

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ОТЧЁТ
О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Определение добротности
колебательного контура

Руководитель,
ассистент, кандидат физ.-мат. наук _____ Амброзевич С.А.

Долгопрудный 2022

Реферат

В работе получены значения добротности параллельного контура с внешним гармоническим источником тока и заданными параметрами L, C, R – индуктивности, ёмкости и сопротивления соответственно. Для измерений использовались два подхода: измерение ширины резонансной кривой и вычисление логарифмического декремента в процессе установления и затухания колебаний. Полученные значения мы сравнили с теоретическим расчётом через параметры контура и установили, что значения сходятся в рамках погрешности.

Содержание

Введение	4
1 Методика	5
1.1 Исследование резонансных кривых	6
1.2 Процессы установления и затухания	7
2 Обсуждение результатов	8
Заключение	10
Список использованных источников	11

Введение

Добротностью колебательной системы Q в широком смысле называют *отношение запасённой в системе энергии к потере этой энергии за время изменения фазы колебания на 1 радиан*. Перед нами стоит проблема измерения этой важнейшей характеристики, так как значение не может быть измерено непосредственно с помощью физического прибора. Чтобы измерить добротность, нужно учесть ряд параметров системы и провести измерения зависимостей этих параметров от времени. Системы с большой добротностью ($Q \gg 1$) имеют множество практических применений. Это обуславливается их стабильностью во времени, ведь потери энергии относительно малы.

В нашем случае в роли исследуемой системы будет выступать колебательный контур, добротность которого в работе была измерена несколькими способами с помощью современного оборудования.

1 Методика

Для измерения добротности колебательного контура, мы использовали генератор сигналов, подключенный параллельно контуру и сигнал которого менялся по гармоническому закону, а также цифровой осциллограф, который был подключен параллельно ёмкости контура.

Полная схема экспериментальной установки, использованной в работе, изображена на рис. 1.1.

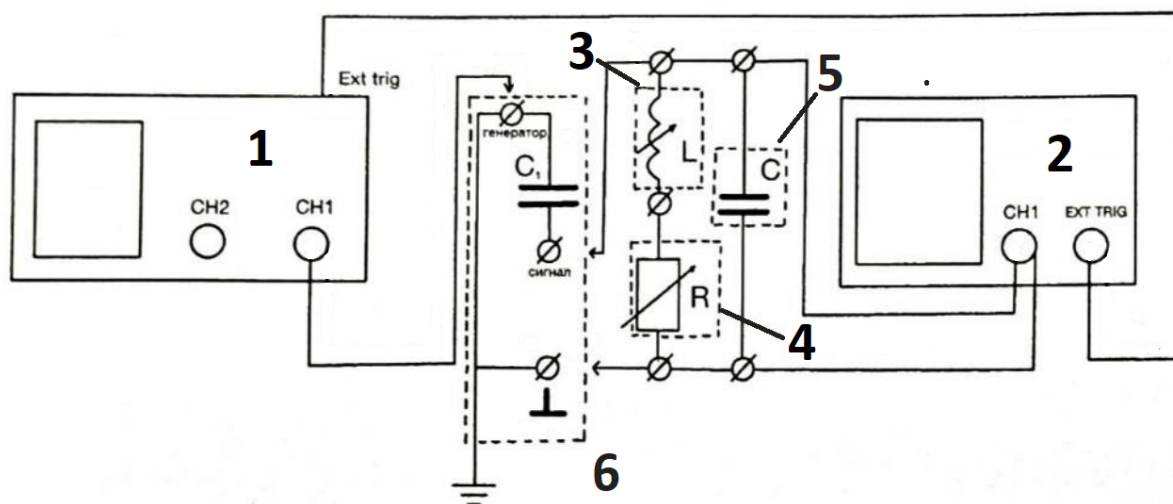


Рисунок 1.1 — Экспериментальная установка: 1 – Генератор сигналов АКИП-3409/4; 2 – Цифровой осциллограф ADS-2121MV; 3 – Магазин индуктивностей Р567 с индуктивностью L и сопротивлением R_L ; 4 – Магазин сопротивлений МСР-60 сопротивления R ; 5 – Конденсатор ёмкости C ; 6 – Конденсатор ёмкости C_1 .

Ёмкость C_1 необходима для того, чтобы выходной импеданс генератора был много меньше импеданса контура и не влиял на процессы, происходящие в контуре.

При заведомо большой добротности можно воспользоваться формулой 1.1.

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.1)$$

Далее будут описаны методы нахождения добротности контура, которыми мы пользовались в своей работе.

