

Лабораторная работа на тему:
Резонанс напряжений в последовательном контуре

Рябов Олег
Балушкин Петр
Группа Б04-302

29 октября 2024 г.



Содержание

1 Введение

Цель работы: исследование резонанса напряжений в последовательном колебательном контуре с изменяемой ёмкостью, включающее получение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, а также определение основных параметров контура

В работе используются: генератор сигналов, источник напряжения, нагруженный на последовательный колебательный контур с переменной ёмкостью, двухлучевой осциллограф, цифровые вольтметры.

2 Схема установки

Последовательный контур подключен к источнику напряжения, на который подается сигнал с генератора. R_L и R_C - активные сопротивления катушки и конденсатора. Напряжения снимаются вольтметрами 1 и 2 со всей цепи и с конденсатора соответственно.

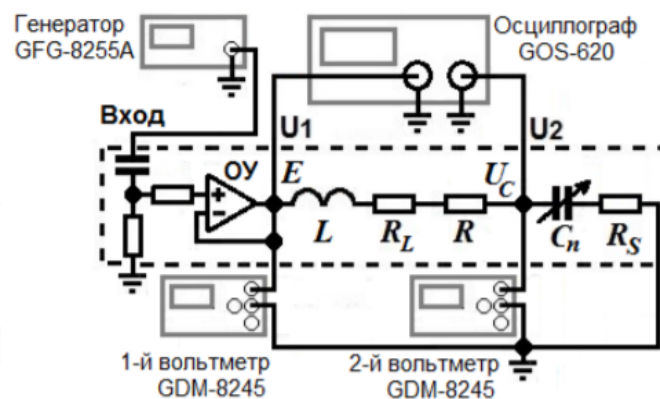


Рис. 1: Схема установки

Краткая теория

Импеданс последовательного контура:

$$Z = Z_R + Z_C + Z_L = R + \frac{1}{iwC} + iwL$$

Ток в цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{Z} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{1}{iwC} + iwL}$$

С учетом характеристик цепи: $w_0^2 = \frac{1}{LC}$, $\delta = \frac{R}{2L}$ получаем напряжения на всех элементах:

$$U_C = IZ_C = \frac{\varepsilon}{R + \frac{1}{iwC} + iwL} \cdot \frac{1}{iwC} = \frac{\varepsilon}{1 - w^2LC + iwCR} = \frac{\varepsilon w_0^2}{w_0^2 - w^2 + 2i\delta w}$$

$$U_L = IZ_L = \frac{\varepsilon w^2}{w^2 - w_0^2 - 2i\delta w}$$

$$U_R = IR = \frac{\varepsilon 2i\delta w}{w_0^2 - w^2 + 2i\delta w}$$

Если контур обладает хорошей добротностью $Q = \frac{w_0}{2\delta}$, то резонансная частота $w_{\text{рез}} \approx w_0$, на которой в Q раз увеличивается напряжение на конденсаторе и катушке:

$$U_C = -i\varepsilon \frac{w_0}{2\delta} = -i\varepsilon Q, \quad U_L = i\varepsilon \frac{w_0}{2\delta} = i\varepsilon Q, \quad U_R = \varepsilon$$

Напряжения на катушке и конденсаторе находятся в противофазе, и всё напряжение источника находится на активном сопротивлении.

Добротность можно также измерить по амплитудно-частотной характеристике:

$$Q = \frac{w_0}{2\Delta w}$$

где $2\Delta w$ - ширина резонансной кривой на уровне $U = \frac{U_{\text{рез}}}{\sqrt{2}}$.

3 Ход работы

Технические данные:

напряжение на генераторе	Напряжение 1	Напряжение 2	частота	емкость	емкость
1.120000	0.200000	5.052000	32200.000000	1.000000	0.000000
1.120000	0.200000	4.486000	27840.000000	2.000000	0.000000
1.120000	0.200000	3.877000	23270.000000	3.000000	0.000000
1.120000	0.200000	3.585000	21160.000000	4.000000	0.000000
1.120000	0.200000	3.330000	19460.000000	5.000000	0.000000
1.120000	0.200000	3.366000	19630.000000	6.000000	0.000000
1.120000	0.200000	2.797000	15830.000000	7.000000	-9252.000000

