

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
що до виконання
контрольної роботи з дисципліни

«МЕТРОЛОГІЯ КС»
для студентів спеціальності 122

заочної форми навчання

Дніпро НМетАУ - 2019

Методичні вказівки що до виконання контрольної роботи з дисциплін «Метологія КС» для студентів заочної форми навчання з спеціальності 122 Комп'ютерні науки. / Упоряд.: Станчиц Г.Ю., – Дніпро: НМетАУ, 2019.

Укладачі: Г.Ю. Станчиц,

Затверджено на засіданні кафедри
інформаційних технологій і систем, протокол № 9
від 06.03.19

Содержание

Общие указания.....	4
Введение.....	5
Лабораторная работа № 1.....	13
Лабораторная работа № 2.....	16
Лабораторная работа № 3.....	25
Лабораторная работа № 4.....	42
Лабораторная работа № 5.....	51
Лабораторная работа № 6.....	62
Лабораторная работа № 7.....	71
Лабораторная работа № 8.....	77
Лабораторная работа № 9.....	83
Лабораторная работа № 10.....	93
Лабораторная работа № 11.....	102
Лабораторная работа № 12.....	114
Лабораторная работа № 13.....	125
Лабораторная работа № 14.....	143
Лабораторная работа № 15.....	152
Лабораторная работа № 16.....	164
Список литературы.....	175

Общие указания

Получить, в электронном виде, у преподавателя задание . Вариант задания - номер лабораторной работы (порядковый номер студента в журнале группы).

1. Открыть ...doc файл с инструкцией.
2. Ознакомиться с теоретической информацией.
3. Установить на компьютер программу LabView
4. Запустить соответствующий ...exe файл
5. В меню нажать кнопку «выполнить»
6. На экране появиться стенд с измерительными приборами.
7. Выполнить рабочее задание.
8. В соответствии с требованиями оформить отчет.
9. Письменно ответить на контрольные вопросы

Введение

Среди систем автоматизированного проектирования особое место занимает пакет программ LabVIEW фирмы National Instruments. LabVIEW – это среда разработки лабораторных виртуальных приборов, в которой используется особый язык графического программирования, существенно упрощающий проектирование систем любой степени сложности для промышленности, образования и научных лабораторий. Среда проектирования LabVIEW во многих случаях является стандартным инструментом для систем сбора данных и управления приборами в научных и заводских лабораториях.

Система проектирования LabVIEW является многоплатформенной и может функционировать на персональных компьютерах с различными операционными системами (Windows, MacOS, Linux и т. д.). Широкая популярность LabVIEW обусловлена наличием интуитивно понятного графического пользовательского интерфейса, который существенно упрощает проектирование систем любого уровня сложности.

Предлагаемая вниманию читателей книга является практическим руководством по проектированию систем управления и измерения в среде LabVIEW. Материал книги включает несложные и легко повторяемые примеры проектирования часто встречающихся в инженерной практике задач. Виртуальные инструменты, описанные в книге, окажут помощь инженерам-практикам при решении задач измерения, анализа и цифрового синтеза непрерывных и дискретных сигналов, при построении систем сбора данных. Особое внимание в книге уделено аппаратно-программным интерфейсам системы LabVIEW с промышленными многофункциональными измерительными модулями, а также разработке виртуальных инструментов на базе периферийных устройств персональных компьютеров.

Лабораторная работа №1 Прямые и косвенные однократные измерения

1. Цель работы

Приобретение навыков планирования и выполнения прямых и косвенных однократных измерений.

Получение опыта по выбору средств измерений, обеспечивающих решение поставленной измерительной задачи. Изучение способов обработки и правильного представления результатов прямых и косвенных однократных измерений.

2. Сведения, необходимые для выполнения работы

Перед выполнением работы необходимо изучить следующие темы:

- основные понятия метрологии;
- классификация и характеристики измерений;
- классификация и характеристики средств измерений;
- способы получения и представления результатов однократных измерений;
- принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

подавляющее большинство измерений, выполняемых на практике, являются однократными.

Прежде чем выполнить однократное измерение, необходимо выбрать средство измерения. При выборе средства измерения, исходя из представления об условиях проведения измерения, о свойствах измеряемой величины и ее примерном значении, а также о необходимой точности измерения, определяют с помощью какого измерительного прибора, какого типа, какого класса точности, на каком пределе шкалы будет лучше проводить измерение. Если об ожидаемом значении измеряемой величины можно судить только с большой неопределенностью, средство измерения выбирают предварительно, устанавливают для него максимальный предел шкалы и проводят пробные измерения, после чего средство измерения и предел шкалы выбирают окончательно и выполняют измерение для получения результата.

