

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

О.В. Гаркуша, В.И. Коротеев, В.А. Павловский

ВВЕДЕНИЕ В ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
«ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ»

*Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии»
в качестве учебно-методического пособия
для студентов высших учебных заведений*

Москва 2011

УДК 621.3

ББК 31

Г 92

Гаркуша О.В., Коротеев В.И., Павловский В.А. Введение в лабораторный практикум «Линейные электрические цепи». Учебно-методическое пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 80 с.

Дается описание учебной лаборатории «Электрические цепи», рассматриваются принципы работы, структурные схемы построения и основные метрологические характеристики используемых в лаборатории современных средств измерений, освещаются методические принципы, лежащие в основе проведения как реального, так и выполняемого в процессе самостоятельной подготовки студентов виртуального эксперимента, и даётся описание лабораторной работы «Вводное занятие в лаборатории «Электрические цепи»».

Пособие предназначено для студентов дневных и очно-заочного факультетов, изучающих курсы «Теоретические основы электротехники», «Электротехника», «Теория электрических цепей», «Электроника и электротехника», «Электротехника и схемотехника», «Метрология, стандартизация и сертификация» и выполняющих лабораторные работы в практикуме «Электрические цепи».

Учебно-методическое пособие подготовлено в рамках Программы создания и развития НИЯУ МИФИ

Рецензент канд. техн. наук, доц. В.О. Вальднер

ISBN 978-5-7262-1556-3

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.	4
1. Учебная лаборатория «Электрические цепи»	5
1.1. Экспериментальные лабораторные панели.	8
1.2. Двухканальный цифровой запоминающий осциллограф TDS2002B.	9
1.2.1. Принцип действия цифрового запоминающего осциллографа.	9
1.2.2. Функциональные возможности, структурная схема и назначение функциональных областей и элементов управления осциллографа TDS2002B.	11
1.2.3. Основные метрологические характеристики осциллографа TDS2002B.	19
1.2.4. Техника измерений параметров сигналов	20
1.3. Генератор многофункциональный АНР-1002.	30
1.3.1. Основные характеристики генератора.	30
1.3.2. Элементы управления и регулировки генератора.	30
1.3.3. Режимы работы генератора.	32
1.4. Вольтметр универсальный цифровой В7-35.	33
1.4.1. Основные технические характеристики прибора.	33
1.4.2. Структурная схема прибора, принцип действия и назначение органов регулировки.	35
1.4.3. Техника измерений параметров сигналов.	37
1.5. Мультиметр цифровой АМ-1118.	40
2. Лабораторная работа «Вводное занятие в учебной лаборатории «Электрические цепи»».	42
2.1. Описание экспериментальной установки.	42
2.2. Задание на эксперимент.	43
2.3. Домашнее задание.	49
2.4. Указания к оформлению отчета.	50
2.5. Контрольные вопросы.	53
Список литературы.	54
Приложение 1.	55
Приложение 2.	61

Предисловие

Предлагаемое пособие состоит из двух частей – теоретической и практической, а также двух приложений.

В первой части описывается учебная лаборатория «Электрические цепи», представляющая собой лабораторный комплекс, и перечисляются методические принципы, положенные в основу проведения занятий, даётся описание экспериментального стенда, рассматриваются функциональные возможности комплекса и его компонентов, а также приводятся основные технические характеристики используемых приборов.

Вторая часть пособия содержит описание лабораторной работы «Вводное занятие в учебной лаборатории «Электрические цепи»», традиционно включающее следующие разделы: цель работы, описание экспериментальной установки, задание на эксперимент, домашнее задание, указания к оформлению отчета и контрольные вопросы для проверки знаний.

В Приложении 1 дается вывод соотношений, используемых при оценке погрешностей измерения электрических величин.

В Приложении 2 описывается методика проведения предварительного (виртуального) эксперимента, выполняемого с использованием программной среды MultiSim10.1 и виртуальных приборов на персональных компьютерах.

К данному пособию прилагается CD-диск, на котором размещена одна из версий компьютерного моделирования методов измерения параметров линейных электрических цепей и анализа схем в среде MultiSim10.1.

1. УЧЕБНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ»

Учебная лаборатория (рис.1.1) предназначена для проведения лабораторных, практических и самостоятельных занятий с целью усвоения и закрепления знаний, получаемых студентами в ходе изучения курсов электротехнического цикла. Процесс обучения в лаборатории базируется на следующих методических принципах:

- фронтальный метод выполнения работ;
- эффективный контроль знаний студентов, проводимый на этапах допуска к занятиям и защиты лабораторных работ;
- развитие навыков и форм самостоятельной работы;
- освоение современных средств измерительной и вычислительной техники;
- совмещение лабораторных занятий с практическими;
- реализация новых методов обучения и проведения физического эксперимента на основе использования новейших информационных и компьютерных технологий.

Отличительной особенностью современного подхода к созданию практикума на основе учебной лаборатории «Электрические цепи» является интегрирование в единый процесс реальных и виртуальных исследований и возможность их использования в режиме удаленного доступа. В результате такого подхода удастся реализовать сетевой обучающий лабораторный аппаратно-программный комплекс коллективного пользования. Выполнение виртуальных экспериментов, осуществляемых в среде LabVIEW и проводимых в процессе самостоятельной подготовки студентов, способствует более качественному освоению изучаемых электротехнических дисциплин. Внешний вид лаборатории приведен на рис.1.1.

Основу учебной лаборатории составляют универсальные экспериментально-исследовательские стенды (рис.1.2). Кроме того, в ее состав входит система демонстрации электрических процессов в динамике с использованием большого экрана и управляемого компьютером проектора.

На базе компьютеров, входящих в состав универсальных стендов, создан компьютерный класс для 15 пользователей с выходом в Интернет.



Рис. 1.1. Внешний вид лаборатории «Электрические цепи»

Каждый стенд укомплектован лабораторными панелями, число и вид которых может варьироваться в зависимости от задач исследования, персональным компьютером, двухканальным цифровым запоминающим осциллографом TDS2002B, многофункциональным генератором АНР-1002, вольтметром универсальным цифровым В7-35, мультиметром АМ1118, используемым в качестве альтернативы прибора В7-35, и источником питания постоянного тока АТН-1232. Кроме того, стенд оборудован блоком из шести евророзеток с УЗО и тремя разъемами заземления, размещенными справа под столешницей.

Следует отметить, что целесообразность наличия компьютеров в экспериментальном стенде объясняется не только упрощением процедуры расчета результатов реального эксперимента, но и необходимостью совершенствования процесса самостоятельной подготовки студентов, в ходе которого осуществляется моделирование электрических цепей и электронных устройств, выполняются домашние задания и проводится анализ результатов исследований в

электронном виде с использованием пакета программ MicroCap10.1 и моделирующей среды LabVIEW, NIMultiSim 10.1.

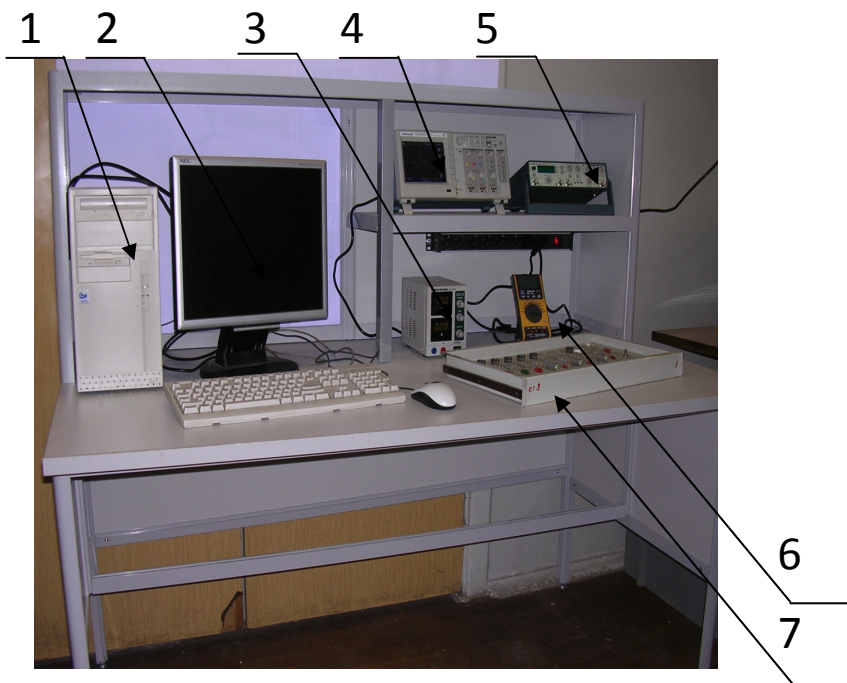


Рис. 1.2. Внешний вид экспериментального стенда:

1 – компьютер; 2 – монитор; 3 – силовой источник постоянного напряжения и тока; 4 – двухканальный цифровой запоминающий осциллограф; 5 – функциональный генератор различных типов сигналов; 6 – мультиметр; 7 – исследовательская панель

Исследовательская панель трех типов: для исследования простейших электротехнических цепей под воздействием синусоидальных и импульсных сигналов, для анализа процессов в длинных линиях и для изучения простейших электронных схем.

1.1. Экспериментальные лабораторные панели

Лабораторные работы в учебной лаборатории «Электрические цепи» выполняются с использованием панелей двух типов, каждая из которых содержит набор элементов электрических цепей с однополюсными коммутационными гнездами. На лицевых сторонах панелей нанесена гравировка условных обозначений элементов, что облегчает процедуру сборки электрических цепей в процессе их исследований в различных режимах.

Лабораторная панель №1 (рис. 1.3), на которой размещены конденсаторы, катушки индуктивности и резисторы, используется при исследовании в линейных электрических цепях однофазного и трёхфазного тока в стационарном и переходном режимах их работы.

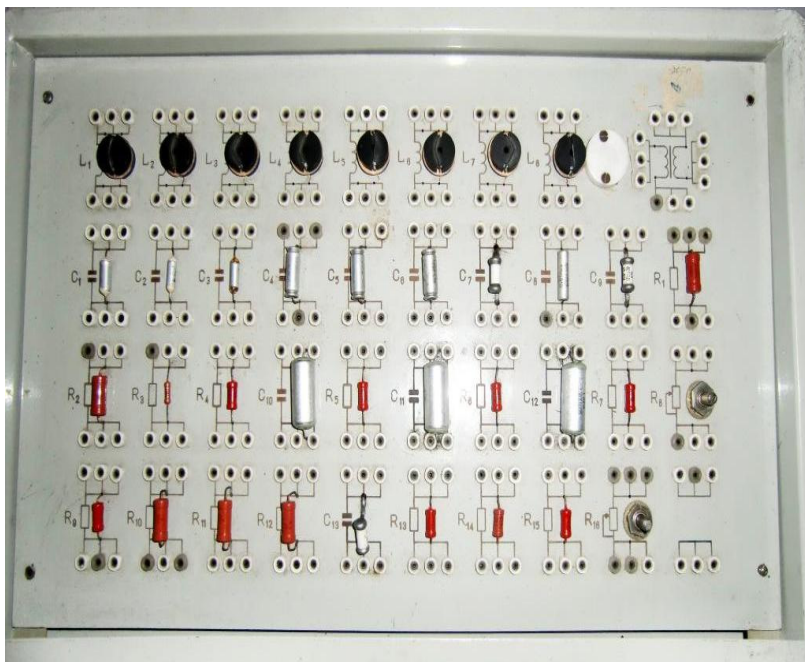


Рис. 1.3. Лабораторная панель №1

Лабораторная панель №2 (рис. 1.4) предназначена для исследования электрических цепей с распределёнными параметрами. Панель содержит два типа линий задержки ЛЗТ-2.0-1200(Л11) и ЛЗТ-0.5-600(Л2), моделирующих цепи с распределенными параметрами, а также набор резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности, являющихся нагрузками этих линий.

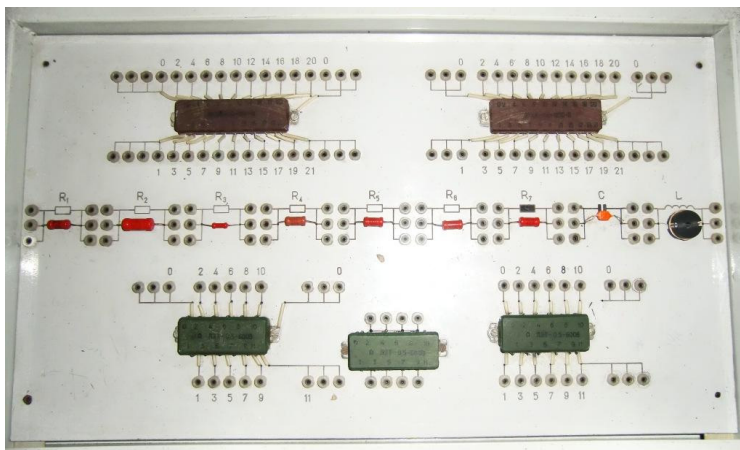


Рис. 1.4. Лабораторная панель №2

Значения используемых величин – емкостей, сопротивлений, индуктивностей, напряжений питания цепей, частоты и т.п., определяются из таблиц, представленных на стенде «Исходные данные», размещенном в лаборатории.

1.2. Двухканальный цифровой запоминающий осциллограф TNDS2002B

1.2.1. Принцип действия цифрового запоминающего осциллографа

Запоминающий осциллограф – прибор, в котором при помощи специального устройства - электронного запоминающего устройства (ЗУ) удается сохранять на определенное время исследуемый сигнал и

при необходимости представлять его для однократного или многократного визуального наблюдения или для дальнейшей обработки.

В основе работы цифрового осциллографа лежит операция дискретизации – процедура преобразования непрерывной во времени величины в дискретную, при которой сохраняются её мгновенные значения только в определённые моменты времени (рис. 1.5), т.е. исследуемый аналоговый сигнал $U(t)$ представляется набором дискретных значений U_1, U_2, U_3 и т.д.

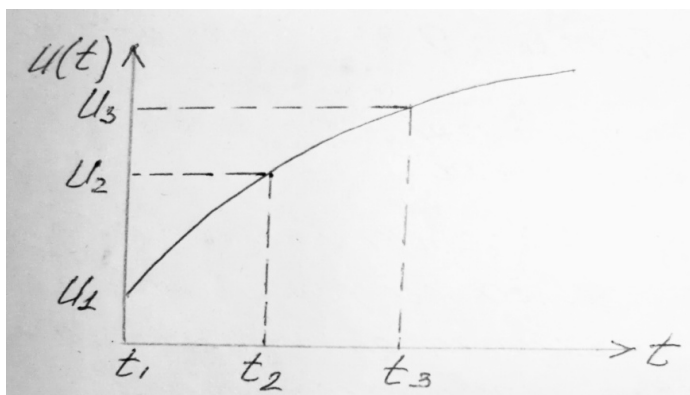


Рис. 1.5. Преобразование непрерывной величины в дискретную

Цифровой код, создаваемый с помощью аналого-цифрового преобразователя, передается в ЗУ, где накапливается последовательность чисел – выборка, сохраняющаяся в течение продолжительного времени. Моменты временной выборки, частота и скорость выборки в соответствии с параметрами сигнала задаются генератором тактовых импульсов выборки – аналогом генератора развертки в канале горизонтального отклонения осциллографа, т.е. происходит формирование кода адреса ячеек ЗУ. Синхронное функционирование блоков осциллографа обеспечивается устройством синхронизации. При цифровой форме представления сигнала появляется возможность выполнения программной и графической обработки данных и отображение сигнала на плоском матричном светодиодном или жидкокристаллическом экране.

Кроме того, при использовании микропроцессоров и персональных компьютеров создаются условия для автоматизации процессов управления цифровым осциллографом, существенного увеличения объема сбора и хранения цифровой информации и повышения её достоверности и точности, реализации программирования измерительных процедур с дальнейшим наращиванием программного обеспечения, проведения самодиагностики и тестирования системы до начала процедуры измерения, осуществления сопряжения с другими измерительными и управляющими устройствами и т.п.

