

Работа 3.2.2

Резонанс напряжений в последовательном контуре

Шелихов Дмитрий

Группа Б01-305

13 сентября 2024 г.

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

В работе используются: генератор сигналов, источник напряжения, нагрузкой которого является последовательный колебательный контур с переменной ёмкостью, двухканальный осциллограф, цифровые вольтметры.

Экспериментальная установка

В работе изучается резонанс напряжений в последовательном колебательном контуре (рис. 1). Напряжение \mathcal{E} на контуре попадает одновременно на канал 1 осциллографа и вход 1-го цифрового вольтметра. Напряжение на конденсаторе U_c подается одновременно на канал 2 осциллографа и вход 2-го цифрового вольтметра.

Ход работы

1. Настроим работу экспериментальной установки по техническому описанию. В двухканальном режиме работы осциллографа установим общее начало отсчёта $Y_1(t)$, $Y_2(t)$ вблизи левого края средней линии экрана. В качестве синхронизирующего сигнала выберем напряжение $\mathcal{E}(t)$ при начальных условиях: $\mathcal{E}(0) = 0$, $\dot{\mathcal{E}} < 0$.

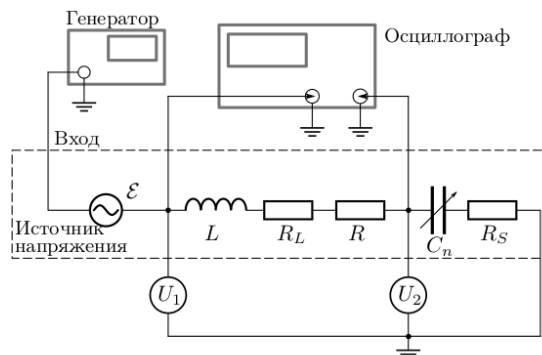


Рис. 1: Схема экспериментального стенда

2. Установим на выходе генератора эффективное значение напряжения $\mathcal{E} = 200$ мВ. Меняя частоту $\nu = \omega/2\pi$ генератора, убеждаемся, что у синусоиды $U_c(t)$ меняется амплитуда и фаза относительно начала координат, в то время как синхронизирующий сигнал $\mathcal{E}(t)$ привязан к началу отсчёта, и его амплитуда \mathcal{E}_0 остаётся неизменной с относительной погрешностью менее 1%.

3. Переключая на блоке 7 различных ёмкостей C_n измерим резонансные частоты ν_{0n} и напряжения $U_C(\nu_{0n})$ при установленном напряжении \mathcal{E} на выходе генератора. Также зарегистрируем напряжения $\mathcal{E}(\nu_{0n})$, игнорируя отклонения в пределах относительной погрешности 1%.

C_n , нФ	f_{0n} , кГц	U_C , В	\mathcal{E} , В
25,0	31,3	4,89	0,206
33,2	27,3	4,31	0,206
47,5	23,0	3,81	0,206
57,2	21,0	3,54	0,206
67,4	19,4	3,23	0,206
82,1	17,5	3,04	0,206
99,6	15,9	2,81	0,206

4. Проведем измерения п.3 для входного напряжения $\mathcal{E} = 0,4$ мВ.

C_n , нФ	f_{0n} , кГц	U_C , В	\mathcal{E} , В
25,0	31,2	9,28	0,4
33,2	27,2	6,16	0,4
47,5	22,9	7,31	0,4
57,2	20,9	6,79	0,4
67,4	19,3	6,32	0,4
82,1	17,5	5,65	0,4
99,6	15,9	5,40	0,4

5. Для контуров с ёмкостями $C_{n1} = 25,0$ нФ и $C_{n7} = 99,6$ нФ измерим амплитудно-частотные характеристики $U_C(\nu)$ для значений $U_C(\nu) \geq 0,6U_C(\nu_{0n})$.

