

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

Лабораторная работа 3.2.1

Сдвиг фаз в цепи переменного тока

Автор:
Черниенко Владислав Антонович
Группа Б01-110

Цель работы: изучить влияние активного сопротивления, индуктивности и ёмкости на сдвиг фаз между током и напряжением в цепи переменного тока.

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

Теоретические сведения

Удобным, хотя и не очень точным, прибором для измерения фазовых соотношений служит электронный осциллограф. Можно предложить два способа измерения разности фаз.

В первом способе два сигнала U_1 и U_2 подаются на горизонтальную (канал X) и вертикальную (канал Y) развёртки осциллографа. Смещение луча по горизонтали и вертикали определяется выражениями

$$x = x_0 \cdot \cos(\omega t), \quad y = y_0 \cdot \cos(\omega t + \psi),$$

где ψ — сдвиг фаз между напряжениями U_1 и U_2 , а x_0 и y_0 — амплитуды напряжений, умноженные на коэффициенты усиления соответствующих каналов осциллографа. Исключив время, после несложных преобразований найдём

$$\left(\frac{x}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{y}{y_0}\right)^2 + \frac{2xy}{x_0y_0}\cos\psi = \sin^2\psi.$$

Полученное выражение определяет эллипс, описываемый электронным лучом на экране осциллографа. Ориентация эллипса зависит как от искомого угла ψ , так и от усиления каналов осциллографа. Для расчёта сдвига фаз можно измерить отрезки $2y_{x=0}$ и $2y_0$ (или $2x_{y=0}$ и $2x_0$) и, подставляя эти значения в уравнение эллипса, найти

$$\psi = \pm \arcsin\left(\frac{y_{x=0}}{y_0}\right).$$

Для правильного измерения отрезка $2y_{x=0}$ важно, чтобы центр эллипса лежал на оси y .

Второй способ заключается в непосредственном измерении сдвига фаз между сигналами на экране двухканального осциллографа. Напряжения U_1 и U_2 одновременно подаются на входные каналы ЭО при включённой внутренней горизонтальной развёртке. При этом сигналы одновременно отображаются на экране. Измерение разности фаз в таком случае удобно проводить следующим образом:

- 1) подобрать частоту горизонтальной развёртки, при которой на экране 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: $\psi = \pi x/x_0$. На рис. 1 синусоиды на экране ЭО сдвинуты по фазе на $\pi/2$.

Экспериментальная установка

Схема установки 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 (ЗГ).

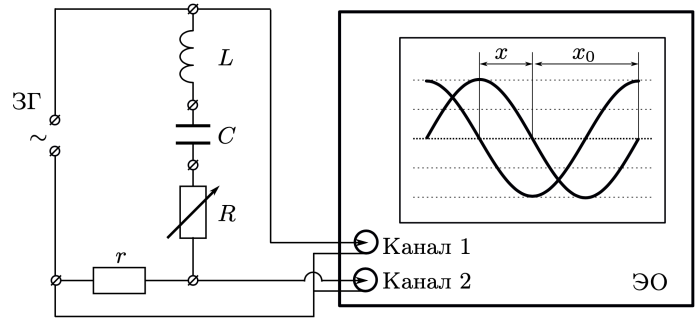


Рис. 1: Схема установки для исследования сдвига фаз между током и напряжением

Сигнал, пропорциональный току, снимается с сопротивления r , пропорциональный напряжению, — с генератора. Оба сигнала подаются на осциллограф (ЭО), имеющий два канала вертикального отклонения. Измерение разности фаз можно проводить одним из двух описанных выше способов.

На практике часто используются устройства, называемые *фазовращателями*, которые позволяют изменять фазу напряжения в широких пределах ($0 < \psi < \pi$). Схема фазовращателя, применяемого в данной работе, изображена на рис. 2. Она содержит два одинаковых резистора R_1 , смонтированных на отдельной плате, магазин сопротивлений R и магазин ёмкостей C .

Найдём, как зависит сдвиг фаз между входным напряжением $U_{\text{вх}} = U_0 \cdot \cos(\omega t)$ (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 . Для соответствующих комплексных амплитуд имеет место соотношение:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}}}{2} \frac{R + \frac{i}{\omega C}}{R - \frac{i}{\omega C}}. \tag{1}$$

Числитель и знаменатель (1) — комплексно-сопряжённые величины, модули которых одинаковы. Поэтому амплитуда выходного напряжения не зависит от R , и всегда равна $U_0/2$. Сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями равен

$$\psi = \arg \left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \right) = 2 \cdot \arctg \left(\frac{1}{\omega RC} \right).$$

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

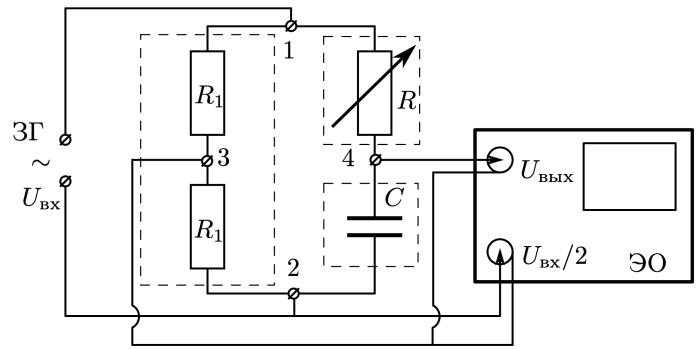


Рис. 2: Схема установки для исследования фазовращателя