

Задача 3.2.5

Вынужденные колебания в электрическом контуре

Лось Денис (группа 611)

9 ноября 2017

Цель работы: исследование вынужденных колебаний и процессов их установления.

В работе используются: генератор звуковой частоты, осциллограф, вольтметр, частотомер, ёмкость, индуктивность, магазин сопротивлений, универсальный мост.

Экспериментальная установка

Для экспериментального исследования резонансной кривой тока в последовательном колебательном контуре можно снять зависимость амплитуды напряжения на резисторе R от частоты генератора (при постоянной амплитуде выходного напряжения на генераторе). Однако импеданс этого контура будет включать в себя также выходной импеданс генератора. Нам следует убедиться, что выходной импеданс генератора много меньше импеданса контура и не влияет на процессы, происходящие в контуре.

Чтобы устранить влияние импеданса генератора, можно использовать принципиальную схему, изображённую на рис.1: синусоидальный сигнал с генератора подаётся на параллельный колебательный контур через небольшую разделительную ёмкость C_1 .

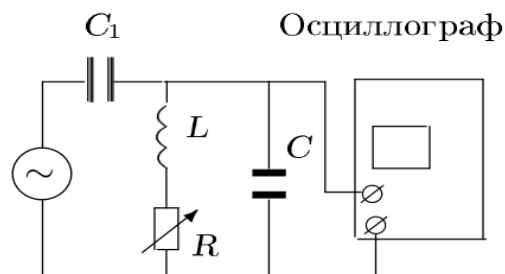


Рис. 1: Принципиальная схема установки для исследования вынужденных колебаний

Зависимость амплитуды этого напряжения от частоты генератора будет практически совпадать с резонансной кривой для последовательного контура, если импедансы возбуждающей и измеряющей цепей намного превосходят импеданс самого контура вблизи резонанса $Z_{\text{рез}} = L/(RC) = Q/(\Omega C)$. Разделительная ёмкость C_1 выбирается настолько малой, что в рабочем диапазоне частот её импеданс $Z_{C_1} = 1/(\Omega C_1)$ много больше импеданса контура, поэтому в цепи генератора течёт ток практически с постоянной амплитудой, а колебательный контур выполняет роль нагрузочного сопротивления, которое, в свою очередь, зависит от частоты. Поскольку в резонансе сопротивление $Z_{\text{рез}}$ параллельного контура максимально, то и напряжение на ёмкости C тоже максимально. Входное сопротивление осциллографа должно быть достаточно велико $R_{\text{зо}} = 1 \text{ МОм}$.

Таким образом, при выполнении условий

$$Z_{C_1} = \frac{1}{\Omega C_1} \gg |Z_{\text{рез}}| = \frac{Q}{\Omega C}, \quad R_{\text{зо}} \gg \frac{Q}{\Omega C}$$

и при условии, что действительная часть импеданса катушки много меньше её мнимой части, резонансная кривая в нашем контуре будет выглядеть так же, как и в последовательном: максимум амплитуды при резонансе. Схема экспериментальной установки для исследования вынужденных колебаний приведена на рис.2.

