

Лабораторная работа 3.2.5

Свободные и вынужденные колебания в электрическом контуре

Татаурова Юлия Романовна

17 октября 2024 г.

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

Оборудование: осциллограф, генератор сигналов, магазин сопротивления, магазин емкости, магазин индуктивности, соединительная коробка с шунтирующей емкостью, соединительные одножильные и коаксиальные провода.

Экспериментальные данные

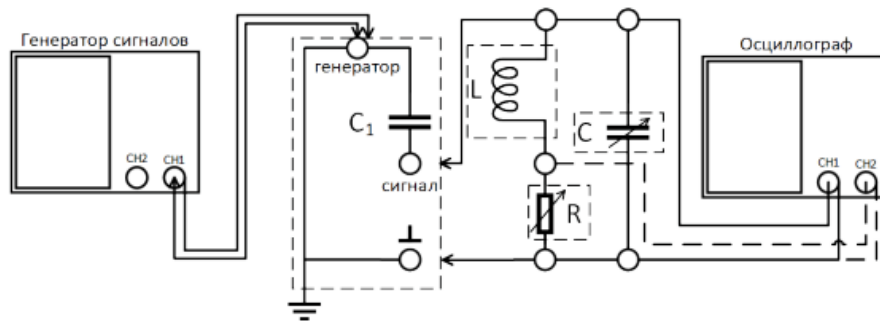


Рис. 1: Схема установки вынужденных колебаний

Генератор подает на вход периодические короткие импульсы, которые заряжают конденсатор C . За время между импульсами конденсатор разряжается через резистор и катушку.

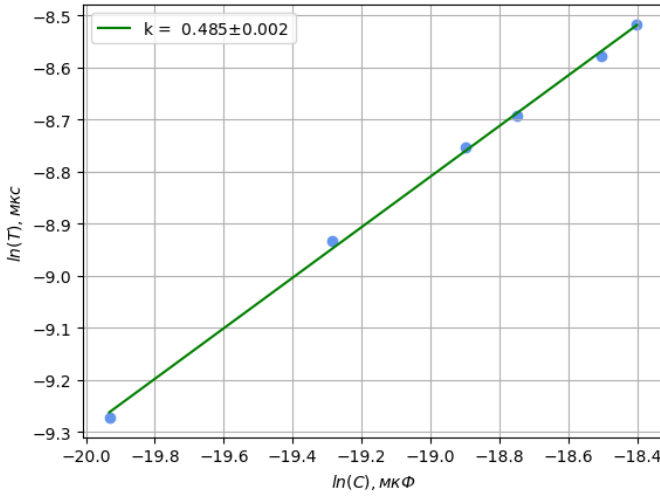
Измерение периодов свободных колебаний

L , мГн	T , мкс	$C_0 = \frac{T^2}{2\pi^2 L}$, нФ
100	69.0 ± 0.1	1.206 ± 0.005

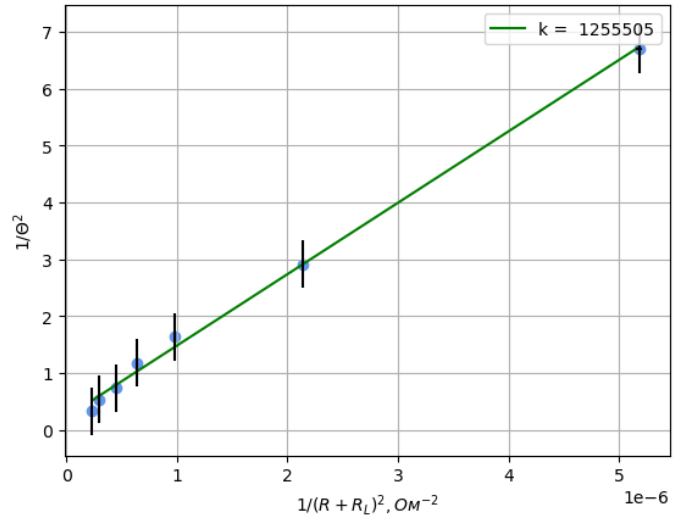
Таблица 1: Начальные данные

C , нФ	0	1	3	5	6	8	9
T , мкс	69	94	132	158	168	188	200

Таблица 2: Зависимость периода колебаний от емкости $T(C)$



(а) График зависимости $T(C)$



(б) График зависимости $Y = 1/\Theta^2$ от $X = 1/(R + R_L)^2$

График $T(C)$ был построен с учетом C_0 и него видно, что $T \propto \sqrt{C}$.

