

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Лабораторная работа 3.2.4(4.5)
«Свободные колебания в электрическом контуре»

Овсянников Михаил Александрович
студент группы Б01-001
2 курс ФРКТ

г. Долгопрудный
2021 г.

Цель работы: исследование отклика колебательного контура на периодические внешние импульсы.

В работе используются: генератор импульсов, электронное реле, магазин сопротивлений, магазин емкостей, индуктивность, электронный осциллограф, универсальный мост.

Экспериментальная установка. На рис. 1 приведена схема для исследования свободных колебаний в контуре, содержащем постоянную индуктивность L и переменные ёмкость C и сопротивление R . Колебания наблюдаются на экране осциллографа.

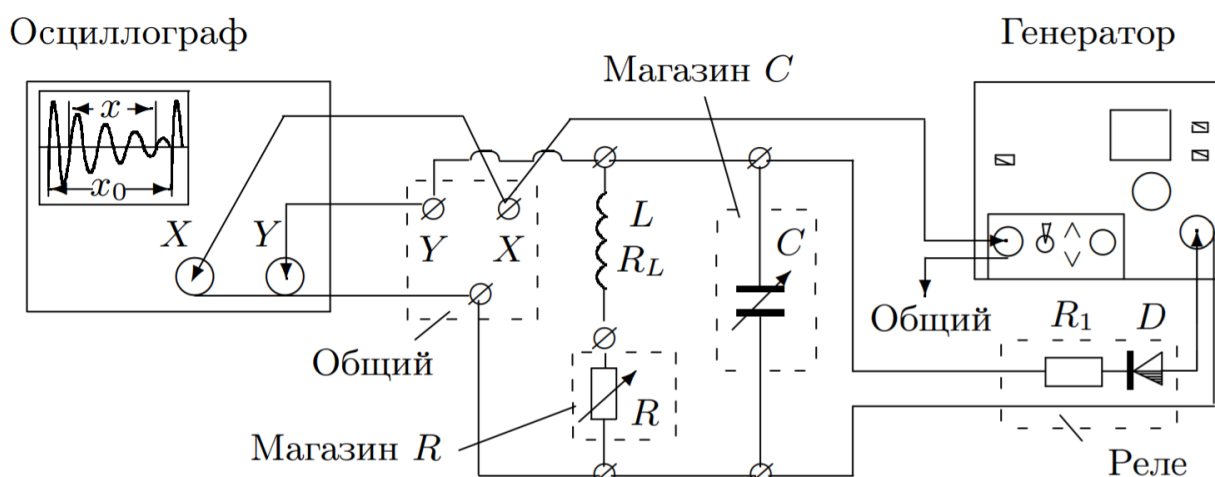


Рис.1. Схема установки для исследования свободных колебаний

Выпишем все необходимые для работы расчетные формулы.

Период колебаний:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (1)$$

Частота колебаний:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Логарифмический декремент затухания:

$$\Theta = \ln \frac{U_k}{U_{k+1}} = \frac{1}{n} \ln \frac{U_k}{U_{k+n}} \quad (3)$$

Критическое сопротивление:

$$R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4)$$

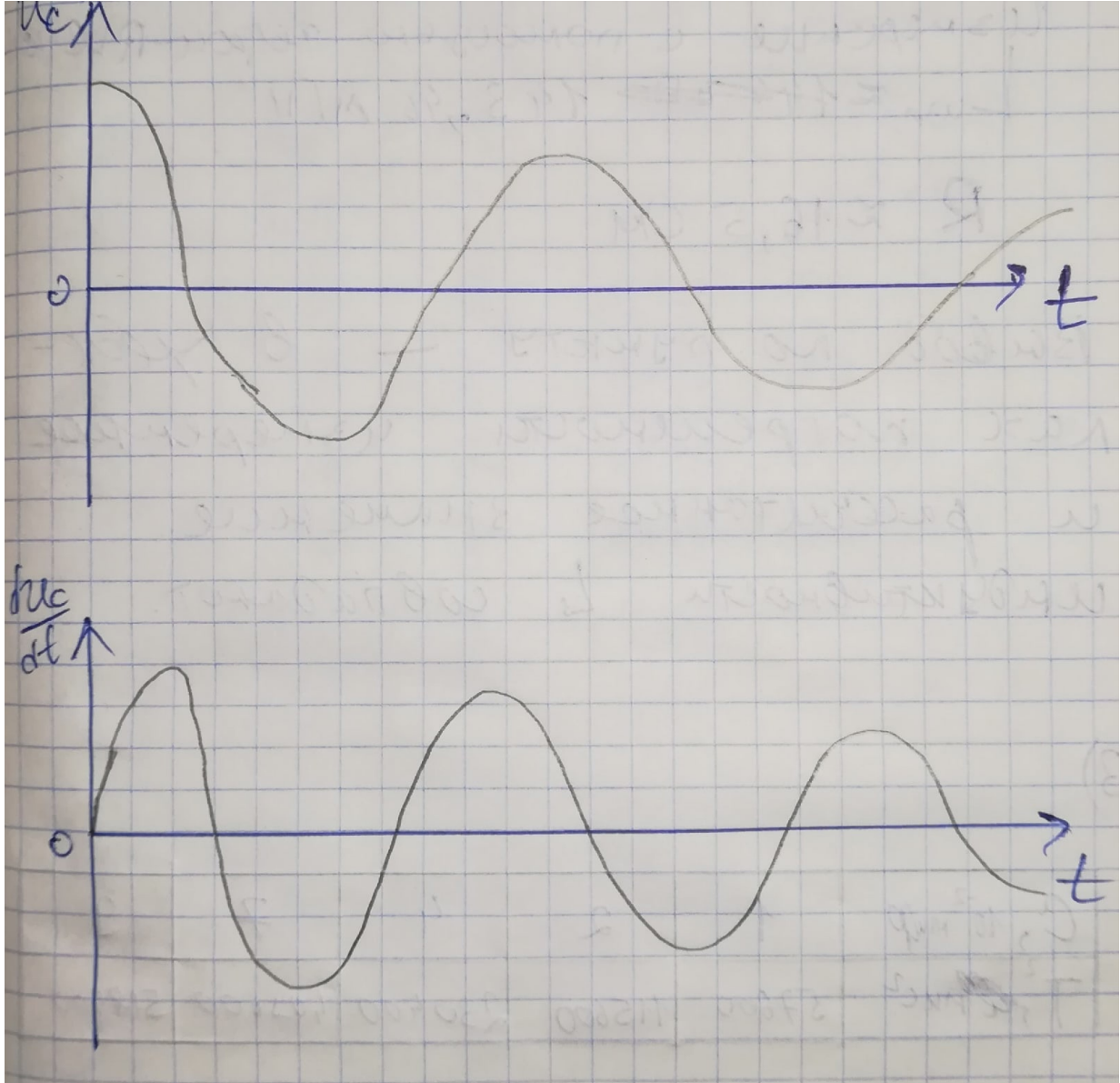
Добротность:

$$Q = 2\pi \frac{W}{\Delta W_T} = \frac{W}{\Delta W} = \frac{\pi}{\gamma T} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

Ход работы:

Соберем схему по рис.1.

При ненулевой нагрузке зафиксируем картины, которые показывает осциллограф для напряжения U_c на конденсаторе и тока $I \sim \frac{dU_c}{dt}$ на нем.



Из графиков видно, что в начальный момент времени заряд конденсатора максимален, а ток нулевой.

Выставим емкость конденсатора $C = 0,02 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}$.

По графикам из осциллографа найдем период $T = 340 \text{ мкс}$.

Теперь по этим данным рассчитаем индуктивность катушки L :

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \Rightarrow L = \frac{T^2}{4\pi^2 C} \approx 147 \text{ мГн}$$

Итак, $L_{\text{расчетн}} = 147 \text{ мГн}$.

Теперь измерим индуктивность катушки напрямую с помощью устройства ТЕТРОН-RLC-200:

$$L_{\text{измер}} = 143 \text{ мГн.}$$

$$R_{\text{катушки}} \approx 16,5 \text{ Ом.}$$

Как видим, в пределах погрешности измеренное и рассчитанное значения индуктивности L совпадают.

