

Отчет о выполнении лабораторной работы 3.2.5

Вынужденные колебания в электрическом контуре

Костылев Влад, Б01-208

9 сентября 2023 г.

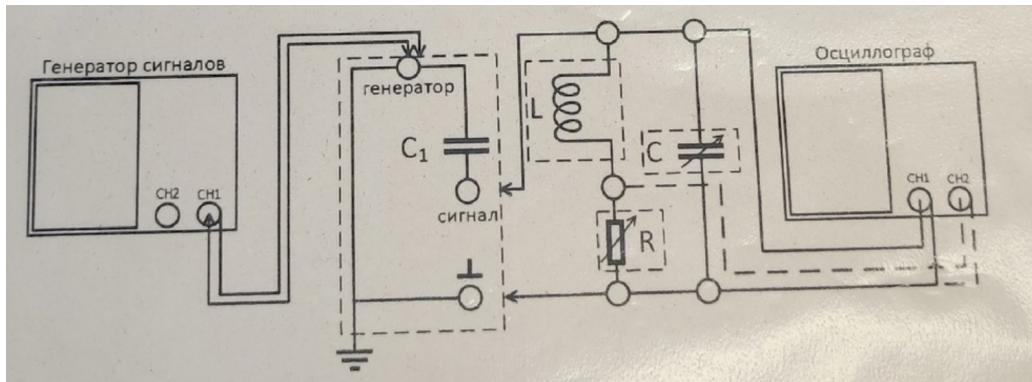
Аннотация

Цель работы: В работе исследуются вынужденные колебания, возникающие в электрическом колебательном контуре под воздействием внешней э.д.с., гармонически изменяющейся во времени.

В работе используются: генератор звуковой частоты (ЗГ), вольтметр, частотомер, конденсатор, катушка индуктивности, магазин сопротивлений, осциллограф (ЭО), универсальный измеритель импеданса (LCR-метр).

1 Теоретическая справка

На рисунке ниже приведен колебательный контур, состоящий из постоянной индуктивности L , с активным сопротивлением R_L , переменной емкости C и сопротивления R . Картина колебаний напряжения на емкости наблюдается па 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.

Установка предназначена для исследования не только возбужденных, но и свободных колебаний в электрической цепи.

При изучении свободно затухающих колебаний генератор 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(У) подается напряжение с резистора R (пунктирная линия на схеме установки), которое пропорционально току I.

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 пугов синусоидальной формы.

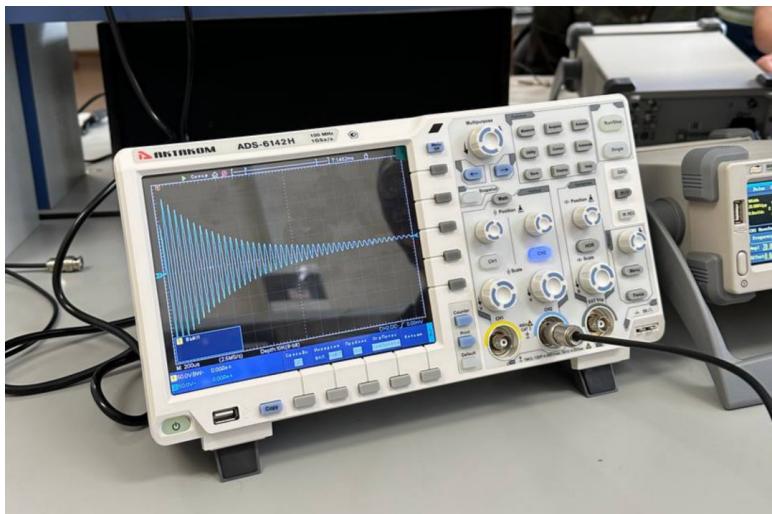
2 Используемое оборудование

В работе используются: генератор звуковой частоты (ЗГ), вольтметр, частотомер, конденсатор, катушка индуктивности, магазин сопротивлений, осциллограф (ЭО), универсальный измеритель импеданса (LCR-метр).

3 Результаты измерений и обработка данных

Для начала соберем схему и проведем настройку приборов как указано в задании.

Следующим шагом устанавливаем на магазине сопротивлений величину $R = 0 \text{ Ом}$, на магазине индуктивностей $L = 100 \text{ мГн}$, на магазине ёмкостей величину $C = 0 \text{ мкФ}$. Контур сам по себе обладает некоторым минимальным значением ёмкости C_0 , благодаря которому в контуре реализуются свободные колебания. При этом затухание обеспечивается наличием активного сопротивления в магазине индуктивностей R_L . Получаем на экране осциллографа картину затухающих колебаний.

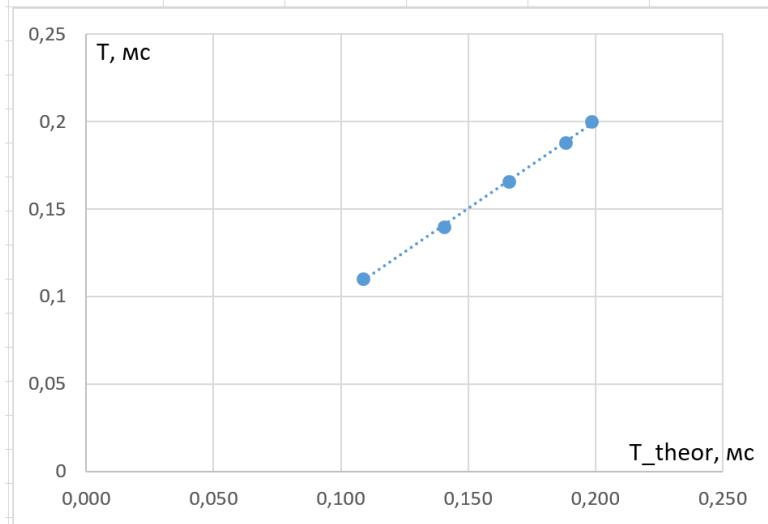


Подбираем частоту развёртки, удобную для снятия экспериментальных данных. Измеряем с помощью осциллографа период затухающих колебаний.

По периоду колебаний определяем нулевую ёмкость $C_0 = 1,04 \text{ нФ}$ (зная, что $T = 2\pi\sqrt{LC}$). Это значение является минимальным для магазина ёмкостей и его необходимо учитывать при дальнейших расчётах.

Измеряя ёмкость по курбелям от 0 мкФ до 0.009мкФ, проводим измерения периодов.

C, мкФ	0,003	0,005	0,007	0,009	0,01
T, мс	0,11	0,14	0,166	0,188	0,2
T_theor, мс	0,109	0,140	0,166	0,188	0,199



Теперь перейдем к подсчету **критического сопротивления и декремента затухания**. Рассчитаем ёмкость C^* , при которой собственная частота колебаний:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

составляет 6.5 кГц. Для выбранных L и C^* рассчитаем критическое сопротивление контура R_{cr} :

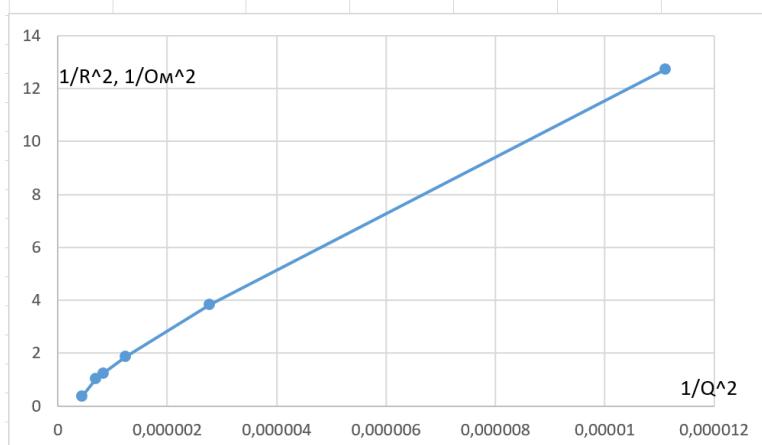
$$6.5\kappa\Gamma_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{100\text{мГн} \times C^*}} \Rightarrow C^* = 6 \text{ нФ}$$

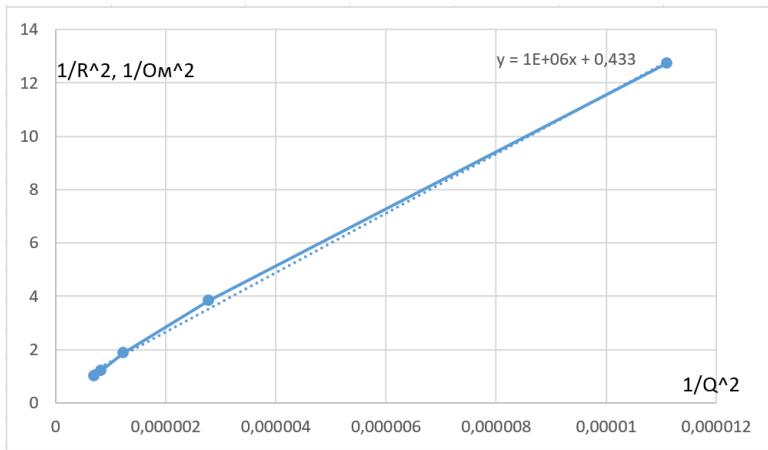
$$R_{cr} = \frac{2}{\sqrt{L/C^*}} = \frac{2}{\sqrt{100\text{мГн}/6\text{нФ}}} = 8.16 \text{ Ом}$$

Установим на магазине ёмкость, равную рассчитанной критической. Проведём измерения двух соседних амплитуд для этого диапазона сопротивлений.

R, Ом	300	600	900	1100	1200	1500
U_1, В	9	8,5	8,1	7,9	7,8	6,4
U_2, В	6,8	5,1	3,9	3,2	2,9	1,2
Q	0,280	0,511	0,731	0,904	0,989	1,674

x, 1/Ом^2	1,11111E-05	2,78E-06	1,23E-06	8,26E-07	6,94E-07	4,44E-07
y, -	12,72763508	3,832257	1,87197	1,224447	1,021515	0,356863





По рисунку выше, определим критическое сопротивление R_{cr} по наклону графика близи начала координат:

$$R_{cr} = 2\pi\sqrt{dY/dX} = 2\pi\sqrt{10^6} = 6650 \pm 180 \text{ Ом}$$

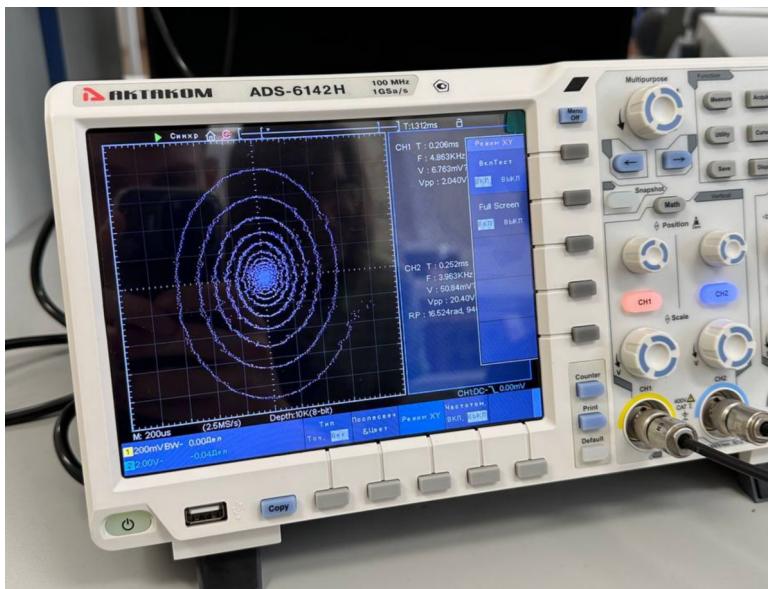
Теперь рассчитаем добротность для максимального и минимального декремента затуханий:

$$Q_{max} = \frac{\pi}{\theta_{min}} = 11,2$$

$$Q_{min} = \frac{\pi}{\theta_{max}} = 1,88$$

Перейдем к **свободным колебаниям на фазовой плоскости**. Введём сопротивление $R = 0.05R_{cr}$ на магазине. Подадим на канал 2(Y) осциллографа падение напряжения с резистора (на самой первой схеме подключение изображено штрихованной линией).

Для одновременного наблюдения осцилограмм тока и напряжения колебаний переведём осциллограф в двухканальный режим.



После настройки изображения зафиксируем спираль. При значении $C = C^*$ пронаблюдаем за изменением спирали при увеличении сопротивления от 0.05 до 0.25 R_{cr} .