За результат однократного измерения принимают показания средства измерения. Результирующая погрешность однократного измерения в общем случае зависит от целого ряда факторов, в частности, от инструментальной и методической составляющих погрешности, влияния внешних воздействий и т. д. На практике однократные измерения всегда стремятся организовать так,

чтобы результирующая погрешность определялась главным образом инструментальной составляющей погрешности. В таком случае погрешность измерений оценивают исходя из класса точности выбранного средства измерений.

При проведении однократных измерений всегда стремятся поддерживать нормальные условия и выбрать такой способ измерений, чтобы методическая погрешность и субъективные погрешности оказывали минимальное воздействие на результат. Если, тем не менее, условия измерений

отличаются от нормальных, в результат измерения вносят поправки, учитывающие погрешности, обусловленные воздействием влияющих величин. При выполнении данной работы следует предполагать, что условия измерений нормальные, а методические и субъективные погрешности пренебрежимо малы.

При проведении косвенных измерений погрешность определяется по результатам прямых измерений. В общем случае решение этой задачи оказывается весьма сложным. Однако есть несколько случаев, когда оценить пределы погрешности результата косвенного измерения просто:

1. Величины X и Y измерены с абсолютными погрешностями ΔX и ΔY , соответственно измеряется

величина Z , связанная зависимостью $Z = X \pm Y$. В этом случае для оценки предела абсолютной погрешности составляющие погрешности суммируются без учета знака, а именно: $\Delta Z = \Delta X + \Delta Y$.

2. Величины X и Y измерены с абсолютными погрешностями ΔX и ΔY , соответственно измеряется величина Z , связанная зависимостями $Z = X \cdot Y$ или $Z = X / Y$. В этом случае для оценки предела относительной погрешности составляющие относительные погрешности суммируются без учета знака,

$\Delta Z / Z = \Delta X / X + \Delta Y / Y$ а именно

3. Величины X и Y измерены с абсолютными погрешностями ΔX и ΔY , соответственно. Измеряется величина Z , связанная с X и Y зависимостью $Z = F(X, Y)$. В этом случае для оценки предела абсолютной погрешности можно использовать выражение:

Легко видеть, что предыдущие формулы для погрешностей следуют из последнего, более общего, соотношения.

Использование этих правил позволяет получить удовлетворительную оценку предельной погрешности результата косвенного измерения, в случае когда число аргументов в функциональной зависимости не превышает четырех-пяти.

При определении погрешности результата измерений по классу точности

средства измерений всегда учитываются как систематическая, так и случайная составляющая погрешности. В случае косвенных измерений при вычислении результирующей систематической составляющей погрешности необходимо, казалось бы, учитывать знак отдельных составляющих, что противоречит приведенным в пп. 1-3 рекомендациям. Однако на практике никакого противоречия не возникает, поскольку измерения всегда стремятся организовать так, чтобы влияние систематических погрешностей на результат было исключено. Конечно, полностью исключить систематические погрешности никогда не удастся, но в теории измерений показывается, что для учета неисключенных остатков систематических погрешностей их можно рассматривать как случайные величины, для описания которых подходят методы математической статистики. Отметим, что приведенные в пп. 1-3 способы оценки предельной погрешности косвенных измерений могут давать завышенную оценку значения результирующей погрешности. Однако с точки зрения достоверности результата измерения и с учетом простоты описанного способа такой подход оказывается, как правило, вполне приемлемым.

3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой Lab VIEW компьютерную модель(LR1_1). На стенде (рисунок 1.1) находятся модели магнитоэлектрического милливольтамперметра, электронного аналогового милливольтметра среднеквадратического значения, электронного цифрового мультиметра, источников постоянного и переменного напряжения, делителя напряжения и коммутационного устройства.

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель магнитоэлектрического вольтамперметра используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения и силы постоянного тока методом непосредственной оценки.

Модель электронного аналогового милливольтметра используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического значения напряжения в цепях переменного тока синусоидальной и искаженной формы методом непосредственной оценки.

Модель цифрового мультиметра при выполнении работы служит в качестве цифрового вольтметра, и используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения и среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки.

