

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

---

# Вынужденные колебания в электрическом контуре

---

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

## Цель работы

Исследование вынужденных колебаний и процессов их установления.

## Оборудование

Генератор звуковой частоты (ЗГ), осциллограф (ЭО), вольтметр, частотомер, ёмкость, индуктивность, магазин сопротивлений, универсальный мост.

## Экспериментальная установка

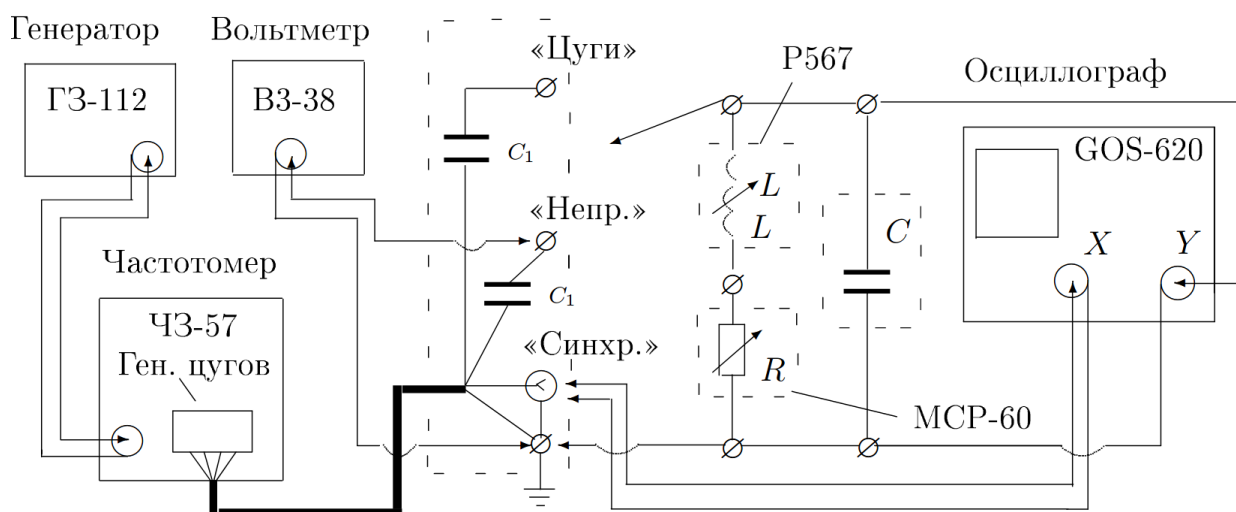


Рис. 1: Схема установки для исследования вынуждённых колебаний

## Теоретическая часть

Для экспериментального исследования резонансной кривой тока в последовательном колебательном контуре можно снять зависимость амплитуды напряжения на резисторе  $R$  от частоты генератора (при постоянной амплитуде выходного напряжения генератора). Но импеданс этого контура включает в себя выходной импеданс генератора. Мы должны быть уверены, что выходной импеданс генератора много меньше импеданса контура и не влияет на процессы, происходящие в этом контуре.

Для устранения этого влияния можно использовать схему, представленную на рисунке (1): синусоидальный сигнал с генератора подаётся на параллельный колебательный контур через небольшую разделительную ёмкость  $C_1$ . Напряжение с ёмкости контура  $C$  поступает на вертикальный вход ЭО.

Зависимость амплитуды этого напряжения от частоты генератора будет практически совпадать с резонансной кривой для последовательного контура, если импедансы возбуждающей и измеряющей цепей (сопротивления переменному току) намного превосходят импеданс самого контура вблизи резонанса  $Z_{\text{рез}} \approx L/(RC) = Q/(\omega C)$ . Разделительная

ёмкость  $C_1$  выбирается настолько малой, что в рабочем диапазоне частот её импеданс  $Z_{C_1} = 1/(\omega C_1)$  много меньше импеданса контура, поэтому в цепи генератора течёт ток практически с постоянной амплитудой, а колебательный контур выполняет роль нагрузочного сопротивления, которое, в свою очередь, зависит от частоты. Поскольку в резонансе сопротивление  $Z_{\text{рез}}$  параллельного контура максимально, то и напряжение на ёмкости  $C$  (неизменный ток, умноженный на максимальное сопротивление) тоже максимально. Входное сопротивление осциллографа (измеряющей цепи) достаточно велико:  $R_{\text{ЭО}} \approx 1 \text{ МОм}$ .

