

Работа 3.2.5

Вынужденные колебания в электрическом контуре

Пунов Дмитрий Викторович

Группа Б03-105

3 октября 2022

Г. Долгопрудный

Аннотация

В работе исследованы методы определения добротности колебательного контура, такие как: метод резонансных кривых, метод с измерением скорости нарастания и затухания колебаний. С помощью этих методов получены значения добротности исследуемого контура и посчитаны теоретические значения. Также измерено активное сопротивление R_L и индуктивность L магазина индуктивности с помощью измерителя RLC на различных частотах.

Список обозначений и сокращений

Q – добротность

R – сопротивление

L – индуктивность

ω_0 – собственная частота контура

C – ёмкость

U – напряжение

Ω – частота внешнего напряжения

θ – логарифмический декремент затухания

Введение

Добротность является тем параметром колебательной системы, который определяет ширину резонанса и характеризует, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы на 1 радиан. Добротность обратно пропорциональна скорости затухания собственных колебаний в системе. То есть, чем выше добротность колебательной системы, тем меньше потери энергии за каждый период и тем медленнее затухают колебания. Если добротность системы низкая, то колебания в контуре затухают очень быстро и для поддержания их в режиме автоколебаний необходимо подпитывать контур внешней энергией, что может отразиться на результатах последующих измерений. Поэтому определение добротности, это критически важная задача при исследовании колебаний в электрическом контуре.

Методика измерений

Добротность колебательного контура может быть определена тремя способами: методом резонансных кривых, по теоретической формуле $Q = \frac{1}{R} \sqrt{L/C}$, а также по скорости нарастания и затухания колебаний.

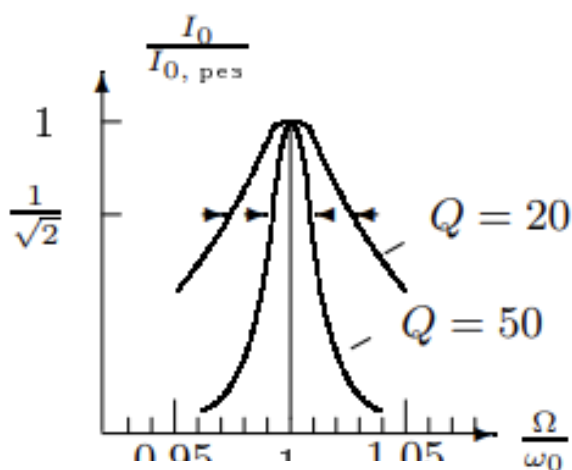


Рисунок 1. Резонансные кривые

Метод 1 (Метод резонансных кривых).

График приведенный на рис.1 носит название резонансной кривой. Уравнение (1):

$$\frac{U}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega_0}{\Omega} - \frac{\Omega}{\omega_0} \right)^2}}$$

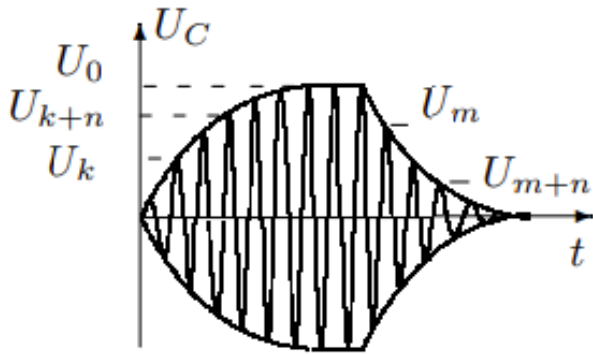
определяет форму резонансной кривой. Её ширина зависит от добротности контура. В области резонансной кривой, где $\frac{\Delta\Omega}{\omega_0} \ll 1$ формула принимает упрощённый вид (2):

$$\frac{U}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{2\Delta\Omega}{\omega_0} \right)^2}}$$

Форму резонансной кривой характеризуют шириной $2\Delta\Omega$, измеренной на уровне $U_0/\sqrt{2}$.

Тогда ширина кривой и добротность контура связаны соотношением (3):

$$Q = \frac{\omega_0}{2\Delta\Omega}$$



колебаний (4):

Рисунок 2. Нарастание и затухание вынужденных колебаний

$$\theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_k}{U_{k+n}}$$

Метод 2 (Нарастание и затухание колебаний).