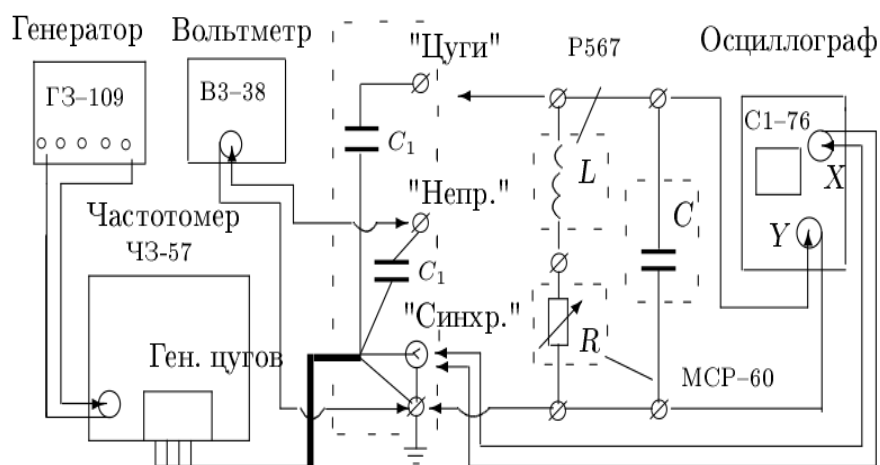


Рис. 2: Схема экспериментальной установки для исследования вынужденных колебаний

Ход работы

Исследование резонансных кривых

Соберём схему согласно рис.2, установив на магазине индуктивностей значение $L = 100 \text{ мГн}$, а на магазине сопротивлений $R = 0 \text{ Ом}$. В данной экспериментальной установке $C = 0.1 \text{ мкФ}$ ($\sigma_C = 2\%$). Рассчитаем теоритическую резонансную частоту контура $f_{\text{теор}} = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$. Получим, что теоритическая резонансная частота

контура $f_{\text{теор}} = 1591$ Гц. Найдём экспериментальную резонансную частоту, получим, что $f_0 = 1550$ Гц.

Меняя частоту генератора в обе стороны от резонансной, снимем зависимость показаний вольтметра U от показаний частотомера f . По окончании измерений установим на магазине сопротивлений значение $R = 100$ Ом и повторим измерения. Затем построим на одном графике резонансные кривые в координатах $U/U_0 = G(f/f_0)$, где U_0 — напряжение при резонансной частоте f_0 Гц.

U , В	5.70	6.33	6.96	7.28	7.91	8.54	8.23	7.59	6.96	6.65	6.33	5.70
f , Гц	1519	1525	1530	1532	1537	1542	1563	1568	1572	1575	1578	1583

Таблица 1: Зависимость $U = G(f)$ при $R = 0$ Ом и $U_0 = 9.02$ В

U , В	1.42	1.58	1.74	1.90	2.06	2.06	1.90	1.74	1.58	1.42
f , Гц	1447	1463	1481	1501	1518	1601	1623	1648	1672	1703

Таблица 2: Зависимость $U = G(f)$ при $R = 100$ Ом и $U_0 = 2.22$ В

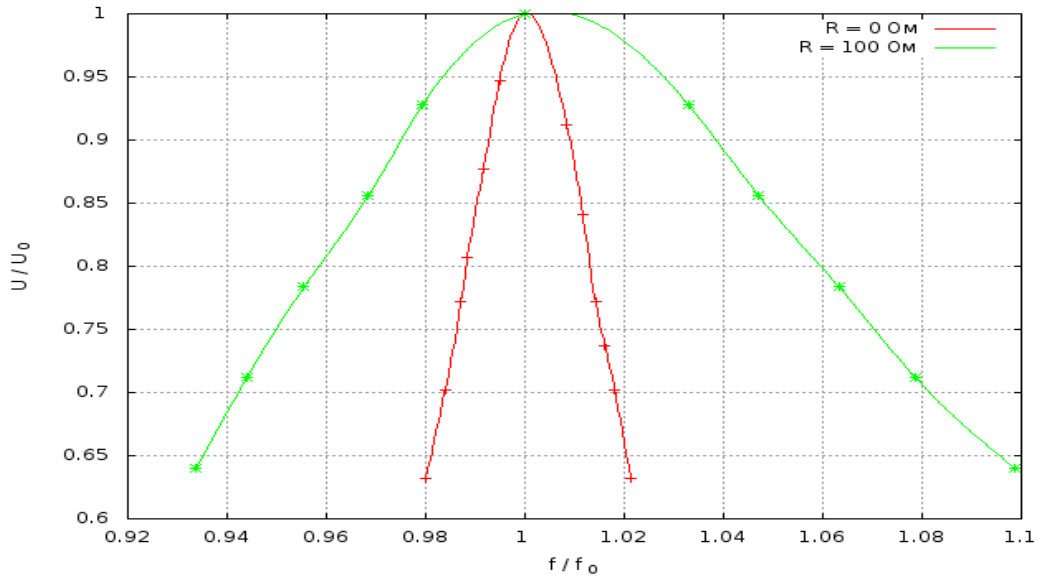


Рис. 3: Резонансные кривые для $R = 0$ Ом и $R = 100$ Ом

Найдём добротность контура при $R = 0$ Ом и $R = 100$ Ом как $f_0 / (2 \Delta f_{0.7})$. Получим, что

