

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.2.5

Вынужденные колебания в электрическом контуре

выполнил студент группы Б02-103

Силаев Вадим

Долгопрудный, 2022 г.

Аннотация

В работе проведено исследование вынужденных колебаний в параллельной электрической цепи, под действием внешнего напряжения, меняющегося по синусоидальному закону со временем, рассчитана добротность двумя способами: по ширине резонансной кривой и по скорости установления и затухания колебаний. Для получения резонансной кривой использован источник напряжения с возможностью перестройки частоты, а для анализа переходных процессов — генератор "цугов—отрезков синусоиды, разделённых интервалами, в течение которых сигнал отсутствует. В результате установлена применимость обеих методик, а также предложен способ увеличения точности измерения для одной из них.

Введение

Вынужденные колебания — колебания, происходящие под действием внешних периодических сил. В случае колебаний в электрическом контуре имеются ввиду колебания тока и напряжения при подключенном источнике переменного напряжения. Резонансные процессы, возникающие при подаче сигнала с определенной частотой, в колебательных контурах используются в элементах настройки, электрических фильтрах. Одной из важнейших характеристик резонанса является полоса пропускания, то есть диапазоном частот, в котором реакция системы мало отличается от реакции на резонансной частоте, которая неразрывна связана с добротностью, величиной определяющей ширину полосы пропускания. Существует несколько методов определения добротности системы, но не все из них обладают достаточной точностью. Работа посвящена определению точности двух основных методов: анализа резонансных кривых и анализа переходных процессов в системе.

Методика

Первый метод определения добротности заключается в использовании определения^[2]:

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

где Q — добротность, ν_0 — резонансная частота, $\Delta\nu$ — ширина резонансной кривой на уровне $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

Соответственно, для проведения необходимых измерений использован генератор напряжения с возможностью перестройки частоты.

Также добротность колебательного контура можно установить по скорости нарастания амплитуды вынужденных колебаний при резонансе или по скорости затухания свободных колебаний. Наблюдать эти явления на осциллографе можно, если на контур подаются цуги. Чем выше добротность, тем медленнее нарастают и медленнее затухают колебания в контуре. Логарифмический декремент затухания связан с добротностью и при исследовании затухания колебаний может быть вычислен по формуле^[1]:

$$\Theta = \frac{\pi}{Q} = \frac{1}{n} \ln \frac{U_k}{U_{k+n}},$$

а при установлении колебаний в контуре

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

Таким образом, для проведения измерений по второй методике использованы генератор цугов и осциллограф.

Схема установки

Схема установки для исследования вынужденных колебаний приведена на рис. 1. Колебательный контур состоит из конденсатора с ёмкостью C , катушки с индуктивностью L и магазина сопротивлений R . Синусоидальный сигнал генерируется звуковым генератором (ЗГ), а сигнал, состоящий из отрезков синусоиды (цугов), формируется цифровым генератором электрических сигналов произвольной формы или комбинацией генератора синусоидального сигнала звукового диапазона и электронного реле, прерывающего сигнал с заданной периодичностью. Результирующие сигналы — цуги или непрерывная синусоида — поступают по отдельным каналам через одинаковые небольшие ёмкости C_1 соответственно на клеммы «цуги» и «непр.», смонтированные на панели «П», на которой расположены также клеммы «синхр.» (синхронизация) и земля. При подключении контура к земле и через амперметр A к клемме «непр.» на него подаётся непрерывный сигнал — синусоида; если контур подключён к земле и к клемме «цуги» — на контур поступают отрезки синусоиды.

Для визуального наблюдения за процессом колебаний напряжение с ёмкости контура C подаётся на вход электронного осциллографа. Чтобы картина на экране была устойчивой, частота развёртки осциллографа принудительно синхронизируется с частотой повторения цугов. Для этого на генератор развёртки ЭО подаются следующие с частотой повторения цугов управляющие импульсы, формируемые в блоке электронного реле, клемма «синхр.» которого смонтирована на панели «П»^[1].

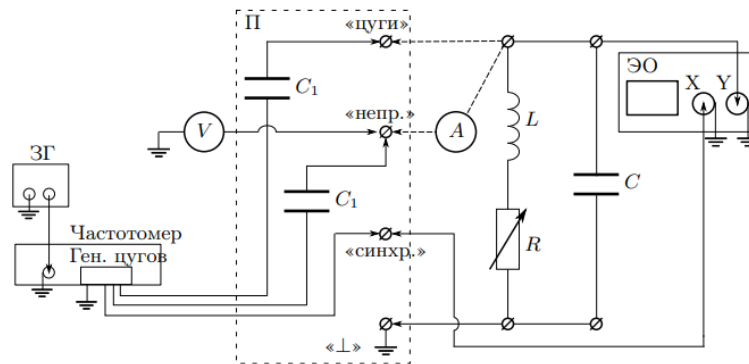


Рис. 1: Схема установки

Практическая часть

Резонансная кривая

В результате проведения измерений была получена зависимость напряжения на конденсаторе от частоты подаваемого сигнала (рис. 2)

