

Лабораторная работа:
«Вынужденные колебания в электрическом контуре»

Выполнила: Прохорова Юлия

Б04-906

МФТИ, 2020

Вынужденные колебания в электрическом контуре.

Цель работы:

исследование вынужденных колебаний и процессов их установки.

В работе используются:

генератор звуковой частоты, осциллограф, вольтметр, частотомер, ёмкость, индуктивность, магазин сопротивлений, универсальный мост.

Теоретическая часть:

Колебания, возникающие во внешнем источнике при подключении к контуру, являются суперпозицией двух синусоид: 1 - с частотой собственных колебаний контура ω и амплитудой, экспоненциально убывающей со временем; 2 – с частотой внешнего источника Ω и постоянной амплитудой. Со временем собственные колебания затухают, и в контуре устанавливаются вынужденные колебания.

Амплитуда максимальна при выполнении $\Omega = \omega_0$ (резонанс).

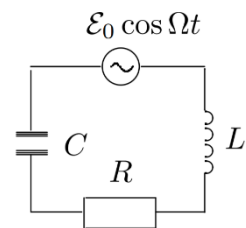


Рис. 1.
Последовательный
колебательный
контур

Резонансная кривая колебательного контура.

Для экспериментального исследования резонансной кривой тока можно снять зависимость напряжения на резисторе R от частоты при постоянной амплитуде выходного напряжения генератора. Нужно убедиться в незначительном влиянии импеданса контура даже при резонансе. Для это используется схема, изображенная на Рис.2. Зависимость напряжения от частот в этом контуре совпадает с резонансной кривой в 1 контуре, если импеданс возбуждающей и измеряющей цепей намного превосходят импеданс самого контура вблизи резонанса $Z_{\text{рез}} \approx L/(RC)$.

Исследуемый контур слабо связан с внешней цепью, если:

$$\frac{1}{\omega C_1} \gg |Z|_{\text{рез}} = \frac{L}{RC}, \quad R_{\text{зо}} \gg \frac{L}{RC} \quad (1).$$

При выполнении 1-го условия из (1) полный ток через контур зависит только от сопротивления C_1 , следовательно при небольшом удалении от резонансной частоты полный ток в контуре остается практически неизменным. Так как сопротивление параллельного контура в резонансе максимально, то

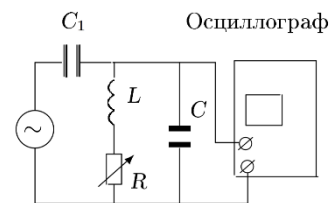


Рис. 2. Схема установки для
исследования вынужденных
колебаний

и напряжение на емкости также максимально. Следовательно, на резонансной кривой максимум амплитуды будет достигаться при резонансе.

Процессы установления и затухания колебаний в контуре.

Добротность контура можно определить по скорости нарастания амплитуды вынужденных колебаний при резонансе или по скорости затухания свободных колебаний.

Чем выше добротность, тем медленнее нарастают и затухают колебания.

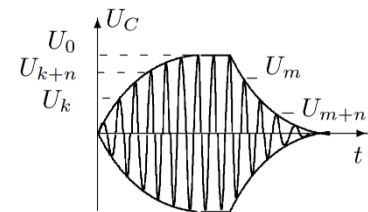


Рис. 3. Нарастание и затухание вынужденных колебаний

Экспериментальная установка.

Колебательный контур состоит из ёмкости $C = 0,1$ мкФ, индуктивности $L = 100$ мГн и переменного сопротивления.

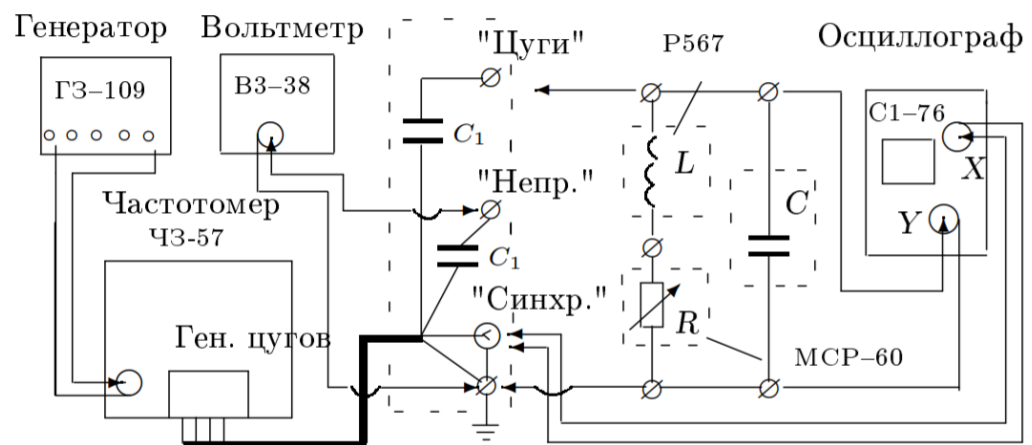


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для исследования вынужденных колебаний

Синусоидальное напряжение от звукового генератора переходит через частотомер, позволяющий измерять рабочую частоту с высокой точностью. После частотомера через небольшую ёмкость $C_1 \approx 600$ пкФ сигнал поступает на клеммы, смонтированные на отдельной панельке.

Ход работы:

1. Резонансная частота контура : $\nu_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$.
 $L = 100$ мГн, $C = 0,10 \pm 0,02$ мкФ, $\nu_0 = 1,592 \pm 0,003$ кГц.

2. Измерения для исследования резонансных кривых $R = 0 \text{ Ом}$:

№	ν , кГц	U, мВ	№	ν , кГц	U, мВ
1	1,574	10,0	1	1,570	9,6
2	1,580	9,8	2	1,566	8,8
3	1,592	8,0	3	1,556	7,8
4	1,595	7,4	4	1,548	6,4
5	1,597	7,0	5	1,552	7,0
6	1,613	5,0	6	1,538	5,0
7	1,620	4,4	7	1,532	4,4
8	1,628	3,8	8	1,523	3,8
9	1,641	3,2	9	1,513	3,2

Таблица 1

3. Измерения для определения добротности по скорости нарастания и затухания колебаний при $R = 0 \text{ Ом}$:

$U_{yc} = 2,8$

№	U
нарастание	
1	0,40
9	1,95
12	1,80
18	2,20
20	2,00
30	2,50
36	2,60
затухание	
1	2,60
3	2,20
4	2,00
7	1,60
10	1,10
11	1,00
12	0,80
14	0,40

Таблица 2

4. Измерения для исследования резонансных кривых $R = 100 \text{ Ом}$:

№	ν , кГц	U, мВ	№	ν , кГц	U, мВ
1	1,583	10,0	1	1,558	9,8
2	1,603	9,8	2	1,546	9,4
3	1,633	9,0	3	1,532	9,0
4	1,640	8,8	4	1,527	8,8
5	1,654	8,4	5	1,508	8,0
6	1,738	6,0	6	1,484	7,0
7	1,794	5,0	7	1,474	6,6
8	1,825	4,6	8	1,458	6,0
9	1,883	4,0	9	1,447	5,6
10	1,934	3,6	10	1,428	5,0

Таблица 3

5. Измерения для определения добротности по скорости нарастания и затухания колебаний при $R = 100 \text{ Ом}$:

$U_{yc} = 1,4$

№	U
нарастание	
1	0,40
2	0,65
3	0,95
4	1,10
5	1,20
6	1,25
7	1,30
8	1,35
затухание	
1	1,10
2	0,80
3	0,60
4	0,40
5	0,25
6	0,21
7	0,20

Таблица 5

6. Измерение активного сопротивления магазина индуктивностей с помощью моста переменного тока:

ν , Гц	L, мГн	R_L , Ом
50	99,98	21,84
500	99,95	22,01
1500	99,99	23,24

Таблица 6

Обработка результатов:

1. $R = 0$ Ом

№	ν/ν_0	U/U_0
1	1,000	1,00
2	1,004	0,98
3	1,011	0,80
4	1,013	0,74
5	1,015	0,70
6	1,025	0,50
7	1,029	0,44
8	1,034	0,38
9	1,043	0,32
10	0,997	0,96
11	0,995	0,88
12	0,989	0,78
13	0,983	0,64
14	0,986	0,70
15	0,977	0,50
16	0,973	0,44
17	0,968	0,38
18	0,961	0,32

$R = 100$ Ом

№	ν/ν_0	U/U_0
1	1,000	1,00
2	1,013	0,98
3	1,032	0,90
4	1,036	0,88
5	1,045	0,84
6	1,098	0,60
7	1,133	0,50
8	1,153	0,46
9	1,190	0,40
10	1,222	0,36
11	0,984	0,98
12	0,977	0,94
13	0,968	0,90
14	0,965	0,88
15	0,953	0,80
16	0,937	0,70
17	0,931	0,66
18	0,921	0,60

Таблица 7,8

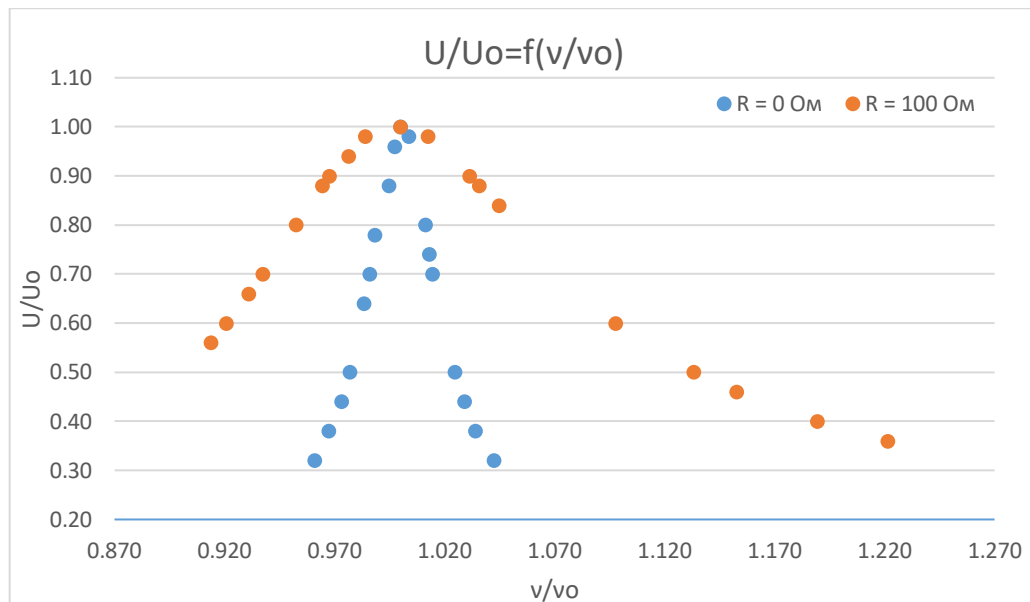


Рис. 5

2. Определим добротность по формуле: $Q = \omega_0 / 2\Delta\Omega$.

$$Q_0 = 27,14 \quad Q_{100} = 5,67$$

3. Определение добротности по скорости нарастания и затухания колебаний.

$$\theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_k}{U_{k+n}} - \text{логарифмический декремент затухания}$$

$$Q = \pi / \theta - \text{добротность}$$

R = 0 Ом

№	U	Q
нарастание		
1	0,40	15,86
9	1,95	
12	1,80	31,33
18	2,20	
20	2,00	49,71
30	2,50	
36	2,60	58,74
затухание		
1	2,60	37,61
3	2,20	
4	2,00	42,24
7	1,60	
10	1,10	32,96
11	1,00	
12	0,80	9,06
14	0,40	

