3.2.4 Свободные колебания в электрическом контуре

Александр Романов Б01-107

1 Введение

1.1 Цель работы

Исследование свободных колебаний в электрическом колебательном контуре.

1.2 В работе используются

Генератор импульсов, электронное реле, магазин сопротивлений, магазин емкостей, катушка индуктивности, электронный осциллограф, измеритель LRC.

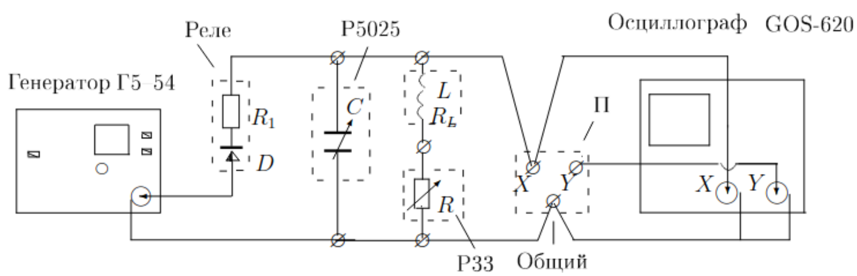

Рис. 1: Схема экспериментальной установки

2 Работа

2.1 Измерение периодов свободных колебаний

Соберём схему, изображённую на Рис. 1.Установим на магазине сопротивлений $R = 0$; На магазине емкостей величину $C = 0.02\ \mu F$. Установим выходное напряжение генератора на 28 V. По ЭО измерим расстояние между соседними импульсами ($x_0 = 2.1 \cdot 5\ ms = 10.5\ ms$).

Будем измерять по ЭО расстояние x , которое занимают n полных периодов колебаний. Зная период задающих колебания импульсов ($T_0 = 0.01\ s$) и x_0 можно расчитать период колебаний контура T по формуле:

$$T = T_0 x/(n x_0)$$

Проведём эти измерения изменяя емкость C от 0.02 μF до 0.9 μF:

$C,\ \mu F$	$x_0,\ cm$	$scale,\ ms$	n	$x,\ cm$	$scale,\ ms$	$T,\ s$
0.02	2.1	5	3	1	1	0.0006
0.13	2.1	5	7	3	2	0.0106
0.24	2.1	5	5	3	2	0.0274
0.35	2.1	5	5	3.6	2	0.0480
0.46	2.1	5	5	4.1	2	0.0718
0.57	2.1	5	5	4.6	2	0.0999
0.68	2.1	5	4	4	2	0.1295
0.79	2.1	5	3	3.1	2	0.1555
0.9	2.1	5	4	4.6	2	0.1971

2.2 Критическое сопротивление и декремент затухания

Приняв $L = 200\ mH$ рассчитаем ёмкость C, при которой собственная частота колебаний контура $\nu_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ составляет 5 kHz:

$$C = 0.005\ \mu F$$

Для полученных значений L и C рассчитаем критическое сопротивление контура R_{cr} по формуле:

$$R_{cr} = 2\sqrt{L/C} = 12600\ \Omega$$

Установим на магазине ёмкость, близкую к рассчитанной. Будем увеличивать R от 0 до R_{cr}. Определим сопротивление магазина R_0, при котором контур переходит в апериодический режим:

$$R_0 = 7400\ \Omega$$

Установим сопротивление $R \simeq 0.1R_0$ и будем измерять логарифмический декремент затухающих колебаний по формуле:

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

Повторим эти измерения для разных R от $0.1R_0$ до $0.3R_0$:

R, Ω	n	U_k, cm	U_{k+n}, cm	d
740	3	4	1	0.462
986	3	3	0.5	0.597
1232	2	2.2	0.5	0.741
1478	2	4	0.6	0.949
1724	2	3.4	0.4	1.070
1970	2	3	0.3	1.151

2.3 Свободные колебания на фазовой плоскости

Подключим на ЭО канал Y, на который подано напряжение U_R. Зафиксируем картину:

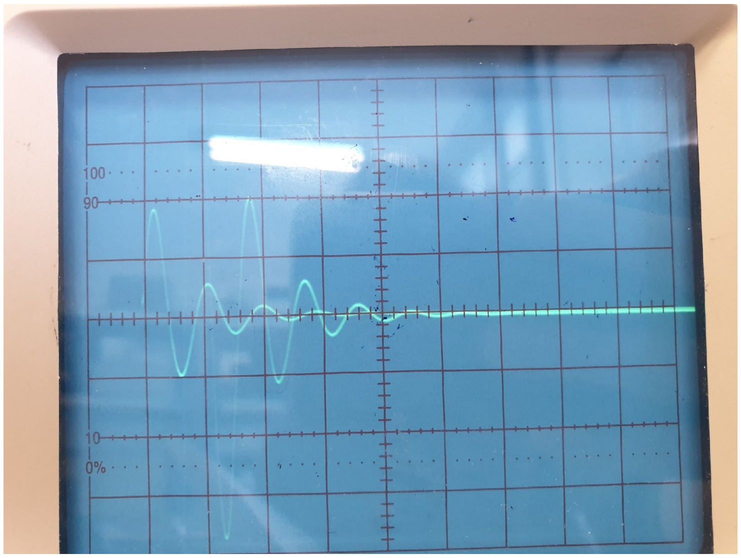

Рис. 2: Сигналы X и Y в развёртке по времени

Отключим развёртку по времени, переведы ручку "TIME/DIV"в положение "X-Y". Будем наблюдать за изменением картины при изменении R от $0.1R_0$ до $0.3R_0$:

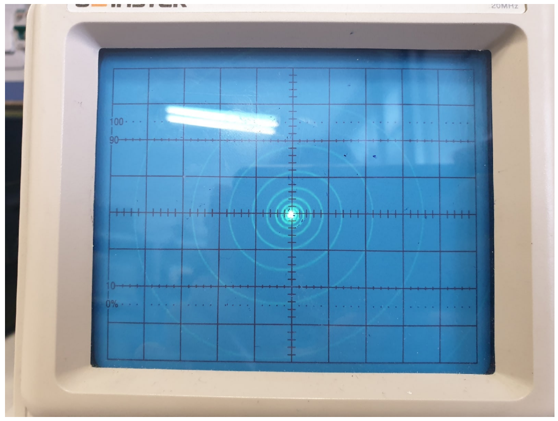

Рис. 3: Фазовая картина при $R = 740\ \Omega$

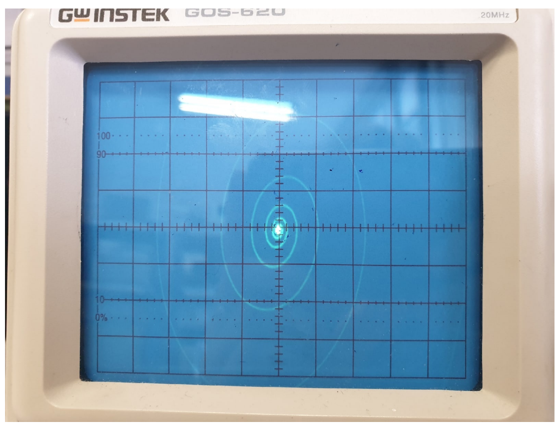

Рис. 4: Фазовая картина при $R = 1478\ \Omega$

Рис. 5: Фазовая картина при $R = 1970\ \Omega$

Измерим логарифмический декремент d контура для максимального и минимального значений R по формуле:

$$d = \frac{1}{n} \ln \frac{x_k}{x_{k+n}}$$

$R,\ \Omega$	n	$X_k,\ cm$	$X_{k+n},\ cm$	d
740	2	3.5	1.4	0.458
1970	1	2.0	0.6	1.204

Разберём цепь, отключим катушку и измерим её индуктивность L и омическое сопротивление R_L при помощи RLC-метра. Получим значения:

$$L = 146\ mH;\ R_L = 14\ \Omega$$

3 Обработка экспериментальных данных

3.1 Сравнение экспериментальных и теоретических значений периода T

По формуле $T = 2\pi\sqrt{LC}$ рассчитаем теоретические значения периодов для контура. и сравним с экспериментальными, измеренными в пункте 2.1:

T_{mes}, $10^5 s$	T_{th}, $10^5 s$
31.7	33.8
81.6	86.5
114	118
137	142
156	163
175	181
190	198
197	213
219	228