1.1 Исследование резонансных кривых

При подключении к контуру внешнего синусоидального источника в нём возникают колебания, которые можно представить как суперпозицию двух синусоид (1.2 [1, раздел II]): первая – с частотой собственных колебаний контура и амплитудой, экспоненциально убывающей со временем; вторая – с частотой внешнего источника и постоянной амплитудой:

$$U_c(t) = \frac{Q\mathcal{E}_0\omega_0/\omega}{\sqrt{1 + (\tau\Delta\omega)^2}} [\sin(\omega t - \psi_I) - e^{-\gamma t} \sin(\omega_0 t - \psi_I)] \quad (1.2)$$

Со временем *собственные колебания затухают*, и в контуре устанавливаются вынужденные колебания. Амплитуда этих колебаний максимальна при резонансе: совпадении или достаточной близости частоты внешнего сигнала и собственной частоты контура. Зависимость амплитуды установившихся колебаний от частоты внешнего сигнала называется *резонансной кривой*.

В экспериментальном нахождении этой кривой и заключается первый подход.

Сначала по формуле 1.3 [1, раздел II] мы рассчитали резонансную частоту контура:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi LC}, \quad (1.3)$$

затем, изменяя частоту генератора вблизи резонансной частоты и наблюдая синусоиду на экране осциллографа, убедились, что амплитуда колебаний максимальна при достижении резонансной частоты.

Меняя частоту генератора в обе стороны от резонансной и снимая значения амплитуды с осциллографа, мы получили экспериментальную зависимость амплитуды напряжения на обкладках конденсатора в контуре от частоты генератора.

Таким образом, построив график в безразмерных координатах $U/U_0 = f(\nu/\nu_0)$ и измерив «ширину» кривой на уровне $\frac{1}{\sqrt{2}}$, мы можем найти значение добротности контура. Чем шире кривая, тем меньше добротность у контура.

1.2 Процессы установления и затухания

Добротность контура можно определить и другими способами, например, по скорости нарастания амплитуды вынужденных колебаний при резонансе или по скорости затухания свободных колебаний:

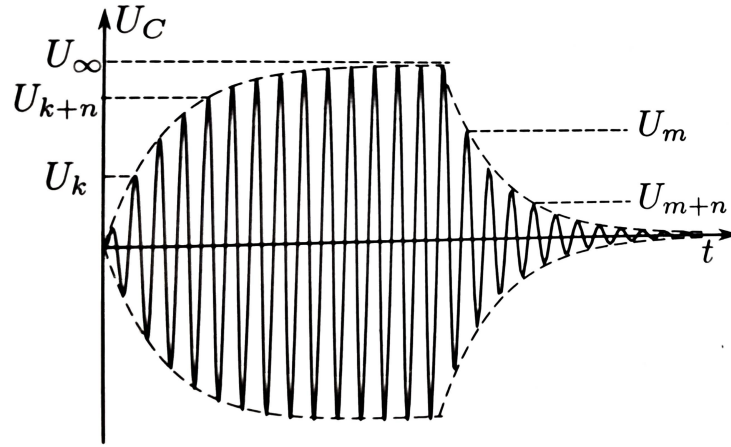


Рисунок 1.2 — Нарастание и затухание вынужденных колебаний

Нарастание и затухание колебаний (рис. 1.2) можно наблюдать на экране осциллографа, если на контур подаются цуги. Чем выше добротность, тем медленнее нарастают и медленнее убывают колебания в контуре. Получить непосредственно значение Q можно, измерив логарифмический декремент затухания по скорости нарастания или затухания колебаний по формуле 1.4: [1, раздел II]:

$$\Theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_0 - U_k}{U_0 - U_{k+n}}, \quad (1.4)$$

$$Q = \frac{\pi}{\Theta}. \quad (1.5)$$

2 Обсуждение результатов

Параметры используемой нами установки:

$$C = 100.0 \pm 0.3 \text{ пФ}$$

$$L = 100.0 \pm 0.2 \text{ мГн}$$

$$R_L = 30.4 \pm 0.1 \text{ Ом}$$

Кроме того, в нашей работе использовались две различных цепи с параметрами, приведёнными выше, но отличающиеся значением дополнительного сопротивления, последовательно подключенного в контур:

$$R_1 = 30.0 \pm 0.1 \text{ мОм}$$

$$R_2 = 100.02 \pm 0.3 \text{ Ом}$$

При обработке экспериментальных данных мы получили две резонансные кривые (рис. 2.1).

Как и ожидалось, кривая, отвечающая большему сопротивлению, оказалась шире, так как при большем сопротивлении в системе увеличиваются потери, а значит, уменьшается добротность.

