

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра физики и методики преподавания физики

Е.В. Цветкова, А.С. Лелюхин

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОСТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Оренбург
2019

УДК 621.3.011(076.5)

ББК 31.21я7

Ц 27

Рецензент – доцент, кандидат педагогических наук А.В. Дудко.

Цветкова Е.В.

Ц 27 Изучение электрических процессов в простых электрических цепях: методические указания/ Е.В. Цветкова; А.С. Лелюхин Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 24 с.

Методические указания содержат требования и необходимый вспомогательный материал для выполнения лабораторной работы по электричеству.

Методические указания для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки».

УДК 621.3.011(076.5)

ББК 31.21я7

© Цветкова Е.В.,
Лелюхин А.С., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

1 Элементарные представления о цепях переменного электрического тока.....	4
2 Методика измерений.....	11
3 Экспериментальная установка.....	13
4 Практическая часть.....	17
Список использованных источников.....	24

1 Элементарные представления о цепях переменного электрического тока

Цепь переменного электрического тока представляет собой ряд соединенных между собой в той или иной последовательности элементов, в которых возбуждаются токи одним или несколькими источниками ЭДС.

Все элементы электрической цепи обладают сопротивлением. Это сопротивление может быть двух видов: активное и реактивное. Если при прохождении электрического тока через элемент происходит только необратимое превращение электрической энергии в теплоту, то его сопротивление называют активным. Если же подобной потери электрической энергии не происходит, сопротивление элемента называют реактивным.

Элемент цепи с активным сопротивлением называется резистором. Реактивным сопротивлением – емкостным и индуктивным – обладают соответственно конденсаторы и катушки индуктивности.

Элементы цепи называются идеальными, если они обладают только одним видом сопротивления – активным, емкостным или индуктивным. Для идеальных элементов справедливы соотношения:

$$U_R = RI, \quad (1)$$

$$U_C = \frac{1}{C}q = \frac{1}{C} \int Idt, \quad (2)$$

$$U_L = E_S = -L \frac{dI}{dt}, \quad (3)$$

где R – сопротивление резистора,

C – емкость конденсатора,

L – индуктивность катушки;

U_R, U_C, U_L – падения напряжения (или просто напряжение) на определенных элементах;

I – ток через элемент;

q – заряд конденсатора;

$E_s = -L \frac{dI}{dt}$ – ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке индуктивности при прохождении через нее переменного тока.

Элементы цепи могут быть линейными и нелинейными. Если сопротивление элемента не зависит от величины тока или от напряжения на элементе, то такой элемент называется линейным. Электрические цепи, составленные из линейных элементов, тоже называются линейными. В линейных цепях электрические процессы описываются линейными алгебраическими и дифференциальными уравнениями. Этому условию отвечают выражения (1) – (3). Электрические процессы в линейных цепях называются установившимися (стационарными), если закон измерения всех токов и напряжений совпадает с точностью до постоянной величины с законом изменения внешней ЭДС, действующей в цепи. Если это условие не выполняется, процессы называются переходными.

При анализе электрических процессов в цепях переменного тока к мгновенным значениям тока можно применять законы Ома и Кирхгофа и другие правила, установленные для постоянного тока, если переменный ток является квазистационарным. Условие квазистационарности означает, что мгновенные значения переменного тока практически одинаковы во всех участках цепи. Это условие выполняется для медленно меняющегося тока, когда его мгновенное значение не успевает измениться за время распространения электрического процесса вдоль цепи.

Если T – характерное время изменения мгновенного значения тока, а τ – время распространения электрического процесса вдоль цепи протяженностью l со скоростью V (равной по порядку величины скорости распространения электромагнитного возмущения $c=3 \cdot 10^8$ м/с), то условие квазистационарности запишется в виде

$$\tau \ll T.$$

В дальнейшем будем полагать, что элементы цепи являются идеальными и в соответствии с соотношениями (1) – (3) – линейными.

Электрические процессы будем считать установившимися, а переменные токи – квазистационарными.

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных резистора R , емкости C и индуктивности L (рисунок 1).

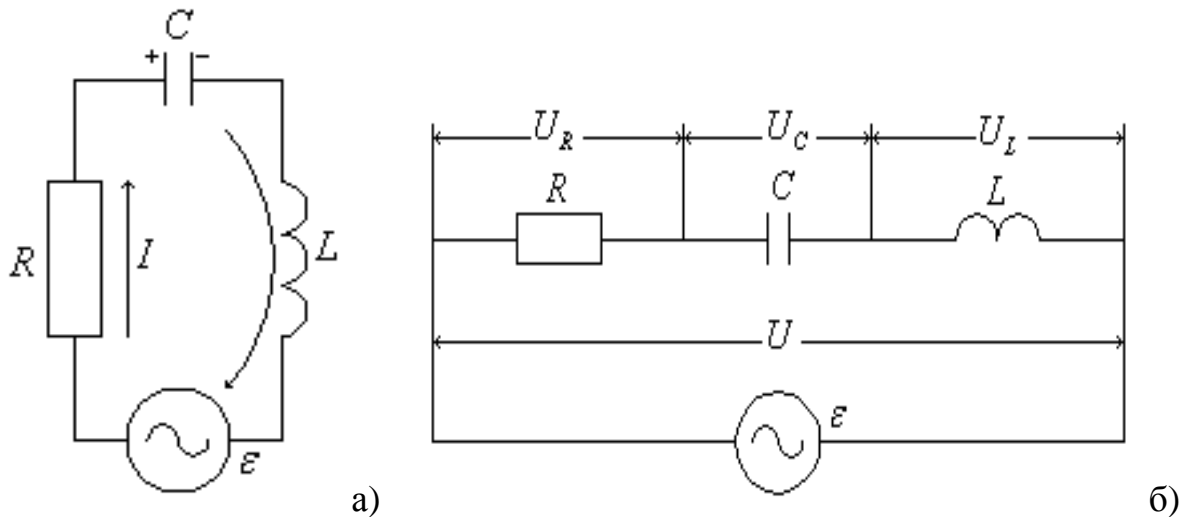


Рисунок 1 - Последовательная электрическая цепь

Допустим, что источник переменной ЭДС (генератор) не обладает внутренним сопротивлением R_2 и создает на входе напряжение U_2 , равное его ЭДС. Такое допущение всегда можно сделать, включив сопротивление генератора R_2 в состав рассматриваемой электрической цепи.

Положим далее, что генератор с гармонической ЭДС

$$E = E_0 \cos(\omega t) \quad (4)$$

создает в стационарном состоянии в цепи ток:

$$I = I_0 \cos(\omega t - \varphi), \quad (5)$$

где $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ – круговая частота колебаний ЭДС и тока;

T – период колебаний;

φ – угол сдвига фазы тока относительно фазы ЭДС;

E_0 – амплитуда ЭДС;

I_0 – амплитуда тока.

Найдем, чему равны амплитуда I_0 и сдвиг фазы φ тока, если известны параметры цепи R , C , L и уравнение для ЭДС (4). Одновременно определим, какой вид имеет величина, Z равная отношению амплитуды ЭДС к амплитуде тока:

$$Z = \frac{E_0}{I_0}.$$

Эта величина Z (по аналогии с законом Ома для замкнутой цепи постоянного тока) называется полным сопротивлением цепи переменного тока.

На основании второго правила Кирхгофа для цепи, приведенной на рисунке 1, можем записать

$$U_R + U_C + U_L = E, \quad (6)$$

т.е. сумма напряжения на отдельных элементах контура равна в каждый момент времени ЭДС, действующей в контуре.

Учитывая соотношения (1) – (3), получим:

$$IR + \frac{1}{C} \int Idt + L \frac{dI}{dt} = E. \quad (7)$$

Подстановка в уравнение (7) выражений (4) и (5) и выполнение операций интегрирования и дифференцирования приводит это уравнение к виду:

$$I_0 R \cos(\omega t - \varphi) + \frac{I_0}{\omega C} \sin(\omega t - \varphi) - I_0 L \sin(\omega t - \varphi) = E \cos(\omega t).$$

Используя далее соотношения:

$$\begin{aligned} \sin(\omega t - \varphi) &= \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}), \\ -\sin(\omega t - \varphi) &= \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}), \end{aligned}$$

окончательно получим:

$$I_0 R \cos(\omega t - \varphi) + \frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}) + I_0 L \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}) = E \cos(\omega t) \quad (8)$$

Из уравнения (8) можно сделать ряд выводов.

Выделим отдельно выражения для напряжений U_R , U_C , U_L и рассмотрим их совместно с выражением (5) для тока I :

$$\left. \begin{aligned} U_R &= U_{0R} \cos(\omega t - \varphi), \quad \text{где } U_{0R} = I_0 R \\ U_C &= U_{0C} \cos(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}), \quad \text{где } U_{0C} = \frac{I_0}{\omega C} \\ U_L &= U_{0L} \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}), \quad \text{где } U_{0L} = I_0 \omega L \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Сравнивая фазы этих напряжений с фазой тока I , видим, что:

- напряжение в резисторе U_R совпадает по фазе с током I ;
- напряжение на емкости U_C отстает по фазе от тока I на угол $\frac{\pi}{2}$;
- напряжение индуктивности U_L опережает по фазе ток I на угол $\frac{\pi}{2}$.

Далее найдём отношения амплитуд напряжений U_{0R} , U_{0C} , U_{0L} к амплитуде тока I_0 :

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_{0R}}{I_0} &= R; \\ \frac{U_{0C}}{I_0} &= \frac{1}{\omega C}; \\ \frac{U_{0L}}{I_0} &= \omega L. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Формулы (10) определяют величины, которые называются соответственно активными, реактивным ёмкостным и реактивным индуктивным сопротивлениями. Ёмкостное сопротивление обозначается через X_C , индуктивное – через X_L . Из формул (10) следует, что активное сопротивление цепи переменного тока равно сопротивлению цепи для постоянного тока, т.е. омическому сопротивлению R . Реактивные же сопротивления:

$$\left. \begin{aligned} X_C &= \frac{1}{\omega C}; \\ X_L &= \omega L. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Перейдём к основной задаче: нахождению выражений, определяющих амплитуду тока I_0 , сдвиг по фазе φ тока относительно ЭДС и полное сопротивление Z цепи, изображённой на рисунке 1.

Уравнение (8) позволяет решить эту задачу, при этом методы решения могут быть различные. Воспользуемся графическим способом представления гармонических колебаний – методом векторных диаграмм.

В этом методе гармоническим величинам (напряжениям и токам) сопоставляются вращающиеся векторы. Для этого на плоскости выбирают произвольное начало координат O и проводят ось X . Изучаемую гармоническую величину изображают вектором, построенным из начала координат. Длина вектора равна (в выбранном масштабе) амплитуде гармонической величины, а угол между вектором и осью X равен углу начальной фазы. Вектор равномерно вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω в направлении против часовой стрелки. При этом проекция вектора на ось X в любой момент времени равна мгновенному значению гармонической величины, изменяющейся со временем по закону косинуса.

В соответствии со сказанным, левую часть уравнения (8) можно рассматривать как сумму проекций векторов, изображающих напряжение U_R , U_C , U_L , а правую часть – как проекцию вектора, изображающего суммарное напряжение $U = E = U_R + U_C + U_L$. Поскольку при сложении векторов сумма проекций слагаемых равна проекции суммы, то можно найти геометрическую сумму векторов, изображающих напряжения U_R , U_C , U_L , и приравнять эту геометрическую сумму вектору, изображающему напряжение $U = E$. Другими словами, вместо алгебраического равенства (8) можно рассматривать векторное равенство

$$\overrightarrow{R} + \left(\frac{\overrightarrow{I_0}}{\omega C} \right) + \overrightarrow{\omega L} = \overrightarrow{E_0}, \quad (12)$$

что значительно упрощает нахождение амплитуды I_0 и сдвига фаз φ .

На рисунке 2 построены векторные диаграммы для момента времени $t = 0$, соответствующие уравнениям (8) и (12).

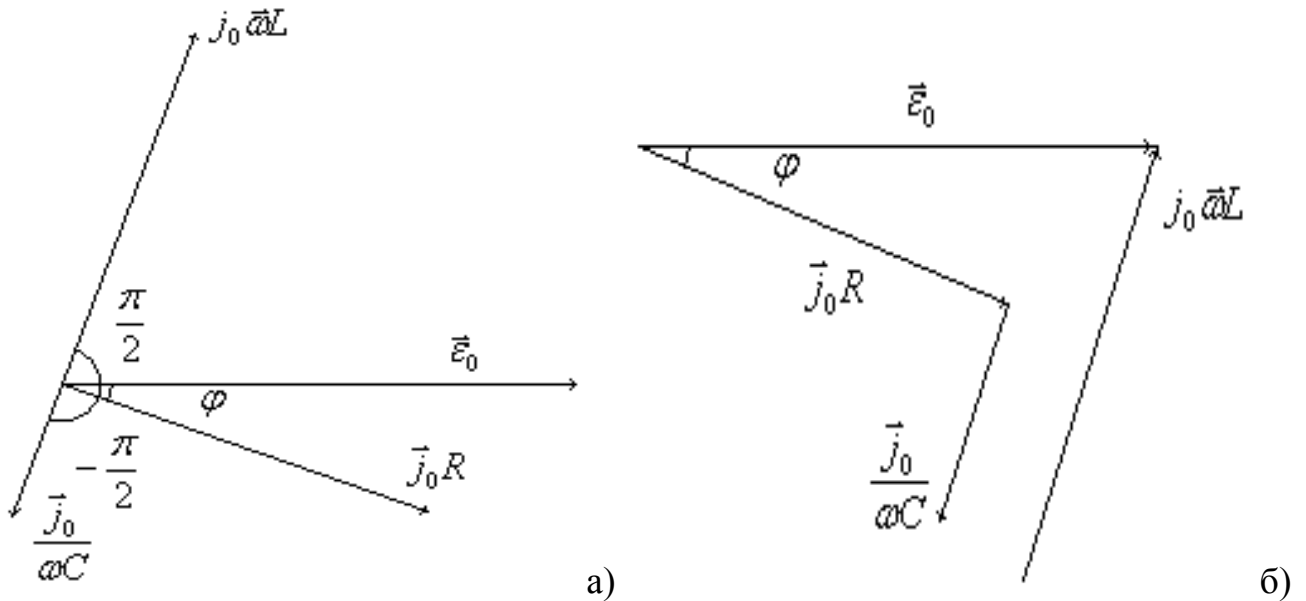


Рисунок 2 - Векторные диаграммы, соответствующие уравнениям (8) и (12)

Из рисунка 2, б следуют соотношения:

$$-I_0^2 R^2 + I_0^2 \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2; \quad \text{tg } \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R};$$

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}; \quad (13)$$

$$\varphi = \text{arctg} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}; \quad (14)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (15)$$

Видно, что колебания тока в цепи отстают по фазе от колебаний на угол φ , зависящий от частоты и определяемый согласно (14). Можно также сказать, что напряжение U во внешней цепи, содержащей последовательно соединённые R , C , и L , опережает по фазе ток на угол φ , определяемый выражением (14). Полное сопротивление цепи Z , в соответствии с (15), также зависит от частоты и может быть записано в виде:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (16)$$

где $X = X_L - X_C$ – полное реактивное сопротивление цепи.

Из формулы (16) следует, что активное и реактивное сопротивления цепи складываются геометрически.

2 Методика измерений

В работе исследуются электрические процессы в цепях, состоящих из следующих последовательно соединённых элементов:

- а) двух резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 (цепь RR , рисунок 3а);
- б) резистора R_2 и конденсатора C (цепь RC , рисунок 3б);
- в) резистора R_2 и катушки индуктивности L (цепь RL , рисунок 3в).

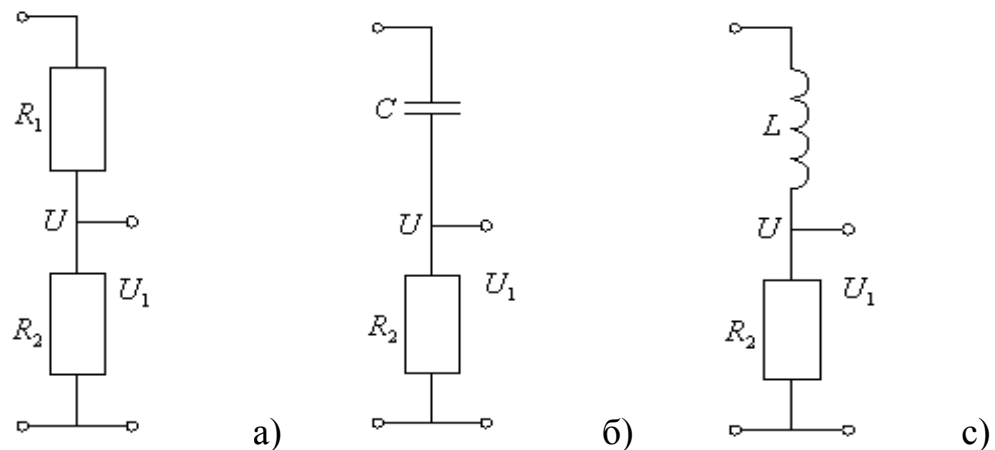


Рисунок 3 - Исследуемые электрические цепи

Основным параметром, характеризующим изучаемые цепи, является коэффициент передачи цепи K , представляющий собой отношение амплитуды напряжения на выходе цепи U_{01} к амплитуде напряжения на её входе U_0 :

$$K = \frac{U_{01}}{U_0}. \quad (17)$$

Напряжение на выходе цепи U_1 равно падению напряжения на резисторе R_2 :

$$U_1 = IR_2, \quad (18)$$

т.е. прямо пропорционально току в цепи I и находится с ним в одинаковой фазе. На основании соотношения (18) коэффициент передачи цепи можно записать в виде:

$$K = \frac{I_0 R_2}{U_0}. \quad (19)$$

Из соотношения (18) следует, что для измерения угла сдвига фаз между током в цепи I и входным напряжением U достаточно измерить угол сдвига фаз между напряжениями U_1 и U .

Для схем, изображённых на рисунке 3, найдём аналитический вид выражений для коэффициента передачи цепи K и угла сдвига φ . Для этого воспользуемся формулами (13), (14) и (19), подставляя в них соответствующие каждой схеме значения сопротивлений, напряжений и токов.

Цепь RR : $R = R_1 + R_2$; $X_L = 0$; $X_c = 0$; $E_0 = U_0$.

Из (13)

$$I_0 = \frac{U_0}{R_1 + R_2}. \quad (20)$$

Из (14)

$$\varphi = 0. \quad (21)$$

Из (19) и (20)

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (22)$$

Цепь RC : $R = R_1$; $X_L = 0$; $X_c = \frac{1}{\omega C}$; $E_0 = U_0$.

Из (13)

$$I_0 = \frac{U_0 \omega C}{\sqrt{1 + (R_2 \omega C)^2}}. \quad (23)$$

Из (14)

$$\varphi = -\arctg \frac{1}{R_2 \omega C}. \quad (24)$$

Из (19) и (23)

$$K = \frac{R_2 \omega C}{\sqrt{1 + (R_2 \omega C)^2}}. \quad (25)$$

При высоких частотах ($\omega \rightarrow \infty$): $I_0 = \frac{U_0}{R_2}$; $\varphi = 0$; $K = 1$.

Этот результат соответствует тому, что в цепи замкнут конденсатор C .

При низких частотах ($\omega \rightarrow 0$):

$$I_0 = U_0 \omega C; \varphi = -\frac{\pi}{2}; K = R_2 \omega C = 2\pi R_2 C \nu. \quad (26)$$

Этот результат соответствует тому, что в цепи замкнут резистор R_2 .

Цепь RL : $R = R_2$; $X_L = \omega L$; $X_C = 0$; $E_0 = U_0$.

Из (13)

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L)^2}}. \quad (27)$$

Из (14)

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R_2}. \quad (28)$$

Из (19) и (27)

$$K = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L)^2}}. \quad (29)$$

При высоких частотах ($\omega \rightarrow \infty$):

$$I_0 \approx \frac{U_0}{\omega L}; \varphi \cong \frac{\pi}{2}; K \cong \frac{R_2}{\omega L} = \frac{R_2}{2\pi L \nu}. \quad (30)$$

Это соответствует тому, что в цепи замкнута индуктивность L .

Полученные результаты могут быть использованы для экспериментального определения параметров цепей R , C , L .

3 Экспериментальная установка

Экспериментальная установка для исследования простых электрических цепей содержит (рисунок 4):

PQ – генератор прямоугольных импульсов;

PO – осциллограф;

ИП – источник питания;

ФПЭ-09 – лабораторный модуль.

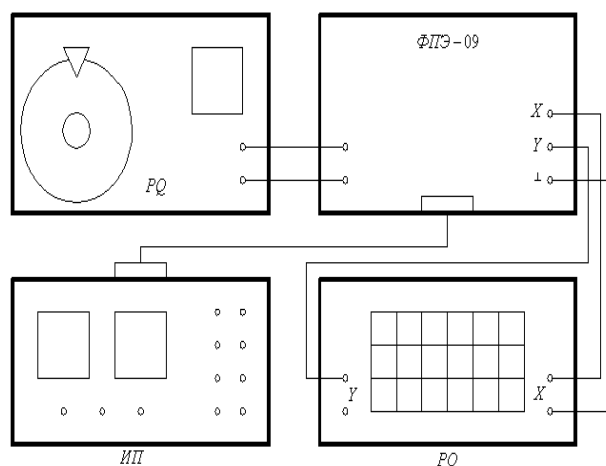


Рисунок 4 - Структурная схема экспериментальной установки
 Генератор PQ является источником гармонической ЭДС. Выходное напряжение и частоту генератора можно менять в широких пределах.

Осциллограф PO служит для измерения амплитуд напряжений на входе и выходе цепи, а также для измерения угла сдвига фаз между током в цепи и входным напряжением.

Источник питания ИП предназначен для питания схемы коммутатора.

В модуле ФПЭ-09 собраны изучаемые электрические цепи (рисунок 5).

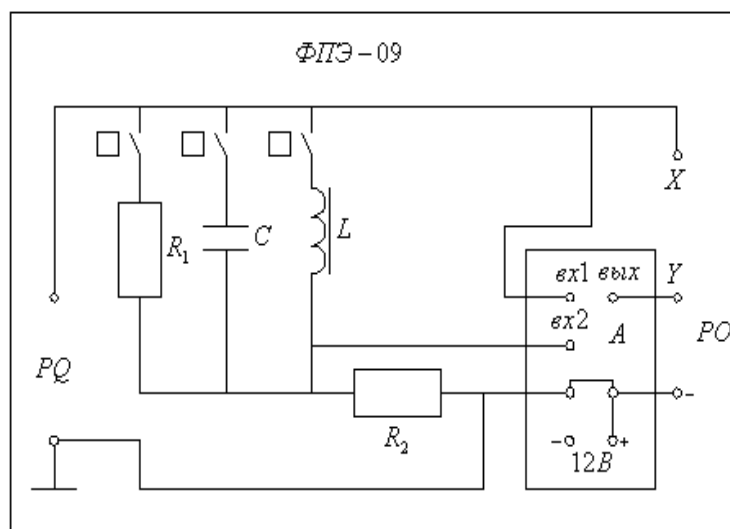


Рисунок 5 - Функциональная схема лабораторного модуля ФПЭ-09

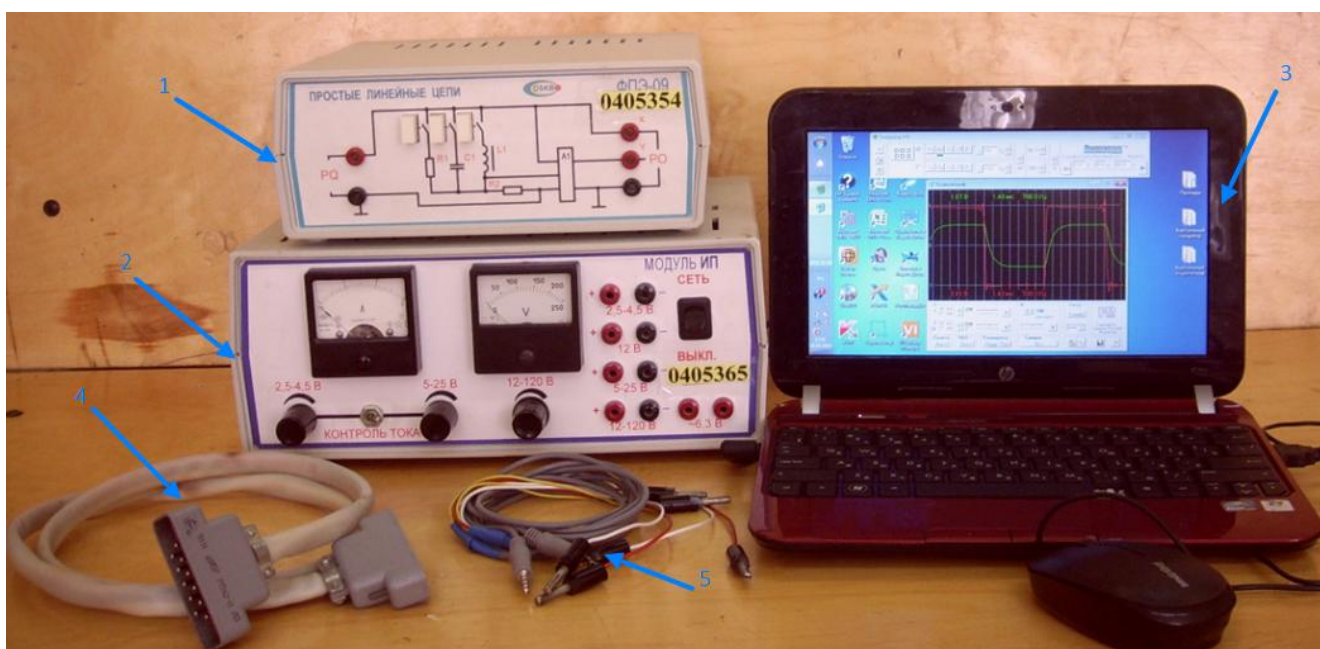
В нём находится также коммутатор A , применение которого позволяет наблюдать на экране осциллографа одновременно два синусоидальных сигнала.

Напряжение со входа изучаемой цепи подаётся на «Vx1» коммутатора, а напряжение с выхода изучаемой цепи – на «Vx2» коммутатора. С выхода коммутатора исследуемые напряжения подаются на вход Y осциллографа.

Для формирования и наблюдения электрических сигналов в работе используются виртуальный генератор и виртуальный осциллограф, реализованные на базе звуковой карты персонального компьютера (ПК).

Внимание! Категорически запрещается подключать к ПК иные приборы кроме элементов экспериментальной установки, если это не оговорено отдельно.

Состав экспериментальной установки иллюстрируется рисунком 6.



1 – модуль ФПЭ-09; 2 – источник питания ИП; 3 – персональный компьютер с сервисным программным обеспечением; 4 – кабель источника питания; 5 – кабели для подключения модуля ФПЭ-09 к звуковому порту ПК.

Рисунок 6 - Экспериментальная установка для изучения электрических процессов в простых электрических цепях

Исследуемая электрическая цепь организуется согласно схеме (рисунок 4) с помощью соединительных кабелей. Кабели для подключения к персональному компьютеру имеют цветовую маркировку:

желтый – общий провод;

коричневый – первый (левый) канал;

белый – второй (правый) канал.

Входной сигнал подается на вход PQ модуля ФПЭ-09 путем подключения к линейному выходу звуковой карты ПК. Выходной сигнал с выхода PO подается на линейный вход звуковой карты.

Виртуальный осциллограф «РадиоМастер» позволяет исследовать переменные напряжения в звуковом диапазоне частот от 10 Гц до 20 кГц. Для наблюдения сигналов доступны два независимых канала $Y1$ (зеленый) и $Y2$ (красный). Амплитуда входного напряжения без использования входного делителя напряжения ограничена возможностями звуковой карты ПК и не превышает 1,5 В.

На лицевой панели прибора (рисунок 7) располагаются органы управления, типичные для реальных осциллографов, а также специальные средства настройки и кнопки для работы в режиме запоминания осциллограмм. Все элементы панели снабжены всплывающими комментариями. Программа сопровождается файлом «help» с кратким описанием функциональных возможностей.

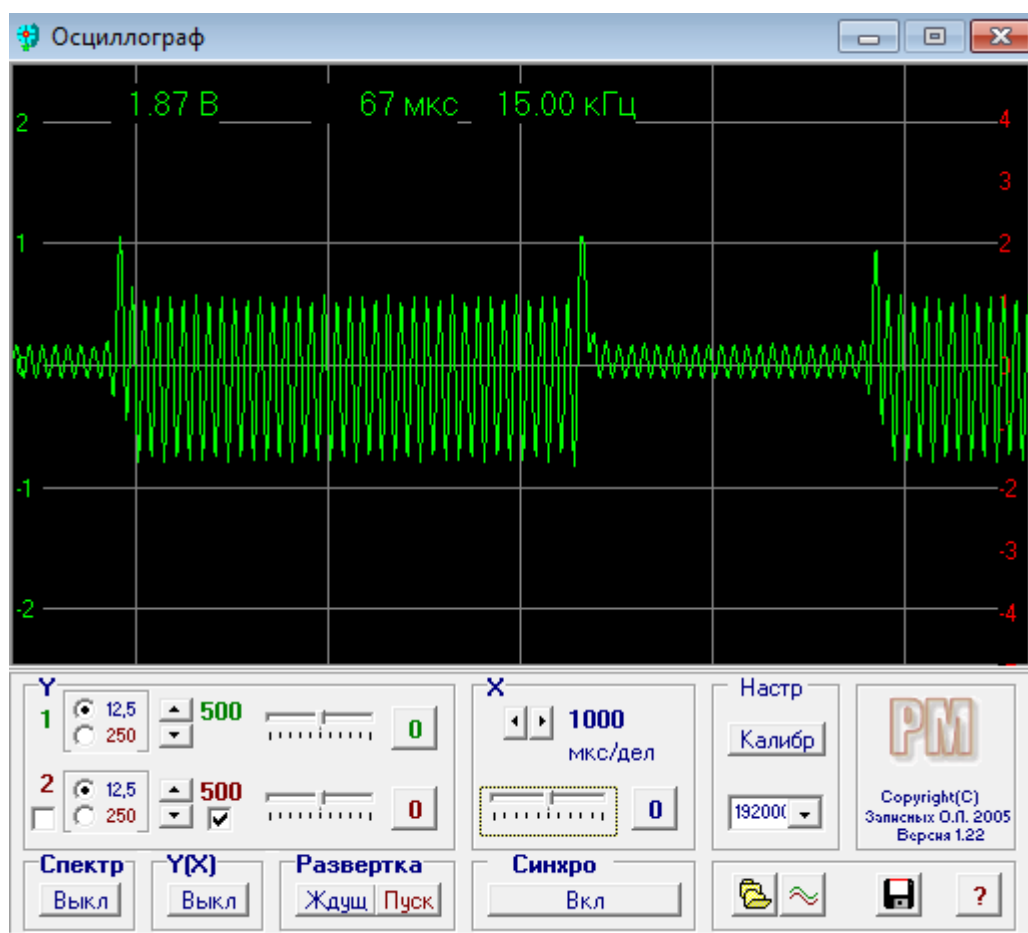


Рисунок 7 - Лицевая панель виртуального осциллографа

Виртуальный генератор «Авангард» позволяет возбуждать на линейном выходе звуковой карты ПК низкочастотные сигналы специальной формы в диапазоне до 20 кГц. Амплитуда выходного сигнала ограничена возможностями звуковой карты ПК и не превышает 1,5 В. Поскольку амплитуда сигнала определяется текущим положением регуляторов уровня, то задание амплитуды осуществляется в процентах от максимального уровня. Для вывода сигналов доступны два независимых канала.

На лицевой панели прибора (рисунок 8) располагаются органы управления для выбора формы выходного сигнала, задания его частоты и амплитуды, а также кнопки для динамического изменения выходного сигнала по частоте или амплитуде (Свип-режим). Все элементы панели снабжены всплывающими комментариями. Программа сопровождается файлом «help» с кратким описанием функциональных возможностей.

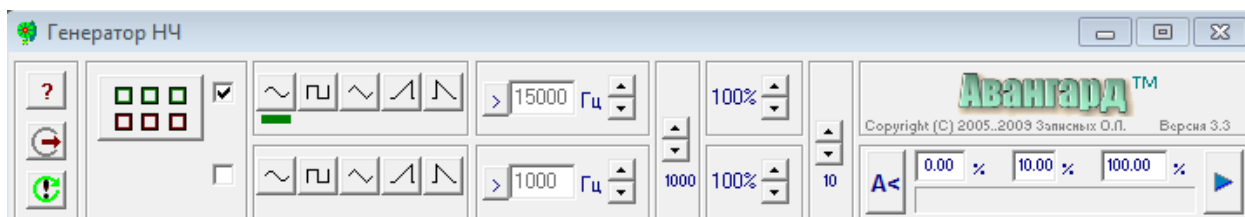


Рисунок 8 - Лицевая панель виртуального генератора низкочастотных сигналов

4 Практическая часть

Цель работы

1. Познакомиться с виртуальными измерительными приборами, освоить принципы измерения параметров импульсных сигналов с помощью осциллографа.
2. Получить осциллограммы, иллюстрирующие электрические процессы в цепях, состоящих из последовательно соединенных элементов: двух резисторов (цепь RR); резистора и конденсатора (цепь RC); резистора и катушки индуктивности (цепь RL).

3. Определить коэффициент передачи цепи RR . Получить эмпирические зависимости коэффициентов передачи цепей RC и RL от частоты входного сигнала. Оценить параметры исследуемых цепей – R_I , C , L .

4. Измерить разность фаз между колебаниями тока и входным напряжением в цепях RC и RL .

Порядок выполнения работы

Задание 1

1. Включите персональный компьютер. После загрузки убедитесь, что регуляторы уровня для активных аудиоустройств установлены на максимальный (100%) уровень, а регулятор баланса установлен в нейтральное положение. Для этого откройте «Панель управления», далее «Оборудование и звук» и перейдите к свойствам активных устройств (рисунок 9). Проверьте и при необходимости скорректируйте выходные уровни.

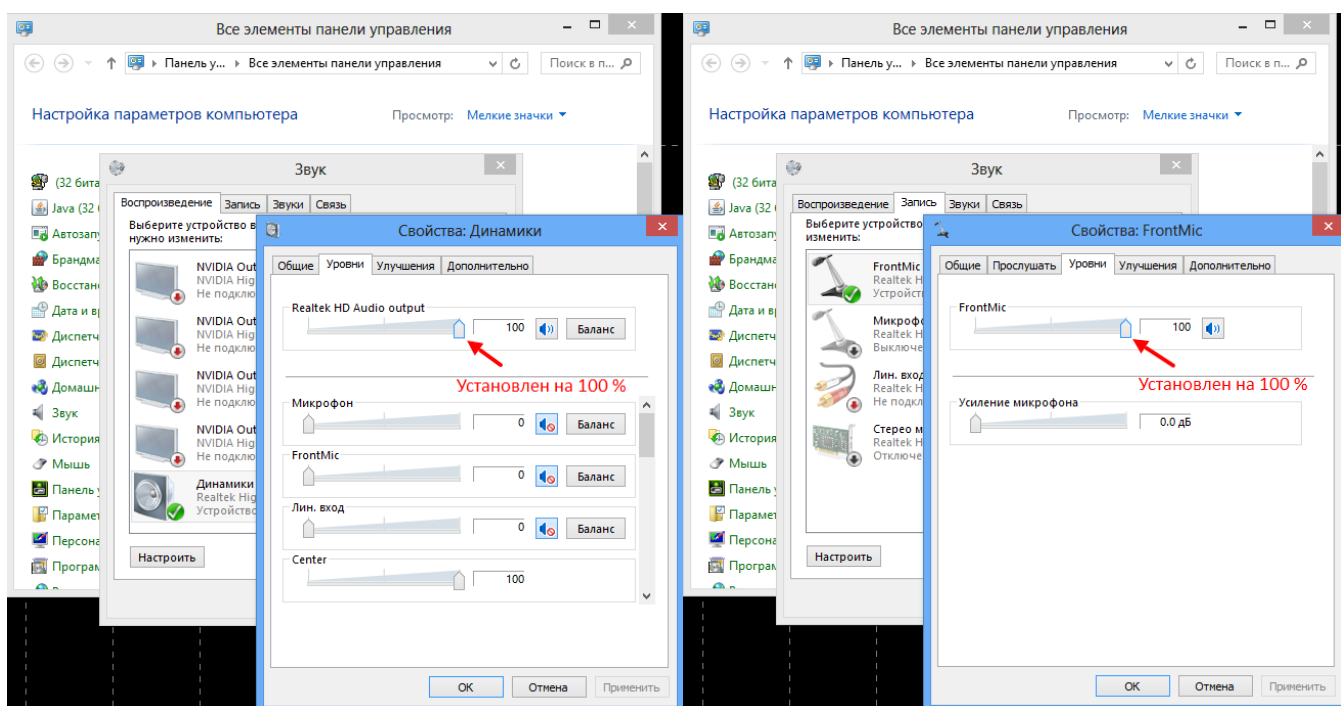


Рисунок 9 - Установка выходных уровней сигналов активных аудиоустройств

2. Запустите виртуальный осциллограф и генератор. Для этого найдите на рабочем столе папки «Виртуальный осциллограф» и «Виртуальный генератор» и активируйте исполняемые файлы «osc.exe» и «gen33.exe». После запуска программ разместите лицевые панели приборов на рабочем столе для комфортной работы.

3. Установите на лицевых панелях виртуальных приборов элементы управления в положения, соответствующие рисункам 7 и 8. Убедитесь, что генератор работает в режиме «Меандр» (частота 15 кГц).

4. Установите исходное положение кнопочных переключателей на панели модуля (ФПЭ-09): все кнопки отжаты. Соберите исследуемую электрическую цепь (рисунок 4), воспользовавшись соединительными кабелями. Подключите к выходу «Y» модуля ФПЭ-09 «коричневый» сигнальный провод (вход «Y1» виртуального осциллографа). После проверки схемы преподавателем или лаборантом включите источник питания модуля ФПЭ-09.

5. Замкните с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую резистор R_1 . Далее, меняя значения коэффициентов развертки по времени и амплитуде, добейтесь воспроизведения на экране осциллографа одновременно двух синусоидальных сигналов, соответствующих изменению напряжения на резисторах R_1 и R_2 (рисунок 10). Для визуализации осциллограмм выполняйте ручной запуск развертки путем нажатия кнопки «Пуск» на панели «Развертка».

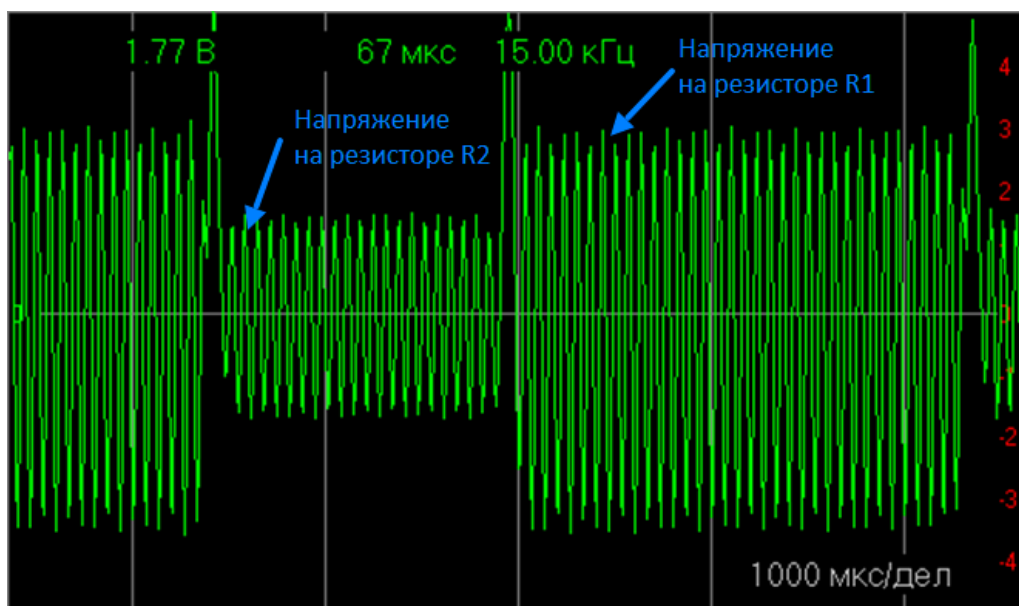


Рисунок 10 - Осциллограмма напряжения на выходе «Y» модуля ФПЭ-09

Осциллограмму сохраните в виде графического файла.

Сохранение осциллограмм осуществляется нажатием кнопки «Поместить в архив». Сохраненные осциллограммы размещаются в папке «data».

Воспользовавшись кнопкой «Архив осциллограмм» можно визуализировать осциллограммы, помещенные в архив.

6. Установите частоту выходного сигнала 5 кГц. Путем нажатия кнопки «Пуск» на панели «Развертка» получите осциллограмму напряжения на резисторах R_1 (напряжение на входе цепи U_0) и R_2 (напряжение на выходе цепи U_{01}). Выполните измерение амплитуд напряжений на входе и выходе цепи RR . Используя полученные значения, рассчитайте значения коэффициента передачи цепи K по формуле (17). Учитывая, что $R_2 = 51$ Ом, определите величину сопротивления резистора R_1 по формуле (22).

7. Повторите измерения п. 6 для частот 10, 15 и 20 кГц. Сравните полученные результаты.

Задание 2

1. Замкните с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую электрическую емкость C . Установите частоту выходного сигнала 15 кГц. Далее, меняя значения коэффициентов развертки по времени и амплитуде, добейтесь воспроизведения на экране осциллографа одновременно двух синусоидальных сигналов, соответствующих изменению напряжения на входе и выходе цепи RC . Для визуализации осциллограмм выполняйте ручной запуск развертки путем нажатия кнопки «Пуск» на панели «Развертка». Полученную осциллограмму сохраните в виде графического файла.

2. Установите частоту выходного сигнала 5 кГц. Путем нажатия кнопки «Пуск» на панели «Развертка» получите осциллограмму напряжения на входе и выходе цепи RC , выполните измерение амплитуд напряжений. Используя полученные значения, рассчитайте значения коэффициента передачи цепи K по формуле (17).

3. Повторите измерения п. 2 в диапазоне частот 5 – 20 кГц с шагом 1 кГц. Используя полученные данные, постройте график зависимости коэффициента передачи цепи RC от частоты.

4. С помощью графика $K_{RC}=f_{RC}(v)$ оцените величину емкости конденсатора C . Поскольку линейный участок графика, описывается формулой (26), то электрическая емкость может быть найдена по формуле:

$$C = \frac{tg \alpha}{2\pi R_2}, \quad (31)$$

где α определяется по полученной функциональной зависимости.

Задание 3

1. Замкните с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую индуктивность L . Установите частоту выходного сигнала 15 кГц. Далее, меняя значения коэффициентов развертки по времени и амплитуде, добейтесь воспроизведения на экране осциллографа одновременно двух синусоидальных сигналов, соответствующих изменению напряжения на входе и выходе цепи RL . Для визуализации осциллограмм выполняйте ручной запуск развертки путем нажатия кнопки «Пуск» на панели «Развертка». Полученную осциллограмму сохраните в виде графического файла.

2. Установите частоту выходного сигнала 5 кГц. Путем нажатия кнопки «Пуск» на панели «Развертка» получите осциллограмму напряжения на входе и выходе цепи RL , выполните измерение амплитуд напряжений. Используя полученные значения, рассчитайте значения коэффициента передачи цепи K по формуле (17).

3. Повторите измерения п. 2 в диапазоне частот 5 – 20 кГц с шагом 1 кГц. Используя полученные данные, постройте график зависимости коэффициента передачи цепи RL от частоты.

