

**Отчет о выполнении лабораторной
работы 3.2.5 "Свободные и
вынужденные колебания в
электрическом контуре"**

Алпатова Александра и Калашников Михаил, Б03-205

Цель работы: исследование свободных и вынужденных колебаний в колебательном контуре.

В работе используются:

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

1. Теоретические сведения

2. Экспериментальная установка

3. Проведение эксперимента

3.1. Подготовка приборов к работе

1. Подключим генератор специальных сигналов к входу 1(X) осциллографа.
2. Установим на генераторе сигналов последовательность импульсов.
3. Получим на осциллографе статичное изображение сигнала.
4. Соберем схему как на рис. 1.

3.2. Измерение периодов свободных колебаний

1. Выставим на магазине сопротивлений нулевое сопротивление, а на магазине индуктивностей $L = 100$ мГн, на магазине емкостей нулевую емкость. В таком случае в контур реализуются свободные колебания из-за собственной емкости C_0 контура и активного сопротивления катушки R_L .
2. Получим на экране осциллографа статичное изображение сигнала.
3. Измерим с помощью курсоров осциллографа период затухающих колебаний.
4. По периоду колебаний определим нулевую емкость C_0 колебательного контура.
5. Изменяя емкость от 0 мкФ до 0.009 мкФ проведем измерения периодов.
6. Рассчитаем экспериментальное значение периодов по результатам измерений.

3.3. Критическое сопротивление и декремент затухания

1. Приняв $L = 100$ мГн, рассчитаем емкость C^* , при которой собственная частота колебаний ν_0 составляет 6.5 кГц: $C = \frac{1}{(2\pi\nu_0)^2 L} = 0.006$ мкФ.
Рассчитаем критическое сопротивление контура: $R_{cr} = 2\sqrt{L/C^*} = 8.16$ кОм.
2. Установим на магазине критическую емкость.
3. Установим сопротивление $R = 0.05R_{cr}$. Получим на экране картину затухающих колебаний. Проведем измерения амплитуд соседних колебаний.
4. Повторим измерения для еще 5 значений сопротивлений в диапазоне $(0.05 - 0.25)R_{cr}$.
5. Занесем результаты измерений в таблицу. Погрешность измерения напряжения составила $\sigma_U = 4$ мВ.
6. Рассчитаем значения логарифмического декремента затухания по формуле:

$$\Theta = \ln \frac{U_1}{U_2}$$

Далее можно рассчитать добротность контура как $Q = \pi/\Theta$.

R/R_{cr}	0.05	0.09	0.14	0.18	0.23	0.25
U_1 , мВ	684 ± 4	648 ± 4	604 ± 4	576 ± 4	536 ± 4	528 ± 4
U_2 , мВ	468 ± 4	336 ± 4	220 ± 4	160 ± 4	104 ± 4	92 ± 4
Θ	0.379 ± 0.010	0.657 ± 0.013	1.010 ± 0.019	1.28 ± 0.03	1.64 ± 0.04	1.75 ± 0.04
Q	8.3 ± 0.2	4.8 ± 0.1	3.11 ± 0.06	2.45 ± 0.05	1.92 ± 0.05	1.80 ± 0.05

Таблица 1: Результаты измерения амплитуд соседних колебаний

7. Основываясь на результатах измерения активного сопротивления, проведем линейную экстраполяцию и получим зависимость $R_L(\nu)$. Рассчитаем значения $R_\Sigma = R + R_L(\nu_0)$ и построим график зависимости $1/\Theta^2 = f(1/R_\Sigma^2)$.

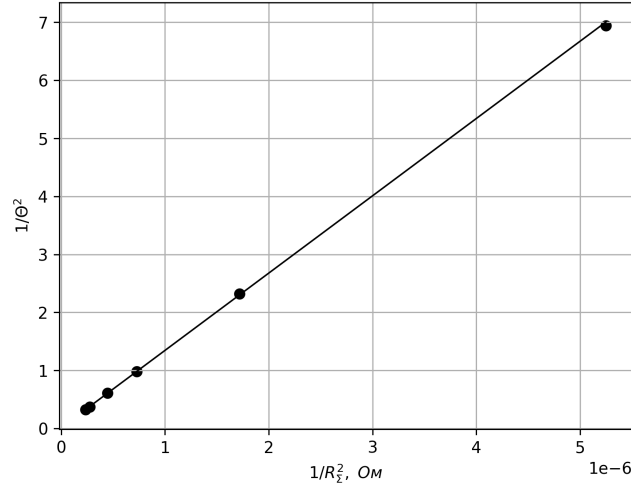


Рис. 1: График зависимости $1/\Theta^2 = f(1/R_{\Sigma}^2)$

По наклону графика k определим критическое сопротивление как $R_{cr,exp} = 2\pi\sqrt{k} = 7.25 \pm 0.03$ кОм.