Для определения декремента затухания θ измерим координаты пересечения витков спирали с одной из осей координат, разделенные целым числом периодов n , для выбранных значений сопротивлений.

R, Ом	300	600	900	1100	1200	1500
Перес_1	15	17	19	21	21,5	23,5
Перес_2	11	10	9	8,5	8	4,5
Q	0,310	0,531	0,747	0,904	0,989	1,653

Самое интересное, переходим к **исследованию резонансных кривых**.

Переведём генератор специальных сигналов в режим подачи синусоидального сигнала и выставим значение ёмкости C^* , а сопротивление - $R_1 = 300\text{ Ом}$. Затем подадим сигнал с генератора одновременно на колебательный контур и на канал 2 осциллографа.

Определим амплитуду колебаний при резонансной частоте.

$$\nu_{рез.} = \nu_0 = 6.5\kappa\Gamma_U$$

$$2U_{рез.} = 2U_0 = 262B$$

Снимем АЧХ и ФЧХ колебательного контура вблизи резонанса:

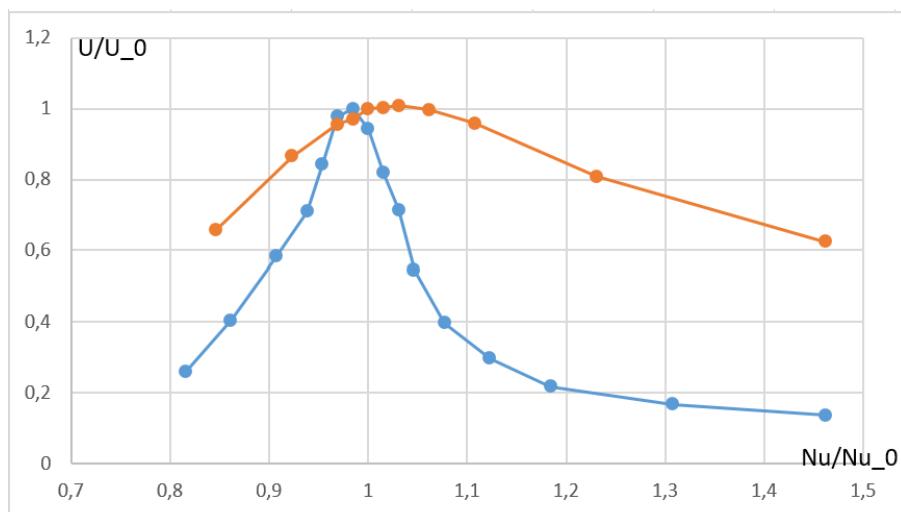
R, Ом	Nu, кГц	5,3	5,6	5,9	6,1	6,2	6,3	6,4
300	2U, В	48	68	106	153	186	221	256
	ФЧХ, мкс	85,6	78	69	62	57	51	42

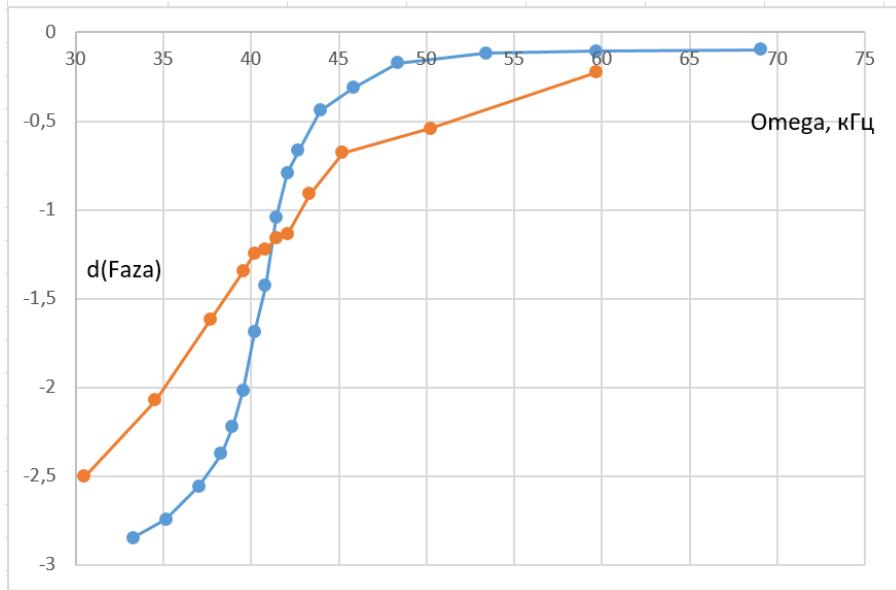
6,5	6,6	6,7	6,8	7	7,3	7,7	8,5	9,5	11
262	247	215	187	143	104	78	57	44	36
35	25,2	18,8	15,6	10	6,8	3,6	2,2	1,8	1,4

