

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа фотоники, электроники и молекулярной физики

# Отчёт о выполнении лабораторной работы

## 3.2.5

Свободные и вынужденные колебания в  
электрическом контуре

Автор:  
Макаров Лев Евгеньевич  
Б04-306

## Цель работы:

1. исследование свободных и вынужденных колебаний в колебательном контуре

## В работе используются:

- осциллограф АКТАКОМ ADS-6142H
- генератор сигналов специальной формы АКИП-3409/4
- магазин сопротивлений МСР-60
- магазин емкости Р5025
- магазин индуктивности Р567 типа МИСП
- соединительная коробка с шунтирующей емкостью
- соединительные одножильные и коаксиальные провода

## 1 Экспериментальная установка

Схема установки для исследования колебаний приведена на рисунке 1.

Колебательный контур состоит из постоянной индуктивности  $L$  с активным сопротивлением  $R_L$ , переменной емкости  $C$  и сопротивления  $R$ . Картина колебаний напряжения на емкости наблюдается на экране двухканального осциллографа. Для возбуждения затухающих колебаний используется генератор сигналов специальной формы. Сигнал с генератора поступает через конденсатор  $C_1$  на вход колебательного контура. Данная емкость необходима чтобы выходной импеданс генератора был много меньше импеданса колебательного контура и не влиял на процессы, проходящие в контуре.

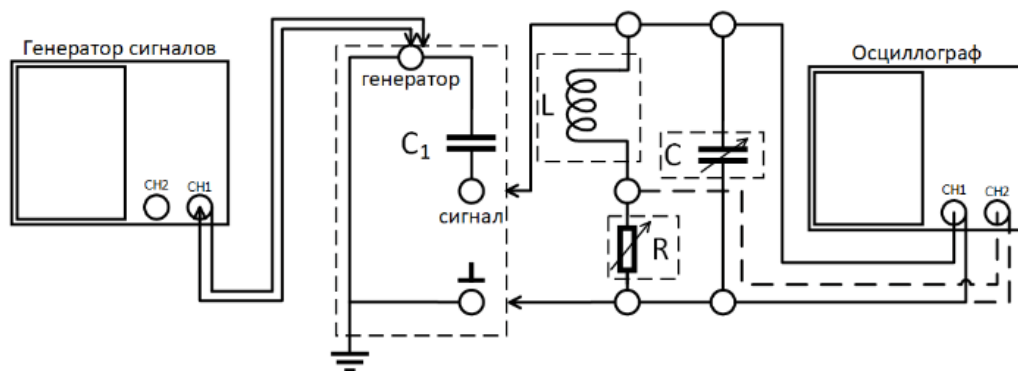


Рис. 1: Схема установки для исследования вынужденных колебаний

Установка предназначена для исследования не только возбужденных, но и свободных колебаний в электрической цепи. При изучении свободно затухающих колебаний генератор специальных сигналов на вход колебательного контура подает периодические короткие импульсы, которые заряжают конденсатор  $C$ . За время между последовательными импульсами происходит разрядка конденсатора через резистор и катушку индуктивности. Напряжение на конденсаторе  $U_C$  поступает на вход канала 1( $X$ ) электронного осциллографа. Для наблюдения фазовой картины затухающих колебаний на канал 2( $Y$ ) подается напряжение с резистора  $R$  (пунктирная линия на схеме установки), которое пропорционально току  $I(I \propto dU_C/dt)$ .

При изучении возбужденных колебаний на вход колебательного контура подается синусоидальный сигнал. С помощью осциллографа возможно измерить зависимость амплитуды возбужденных колебаний в зависимости от частоты внешнего сигнала, из которого возможно определить добротность колебательного контура. Альтернативным способом расчета добротности контура является определение декремента затухания по картине установления возбужденных колебаний. В этом случае генератор сигналов используется для подачи цугов синусоидальной формы.

## 2 Результаты измерений и обработка данных

### 2.1 Подготовка приборов к работе

1. Подключим генератор ко входу 1(X)
2. Установим на генераторе режим "Pulse" с длительностью импульсов 10 мкс, частотой повторения 100 Гц и амплитудой 20 В.
3. Убедимся, что на осциллограф поступает нужный сигнал. Нажмем "Autoset" и выставим нужный уровень "Trigger".
4. Соберем схему согласно рис. 1

### 2.2 Измерение периодов свободных колебаний

1. Установим сопротивление  $R = 0$  Ом, индуктивность  $L = 100$  мГ, емкость  $C = 0$  мкФ. Определим минимальную емкость магазина емкостей  $C_0$ . Получим картину затухающих колебаний в контуре.
2. Подберем частоту развертки так, чтобы расстояние между импульсами занимало почти весь экран.
3. Измерим период затухающих колебаний с помощью осциллографа

Нажмем "Cursor" выберем время и выставим линии-указатели на два соседних максимума

$$T_0 = 55 \text{ мкс}$$

4. Вычислим  $C_0$

$$T = 2\pi\sqrt{LC_0} \implies C_0 = \frac{T_0^2}{4\pi^2 L} \approx 0,77 \text{ нФ}$$

5. Повторим измерения для еще 9 значение  $C$ . Результаты измерений запишем в таблицу 1.

$C$ , нФ	$C + C_0$ , нФ	$\Delta x$ , мс
0	0,77	0,055
1	1,77	0,0736
2	2,77	0,0884
3	3,77	0,101
4	4,77	0,113
5	5,77	0,122
6	6,77	0,132
7	7,77	0,143
8	8,77	0,149
9	9,77	0,159

Таблица 1: Измерение периода колебаний от емкости

## 2.3 Критическое сопротивление и декремент затухания

1. Рассчитаем  $C^*$ , при которой  $\nu_0 = 6,5$  кГц

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC^*}} \Rightarrow C^* = \frac{1}{4\pi^2\nu_0^2 L} \approx 6 \text{ нФ}$$

Для  $C^*$  и  $L$  рассчитаем критическое сопротивление контура  $R_{cr}$

$$R_{cr} = 2\sqrt{\frac{L}{C^*}} \approx 8168 \text{ Ом}$$

2. Установим  $R$  близкое к  $R_{cr}$  и наблюдаем, что затухающие колебания при изменении от 0 до  $R_{cr}$  переходит в апериодический режим.
3. Установим сопротивление  $R = 0,05R_{cr} \approx 408,4 \text{ Ом}$ . Вычислим логарифмический декремент затухания.

Замерим разницу амплитуд между максимумами для сопротивления и результаты измерений запишем в таблицу 2.

4. Повторим результаты измерений прошлого пункта для значений  $R$  от  $0,05R_{cr}$  до  $0,25R_{cr}$ . Результаты измерений запишем в таблицу 2

$N$	$R$ , Ом	$U_m$ , мВ	$U_{m+n}$ , мВ	$m$	$n$	$\theta$
1	408,4	1300	320	1	4	0,35
2	680,6	1060	240	1	3	0,50
3	952,9	920	140	1	3	0,63
4	1225,2	776	64	1	3	0,83
5	1497,5	680	80	1	2	1,07
6	1769,7	568	72	1	2	1,03
7	2042,0	496	104	1	1	1,56

Таблица 2: Измерение периода колебаний от емкости

5. Зафиксируем значения сопротивления  $R_1 = 408,4$  Ом и  $R_2 = 2042,0$  Ом.

## 2.4 Свободные колебания на фазовой плоскости

1. Выставим сопротивление  $R_1$  на магазине. Подадим на канал 2(Y) падение напряжения с резистора
2. Переведем осциллограф в двухканальный режим. Подберем масштабы так, чтобы можно было наблюдать оба сигнала.
3. Подберем частоту так, чтобы расстояние между импульсами примерно совпадала со временем затухания колебаний.

$$\nu = 470 \text{ Гц}$$

4. Пронаблюдаем фазовые колебания в плоскости. Для этого выберем режим XY через кнопку "Display".

Понаблюдать спираль получилось только для одного сопротивления  $R = R_1$ . Для него посчитаем логарифмический декремент затухания:

$$\theta = \frac{1}{n} \ln \frac{N_m}{N_{n+m}} = \frac{1}{1} \ln \frac{17}{11} \approx 0,44$$

## 2.5 Исследование резонансных кривых

1. Переведем осциллограф в одноканальный режим просмотра
2. Переведем генератор в режим подачи синусоидальных сигналов
3. Выставим емкость  $C = C^*$  и сопротивление  $R = R_1$
4. Модифицируем схему согласно рис. 2. Добьемся того, чтобы можно было одновременно наблюдать оба сигнала на осциллографе.

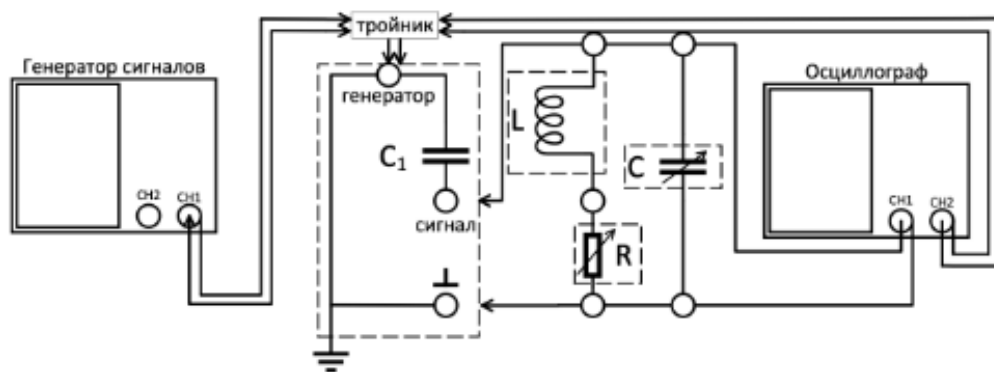


Рис. 2: Схема установки для исследования АЧХ и ФЧХ

5. Убедимся, что вблизи резонансной частоты – устойчивый синусоидальный сигнал
6. Убедимся, что вблизи резонансной частоты амплитуда колебаний максимальна именно при резонансной частоте. Определим ее значение
7. Снимем АЧХ и ФЧХ колебательного контура

Настроим генератор на резонансную частоту, определим амплитуду  $U_{res} = 8,88$  В. определим диапазон частот, в которых амплитуда не меньше  $0,4 \cdot U_{res}$ . Проведем по 10 измерений амплитуды от частоты при смещении частоты в каждую сторону от резонансной. Результаты измерений запишем в таблицу 3.

$N$	$\nu$ , кГц	$U_{R1}$ , В	$U_{R2}$
0	5,26	3,56	1,89
1	5,35	4,06	1,95
2	5,44	4,76	2,03
3	5,53	5,46	2,08
4	5,62	6,26	2,15
5	5,71	7,26	2,20
6	5,80	8,12	2,26
7	5,89	8,74	2,30
8	5,98	8,92	2,33
9	6,07	8,66	2,33
10	6,16	8,06	2,35
11	6,25	7,38	2,31
12	6,34	6,60	2,31
13	6,43	6,00	2,31
14	6,52	5,50	2,32
15	6,61	5,08	2,34
16	6,70	4,62	2,34
17	6,79	4,28	2,31
18	6,88	4,02	2,30
19	6,97	3,82	2,26

Таблица 3: Измерение АЧХ и ФЧХ колебательного контура

8. Повторим измерения предыдущего пункта для  $R = R_2$ , результаты запишем в таблицу 3.

