

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Ким Владислав Вячеславович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Определение добротности параллельного колебательного контура по
его АЧХ и ФЧХ**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19312

Научный руководитель:

аспирант Матвеев Антон Сергеевич
Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к.ф. – м.н. Иванов Иван Анатольевич
Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин
Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация.

Целью данной работы является определение добротности при рассмотрении резонанса в параллельном колебательном контуре.

Работа была проведена на параллельном колебательном контуре с использованием осциллографа для снятия значений падения напряжения.

Добротность была определена по экспериментально полученным графикам АЧХ и ФЧХ для двух различных нагрузок R , а также отдельно теоретически посчитана.

Ключевые слова: добротность, резонанс в параллельном колебательном контуре, АЧХ, ФЧХ

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА.....	6
ЭКСПЕРИМЕНТ.....	6
ПОГРЕШНОСТИ В РАБОТЕ.....	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	13
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	14

Введение.

Резонанс – это режим цепи переменного тока, в которой содержатся емкостные и индуктивные элементы, при котором проводимость равна нулю.

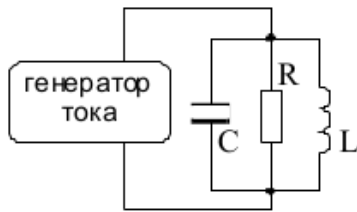


Рис. 1. Параллельный колебательный контур

В случае параллельного колебательного контура подключенному параллельно к источнику тока с частотой равной резонансной частоте контура, возникает резонанс токов. Где резонансная частота контура

$$\text{равна: } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Для данного контура верно, что падение напряжения на всех его параллельных элементах одинаково, а токи на элементах R, L, C соответственно равны:

$$I_R = U \cdot g; I_L = \frac{1}{L} \int U(t) dt; I_C = C \cdot \frac{dU}{dt}, \text{ где } g = \frac{1}{R}.$$

По первому закон Кирхгофа:

$$I_G = I_R + I_L + I_C, \text{ где } I_G \text{ – ток от источника переменного тока}$$

При этом ток источника опережает на $\frac{\pi}{2}$ ток на индуктивности, и запаздывает на $\frac{\pi}{2}$ от тока на конденсаторе.

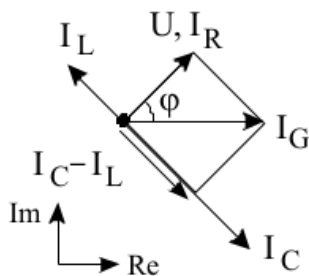


Рис. 2. Векторная диаграмма токов в параллельном колебательном контуре

Полная проводимость контура (см. рис. 1):

$$|Y| = \sqrt{\left(g^2 + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2\right)} = \sqrt{\left(g^2 + \left(\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)}.$$

И фаза:

$\varphi(\omega) = \arctg g \frac{\omega_0 C}{g} \left(\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0} \right)$. Отсюда получаем частотную зависимость разности фаз, или ФЧХ.

Для идеального источника тока, у которого величина I постоянна, напряжение на контуре равно:

$$U(\omega) = \frac{I}{|Y|}$$

При этом токи в ветвях контура будут пропорциональны своим проводимостям:

$$I_R(\omega) = \frac{I * g}{|Y|}$$

$$I_L(\omega) = \frac{I}{\omega L * |Y|}$$

$$I_C(\omega) = \frac{I * \omega C}{|Y|}$$

Получаем зависимость тока на элементах параллельного колебательного контура R , L и C от частоты, или же АЧХ.

Добротность – параметр, определяющий шири ну резонанса, а также показывает, во сколько раз запасенная энергия больше потери энергии при изменении фазы на 1 радиан.

Для параллельного колебательного контура добротность равна:

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

Основной целью данной работы является:

- Построение графиков АЧХ и ФЧХ из экспериментально найденных данных.
- Определение добротности параллельного колебательного контура по графикам АЧХ и ФЧХ, а также из расчетов, основанных на теории.

Экспериментальная установка.

В данной работе исследуется область резонанса в параллельном колебательном контуре. Экспериментальные данные были получены с помощью снятых с контура (см. рис. 3) осциллограмм.