Критическое сопротивление и декремент затухания

$\nu_0 = 6.5$ кГц; $C^* = \left(\frac{1}{2\pi\nu_0}\right)^2 \cdot \frac{1}{L} = 6.00 \pm 0.01$ нФ $R_{cr} = 2\sqrt{\frac{L}{C^*}} = 8168 \pm 23$ Ом.

Меняя сопротивление R , мы определили при каком значении колебательный режим переходит в аperiodический: $R \approx 6$ кОм.

Логарифмический декремент затухания Θ можно найти по формуле:

$$\Theta = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{U_m}{U_{m+n}} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\pi}{\Theta} = \frac{\pi}{\gamma T_1} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_{cr}^2}{R^2} - 1} \Rightarrow \quad (2)$$

$$\frac{1}{\Theta^2} = \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{R_{cr}^2}{R^2} - 1 \right) \Rightarrow k = \frac{R_{cr}^2}{4\pi^2} \quad (3)$$

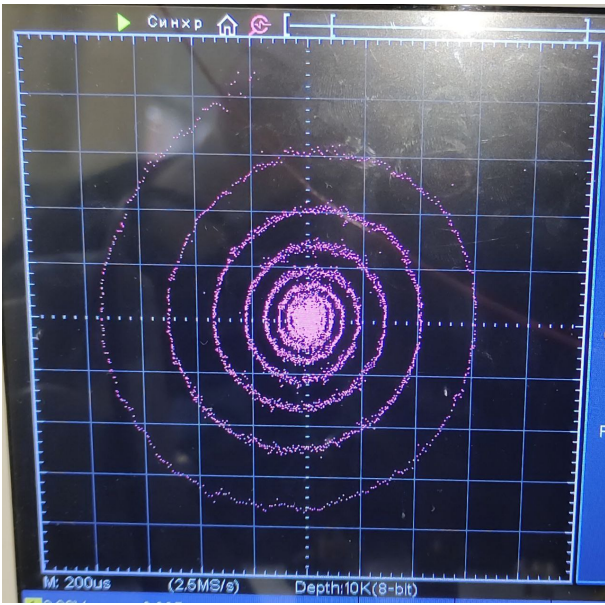
R , Ом	408	653	980	1225	1470	1796	2041
Θ (п.2.3) ($\varepsilon \approx 6\%$)	0.39	0.59	0.78	0.92	1.17	1.37	1.76
Θ (п.2.4) ($\varepsilon \approx 25\%$)	0.26	0.31	0.39	0.55	0.66	0.85	0.97
Q (п.2.3)	8.1	5.4	4.0	3.4	2.7	2.3	1.8
Q (п.2.4)	12.3	10.1	8.0	5.7	4.8	3.7	3.2

Таблица 3: Зависимость декремента затухания от сопротивления

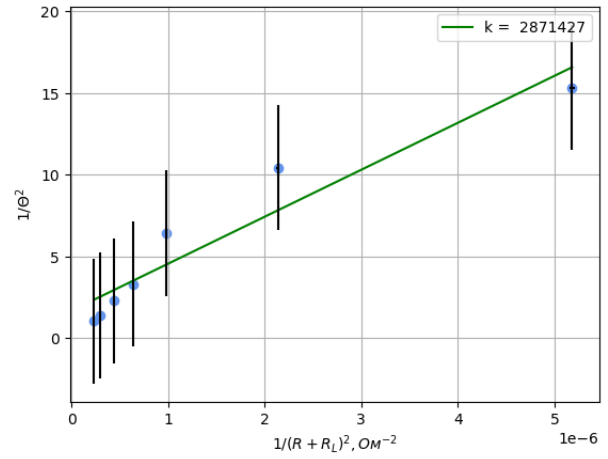
$$R_{cr} = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta Y}{\Delta X}} = 7040 \pm 440 \text{ Ом } (\varepsilon \approx 6\%)$$

