

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.2.2

Резонанс напряжений в последовательном контуре

выполнила студентка группы Б01-007

Миндиярова Рената

Долгопрудный, 2021 г.

Аннотация

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.

Описание работы

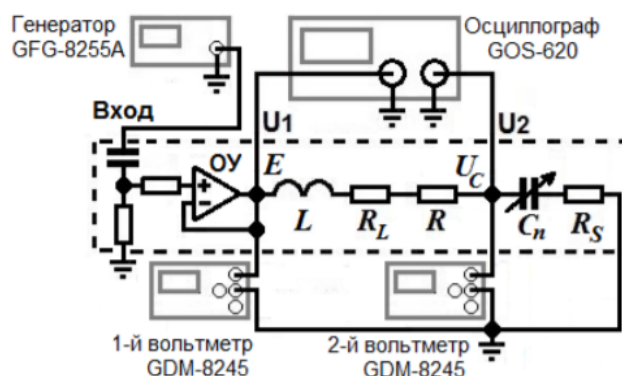


Схема экспериментального стенда для изучения резонанса напряжений в последовательном колебательном контуре показана на рисунке. Синусоидальный сигнал от генератора GFG8255A поступает через согласующую RC-цепочку на вход источника напряжения, собранного на операционном усилителе ОУ. Питание операционного усилителя осуществляется встроенным блоком-выпрямителем от сети переменного тока 220 Вольт (цепь питания на схеме не показана). Источник напряжения, обладающий по определению нулевым внутренним сопротивлением, фактически обеспечивает с высокой точностью постоянство амплитуды сигнала на меняющейся по величине нагрузке – последовательном колебательном контуре, изображенном на рисунке в виде эквивалентной схемы.

Ход работы

1. Подготавливаем установку к работе и включаем приборы.
2. Выставляем на входе контура напряжение $E = 150$ мВ, в течении всей работы поддерживая его постоянным.
3. Добиваемся получения двух отцентрированных синусоид на осциллографе. Убеждаемся, что одна из синусоид при изменении частоты f генератора меняет амплитуду относительно начала координат, в то время как амплитуда другой не меняется с погрешностью не более 1%.
4. Для контуров с семью различными ёмкостями, меняя их с помощью переключателя на блоке, измеряем резонансные частоты f_{0n} и напряжения $U_C(f_{0n})$. Регистрируем также напряжения $E(f_{0n})$, игнорируя отклонения в пределах относительной погрешности 1

5. Для контуров ёмкостями $C_1 = 47.6$ нФ и $C_1 = 102.8$ нФ снимаем амплитудно-частотные характеристики $U_C(f)$ (16-17 точек в сумме по обе стороны от резонанса) при том же напряжении E .

$C = 47.6$ нФ					$C = 102,8$ нФ				
n	f , кГц	σ_f , кГц	A , В	σ_A , В	n	f , кГц	σ_f , кГц	A , В	σ_A , В
1	21,94	0,1	1,11	0,01	1	15,1	0,1	1,23	0,01
2	22,13	0,1	1,25	0,01	2	15,17	0,1	1,3	0,01
3	22,18	0,1	1,29	0,01	3	15,17	0,1	1,32	0,01
4	22,29	0,1	1,4	0,01	4	15,25	0,1	1,4	0,01
5	22,68	0,1	1,93	0,01	5	15,31	0,1	1,49	0,01
6	22,81	0,1	2,18	0,01	6	15,38	0,1	1,6	0,01
7	23,02	0,1	2,6	0,01	7	15,49	0,1	1,76	0,01
8	23,15	0,1	2,8	0,01	8	15,57	0,1	1,84	0,01
9	23,39	0,1	2,84	0,01	9	15,66	0,1	1,97	0,01
10	23,43	0,1	2,79	0,01	10	15,7	0,1	2	0,01
11	23,55	0,1	2,63	0,01	11	15,73	0,1	2,04	0,01
12	23,64	0,1	2,51	0,01	12	15,75	0,1	2,04	0,01
13	23,78	0,1	2,27	0,01	13	15,88	0,1	2,05	0,01
14	23,8	0,1	2,2	0,01	14	15,95	0,1	2,02	0,01
15	23,9	0,1	1,97	0,01	15	16	0,1	1,98	0,01
16	24,12	0,1	1,75	0,01	16	16,08	0,1	1,88	0,01
17	24,15	0,1	1,7	0,01	17	16,22	0,1	1,72	0,01
18	24,47	0,1	1,36	0,01	18	16,44	0,1	1,43	0,01
19	24,59	0,1	1,26	0,01	19	16,58	0,1	1,27	0,01

6. Для тех же двух контуров снимите фазово-частотные характеристики $\varphi_C(f)$ (16-17 точек в сумме по обе стороны от резонанса) при том же напряжении E .