## 2.6 Процессы установления и затухания

1. Установим сопротивление  $R = R_1$
2. Установим резонансную частоту на генераторе
3. Включим режим "Burst" на генераторе
4. Установим период повторения 20 мс, и количество периодов 15
5. Получим характерную картину колебаний для одного цуга.
6. Для определения добротности по скорости нарастания измерим амплитуды колебаний, разделенных целым числом периодов и амплитуду установившихся колебаний. Результаты измерений запишем в таблицу 4

$U_0, \text{ В}$	$U_k, \text{ В}$	$U_{k+n}, \text{ В}$	$k$	$n$	$\theta$
8,88	5,24	7,26	3	2	0,40
8,88	5,24	6,44	3	1	0,40
8,88	5,24	8,4	3	5	0,41

Таблица 4: Измерение добротности по скорости нарастания колебаний

7. Посчитаем логарифмический декремент нарастания по формуле (запишем в таблицу 4)

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

8. Для определения добротности по скорости затухания измерим амплитуды колебаний, разделенных целым числом периодов и амплитуду установившихся колебаний. Результаты измерений запишем в таблицу 5

$U_k, \text{ В}$	$U_{k+n}, \text{ В}$	$k$	$n$	$\theta$
8,72	5,92	1	1	0,39
8,72	4,04	1	2	0,38
8,72	2,76	1	3	0,38

Таблица 5: Измерение добротности по скорости нарастания колебаний

9. Посчитаем логарифмический декремент затухания и запишем в таблицу 5
10. Повторим измерения предыдущих пунктов для сопротивления  $R = R_2$ . Результаты измерений запишем в таблицы 6 и 8

$U_0, \text{ В}$	$U_k, \text{ В}$	$U_{k+n}, \text{ В}$	$k$	$n$	$\theta$
2,4	2	0,84	3	1	1,36

Таблица 6: Измерение добротности по скорости нарастания колебаний для  $R_2$

$U_k, \text{ В}$	$U_{k+n}, \text{ В}$	$k$	$n$	$\theta$
1,96	0,4	1	1	1,6

Таблица 7: Измерение добротности по скорости нарастания колебаний для  $R_2$

11. Вернем сопротивление  $R_1$ . Сместим частоту генератора и получим картину биений.

Картина биений получается из-за того, что разница частот генератора и колебательной системы мала по сравнению с характерным временем установления постоянного режима вынужденных колебаний, через некоторое время после установления произойдет затухание амплитуды колебаний, связанное с нарастающей разностью фаз между генератором и системой.

12. Отключим все приборы от сети

13. Измерим активное сопротивление  $R_L$  и индуктивность  $L$  магазина индуктивностей

$\nu$ , Гц	$R_L$ , Ом	$L$ , мГн
50	23,168	99,958
500	23,243	99,921
1500	24,609	99,961

Таблица 8: Измерение  $R_L$  и  $L$

## 2.7 Обработка результатов

1. Рассчитаем экспериментальное значение периодов и теоретические. Построим график зависимости  $T_{exp} = f(T_{theor})$ . График изобразим на рисунке 3