Аналогично для $R = 1500$ Ом:

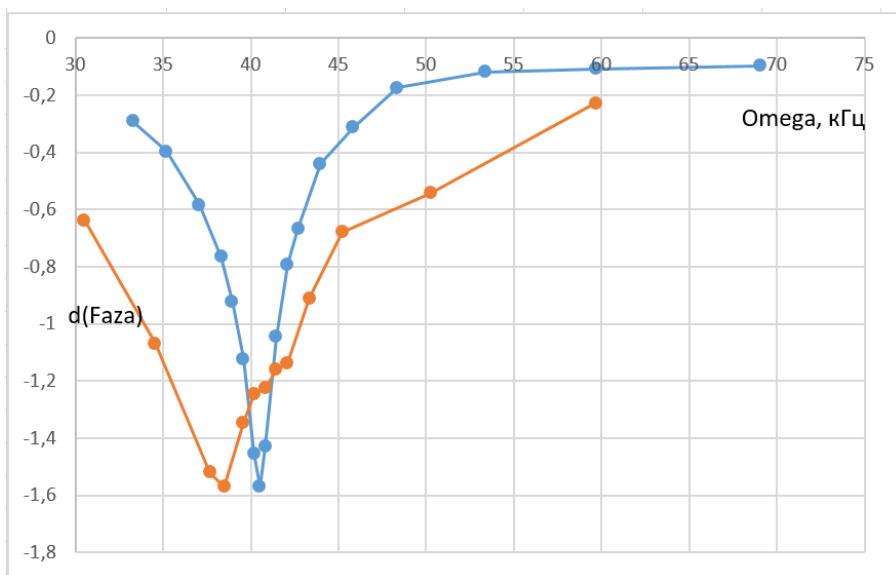
R, Ом	Nu, кГц	5,5	6	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,9	7,2	8	9,5
1500	2U, В	44	58	64	65	67	67,2	67,6	66,8	64,2	54,2	41,8
	ФЧХ, мкс	60	43	34	31	30	28	27	21	15	10,8	3,8

Теперь построим соответствующие графики:





Последний график нам нужно особым образом отразить (как указано в задании), получаем следующее:



Найдем добротности из формулы $Q = \frac{\omega_0}{d\omega}$:

$$Q_{300\text{O.M.}} = 11 \quad Q_{1500\text{O.M.}} = 3,35$$

Для расчёта добротности по скорости нарастания амплитуды измерим амплитуды двух колебаний U_k и U_{k+4} , а также амплитуду установившихся колебаний U_0 .

Таблица 1. Установление

n	$R, \text{O.M.}$	U_0, B	U_k, B	U_{k+n}, B
4	300	130	90	120
3	1500	25	8,6	23,6

Рассчитаем логарифмический декремент затухания по полученным данным с помощью формулы

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

Для определения добротности по скорости затухания измерим две амплитуды, разделенные целым числом периодов.

Таблица 2. Затухание

n	$R, \text{Ом}$	$U_m, \text{В}$	$U_{m+n}, \text{В}$
3	300	30	73
2	1500	3	31

Рассчитаем логарифмический декремент затухания по формуле:

$$\theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_m}{U_{m+n}}$$

Подсчитаем и получаем следующее:

Установление: $Q_{300\text{Ом}} = 9,06$ $Q_{1500\text{Ом}} = 3,82$

Затухание: $Q_{300\text{Ом}} = 10,6$ $Q_{1500\text{Ом}} = 4,04$

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

Таблица 3. 500 Гц

$R, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$
31,173	101,04

Таблица 4. 1500 Гц

$R, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$
32,664	101,03

4 Заключение

В заключение можно сказать, что в данной лабораторной работе мы научились исследовать вынужденные колебания, возникающие в электрическом колебательном контуре под воздействием внешней э.д.с., гармонически изменяющейся во времени.