1.2.2. Функциональные возможности, структурная схема и назначение функциональных областей и элементов управления осциллографа TDS2002B

Установленный в экспериментальном стенде двухканальный цифровой запоминающий осциллограф TDS2002B с полосой пропускания 60 МГц, частотой выборки 1.0 Гвыб/с и цветным жидкокристаллическим экраном обладает рядом функциональных возможностей, в числе которых можно отметить следующие:

- получение контекстно-зависимой справки;
- проведение одиннадцати автоматических измерений в режимах автоустановки и автодиапазона, а также курсорных измерений с отображением полей значений и поля частоты синхронизации;
- сбор данных с использованием выборки, пиковой детекции или усреднения при 2500 отсчетах на каждый канал;
- выполнение математических операций сложения, вычитания, умножения и преобразования Фурье;
- работа в режимах внутренней синхронизации по фронту, спаду и длительности импульса, а также видеосигналу с возможностью выбора строки;
- наличие внешней синхронизации;
- запоминание настроек и осциллограмм;
- наличие интерфейса пользователя, двух шкал времени, систем проверки и компенсации пробника, а также устройств настройки предела полосы пропускания и регулировки послесвечения экрана;

- сопряжение с 3У USB (Universal Serial Bus) для хранения файлов, любым принтером, совместимым с PictBridge, контроллером SPIB, подключаемым с помощью дополнительного адаптера TEK-USB-488, персональным компьютером для обмена информацией через USB-порт с использованием программного обеспечения OpenChoice и другими измерительными и управляющими системами.

Упрощенная структурная схема и лицевая панель прибора изображены на рис.1.6 и рис.1.7 соответственно.



Рис.1.6. Блок-схема различных функций осциллографа и их связей друг с другом

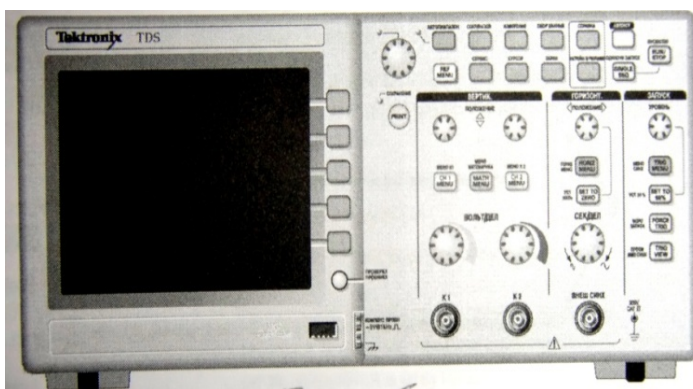


Рис.1.7. Передняя панель осциллографа

Панель прибора разделена на ряд функциональных областей, что облегчает ее использование.

Область экрана

Жидкокристаллический дисплей с диагональю 145 мм имеет разрешение 320 пикселей по горизонтали (10 делений) на 240 пикселей по вертикали (8 делений), регулируемую яркость подсветки и настраиваемый контраст с температурной компенсацией.

Помимо осциллограмм на экране отображаются подробные сведения о сигналах и настройках управления осциллографом (рис.1.8).

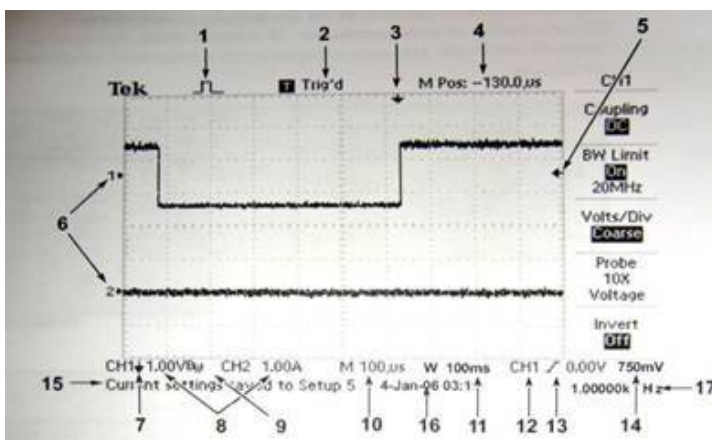


Рис.1.8. Область экран: 1 – значок, показывающий режим сбора данных; 2 – отображение состояния синхронизации; 3 – маркер горизонтального положения импульса синхронизации; 4 – отображение положения во времени, соответствующее средней линии координатной сетки (начало отсчета – момент синхронизации); 5 – маркер уровня синхронизации по фронту или по длительности импульса; 6 – маркеры опорных уровней отображаемых осциллограмм; 7 – символ инвертирования осциллограммы; 8 – значения коэффициента вертикального отклонения; 9 – символ ограничения полосы пропускания каналов (BW); 10 – значение длительности развертки (основной масштаб времени); 11 – значение длительности развертки в окне (при использовании окна); 12 – символ источника сигнала синхронизации; 13 – символ типа синхронизации; 14 – значение уровня запуска по фронту или по длительности импульса; 15 – область сообщений; 16 – отображение даты и времени; 17 – значение частоты синхронизации

В нижней части экрана осциллографа имеется область сообщений 15, в которой отображается всевозможная полезная информация.

Кроме того, с помощью интерфейса пользователя осциллографа реализуется быстрый доступ к специальным функциям через структуру меню. При нажатии кнопок на лицевой панели в правой части экрана прибора появляется соответствующее меню, где отображаются параметры, доступ к которым осуществляется путем нажатия функциональных кнопок без надписей, расположенных непосредственно справа от экрана.

Область управления отображением по вертикали VERTICAL (ВЕРТИК)

Элементы управления используются для выбора и удаления осциллограмм, регулирования коэффициента вертикального отклонения, изменения положения осциллограмм по вертикали, установки параметров входа (открытый – DC, закрытый – AC, заземленный – GND) и выполнения математических операций по вертикали. В частности:

- ручки POSITION (ПОЛОЖЕНИЕ) используются для перемещения осциллограмм вверх и вниз по экрану;
- кнопки CH1 MENU (МЕНЮ K1) и CH2 MENU (МЕНЮ K2) предназначены для вывода на экран значений параметров меню по вертикали, а также для включения или отключения отображения сигнала определенного канала, причем для каждого канала существует свое меню настройки и значение любого параметра устанавливается для каждого канала отдельно (при появлении символа «?» в поле измерения, свидетельствующего о недостоверности значения, необходимо провести перенастройку вертикального масштаба);
- ручки VOLTS/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ) используются для установки значений коэффициента вертикального отклонения, а также для увеличения или уменьшения вертикальных размеров осциллограммы;
- кнопкой MATHMENU (МЕНЮ МАТЕМАТИКА) на экран выводится меню математических операций для сигналов (выбор типа операции – сложение, вычитание, перемножение, быстрое преобразование Фурье, выбор источников для каждой операции),

а также включаются и выключаются расчетные осциллограммы, изменяется их положение и масштаб по вертикали (используется универсальная ручка).

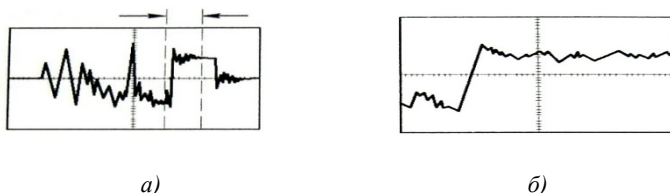
Область управления отображением по горизонтали HORIZONTAL (ГОРИЗОНТ)

Органы управления предназначены для настройки осциллограмм в каналах по положению и масштабу. В поле положения по горизонтали отображается время, соответствующее нахождению осциллограммы в центре экрана (нулевой момент синхронизации).

Основными элементами управления являются:

- ручка POSITION (ПОЛОЖЕНИЕ), служащая для изменения положения момента синхронизации относительно центра экрана и устанавливающая точку запуска справа или слева от центра (режим задержанной развертки);
- кнопка SET TO ZERO (УСТ. НУЛЬ), предназначенная для установки нулевого положения по горизонтали;
- ручка SEC/DIV (СЕК/ДЕЛ.), служащая для регулировки значений длительности развертки основного масштаба времени или масштаба времени окна (растяжение или сжатие осциллограммы сигналов);
- кнопка HORIZ.MENU (ГОРИЗ.МЕНЮ), предназначенная для вывода на экран меню горизонтали.

Кроме того для более детального просмотра фрагмента осциллограммы можно воспользоваться функцией WindowZone (ЗОНА ОКНА), задав её двумя вертикальными курсорами с помощью ручек POSITION и SEC/DIV и отобразив её на весь экран (рис.1.8).



с.1. 9. Функции WindowZone: а – отображение в основном масштабе времени; б – отображение зоны окна

Область управления синхронизацией TRIGGER (ЗАПУСК)

Параметры синхронизации задаются с помощью меню синхронизации и органов управления на передней панели. Доступны три типа синхронизации: синхронизация по фронту (осуществляется при достижении порогового значения нарастающим или ниспадающим фронтом сигнала), видеосинхронизация и синхронизация по длительности импульса.

В качестве сигнала синхронизации может использоваться регистрируемый сигнал, идущий по любому каналу (внутренняя синхронизация), сигнал, подаваемый на разъем EXT.TRIG (ВНЕШН.СИНХР.), и сигнал, получаемый из сети питания ACLine (СЕТЬ).

Возможны следующие режимы синхронизации:

- Auto (АВТО) или режим непрерывной развертки, устанавливаемый по умолчанию и используемый во многих ситуациях, например, для просмотра несинхронизированного сигнала при значениях длительности развертки, превышающих 100 мс/дел.;
- Normal (Обычный) – аналог режима ждущей развертки, когда сигнал на экране прибора не отображается в отсутствие первого события запуска;
- SINGLESEQ. (ОДИНОЧНЫЙ ЗАПУСК) – режим, используемый для одиночного запуска сбора данных.

В осциллографе имеется возможность установки различных типов входов (Coupling) для отфильтровывания сигнала синхронизации:

- DC (Постоянный ток) – аналог открытого входа (\simeq), когда передаются все компоненты сигнала;
- Noise Reject (Подавление шума);
- HF Reject (Подавление ВЧ) для подавления высоковольтных компонент с частотой более 80 кГц;
- LF Reject (Подавление НЧ) для блокировки компонент постоянного тока и ослабления компонент с частотой менее 300 кГц;
- AC (Переменный ток) – аналог закрытого входа (\sim), когда блокируются компоненты постоянного тока и ослабляются сигналы с частотой ниже 10 Гц.

Следует отметить, что в случае режима ждущей развертки (NORMAL) синхронизация всегда производится по отрицательным импульсам, а минимальная длительность регистрируемого сигнала должна быть не менее 5 нс.

Кроме того, в осциллографе рассчитывается частота возникновения событий синхронизации, значение которой отображается в правом нижнем углу экрана.

К органам регулировки синхронизации относятся:

- ручка LEVEL (УРОВЕНЬ), используемая для установки уровня амплитуды, которую должен иметь сигнал, чтобы его можно было зарегистрировать;
- кнопка TRIG.MENU (МЕНЮ СИНХР.), предназначенная для вывода на экран меню синхронизации;
- кнопка SETTO 50% (УСТ.50%), используемая, как правило, в режиме внешней синхронизации, когда уровень запуска устанавливается посередине между пиковыми значениями сигнала синхронизации;
- кнопка FORCETRIG (ФОРС. ЗАПУСК), с помощью которой можно завершить сбор данных независимо от наличия необходимого сигнала синхронизации (полезна при одиночном запуске сбора данных, в режиме ждущей развертки и внешней синхронизации);
- кнопка TRIG.VIEW (ПРОСМ.ИМП.СИНХР.), путем нажатия и удержания которой осуществляется вывод на экран осциллограммы сигнала синхронизации.

Область входных разъемов

Данная область включает:

- ВЧ разъемы CH1(K1) и CH2(K2), используемые для подключения отображаемых сигналов;
- ВЧ разъем EXT.TRIG. (ВНЕШН.СИНХР.), предназначен для подачи сигнала синхронизации в режиме внешнего запуска;
- разъем 0,5 V FlashDrive (Порт запоминающего устройства USB – Universal Serial Bus), используемый для подключения ЗУ USB, предназначенного для хранения файлов;

- разъем COMP.PROBE ~5 V_{ik}Hz Π (КОМПЕНС.ПРОБН.), предназначенный для подключения пробника напряжения при электрическом согласовании его с входной цепью осциллографа.

Область кнопок меню и управления

В данной области, располагаемой в верхней части лицевой панели осциллографа, размещены:

- универсальная ручка с конкретной функцией, определяемой отображаемым на экране меню или выбранной командой меню, и световой индикацией, сигнализирующей об активизации ручки;
- кнопка AUTORANGE (АВТОДИАПАЗОН), предназначенная для вывода на экран меню автодиапазона, а также для включения и выключения функции автоматического выбора диапазона (снабжена световой индикацией, сигнализирующей о включении режима автоматического выбора диапазона);
- кнопка SAVE/RECALL (СОХР./ВЫЗОВ), с помощью которой на экран выводится меню сохранения и загрузки данных для параметров настройки и осциллограмм;
- кнопка MEASURE (ИЗМЕРЕНИЕ), используемая для вывода на экран меню автоматических измерений с одновременным отображением до пяти результатов измерений (в меню доступно одиннадцать измерений);
- кнопка ACQUIRE (СБОР ДАННЫХ), при нажатии которой на экране отображается соответствующее меню и появляется возможность установки параметров регистрации – Sample (Выборка), Peak. Detect (Пиковая детекция) и Average (Усреднение);
- кнопка REF.MENU (МЕНЮ ОПОРНОГО СИГНАЛА), служащая для вывода на экран меню опорного сигнала, что позволяет быстро отображать и скрывать опорные осциллограммы, хранимые в энергонезависимой памяти осциллографа;
- кнопка UTILITY (СЕРВИС), предназначенная для вывода на экран меню сервиса;
- кнопка CURSOR (КУРСОР), используемая для отображения на экране меню курсора, вывода на экран курсоров амплитуды

- (горизонтальные линии), курсоров времени (вертикальные линии) и частотных курсоров БПФ, перемещение которых осуществляется с помощью универсальной ручки;
- кнопка DISPLAY (ЭКРАН), выводящая на экран меню и служащая для изменения способа отображения сигнала и выбора способа отображения данных;
 - кнопка HELP (СПРАВКА), используемая для вывода на экран меню справки, содержащего описание всех команд и функций осциллографа;
 - кнопка DEFAULTSETUP (НАСТРОЙКА ПО УМОЛЧАНИЮ), служащая для восстановления заводской настройки (при нажатии кнопки отображается сигнал первого канала и удаляются все другие сигналы);
 - кнопка AUTOSET (АВТОУСТ.), при нажатии которой происходит автоматическая установка значений параметров управления сигналом, обеспечивающих его приемлемое изображение;
 - кнопка SINGLESEQ (ОДИНОЧН.ЗАПУСК), используемая при регистрации одиночного сигнала (после регистрации сбор данных прекращается);
 - кнопка RUN/STOP (ПУСК/СТОП), при нажатии которой осуществляется непрерывная регистрация сигналов или сбор данных приостанавливается;
 - кнопка PRINT (ПЕЧАТЬ), при активации которой запускается печать на принтере или выполняется функция SAVE (СОХРАНЕНИЕ) на ЗУ с шиной USB;
 - горящий индикатор SAVE, сигнализирующий о том, что кнопка PRINT настроена для сохранения данных в ЗУ USB.

1.2.3. Основные метрологические характеристики осциллографа TDS2002B

Скорость сбора данных – до 180 осциллограмм в сек. на канал.

Входное сопротивление и входная емкость – $1\text{ МОм} \pm 2\%$ параллельно с (20 ± 3) пФ.

Максимальное входное напряжение – 300 В.

Ослабление синфазного сигнала – 20:1.

Диапазон значений коэффициента отклонения – 2 мВ/дел...5 В/дел.

Время нарастания переходной характеристики не более 5,8 нс.

Погрешность коэффициентов отклонения - $\pm 3\%$.

Диапазон значений частоты выборки – от 5 выб/с до 1 Гвыб/с.

Диапазон значений длительности развертки – от 5 нс/дел до 50 с/дел.

Погрешность измерения временных интервалов - $\pm(1 \text{ инт.дискр.} + 10^{-4} * \text{отсчет} + 0,4 \text{ нс})$.

1.2.4. Техника измерений параметров сигналов

Прибор предназначен для проведения измерений относительно земли. Работе с осциллографом предшествует процедура проверки его работоспособности, для осуществления которой необходимо выполнить следующие операции:

1. Включить осциллограф и нажать кнопку DEFAULTSETUP.
2. Подключить пробник к разъему CH1 и к контактам разъема КОМП.ПРОБЕ.
3. Нажать кнопку AUTOSET и наблюдать на экране отображение сигнала типа меандр с размахом 5 В и частотой 1 кГц.
4. Нажать дважды кнопку CH1 MENU для удаления с экрана изображения сигнала канала 1, а затем нажать кнопку CH2 MENU для получения осциллограммы сигнала 2, предварительно подключив к каналу пробник.

Основными функциями, наиболее часто используемыми при работе с прибором, являются AUTOSET, AUTORANGE, сохранение настроек и восстановление настроек.

При каждом нажатии кнопки AUTOSET обеспечивается стабильное отображение осциллограммы, происходит автоматическая настройка каналов вертикального и горизонтального отклонения, а также параметров синхронизации и на экране отображаются результаты ряда автоматических измерений.