Таким образом, при выполнении условий

$$Z_{C_1} = \frac{1}{\omega C_1} \gg |Z| = \frac{Q}{\omega C}, \quad R_{\text{ЭО}} \gg \frac{Q}{\omega C}$$

и при условии, что действительная часть импеданса катушки много меньше её мнимой части, резонансная кривая в нашем контуре будет выглядеть так же, как в последовательном: максимум амплитуды при резонансе. Ширина резонансной кривой определяет важную характеристику контура — добротность.

Добротность контура может быть определена и другими способами, например, по скорости нарастания амплитуды вынужденных колебаний при резонансе или по скорости затухания свободных колебаний. Нарастание и затухание колебаний можно наблюдать на экране осциллографа, если на контур подаются цуги — отрезки синусоиды, разделённые интервалами, в течение которых сигнал отсутствует. Чем выше добротность, тем медленнее нарастают и медленнее затухают колебания в контуре. Количественные оценки можно сделать, если определить логарифмический декремент затухания по скорости нарастания или затухания колебаний. В условиях резонанса огибающая затухающих колебаний это перевёрнутая огибающая нарастающего участка, поэтому при расчёте логарифмического декремента по затуханию нет необходимости использовать амплитуду установившихся колебаний  $U_0$ , которая в контуре с высокой добротностью иногда не успевает установиться за время продолжительности цуга.

## 1 Ход работы

1. Найдем частоту резонанса -  $\nu_0 = 1550 \text{ Гц}$ . Меняя частоту генератора в обе стороны снимем зависимость показаний амперметра и вольтметра от частоты сигнала. Проведем аналогичные измерения для другого значения  $R$ , данные запишем в таблицу.

Построим график в координатах  $U/U_m = f(\nu/\nu_m)$ , где  $U_m$  - напряжение на резонансной частоте  $\nu_m$ .

2. Рассчитаем добротность по формуле:

$$Q = \frac{\nu_0}{2 \Delta \nu}$$

$$R = 0 : Q_0 = \frac{1550}{65} = 23,8$$

$$\sigma_{Q_0} = 0,33$$

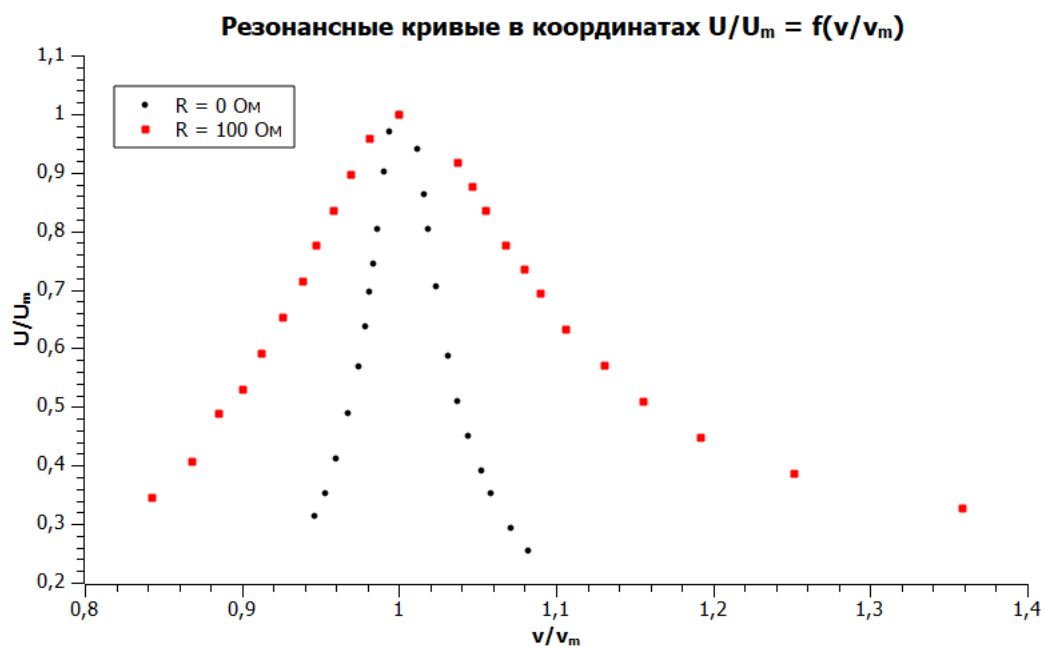
$$R = 100 : Q_{100} = \frac{1550}{235} = 6,59$$