Свободные колебания на фазовой плоскости

Теперь подадим на второй канал осциллографа падение напряжения с резистра. Все данные представлены в таблице 3.



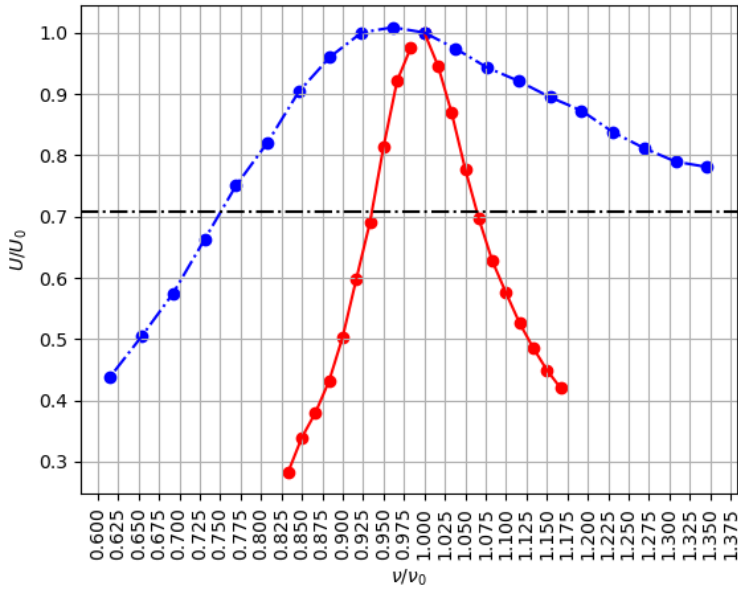
(a) Наблюдение затухающих колебаний на фазовой плоскости



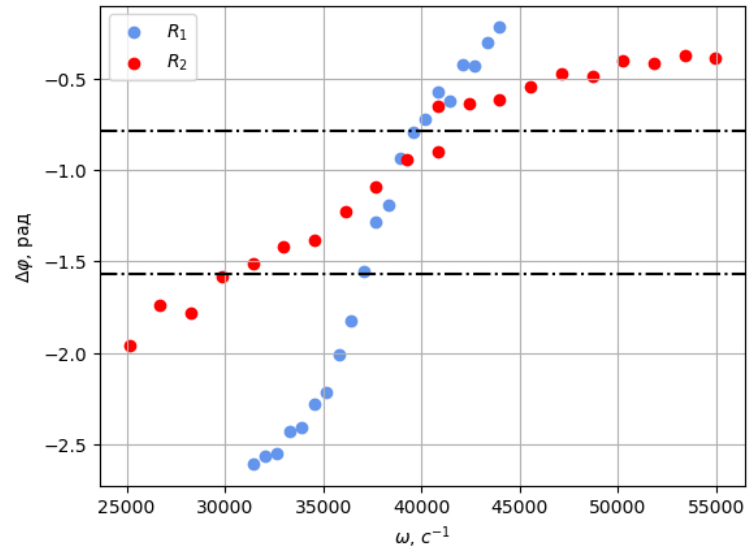
(b) График зависимости $Y = 1/\Theta^2$ от $X = 1/(R + R_L)^2$

Исследование резонансных кривых

$C = C^* = 6$ нФ; $R_1 = 408$ Ом; $R_2 = 2042$ Ом



(a) АЧХ при $R_1 = 408$ Ом и $R_2 = 2042$ Ом



(b) ФЧХ при $R_1 = 408$ Ом и $R_2 = 2042$ Ом

Определим добротность контура по АЧХ по формуле $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\Omega} \Rightarrow$
 $Q_1 = 7.6 \pm 1.0 (\approx 12\%)$ и $Q_2 = \frac{\omega_0}{\Delta\Omega} = 2.4 \pm 0.3 (\approx 12\%)$.