Теперь измерим зависимость квадрата периода от емкости при нулевом внешнем сопротивлении:

$C, 10^{-2} \text{ мкФ}$	1	2	4	7	9
$T^2, 10^3 \text{ мкс}^2$	57,6	115,6	230,4	409,6	518,4

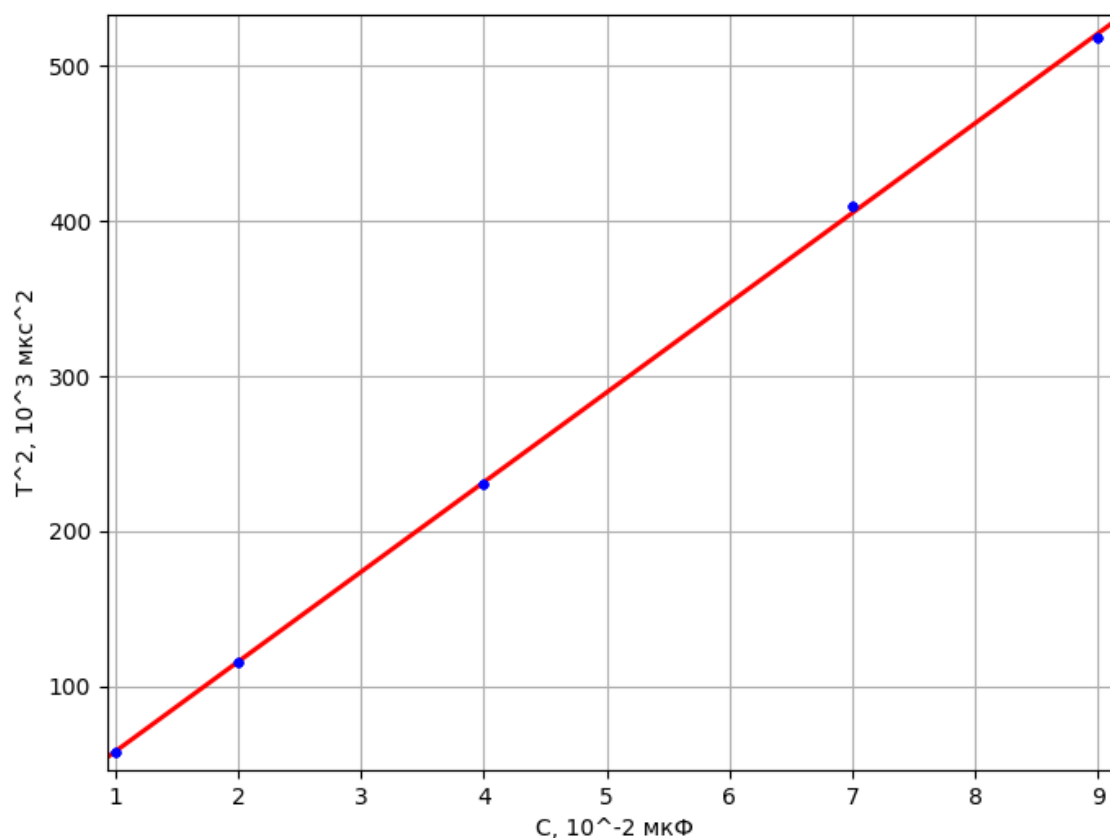
Построим график этой зависимости.

Используя метод наименьших квадратов получаем:

$$T^2(C) = aC + b, \text{ где}$$

$$a = 57,92 \frac{10^{-1} \text{ с}^2}{\text{Ф}} \quad b = -0,10 \cdot 10^3 \text{ мкс}^2;$$

$$\sigma_a = 0,12 \frac{10^{-1} \text{ с}^2}{\text{Ф}} \quad \sigma_b = 0,37 \cdot 10^3 \text{ мкс}^2.$$



По графику видно, что точки хорошо ложатся на прямую.

Исследуем зависимость добротности системы Q и логарифмического декремента затухания Θ от внешнего сопротивления $R_{\text{внеш}}$. Для этого будем изменять сопротивление в диапазоне от 0 до 15 Ом. На экране осциллографа выбираем два удаленных гребня, измеряем количество периодов n между ними и отношение амплитуд $\frac{U_1}{U_n}$. Тогда $\Theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_1}{U_n}$, и $Q = \frac{\pi}{\Theta}$. Занесем все в таблицу:

$R_{\text{внеш}}, \text{ Ом}$	n	$\frac{U_1}{U_n}$	Θ	Q
0	23	2	0,030	104,60
2	21	2	0,033	95,15
4	20	2	0,034	92,35
6	19	2	0,036	87,22
8	17	2	0,041	76,59
10	25	3	0,044	71,36
12	24	3	0,046	68,26
15	28	4	0,049	64,08