$C_{n1}, \text{ нФ}$	$\nu, \text{ кГц}$	$U_C(\nu), \text{ В}$
25,0	30,56	3,00
	30,66	3,28
	30,76	3,58
	30,86	3,93
	30,96	4,27
	31,06	4,58
	31,16	4,81
	31,26	4,93
	31,36	4,93
	31,46	4,81
	31,56	4,61
	31,66	4,39
	31,76	4,12
	31,86	3,87
	31,96	3,61
	32,06	3,38
	32,16	3,15
	32,26	2,95
	32,36	2,76
	32,46	2,58

$C_{n7}, \text{ нФ}$	$\nu, \text{ кГц}$	$U_C(\nu), \text{ В}$
99,6	15,24	1,71
	15,34	1,87
	15,44	2,06
	15,54	2,26
	15,64	2,46
	15,74	2,65
	15,84	2,78
	15,94	2,84
	16,04	2,80
	16,14	2,69
	16,24	2,54
	16,34	2,36
	16,44	2,18
	16,54	2,01
	16,64	1,85
	16,74	1,70
	16,84	1,57

6. Для тех же двух контуров измерим фазо-частотную характеристику $\psi_C(\nu)$ для значений $U_C(\nu) \geq 0,3U_C(\nu_{0n})$ при том же значении (E) , что и в п.3 (0,2 В).

$$\Delta\varphi = \frac{x}{x_0}\pi$$

$C_{n1}, \text{ нФ}$	$\nu, \text{ кГц}$	$x(\nu), \text{ дел}$	$x_0, \text{ дел}$	$\Delta\varphi, \text{ рад}$
25,0	29,75	2	17	0,37
	30,45	3		0,55
	30,70	4		0,74
	30,89	5		0,92
	31,03	6		1,11
	31,16	7		1,29
	31,29	8		1,48
	31,41	9		1,66
	31,58	10		1,85
	31,75	11		2,03
	32,02	12		2,22
	32,44	13		2,40

$C_{n7}, \text{ нФ}$	$\nu, \text{ кГц}$	$x(\nu), \text{ дел}$	$x_0, \text{ дел}$	$\Delta\varphi, \text{ рад}$
99,6	14,15	2	30	0,21
	14,35	3		0,31
	14,85	4		0,42
	15,15	5		0,52
	15,35	6		0,63
	15,45	7		0,73
	15,55	8		0,84
	15,61	9		0,94
	15,68	10		1,05
	15,74	11		1,15
	15,81	12		1,26
	15,87	13		1,36
	15,92	14		1,47
	15,98	15		1,57
	16,04	16		1,68
	16,11	17		1,78
	16,18	18		1,88
	16,26	19		1,99
	16,34	20		2,09
	16,47	21		2,20
	16,62	22		2,30
	16,82	23		2,41
	17,17	24		2,51

7. Для каждого значения C_n проведём расчёт L , Q , ρ , R_Σ , $R_{Smax} = 10^{-3} \rho$, R_L , I . Затем рассчитаем средние значения $\langle L \rangle$ и $\langle R_L \rangle$ и их случайные погрешности ΔL и ΔR_L как среднеквадратичные отклонения соответствующих величин. Результаты занесём в таблицу.

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_{0n}^2 C_n} \quad Q = \frac{U_C}{\mathcal{E}} \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_\Sigma = \frac{\rho}{Q} \quad R_{Smax} = 10^{-3} \rho \quad R_L = R_\Sigma - R - R_{Smax}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_\Sigma}$$

$C_n, \text{ нФ}$	$f_{0n}, \text{ кГц}$	$U_C, \text{ В}$	$\mathcal{E}, \text{ В}$	$L, \text{ мкГн}$	Q	$\rho, \text{ Ом}$	$R_\Sigma, \text{ Ом}$	$R_{Smax}, \text{ Ом}$	$R_L, \text{ Ом}$	$I, \text{ мА}$
25,0	31,3	4,89	0,206	1034	23,74	203,4	8,57	0,203	4,92	24,04
33,2	27,3	4,31	0,206	1024	20,92	175,6	8,39	0,176	4,76	24,55
47,5	23,0	3,81	0,206	1008	18,50	145,7	7,88	0,146	4,28	26,14
57,2	21,0	3,54	0,206	1004	17,18	132,5	7,71	0,133	4,13	26,72
67,4	19,4	3,23	0,206	999	15,68	121,7	7,76	0,122	4,12	26,55
82,1	17,5	3,04	0,206	1007	14,76	110,7	7,50	0,111	3,94	27,47
99,6	15,9	2,81	0,206	1006	13,64	100,5	7,37	0,101	3,82	27,95
Среднее значение				1012					4,28	
Случайная погрешность				12					0,38	