AUTORANGE – непрерывно действующая функция, которую можно включать и отключать и при активации которой появляется возможность отслеживать сигнал при быстрых его изменениях или при переносе пробника в другую точку исследуемой цепи.

С помощью меню SAVE/RECALL можно сохранить до десяти текущих настроек осциллографа.

Кроме того, в осциллографе имеется возможность восстановления последней настройки, а также любой из сохраненных настроек или настройки по умолчанию – заводской настройки для обычного режима работы (необходимо нажать кнопку DEFAULTSETUP).

Наиболее часто в процессе исследований применяются метод калиброванной шкалы, курсорные и автоматические измерения.

В первом случае можно быстро произвести оценку параметров сигнала путем подсчета количества основных и промежуточных делений координатной сетки и умножения их на коэффициент вертикального отклонения (измерение напряжение) или длительность развертки (измерение временных интервалов).

Суть курсорных измерений состоит в перемещении курсоров амплитуды или курсоров времени и считывании в области экранных сообщений значений, соответствующих местоположению курсоров. Курсоры амплитуды отображаются на экране в виде горизонтальных линий, и с их помощью измеряются параметры сигнала по вертикали, отсчитываемые от опорного уровня. Курсоры времени отображаются в виде вертикальных линий, и с их помощью находятся параметры сигнала как по горизонтали, так и по вертикали (время отсчитывается относительно точки синхронизации развертки).

При автоматических измерениях все необходимые вычисления производятся в осциллографе автоматически и результаты отображаются в полях области экранных сообщений. Поскольку для измерений используются данные в точках дискретизации сигнала, точность этого метода выше в сравнении с двумя предыдущими.

Выполнение измерений в режиме Autoset (Автоустановка)

Для быстрого получения изображения сигнала с неизвестными параметрами необходимо выполнить следующие действия:

- нажать кнопку CH1 MENU;
- нажать последовательно функциональные кнопки Probe, Voltage, Attenuation, 1X;
- установить переключатель на пробнике в положение 1X;
- соединить разъем CH1 с источником сигнала;
- нажать кнопку AUTOSSET.

Несмотря на то, что параметры управления отображением устанавливаются автоматически, при необходимости их можно изменить вручную.

Выполнение автоматических измерений

Для измерения частоты, периода, размаха, времени нарастания и длительности импульса необходимо выполнить следующее:

- нажать кнопку MEASURE для отображения меню измерений;
- нажать верхнюю функциональную кнопку для активации MeasureMenu;
- нажимая кнопку Type, получить символ Freq (в поле Value отобразится результат);
- нажать кнопку Back;
- повторить предыдущие действия, выводя на экран последовательно Measure2 Menu, Measure3 Menu, Measure4 Menu и Measure5 Menu с помощью 2-й, 3-й, 4-й и 5-й функциональной кнопки и добиваясь отображения символов Period, Pk-Pk, Rise-Time и Pos. Width путем нажатия функциональной кнопки Type;
- считать результаты измерений в соответствующих полях Value (рис. 1.10).

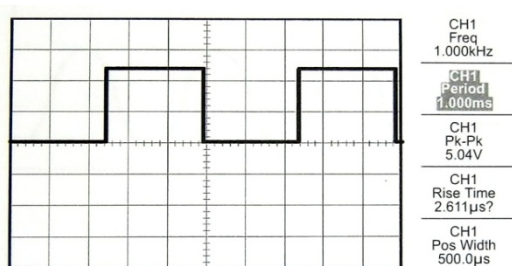


Рис. 1.10. Выполнение автоматических измерений

При появлении символа «?» в поле Value необходимо изменить коэффициент отклонения или длительность развертки так, чтобы осциллограмма сигнала целиком вошла в границы измерения на экране.

Использование режима AUTORANGE для исследования сигналов в нескольких точках электрической цепи

Для реализации данного режима измерений необходимо:

- нажать кнопку CH1 MENU;
- нажать функциональные кнопки Probe, Voltage, Attenuation, 1X;
- нажать кнопку AUTORANGE для включения автоматической установки пределов и выбрать параметр VerticalandHorizontal;
- отобразить меню измерений, нажав кнопку MEASURE;
- с помощью верхней функциональной кнопки отобразить Measure1 Menu;
- последовательно нажимая функциональную кнопку Source, добиться появления в области сообщений символа CH1;
- с помощью функциональной кнопки Type отобразить символ Cус. RMS (среднее квадратическое значение напряжения);
- нажать кнопку Back;
- подсоединить пробник к первой точке цепи и считать результат измерения, отображаемый в области сообщений;
- повторить шаг для каждой точки измерения.

Выводя на экран соответствующий символ Freq., Period, Pk-Pk и т.п. с помощью кнопки Type, можно измерять и другие параметры сигнала – частоту, период, размах и т.п. Причем, как и при автоматических измерениях, существует возможность одновременного считывания до пяти результатов измерений.

Измерение двух сигналов

Чтобы вывести на экран осциллограммы двух сигналов, поступающих по каналу 1 и каналу 2, и получить результаты измерений по обоим каналам, требуется выполнить следующие действия:

- подключить каналы осциллографа к источникам сигналов (рис. 1.11, а);
- нажать кнопку AUTOSSET;
- нажать кнопку MEASURE для отображения меню измерений;

- нажать верхнюю функциональную кнопку для вывода на экран Measure1 Menu;
- последовательно нажимать кнопку Source до получения символа CH1;
- последовательно нажимать кнопку Type до получения символа Pk-Pk;
- нажать кнопку Back;
- повторить все предыдущие шаги, начиная со второй сверху функциональной кнопки (Measure2 Menu) и активируя CH2.

В результате осуществления описанной процедуры можно посмотреть на экране осциллограммы двух сигналов и определить отображаемые в соответствующих полях значения их размахов (рис.1.11, б). Аналогично измеряются и другие параметры сигналов (период, частота и т.п.).

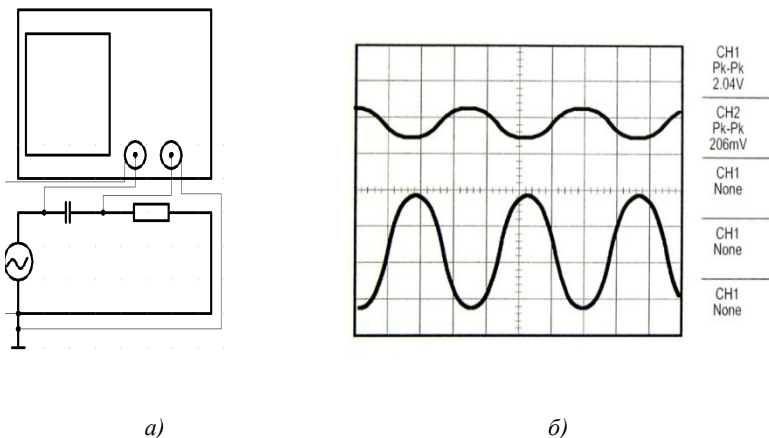


Рис. 1.11. Измерение двух сигналов

Если по ходу эксперимента не требуется производить каких-либо измерений, то можно ограничиться выполнением лишь первой и второй операций.

Выполнение курсорных измерений

Курсоры обычно используются при проведении быстрых измерений характеристик сигнала по времени и амплитуде.

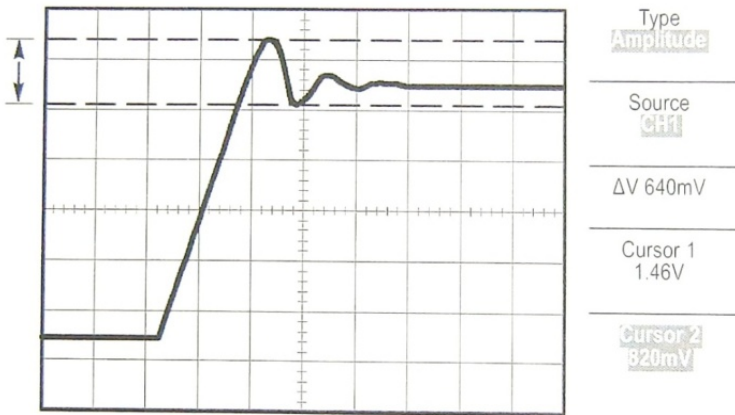
1. Измерение частоты и амплитуды колебательного переходного процесса. Для выполнения измерений необходимо:

- получить на экране осциллограмму фрагмента исследуемого сигнала, например, фронта импульса;
- нажать на кнопку CURSOR для отображения меню;
- последовательно нажимать функциональную кнопку Type до появления в данном поле символа Time;
- получить в поле функциональной кнопки Source символ CH1;
- нажать функциональную кнопку Cursor1 и с помощью универсальной ручки разместить курсор на первом пике колебательного переходного процесса (рис. 1.12, а);
- нажать функциональную кнопку Cursor2 и манипулируя универсальной ручкой разместить курсор на втором пике изображения процесса;
- считать значения интервала Δt и частоты $1/\Delta t$, отображаемые в поле сообщений меню курсора;
- с помощью функциональной кнопки Type добиться появления в соответствующем поле символа Amplitude;
- нажать функциональную кнопку Cursor1 и появившуюся горизонтальную линию сместить на уровень первого максимума осциллограммы в области колебаний;
- активировать вторую горизонтальную линию (Cursor2) и разместить её на уровне первого минимума осциллограммы в области колебаний (рис. 1.12, б);
- считать значение размаха ΔV , появляющееся в поле сообщений меню курсора.

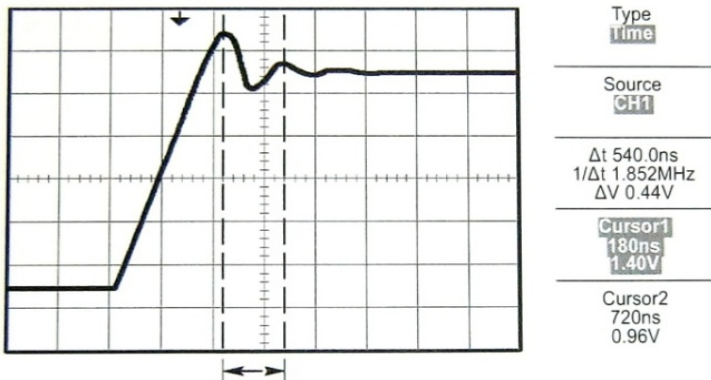
2. Измерение времени нарастания (время фронта).

Данная процедура аналогична рассмотренной выше в части измерения интервала Δt . Поскольку время нарастания прямоугольного импульса определяется как разность между двумя моментами

времени t_1 и t_2 , в которые импульс достигает 0,1 и 0,9 амплитудного значения, то курсоры времени необходимо помещать в точки, соответствующие этим моментам. Так как в полях сообщений курсоров отображается значение и времени, и амплитуды, то процедуру измерения можно существенно уточнить, если предварительно определить амплитуду импульса и рассчитать значение соответствующих уровней. Результат измерения, как и раньше, появляется в поле сообщений меню курсора.



a)



б)

Рис. 1.12. Выполнение курсорных измерений

Примечание: аналогичным способом измеряются время спада и длительность импульса.

3. Измерение фазового сдвига между двумя сигналами.

В процессе измерений необходимо произвести следующие действия:

- соединить каналы осциллографа (CH1 и CH2) с источником сигналов;
- нажать кнопку AUTOSET и получить устойчивое изображение синусоид;
- с помощью ручек Position каналов разместить опорные уровни обеих синусоид на одной горизонтали (используется соответствующие маркеры опорных уровней);
- манипулируя ручками VOLTS/DIV и TIME/DIV, установить удобное для работы изображение сигналов (рис. 1.13);
- нажать кнопку CURSOR для отображения CursorMenu;
- с помощью функциональных кнопок Type и Source получить в полях сообщений отображение символов Time и CH1, соответственно;
- нажать функциональную кнопку Cursor1 и с помощью универсальной ручки поместить курсор в точку, соответствующую нулевому значению первого сигнала на возрастающем участке синусоиды (отображаемое значение напряжения в поле курсора должно быть равным нулю);

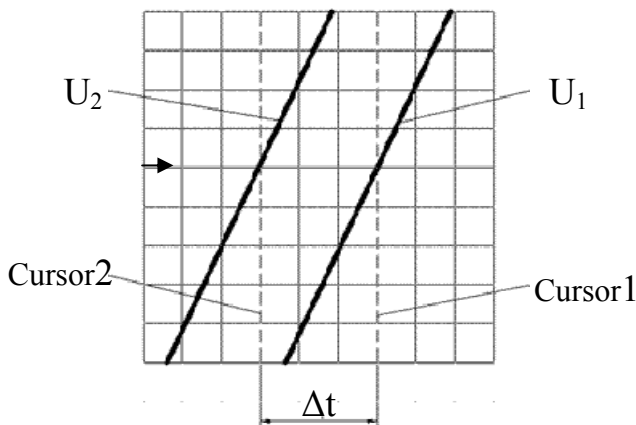


Рис. 1.13. Курсорное измерение фазового сдвига

- нажать функциональную кнопку Cursor2, поместить второй курсор в точку, соответствующую нулевому значению второго сигнала на возрастающем участке синусоиды, и считать значение Δt_{12} , отображаемое в поле сообщений меню курсора;
- рассчитать фазовый сдвиг φ_{12} по формуле $\varphi_{12}=360^\circ f \Delta t_{12}$, где $\varphi_{12}=\psi_1-\psi_2$ (ψ_1 и ψ_2 – начальные фазы U_1 и U_2), f – показание частотомера генератора.

Фазовый сдвиг можно измерить и методом калиброванной шкалы, для чего следует:

- подключить осциллограф к источнику сигналов;
- нажать кнопку AUTOSET, получить устойчивое изображение синусоид и с помощью органов управления по вертикали совместить опорные уровни отображаемых сигналов;
- изменяя значения коэффициентов вертикального отклонения и длительности развертки каналов, установить удобное для работы изображение сигналов (см. рис. 2.8 или рис. 1.13);
- воспользовавшись формулами $\varphi_0=180^\circ/N_r$ (см. рис. 2.8) или $\varphi_0=360^\circ f D_p$ (см. рис. 13), рассчитать цену основного горизонтального деления в градусах [N_r – количество делений, которое занимает изображение половины периода сигнала (см. рис. 2.8); D_p – значение длительности развертки, высвечиваемое в поле экранных сообщений, f – показание частотомера генератора (см. рис. 1.13)];
- определить число делений N_r' между нулевыми значениями сигналов на возрастающих участках синусоид;
- рассчитать фазовый сдвиг по формуле $\varphi_{12}=\varphi_0 N_r'$.

Следует отметить, что данный метод измерения, при всей своей простоте, уступает по точности методу с использованием курсоров времени.

Наблюдение фигур Лиссажу

Фигуры Лиссажу наблюдаются в формате XY, в котором напряжение сигнала первого канала определяет координату точки на горизонтальной оси, а напряжение сигнала второго канала – на вертикальной оси. При этом в осциллографе используется несинхронизированный сбор данных в режиме Sample (Выборка) и

полученные результаты отображаются в виде точек при фиксированной частоте отсчетов, равной 1 Мвыб/с.

Для просмотра сигналов в формате вывода XY требуется:

- нажать кнопку CH1 MENU;
- последовательно нажать функциональные кнопки Probe, Voltage, Attenuation, 1X;
- нажать кнопку CH2 MENU;
- последовательно нажать функциональные кнопки Probe, Voltage, Attenuation, 1X;
- подсоединить осциллограф к источнику сигналов, нажать кнопку AUTOSET и с помощью ручки VOLTS/DIV добиться примерного равенства размеров амплитуд отображаемых сигналов;
- нажать кнопку DISPLAY для отображения DisplayMenu;
- нажимая функциональную кнопку Format, получить в поле сообщений отображение символа XY (на экране появится изображение фигуры Лиссажу);
- с помощью ручек VOLTS/DIV и VERTICALPOZITION установить удобное для работы изображение;
- нажимая функциональную кнопку Persist, получить в поле сообщений отображение символа Infinite;
- нажать функциональную кнопку AdjustContrast и с помощью универсальной ручки отрегулировать контрастность изображения на экране (рис. 1.14).

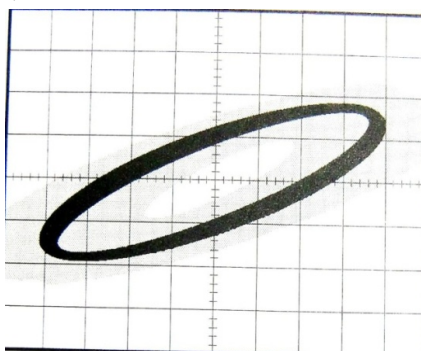


Рис. 1.14. Фигура Лиссажу

1.3. Генератор многофункциональный АНР-1002

Генератор АНР-1002 – источник сигналов синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы, импульсов ТТЛ-уровня в диапазоне частот от 0,01 Гц до 5 МГц, а также частотно- и амплитудно-модулированных сигналов и сигналов с изменяющейся частотой. Прибор оснащен встроенным частотомером с шестизначным светодиодным дисплеем, обеспечивающим измерение частоты в пределах от 5 Гц до 50 МГц.

1.3.1. Основные характеристики генератора

Основная погрешность установки частоты (при $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности не более 70 %) нормируется, как $\pm(n\%$ от установленного значения + m единиц младшего разряда индикатора)

В частности, в диапазоне частот:

0,5...50 Гц $n=3, m=2$;

50...500 Гц $n=0,3, m=1$;

0,5 кГц...5 МГц $n=0,03, m=1$.

Максимальный уровень выходного сигнала (размах) не менее 20В на нагрузке 1 МОм. Плавная регулировка выходного сигнала осуществляется в пределах 500 мВ...20 В. Ступенчатая регулировка производится ступенями -20 дБ, -40 дБ (-60 дБ).

Выходное сопротивление прибора равно $50\text{ Ом}\pm 10\%$.

Смещение по постоянному току регулируется в пределах от -10 В до +10 В (на нагрузке 1 МОм).

Коэффициент гармоник синусоидального сигнала менее 2 %.

Время нарастания прямоугольного импульса не более 50 нс.

Сквозность изменяется в диапазоне значений от 40 до 1 (50 % в положении регулятора КАЛ.).

1.3.2. Элементы управления и регулировки генератора

Лицевая панель прибора изображена на рис. 1.15.

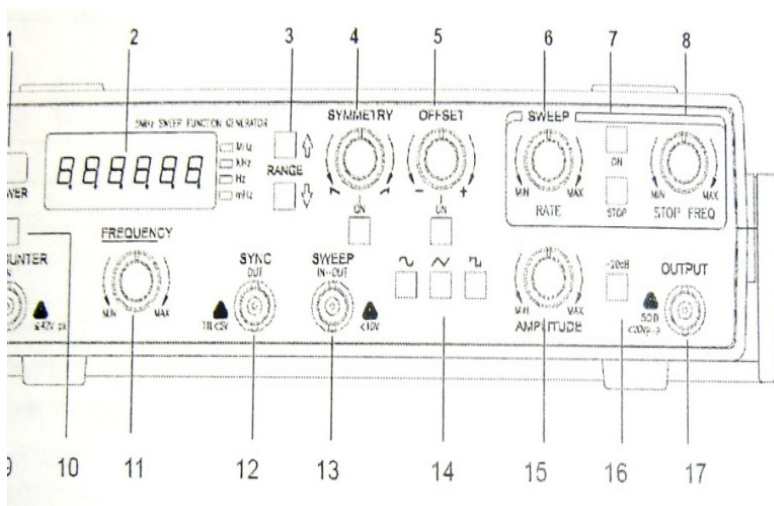


Рис. 1.15. Передняя панель прибора

Основными органами управления, размещенными на панели, являются:

1. кнопка POWER, используемая для включения и выключения питания;
2. дисплей READOUT – шестиразрядный индикатор для отображения частоты сигнала генератора или внешнего источника;
3. кнопки RANGE – диапазонные клавиши для установки частотного диапазона;
4. ручка SYMMETRY с кнопкой ON, используемая для регулировки симметрии фронта и спада импульса;
5. ручка OFFSET с кнопкой ON, предназначенная для регулировки уровня постоянной составляющей сигнала;
6. ручка SWEEP RATE, используемая для регулировки скорости качания частоты;
7. кнопки ON и STOP, используемые для управления режимом качания частоты;
8. ручка STOP FREQ, предназначенная для установки диапазона качания;

9, 10. разъем EXT. COUNTER и кнопка ON используемые для подачи сигнала и включения частотомера в режиме измерения частоты сигнала внешнего источника;

11. ручка FREQUENCY регулятор частоты выходного сигнала;

12. разъем SINC. OUT выход сигнала синхронизации ТТЛ уровня с частотой, равной частоте основного сигнала;

13. разъем SWEEPIN-OUT вход/выход управляющего сигнала в режиме качания частоты;

14. клавиши WAVESELECTOR переключатели выбора формы выходного сигнала;

15. ручка AMPLITUDE, используемая для регулировки амплитуды выходного сигнала;

16. клавиша 20 дБ предназначенная для ступенчатого ослабления уровня выходного сигнала;

17. разъем OUTPUT- выход основного сигнала генератора.

На задней панели прибора находятся вентиляционные отверстия, гнездо-переключатель для кабеля питания, переключатели питающего напряжения и предохранитель.

1.3.3. Режимы работы генератора

1. Непрерывная генерация периодического сигнала (см. рис. 1.15). Для реализации режима надлежит выполнить следующее:

- подключить основной выход генератора 17 к нагрузке;
- выбрать форму выходного сигнала путем нажатия одной из кнопок 14;
- установить диапазон генерирования сигнала, нажимая соответствующие диапазонные кнопки 3;
- с помощью ручки 11 получить требуемую частоту сигнала (значение частоты высвечивается на световом индикаторе);
- манипулируя ручкой 15 и нажимая, при необходимости, кнопку 16, установить уровень выходного сигнала (контролируется внешним измерительным устройством – вольтметром, осциллографом и т. п.);

- для установки необходимого уровня смещения сигнала воспользоваться регулятором OFFSET 5, включив его путем нажатия кнопки ON.

2. Регулировка симметрии сигнала. В режиме «симметрия» имеется возможность регулировки скважности прямоугольного импульса, а также изменения формы синусоидального и треугольного сигналов. Для активации режима необходимо:

- выполнить все действия режима непрерывной генерации, но с включенным регулятором SYMMETRY (нажать расположенную под регулятором кнопку ON);
- с помощью регулятора установить требуемую асимметрию сигнала или скважность прямоугольных импульсов (форма сигнала контролируется по его отображению на экране осциллографа).

3. Генерация синхроимпульсов (см. рис. 1.15). Для получения синхроимпульсов следует подсоединить к гнезду 12 генератора коаксиальный кабель с разъемом байонетного типа и с помощью регулятора 11 установить требуемое значение частоты, контролируя её по индикатору генератора (амплитуда синхроимпульсов постоянна и равна 2,5 В).

1.4. Вольтметр универсальный цифровой В7-35

Прибор предназначен для измерения напряжения постоянного и переменного тока, силы постоянного и переменного тока и сопротивления постоянному току с индикацией результата измерения в цифровой форме и с автоматическим выбором предела измерения.

1.4.1. Основные технические характеристики прибора

Диапазон измеряемых величин:

напряжение постоянного тока ($U_{\vec{}}$) от 10^{-4} до 1000 В;

сила постоянного тока ($I_{\vec{}}$) от 10^{-7} до 1 А;

напряжение переменного тока (U_{\sim}) от 10^{-4} до 300 В в интервале частот 20 Гц...100 МГц;
 сила переменного тока (I_{\sim}) от 10^{-4} до 10 А;
 сопротивление постоянному току (R) от 1 до 10^7 Ом.

Предельно допустимая основная относительная погрешность δ , %:

$$\delta(U_{\sim})=\pm(0,1+0,1X_k/(X)); \quad (1.1)$$

$$\delta(I_{\sim})=\pm(0,3+0,1X_k/(X)); \quad (1.2)$$

$$\delta(U_{\sim})=\pm(0,2+0,2X_k/(X)) \text{ на пределах } (X_k) \text{ 100 мВ и 1 В}; \quad (1.3)$$

$$\pm(0,3+0,3X_k/(X)) \text{ на пределах 10, 100 и 1000 В}; \quad (1.4)$$

$$\delta(I_{\sim})=\pm(0,3+0,3X_k/(X)) \text{ на пределах 100 мкА, 1 мА и 10 мА}; \quad (1.5)$$

$$\pm(0,4+0,4X_k/(X)) \text{ на пределах 100 и 1000 мА}; \quad (1.6)$$

$$\delta(R)=\pm(0,3+0,1X_k/(X)). \quad (1.7)$$

Значения номинального предела (X_k) в зависимости от показаний прибора (X) определяются по табл. 1.1.

Таблица 1.1

Показание табло (U, I, R)		Значение U_k, I_k, R_k	
U, I	R	U_k, I_k	R_k
0.000...195 мВ, мкА	0.000...1.950 кОм	100 мВ, мкА	1 кОм
0.120...1.950 В, мА	1.20...19.50 кОм	1 В, мА	10 кОм
1.20...19.50 В, мА	12.0...195.0 кОм	10 В, мА	100 кОм
12.0...195.0 В, мА	120...1.950 МОм	100 В, мА	1 МОм
120...1000 В, мА	1.20...12.00 МОм	1000 В, мА	10 МОм

Входное сопротивление вольтметра постоянного тока – $10\pm 0,5$ МОм, входное сопротивление вольтметра переменного тока – $9,4\pm 0,5$ МОм, входная емкость – не более 130 пФ.

1.4.2. Структурная схема прибора, принцип действия и назначение органов регулировки

Прибор состоит из измерительного блока и блока питания. Кроме того, в состав вольтметра входят четыре внешних преобразователя: два преобразователя высокочастотного напряжения, шунт на 10 А и делитель напряжения 1:1000.

Измерительный блок содержит входное устройство, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), устройство индикации, устройство автоматического выбора предела измерения и импульсный стабилизатор питания.

Принцип действия прибора основан на времяимпульсном преобразовании с двухтактным интегрированием при времени интегрирования 40 мс, т.е. измеряемая величина (постоянная) преобразуется в интервал времени, заполняемый счетными импульсами. При этом все величины (напряжение постоянного и переменного тока, сила постоянного и переменного тока, сопротивление) преобразуются в нормализованное напряжение постоянного тока, приведенное к шкале ± 1 В.

В частности, преобразователь напряжения постоянного тока реализован на основе входного делителя и усилителя в цепи обратной связи. Преобразователь переменного напряжения в постоянное – детектор средних выпрямленных значений с фильтром нижних частот на выходе (полоса частот 20 Гц...20 кГц) либо детектор пиковых значений (полоса частот 20 кГц...100 МГц), подключаемый к специальному высокочастотному разъему прибора, следовательно, вольтметр реагирует на среднее выпрямленное значение измеряемого напряжения или на максимальное. Шкала прибора при этом отградуирована в действующих значениях сигнала синусоидальной формы, таким образом, при подаче на вход прибора синусоидального сигнала на его дисплее отобразится действующее значение напряжения.

Преобразование силы постоянного и переменного тока в напряжение осуществляется с помощью универсального шунта. Преобразователь сопротивления в напряжение состоит из набора токозадающих резисторов, коммутирующих устройств и усилителя.

Измерение напряжений свыше 300 В и токов более 1,2 А производится с помощью входящих в комплект приборов и подключаемых к его входным гнездам ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ 1:1000 и ШУНТА 10 А. Внешний вид прибора показан на рис. 1.16.



Рис. 1.16. Внешний вид прибора B7-35

На передней панели измерительного блока расположены цифровые индикаторы 1, отображающие знак отрицательной полярности и показания от 000 до 1950, шесть светодиодов размерности измеряемой величины два переключателя рода работ.

Переключатель рода работы 2 имеет три положения:

« - » измерение сигналов постоянного тока;

«~» измерение сигналов переменного тока в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц;

«ВЧ» измерение напряжения переменного тока в интервале частот от 20 до 100 МГц;

Переключатель рода работы 3 также имеет три положения:

«mV-V» измерение напряжений;

«µA-mA» измерение токов;

«kΩ-MΩ» измерение сопротивлений.

На правой боковой стенке находятся входные измерительные гнезда низкопотенциальное «*» и высокопотенциальное ВХОД, а также разъем ВЧ.

1.4.3. Техника измерений параметров сигналов

В приборе осуществляется автоматический выбор пределов при всех видах измерений за исключением измерений с выносными преобразователями. Оператору необходимо лишь установить переключатель рода работ в нужное положение и подсоединить к прибору источник измеряемого сигнала, после чего на табло автоматически отобразятся полярность, значение и размерность измеряемой величины. Причем цифра «0» в старшем разряде табло не индицируется, а при работе в цепях постоянного тока появляется только знак отрицательной полярности, определяемый относительно гнезда «*».

Погрешность измерения рассчитывается по одной из формул (1.1)...(1.7).

Так, в качестве примера, ниже проводится расчет погрешности результата измерения напряжения постоянного тока.

При показании табло 1,253V $X_k=1$ В (см. табл. 1.1) относительная погрешность измерения, определенная по формуле (1.1), не превысит

$$\delta = \pm(0,1 + 0,1 X_k / X)\% = \pm(0,1 + 0,1/1,253)\% \approx \pm 0,18\%.$$

Примечание.

В процессе использования прибора следует учитывать ряд особенностей.

Во-первых, при подаче на вход прибора сигнала несинусоидальной формы показание вольтметра (X) не будет соответствовать среднему квадратическому значению сигнала ($X_{\text{ср.кв.}}$), для нахождения которого следует воспользоваться формулой:

$$X_{\text{ср.кв.}} = X \cdot K_{\phi} / K_{\phi\sim} \quad (1.8)$$

Здесь K_{ϕ} и $K_{\phi\sim}$ - коэффициенты формы несинусоидального сигнала и сигнала синусоидальной формы, соответственно

(коэффициент формы определяется как отношение среднего квадратического значения к среднему выпрямленному $X_{\text{ср.в.}}$).

Так, при подаче на вход прибора последовательности прямоугольных импульсов с амплитудой X_m , длительностью τ_n и периодом следования T на индикаторе отобразится значение X , равное

$$X = X_{\text{ср.кв}} \cdot K_{\phi-} / K_{\phi} = X_{\text{ср.в.}} \cdot K_{\phi-} = X_m (\tau_n / T) K_{\phi-}$$

В то время, как

$$X_{\text{ср.кв}} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt \right)^{0.5} = X_m (\tau_n / T)^{0.5},$$

т.е. среднее квадратическое значение сигнала отличается от показания прибора.

Во-вторых, определённое воздействие как на точность измерения, так и на чувствительность прибора оказывают помехи общего и нормального вида. Первая возникает при работе с источником, у которого выходные гнезда имеют потенциал отличный от нуля («плавающий» источник), и ослабляется путем дополнительного экранирования прибора. Помеха нормального вида (как правило, сетевая помеха) подавляется при интегрировании сигнала, когда время интегрирования ($T_{\text{И}}$) кратно или во много раз больше периода помехи ($T_{\text{П}}$).

Степень подавления помехи общего вида (N) можно оценить, рассмотрев упрощенную схему измерения напряжения «плавающего источника» приведенную на рис. 1.17.

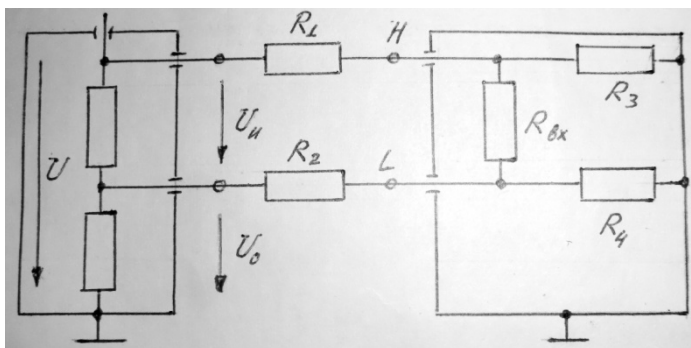


Рис. 1.17. Схема измерения напряжения «плавающего источника»

Здесь R_1 и R_2 – сопротивления высокопотенциального («H») и низкопотенциального («L») вводов прибора; R_3 и R_4 – сопротивления изоляции вводов относительно корпуса; $R_{вх}$ – входное сопротивление прибора.

Можно показать, что на входном сопротивлении прибора помимо измеряемого напряжения (U_i) появляется и часть напряжения U_o – напряжение помехи общего вида (U_n) и в первом приближении:

$$N=20\lg(U_o/U_{п})\approx 20\lg(R_4/R_2), \text{ дБ.}$$

При типичных значениях сопротивлений ($R_1 \approx 0$, $R_2 \approx 1$ кОм, $R_3 = R_4 = R_{вх} \approx n \cdot 10$ МОм) достигается подавление помехи на уровне нескольких десятков дБ. Введение дополнительного экрана с сопротивлением изоляции относительно корпуса много большим, чем R_4 приводит к дальнейшему увеличению значения N .

Следует заметить, что степень подавления уменьшается с ростом частоты измеряемого сигнала из-за шунтирующего действия возникающих паразитных емкостей.

Ослабление помехи нормального вида ($U_{п.н.}$) можно проиллюстрировать следующим образом. Так, если U_o – измеряемое напряжение постоянного тока, а $U_{п}(t) = U_m \cdot \sin 2\pi ft$ – напряжение сетевой помехи, то входной сигнал $U_{вх}(t) = U_o + U_n(t)$ после прохождения интегратора во входном устройстве прибора становится равным $U_o + U_m \cdot (1 - \cos 2\pi T_i f) / 2\pi f T_i$, где второе слагаемое является напряжением помехи нормального вида $U_{п.н.}$. Так как $N = 20\lg(U_o/U_{п.н.})$, то при $T_i \cdot f = n$ (n – целое число) или $T_i \gg 1/f$ обеспечивается значительное ослабление помехи.

В частности, в приборе В7-35 реализованы уровни подавления помех обоих типов, превышающие 50 дБ.

В-третьих, при измерении силы переменного тока следует подключать прибор со стороны низкопотенциального (заземленного) входного зажима электрической цепи, чтобы ослабить шунтирующее действие возникающих паразитных емкостей входных гнезд амперметра относительно земли. Токи утечки через паразитные емкости увеличиваются с ростом частоты измеряемого тока и потенциалов гнезд прибора, что приводит к появлению методической погрешности измерения.

1.5. Мультиметр цифровой АМ-1118

Внешний вид мультиметра цифрового АМ-1118 приведен на рис. 1.18.

Основные технические характеристики:

Мультиметр цифровой АМ-1118 позволяет проводить измерения:
постоянного напряжения в диапазоне 0,1 мВ...1000 В,
переменного напряжения в диапазоне 1 мВ...700 В,
переменного и постоянного тока в диапазоне 0,1 мА...10 А,
сопротивления в диапазоне 0,1 Ом...60 МОм,
емкости в диапазоне 10 пФ...300 мкФ,
температуры в диапазоне 55 С...1000 С,
частоты в диапазоне 1 Гц...1 МГц.
Базовая погрешность прибора 5 %.

Имеются следующие функциональные возможности прибора:

USB – интерфейс с гальванической развязкой,
автоматический выбор диапазона измерений,
удержание показаний,
относительные измерения,
тестирование диодов,
прозвонка цепи,
автоотключение.



Рис. 1.18. Внешний вид цифрового мультиметра АМ-1118

При работе с цифровым мультиметром AM-1118 необходимо помнить:

- индикатором результатов измерений является жидкокристаллический индикатор (ЖКИ);
- кнопка **SELECT** позволяет выбирать режимы при измерении силы тока, сопротивления, «прозвонке» цепей и проверке диодов;
- кнопка **RANGE** используется при различных видах измерений для переключения в режим автоматического или ручного выбора диапазонов измерений.
- Если кнопку **RANGE** нажать и удерживать не менее двух секунд, то измерительный прибор перейдет в режим автоматического выбора диапазона. При кратковременном нажатии произойдет переключение в режим ручного выбора диапазона.
- кнопка **REL** включает режим относительных измерений. При нажатии этой кнопки прибор запоминает значение, измеренное перед нажатием кнопки (начальное значение), отображаемое на дисплее. При повторном нажатии на эту кнопку прибор выйдет из режима относительных измерений;
- поворотный переключатель выбора измерительных функций;
- входное гнездо **10 A** для измерения тока в диапазоне 0,5...10 А соединяется с красным щупом измерительного прибора;
- входное гнездо **uAmA** для измерения тока в диапазонах мкА и mA до 600 mA соединяется с красным щупом измерительного прибора;
- входное гнездо **COM**, общий вход для всех функций измерений, соединяется с черным щупом измерительного прибора или с черным штекером термопары;
- входное гнездо **F** для всех функций измерений, за исключением измерения силы тока, соединяется с красным щупом измерительного прибора при измерении напряжения, емкости, сопротивления, частоты, проверки диода и целостности электрической цепи или с красным штекером термопары при измерении температуры;
- кнопка **Hz/DUTY** служит для переключения между режимами измерения частоты и коэффициента заполнения (скважности);
- кнопка **HOLD/ LIGHT** при кратковременном нажатии включает режим удержания показаний измеренных значений, повторное

нажатие на эту кнопку возобновляет измерения. При удержании кнопки в течение двух секунд включится подсветка ЖК-дисплея. Повторное удержание кнопки в течение двух секунд выключит подсветку;

- кнопка **MAX/MIN** используется для включения режима записи максимального или минимального значения и одновременного отображения этих значений (за исключением измерений частоты/скважности и емкости). При кратковременном нажатии на эту кнопку на дисплее можно переключаться между режимами отображения максимального и минимального значения. При удержании этой кнопки в течение более двух секунд происходит возврат в режим текущих измерений.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ВВОДНОЕ ЗАНЯТИЕ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ»

Цель работы – ознакомление с представленными в лаборатории средствами измерений, получение практических навыков их использования при измерениях параметров сигналов различной формы и оценка погрешностей результатов измерений.

2.1. Описание экспериментальной установки

В работе используются электрические цепи, собираемые из элементов, размещённых на лабораторной панели №1, путем их соединения с помощью коммутирующих проводов.

Схемы цепей изображены на рис. 2.1, 2.2, 2.3.

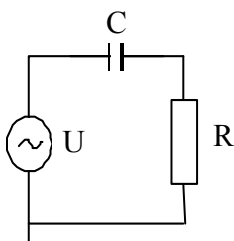


Рис. 2.1

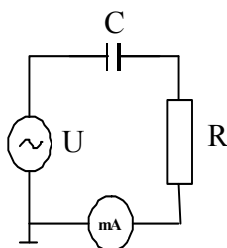


Рис. 2.2

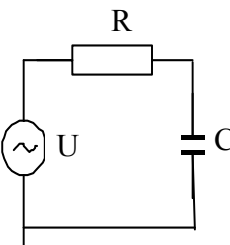


Рис. 2.3

Источником сигналов служит генератор многофункциональный АНР-1002.

Измерение параметров сигналов и фазовых сдвигов осуществляется вольтметром универсальным цифровым В7-35 и двухканальным цифровым запоминающим осциллографом TDS2002В.

2.2. Задание на эксперимент

1. Исследование параметров сигналов в цепях однофазного синусоидального тока.

1.1 . Собрать электрическую цепь, схема которой представлена на рис.2.1, используя в качестве элементов цепи резистор R2 (910 Ом) и конденсатор C1 (0,01 мкФ) панели №1.

1.2 . Подать на вход цепи с генератора АНР-1002 сигнал синусоидальной формы с действующим значением напряжения 3 В и частотой 10 кГц. (уровень сигнала контролируется по вольтметру В7-35).

1.3 . С помощью прибора В7-35 измерить входное напряжение $U_{вх}$, падение напряжения на конденсаторе U_C и на резисторе U_R , сопротивление резистора R и тока в цепи I (I').

Результаты измерений внести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Величины, параметры	$U_{вх}$, В	U_C , В	U_R , В	I , мА	R , Ом	I' , мА	f , кГц
Расчет							
Эксперимент							-
Погрешность							-

Здесь I – результат измерения тока прямым методом с использованием прибора В7-35, работающего в режиме измерения силы тока (собирается цепь, схема которой изображена на рис.2.2); I' –

результат измерения тока косвенным методом (производится расчет тока по данным прямым измерений U_R и R).

В строке «Погрешность» здесь и далее приводятся значения предельно допускаемых основных относительных погрешностей в предположении их нормального распределения.

1.4. Проверить работоспособность осциллографа TDS2002B и провести осциллографические измерения размахов U_p (P_K-P_K), средних квадратических значений U (RMS), периода T и фазовых сдвигов φ_1 и φ_2 напряжений $U_{вх}(t)$, $U_C(t)$ и $U_R(t)$ методом калиброванной шкалы и при работе прибора в режимах Autoset, Autorange, курсорных измерений и наблюдения фигур Лиссажу [φ_1 и φ_2 – значение фазовых сдвигов $U_R(t)$ и $U_C(t)$ относительно «опорного» напряжения $U_{вх}(t)$, т.е. $\varphi_1 = \psi_{вх} - \psi_R$, $\varphi_2 = \psi_{вх} - \psi_C$; $\psi_{вх}$, ψ_R , ψ_C – начальные фазы напряжений $U_{вх}$, U_R и U_C соответственно].

Примечания: Поскольку осциллографические измерения проводятся относительно «земли», то для определения U_C и φ_2 необходимо собрать цепь по схеме, представленной на рис. 2.3.

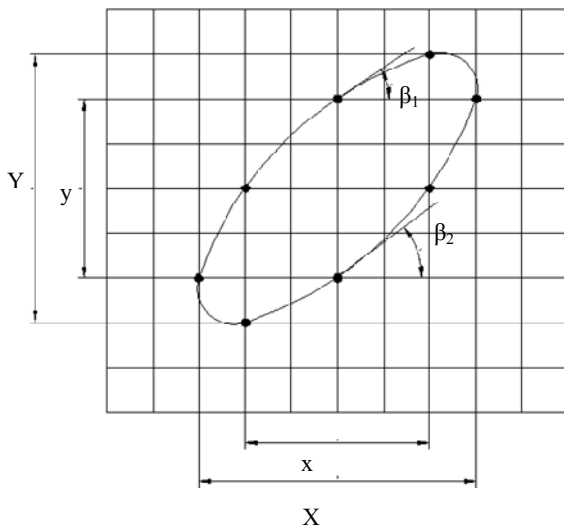


Рис 2.4. Фазовый сдвиг по фигуре Лиссажу

Нахождение фазового сдвига по фигуре Лиссажу (рис. 2.4) производится по формуле:

$$\varphi = \arcsin(y/Y) \text{ или } \varphi = \arcsin(x/X).$$

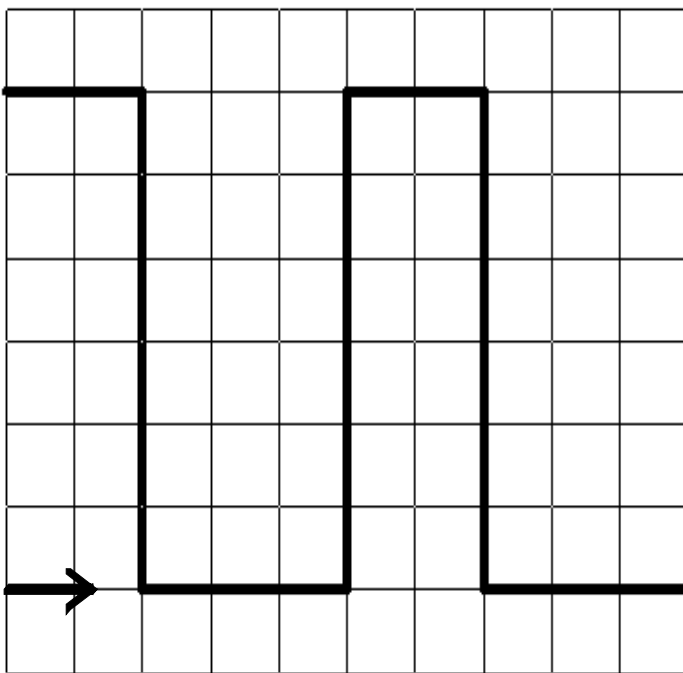
Полученные результаты и их погрешности внести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Величины, параметры	$U_{BX}(t)$		$U_c(t)$		$U_R(t)$		T , мкс	φ_1 , град	φ_2 , град
	U_p , В	U , В	U_p , В	U , В	U_p , В	U , В			
Калибр. шкала		-		-		-			
Погрешность, %		-		-		-			
Autoset								-	-
Погрешность, %								-	-
Autorange								-	-
Погрешность, %								-	-
Cursor		-		-		-			
Погрешность, %		-		-		-			
Фиг. Лиссажу	-	-	-	-	-	-	-		
Погрешность, %	-	-	-	-	-	-	-		
Расчет									

2. Исследование несинусоидальных периодических процессов

2.1. Подать на вход цепи, схема которой изображена на рис. 2.3, последовательность однополярных положительных импульсов прямоугольной формы с размахом 3 В, частотой 10 кГц и длительностью 40 мкс (рис. 2.5), используя генератор АНР-1002 в качестве источника сигнала, а осциллограф TDS2002В в качестве устройства контроля и измерения. Формирование сигнала осуществляется путем изменения его амплитуды, частоты, постоянной составляющей и скважности, реализуемого с помощью ручек AMPLITUDE, FREQUENCY, OFFSET и SYMMETRY соответственно.



*Рис. 2.5. Осциллограмма сигнала при $K_0=0,5$ В/дел. и $D_p=20$ мкс/дел.
(→ - маркер опорного уровня)*

2.2. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение сигнала $U_c(t)$, подав на вход первого канала (СН1) соответствующее напряжение, и с помощью элементов управления отображением по вертикали и горизонтали добиться появления осциллограммы с удобными для работы максимально возможными размерами.

2.3. Провести осциллографические измерения времени фронта $\tau_{\text{ф}}$, времени спада $\tau_{\text{сп}}$, длительности $\tau_{\text{п}}$, периода T , размаха U_p , постоянной составляющей U_0 , среднего квадратического значения U и частоты f сигнала при работе прибора в режимах курсорных и автоматических измерений. Полученные результаты и их погрешности внести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Величины, параметры	$\tau_{\text{ф}}$, мкс	$\tau_{\text{сп}}$, мкс	$\tau_{\text{п}}$, мкс	T , мкс	U_p , В	U_0 , В	U , В	f , кГц
Курсор. измер.								
Погрешность, %								
Автом. измер.								
Погрешность, %								

2.4. Подать на вход осциллографа с генератора последовательность однополярных положительных импульсов пилообразной формы с размахом 2 В, частотой 10 кГц и нулевым временем спада (рис. 2.6), полученных с помощью регулировок AMPLITUDE, FREQUENCY, OFFSET и SYMMETRY генератора, и добиться устойчивого изображения сигнала с удобными для работы размерами.

2.5. Провести осциллографические измерения амплитуды U_p , среднего значения U_0 , среднего квадратического значения U ,

периода T и частоты f сигнала, реализовав оптимальный режим работы прибора. Определить постоянную составляющую U_0 сигнала, анализируя положение осциллограммы в зависимости от типа входа осциллографа (DC и AC), при переходе от режима открытого входа к режиму закрытого входа наблюдается смещение изображения виз на N делений и значение U_0 можно рассчитать по формуле $U_0 = NK_0$, где K_0 – коэффициент вертикального отклонения.

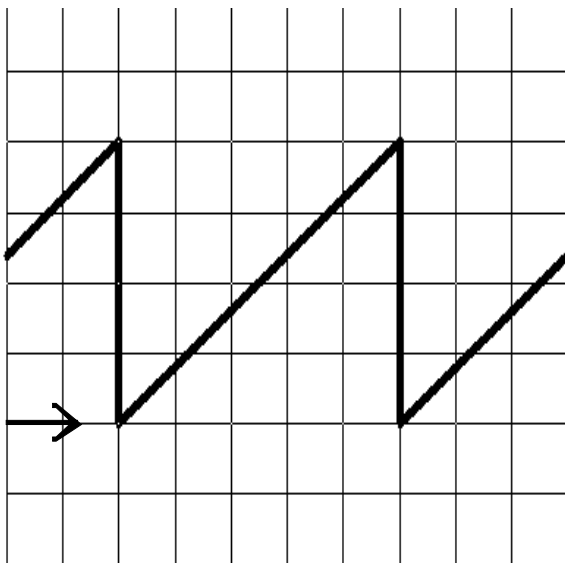



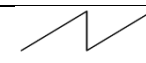
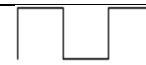
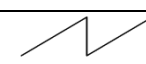

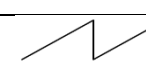
Рис.2.6. Осциллограмма сигнала при $K_0=0,5$ В/дел. и $D_p=20$ мкс/дел.
(\rightarrow - маркер опорного уровня)

2.6. Подключить к выходу генератора прибор В7-35 и снять его показания в режиме измерения напряжения постоянного ($\alpha_{_}$) и переменного (α_{\cdot}) тока.

2.7. Выполнить аналогичные измерения (пп. 2.5 и 2.6) для сигнала, изображенного на рис. 2.5.

2.8. Результаты измерений, полученные в пп. 2.5, 2.6 и 2.7, внести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Величины, параметры		$U_{мз}$, В	U , В	U_0 , В	U_0' , В	T , мкс	f , кГц	α_{-} , В	α_{+} , В
TDS2002B								-	-
									
B7-35		-	-	-	-	-	-		
									
Расчет									
									

2.3. Домашнее задание

1. Ознакомиться с представленными в лаборатории средствами измерений и принципами их действия, основными техническими характеристиками приборов и методикой выполнения измерений параметров электрических величин при работе приборов в различных режимах.

2. Ознакомиться с заданием на эксперимент и приготовить все необходимые таблицы.