3.4. Свободные колебания на фазовой плоскости

1. Выставим на магазине сопротивлений сопротивление $R = 0.05R_{cr}$. На канал 2(Y) осциллографа подадим падение напряжения на резисторе.
2. Переведем осциллограф в двухканальный режим работы.
3. Выставим на генераторе частоту 500 Гц.
4. Пронаблюдаем изменение спирали при увеличении сопротивления от $0.05R_{cr}$ до $0.25R_{cr}$. С помощью программы Paint измерим координаты пересечения соседних витков спирали с положительным направлением оси ОХ. Погрешность таких измерений имеет примерно тот же порядок, что и погрешность предыдущих. Для простоты приравняем их.
5. Логарифмический декремент затухания и добротность могут быть найдены по формулам из прошлого раздела.

R/R_{cr}	0.05	0.09	0.14	0.18	0.23	0.25
U_1 , мВ	562 ± 4	449 ± 4	362 ± 4	298 ± 4	233 ± 4	208 ± 4
U_2 , мВ	377 ± 4	230 ± 4	131 ± 4	77 ± 4	43 ± 4	32 ± 4
Θ	0.399 ± 0.013	0.67 ± 0.02	1.02 ± 0.03	1.35 ± 0.05	1.70 ± 0.10	1.87 ± 0.13
Q	7.8 ± 0.3	4.69 ± 0.14	3.08 ± 0.10	2.33 ± 0.09	1.85 ± 0.10	1.68 ± 0.11

Таблица 2: Результаты измерения координат пересечения соседних витков спирали

3.5. Исследование резонансных кривых

1. Переведем осциллограф в одноканальный режим работы.
2. Переведем генератор сигналов в режим подачи синусоидального сигнала.
3. Выставим емкость C^* и сопротивление $0.05R_{cr}$.
4. С помощью тройника подадим на канал 2(Y) осциллографа сигнал напрямую с генератора.
5. Убедимся что на экране наблюдается устойчивый синусоидальный сигнал.
6. Изменяя частоту вблизи резонансной, обнаружим, что та максимальна при $\nu = 6$ кГц. Снимем АЧХ и ФЧХ с осциллографа ($(U_1$ и $\tau_1)$).
7. Установим сопротивление $0.25R_{cr}$ и повторим измерения (U_2 и τ_2). Погрешность измерений составила $\sigma_{U_1} = 0.04$ В, $\sigma_{U_2} = 0.02$ В, $\sigma_{\tau_1} = 1$ мкс, $\sigma_{\tau_2} = 0.2$ мкс

ν , кГц	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6
U_1 , В	2.24	2.54	2.90	3.30	3.84	4.46	5.40
τ_1 , мкс	84	83	78	74	72	68	63
U_2 , мВ	1.54	1.61	1.67	1.74	1.83	1.89	1.95
τ_2 , мкс	49.2	48.0	44.4	41.6	40.4	38.4	34.0
ν , кГц	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3
U_1 , В	6.28	7.24	7.96	8.24	8.04	7.40	6.68
τ_1 , мкс	58	51	43	37	31	23	18
U_2 , мВ	1.99	2.04	2.08	2.11	2.13	2.15	2.15
τ_2 , мкс	31.6	32.8	30.4	27.2	26.0	22.8	22.4
ν , кГц	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0
U_1 , В	6.00	5.40	4.92	4.32	4.02	3.74	3.48
τ_1 , мкс	14.0	13.0	11.0	10.4	7.6	6.4	7.2
U_2 , мВ	2.14	2.14	2.14	2.13	2.12	2.10	2.08
τ_2 , мкс	20.4	20.4	18.8	17.8	16.0	15.2	14.2