Относительный вклад активных потерь в конденсаторах в суммарное активное сопротивление контура: $\frac{R_{S_{max}}}{R_{\Sigma}} * 100 \leq 2,37\%$, при среднем значении 1,78%. Полученные данные имеют инструментальную погрешность, связанную с погрешностью измерения частоты вольтметром (примем её за $\varepsilon_f = 1\%$) и погрешности вольтметра $\varepsilon_{U_c} \approx 0,1\%$. Тогда систематические погрешности измеряемых величин следующие:

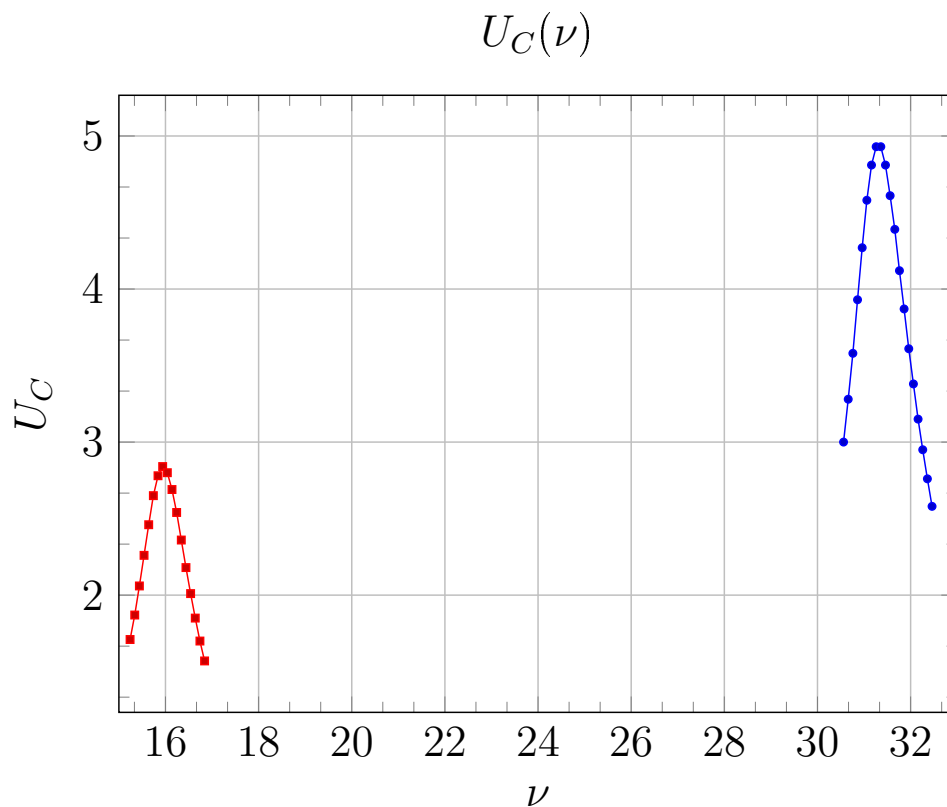
L	Q	ρ	R_{Σ}	$R_{S_{max}}$	R_L	I
2%	0,1%	1%	1,1%	1,1%	1,1%	1,2%

8. Повторим пункт 7 для данных, полученных в п.4.