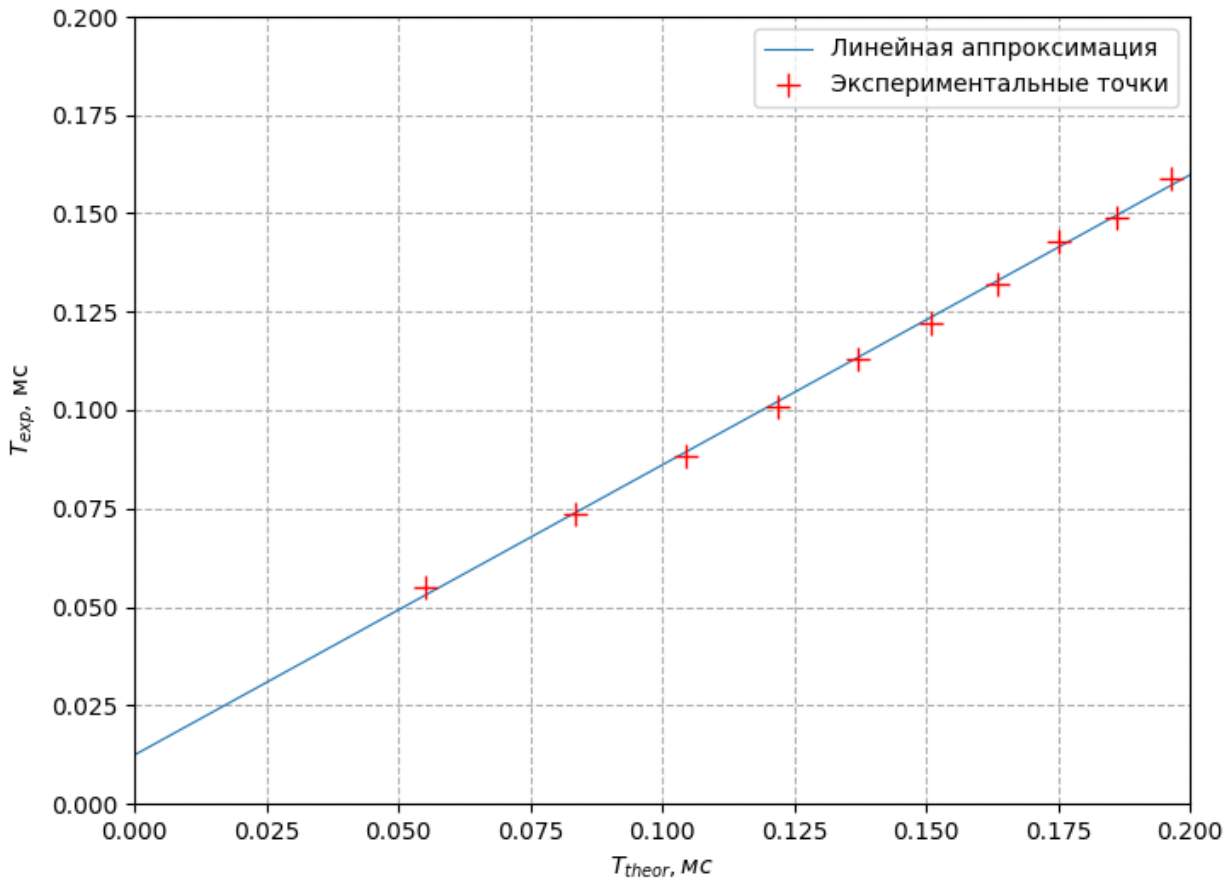


Рис. 3: Зависимость  $T_{exp} = f(T_{theor})$

В данном случае зависимость – линейная, аппроксимируется прямой с параметрами:

$$k = (0,737 \pm 0,009) \quad b = (0,0123 \pm 0,0004) \text{ мс}$$

2. Рассчитаем значение логарифмического декремента затухания  $\theta$  и сопротивление контура  $R_{\Sigma}$ .

Построим график в координатах  $1/\theta^2 = f(1/R_{\Sigma}^2)$ . График изобразим на рисунке 4



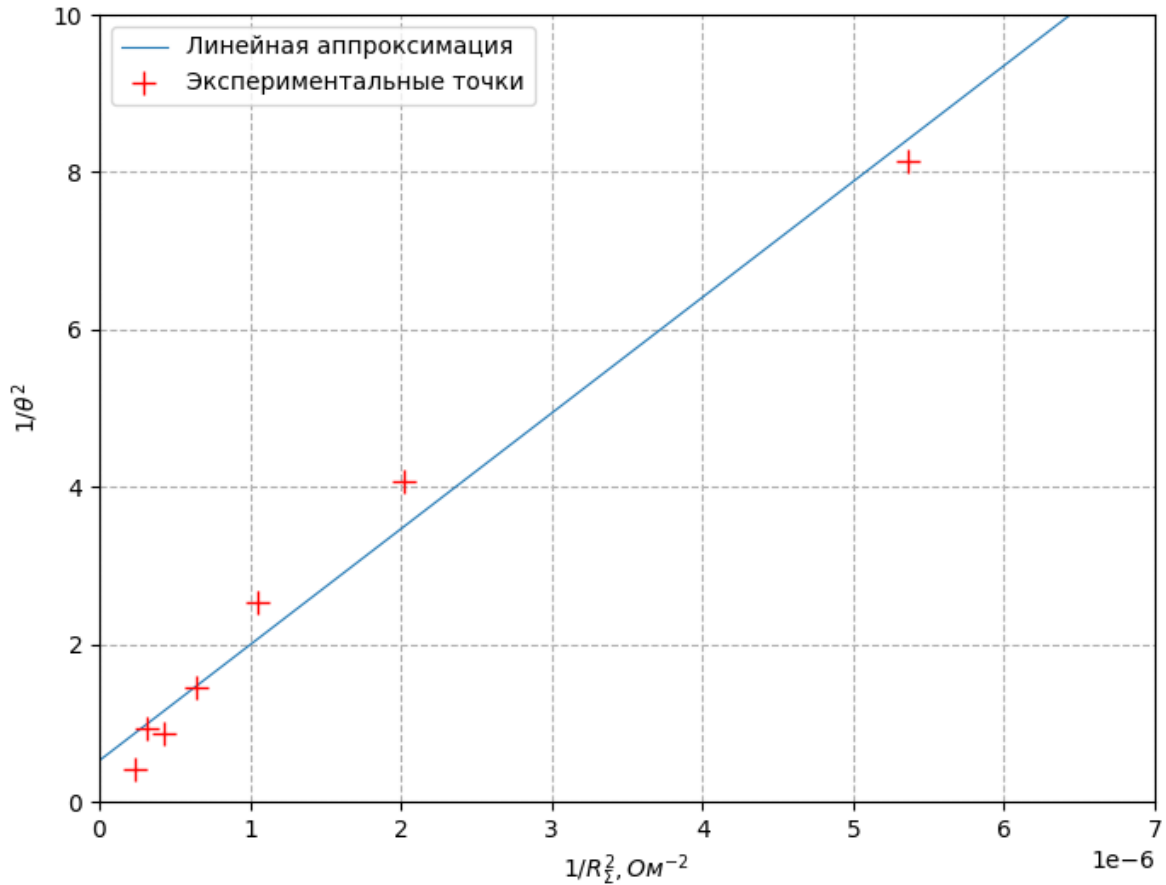


Рис. 4: Зависимость  $1/\theta^2 = f(1/R_{\Sigma}^2)$

Параметры прямой

$$k = (1470000 \pm 80000) \text{ Ом}^2 \quad b = (0,5 \pm 0,1)$$

Наклон графика вблизи начала координат:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = (2343255 \pm 1) \text{ Ом}^2$$

Тогда

$$R_{cr} = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta Y}{\Delta X}} = (9618,108 \pm 0,004) \text{ Ом}$$

3. Теоретическое значение  $R_{cr} = 8168 \text{ Ом}$ . Как видно значения не совпали в пределах погрешности.
4. рассчитаем добротность контура

$$Q_1 = \frac{\pi}{\theta_{min}} \approx 10$$

$$Q_2 = \frac{\pi}{\theta_{max}} \approx 2$$

5. Добротность по спирали на фазовой плоскости  $Q = 7$

6. Теоретическое значение добротности

$$Q^{theor} = \frac{\pi}{\theta} = \frac{\pi}{\gamma T} = \frac{\pi}{\frac{R}{2L} \frac{2\pi}{\omega_1}} = \frac{L}{R} \omega_1 = \frac{L}{R} \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2} = \frac{L}{R} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4L}{CR^2} - 1}$$