Таблица 1: Измерение резонансных частот и характеристик контура

напряжение на генераторе	Напряжение 1	Напряжение 2	частота	емкость	емкость
1.120000	1.000000	18.030000	32020.000000	1.000000	0.000000
1.120000	1.000000	15.785000	27630.000000	2.000000	0.000000
1.120000	1.000000	13.209000	23200.000000	3.000000	0.000000
1.120000	1.000000	12.063000	21100.000000	4.000000	0.000000
1.120000	1.000000	11.191000	19300.000000	5.000000	0.000000
1.120000	1.000000	11.219000	19570.000000	6.000000	0.000000
1.120000	1.000000	9.144000	15720.000000	7.000000	-9252.000000

Таблица 2: Измерение резонансных частот и характеристик контура

напряжение на генераторе	Напряжение 1	Напряжение 2	частота	емкость	емкость
1.120000	0.500000	12.003000	32000.000000	1.000000	0.000000
1.120000	0.500000	10.720000	27640.000000	2.000000	0.000000
1.120000	0.500000	9.313000	23090.000000	3.000000	0.000000
1.120000	0.500000	8.608000	21.030000	4.000000	0.000000
1.120000	0.500000	8.018000	19.330000	5.000000	0.000000
1.120000	0.500000	8.088000	19.520000	6.000000	0.000000

Таблица 3: Измерение резонансных частот и характеристик контура

Относительный вклад активных потерь на конденсаторах: $\frac{R_{Smax}}{R_{\Sigma}} \leq 2,4\%$, среднее значение 1,8%. Также полученные данные имеют систематическую погрешность ввиду погрешности вольтметра $\varepsilon_{U_C} \leq 3\%$ и погрешности измерения резонансной частоты, примем её за $\varepsilon_f = 1\%$. Тогда получаем следующие относительные систематические погрешности для полученных величин:

Также были сняты данные для амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик для емкостей C_1 и C_2 . Для АЧХ получился следующий график:

L	Q	ρ	R_{Σ}	$R_{S_{max}}$	R_L	I
2%	3%	1%	3,2%	1%	6%	3,2%

Таблица 4: Относительные систематические погрешности величин

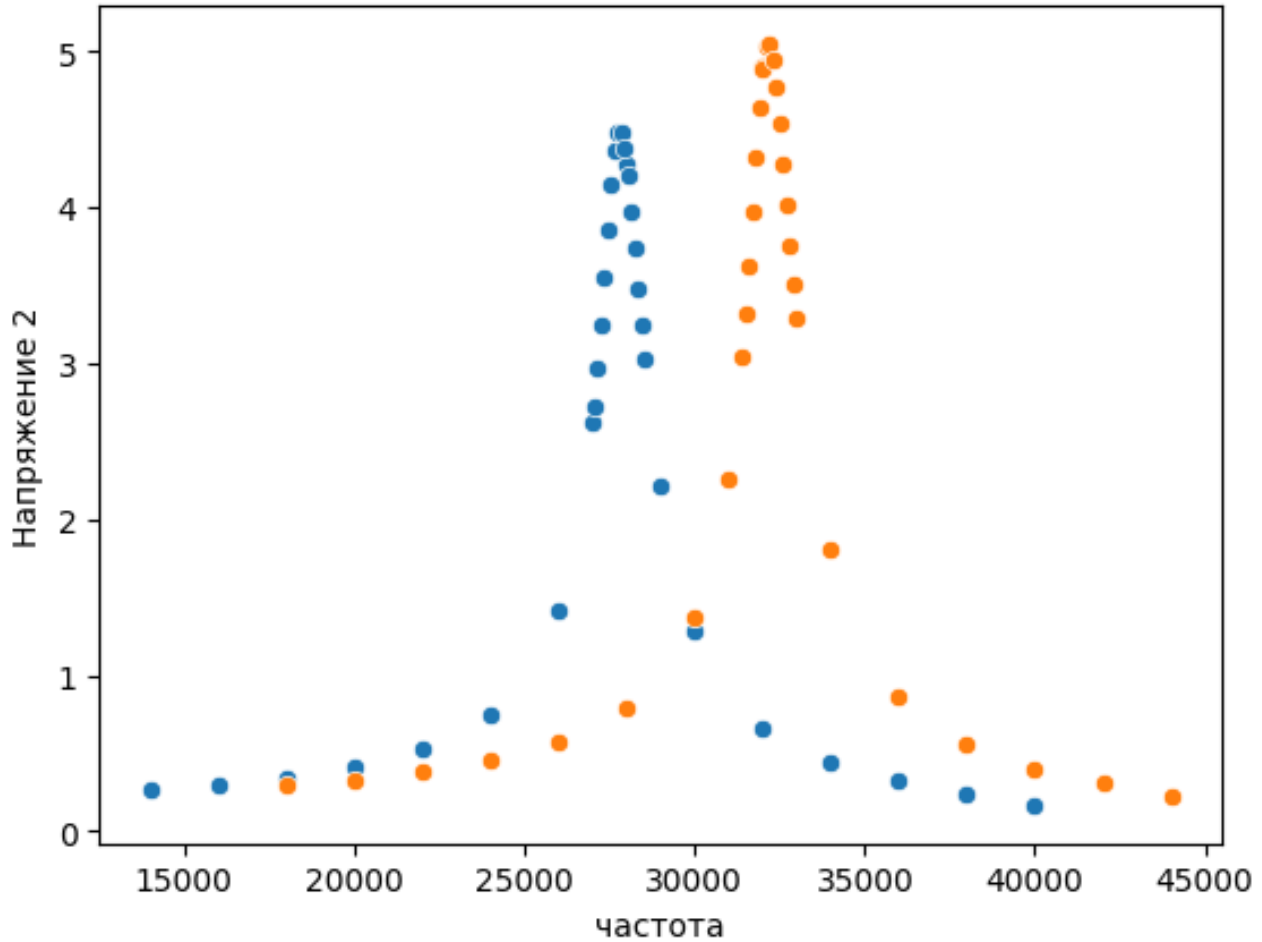


Рис. 2: АЧХ для емкостей C_1 (справа) и C_2 (слева)

Видно, что большей емкости отвечает кривая с большей шириной (так как добротность ниже). Измерим добротности с помощью ширины резонансной кривой на графике в относительном масштабе. Получились следующие значения:

Рассчитаем также добротность по ФЧХ: измерим ширину кривой, которая ограничивается значениями $\frac{\Delta\varphi}{\pi}$ от 0,25 до 0,75, получим следующие значения добротностей:

Построим теперь график зависимость $R_L(\nu)$.

Значения отклоняются от среднего достаточно сильно, прослеживается почти линейная зависимость от частоты. Из возможных причин можно выделить влияние скин-эффекта, из-за которого ток вытесняется на поверхность проводника и течет по меньшему сечению.

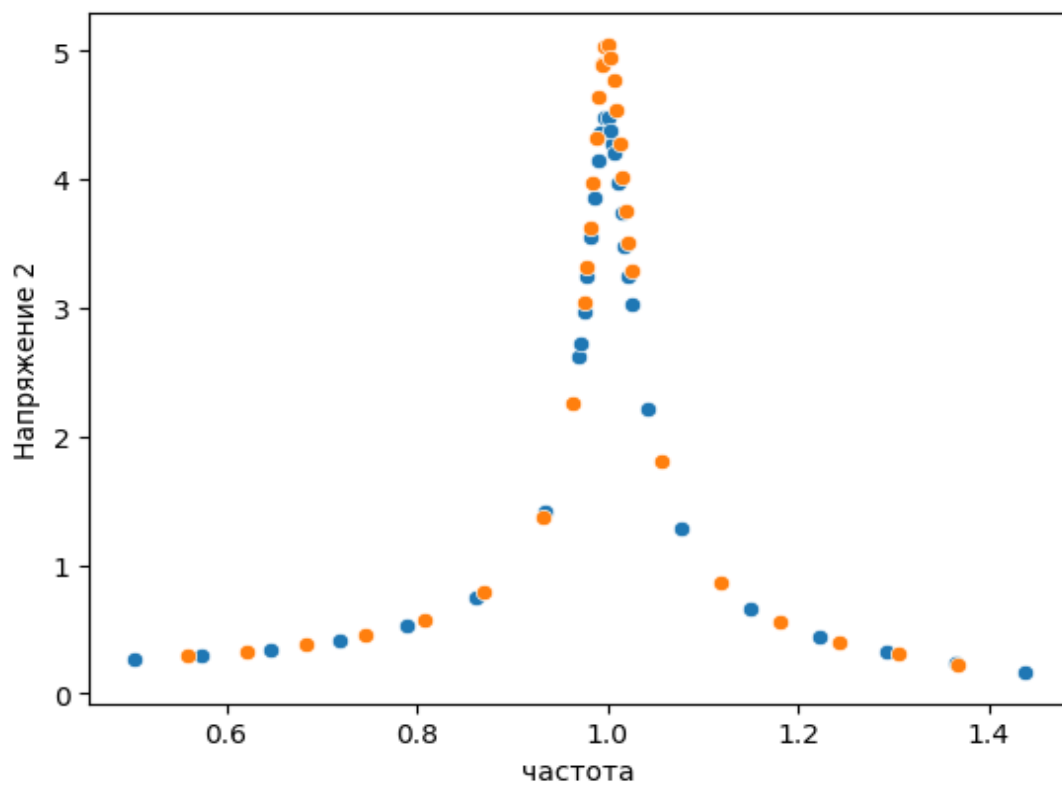


Рис. 3: АЧХ в относительном масштабе

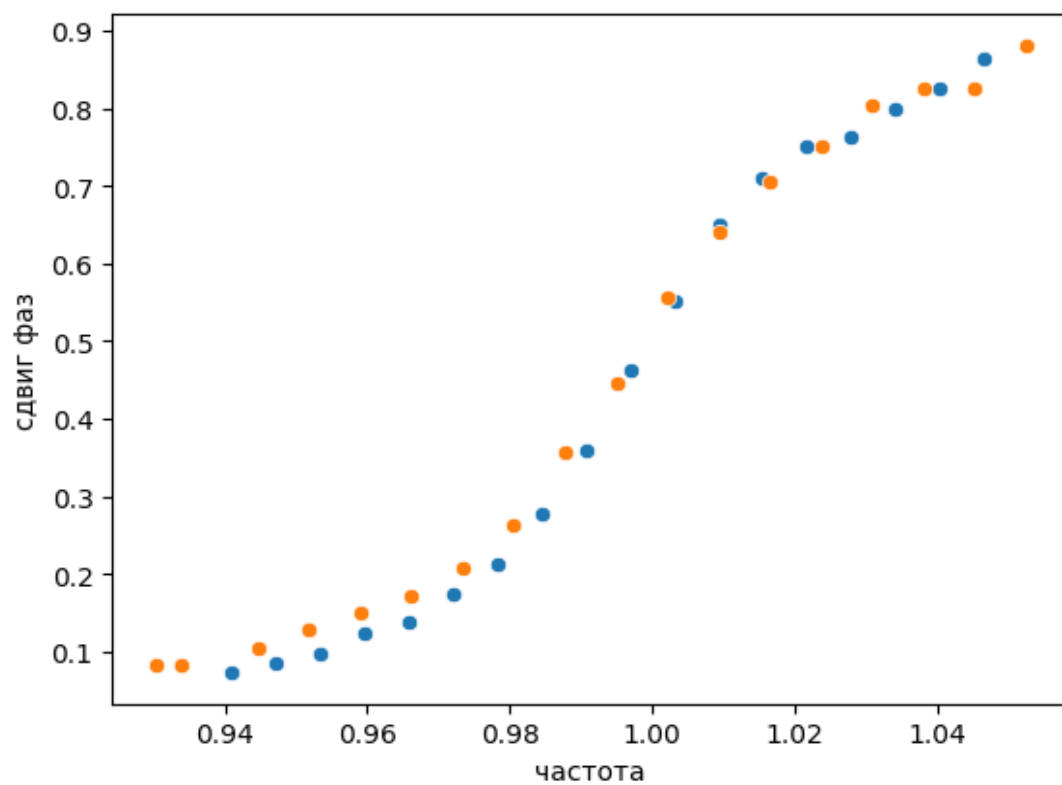


Рис. 4: ФЧХ в относительном масштабе

n	C , нФ	$\frac{2\Delta\nu}{\nu_0}$	Q
2	33,2	0,045	22,12
1	24.8	0,039	25.27

Таблица 5: Расчет добротности по ширине АЧХ

n	C , нФ	$\frac{2\Delta\nu}{\nu_0}$	Q
2	33,2	0,043	23,26
1	24.8	0,036	25.45

Таблица 6: Расчет добротности по ширине ФЧХ

Выводы

В данной лабораторной работе был исследован резонанс напряжений в последовательном контуре и вычислены добротности контуров с различными значениями емкости