3. Для цепи, схема которой изображена на рис. 2.1, рассчитать среднее квадратическое значение напряжения на емкостном и резистивном элементах (U_C и U_R), а также тока в цепи. Выписать формулы для расчета погрешностей измерения напряжения, тока и сопротивления прибором В7-35. Внести результаты расчетов в табл. 2.1.

4. Уяснить особенности работы осциллографа TDS2002B при измерении напряжений, временных интервалов и фазовых сдвигов методом калиброванной шкалы и наблюдения фигур Лиссажу, а также в режимах автоматических и курсорных измерений, Autoset и

Autorange. Оценить целесообразность применения этих методов и режимов. Записать расчетные соотношения, используемые при нахождении результатов измерений, выполненных с помощью курсоров и методом калиброванной шкалы. Привести формулы для оценки погрешностей измерений, воспользовавшись информацией, изложенной в разделах «Теоретическая часть» и «Указания к оформлению отчета» данного пособия.

5. По пунктам 2.4 раздела «Задание на эксперимент» рассчитать значения размахов (U_p) напряжений $U_{вх}(t)$, $U_C(t)$ и $U_R(t)$, фазовых сдвигов φ_1 и φ_2 и периода T . Внести результаты расчетов в табл. 2.2.

6. Представить зависимости $U_{вх}(t)$, $U_R(t)$ и $U_C(t)$ и изобразить их графически в координатах « $U-t$ » с соблюдением масштаба и в предположении нулевого значения начальной фазы входного напряжения.

7. Рассчитать амплитудное (U_m), среднее квадратическое (U) и среднее (U_0) значение напряжения, а также показания прибора В7-35 (α - и $\alpha\sim$) для сигналов, изображенных на рис. 2.5 и 2.6. Результаты расчетов внести в табл. 2.4.

8. Выполнить виртуальные исследования в соответствии с разделом 2.1.2 и привести их результаты.

2.4. Указания к оформлению отчета

1. Сформулировать цель работы.
2. Привести схемы исследуемых электрических цепей.
3. Оформить в виде таблиц результаты экспериментальных исследований и провести их обработку.
4. Привести результаты теоретических исследований, проведенных в соответствии с пунктами домашнего задания.
5. Выписать формулы, используемые для определения результатов измерений, выполненных методом калибровочной шкалы и с помощью курсоров.
6. Привести основные метрологические характеристики используемых в работе средств измерений и выписать соотношения для оценки погрешностей измерения параметров электрических величин.
7. Проанализировать результаты осциллографических исследований и сделать вывод о целесообразности применения того или иного метода измерения в зависимости от экспериментального задания.

8. Основываясь на результатах расчета (п. 7 домашнего задания) и эксперимента (пп. 2.6 и 2.7 задания на эксперимент) сделать вывод относительно возможности применения прибора В7-35 при исследовании периодических несинусоидальных процессов.

Примечания:

1. При численном представлении результатов измерений и их погрешностей необходимо руководствоваться следующими правилами:

– число, представляющее погрешность, не должно содержать более двух значащих цифр, в частности, если оно начинается с цифр 1,2 или 3, то можно использовать до двух значащих цифр, во всех остальных случаях данное число записывается с одной значащей цифрой;

– младшие разряды чисел, представляющих результат измерения и погрешность, должны совпадать.

2. Оценка погрешностей измерения напряжений $\delta(U)$, временных интервалов $\delta(\Delta t)$ и фазовых сдвигов $\delta(\varphi)$, выполненного методом калиброванной шкалы, производится по следующим формулам:

$$\delta(U) = \sqrt{\delta(K_0)^2 + \frac{\epsilon^2}{4N_B^2} \left\{ \left(\frac{1}{\cos\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\cos\beta_2} \right)^2 \right\}},$$

$$\delta(\Delta t) = \sqrt{\delta(D_p)^2 + \frac{\epsilon^2}{4N_\Gamma^2} \left\{ \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\sin\beta_2} \right)^2 \right\}},$$

$$\delta(\varphi) = \frac{\epsilon}{2} \sqrt{\frac{2}{N^2} \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{N_\Gamma} \right)^2 \left\{ \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\sin\beta_2} \right)^2 \right\}},$$

при использовании формулы $\varphi = 180^\circ N_\Gamma' / N_\Gamma$, $\varphi = \Delta N \cdot 180^\circ / N$ или

$$\delta(\varphi) = \sqrt{\delta^2(f) + \delta^2(D_p) + \left(\frac{\epsilon}{2N_\Gamma} \right)^2 \left\{ \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\sin\beta_2} \right)^2 \right\}},$$

если расчет проводится по формуле $\varphi = 360^\circ f D_p N_p' = 360^\circ f D_p \Delta N$.

Здесь $\delta(K_0)$ и $\delta(D_p)$ относительные погрешности коэффициента отклонения K_0 и длительности развертки D_p ; ϵ – толщина луча; N_B и N_Γ – количество делений по вертикали и горизонтали в пределах измеряемого параметра; β_1 и β_2 – углы наклона касательных к горизонтальной оси, проведенных из точек отсчета; N_Γ' – количество

делений между нулевыми значениями сигналов на восходящих участках синусоид; N_{Γ} – число делений, которое занимает изображение половины периода сигнала (рис. 2.7 и 2.8).

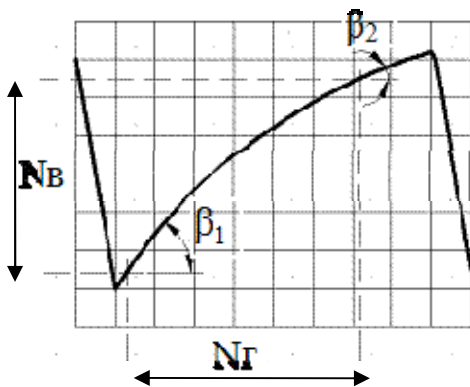


Рис. 2.7

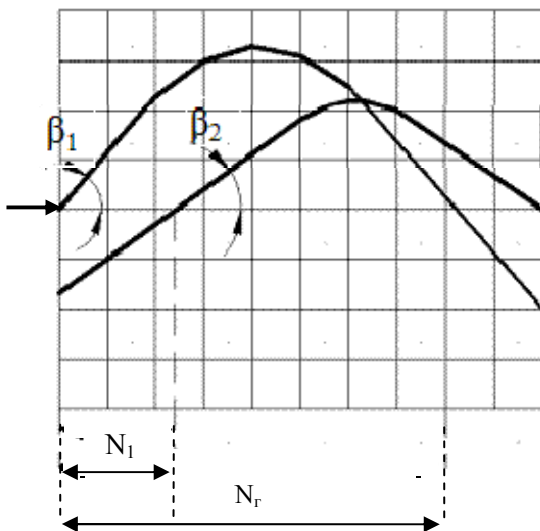


Рис. 2.8

3. Расчет погрешности измерения силы тока косвенным методом производится по формуле $\delta(I) = \sqrt{\delta^2(U_R) + \delta^2(R)}$, где $\delta(U_R)$ и $\delta(R)$ – погрешности измерения U_R и R соответственно.

2.5. Контрольные вопросы

1. Принцип действия цифрового запоминающего осциллографа.
2. В каком случае в области сообщений на экране осциллографа TDS2002B появляется символ «?» и что при этом необходимо предпринять?
3. Почему в процессе измерений желательно получать на экране осциллографа отображение анализируемых фрагментов сигнала с максимально возможными размерами?
4. На входы CH1 и CH2 осциллографа TDS2002B поданы сигналы $U_1 = U_m \sin \omega t$ и $U_2 = U_m \sin(\omega t - \pi/4)$ соответственно. Изобразить осциллограмму, если $U_m = 4$ В, $f = 10$ кГц, $K_0 = 1$ В/дел и $D_p = 10$ мкс/дел, а маркеры опорных уровней и синхронизации находятся в средних положениях на экране.
5. В каких случаях целесообразно использовать режим автоматических измерений, режим Autoset и режим Autorange?
6. Как оценить фазовый сдвиг между сигналами при использовании осциллографа, работающего в одноканальном режиме с внешней синхронизацией?
7. Какое преобразование непрерывной величины в дискретную реализовано в приборе В7-35?
8. На какое значение входного сигнала «реагирует» прибор В7-35 при измерении напряжения переменного тока? В чем отградуирована шкала вольтметра переменного тока?
9. С каким сигналом «оперирует» прибор В7-35 при работе в режимах вольтметра, амперметра и омметра?
10. На вход прибора В7-35 подана последовательность прямоугольных импульсов типа «меандр» с размахом U_p , постоянной составляющей U_0 ($U_0 < U_p$) и частотой менее 20 кГц. Определить показания вольтметра в режимах измерения напряжения постоянно (α_0) и переменного (α_{\sim}) тока.
11. Каково назначение генератора АНР-1002?

12. Каким образом с выхода генератора АНР-1002 можно получить однополярные сигналы?
13. Какие электрические величины можно измерять осциллографом?
14. Что такое электронный осциллограф?
15. В чем достоинство осциллографических измерений напряжения в сравнении с измерением напряжения с помощью вольтметра?
16. Каковы недостатки осциллографических исследований фазовых сдвигов в сравнении с аналогичными исследованиями, выполненными с использованием, например, цифрового фазометра?
17. Какой эксплуатационный недостаток генератора АНР-1002 приводит к усложнению процедуры измерения, при выполнении которого требуется изменение частоты или уровня выходного сигнала?
18. Каким недостатком обладает осциллограф TDS2002B, ограничивающим «измерительные» возможности прибора?
19. На какие значения функциональных зависимостей «реагирует» осциллограф?
20. Что такое коэффициент отклонения K_0 осциллографа? При измерении каких величин используется K_0 ?
21. Что такое длительность развертки D_p осциллографа и при каких измерениях используется этот параметр?
22. Какой канал осциллографа TDS2002B «выполняет функцию» канала горизонтального отклонения?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркуша О.В., Школьников Э.Я. Линейные электрические цепи переменного тока. М.: МИФИ, 2008.
2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. М.: Дрофа, 2005
3. Пронкин Н.С. Основы метрологии. Практикум по метрологии и измерениям. М.: Логос; Университетская книга 2007.
4. Марченко А.Л. Учебное пособие по «MULTISIM». М.: Дрофа, 2008.

Приложение 1

Вывод соотношений, используемых при оценке погрешностей измерения электрических величин

Отличительной особенностью измерения является то, что результат, будучи полученным, уже не может быть уточнен, поэтому процедуру измерения необходимо предварительно планировать, т.е. разрабатывать программу и проводить измерения по строго регламентированным правилам для обеспечения гарантированного качества измерительной информации (ИИ) – информации о значениях измеряемых физических величин (ИВ). Основными показателями качества ИИ, определяющими степень пригодности её к применению, являются точность и достоверность.

Точность – качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению ИВ. Высокая точность соответствует малой погрешности и количественно может выражаться обратной величиной модуля относительной погрешности $|\delta|$ (отношение абсолютной погрешности Δ к истинному значению ИВ).

Достоверность – качество измерений, отражающее степень соответствия результата истинному значению ИВ.

Следует отметить, что измерения, проводимые в соответствии с разделом «Задание на эксперимент» в данном пособии, являются либо прямыми, либо косвенными. В первом случае результат измерения находится из опытных данных по шкале прибора непосредственной оценки (измерение напряжения, тока или сопротивления прибором В7-35) и оценка погрешности результата производится с использованием метрологических характеристик применяемых средств измерений (см. раздел 1.2.3, 1.3.1, 1.4.1). В качестве примера в разделе 1.4.3 проводится оценка погрешности результата измерения напряжения.

При косвенных измерениях результат Y находится по известной функциональной зависимости $Y=Y(X_i)$, связывающей ИВ с величинами X_i , подвергаемыми прямым измерениям (определение тока в ветви с использованием результатов прямых измерений

сопротивления резистора и падения напряжения на нем – п. 1.3 раздела «Задание на эксперимент»).

Абсолютная систематическая погрешность результата косвенных измерений $\Delta_c(Y)$ рассчитывается по формуле:

$$\Delta_c(Y) = \sum_i \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \right) \Delta_c(X_i), \quad (\text{П1.1})$$

где $\Delta_c(X_1)$ – абсолютная систематическая погрешность результата прямого измерения величины X_1 .

Данный тип погрешности можно исключить, используя такие приемы, как:

- устранение причин появления (установка «0», предварительная калибровка, термостатирование, стабилизация питания и т.п.);
- введение поправки (исключается известная по знаку и значению погрешность);
- замещение ИВ эталонной;
- компенсация по знаку (исключается неизвестная по значению погрешность с направленным действием – погрешность от воздействия статических электрических и магнитных полей, например);
- рандомизация – перевод систематических погрешностей в разряд случайных.

Случайные погрешности можно оценить лишь на основе обработки ряда многократных наблюдений, пользуясь методами математической статистики и теории вероятностей.

Предельно допускаемая абсолютная случайная погрешность результата косвенных измерений $\Delta(Y)$ (погрешность с доверительной вероятностью 0,95) рассчитывается по формуле:

$$\Delta(Y) = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \right)^2 \Delta^2(X_i)}, \quad (\text{П1.2})$$

где $\Delta(X_1)$ – предельно допускаемая абсолютная случайная погрешность результата прямого измерения величины X_1 .

Необходимо отметить, что соотношение П1.2 справедливо лишь для погрешностей, имеющих нормальное распределение.

Ниже выводятся формулы, используемые для оценки погрешностей осциллографических измерений напряжения, временного интервала и фазового сдвига, выполняемых методом калиброванной шкалы, причем учитываются лишь те составляющие общей погрешности, которые вносят соизмеримый вклад в её формирование.

Процедура измерения напряжения сводится к определению количества основных и промежуточных вертикальных делений N_B в пределах измеряемого параметра и умножению его на коэффициент вертикального отклонения K_0 осциллографа, т.е. $U=N_B \cdot K_0$ (см. рис. 2.7 и примечание к разделу 2.1.4).

С учетом (П.1.2) получаем:

$$\Delta(U) = \sqrt{K_0^2 \Delta^2(N_B) + N_B^2 \Delta^2(K_0)},$$

где N_B находится как разность двух отчетов n_{B2} и n_{B1} .

В случае превалирования погрешности, связанной с неточностью отсчета в пределах толщины луча v , $\Delta(n_B)$ принимает значение, равное $\pm 1/2v'$ (v' – толщина луча в точках отсчета; $v' = v/\cos\beta_1$ и $v' = v/\cos\beta_2$ для n_{B1} и n_{B2} , соответственно). $N_B = n_{B2} - n_{B1}$, то с учетом (П.1.2) будем иметь:

$$\Delta(N_B) = \frac{v}{2} \sqrt{\left\{ \left(\frac{1}{\cos\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\cos\beta_2} \right)^2 \right\}}.$$

Окончательно для абсолютной погрешности измерения напряжения получаем:

$$\Delta(U) = \sqrt{N_B^2 \Delta^2(K_0) + K_0^2 \frac{v^2}{4} \left\{ \left(\frac{1}{\cos\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\cos\beta_2} \right)^2 \right\}}. \quad (\text{П.1.3})$$

Соотношение для оценки относительной погрешности измерения принимает следующий вид:

$$\delta(Y) = \frac{\Delta(Y)}{Y} = \sqrt{\delta^2(K_0) + \frac{v^2}{4N_B^2} \left\{ \left(\frac{1}{\chi_{0\sigma\beta_1}} \right)^2 + \left(\frac{1}{\chi_{0\sigma\beta_2}} \right)^2 \right\}}. \quad (\text{П.1.4})$$

Аналогично выводятся формулы для оценки погрешности измерения временного интервала, т.е. Δt , получаемого путем умножения количества горизонтальных делений N_T в пределах

измеряемого параметра на длительность развертки D_p . В частности, относительна погрешность определяется, как

$$\delta(\Delta t) = \sqrt{\delta^2(D_p) + \frac{B^2}{4N_T^2} \left\{ \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\sin\beta_2} \right)^2 \right\}}. \quad (\text{П1.5})$$

При нахождении фазового сдвига необходимо воспользоваться формулой $\varphi = 180^\circ N_T' / N_T$ (рис. 2.7) или $\varphi = 360^\circ f D_p N_T'$ (рис. 12).