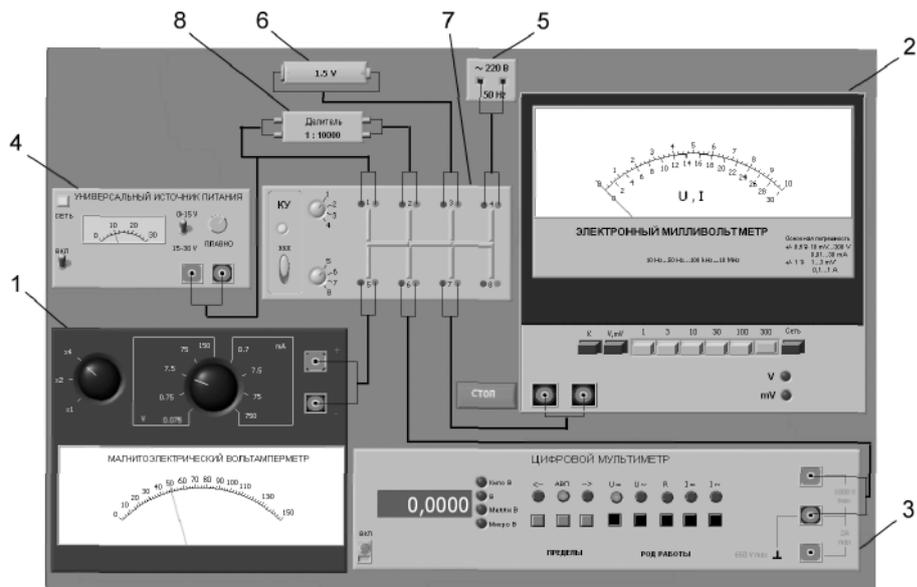


Рисунок 1.1 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 1 (1 - магнитоэлектрический вольтамперметр, 2 - электронный аналоговый милливольтметр, 3 - электронный цифровой мультиметр, 4 - универсальный источник питания, 5 - источник переменного напряжения, 6 - гальванический элемент, 7 - коммутационное устройство, 8 - делитель напряжения)

Модель универсального источника питания (УИП) используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения.

Модель источника питания переменного тока моделирует работу источника переменного гармонического напряжения частотой 50 Гц, с действующим значением, равным примерно 220 В, и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением.

Модель гальванического элемента моделирует работу имеющего источник постоянной электродвижущей силы с ЭДС, равной примерно 1,5 В, и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением.

Модель делителя напряжения используется при моделировании работы делителя с коэффициентом деления $K = 1 : 10000$ при классе точности, равном 0,05, входном сопротивлении

не менее 1 МОм, выходном - не более 1 кОм. Делитель можно использовать на постоянном и переменном токе с напряжением не более 500 В и частотой до 20 кГц.

Модель коммутационного устройства (КУ) используется при моделировании подключения входа вольтметров к выходу источников измеряемого напряжения. Подключение моделей вольтметров к моделям источников измеряемого напряжения производится путем установки верхнего переключателя на номер входа, к которому подключается измеряемый

источник, а нижнего переключателя КУ -на номер выхода, к которому подключен измерительный прибор. Установленное соединение индицируется на передней панели КУ желтым цветом. На лицевой панели модели КУ расположены:

- тумблер «ВКЛ» включения КУ;
- тумблеры для выбора способа коммутации входов и выходов КУ между собой.

4. Рабочее задание

4.1. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR1_1

«Прямые и косвенные однократные измерения» . На рабочем столе компьютера нажмите виртуальную кнопку «выполнить» На экране появится модель лабораторного стенда с

моделями средств измерений и вспомогательных устройств (рисунок 1.1)

Создайте в среде MS Excel, окна лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на

рабочем столе. Включите модели средств измерений и вспомогательных устройств и опробуйте их органы управления . Плавно изменяя напряжение на выходе УИП и поочередно с помощью КУ, подключая к выходу вольтметры, проследите за изменениями их показаний. Поменяйте пределы измерений и снова проследите за изменениями показаний вольтметров при изменении напряжения на выходе УИП. После того как вы убедитесь в работоспособности приборов, выключите все модели и вспомогательные устройства.

4.3. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение прямых однократных измерений

а) Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения постоянного напряжения на выходе УИП с относительной погрешностью, не превышающей 1%. При выборе исходите из того, что напряжение на выходе УИП может быть установлено произвольно в диапазоне от 15 В до 30В.

- Выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу УИП.
- Включите УИП и установите на его выходе напряжение в указанном

диапазоне.

- Снимите показания вольтметра.
- Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

б) Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для измерения ЭДС гальванического элемента с абсолютной погрешностью, не превышающей 2 мВ

(значение ЭДС постоянно и лежит в диапазоне от 1,3 В до 1,7 В).

- Выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу источника ЭДС.
- Снимите показания вольтметра.
- Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

в) Выберите среди имеющихся на лабораторном стенде средств измерений вольтметр для

измерения значения напряжения на выходе источника переменного напряжения с относительной погрешностью, не превышающей 0,5%.

- Выбрав вольтметр, включите его, установите подходящий диапазон измерений и с помощью КУ подключите вольтметр к выходу источника переменного напряжения.
- Снимите показания вольтметра.
- Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранный диапазон измерений.