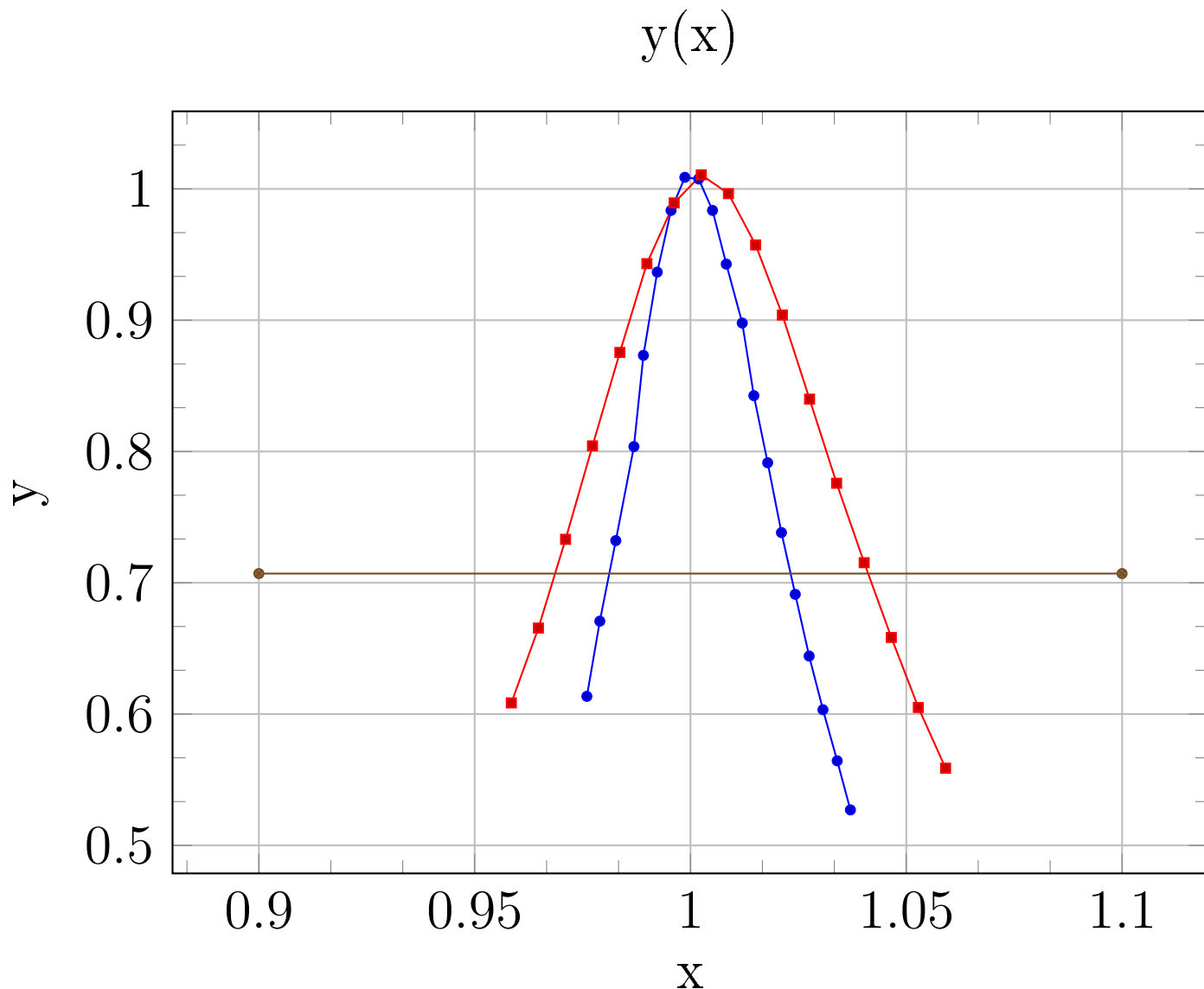
C_n , нФ	f_{0n} , кГц	U_C , В	\mathcal{E} , В	L, мкГн	Q	ρ , Ом	R_{Σ} , Ом	$R_{S_{max}}$, Ом	R_L , Ом	I, мА
25,0	31,2	9,28	0,4	1042	23,20	204,1	8,80	0,204	5,15	45,46
33,2	27,2	6,16	0,4	1032	15,40	176,3	11,45	0,176	7,82	34,93
47,5	22,9	7,31	0,4	1018	18,28	146,4	8,01	0,146	4,41	49,94
57,2	20,9	6,79	0,4	1015	16,98	133,2	7,85	0,133	4,26	50,98
67,4	19,3	6,32	0,4	1010	15,80	122,4	7,75	0,122	4,18	51,63
82,1	17,5	5,65	0,4	1008	14,13	110,8	7,85	0,111	4,29	50,98
99,6	15,9	5,4	0,4	1007	13,50	100,6	7,45	0,101	3,90	53,70
Среднее значение				1019					4,37	
Случайная погрешность				12					0,44	

Относительный вклад активных потерь в конденсаторах в суммарное активное сопротивление контура: $\frac{R_{S_{max}}}{R_{\Sigma}} * 100 \leq 2,32\%$, при среднем значении 1,67%.

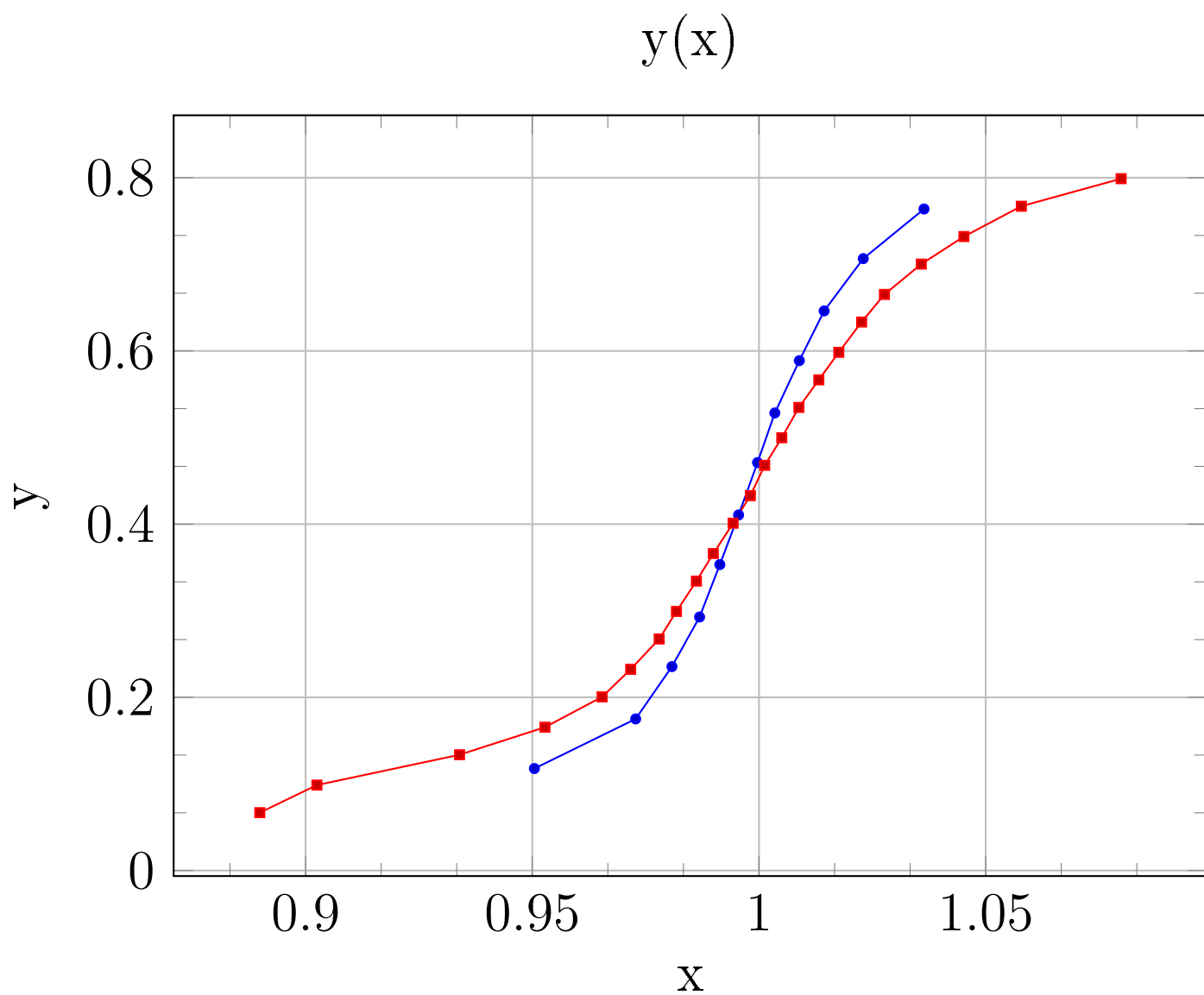
9. По данным измерений п.5 построим на одном графике амплитудно-частотные характеристики $U_C(\nu)$ для выбранных контуров.