$C = 47,6 \text{ нФ}$			$C = 102,8 \text{ нФ}$		
n	$f, \text{ кГц}$	$-\varphi/\pi$	n	$f, \text{ кГц}$	$-\varphi/\pi$
1	21,94	0,03	1	15,1	0,07
2	22,13	0,04	2	15,17	0,08
3	22,18	0,05	3	15,17	0,08
4	22,29	0,05	4	15,25	0,11
5	22,68	0,1	5	15,31	0,15
6	22,81	0,14	6	15,38	0,17
7	23,02	0,21	7	15,49	0,22
8	23,15	0,29	8	15,57	0,27
9	23,39	0,4	9	15,66	0,34
10	23,43	0,49	10	15,7	0,36
11	23,55	0,6	11	15,73	0,39
12	23,64	0,71	12	15,75	0,4
13	23,78	0,8	13	15,88	0,48
14	23,8	0,83	14	15,95	0,57
15	23,9	0,87	15	16	0,69
16	24,12	0,93	16	16,08	0,79
17	24,15	0,94	17	16,22	0,86
18	24,47	0,98	18	16,44	0,93
19	24,59	1	19	16,58	1

Обработка данных

1. Результаты измерений представим в таблице.

n	C_n , нФ	f_{0n} , кГц	U_C , В	E , В	L , мкГн	Q	ρ , Ом	R_Σ , Ом	$R_{S_{\max}}$, Ом	R_L , Ом	I , мА
1	24,8	32,2	3,75	0,49	986,643	25,17	199,46	7,92	0,2	4,22	0,0080
2	33,2	27,8	3,33	0,49	988,219	22,35	172,53	7,72	0,17	4,05	0,0093
3	47,6	23,25	2,89	0,49	985,435	19,4	143,88	7,42	0,14	3,77	0,0110
4	57,5	21,16	2,66	0,48	984,876	17,97	130,88	7,28	0,13	3,65	0,0121
5	68	19,47	2,48	0,48	983,648	16,76	120,23	7,17	0,12	3,56	0,0132
6	81,6	-		-	-	-	-	-	-	-	-
7	102,8	15,79	2,06	0,48	989,289	13,91	98,1	7,05	0,10	3,45	0,0161
Среднее значение					986,35	—				3,78	—
Среднеквадратичная погрешность среднего значения					0,87	—				0,12	—

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{f_0^2 C}}$$

$$Q = \frac{U_c(\omega_0)}{\varepsilon_0(\omega_0)}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_\Sigma = \frac{\rho}{Q}$$

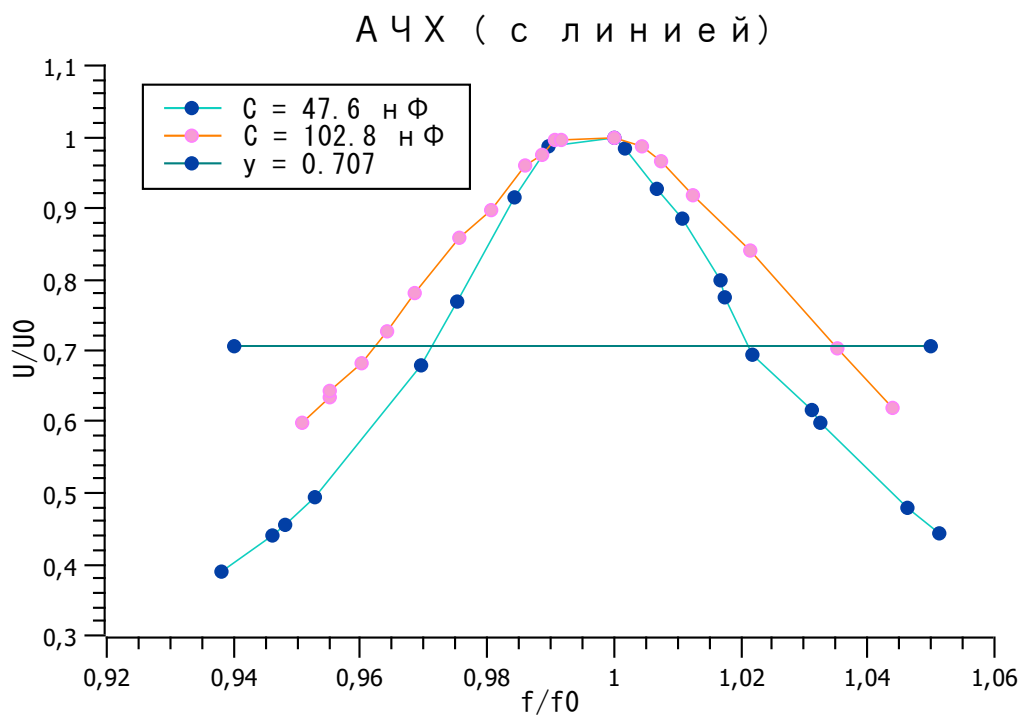
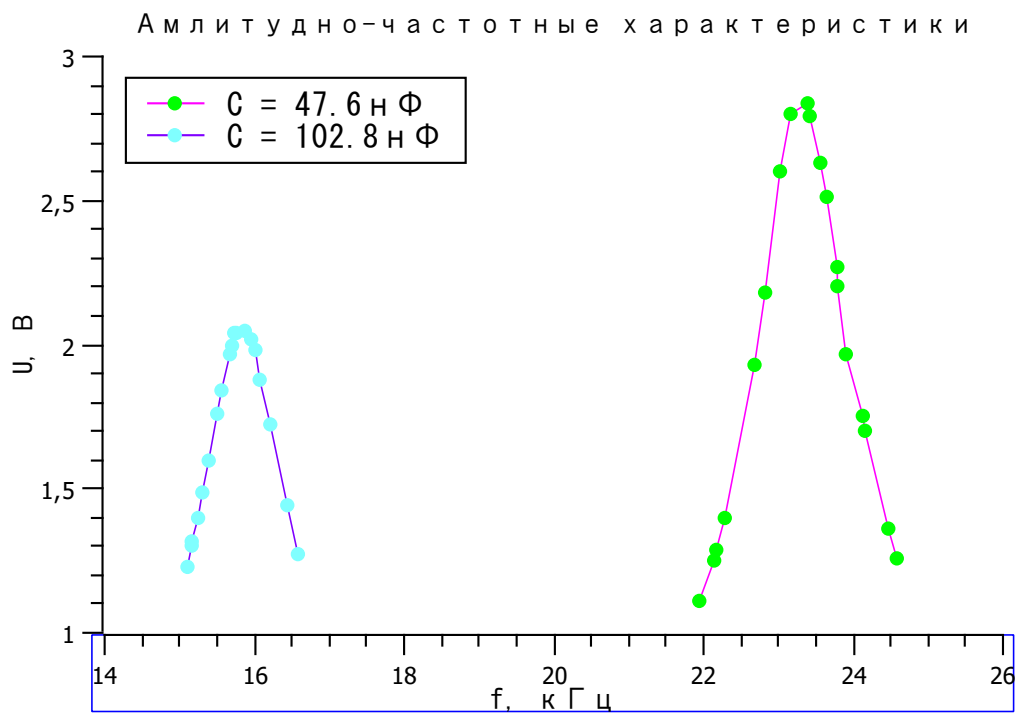
$$R_{S_{\max}} = 10^{-3} \rho$$

$$R_L = R_\Sigma - R - R_{S_{\max}}$$

$$I_{max} = \frac{\varepsilon_0}{R_\Sigma}$$

2. По данным из пункта 5 построим на одном графике амплитудно-частотные характеристики в координатах $f, U_C(f)$.

3. По тем же данным построим на одном графике амплитудно-частотные характеристики в безразмерных координатах $x = f/f_{0n}, y = U_C(x)/U_C(1)$.



По ширине резонансных кривых по уровню 0.707 определим добротность Q соответствующих контуров.

C1: $\Delta f = 0,0498 \text{ кГц}$ $Q = 20$

C2: $\Delta f = 0,0725 \text{ кГц}$ $Q = 13.8$

Посчитаем погрешность резонансной частоты. C1: $\sigma_{f_0} = \frac{f_{i+1} - f_i}{2} = \frac{23.43 - 23.15}{2} = 0.14$

$$C2: \sigma_{f_0} = \frac{f_{i+1} - f_i}{2} = \frac{15.95 - 15.75}{2} = 0.1$$

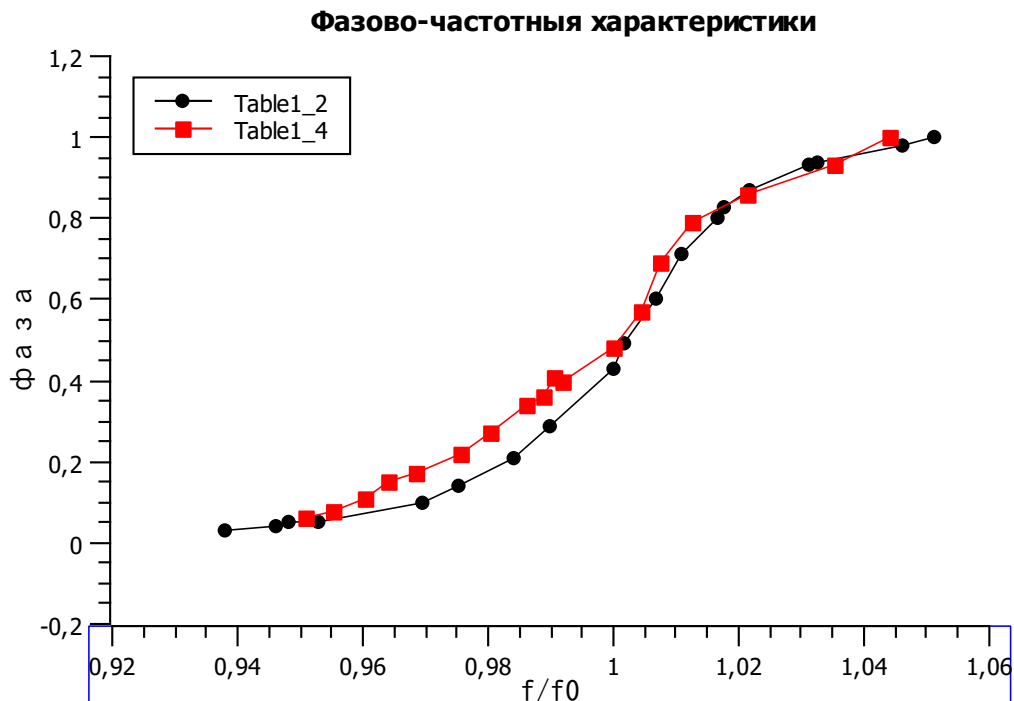
$$\delta_{f_0} = \frac{\sigma_{f_0}}{f_0} \approx 0.006$$

$$\sigma_Q = \delta_{f_0} \cdot Q$$

$$Q_{C1} = 20 \pm 0.12$$

$$Q_{C1} = 13.8 \pm 0.1$$

4. По данным пункта 6 построим на одном графике фазово-частотные характеристики в координатах $x = f/f_{0n}, y = \varphi/\pi$ для выбранных контуров. По этим характеристикам определим добротности контуров одним из двух способов: по расстоянию между точками по оси x , в которых y меняется от -0.25 до -0.75 , равному $1/Q$, или по формуле $Q = 0.5 d\varphi_C(x)/dx$ при $x = 0$: $Q_1 = 19 \pm 0, 15$ и $Q_2 = 12, 3 \pm 0, 4$.



5. По данным таблицы построим зависимость $R_L(f_{0n})$, на график нанесём прямую $\langle R_L \rangle$.
6. По данным построим векторную диаграмму тока и напряжений для контура с наименьшей добротностью в резонансном состоянии. Ось абсцисс направим по вектору \vec{E} .