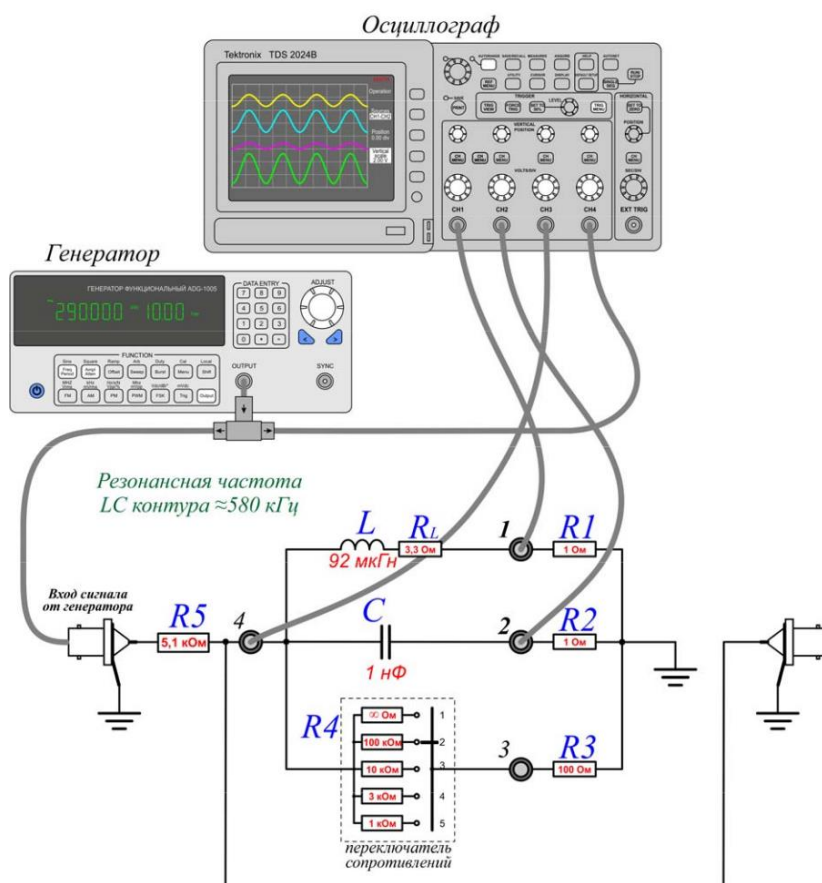


Рис. 3. Экспериментальная схема параллельного колебательного контура.

С точек 1, 2, 3 (см. рис. 3) снимается падение напряжений на сопротивлениях в ветвях с индуктивностью, емкостью и активной нагрузкой соответственно.

С точки 4 напряжение $U(\omega)$.

Сопротивление R_5 присутствует в схеме, для того чтобы, внутреннее сопротивление генератора переменного тока, значительно превышало реактивные сопротивления индуктивности и емкости, в области частот не слишком далеких от резонанса

Эксперимент.

Первым делом была проверена работоспособность всех приборов, а также правильность сборки схемы. Затем были включены генератор и осциллограф.

На генераторе была выставлена резонансная частота, определенная по теории и равная $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = 524$ кГц, сразу было замечено что данная частота отличается от предположительной частоты указанной на рисунке установки, которая равняется $\omega_T = 580$ кГц.

Эксперимент был проведен для двумя различными нагрузок R3 (см. рис 3) равных 1 кОм и 100 кОм. Для каждого из этих нагрузок было проведено отдельное считывание данных с осциллографа для частот в диапазоне от 460 кГц до 680 кГц с шагом в 20 кГц. Данные значения были выбраны на основе симметрии относительно предположительной резонансной частоты. На осциллограммах, лежащих за пределом этого диапазона, шумы составляли более 50% графика поэтому не были использованы.

В результате были получены осциллограммы с выходов осциллографа СН1 – СН4 в виде csv файлов, после чего обработаны в программе Microsoft Excel. После обработки результатов были получены значения падения напряжения на резисторах R1, R2 и R4. Из них было получено значение амплитудных токов $I_R = \frac{U_R}{R4}$, $I_L = \frac{U_L}{R1}$ и $I_C = \frac{U_C}{R2}$ в ветвях с элементами R, L и C соответственно. А также значения сдвига фаз тока I_R относительно тока генератора. Значение сдвига фаз было получено по формуле $\Delta\varphi = \omega * \Delta t$, где Δt – временной сдвиг осциллограмм со входов СН3 и СН4 осциллографа, $\omega = 2 * \pi * f$ – круговая частота.

Данные, полученные после обработки:

f, кГц	w	R = 1 кОм			R = 100 кОм		
		I_L , А	I_C , А	I_R , А	I_L , А	I_C , А	I_R , А
460	2888,8	0,14	0,1	0,0028	0,14	0,12	0,0028
480	3014,4	0,18	0,1	0,0034	0,18	0,13	0,0036
500	3140	0,2	0,06	0,0042	0,22	0,16	0,0046
520	3265,6	0,24	0,08	0,0054	0,28	0,22	0,0066
540	3391,2	0,28	0,1	0,0072	0,42	0,34	0,0098
560	3516,8	0,34	0,13	0,008	0,52	0,46	0,0132
580	3642,4	0,3	0,12	0,0078	0,44	0,42	0,0108
600	3768	0,24	0,1	0,0064	0,3	0,3	0,0078
620	3893,6	0,18	0,08	0,0052	0,22	0,24	0,0058
640	4019,2	0,14	0,08	0,0044	0,18	0,18	0,0046
660	4144,8	0,12	0,07	0,0036	0,16	0,16	0,0038
680	4270,4	0,1	0,1	0,003	0,11	0,14	0,0032

Таблица 1. Экспериментальные данные для построения АЧХ.

По этим данным (см. таблицу 1.) была построена зависимость значения амплитудных токов относительно частоты.

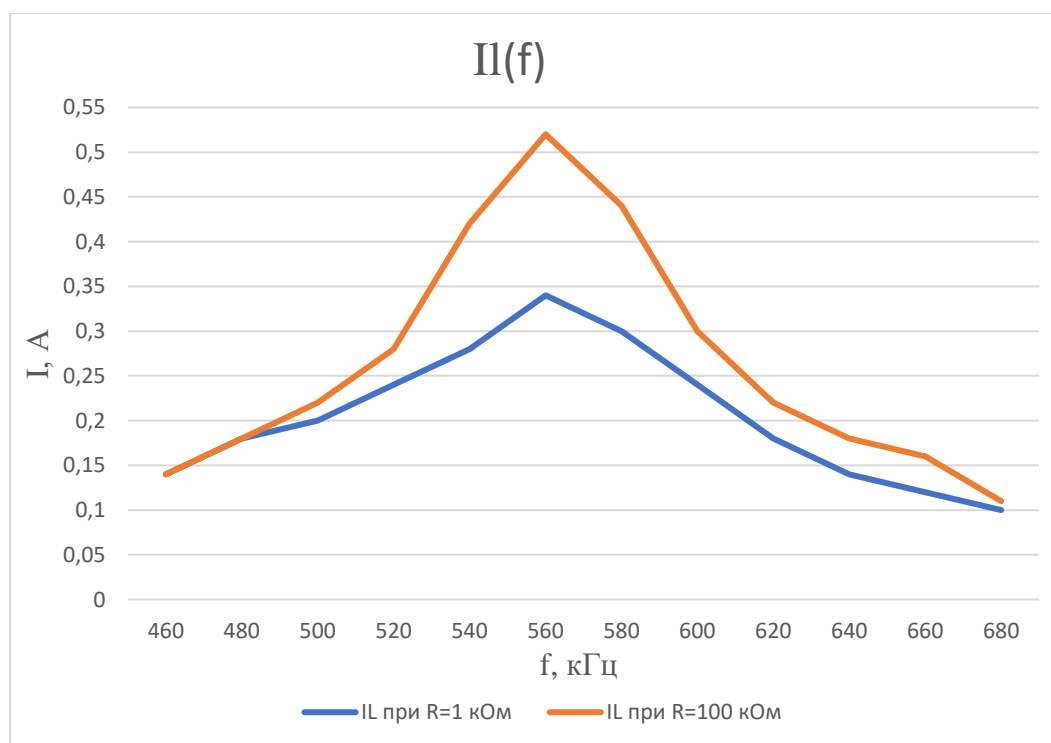


Рис. 4. АЧХ для I_L при нагрузках R равных 1 кОм и 100 кОм.

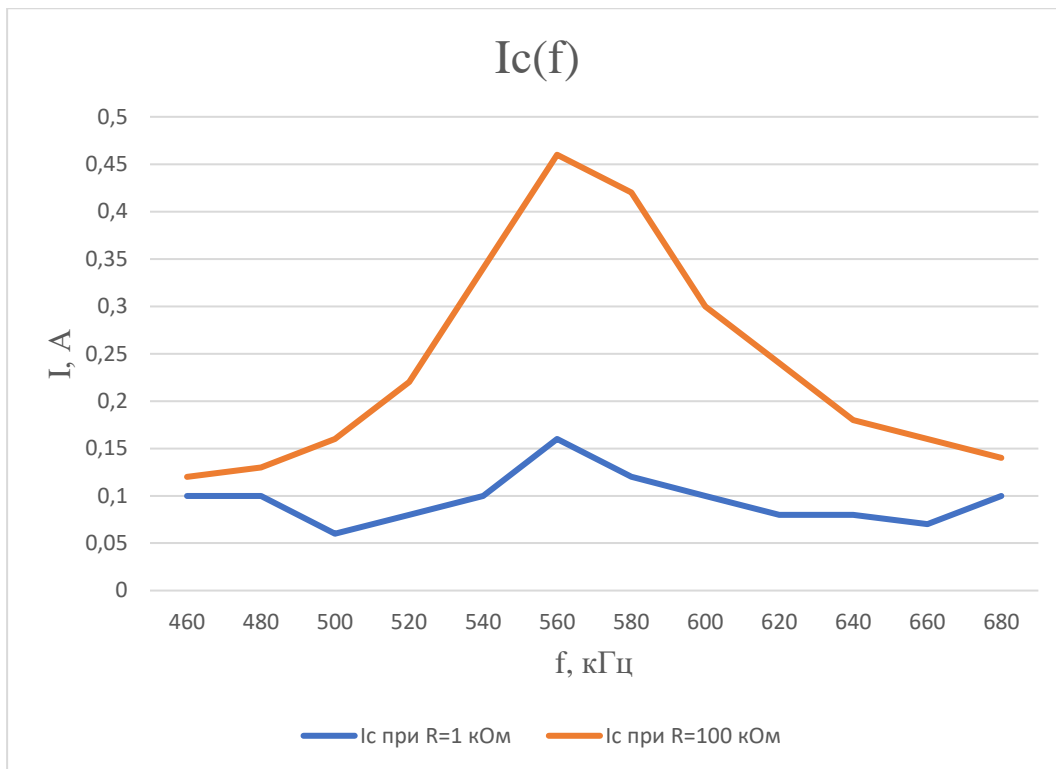


Рис. 5. АЧХ для I_C при нагрузках R равных 1 кОм и 100 кОм.

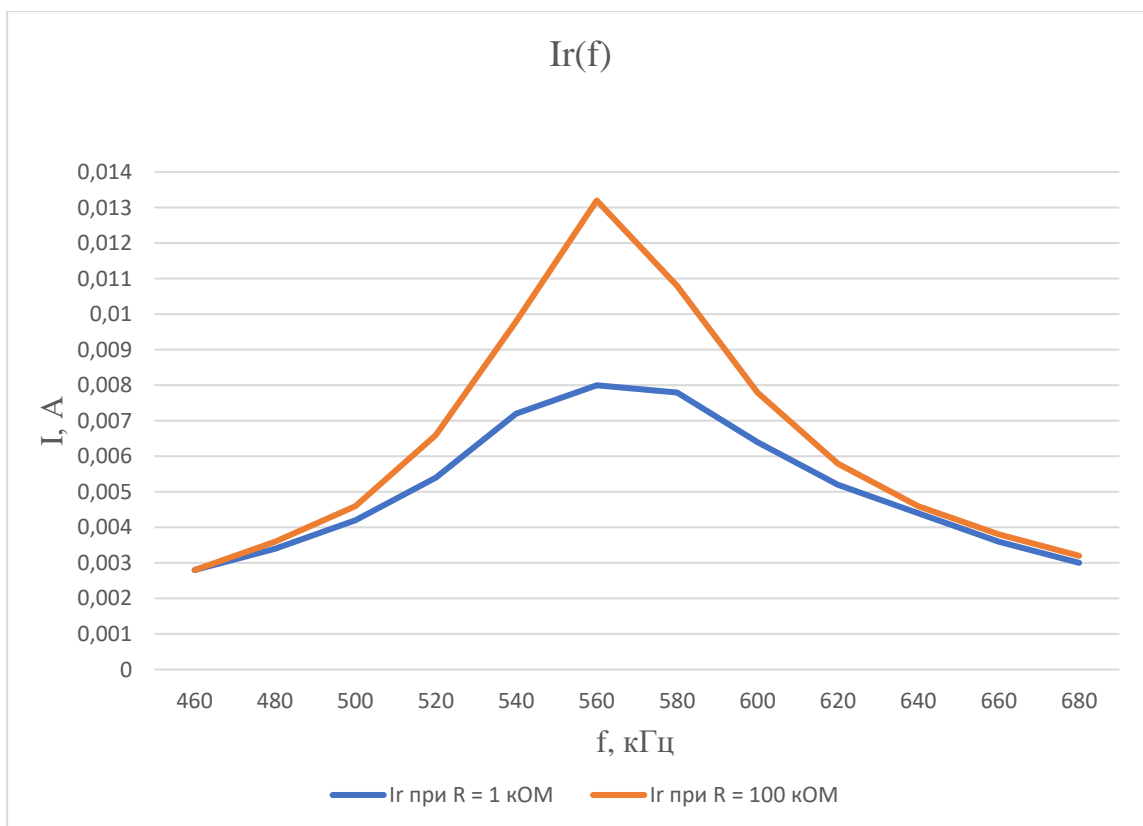


Рис. 6. АЧХ для I_R при нагрузках R равных 1 кОм и 100 кОм.

Из полученных АЧХ видно, что острота резонансного пика увеличивается с увеличением нагрузки. Также видно, что экспериментальная резонансная частота равняется $\omega_0 = 560$.

f, kHz	w	R = 1kOm		R = 100kOm	
		Δt	$\Delta \varphi$	Δt	$\Delta \varphi$
460	2888,8	0,000000468	1,3519584	0,000000548	1,5830624
480	3014,4	0,000000464	1,3986816	0,000000508	1,5313152
500	3140	0,000000384	1,20576	0,000000468	1,46952
520	3265,6	0,0000003	0,97968	0,000000372	1,2148032
540	3391,2	0,000000196	0,6646752	0,000000216	0,7324992
560	3516,8	-0,000000016	-0,0562688	0,00000002	0,070336
580	3642,4	-0,000000076	-0,2768224	-0,000000132	-0,4807968
600	3768	-0,000000148	-0,557664	-0,000000232	-0,874176
620	3893,6	-0,000000172	-0,6696992	-0,00000025	-0,9734
640	4019,2	-0,000000216	-0,8681472	-0,000000256	-1,0289152
660	4144,8	-0,000000218	-0,9035664	-0,000000252	-1,0444896
680	4270,4	-0,000000266	-1,1359264	-0,000000244	-1,0419776

Таблица 2. Экспериментальные данные для построения ФЧХ.

По данным (см таблицы 2 и 3) были построены графики ФЧХ для двух нагрузок R равных 1 кОм и 100 кОм.

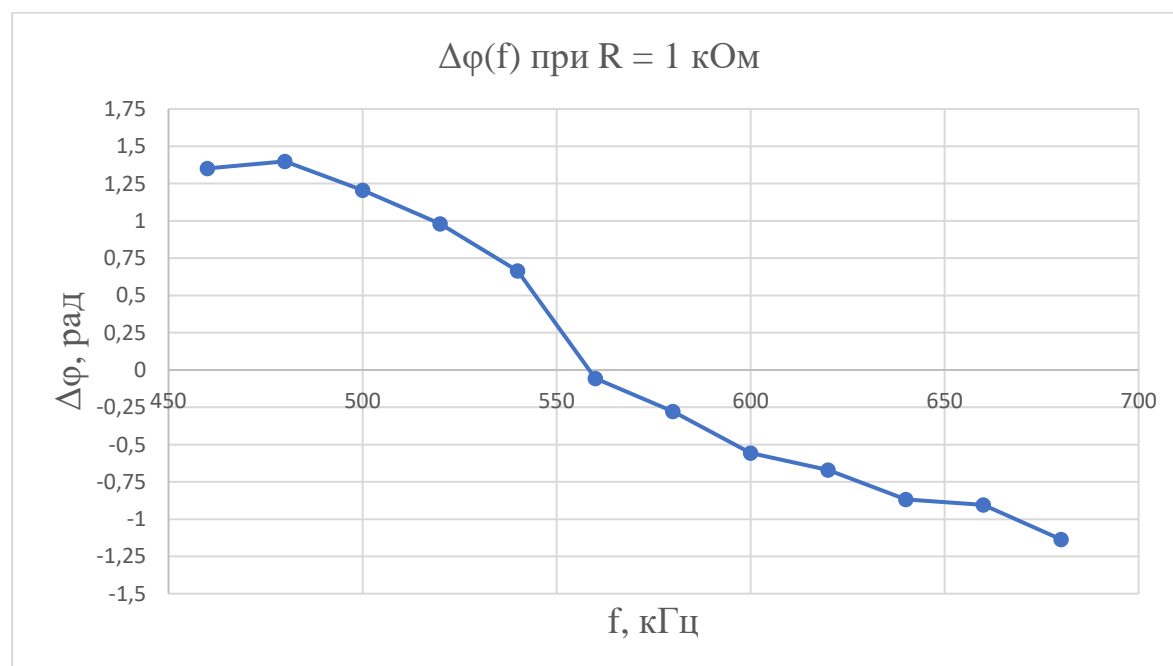


Рис. 7. ФЧХ при нагрузке R равной 1 кОм.

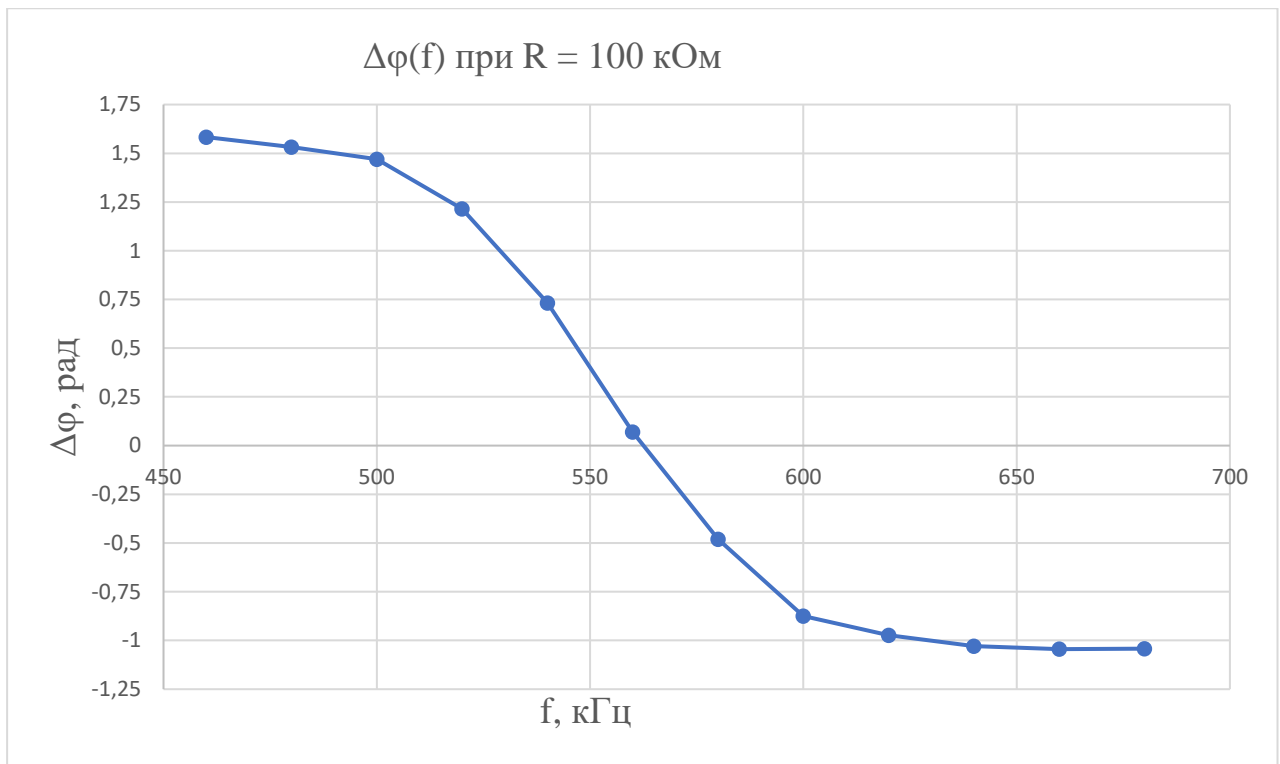


Рис. 8. ФЧХ при нагрузке R равной 100 кОм.

Определение добротности параллельного колебательного контура:

1. Из полученных графиков АЧХ (рис. 4-6):

Расчет добротности по графикам АЧХ осуществляется по следующей

формуле $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$, где $\Delta\omega$ – ширина полосы частот на высоте $\frac{1}{\sqrt{2}}$ от высоты максимума.

Из рис. 4. для $R = 1$ кОм - $Q = \frac{560}{600-520} = 7$

для $R = 100$ кОм - $Q = \frac{560}{590-534} = 10$

Из рис. 5. для $R = 1$ кОм - $Q = \frac{560}{609-531} = 7,17$

для $R = 100$ кОм - $Q = \frac{560}{596-536} = 9,33$

Из рис. 6. для $R = 1$ кОм - $Q = \frac{560}{612-523} = 6,3$

для $R = 100$ кОм - $Q = \frac{560}{590-537} = 8,88$

Полученные значения добротности из АЧХ:

$$\text{для } R = 1 \text{ кОм} - Q = 6,82 \pm 0,38$$

$$\text{для } R = 100 \text{ кОм} - Q = 9,4 \pm 0,46$$

2. Из полученных графиков ФЧХ (рис. 7, 8):

Расчет добротности по графикам ФЧХ осуществляется по следующей

формуле $Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega}$, где $\Delta\omega$ – ширина полосы частот (разность между

частотами, соответствующими сдвигу фаз $\pm 45^\circ$ от фазы в точке резонанса.

$$\text{Из рис. 7. } Q = \frac{558}{632-532} = 5,58$$

$$\text{Из рис. 8. } Q = \frac{563}{595,5-537,5} = 9,7$$

Полученные значения добротности из ФЧХ:

$$\text{для } R = 1 \text{ кОм} - Q = 5,58$$

$$\text{для } R = 100 \text{ кОм} - Q = 9,7$$

3. На основе теоретических вычислений:

Для параллельного колебательного контура добротность равна:

$$Q = R \sqrt{\frac{C}{L}} = (R4 + R3) \sqrt{\frac{C}{L}} * \frac{\sqrt{1 + \frac{R2 + R1 + RL}{(R4 + R3)} + \frac{R2(R1 + RL)}{(R4 + R3)^2}}}{1 + R2(R1 + RL)\frac{C}{L} + (R2 + R1 + RL)(R4 + R3)\frac{C}{L}} \quad (\text{см. рис 3})$$

$$\text{для } R = 1 \text{ кОм} - Q = 3,42$$

$$\text{для } R = 100 \text{ кОм} - Q = 48,8$$

Получение теоретическое значение добротности верно при идеальных составляющих контура, вдобавок к этому указанные в схеме значения на элементах не являются точными, а также отсутствия утечек тока. Но так как такое невозможно, и элементы контура явно не являются идеальными, как и их изоляция, вдобавок к этому указанные в схеме значения на элементах не являются точными (см. Погрешности в работе).

В следствие вышесказанного, экспериментальная добротность получилась отличной от теоретической

Погрешности в работе.

- Погрешность элементов экспериментальной установки. В первую очередь из проведенного эксперимента видно, что экспериментальное значение частоты $\omega_3 = 560$ отличается от теоретического $\omega_0 = 524$ кГц, отсюда можно сделать вывод что указанные на схеме установки значения элементов являются не точными (Возможно изменились значения элементов схемы за время эксплуатации установки, или элементы были изменены в установке, но не были изменены в схеме.)
- Приборные погрешности во время снятия данных (осциллограф, генератор) $\approx 3\%$.
- Погрешности при определении падений напряжения на элементах. Осциллограммы, снятые с элементов L и C были записаны в csv файл с шумами равными примерно 30% от размера графиков. Данные шумы были отфильтрованы программой, написанной на языке Python, с помощью преобразования Фурье $\approx 10\%$.
- Погрешность при измерении ширины полосы частот $\approx 5\%$
- Во время подсчета теоретического добротности Q не было учтено внутреннее сопротивление генератора что также влияет на расхождение с экспериментальным значением.
- Погрешности из-за утечек тока из контура.

Заключение.

В ходе работы было посчитано значение резонансной частоты ω_3 и определена добротность Q параллельного колебательного контура по его экспериментально полученным графикам АЧХ и ФЧХ, а также рассчитано исходя из теории.

Список литературы.

1. Л. Н. Вячеславов, В. Л. Курочкин, В. Б. Рева, Л. Н. Смирных
Электрические цепи. В. 5.
2. Д. В. Сивухин Общий курс физики. Т.3. Электричество