Задание 2. Выполнение косвенных измерений

а) Выберите среди имеющихся на рабочем столе средств измерений вольтметр для косвенного измерения коэффициента деления делителя напряжения.

- Выбрав вольтметр, включите его и установите подходящий диапазон измерений.
- Подключите с помощью КУ делитель к выходу источника напряжения.
- Подключите с помощью КУ вольтметр поочередно к входу и выходу делителя и снимите в обоих случаях показания вольтметра.
- Запишите в отчет: показания вольтметра, тип и класс точности вольтметра, выбранные диапазоны измерений, сведения о делителе напряжения.

4.4. Сохраните результаты.

4.5. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

5. Оформление отчета

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во Введении. Рекомендованные формы таблиц для записи результатов приведены ниже.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ЖУРНАЛ
Лабораторная работа № 1
Прямые и косвенные однократные измерения

Таблица 1.1.

Прямые измерения напряжения на выходе УИП.				
Вольтметр: тип, класс точности				
Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В

Таблица 1.2.

Прямые измерения ЭДС гальванического элемента				
Вольтметр: тип, класс точности				
Показания вольтметра, В	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В

Таблица 1.3.

Прямые измерения напряжения на выходе источника переменного напряжения				
Вольтметр: тип, класс точности				
Показания вольтметра U_a	Диапазон измерений, В	Абсолютная погрешность, В	Относительная погрешность, %	Результат измерений, В

Таблица 1.4.

Косвенные измерения коэффициента деления делителя			
Вольтметр: тип, класс точности. Делитель напряжения: тип, класс точности			
Показания вольтметра на входе делителя	Показания вольтметра на выходе делителя	Установленный диапазон измерений на входе делителя	Установленный диапазон измерений на выходе делителя
Относительная погрешность измерения напряжения на входе делителя, %	Относительная погрешность измерения напряжения на выходе делителя, %	Относительная погрешность измерения коэффициента деления, %	Результат измерения коэффициента деления делителя, %

6. Контрольные вопросы

- Дайте определение следующих понятий: измерение, результат измерения, абсолютная погрешность измерения, относительная погрешность измерения.
- Как классифицируют измерения?
- В каких случаях проводят однократные измерения?
- Какие измерения называются прямыми? В каких случаях выполняются прямые измерения?
- Какие измерения называются косвенными? В каких случаях выполняются косвенные измерения?
- Что такое средство измерения?
- Что такое метрологические характеристики средств измерений? Какие метрологические характеристики средств измерений вы знаете?
- Как связаны метрологические характеристики средств измерений с качеством измерений, которые выполняются с помощью этих средств?
- Предполагается проводить однократные измерения. Какие критерии используются при выборе средств измерений, какие из этих критериев наиболее важны?

Список литературы

1. Закон України. Про метрологію та метрологічну діяльність. Київ. 11 лютого 1998 року №113/98-ВР.
2. Державний стандарт України ДСТУ 3921.1 – 1999. Вимоги до забезпечення якості засобів вимірювальної техніки.
3. Державний стандарт України ДСТУ 3921.2 – 2000. Забезпечення якості засобів вимірювальної техніки
4. Державний стандарт України ДСТУ 2681 Державна система забезпечення якості виірювань
5. Стандарти информационных технологий.(ГОСТ 34.XXX-XX)
6. Системи оброблення інформації (ДСТУ 2940-94, ДСТУ 2941-94, ДСТУ 3043-95).
7. Довгалюк Б.П. Метрологія., Дніпропетровськ 2001.
8. В.Г.Тарасенко, О.Ю.Долга Основи метрології та електричні вимірювання, Дніпропетровськ НГУ 2011
9. У. Болтон Карманный справочник инженера-метролога, М.,2002

Лабораторная работа № 2
**Обработка и представление
результатов однократных измерений
при наличии систематической погрешности**

1. Цель работы

Получение навыков обнаружения и устранения влияния систематических погрешностей на результаты прямых однократных измерений.

2. Сведения, необходимые для выполнения работы

Перед выполнением работы необходимо изучить следующие темы:

- Классификация и характеристики систематических погрешностей измерений.
- Результат измерений, погрешность результата измерений.
- Поправки и их практическое использование.
- Способы получения и представления результатов измерений при наличии систематической погрешности.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

подавляющее большинство измерений являются однократными. Систематические погрешности могут существенно исказить результаты таких измерений. Поэтому обнаружению и устранению источников систематических погрешностей придается большое значение.

Систематические погрешности являются величинами детерминированными, поэтому, в принципе, всегда могут быть вычислены и учтены. Для исправления результатов измерений, содержащих систематическую погрешность, эти результаты складывают с поправками, равными систематическим погрешностям по величине и противоположными им по знаку. Поправки могут быть определены как экспериментально, так и теоретически. Поправки, определяемые экспериментально, задаются в виде таблиц или графиков, теоретически - в виде формул. Результат измерений, полученный после внесения поправки, называется исправленным результатом измерений.

