

Работа 3.2.1

сдвиг фаз в цепи переменного тока

Гаврилин Илья Дмитриевич
Б01-101

14 сентября 2022 г.

1 Аннотация

В ходе работы производятся измерения зависимости сдвига фаз в RC, RL-цепи от сопротивления, проверяется справедливость теоретических соображений для расчета сдвига фаз. Проверяется справедливость теоретической формулы для расчета добротности колебаний RLC-цепи, рассчитывается и сравнивается с экспериментом значение резонансного сопротивления для фазовращателя.

2 Теоритические сведения

2.1 Расчет сдвига фаз

Оценку сдвига фаз проводим визуальным методом, высчитывая расстояния по разметке на экране осциллографа.

- 1) подобрать частоту развертки, при которой на экране осциллографа укладывается чуть больше половины периода синусоиды;
- 2) отцентрировать горизонтальную ось;
- 3) измерить расстояние x_0 между нулевыми значениями одного из сигналов, что соответствует разности фаз π ;
- 4) измерить расстояние x между нулевыми значениями двух синусоид и пересчитать в сдвиг по фазе:
$$\psi = \pi \frac{x}{x_0}.$$

2.2 Экспериментальная установка

Схема для исследования сдвига фаз между током и напряжением в цепи переменного тока представлена на рис. 1. Эталонная катушка L , магазин емкостей C и магазин сопротивлений R соединены последовательно и через дополнительное сопротивление r подключены к источнику синусоидального напряжения звуковому генератору. По мере измерений будем отключать от схемы магазин емкостей или катушку индуктивности, тем самым рассматривая RL или RC цепочку.

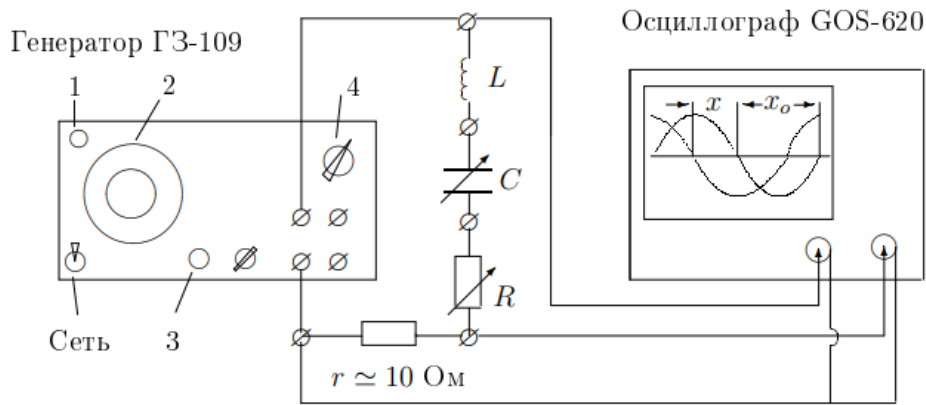


Рис. 1: Экспериментальная установка

3 Ход работы

3.1 RC-цепь

Параметры установки следующие: ёмкость конденсатора $C = 0.5$ мкФ, сопротивление $r = 12.4$ Ом, частота источника $\nu = 1000$ Гц. Модуль реактивного сопротивления равен: $X_1 = \frac{1}{\omega C} = 318.5$ Ом. Измерим зависимость сдвига фаз от R в диапазоне R от 0 Ом до 3200 Ом. Для этого будем измерять сдвиг x одной синусоиды относительно другой в делениях экрана осциллографа и половину периода одной из синусоид x_0 . Для повышения точности, будем увеличивать синусоиду, дабы лучше разрешить сдвиг. Для $R = 800-1600$ Ом увеличим ширину вдвое, Для $R = >1600$ Ом увеличим еще вдвое. Для упрощения визуальной оценки приведем x к близким значениям.

R , Ом	x_0 , дел	x , дел	Δx , дел	ψ , рад	$\Delta\psi$, рад
0	2.5	1.20	0.10	1.51	0.13
400	2.0	0.50	0.10	0.79	0.16
800	2.5	0.30	0.05	0.38	0.06
1200	2.5	0.20	0.05	0.25	0.06
1600	2.5	0.20	0.05	0.25	0.06
2000	2.5	0.15	0.02	0.19	0.03
2400	2.5	0.10	0.02	0.13	0.03
2800	2.5	0.05	0.02	0.06	0.03
3200	2.5	0.05	0.02	0.06	0.03

Таблица 1: Зависимость сдвига фаз от сопротивления RC-цепи

Согласно теории мы должны получить зависимость:

$$\tan(\psi) = \frac{1}{\omega C R_{sum}}, f(x) : k = 1$$

$\tan(\psi)$	15.89	1.00	0.40	0.26	0.26	0.19	0.13	0.06	0.06
$\Delta \tan(\psi)$	1.32	0.20	0.07	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03
$1/\omega C R_{sum}$	25.67	0.77	0.39	0.26	0.20	0.16	0.13	0.11	0.10

Таблица 2: Данные для построения графика $\tan(\psi) = f(1/\omega C R_{sum})$

На Рис.2 не будем отображать точку соответствующую $R = 0$ Ом, так как расстояние до нее много больше ширины графика если исключить эту точку, поэтому это мешает проводить оценку графика.

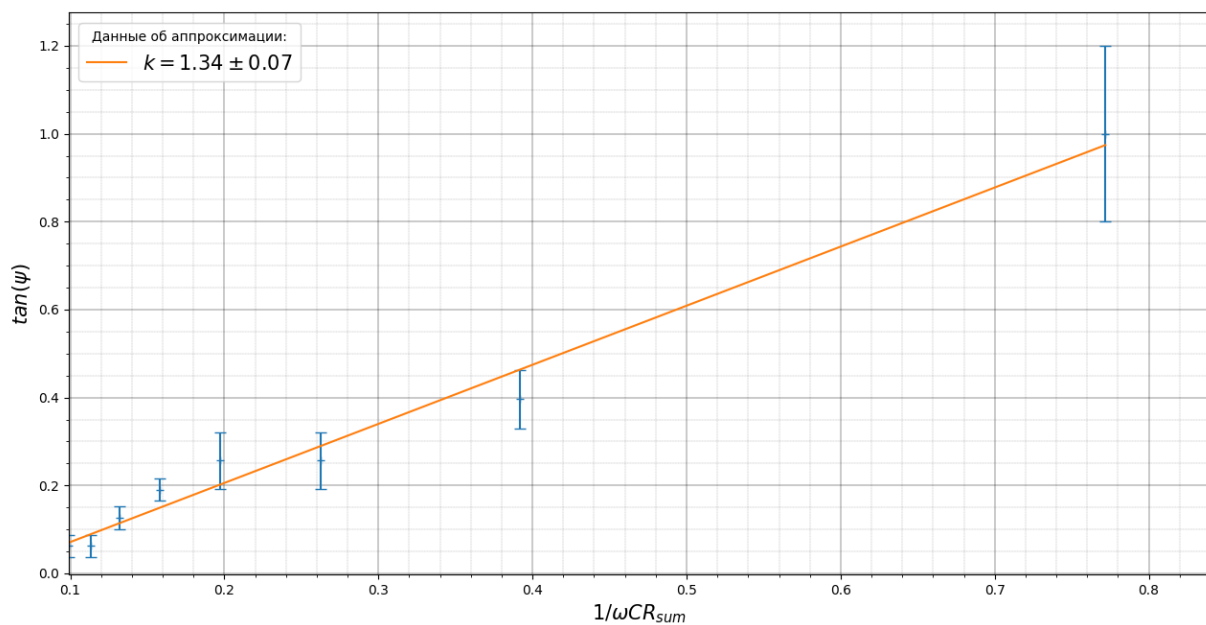


Рис. 2: Зависимость $\tan(\psi) = f(1/\omega CR_{sum})$

3.2 RL-цепь

Аналогично RC-цепи проведем замеры и запишем полученные данные в Таблицу 3. Реактивное сопротивление: $X_2 = \omega L = 314 \text{ Ом}$

R, Ом	x_0 , дел	x , дел	Δx , дел	ψ , рад	$\Delta\psi$, рад
0	2.5	1.20	0.10	1.51	0.13
400	2.5	0.50	0.10	0.63	0.13
800	2.5	0.30	0.05	0.38	0.06
1200	2.5	0.20	0.05	0.25	0.06
1600	2.5	0.20	0.05	0.25	0.06
2000	2.5	0.15	0.02	0.19	0.03
2400	2.5	0.10	0.02	0.13	0.03
2800	2.5	0.05	0.02	0.06	0.03
3200	2.5	0.05	0.02	0.06	0.03

Таблица 3: Зависимость сдвига фаз от сопротивления RL-цепи

Аналогично п. 3.1 не наносим на график точку соответствующую $R = 0 \text{ Ом}$.

$\tan(\psi)$	15.89	0.73	0.40	0.26	0.26	0.19	0.13	0.06	0.06
$\Delta \tan(\psi)$	1.32	0.15	0.07	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03
$\omega L/R_{sum}$	6.94	0.71	0.37	0.25	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10

Таблица 4: Данные для построения графика $\tan(\psi) = f(\omega L/R_{sum})$

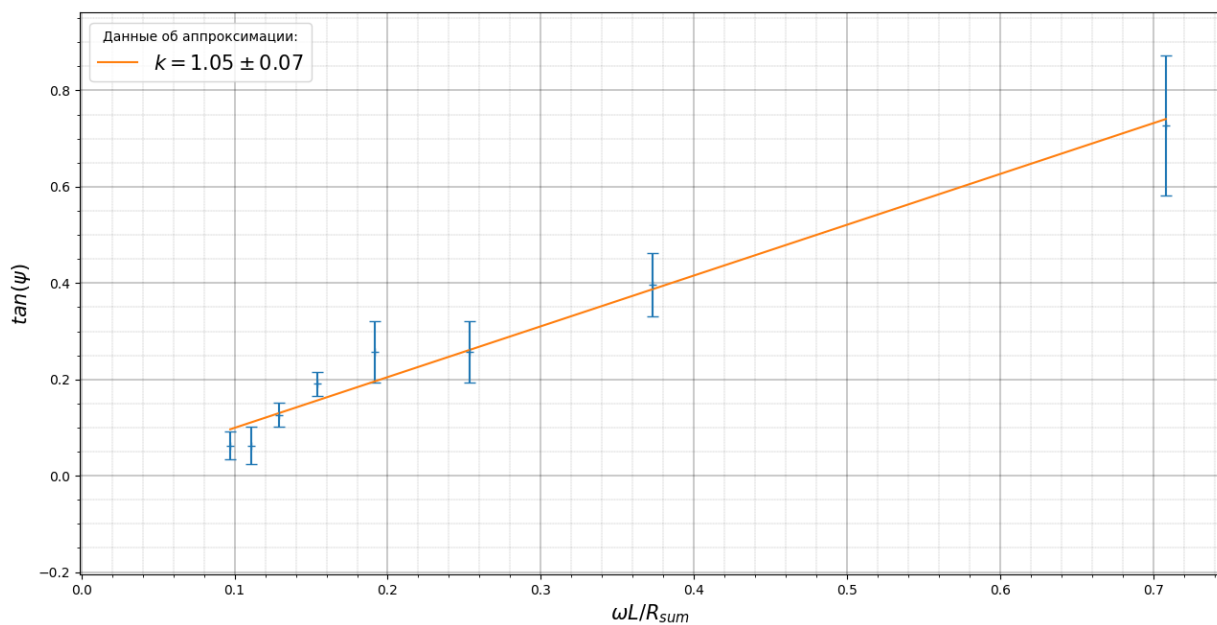


Рис. 3: Зависимость $\tan(\psi) = f(\omega L/R_{sum})$

3.3 RLC-цепь

Для RLC-цепи определим частоту резонанса ($C = 0.5$ мкФ, $r = 12.4$ Ом, $L = 50.002$ мГн):

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 1007 \text{ Гц}$$

R = 0 Ом				R = 100 Ом			
ν , Гц	x_0	x	$ \psi $	ν , Гц	x_0	x	$ \psi $
870	2.9	1	1.08	800	3.1	0.8	0.81
900	2.8	0.9	1.01	850	3	0.6	0.63
930	2.7	0.6	0.70	900	2.8	0.4	0.45
960	2.6	0.4	0.48	950	2.5	0.2	0.25
1000	2.5	0.05	0.06	1000	2.5	0	0.00
1030	2.4	0.4	0.52	1050	2.4	0.2	0.26
1060	2.4	0.6	0.79	1100	2.4	0.4	0.52
1090	2.3	0.7	0.96	1150	2.2	0.6	0.86

Таблица 5: Сдвиг фаз в RLC-цепи

R=0 Ом								
$ \psi /\pi$	0.34	0.32	0.22	0.15	0.02	0.17	0.25	0.30
ν/ν_0	0.86	0.89	0.92	0.95	0.99	1.02	1.05	1.08
R = 100 Ом								
$ \psi /\pi$	0.26	0.20	0.14	0.08	0.00	0.08	0.17	0.27
ν/ν_0	0.79	0.84	0.89	0.94	0.99	1.04	1.09	1.14

Таблица 6: Данные для построения графика $|\psi|/\pi = f(\nu/\nu_0)$

Построим на одном графике сдвиг фаз в единицах π для $R = 0$ Ом и $R = 100$ Ом. Использовали большую развертку, значит $\Delta\psi = 0.02$.

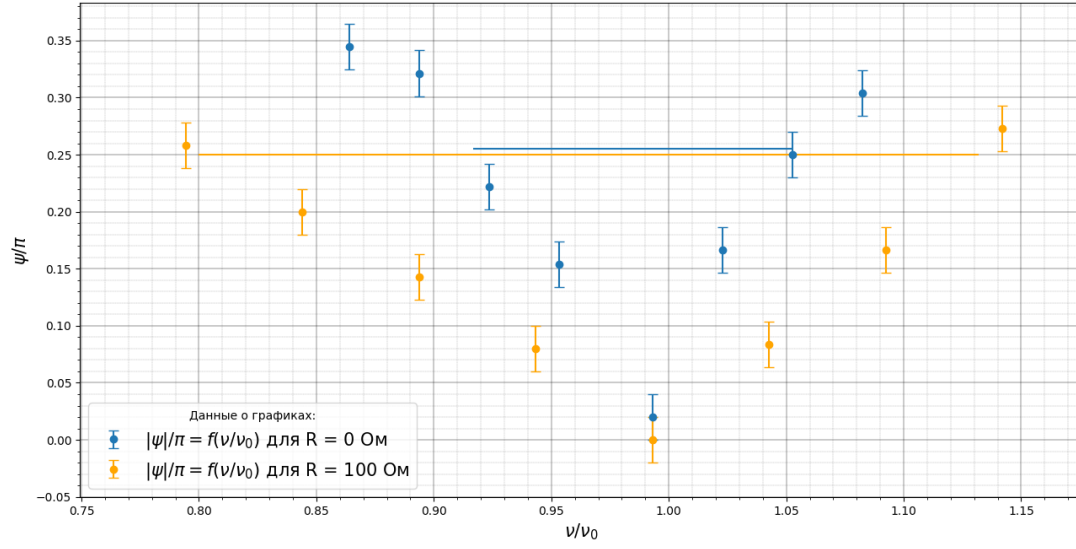


Рис. 4: Зависимость $|\psi|/\pi = f(\nu/\nu_0)$

Рассчитаем добротность экспериментально:

$$Q = \frac{\nu_0}{2\Delta\nu}; \quad Q_0 = 6.9 \pm 1.8; \quad Q_{100} = 3.0 \pm 0.4$$

Рассчитаем добротность теоретически:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad Q_0 = 6.8; \quad Q_{100} = 2.2$$

3.4 Фазовращатель

Нарисуем векторную диаграмму для случая $\psi = \pi/2$:

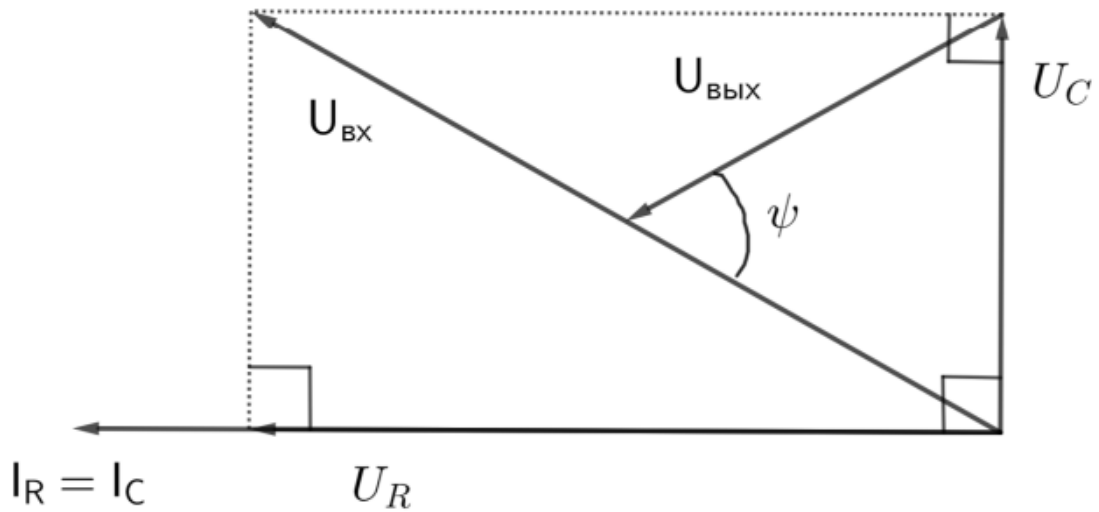


Рис. 5: Векторная диаграмма для $\psi = \pi/2$

По расчетам получим: $R = 318.5$ Ом, на практике получили значение: $R = 330 \pm 10$ Ом. Погрешность при практическом измерении оценена как шаг дискретизации (поворот какой-либо из ручек магазина), при котором отсутствуют заметные глазу изменения на осциллографе.

4 Выводы

- 1) В работе проверили справедливость теоретических соображений о зависимости сдвига фаз от параметров системы. Для RC-цепи $k = 1.34 \pm 0.07$, RL-цепи $k = 1.05 \pm 0.07$, эталонный k равен единице.
- 2) Для RLC-цепи проверили рассчитали добротность колебаний (см. п. 3.3), практические результаты совпали с теорией, с учетом погрешности.
- 3) Рассчитали значение резонансного сопротивления, получили данные значения на практике.