Измерив ширину кривых на уровне красной линии, мы рассчитали два значения добротности контура. Далее были посчитаны значения добротности с помощью декремента затухания. Полученные результаты сведены в таблицу ??.

Прим.: При вычислении добротности через функцию $f(LCR)$, мы пользовались формулой 1.1, которая была заведомо получена для случая $Q \gg 1$. Так как в результате эксперимента было установлено, что это условие выполняется, мы можем говорить об уместности использования этой формулы и опираться на полученное с её помощью значение добротности.

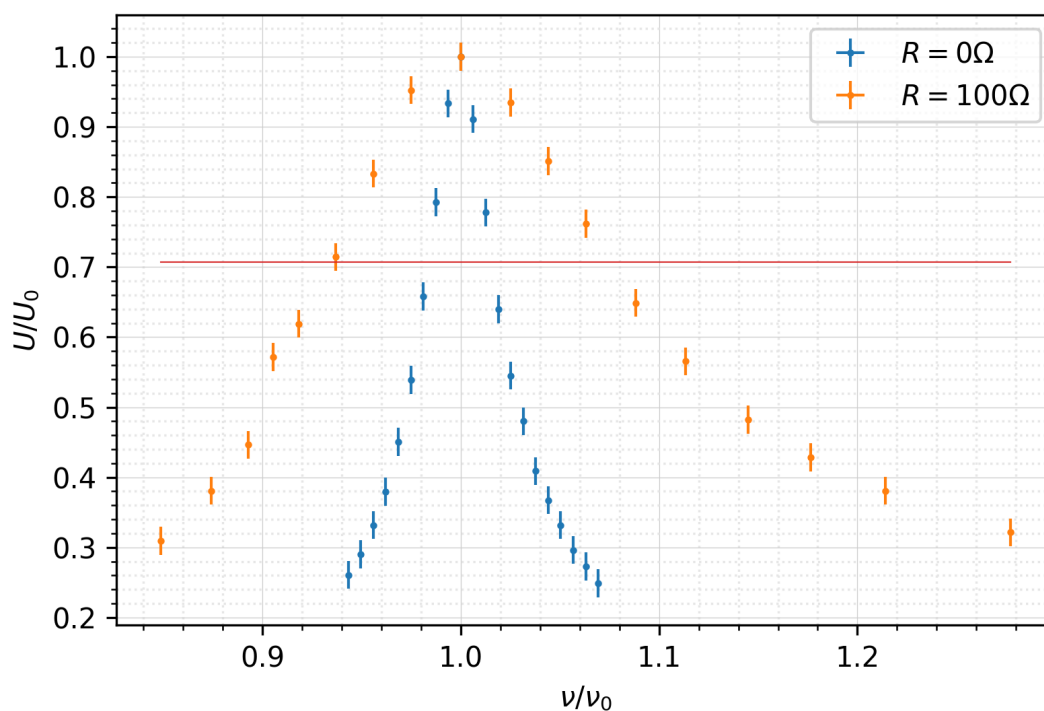


Рисунок 2.1 — Резонансные кривые в безразмерных координатах для параллельного колебательного контура, где ν_0 — резонансная частота, а U_0 — амплитуда сигнала при этой частоте

R Ом	$R_{\text{конт}}$	Рез. кривая	Возрастание	Затухание	$f(LCR)$
0	30.45	31.58 ± 1.32	27.54 ± 4.23	33.32 ± 5.40	32.89 ± 0.80
100	130.44	7.19 ± 0.64	7.46 ± 0.90	10.73 ± 1.20	7.67 ± 0.16

Таблица 2.1 — Результаты измерения добротности контура для двух значений $R_{\text{конт}}$ тремя различными способами — по ширине резонансной кривой, по возрастанию и затуханию колебаний при подаче с внешнего генератора цугов

Заключение

Сравнивая полученные значения добротности, мы пришли к выводу, что каждый из подходов обладает своими особенностями, но каждый из них хорошо ложится на теоретическую модель, представленную в [1]. Расхождения и большая погрешность во втором методе может быть связана с недостаточным количеством экспериментальных точек и несовершенностью подхода к их измерению непосредственно на экране осциллографа.

Несмотря на это, все используемые подходы показали, что они позволяют получить приближённое к реальному значение добротности колебательного контура, но подход с вычислением ширины резонансной кривой позволяет получить значение добротности быстрее всего и с минимальной погрешностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. М.Г., Никулин. Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Электричество и магнетизм / Никулин М.Г., Попов П.В., Нозик А.А. — Москва: МФТИ, 2019. — 370 с.