\nu, Hz	U, mV	I, mA	U/U_0
1550	102	12,84	1
1568	96	11,76	0,94118
1575	88	11,6	0,86275
1578	82	11,59	0,80392
1586	72	11,64	0,70588
1598	60	11,82	0,58824
1607	52	11,97	0,5098
1618	46	12,17	0,45098
1631	40	12,39	0,39216
1641	36	12,53	0,35294
1660	30	12,78	0,29412
1677	26	13,06	0,2549
1540	99	13,33	0,97059
1535	92	13,43	0,90196
1528	82	13,45	0,80392
1524	76	13,42	0,7451
1521	71	13,38	0,69608
1516	65	13,31	0,63725
1510	58	13,2	0,56863
1500	50	13,02	0,4902
1488	42	12,82	0,41176
1477	36	12,63	0,35294
1467	32	12,47	0,31373

Рис. 2: R = 0 Ом

\nu, Hz	U, mV	I, mA	U/U_0
1553	29,4	12,47	1
1610	27	12,7	0,91836735
1625	25,8	12,78	0,87755102
1638	24,6	12,88	0,83673469
1658	22,8	13,02	0,7755102
1676	21,6	13,16	0,73469388
1692	20,4	13,29	0,69387755
1718	18,6	13,52	0,63265306
1756	16,8	13,83	0,57142857
1794	15	14,17	0,51020408
1851	13,2	14,71	0,44897959
1943	11,4	15,43	0,3877551
2110	9,6	16,82	0,32653061
1524	28,2	12,36	0,95918367
1505	26,4	12,27	0,89795918
1488	24,6	12,19	0,83673469
1471	22,8	12,07	0,7755102
1457	21	11,97	0,71428571
1438	19,2	11,82	0,65306122
1417	17,4	11,64	0,59183673
1398	15,6	11,49	0,53061224
1374	14,4	11,26	0,48979592
1348	12	10,98	0,40816327
1308	10,2	10,67	0,34693878

Рис. 3: R = 100 Ом



$$\sigma_{Q_{100}} = 0,09$$

3. Рассчитаем добротность контура по скорости нарастания и затухания колебаний.

Для этого запишем амплитуды двух колебаний  $U_k$  и  $U_{k+m}$ . Аналогично для затуханий. Запишем данные в таблицу:

Нарастания			Затухания		
$U_{\{k+n\}}$ , с	$U_{\{k+n\}}$ , r	n	$U_{\{k+n\}}$ , с	$U_{\{k+n\}}$ , r	n
1,2	60	0	4	200	0
1,8	90	2	3,8	190	1
2,6	130	6	3,2	160	2
3,2	160	10	2,8	140	3
3,4	170	12	2,2	110	5
3,6	180	14	1,6	80	8
3,8	190	17	1,2	60	11

Рис. 4:  $R = 0 \text{ Ом}$

Нарастания			Затухания		
$U_{\{k+n\}}$ , с	$U_{\{k+n\}}$ , r	n	$U_{\{k+n\}}$ , с	$U_{\{k+n\}}$ , r	n
1,4	14	0	4,4	44	0
2,8	28	1	2,8	28	1
3,8	38	2	1,8	18	2
4,6	46	3	1,2	12	3
5,2	52	4	0,8	8	4
5,4	54	5	0,4	4	6
	0			0	

Рис. 5:  $R = 100 \text{ Ом}$

Рассчитаем добротность по формулам:

$$Q_{\text{нар}} = \pi \left( \frac{1}{n} \ln \frac{U_0 - U_k}{U_0 - U_{k+n}} \right)^{-1}$$

$$Q_{\text{зат}} = \pi \left( \frac{1}{n} \ln \frac{U_k}{U_{k+n}} \right)^{-1}$$

$$Q_{0\text{нар}} = 28,17 \pm 0,85$$

$$Q_{0\text{зат}} = 33,1 \pm 9,4$$

$$Q_{100\text{нар}} = 1,91 \pm 0,37$$

$$Q_{100\text{зат}} = 2,32 \pm 0,08$$

4. Определим теоретическое значение добротности контура по формуле:

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

$\nu$ , Hz	L, mH	R, Ом
50	99,984	29,279
500	99,903	29,593
1500	99,506	31,12

Запишем параметры установки в таблицу:

Определим теоретическое значение добротности контура:

$$Q_0 = 33,2$$

$$Q_{100} = 7,69$$

5. Запишем результаты определения Q в таблицу:

R, Ом	$\sum R$	Кривая	Нарастание	Затухание	Теория
0	31,12	23,8	28,17	33,1	33,2
100	131,12	6,59	1,91	2,32	7,69

6. Зафиксируем картину биений на экране осциллографа:

