
Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 3.2.1

Сдвиг фаз в цепи переменного тока

Автор:

Баранников Андрей Б01-001



Долгопрудный, 2021

Теория

В работе используются: генератор звуковой частоты (ЗГ), двухканальный электронный осциллограф (ЭО), магазин ёмкостей, магазин сопротивлений, эталонная катушка индуктивности, резисторы, универсальный измеритель импеданса (LCR - метр.)

Экспериментальная установка: Схема для исследования сдвига фаз между током и напряжением в цепи переменного тока представлена на *рис. 1*. Эталонная катушка L , магазин ёмкостей C и магазин сопротивлений R соединены последовательно и через дополнительное сопротивление r подключены к источнику синусоидального напряжения - звуковому генератору.

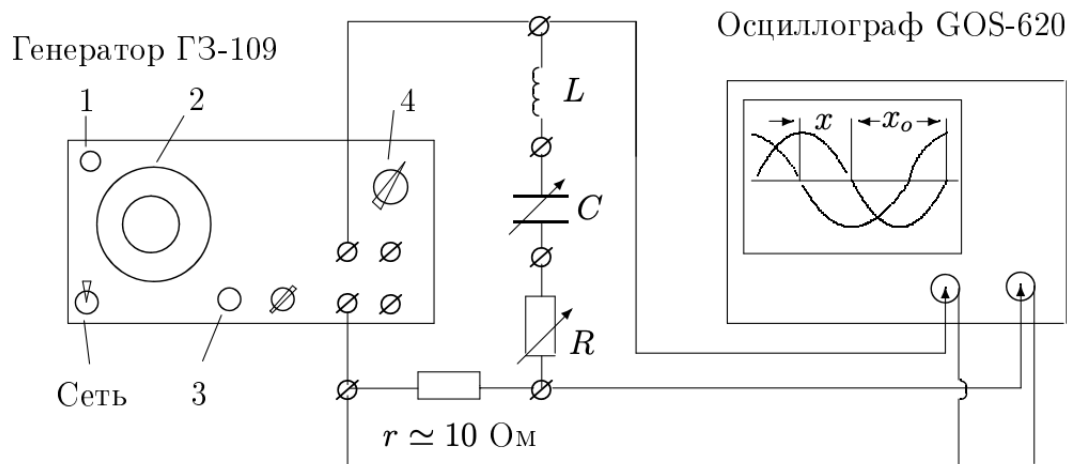


Рис. 1: Схема установки для исследования сдвига фаз между током и напряжением

Сигнал, пропорциональный току, снимается сопротивления r , пропорциональный напряжению с генератора. Оба сигнала подаются на универсальный осциллограф, имеющий два канала вертикального отклонения. На экране ЭО (*рис. 1*) видны две синусоиды, смещённые друг относительно друга на расстояние x , зависящее от сдвига фаз между током и напряжением в цепи.

Измерение сдвига фаз удобно проводить следующим образом:

- 1) подобрать частоту развёртки, при которой на экране осциллографа укладывается чуть больше половины периода синусоиды;
- 2) отцентрировать горизонтальную ось;
- 3) измерить расстояние x_0 (см. *рис. 1*) 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: $\psi = \pi \cdot x / x_0$. На *рис. 1* синусоиды на экране ЭО сдвинуты по фазе на $\pi/2$

На практике часто используются устройства, называемые *фазовращателями*, которые позволяют изменять фазу напряжения в широких пределах ($0 < \psi < \pi$).

Схема фазовращателя, применяемого в нашей работе, изображена на *рис. 2*. Она содержит два одинаковых резистора R_1 , смонтированных на отдельной плате, магазин сопротивлений R и магазин емкостей C

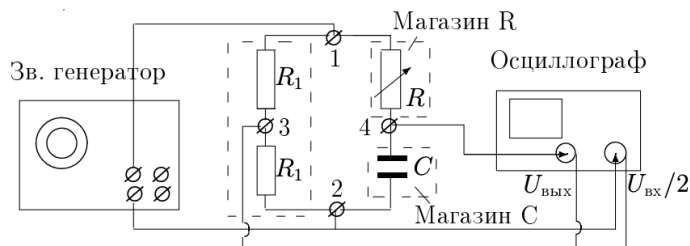


Рис. 2 Схема установки для исследования фазовращателя

Найдём, как зависит сдвиг фаз между входным напряжением $U_{\text{вх}} = U_0 \cos \omega t$ (точки 1 и 2 на *рис. 2*) и выходным напряжением $U_{\text{вых}}$ (точки 3 и 4) от соотношения между импедансами сопротивления R и ёмкости C .