На практике часто приходится сталкиваться с необходимостью учета систематической погрешности, возникающей из-за несовершенства принятого метода измерений. Эта погрешность известна как методическая. Для учета влияния методических погрешностей на результаты измерений обычно применяются математические зависимости, используемые для

описания явления, положенного в основу измерения. В такой ситуации оценки погрешностей формул и физических констант, как правило, известны.

В процессе выполнения настоящей работы измеряется ЭДС источника постоянного напряжения, обладающего переменным внутренним сопротивлением. Значение измеряемой ЭДС лежит в диапазоне от 10 до 30 В. Для таких измерений можно использовать электромеханические и электронные аналоговые вольтметры, цифровые вольтметры и компенсаторы (потенциометры) постоянного тока.

Электромеханические вольтметры и простые цифровые вольтметры выбираются для работы, если требования к точности измерений сравнительно невысоки, а значение измеряемого напряжения лежит в диапазоне от десятков милливольт до сотен вольт. Измерения в этом случае выполняются методом непосредственной оценки. На практике очень удобно использовать простые и дешевые аналоговые вольтметры, например магнитоэлектрической системы. В отличие от электронных вольтметров они не требуют дополнительного источника питания и более просты в эксплуатации, а по сравнению с электромеханическими вольтметрами других систем имеют лучшие характеристики.

Магнитоэлектрические вольтметры имеют линейную шкалу, характеризуются весьма высокой точностью и чувствительностью, малым собственным потреблением энергии. На показания магнитоэлектрических вольтметров мало влияют колебания температуры окружающей среды и изменения напряженности внешнего электромагнитного поля. Входное сопротивление магнитоэлектрических вольтметров постоянного тока относительно невелико и колеблется в диапазоне от 10 до 100 кОм, по этому показателю они уступают как электронным аналоговым, так и цифровым вольтметрам.

Упрощенная электрическая схема магнитоэлектрического вольтметра приведена на рисунок 2.1. В

состав схемы входят измерительный механизм (ИМ), обладающий собственным омическим сопротивлением $R_{ИМ}$, и добавочное сопротивление $R_{Д}$. Показания вольтметра отсчитываются по

отклонению стрелки ИМ относительно неподвижной шкалы. Угол этого отклонения α определяется в соответствии с уравнением преобразования механизма и равен: $\alpha = S \cdot I$, где S - чувствительность ИМ, а I - значение тока, протекающего через него. Соответственно для вольтметра получаем:

$$\alpha = \frac{S \cdot U}{R_{\text{вх}}} = \frac{S \cdot U}{R_{\text{им}} + R_{\text{д}}}. \quad (1.2.1)$$

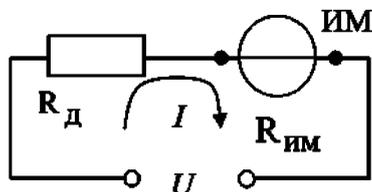


Рис. 1.2.1. Упрощенная схема магнитоэлектрического вольтметра

Отметим, что ток, протекающий через ИМ, не должен превышать некоторой номинальной величины, которая называется током полного отклонения. Значение этого тока для магнитоэлектрических ИМ лежит обычно в диапазоне от 1 мкА до 50 мА.

При использовании магнитоэлектрического вольтметра погрешность измерений в нормальных условиях определяется главным образом инструментальной погрешностью вольтметра и методической погрешностью измерений. Инструментальная погрешность определяется классом точности средства измерений, который составляет для магнитоэлектрических вольтметров от 0,2 до 2,5. Методическая погрешность зависит от соотношения между входным сопротивлением вольтметра и внутренним сопротивлением источника измеряемой ЭДС. Как указывалось, входное сопротивление магнитоэлектрического вольтметра сравнительно невелико, поэтому методическая составляющая погрешности может вносить определяющий вклад в результирующую погрешность измерений.

Для определения методической составляющей погрешности представим источник измеряемого напряжения в виде активного двухполюсника (рисунок 2.2), к которому подключен вольтметр, имеющий входное сопротивление $R_{\text{вх}} = R_{\text{им}} + R_{\text{д}}$. Пусть активный двухполюсник имеет ЭДС - U_0 и внутреннее сопротивление - $R_{\text{вн}}$, тогда напряжение $U_{\text{х}}$ на зажимах вольтметра можно вычислить по формуле:

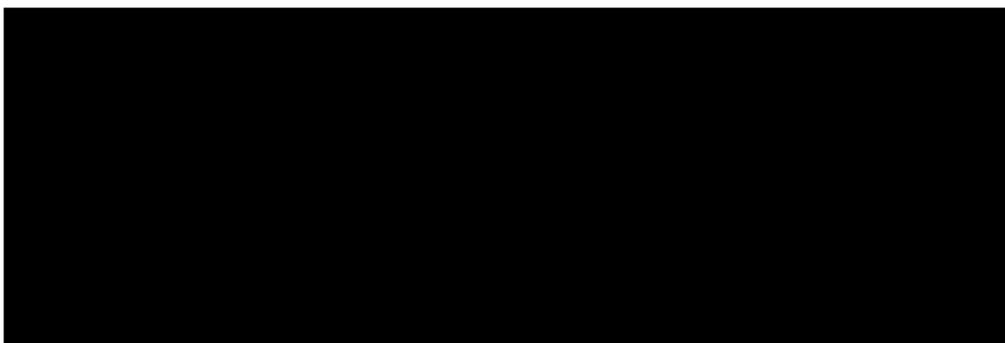


Рис. 2.2. Схема для определения методической погрешности измерения постоянного напряжения

Отсюда находим, что значение абсолютной методической погрешности ΔU равно: Кроме того, для модуля значения относительной методической погрешности δU имеем: Как правило, $R_{ВН} \ll R_{ВХ}$, поэтому можно принять, что модуль относительной методической погрешности приблизительно равен: В рассматриваемом случае методическая погрешность проявляется как систематическая, поэтому она может быть исключена внесением поправки $\Pi = -\Delta U$, прибавленной к показанию вольтметра. Даже после внесения поправки всегда остается не исключенный остаток методической погрешности, в нашем случае такой остаток может возникнуть из-за отличия истинных значений сопротивлений от тех, которые использованы при расчетах. Кроме того, в качестве составляющих не исключенной систематической погрешности могут выступать систематические погрешности средства измерений и систематические погрешности, вызванные другими источниками. При определении границ не исключенной систематической погрешности результата измерений все такие составляющие рассматриваются как случайные величины и строится их композиция. Мы не будем здесь рассматривать правила построения такой композиции и остановимся только на важном частном случае.

Пусть значение допустимого предела основной абсолютной инструментальной погрешности, определяемой классом точности средства измерений, равно A , а значение не исключенного остатка абсолютной методической составляющей погрешности равно Δ_M , тогда границы абсолютной погрешности результата измерений $\Delta_{изм}$ можно с приемлемой точностью вычислить по формуле:

3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой Lab VIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели магнитоэлектрического вольтамперметра, электронного цифрового вольтметра, магазина сопротивлений, универсального источника питания (УИП) и коммутационного устройства (КУ) (рисунок 2.3).

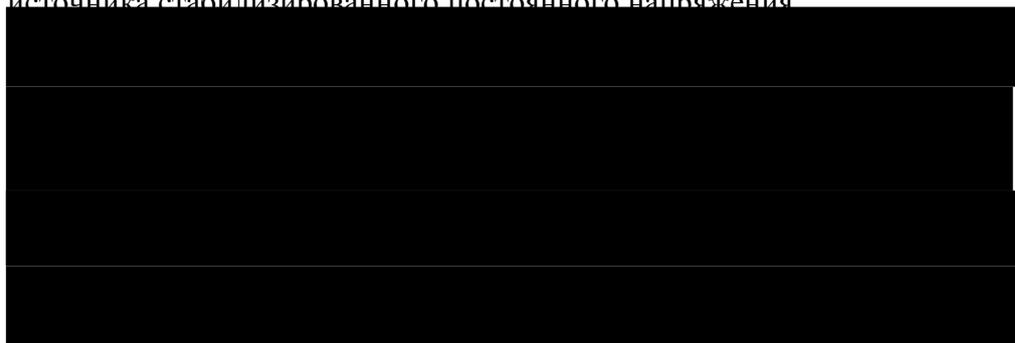
При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель магнитоэлектрического вольтамперметра используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки.

Модель электронного цифрового мультиметра используется в процессе работы как цифровой вольтметр при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки.

Модель магазина сопротивлений используется при моделировании работы многозначной меры электрического сопротивления.

Модель УИП используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения



При выполнении работы модель магазина сопротивлений и модель УИП используются совместно, таким образом, моделируется источник постоянного напряжения, обладающий переменным внутренним сопротивлением. Для этого модель магазина сопротивлений подключается последовательно с выходом модели УИП (рисунок 2.4). В результате создается источник напряжения с выходами «Кл. 9» магазина сопротивлений и «-» УИП, напряжение на выходе которого измеряется одним из вольтметров. Внутреннее сопротивление полученного источника напряжения равно сумме установленного сопротивления магазина и внутреннего сопротивления УИП, которое не превышает 0,3 Ом.

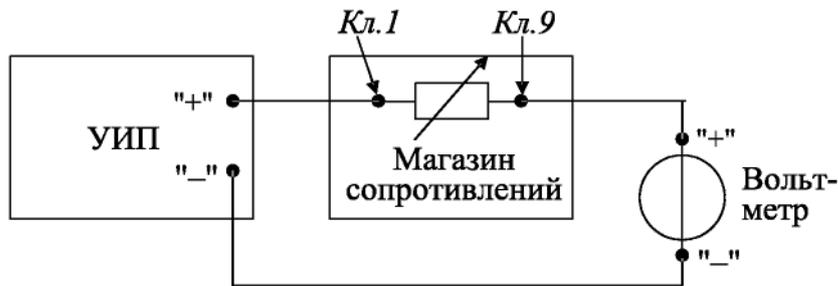


Рис. 1.2.4. Схема соединения приборов при выполнении работы № 1.2

Модель КУ используется при моделировании подключения входа вольтметров к выходу источника измеряемого напряжения. Подключение моделей вольтметров к модели источника производится путем установки переключателя КУ либо к магнитоэлектрическому милливольтамперметру, либо к электронному цифровому мультиметру.

4. Рабочее задание

4.1. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR1_2. На рабочем столе компьютера автоматически появятся модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (рис. 1.2.3) Создайте в среде MS Excel лабораторный журнал, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и вспомогательных устройств на лабораторном стенде. Включите модели и опробуйте их органы управления. Плавно изменяя напряжение на выходе УИП и подключая к нему поочередно с помощью КУ вольтметры, проследите за изменениями их показаний. Поменяйте пределы измерений вольтметров и снова проследите за изменениями их показаний по мере изменения напряжения на выходе УИП. После того, как вы убедитесь в работоспособности приборов, выключите модели.

4.3. Подготовьте к работе модель магнитоэлектрического вольтметра:

- установите переключатель пределов и рода работ магнитоэлектрического вольтметра в положение 7,5 В;
- установите переключатель множителя пределов измерения магнитоэлектрического вольтметра в положение $\times 2$.

4.4. Подготовьте к работе модель электронного цифрового мультиметра:

- включите тумблер «СЕТЬ»;
- с помощью переключателя U, расположенного на передней панели мультиметра, выберите род работы модели, соответствующий измерению постоянного напряжения, при этом на передней панели загорится соответствующий красный индикатор;
- с помощью переключателя АВП, расположенного на передней панели мультиметра, установите автоматический выбор пределов измерения, при этом на передней панели загорится соответствующий красный

индикатор.

4.5. Подготовьте к работе модель УИП:

- тумблер переключения поддиапазонов УИП установите в положение «0-15 В»;
- включите тумблер «СЕТЬ».

4.6. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Измерение электрического напряжения на выходе источника с регулируемым внутренним сопротивлением

а) Подключите магнитоэлектрический вольтметр к выходу источника постоянного напряжения

(переключатель коммутационного устройства должен быть установлен в положение 2) согласно схеме соединений (рис. 1.2.4).

б) Установите предел измерения магнитоэлектрического вольтметра равным 15 В и, ориентируясь на индикатор, установите на выходе УИП напряжение, значение которого несколько меньше выбранного предела измерений.

в) Рассчитайте на выбранном пределе измерений входное сопротивление вольтметра (входное сопротивление определяется по току полного отклонения в соответствующем диапазоне измерений) и запишите в отчет.

г) Установите последовательно значение сопротивления магазина равным 0 Ом, 3 Ом, 30 Ом, 300

Ом, 3000 Ом и 30 кОм. При каждом значении установленного сопротивления снимите показания магнитоэлектрического вольтметра, результаты запишите в отчет.

д) Подключите цифровой мультиметр (в режиме вольтметра) к выходу источника постоянного напряжения (переключатель коммутационного устройства должен быть установлен в положение 1) согласно схеме соединений (рис. 1.2.4). **Напряжение на выходе УИП при этом должно остаться таким же, как при выполнении задания по п. «б».**

е) Устанавливая последовательно те же значения сопротивления магазина, что и в п. «г», снимите показания цифрового вольтметра. Результаты запишите в отчет.

ж) Установите предел измерения магнитоэлектрического вольтметра равным 30 В и, ориентируясь на индикатор, установите на выходе УИП напряжение, значение которого несколько меньше выбранного предела измерений.

з) Для вновь установленного значения выходного напряжения УИП выполните задание, сформулированное в пп. «в»-«е».