R = 100 Ом

№	U	Q
нарастание		
1	0,40	6,47
2	0,65	
3	0,95	9,32
4	1,10	
5	1,20	13,79
6	1,25	
7	1,30	18,08
8	1,35	
затухание		
1	1,10	9,86
2	0,80	
3	0,60	7,75
4	0,40	
5	0,25	18,02
6	0,21	
7	0,20	13,50

Таблица 9, 10

4. Рассчитаем теоретическое значение добротности через параметры

контура: $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$.

$$Q_0 = 33,33 \quad Q_{100} = 7,69$$

R, Ом	Rконт	Q			
		кривая	нарастание	затухание	теория
0	30	27,14±2,15	38,91±19,14	30,47±14,77	33,33±0,06
100	130	5,67±0,05	11,92±5,09	12,28±4,5	7,69±0,02

Таблица 11

5. Погрешность при усреднении :

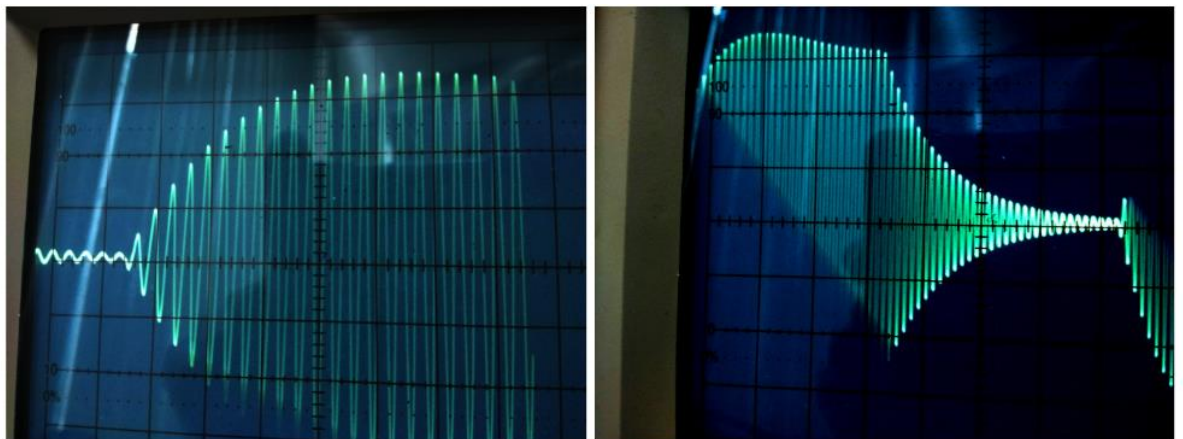
$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum (x_i - \langle x \rangle)^2}$$

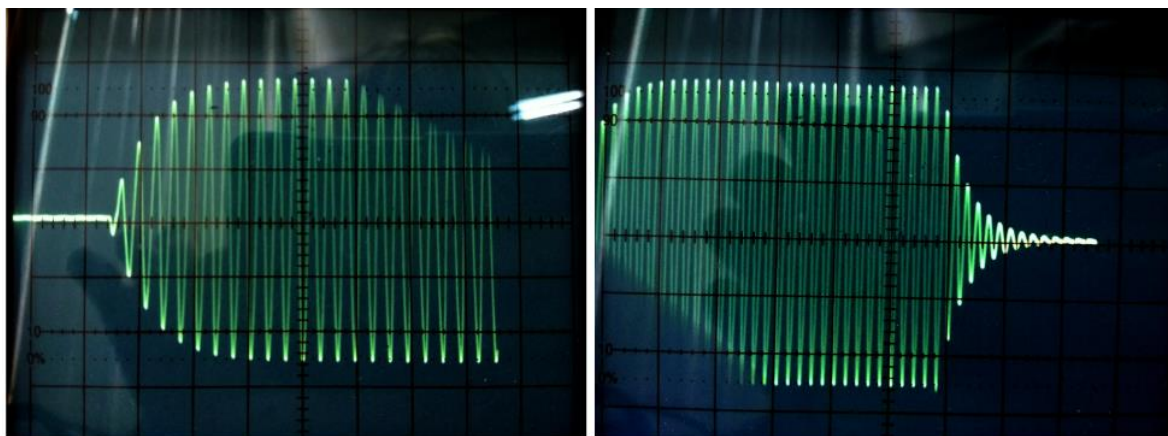
Погрешность измерения добротности с помощью резонансной кривой:

$$\sigma_Q = Q \sqrt{\left(\frac{\sigma_v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta v}}{\Delta v}\right)^2}, \text{ где } \sigma_{\Delta v} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}}$$

$$\sigma_{Q0} = 2,15$$

$$\sigma_{Q100} = 0,05$$



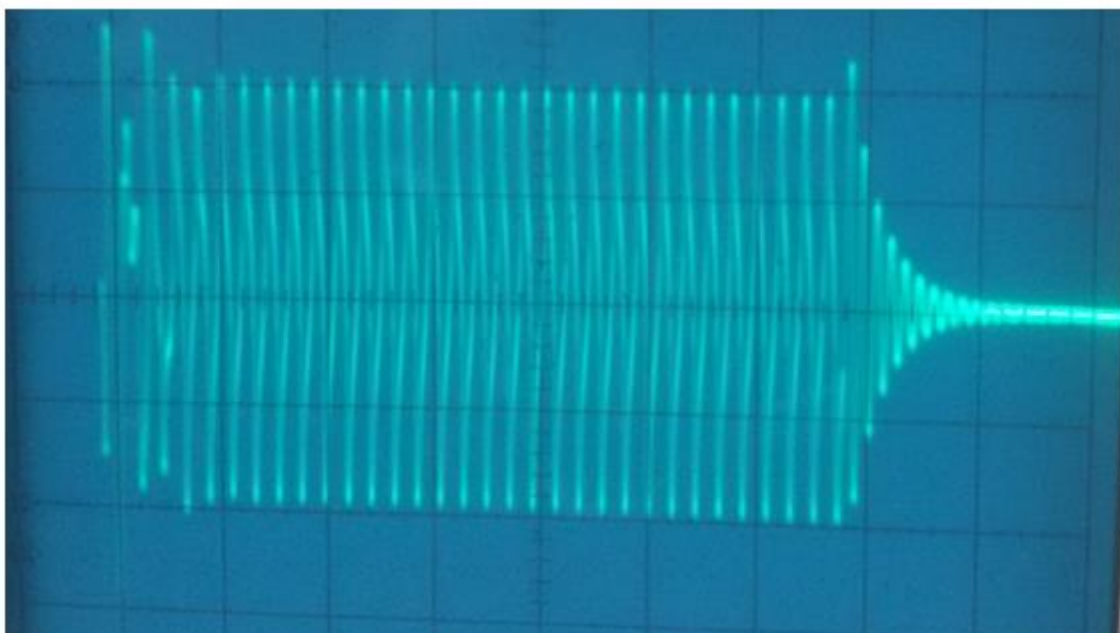


Нарастание и затухание колебаний при $R = 0$ и 100 Ом соответственно
Рис. 2

Вывод:

В ходе работы были изучены вынужденные колебания в электрическом контуре. Были исследованы резонансные кривые для двух контуров с разными сопротивлениями, найдена добротность этих контуров по полученным кривым. Также добротность была найдена при запуске в контур цугов волн – при нарастании и затухании колебаний.

Биения



Возникают изменения амплитуды при сложении двух гармонических колебаний с близкими частотами - такой процесс называется биением. (Важным критерий – разница между частотами много меньше самих частот).