Нарастание и затухание колебаний можно наблюдать на экране осциллографа если на контур подаются цуги (рис.2). Чем выше добротность, тем медленнее нарастают и затухают колебания в контуре. Количественные оценки можно провести, если определить логарифмический декремент затухания по скорости нарастания и затухания

Метод 3.

Использование теоретической формулы $Q = \frac{1}{R} \sqrt{L/C}$ (5) возможно при большой добротности исследуемого контура ($Q \gg 1$).

Описание установки

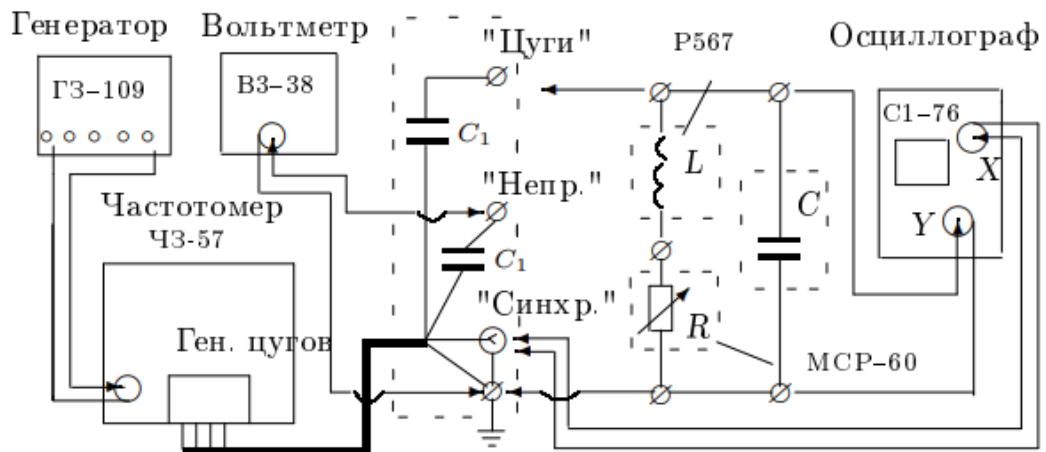


Рисунок 2. Схема установки

Установка, использованная в эксперименте, схематично изображена на Рис.2. Колебательный контур состоит из ёмкости $C = 0,1$ мкФ, индуктивности $L=100$ мГн и переменного сопротивления R . Синусоидальное напряжение от звукового генератора проходит через частотомер, позволяющий измерять рабочую частоту. После частотомера сигнал через ёмкость $C_1 \approx 600$ пкФ поступает на клеммы отдельной панели. Для наблюдения за процессом колебаний напряжение подаётся на вход

осциллографа. Чтобы картина на экране осциллографа была устойчивой, частота развёртки принудительно синхронизируется с частотой повторения цугов.

Результаты измерений и обработка данных

По снятой зависимости показаний вольтметра от показаний частотомера при $R=0$ Ом и $R=100$ Ом построили резонансные кривые (график зависимости U/U_m от ν/ν_m) (Рис 3.)