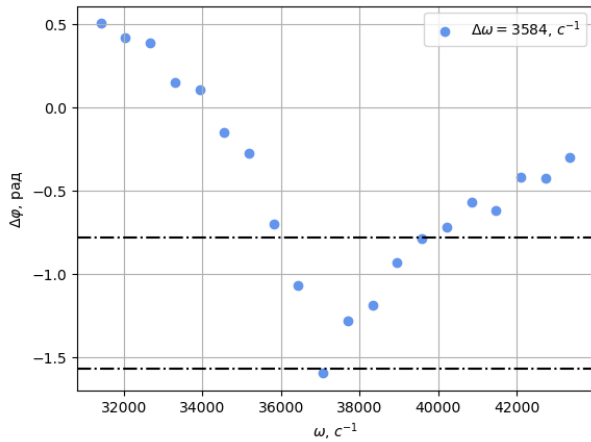


Рис. 5: Определение добротности по ФЧХ(R_1)

Теперь определим добротность контура по ФЧХ по формуле $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$, где $\Delta\omega$ - разность частот на уровнях $-\pi/2$ и $-\pi/4$.
 $Q_1 = 10.5 \pm 0.7 (\approx 7\%)$.
 Q_2 таким способом не получается определить, т.к. количества точек недостаточно.

Θ/R	R_1	R_2
По нарастанию	$0.38 \pm 0.03(8\%)$	$1.45 \pm 0.06(4\%)$
По затуханию	$0.26 \pm 0.04(15\%)$	1.69

Рис. 6: Определение декремента затухания по нарастанию и затуханию

Процессы установления и затухания

$R = R_1 = 408 \text{ Ом}$; $\nu = 6 \text{ кГц}$; $\tau = 20 \text{ мс}$; $N = 15$

Декремент затухания по скорости нарастания вычисляется по формуле:

$$\Theta = \frac{1}{n} \ln \frac{U_0 - U_k}{U_0 - U_{k+n}} \quad (4)$$

Декремент затухания колебательной системы по скорости затухания вычисляется по формуле (1).

Результаты и выводы

R	Свободные колебания			Вынужденные колебания			
	$f(L, C, R)$	$f(\Theta)$	Спираль	АЧХ	ФЧХ	Нарастание	Затухание
$R_1 = 408 \text{ Ом}$	8.47(0.6%)	8.1 ± 0.5	12.3 ± 3.0	7.6 ± 1.0	10.5 ± 0.7	8.3 ± 0.7	12.0 ± 1.8
$R_2 = 2042 \text{ Ом}$	1.72(0.6%)	1.8 ± 0.1	3.2 ± 0.8	2.4 ± 0.3	-	2.7 ± 0.1	1.9

Таблица 4: Сравнение результатов вычисления добротности разными способами

- 1) Определили зависимость периода свободных колебаний от емкости конденсатора: $T \propto \sqrt{C}$
- 2) Определили зависимость логарифмического декремента затухания от сопротивления: $\Theta \propto R$. И из этого нашли критическое сопротивление $R_{\text{кр}} = 7040 \pm 440 \text{ Ом}$. Вычисленное формульное значение $R_{\text{кр}} = 8168 \pm 23 \text{ Ом}$. Однако апериодический режим наблюдался уже при 6 кОм.
- 3) Рассмотрели свободные колебания на фазовой плоскости. На экране осциллографа наблюдалась спираль, что как раз и соответствует теории для затухающих колебаний.
- 4) Исследовали резонансные кривые, строили для них АЧХ и ФЧХ. По ним определили добротность контура.
- 5) Исследовали процессы установления и затухания. По ним так же определили добротность контура.