Теперь построим график зависимости $\Theta(R_{\text{внеш}})$.

$$\Theta = 2\pi \frac{R}{R_{\text{кр}}} = 2\pi \frac{R_{\text{внеш}}}{R_{\text{кр}}} + 2\pi \frac{R_{\text{внут}}}{R_{\text{кр}}}$$

Опять же, используя МНК, получаем:

$$\Theta = aR_{\text{внеш}} + b, \text{ где}$$

$$a = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}$$

$$b = 29,66 \cdot 10^{-3};$$

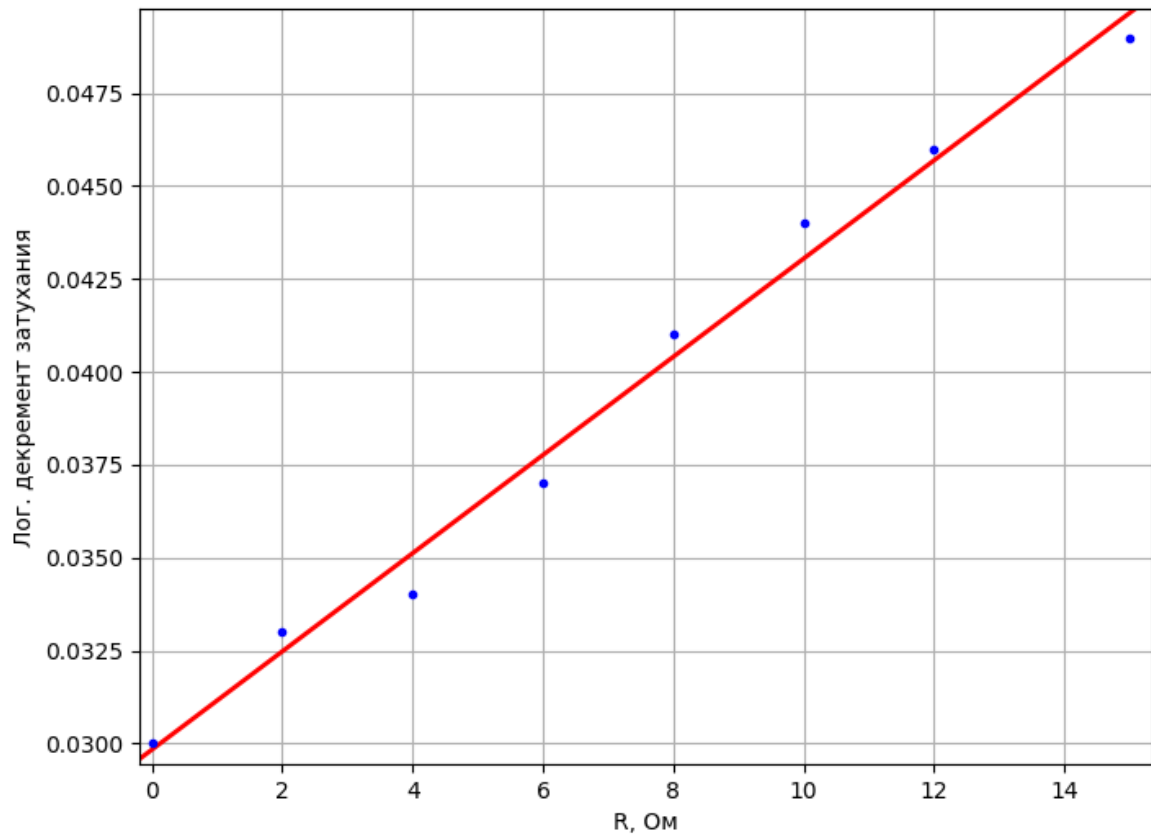
$$\sigma_a = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}$$

$$\sigma_b = 0,32 \cdot 10^{-3}.$$

$$\text{Получаем } R_{\text{кр}} = \frac{2\pi}{a} \approx 4760 \text{ Ом} \sim 4800 \text{ Ом}.$$

$$R_{\text{внут}} = \frac{bR_{\text{кр}}}{2\pi} \approx 22,47 \text{ Ом}.$$

Как видно из графика, точки неидеально, но все же ложатся на прямую.



Произведем расчет и непосредственное измерение критического сопротивления $R_{кр}$.

Формула $R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.

Получаем $R_{кр} \approx 5366 \text{ Ом} \sim 5400 \text{ Ом}$.

По измерению получаем $R_{кр} \approx 4579 \text{ Ом} \sim 4600 \text{ Ом}$. Итак, все три значения (расчетное, из графика и по эксперименту) достаточно близки друг к другу.

расчетное $R_{кр} = 5400 \text{ Ом}$ $R_{кр} = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$

эксперимент $R_{кр} = 4600 \text{ Ом}$ график $R_{\text{график}} = 4800 \text{ Ом}$

$R_1 = 300 \text{ Ом}$

$R_2 = 1 \text{ кОм}$

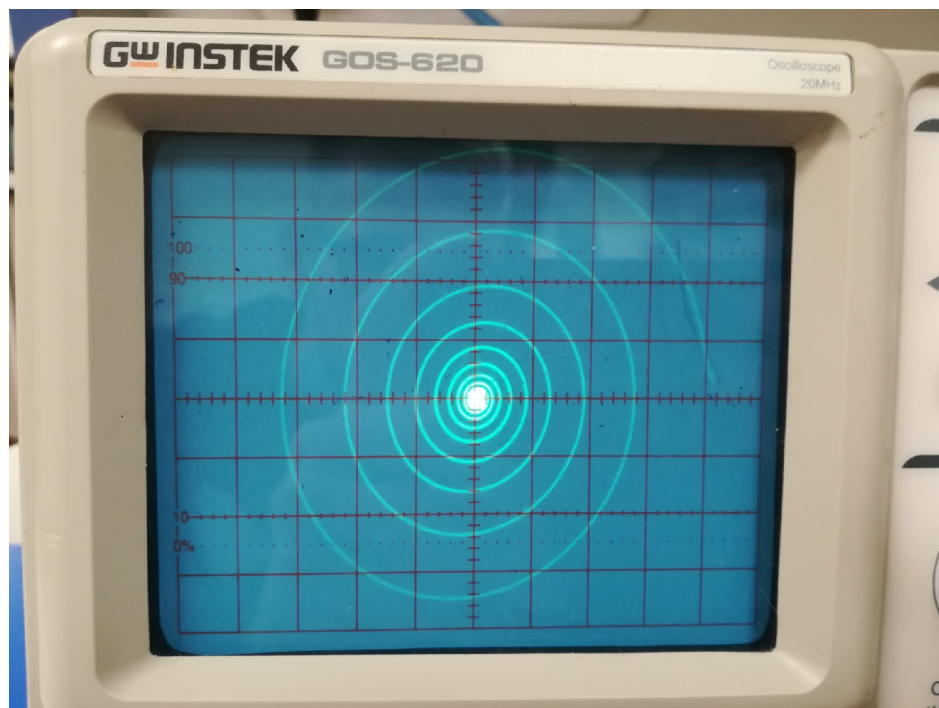
$R_3 = 100 \text{ Ом}$

8.09

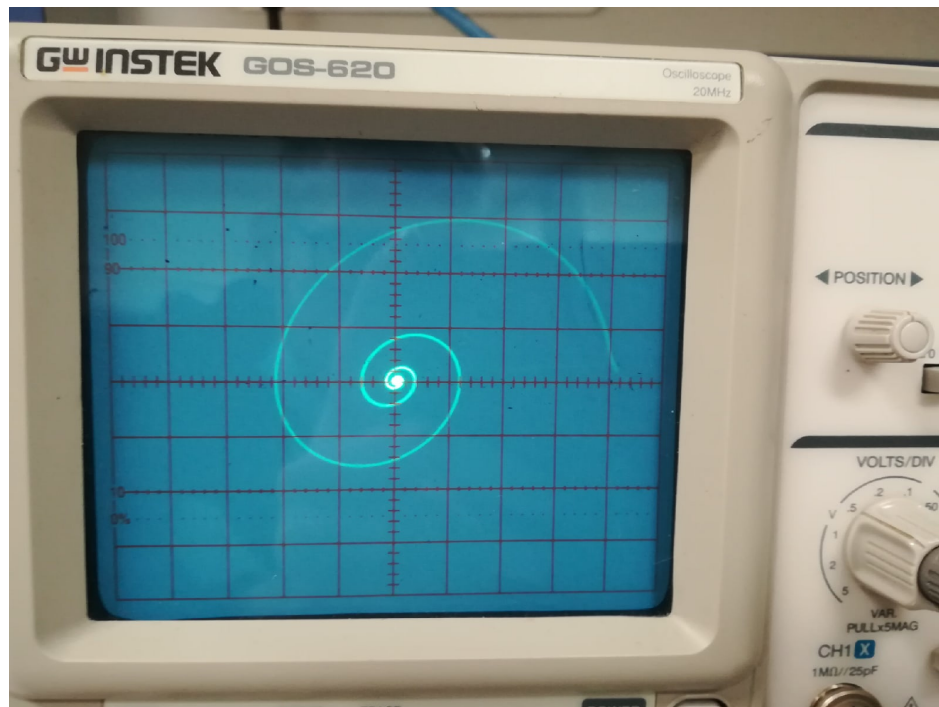
Посчитаем логарифмический декремент затухания Θ по фазовой диаграмме для трех разных значений сопротивления, указанных выше.