$$Q_0 = (29 \pm 1)$$

$$Q_{100} = (7.40 \pm 0.04)$$

Процессы установления и затухания колебаний

Подключим контур к клемме Цуги и установим на генераторе резонансную частоту. В данном случае экспериментальная резонансная частота $f_{0 \text{ эксп.}} = 1603$ Гц. Убедимся, что огибающая затухающих колебаний — это перевёрнутая огибающая нарастающего участка.

Для расчёта добротности по скорости нарастания и скорости затухания будем измерять амплитуды двух колебаний U_k и U_{k+n} , разделённых целым числом периодов n , а также амплитуду установившихся колебаний U_0 в случае нарастания. Проведём измерения при $R = 0$ Ом и $R = 100$ Ом. Для расчёта по нарастанию амплитуды получим, что $U_0 = 2.8$ дел и $U_0 = 0.8$ дел при $R = 0$ Ом и $R = 100$ Ом соответственно.

R , Ом	0				100	
U_k , дел	1.6	0.8	1.6	1.6	0.2	0.2
U_{k+n} , дел	2.2	1.6	1.8	2.0	0.4	0.6
n_T	6	4	1	3	1	2
Q	27.19	24.60	17.23	23.24	7.75	5.72

Таблица 3: Измерения U_k и U_{k+n} для расчёта добротности по нарастанию амплитуды

В данном случае (при расчёте добротности по нарастанию амплитуды) мы определяем добротность Q как π/Θ , где логарифмический декремент затухания

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

R , Ом	0	100
U_k , дел	1.2	0.6
U_{k+n} , дел	0.8	0.4
n_T	3	1
Q	23.23	7.74

Таблица 4: Измерения U_k и U_{k+n} для расчёта добротности по затуханию амплитуды

Измерим активное сопротивление R_L и индуктивность L магазина индуктивностей с помощью измерителя LCR на частотах 50 Гц, 500 Гц, 1500 Гц.

f , Гц	R , Ом	L , мГн
50	28.98	99.924
500	29.20	99.912
1500	30.37	99.932

Теоритические значения добротности мы можем найти как $1/R \cdot \sqrt{L/C}$. В результате получим, что

$$Q_{0 \text{ теор.}} = 33$$
$$Q_{100 \text{ теор.}} = 7.67$$

Сместим частоту генератора с резонансного значения и получим на экране картину биений. Полученная таким образом картина:

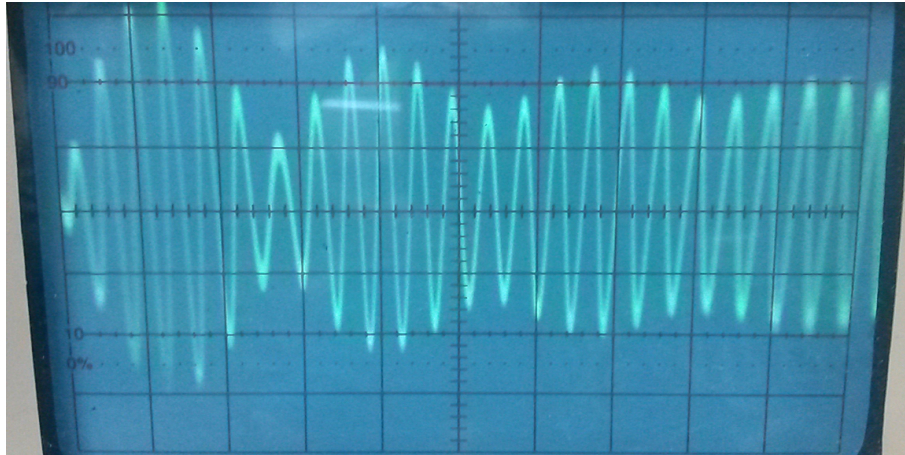


Рис. 4: Наблюдаемая картина биений