4. С помощью графика $K_{RL}=f_{RL}(v)$ оцените величину индуктивности L . Для этого воспользуйтесь формулой (30). Определив тангенс угла наклона касательной к графику функции $K_{RL}=f_{RL}(v)$, величину индуктивности можно рассчитать по формуле:

$$L = \frac{R_2}{2\pi g \alpha} \quad (32)$$

Задание 4

1. Установите исходное положение кнопочных переключателей на панели модуля (ФПЭ-09): все кнопки отжаты. Подключите к выходу «Y» модуля ФПЭ-09 «белый» сигнальный провод (вход «Y1» виртуального осциллографа – исследуемый сигнал), а к выходу «X» – «коричневый» сигнальный провод (вход «Y2» виртуального осциллографа – опорный сигнал).

2. Замкните с помощью кнопочного переключателя на панели модуля ФПЭ-09 ветвь, содержащую электрическое сопротивление R . Подберите частоту выходного сигнала и значения коэффициентов развертки по времени и амплитуде для воспроизведения на экране осциллографа одновременно двух синусоидальных сигналов, соответствующих изменению напряжений на входе и выходе цепи RR (напряжение на выходе цепи пропорционально току в цепи).

Для визуализации осциллограмм выполняйте ручной запуск развертки путем нажатия кнопки «Пуск» на панели «Развертка». Полученную осциллограмму сохраните в виде графического файла.

3. Повторите последовательность действий п. 2 для цепей RC и RL . Проведите качественный анализ изменения фазового сдвига сигналов на входе и выходе исследуемых цепей по сохраненным осциллограммам (рисунок 11).

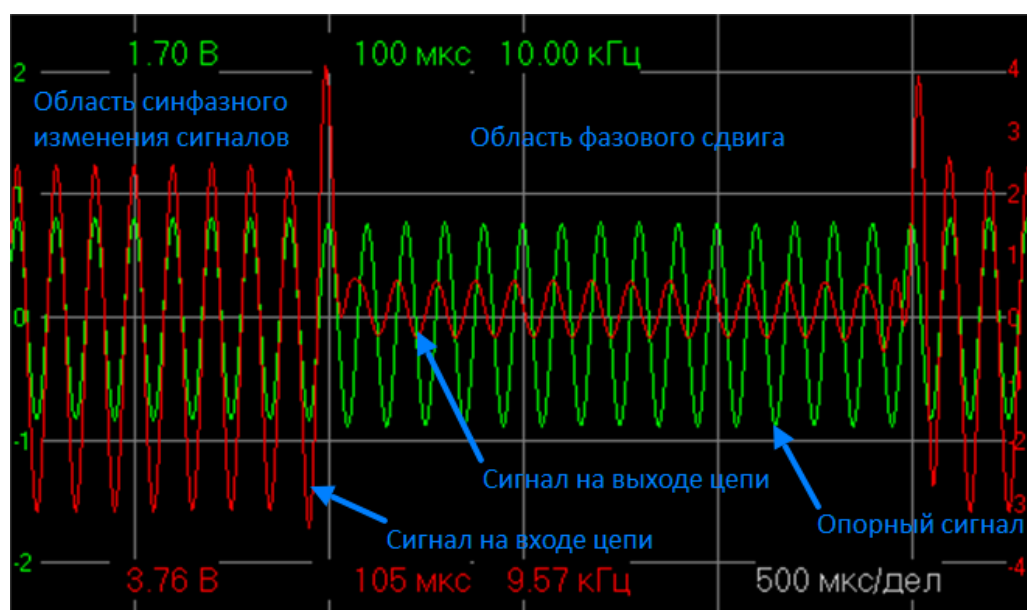


Рисунок 11 - Осциллограммы напряжения на выходах «X» и «Y» модуля ФПЭ-09

4. Экспериментально определите угол сдвига фаз между током и напряжением в цепи RC на частотах 5 и 15 кГц.

Для этого в делениях шкалы экрана осциллографа измерьте сдвиг по времени Δt между изображениями двух сигналов и период колебаний T (рисунок 12).

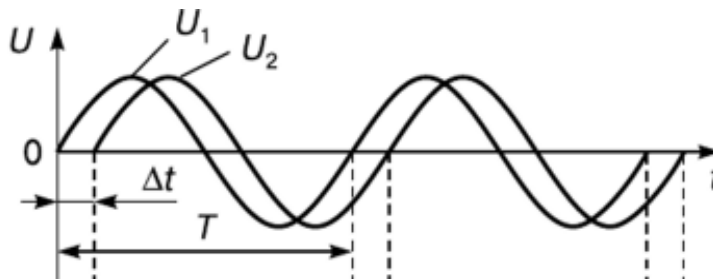


Рисунок 12 - Измерение фазового сдвига

Разность фаз рассчитайте по формуле:

$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T}.$$

Далее найдите разность фаз φ по формуле (24), используя известные параметры цепи. Сравните полученные значения с результатами непосредственного измерения угла φ .

5. Экспериментально определите угол сдвига фаз между током и напряжением в цепи RL на частотах 15 и 20 кГц. Далее найдите разность фаз φ по формуле (28), используя известные параметры цепи. Сравните полученные значения с результатами непосредственного измерения угла φ .

Контрольные вопросы

1. Какой ток называется квазистационарным? Напишите условие квазистационарности.

2. Получите выражение: а) для емкостного сопротивления; б) для индуктивного сопротивления.

3. Постройте векторную диаграмму для цепи, содержащей последовательно соединенные:

а) R и C ;

б) R и L .

Определите с помощью векторной диаграммы для каждой цепи полное сопротивление Z и сдвиг фаз между током и напряжением.

4. Получите выражение для коэффициента передачи цепи для схемы, состоящей:

а) из R и C ;

б) из R и L .

5. Как в работе проводится оценка:

а) величины емкости конденсатора C ;

б) величины индуктивности катушки L ?

Список использованных источников

1. Савельев, И.В. Курс общей физики [Текст]: учебное пособие. В 3 т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика / И.В. Савельев. - М.: Наука, 1988. - 496 с.

2. Трофимова, Т.И. Курс физики [Текст]: учебное пособие для вузов / Т.И. Трофимова. - М.: Высш. шк., 2001. - 542 с.

3. Чакак, А.А. Курс физики. Электричество и магнетизм / А.А. Чакак. –Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006,-317 с. Электронный каталог ОГУ. – Режим доступа http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/1121_20110805.pdf.