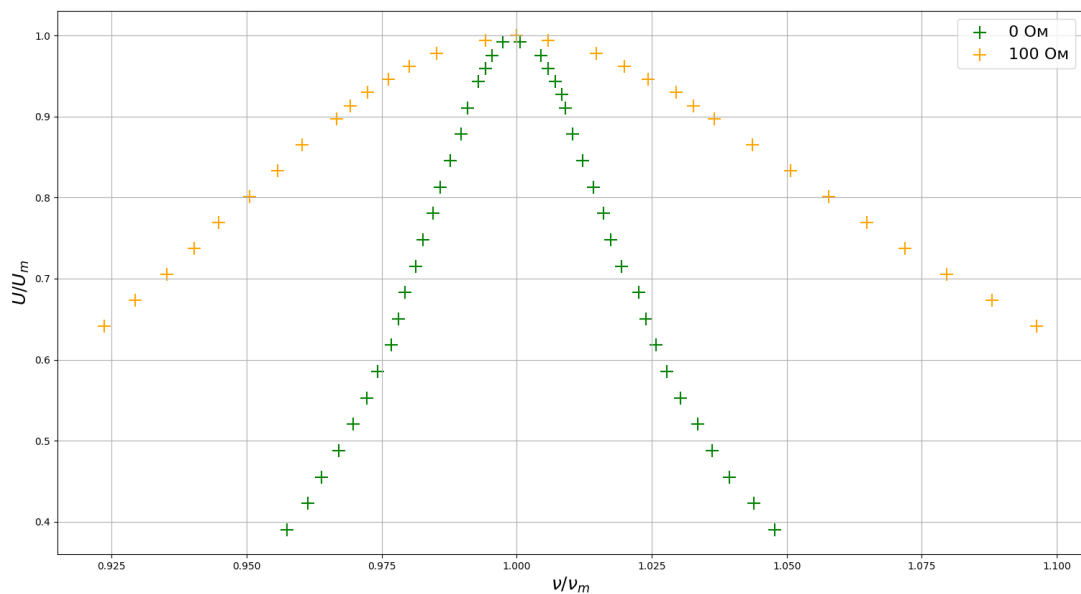


Рисунок 3. Резонансные кривые (зависимость U/U_m от ν/ν_m) для сопротивлений $R = 0$ Ом и $R = 100$ Ом для колебательного контура с $L=100$ мГн и $C=0,1$ мкФ.

Добротность определили методом резонансных кривых. По полученным данным нашли ширину резонансной кривой на уровне 0,707.

Добротность исследуемого контура, рассчитанная методом резонансных кривых по формуле (3):

$$Q_{R=0 \text{ Ом}} = 24,6 \pm 1,4$$

$$Q_{R=100 \text{ Ом}} = 7,0 \pm 0,4$$

По скорости нарастания и затухания колебаний методом 2 по формуле (4):

$$\sphericalangle Q_{R=0 \text{ Ом}} = 29,3 \pm 5,8$$

$$\nearrow Q_{R=0 \text{ Ом}} = 12,1 \pm 4,6$$

$$\sphericalangle Q_{R=100 \text{ Ом}} = 8,1 \pm 3,6$$

$$\nearrow Q_{R=100 \text{ Ом}} = 6,2 \pm 3,2$$

По формуле (5) рассчитали теоретическое значение добротности через параметры L , R и C исследуемого колебательного контура:

$$Q_{R=0 \text{ Ом}}^T = 32,5 \pm 1,8$$

$$Q_{R=100 \text{ Ом}}^T = 7,6 \pm 0,4$$

Обсуждение результатов

- 1) По полученным значениям можно сказать, что исследовался контур с достаточно высоким параметром добротности ($Q \gg 1$).
- 2) Погрешность *метода 2* оказалась значительно больше погрешности метода резонансных кривых ($\frac{\sigma_{\text{МПК}}}{\sigma_{\text{М2}}} \approx 5$).

Вывод

R, Ом	R + R _L , Ом	Q			
		МПК	Нарастание	Затухание	Теор. значение
0	30,8	29,6 ± 1,4	12,1 ± 4,6	29,3 ± 5,8	32,5 ± 2,7
100	130,8	7,0 ± 0,4	6,2 ± 3,2	8,1 ± 3,6	6,2 ± 0,4

Таблица 1. Значения добротности полученные разными методами

По результатам проведённых измерений нашли добротность исследуемого колебательного контура тремя различными методами. Значения добротности, полученные *методом 1*, совпали со значениями, рассчитанными теоретически: $29,6 \pm 1,4$ и $32,5 \pm 2,7$ для $R = 0 \text{ Ом}$, $7,0 \pm 0,4$ и $6,2 \pm 0,4$ для $R = 100 \text{ Ом}$. При этом метод с измерением скорости нарастания и затухания колебаний дал менее точные результаты. Значительный вклад в погрешность значений, полученных этим методом могли внести малое количество измерений и неточность при измерении амплитуд колебаний.

Список литературы

- 1) Никулин. М.Г., Попов П.В., Нозик А.А. Лабораторный практикум по общей физике : учеб. пособие в трёх томах. Т. 2. Электричество и магнетизм. - 2-е изд. – М.: МФТИ, 2019. - 370 с.
- 2) Сивухин Д.В. Электричество. - 4-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 656 с.