле

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (3)$$

где  $L$  и  $C$  - индуктивность контура и емкость конденсатора в контуре.

По графикам зависимости  $U/U_0 = f(\nu/\nu_0)$ , определялась добротность контура, используя формулу

$$Q = \frac{\nu_0}{2\Delta\nu}, \quad (4)$$

где  $\nu_0$  - резонансная частота, а  $2\Delta\nu$  - ширина резонансной кривой при  $U/U_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$

С другой стороны, добротность колебательного контура устанавливалась по скорости нарастания амплитуды вынужденных колебаний при резонансе или по скорости затухания

свободных колебаний. Для этого на контур подавались электрические цуги и фиксировался логарифмический декремент затухания, который связан с добротностью по формуле

$$\frac{\Theta}{\pi} = \frac{1}{n} \ln \frac{U_0 - U_k}{U_0 - U_{k+n}} = \frac{1}{Q}, \quad (6)$$

где  $U_k$  и  $U_{k+n}$  -  $k$ -ый и  $k+n$ -ый максимальные отклонения напряжений на конденсаторе (см. рисунок 1)

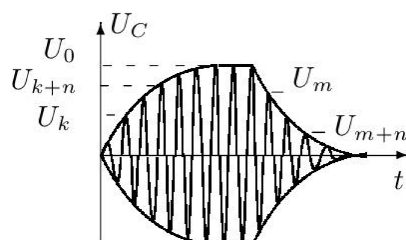


Рисунок 1. График зависимости амплитуды от времени для периодических электрических цугов.

В работе использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 2:

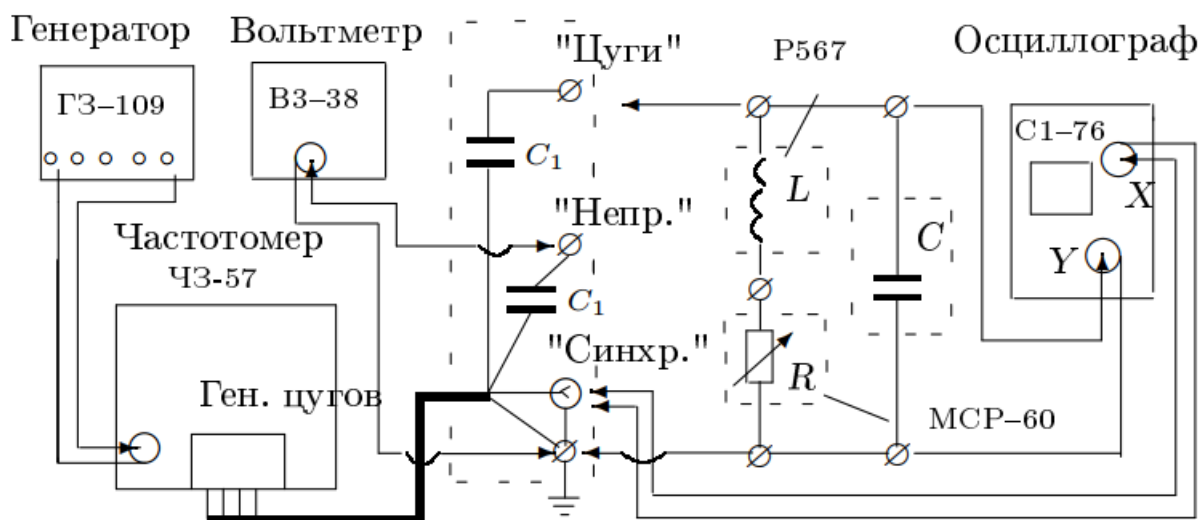


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки, "Непр." и "Синхр." клеммы подключения конденсатора, P567 - катушка индуктивности, MCP-60 - магазин сопротивлений.

Колебательный контур состоит из ёмкости  $C = 0,1$  мкФ, индуктивности  $L = 100$  мГн и переменного сопротивления  $R$ .

## 4 Результаты и их обсуждения

В результате работы была рассчитана собственная частота колебаний, которая оказалась равной  $\nu_0 = 1591,6$  Гц. Также была получена средняя частота резонанса контура, равная  $\nu_{\text{н}} = 1640 \pm 10$  Гц что оказалось больше собственной частоты колебаний. На основе этого можно сделать вывод, что несовершенство контура и клемм вносило вклад в колебания тока в контуре.

В ходе эксперимента были построены резонансные кривые для значений сопротивлений  $R_1 = 0$  Ом и  $R_2 = 100$  Ом (см рисунок 3). Заметим, что кривая сопротивления  $R_1$  ниже  $R_2$ , однако значения частоты резонанса совпадают, что подтверждает теоретические предположения о характере резонанса, а также показывает, что погрешность, вносимая установкой, не зависит от выбираемого на магазине сопротивления схемы.

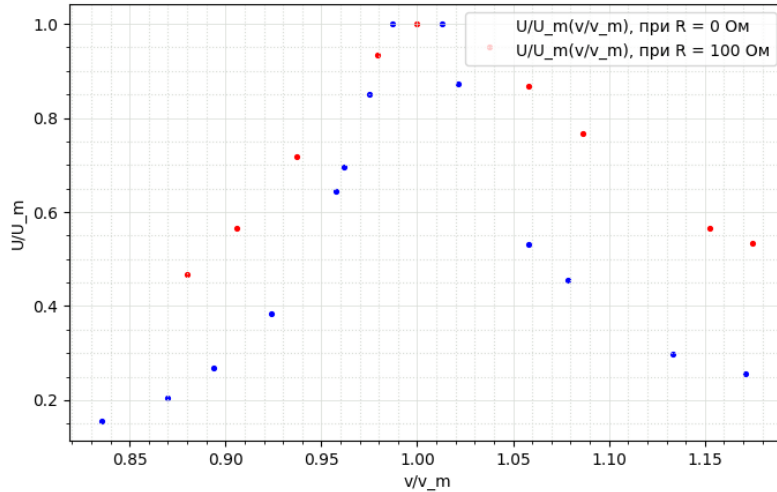


Рисунок 3. Графики зависимости  $(U_0/U_m) = f(\nu/\nu_m)$  для значений сопротивления магазина  $R_1 = 0\text{Ом}$  и  $R_2 = 100\text{Ом}$

Третьей частью работы было определение добротности контура по декременту затухания. Значения добротности оказались равными  $Q_1 = 11,2 \pm 0,1$ , для значения  $R_1$  и  $Q_2 = 6,7 \pm 0,2$  для  $R_2$ . Существенная разница в добротностях позволяет сделать вывод, что потери энергии на сопротивлении достаточно существенны и гораздо больше потерь энергии в контуре.

## 5 Выводы

В результате работы были получены резонансные кривые, которые показали наличие существенного вклада в резонансную частоты со стороны контура. Также было показано, что резонансная частота слабо зависит от сопротивления, подключаемого к контуру.

Была найдена добротность контура для разных значений сопротивления. Оказалось, что при изменении сопротивления добротность меняется в несколько раз (а именно в 2 раз при изменении сопротивления в 100 раз, что позволяет сделать вывод о том, что самые существенные потери энергии в контуре происходят именно на элементах сопротивления).