Для первого варианта с учетом (П1.2) получаем:

$$\delta(\varphi) = \frac{\Delta(\varphi)}{\varphi} = \sqrt{\delta^2(N_T') + \delta^2(N_T)}.$$

Здесь

$$\delta(N_T') = \frac{B}{2N_T'} \sqrt{\left\{ \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\sin\beta_2} \right)^2 \right\}};$$

$$\delta(N_T) = \frac{B}{\sqrt{2} N_T \sin\beta_1}.$$

Следовательно,

$$\delta(\varphi) = \frac{B}{2} \sqrt{\frac{2}{N_T^2} \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{N_T'} \right)^2 \left\{ \left(\frac{1}{\sin\beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\sin\beta_2} \right)^2 \right\}}, \quad (\text{П1.6})$$

для второго варианта

$$\delta(\varphi) = \sqrt{\delta^2(f) + \delta^2(D_p) + \delta^2(N_T')}. \quad (\text{П1.7})$$

При измерении фазового сдвига по фигуре Лиссажу расчет производится по формуле $\varphi = \arcsin(y/Y)$, где $y = y_1 - y_2$ и $Y = Y_1 - Y_2$ (рис. 2.4). С учетом (П1.2) предельное значение абсолютной погрешности измерения фазового сдвига определяется, как:

$$\Delta(\varphi) = \sqrt{\frac{\Delta^2(y)}{Y^2 - y^2} + \frac{y^2 \Delta^2(Y)}{Y^2(Y^2 - y^2)}}.$$

Погрешности отсчета $\Delta(y)$ и $\Delta(Y)$ находятся по формулам, приведенным выше для случая обработки результатов измерения напряжения, т.е.

$$\Delta(y) = \frac{B}{2} \sqrt{\left\{ \left(\frac{1}{\cos \beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\cos \beta_2} \right)^2 \right\}},$$

$$\Delta(y) = \frac{B}{\sqrt{2}} \quad (\beta = 0).$$

Оценка относительной погрешности измерения производится с использованием соотношения

$$\delta(\varphi) = \frac{360^\circ}{2\pi} \frac{\Delta(\varphi)}{\varphi} = \frac{90^\circ B}{\pi \sqrt{Y^2 - y^2}} \sqrt{\left\{ \left(\frac{1}{\cos \beta_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{\cos \beta_2} \right)^2 \right\} + 2 \left(\frac{y}{Y} \right)^2}. \quad (\text{П1.8})$$

Необходимо отметить, что если толщина луча меньше ширины одного промежуточного деления (n) на сетке экрана осциллографа, то в качестве превалирующей следует рассматривать погрешность, связанную с неточностью отсчета в пределах ширины деления, и в полученных выше соотношениях (П1.3, ..., П1.8) вместо параметра « v » использовать параметр « n » (заменить « v » на « n »).

Курсорные измерения напряжения и временного интервала (используется курсоры амплитуды и курсоры времени, соответственно), как и в случае измерений, осуществляемых методом калиброванной шкалы, также отягощены погрешностями, возникающими из-за неточности установки курсоров в пределах толщины луча или ширины промежуточного деления.

Процедура измерения сводится к расположению курсоров в соответствующих точках, но в отличие от метода калиброванной шкалы все последующие операции (отсчет в точках установки курсоров, определение значения N_B или N_r , проведение расчета по формуле $U = N_B \cdot K_0$ или $\Delta t = N_r \cdot D_p$) «выполняет» сам осциллограф.

Следовательно, оценка погрешностей курсорных измерений может производиться по выше полученным формулам (П1.4) и (П1.5).

Аналогично выводится соотношение для оценки погрешности косвенного измерения тока I' , так как $I' = U_R/R$, то с учетом (П1.2) получаем:

$$\delta(I') = \sqrt{\delta^2(U_R) + \delta^2(R)}. \quad (\text{П1.9})$$

При проведении оценочных процедур для определения значений $\delta(K_0)$, $\delta(D_p)$, $\delta(f)$, $\delta(U_R)$ и $\delta(R)$ необходимо воспользоваться информацией о метрологических характеристиках осциллографа [$\delta(K_0)$, $\delta(D_p)$], генератора [$\delta(f)$] и прибора В7-35 [$\delta(U)$, $\delta(R)$].

Методика проведения виртуального эксперимента с использованием программной среды MultiSim 10.1 и виртуальных приборов

Основная цель виртуальных исследований, выполняемых студентами в ходе самостоятельной подготовки к занятиям – проведение физического эксперимента с применением новейших информационных технологий, формирования условий для более качественного и глубокого изучения дисциплин электротехнического цикла.

Ниже описываются основные элементы программной среды интерактивного моделирования и анализа электрических цепей MultiSim 10.1 (MS) и имитируемые программы средств измерений; рассматриваются «принцип действия» измерительных приборов в среде MS, процедура задания параметров пассивных и активных компонентов виртуальных цепей и средств измерения и методика их использования в процессе измерения электрических величин – напряжения, силы тока, сопротивления, фазового сдвига и т.п.; формулируется рабочее задание, выполняемое в рамках лабораторной работы, предоставленной во второй части данного пособия.

П2.1. Описание элементов среды MS

Среда MS – интерактивный эмулятор, с помощью которого осуществляется моделирование электрических цепей.

П2.1.1. Интерфейс пользователя

Интерфейс пользователя состоит из нескольких основных элементов, которые представлены на рис. П2.1.

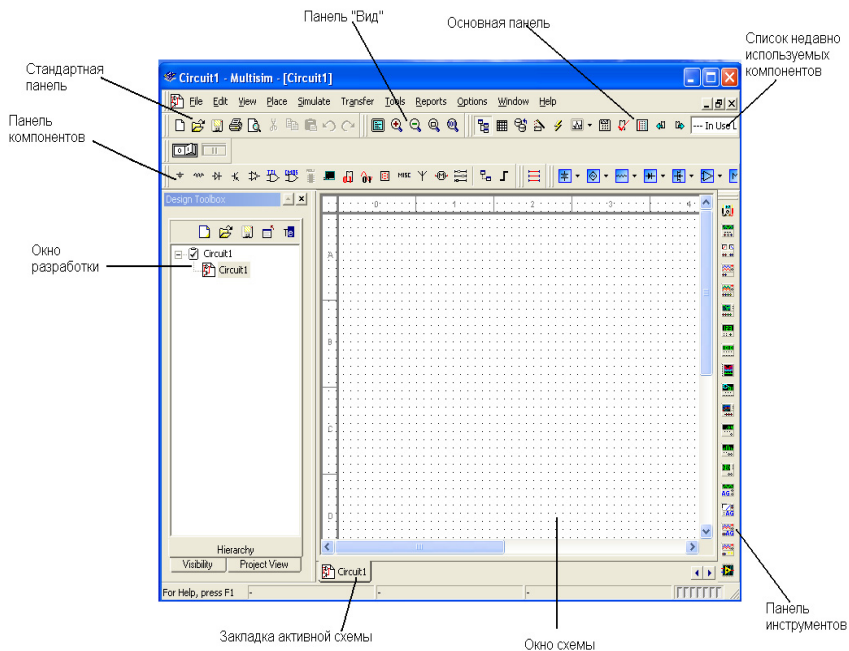


Рис. П2.1. Основные элементы интерфейса пользователя среды MS

П2.1.2. Основные установки

С помощью основных установок производится управление свойствами среды MS, доступ к которым открывается с помощью меню Options (Установки).

При активации подменю GlobalPreferences (Основные Свойства) в меню Options открывается окно Preferences (Свойства) со следующими закладками: Paths (Пути) – указываются пути автоматического сохранения файлов; Save (Сохранить) – производится настройка периода автоматического сохранения; Parts (Компоненты) – осуществляется выбор режима размещения компонентов, стандарта символов (ANSI или DIN), настройки эмуляции по умолчанию; General (Общее) – изменяется поведение прямоугольника выбора, колеса мыши, инструментов соединения и автоматического соединения.

П2.1.3. Обзор компонентов

Компоненты – это все элементы, из которых состоит схема, причем для среды MS характерны два вида компонентов – реальные (real) и виртуальные (virtual).

Первые характеризуются определенными неизменными значениями. Для виртуальных компонентов, используемых лишь при эмуляции и предназначенных для осуществляемой с помощью мер проверки схем, можно задавать произвольные значения.

П2.1.4. Проводник компонентов

Проводник компонентов (ComponentBrowser) – это окно, в котором выбираются размещаемые на схеме компоненты (рис. П2.2). Для вызова проводника компонентов можно:

- «щёлкнуть» правой кнопкой мыши по пустому полю и из контекстного меню выбрать верхнюю строчку Place Component (Разместить Компонент);
- либо «щёлкнуть» по изображению нужного элемента на панели компонентов (см. рис. П2.1);
- или использовать меню Components(Компоненты).

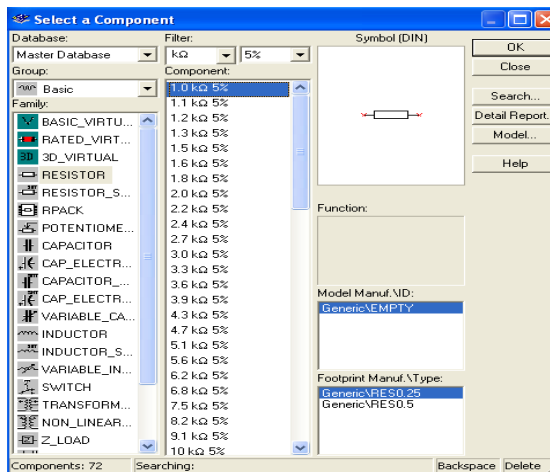


Рис. П2.2. Проводник компонентов

П2.1.5. Сдвиг, поворот, выбор компонентов

Выбранные из базы данных компоненты размещаются на схеме и перемещаются либо удерживаются с помощью левой кнопки мыши.

Для поворота установленного компонента следует выделить его и нажать сочетание клавиш Ctrl-R, либо воспользоваться операцией «повернуть на 90° по или против направления движения часовой стрелки» в контекстном меню.

Процедура выделения компонента, его значения или метки сводится к одноразовому щелчку мышью по соответствующему изображению. Для выбора нескольких компонентов (отображаются на экране пунктирными линиями) следует, удерживая кнопку и перемещая мышь, «нарисовать» прямоугольник выбора вокруг компонентов.

Замена компонентов на новые, отображаемые в окне проводника компонентов, осуществляется с помощью подменю ReplaceComponents (Заменить Компоненты) в контекстном меню. При этом программа MS «восстанавливает» соединения компонентов и при появлении проводника автоматически «присваивает» ему номер в схеме (номера увеличиваются последовательно, начиная с 1, заземляющие провода всегда маркируются цифрой 0).

Следует отметить, что в интерфейсе пользователя предусмотрена возможность добавления нескольких компонентов, реализуемая с помощью клавиши Shift (Сдвиг).

П2.1.6. Соединение компонентов

Необходимо заметить, что в среде MS используется безрежимный принцип работы—курсор «изменяет» свой вид в зависимости от того, на какой объект он наведен, а манипуляции с мышью определяются положением курсора.

В случае расположения курсора над разъемом компонента, последний можно скоммутировать или раскоммутировать, щелкнув левой кнопкой мыши.

П2.2. Виртуальные приборы

Следует отметить, что в среде MS помимо проведения традиционного графического анализа имеется возможность использования виртуальных средств измерений, выполняющих функции, свойственные реальным приборам, это обеспечивает простой способ получения результата при модулировании реальных событий.

Выбор виртуальных приборов осуществляется с панели Instruments (Приборы), а их соединения с компонентами схем выполняются рассмотренным выше способом (см. раздел П2.1.6.)

Ниже кратко описываются имитируемые в среде MS средства измерений.

П2.2.1. Мультиметр

Мультиметр предназначен для измерения напряжения постоянного и переменного тока, силы постоянного и переменного тока, сопротивления постоянному току и затухания сигнала. Диапазон измерений прибора устанавливается автоматически, а его внутреннее сопротивление, которое можно изменять, имеет значение, близкое к оптимальному. Символ мультиметра и его лицевая панель изображены на рис. П2.3 и П2.4 соответственно.

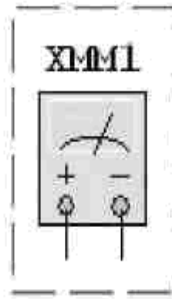


Рис. П2.3. Символ мультиметра в схеме



Рис. П2.4. Лицевая панель мультиметра

П2.2.2. Генератор

Имитируемый в среде MS измерительный генератор (FunctionGenerator) является источником сигналов синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы, генерируемых в частотном диапазоне от 1Гц до 100кГц. Кроме того, в приборе предусмотрена возможность изменения амплитуды, скважности, симметрии и уровня постоянной составляющей сигналов.

Символ генератора в схеме и его лицевая панель представлены на рис. П2.5 и П2.6.

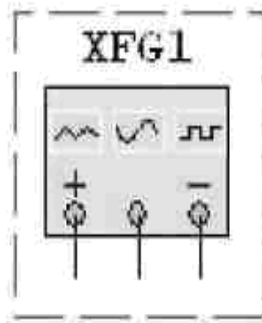


Рис. П2.5. Символ измерительного генератора в схеме

Здесь общий центральный выход соответствует низкопотенциальному (нулевому) гнезду прибора.

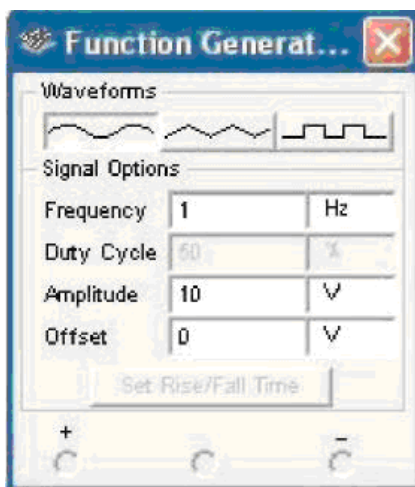


Рис. П2.6. Лицевая панель измерительного генератора

П2.2.3. Осциллограф

Программой MS моделируются осциллографы нескольких модификаций, управление которыми осуществляется так же, как и в случае реальных приборов.

Символ осциллографа и его лицевая панель приведены на рис. П2.7 и П2.8.

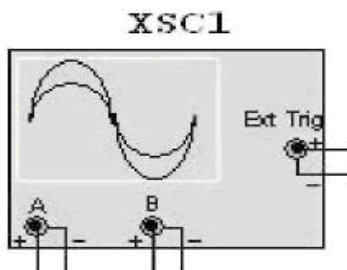


Рис. П2.7. Символ осциллографа на схеме

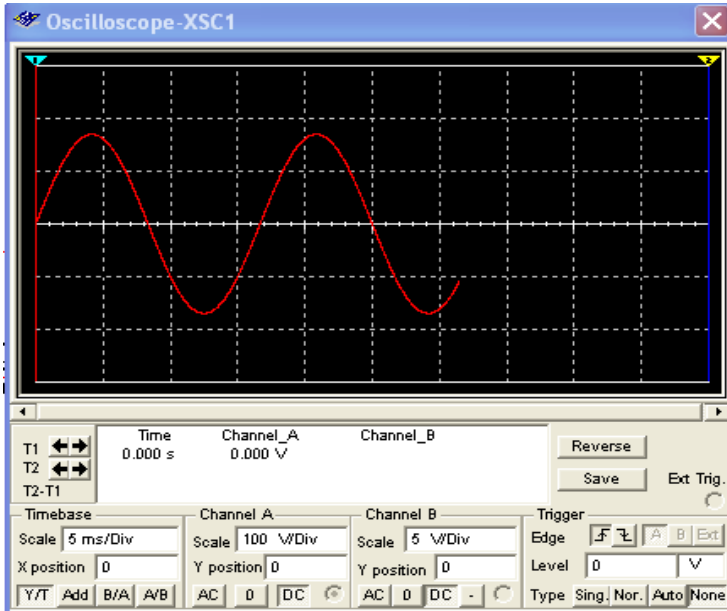


Рис. П2.8. Лицевая панель осциллографа

П2.3. Методика измерения электрических величин виртуальными приборами

П2.3.1. Измерение тока и напряжения

Изображение мгновенных значений функциональных зависимостей – осциллограммы можно получить на экране имитируемого программой MS двухканального осциллографа XSC1. Для формирования необходимой схемы надлежит выполнить следующие операции:

1. «Перетащить» мышью на рабочее поле программной среды MS используемые компоненты – сопротивления, емкости, индуктивности, а также символы источника сигналов, нулевого проводника, осциллографа и т.п.;

2. Двойным щелчком кнопки мыши на соответствующем элементе высветить окно с параметрами и установить их значения;

3. Соединить элементы проводниками;

4. Выбрать цвет соединительных проводников, например: красный – для канала А и синий – для канала В осциллографа.
Сформированная схема изображена на рис. П2.9.

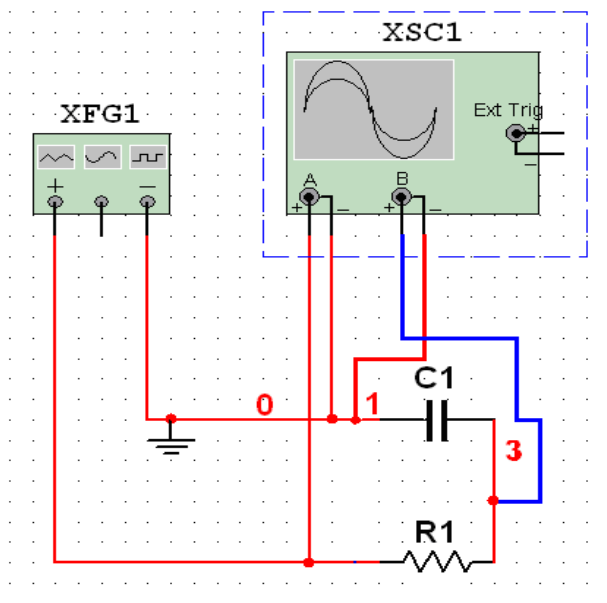


Рис. П2.9. Сформированная схема: XSC1 осциллограф, XFG1 генератор

Для активации процесса виртуальных измерений необходимо:

1. «Щелкнуть» дважды левой кнопкой мыши по иконке осциллографа на рабочем поле для раскрытия осциллографа;
2. «Щелкнуть» курсором мыши по кнопке START на основной панели (выполняет функцию выключателя) для отображения осциллограммы на экране прибора;
3. Установить параметры осциллографа: коэффициенты отклонения и длительность развертки каналов, обеспечивающие получение изображения сигнала с максимальными размерами (рис. П2.10).

Следует заметить, что с помощью осциллографа можно измерить мгновенные значения сигнала и его временные характеристики, например, амплитуду, период, длительность импульса и его времена фронта и спада.

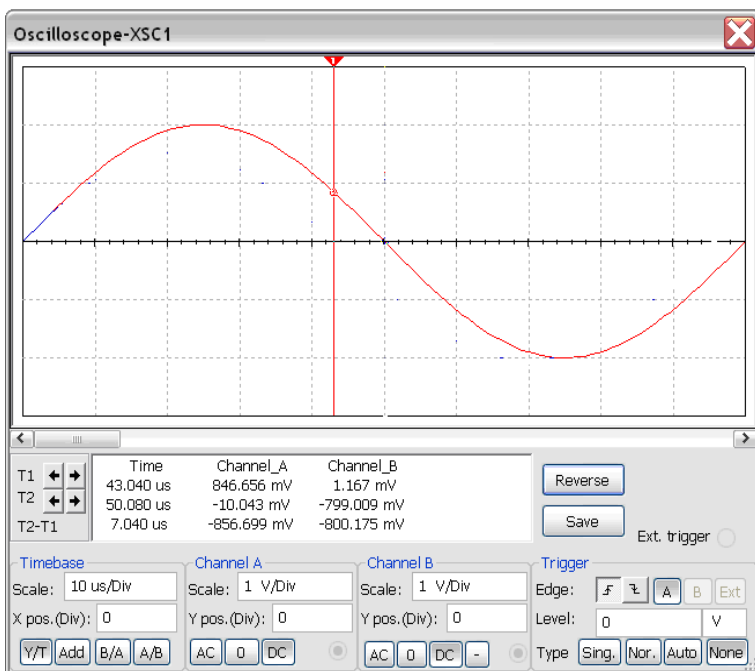


Рис. П2.10. Экран осциллографа с отображаемой синусоидой

Измерения средних квадратических значений синусоидальных напряжений и токов выполняются вольтметрами или амперметрами, шкалы которых отградуированы в действующих значениях сигнала синусоидальной формы.

Для установки режима работы и задания значений внутренних сопротивлений (Resistance) моделируемых в среде MS приборов нужно дважды щелкнуть левой клавишей мыши по изображению амперметра или вольтметра. В открывшемся диалоговом окне свойств прибора установить в команде Mode режим работы – постоянный (DC) или переменный (AC) ток, изменить или сохранить заданное по умолчанию значение внутреннего сопротивления (1 МОм для амперметров и 10 МОм для вольтметров). Амперметры и вольтметры с такими параметрами практически не влияют на энергетический режим исследуемой цели, что обеспечивает

получение результата с минимальной методической погрешностью, вызываемой собственным потреблением приборов.

Имеющийся в библиотеке Instruments среды MS виртуальный мультиметр ХММ1 подключается к участку виртуальной цепи с помощью ключа S , управляемого клавишей S клавиатуры (рис. П2.11). При работе с прибором необходимо установить род тока («-» постоянный, «~» переменный) и задать тип измеряемой величины («A» ток, «V» -напряжение, « Ω » сопротивление, «dB» затухание), воспользовавшись подменно SETTINGS. Пределы шкал прибора устанавливаются автоматически.

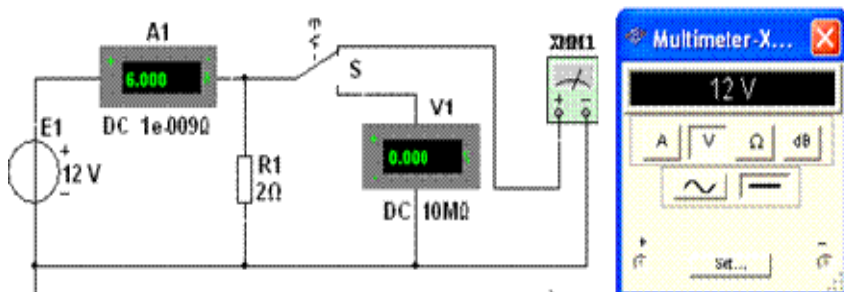


Рис.П2.11. Подключение приборов в среде MS

П2.3.2. Измерение сопротивлений резисторов

Измерение сопротивлений резисторов осуществляется с помощью виртуального мультиметра ХММ2, при работе с которым следует в диалоговом окне прибора установить режим работы – постоянный ток («-»), измеряемую величину – сопротивления (« Ω ») и значение тока – 10 nA, например, а затем подключить прибор к зажимам измеряемого резистора или к исследуемому участку пассивной (обесточенной) цепи (рис. П2.12).

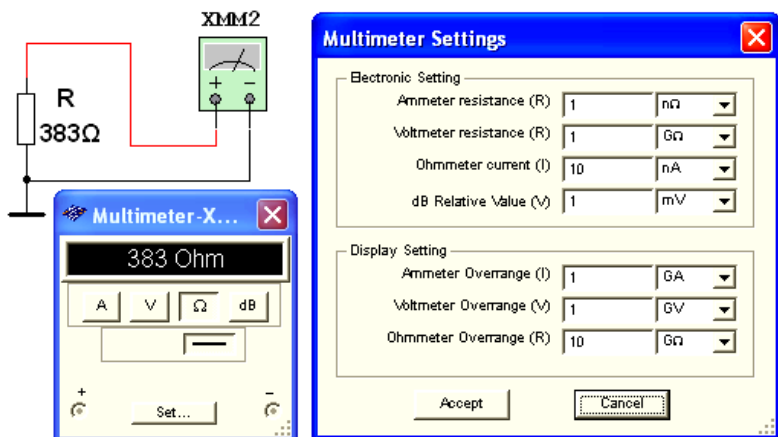


Рис.П2.12. Схема измерения сопротивления резистора

П2.3.3. Измерение фазового сдвига

Процедура осциллографических измерений фазового сдвига между двумя сигналами подробно описано в разделе 1.2.3 «Выполнение курсорных измерений» (метод калиброванной шкалы и курсорные измерения).

Последовательность действий по получению осциллограмм сигналов на экране виртуального осциллографа изложена в разделе П2.3.1.

Следует отметить, что роль курсоров времени при виртуальных исследованиях выполняют визирные линии, а получение изображений с удобными для работы размерами достигается за счет установки соответствующих значений коэффициентов вертикального отклонения каналов *A* и *B* и длительность развертки осуществляемой в поле экранных сообщений, расположенных в нижней части экрана осциллографа (рис. П2.13). Для вывода визирных линий необходимо щелкнуть мышью по символу *Zoom* на экране осциллографа.

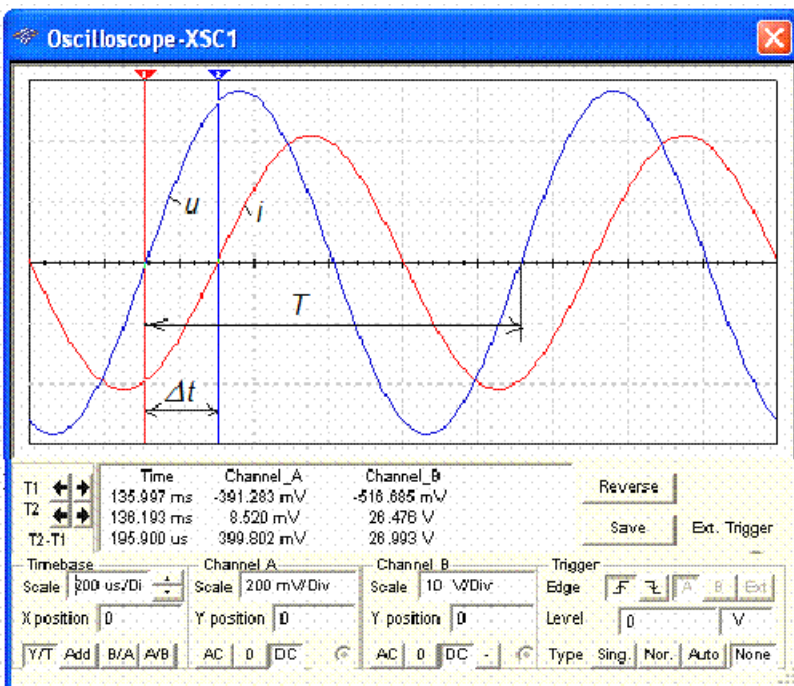


Рис. П2.13. Виртуальные осциллографические измерения фазового сдвига

П2.4. Лабораторная работа «Виртуальные исследования в среде MultiSim»

Данная работа выполняется в рамках самостоятельной подготовки студентов к занятиям.

П2.4.1. Цель работы

Проведение физического эксперимента на основе использования новейших информационных технологий. Освоение сетевого обучающего лабораторного аппаратно-программного комплекса

коллективного пользования. Проведение виртуальных экспериментов в среде LabVIEW с использованием персональных компьютеров, программной среды MS и виртуальных приборов.

П2.4.2. Домашнее задание

Изучить инструкцию работы с основными разделами программной среды MS:

- открытие библиотеки компонентов;
- операция с компонентами библиотеки – установка в рабочее окно, задание параметров компонентов и др.;
- формирование измерительных схем и изменение цвета проводников;
- выполнение процедуры моделирования.

П2.4.3. Задание на эксперимент

1. Исследование параметров сигналов в цепях однофазного синусоидального тока.

1.1. Сформировать схему, изображенную на рис. 2.3, взяв в качестве элементов цепи резистор R_2 и конденсатор C_1 на панели №1.

1.2. Подать на вход цепи с генератора XFG1 сигнал синусоидальной формы с действующим значением напряжения 3 В и частотой 10 кГц, проконтролировав уровень сигнала по мультиметру ХММ1.

1.3. С помощью мультиметра измерить входное напряжение $U_{вх}$, падения напряжения на конденсаторе U_C и резисторе U_R , сопротивление резистора R и ток в цепи I (I). В процессе измерения следить за правильностью «подключения» виртуальных приборов к схеме – заземленные проводники приборов и схемы должны быть соединены. Результаты измерений внести в табл. П2.1.

Таблица П.2.1

Величины, параметры	$U_{вх}$, В	U_C , В	U_R , В	I , мА	R , Ом	I , мА
Эксперимент						

Примечание

I – результат измерения тока прямым методом с использованием мультиметра, работающего в режиме измерения силы тока. I' – результат измерения тока косвенным методом (производится расчет тока по результатам прямых измерений U_R и R).

1.4. Провести осциллографические измерения амплитудных значений и периода напряжений $U_{вх}(t)$, $U_C(t)$ и $U_R(t)$. Измерить фазовые сдвиги φ_1 и φ_2 напряжений $U_C(t)$ и $U_R(t)$ относительно «опорного» напряжения $U_{вх}(t)$ ($\varphi_1 = \psi_{вх} - \psi_C$, $\varphi_2 = \psi_{вх} - \psi_R$; $\psi_{вх}$, ψ_C и ψ_R – начальные фазы напряжений $U_{вх}$, U_C и U_R , соответственно). В процессе измерений использовать метод калиброванной шкалы, визирные линии (аналог курсорных измерений) и фигуры Лиссажу.

Полученные результаты внести в таблицу П2.2.

Таблица П2.2

Метод	Величина					
	$U_{вх}(t)$	$U_C(t)$	$U_R(t)$	T , мкс	φ_1 , град	φ_2 , град
	U_{mv} В	U_{mv} В	U_{mv} В			
Калибр. шкала						
Визирные линии						
Фигура Лиссажу	-	-	-	-		

2. Исследование несинусоидальных периодических процессов.

2.1. Подать на вход схемы (рис. 2.3) последовательность однополярных положительных импульсов прямоугольной формы с размахом 3 В, частотой 10 кГц и длительностью 40 мкс (рис. 2.5), используя генератор XFG1 в качестве источника сигнала, а осциллограф XSC1, как устройство контроля и измерения.

Формирование сигнала осуществляется путем изменения его амплитуды, частоты, постоянной составляющей и скважности.

2.2. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение сигнала $U_C(t)$ с удобными для работы максимально возможными размерами, подав его на вход A прибора.

2.3. Провести осциллографические измерения времени фронта τ_f , времени спада $\tau_{сп}$, длительности τ_n , периода T , размаха U_p и постоянной составляющей U_0 сигнала методом калиброванной шкалы и с использованием визирных линий. Полученные результаты внести в табл. П2.3.

Таблица П2.3

измеряемая величина	τ_f , мкс	$\tau_{сп}$, мкс	τ_n , мкс	T , мкс	U_p , В	U_0 , В
Визирные измерения.						
Погрешность, %						
Метод калибр. шкалы						
Погрешность, %						

2.4. Подать на вход осциллографа с генератора XFG1 последовательность однополярных импульсов треугольной формы с размахом 2 В и частотой 10 кГц (рис. П2.14).

Провести осциллографические измерения амплитуды U_m , среднего значения U_0 и периода T .

2.5. Подключить к выходу генератора мультиметр и снять его показания в режиме измерения напряжения постоянного (α_{\cdot}) и переменного (α_{\sim}) тока.

2.6. Выполнить аналогичные измерения (пп. 5 и 6) для сигнала, изображенного на рис. 2.5.

2.7. Результаты измерений внести в табл. П2.4.

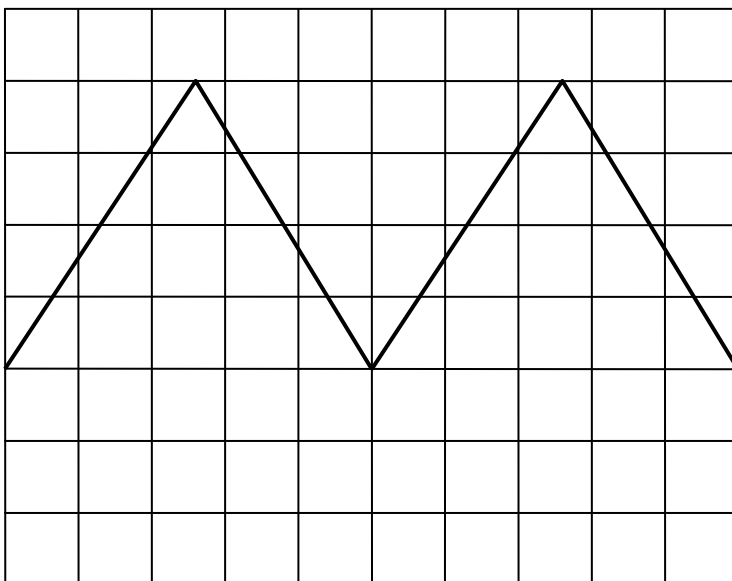







Рис. П2.14. Осциллограмма сигнала при $K_0=0,5$ В/дел и $D_p=20$ мкс/дел.

Таблица П2.4

Величины, параметры		U_m , В	U_0 , В	T , мкс	α_{\sim} , В	α_{\sim} , В
XSC1					-	-
						
XMM1		-	-	-		
						
Расчет			-	-		

Гаркуша Олег Владимирович
Коротеев Владимир Иванович
Павловский Валерий Александрович

**Введение в лабораторный практикум
«Линейные электрические цепи»**

Учебно-методическое пособие

Редактор Е.К. Коцарева
Оригинал-макет изготовлен В.И. Коротеевым

Подписано в печать 15.11.2011. Формат 60*84 1/16
Печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 950 экз.
Изд. № 3/6. Заказ 68.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
115409, Москва, Каширское ш., 31.

ООО «Полиграфический комплекс «Курчатовский».
144000, Московская область, г. Электросталь, ул. Красная, д.42