$$Q_1^{theor} \approx 10$$

$$Q_2^{theor} \approx 2$$

Как видимо теоретическое значение хорошо совпало с экспериментальным

7. Построим на одном графике резонансные кривые  $U/U_0 = f(\nu/\nu_0)$

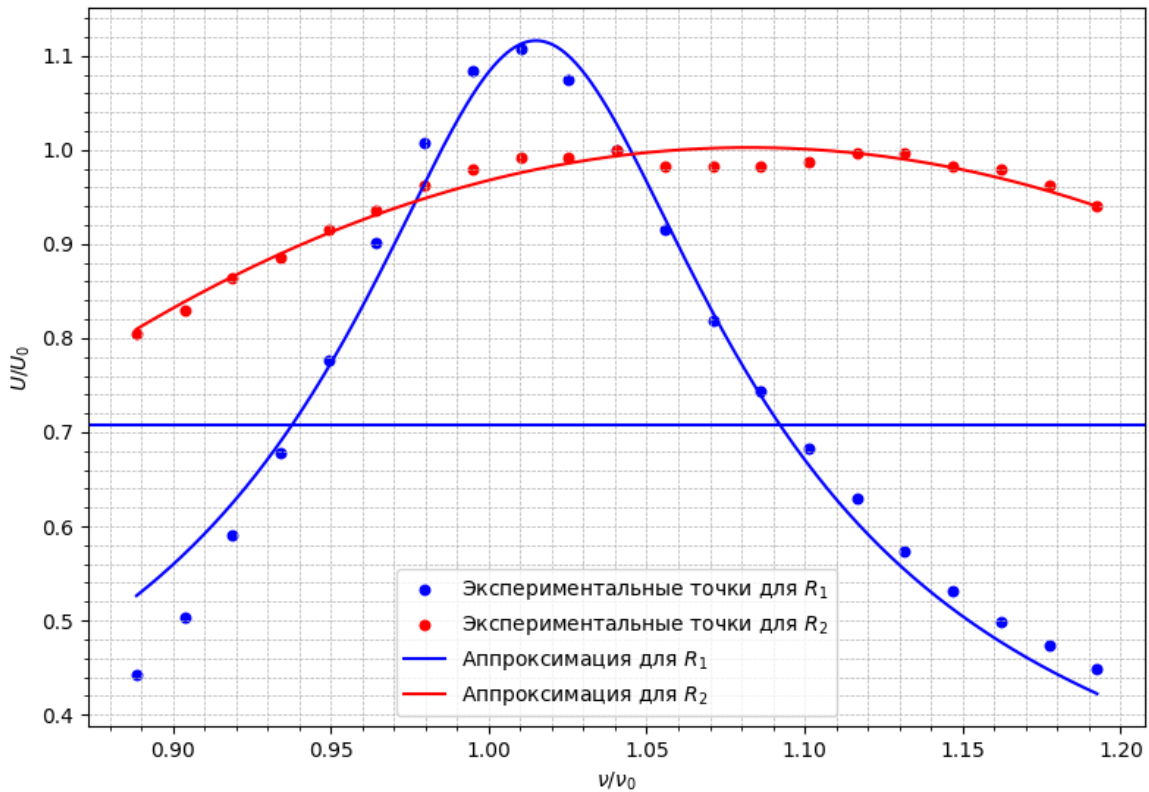


Рис. 5: АЧХ

8. Измерим добротность по ширине резонансной кривой на уровне  $1/\sqrt{2}$

$$Q_1 = \frac{\omega_0}{2\Delta\Omega} \approx 3$$

9. Добротность по ФЧХ

Добротность по ФЧХ вычисляется:

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$$

10. Построим ФЧХ для  $R_1$  и  $R_2$  на одном графике