Комплексные амплитуды входного и выходного напряжений связаны соотношением:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}}}{2} \frac{R + \frac{i}{\omega C}}{R - \frac{i}{\omega C}}$$

Числитель и знаменатель полученного соотношения - комплексно-сопряжённые величины, модули которых одинаковы, поэтому амплитуда выходного напряжения не зависит от R и всегда равна $U_0/2$. Сдвиг фаз между входным и выходным напряжениями равен

$$\psi = \arg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 2 \arctg \frac{1}{\omega RC}$$

Он может меняться от $\psi = \pi$ при $R \rightarrow 0$ до $\psi = 0$ при $R \rightarrow \infty$

Обработка экспериментальных данных

1. Для RC-цепи построю график $\text{ctg} \psi = f(\omega CR_{\Sigma})$, где $R_{\Sigma} = R + r$ - суммарное активное сопротивление цепи

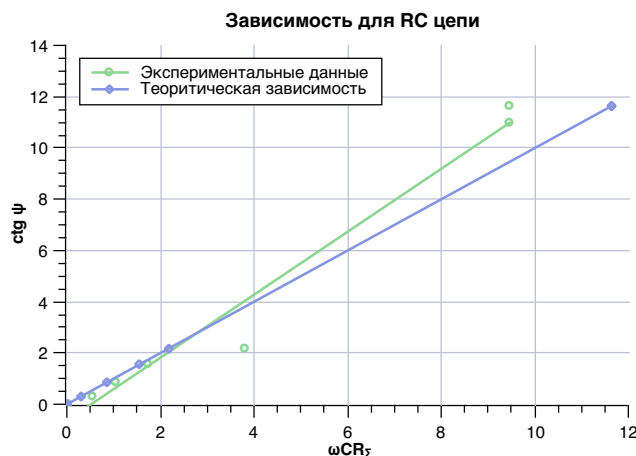


Рис. 2: График $\text{ctg} \psi = f(\omega CR_{\Sigma})$

2. Для RL-цепи построю график $\operatorname{ctg}\psi = f(R_{\Sigma}/\omega L)$, где $R_{\Sigma} = R + r + R_L$

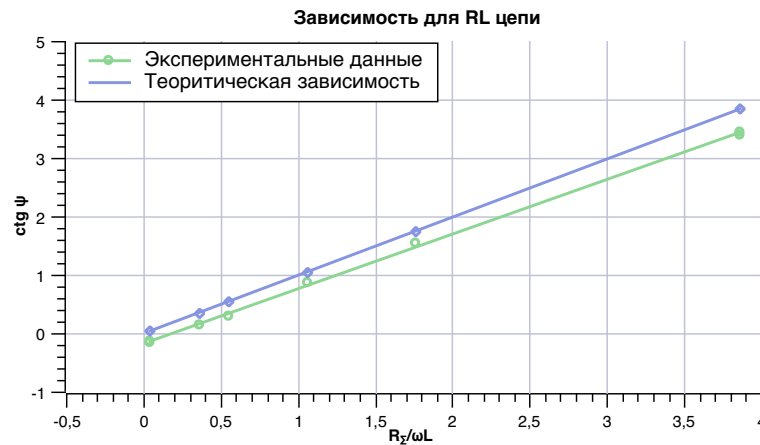


Рис. 3: График $\operatorname{ctg}\psi = f(R_{\Sigma}/\omega L)$

3. Для $R = 0$ и 100 Ом построю фазово-частотные характеристики контура:

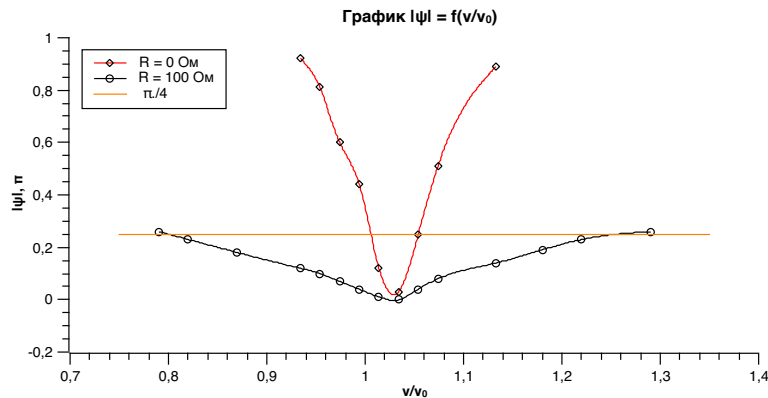


Рис. 4: График $|\psi| = f(v/v_0)$ для $R = 0$ Ом и $R = 100$ Ом

По данным графика:

$$Q_{0 \text{ эксп}} = 22,3 \quad Q_{100 \text{ эксп}} = 2,4$$

4. Расчитаем добротность по теоретическим данным:

$$Q_{0 \text{ теор}} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \approx 25,5 \quad Q_{100 \text{ теор}} = 2,8$$

По значениям видно, что теоритические данные отличаются от экспериментальных в пределах 16 %

5. Построю векторную диаграмму для фазовращателя. С помощью этой диаграммы проверю экспериментально полученное значение сопротивления R_M , при котором сдвиг фаз равен $\pi/2$

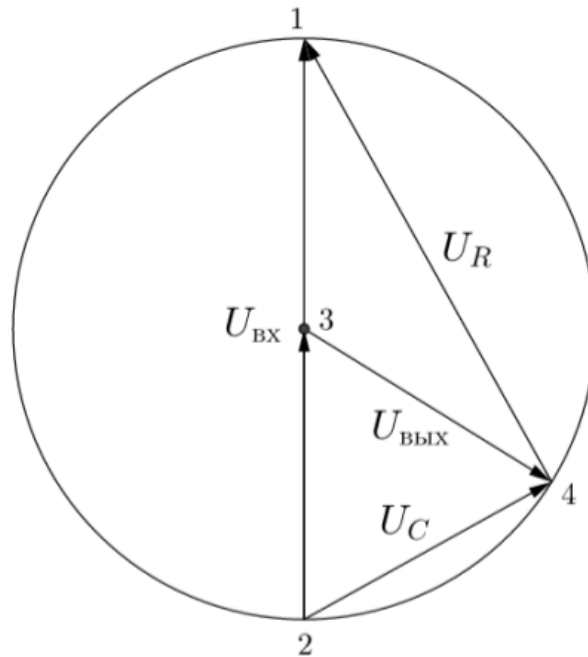


Рис. 5: Векторная диаграмма фазовращателя

Разность фаз равна $\pi/2$, когда медиана 3-4 является и высотой, т.е. когда Δ_{124} - равнобедренный треугольник.

$$U_C = U_R \Rightarrow |Z_C| = |Z_R| \Rightarrow R_{M \text{ теор}} = \frac{1}{2\pi\nu C} \approx 318 \text{ Ом}$$

Измеренное значение с точностью до десятых совпадает с экспериментальным:

$$R_{M \text{ эксп}} = 318 \text{ Ом}$$

6. Сведём результаты в таблицу:

$L_{\text{кат}}, \text{ мГн}$	$R_M, \text{ Ом}$	$R_{\Sigma}, \text{ Ом}$	Q		Фазовращ	
			Рез. кривая	$f(LCR)$	$R_M(\psi = \pi/2), \text{ Ом}$	
50	0	12,4	22,3	25,5	Эксп.	318
	100	112,4	2,4	2,8	Теор.	318