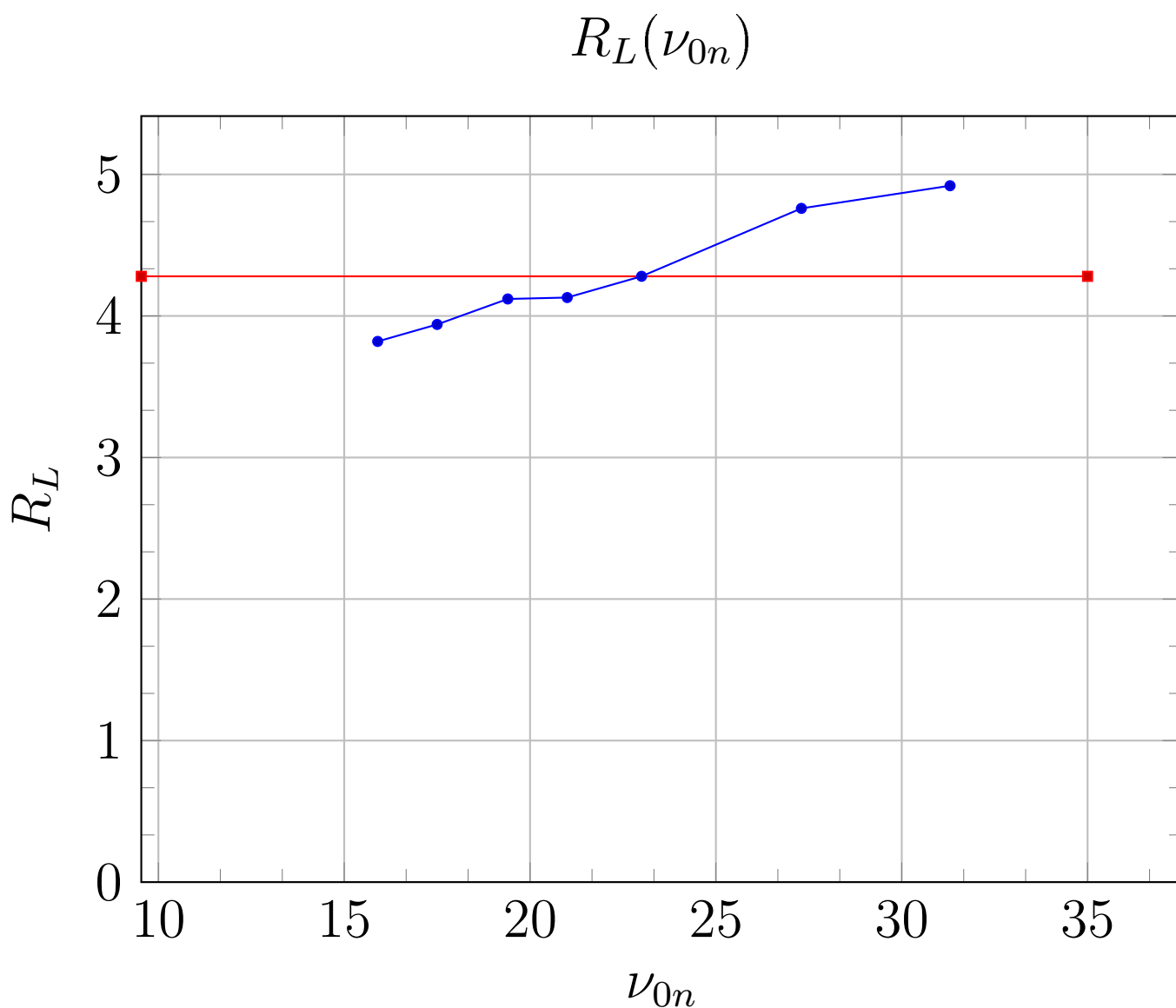
10. По данным измерений п.5 построим на одном графике амплитудно-частотные характеристики в безразмерных координатах $x = \frac{\nu}{\nu_{0n}}$, $y = \frac{U_C(x)}{U_C(1)}$. По ширине резонансных кривых на уровне 0,707 определим добротности Q соответствующих контуров.



11. По данным измерений п.6 построим на одном графике фазово-частотные характеристики в координатах $x = \frac{\nu}{\nu_{0n}}$, $y = \frac{\varphi_C}{\pi}$ для выбранных контуров. По расстоянию между точками по оси x , в которых y меняется от $1/4$ до $3/4$ определим $1/Q$.



12. Построим зависимость $R_L(\nu_{0n})$ в системе координат с началом в точке $(0,6\nu_{07};0)$. Нанесём на график прямую $\langle R_L \rangle$.



Вывод: с помощью замены конденсаторов в последовательном колебательном контуре, мы смогли определить основные параметры колебательного контура для 7 разных цепей. Теоретическая оценка добротности хорошо ложится на экспериментальные данные, полученные по ФЧХ и АЧХ. Большой вклад внесла случайная погрешность, связанная с ручным выставлением резонансной частоты. Для контура с ёмкостью C_{n2} при входном напряжении 400мВ получили выпадающую точку, связанную с утечками конденсатора C_{n2} (при одном и том же входном напряжении контур 2 давал разные результаты при повторных измерениях).