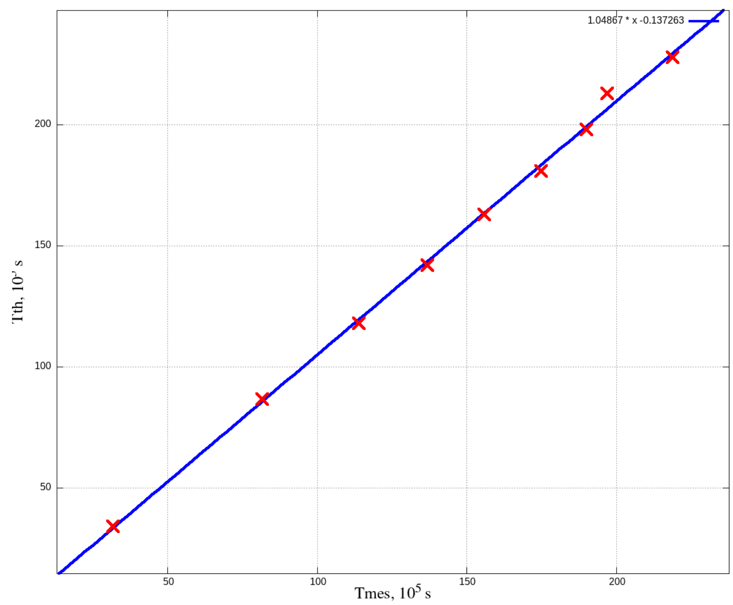

Рис. 6: График T_{th} от T_{mes}

Получили зависимость:

$$T_{th} = a \cdot T_{mes} + b$$

$$a = 1.05 \pm 0.01$$

$$b = -0.137 \pm 0.8\ s$$

Из апроксимации видно, что экспериментальные данный практически идеально совпадают с теоретическими.

3.2 декремент затухания и R_{cr}

Используя данные из пункта 2.3 построим зависимость $Y = f(X)$, $Y = 1/d^2$ $X = 1/R_\Sigma$:

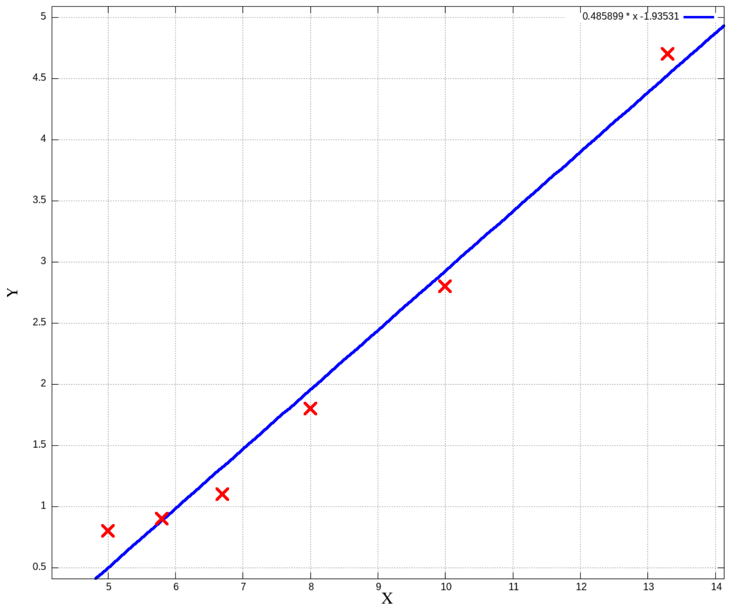

Рис. 7: График Y от $X \cdot 10^4$

По наклону графика в начале координат определим R_{cr}:

$$R_{cr} = 2\pi\sqrt{\Delta Y/\Delta X} = 264\ \Omega$$

Видно, что это значение очень плохо совпадает со значениями, полученными в пункте 2.2. что говорит о том, что данные способ определения критического сопротивления слабо соответствует реальности.

3.3 Добротность

Расчитаем добротность для минимального и максимального значения R, измеренных в пункте 2.3. Используем формулу:

$$Q = \frac{\pi}{d}$$

R, Ω	d	Q_{mes}	Q_{th}
740	0.458	6.9	8.5
1970	1.204	2.6	3.2

Видим, что экспериментальные данные довольно точно совпадают с теоретическими.

4 Выводы

1. Были измерены периды колебания контура (Пункт 3.1). Полученные значения совпадают с теоретическими в пределаъ погрешности.

2. Был проверен способ определения критического сопротивления R_{cr} через коэффициент наклона графика $1/d^2$ от $1/R_\Sigma$. Полученные значения нисколько не совпадают с теоретическими (264 Ω vs 12600 Ω).

3. Были экспериментально получены значения добротности для контура при двух значениях R. Полученные значения примерно совпадают с теоретическими (Пункт 3.3).