Способ тот же, что и при определении Θ по гребням волн, только амплитудой теперь является расстояние до центра.

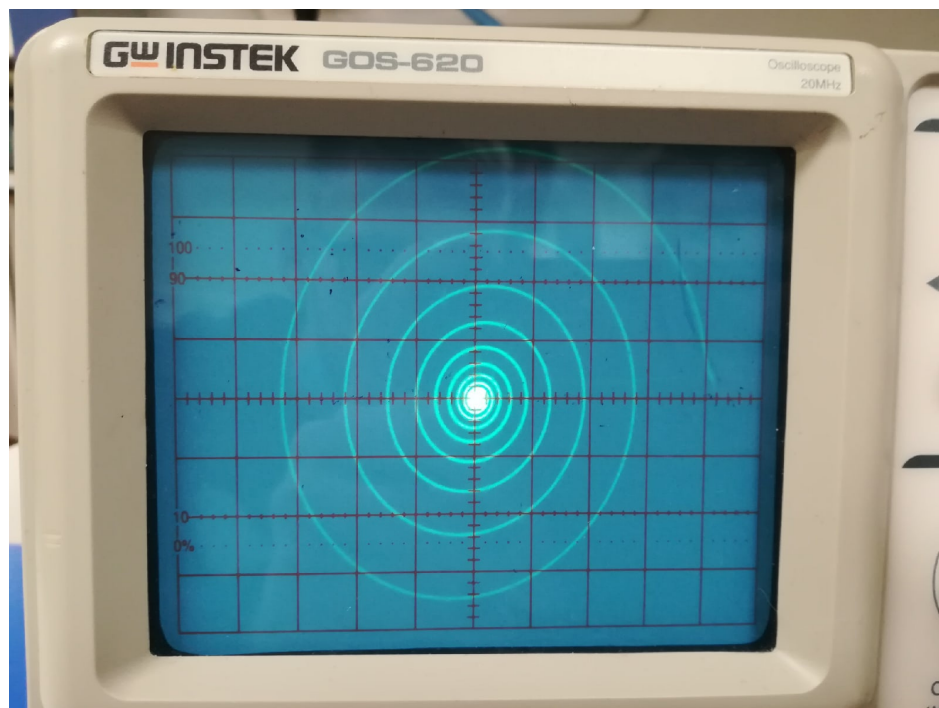
1) $n = 6$; $\frac{U_1}{U_n} = \frac{4,2}{0,4} = 10,5$; $\Theta \approx 0,392$



$$2) \ n = 2; \quad \frac{U_1}{U_n} = \frac{4,2}{0,4} = 10,5; \quad \Theta \approx 1,176$$



$$3) \ n = 13; \quad \frac{U_1}{U_n} = \frac{4,2}{0,6} = 7,0; \quad \Theta \approx 0,150$$



Вывод: в данной работе было проведено исследование отклика колебательного контура на периодические внешние импульсы, проверена зависимость периода колебаний от емкости конденсатора, найдена индуктивность катушки $L = 143$ мГн, высчитано внутреннее сопротивление цепи $R_{\text{внут}} = 22,47$ Ом и исследована зависимость логарифмического декремента затухания колебаний от внешнего сопротивления цепи. Все ошибки связаны с погрешностью расчетов и неточностью измерений.