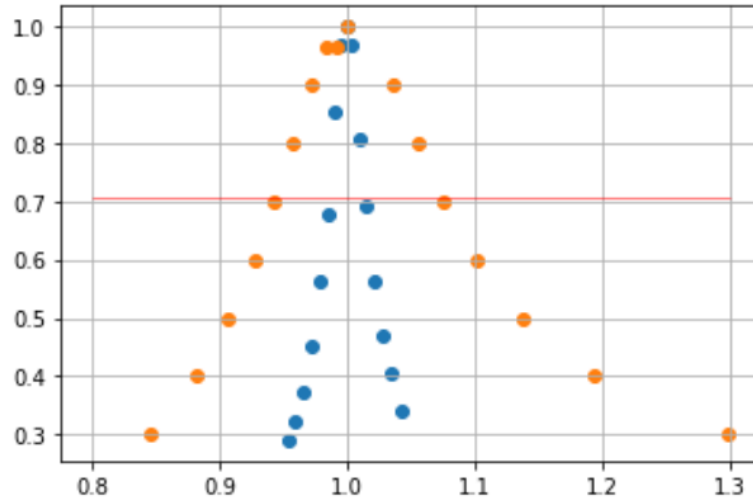


Рис. 2: Резонансная кривая:

По вертикали — отношение напряжения на конденсаторе к резонансному

По горизонтали — отношение частоты сигнала к резонансной

Синие точки соответствуют сопротивлению резистора $R = 0$ Ом

Синие точки соответствуют сопротивлению резистора $R = 100$ Ом

Ширина кривой на высоте $\frac{1}{\sqrt{2}}$ для $R = 0$ Ом составила $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 0,031 \pm 0,006$, следовательно добротность $Q_0 = 32,2 \pm 6,4$.

Аналогично для $R = 100$ Ом ширина полосы пропускания — $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 0,13 \pm 0,01$ и, следовательно, добротность $Q_{100} = 7,7 \pm 0,6$.

Установление и затухание колебаний

При измерениях по второй методике на экране осциллографа наблюдалась следующая картина (рис. 3):

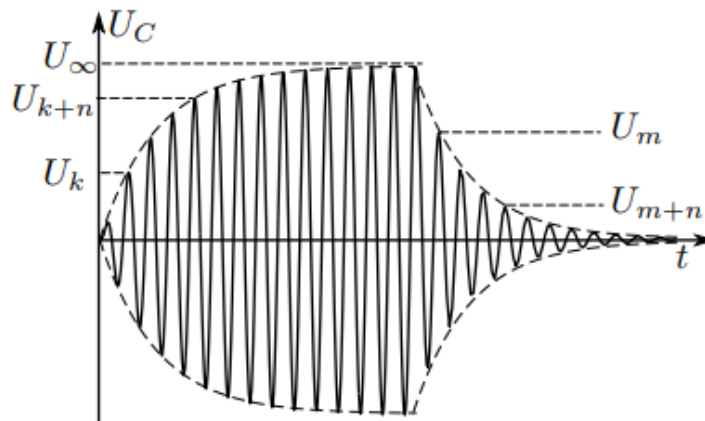


Рис. 3: Процессы нарастания и затухания колебаний

Логарифмический декремент затухания определен для обеих схем по нескольким парам точек с помощью формул из введения:

Для $R = 0$ Ом: $\Theta_0^{up} = 0,11 \pm 0,01$, $\Theta_0^{down} = 0,09 \pm 0,01$, то есть $\Theta_0 = 0,100 \pm 0,014$, следовательно $Q_0 = 31,4 \pm 4,3$.

Для $R = 100$ Ом: $\Theta_{100}^{up} = 0,40 \pm 0,04$, $\Theta_{100}^{down} = 0,40 \pm 0,02$, то есть $\Theta_{100} = 0,40 \pm 0,03$, следовательно $Q_{100} = 7,8 \pm 0,6$.

Теоретическая оценка

Для определения теоретического значения добротности использована формула:

$$Q = \frac{2\pi L}{R_L + R},$$

где L — индуктивность катушки, R_L — сопротивление катушки измеренное LCR-метром.

При использовании данной формулы получились значения: $Q_0^{\text{теор}} = 40$, $Q_{100}^{\text{теор}} = 8$.

Выводы

Совпадение результатов полученных при использовании разных методик позволяет заявить о достоверности результатов, однако несовпадение измеренных значений с теоретическими при нулевом сопротивлении резистора вероятно свидетельствует о недооцененных сопротивлениях элементов схемы. Также понятно, что основным источником погрешности при измерении добротности по ширине резонансной кривой является недостаточное количество точек вблизи уровня, на котором измеряется ширина, что означает возможность существенного увеличения точности путем измерения большего количества точек.

Список литературы

1. Лабораторный практикум по общей физике. В 3 томах. Том 2. Электричество и магнетизм: учебное пособие под ред. А. В. Максимычева, М. Г. Никулина, 2019. — 370 с.
2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. В 5-ти томах. Том 3. Электричество М.: Наука, 1977. — 704 с.