несколькими способами. Так как получившиеся ФЧХ и АЧХ не очень точны ввиду небольшого числа точек и их неравномерности, то погрешность при расчете добротности через ширину резонансных кривых достаточно велика. В любом случае, это явно не лучший способ измерять добротность контура, гораздо точнее измерение по формулам через параметры контура.

Было замечено, что активное сопротивление R_L катушки не является постоянным и линейно растет с частотой. Объяснение этому, скорее всего, кроется в скин-эффекте.

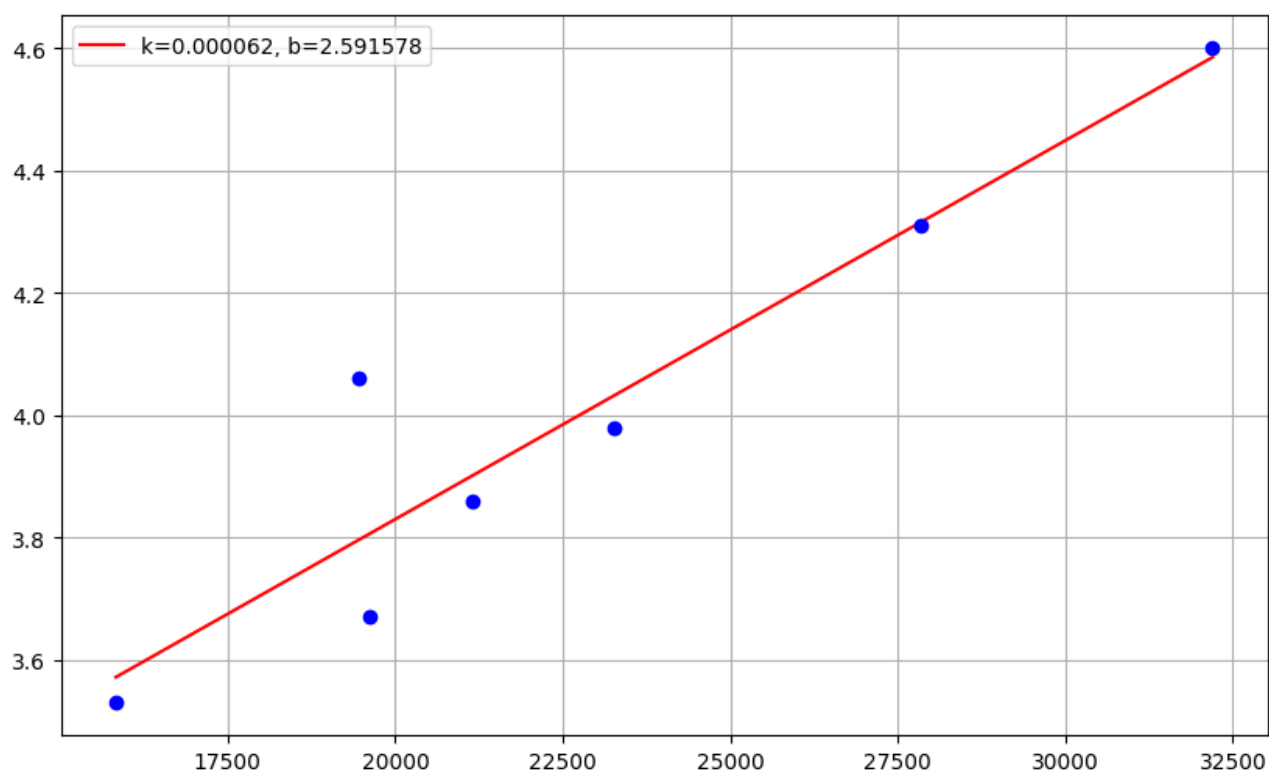


Рис. 5: Зависимость $R_L(\nu)$