Таблица 3: Результаты измерения АЧХ и ФЧХ

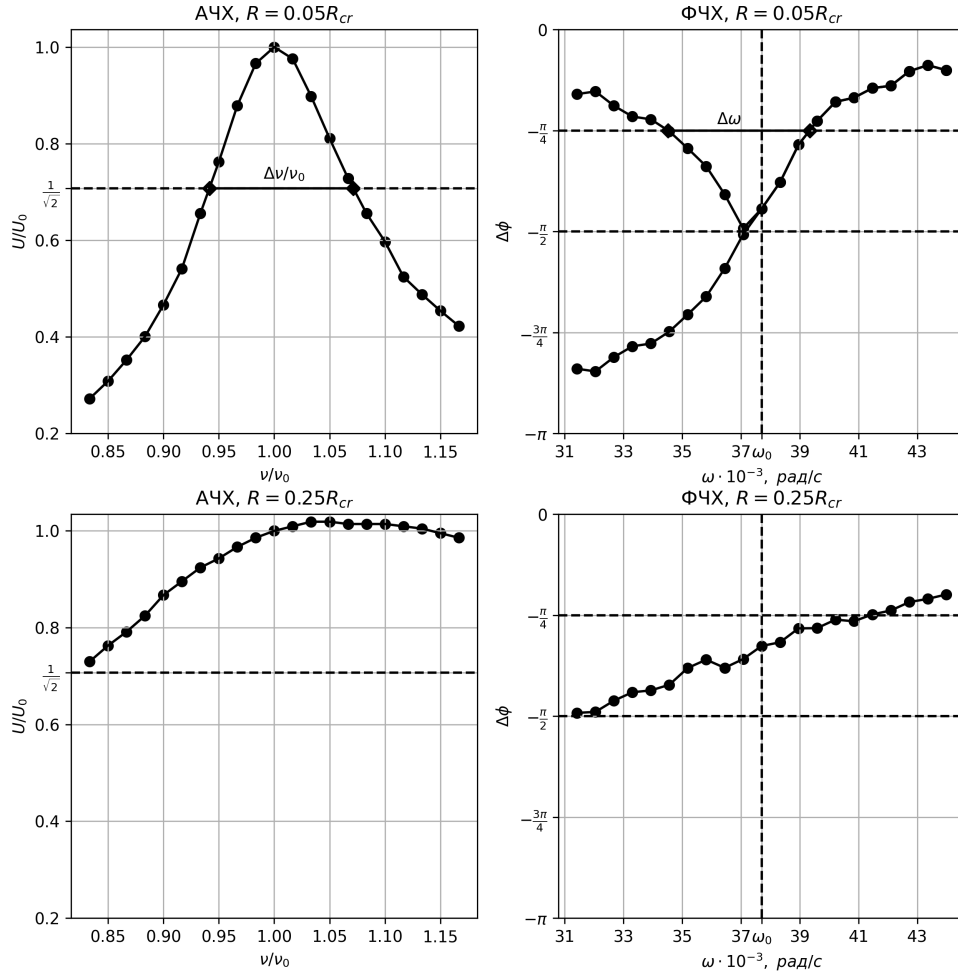


Рис. 2: АЧХ и ФЧХ для двух различных сопротивлений

8. По графикам определим добротность контура. При работе со вторым сопротивлением было проведено измерение слишком маленького количества точек. Это препятствует графическому измерению добротности. Для первого сопротивления: $\Delta\nu = 780 \pm 13$ Гц, $\Delta\omega = 4.82 \pm 0.08$ рад/с. Рассчитаем добротности: $Q_{AЧХ} = \frac{1}{\nu/\nu_0} = 7.68 \pm 0.13$, $Q_{ФЧХ} = \frac{1}{\omega/\omega_0} = 7.82 \pm 0.13$.

3.6. Процессы установления и затухания

1. Вернем на магазин сопротивлений $0.05R_{cr}$.

2. Установим на генераторе резонансную частоту.
3. Включим на генераторе режим "Burst".
4. Установим режим повторения сигнала 20 мс, а количество периодов – 15.
5. Получим на экране осциллографа картинку установления и затухания одного цуга.
6. Измерим амплитуды двух колебаний, разделенных одним периодом, и амплитуду установившихся колебаний.
7. Повторим измерения для затухающего участка.
8. Повторим измерения для сопротивления $0.25R_{cr}$. Погрешность измерения амплитуд для первого сопротивления составляет $\sigma_{U_1} = 0.01$ В, а во втором – $\sigma_{U_2} = 0.004$ В.

	U_0 , мВ	U_1 , мВ	U_2 , мВ	U_3 , мВ	U_4 , мВ
$0.05R_{cr}$	1620 ± 10	560 ± 10	1150 ± 10	1110 ± 10	520 ± 10
$0.25R_{cr}$	444 ± 4	156 ± 4	380 ± 4	372 ± 4	68 ± 4

Таблица 4: Результаты измерения амплитуды затухающих колебаний

Тогда логарифмические декременты при установлении и затухании можно найти по формулам:

$$\Theta_{\text{нар}} = \frac{1}{2} \ln \frac{U_0 - U_1}{U_0 - U_2}$$

$$\Theta_{\text{зат}} = \frac{1}{2} \ln \frac{U_3}{U_4}$$

	$\Theta_{\text{нар}}$	$\Theta_{\text{зат}}$
$0.05R_{cr}$	7.7 ± 0.2	8.3 ± 0.3
$0.25R_{cr}$	4.2 ± 0.2	3.70 ± 0.17

Таблица 5: Вычисление добротности по амплитудам затухающих колебаний

9. Сместим частоту генератора с резонансной и получим картину биений. Они появляются в результате того, что решением уравнения вынужденный колебаний является линейная сумма гармонических функций, которая сводится к произведению двух гармонических сигналов.
10. Проведем измерение активного сопротивления R_L и индуктивности L магазина индуктивностей с помощью измерятся LCR на разных частотах.

ν , Гц	50	500	1500
R_L , Ом	21.631	21.874	23.080
L , мГн	99.991	99.964	99.998

Таблица 6: Результаты измерения активного сопротивления и индуктивности магазина индуктивностей

4. Вывод

	Свободные колебания			Вынужденные колебания			
	$f(L, C, R)$	$f(\Theta)$	Спираль	АЧХ	ФЧХ	Нарастание	Затухание
$R = 0.05R_{cr}$	10	8.3 ± 0.2	7.8 ± 0.3	7.68 ± 0.13	7.82 ± 0.13	7.7 ± 0.2	8.3 ± 0.3
$R = 0.25R_{cr}$	2	1.80 ± 0.05	1.68 ± 0.11	-	-	4.2 ± 0.2	3.70 ± 0.17

Таблица 7: Итоговая таблица