Задание 2. Исследование влияния соотношения между внутренним сопротивлением источника напряжения $R_{вн}$ и входным сопротивлением вольтметра $R_{вх}$ на результаты измерения электрического напряжения

Используя сведения о классе точности магнитоэлектрического вольтметра и цифрового

мультиметра, формулы (1.2.4)—(1.2.6) и полученные экспериментальные данные, определите:

- абсолютную и относительную инструментальную погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- абсолютную и относительную методическую погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- поправки к показаниям магнитоэлектрического вольтметра;
- неисправленные и исправленные результаты измерений, полученные с помощью магнитоэлектрического вольтметра;
- предельное значение неисключенной методической погрешности, если ошибка в оценке внутреннего сопротивления источника составляет 1%;
- абсолютную и относительную результирующую погрешность измерения напряжения на выходе источника с переменным внутренним сопротивлением;
- полученные данные запишите в отчет;
- сравните результаты измерений, полученные с помощью разных вольтметров, и объясните их.

Результаты запишите в отчет;

- постройте, пользуясь средствами MS Excel, график зависимости методической погрешности измерений от отношения выходного сопротивления источника напряжения к входному сопротивлению вольтметра. По экспериментальным данным и расчетным путем определите, при каком значении внутреннего сопротивления источника напряжения методическая составляющая погрешности измерений не превышает ее инструментальной составляющей и когда методической погрешностью измерений можно пренебречь.

4.7. Сохраните результаты.

4.8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и при необходимости выключите компьютер.

5. Оформление отчета

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во Введении, а также включать графики зависимости методической погрешности измерений от отношения выходного сопротивления источника напряжения к входному сопротивлению вольтметра. Рекомендованные формы таблиц для записи результатов приведены ниже.

6. Контрольные вопросы

- Что такое систематическая погрешность измерений? Дайте классификацию систематических погрешностей.
- Что такое методическая погрешность измерений? Всегда ли она оказывает влияние на результаты измерений? Когда ее влиянием можно пренебречь?
- Что такое инструментальная погрешность измерений? Всегда ли она оказывает влияние на результаты измерений? Когда ее влиянием можно пренебречь?
- Как оценить методическую составляющую погрешности?
- Что такое поправка к показаниям прибора? Как ее вычислить, как и когда она вносится?
- Как оценить инструментальную составляющую погрешности?
- Можно ли устранить инструментальную погрешность, вычисленную по классу точности прибора, введением поправки?
- В каком случае инструментальная погрешность может быть исключена введением поправки?
- Как вычислить погрешность измерений, если на результаты одновременно влияют инструментальная и методическая составляющие погрешности?
- Что следует сделать для того, чтобы влияние методической погрешности на результат измерения было минимальным?

Лабораторная работа № 3
**Стандартная обработка результатов прямых измерений с
многократными наблюдениями**

***1. ЦЕЛЬ
РАБОТЫ***

Ознакомление с методикой выполнения прямых измерений с многократными наблюдениями. Получение в этом случае навыков стандартной обработки результатов наблюдений, оценивания погрешностей и представления результатов измерений.

***2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ
ПОДГОТОВКИ***

Используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Измерения с многократными наблюдениями.
- Классификация и характеристики случайных погрешностей измерений.
- Способы получения и представления результатов измерений при наличии как случайной, так и систематической составляющих погрешности.
- Стандартные способы обработки и представления результатов прямых измерений с многократными, независимыми наблюдениями при наличии случайной погрешности.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

***3. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
РАБОТЫ***

В измерительной практике для повышения качества измерений часто обращаются к измерениям с многократными наблюдениями, т.е. к повторению одним и тем же оператором однократных наблюдений в одинаковых условиях, с использованием одного и того же средства измерений. В результате соответствующей обработки полученных данных удается уменьшить влияние случайной составляющей погрешности на результат измерений. При этом могут быть использованы различные процедуры обработки. Ниже кратко описана стандартная методика выполнения прямых измерений с многократными, независимыми наблюдениями и основные положения по обработке результатов наблюдений и оцениванию погрешностей результатов

измерений. Эта методика соответствует рекомендациям действующего ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».

В соответствии с этой методикой обработку ряда наблюдений следует выполнять в следующей последовательности:

1. Исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений.
2. Вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения.
3. Вычислить оценку среднего квадратичного отклонения результата наблюдения.
4. Вычислить оценку среднего квадратичного отклонения результата измерения.
5. Проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению.
6. Вычислить доверительные границы случайной составляющей погрешности результата измерения.
7. Вычислить границы не исключенной систематической погрешности результата измерения.
8. Вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.
9. Представить результат измерения в соответствии с установленными требованиями.

При выполнении этой последовательности действий руководствуются следующими правилами:

– проверку гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению проводят с уровнем значимости α , выбираемым в диапазоне от 0,02 до 0,1.

– при определении доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность P_d принимают равной 0,95.

– в тех случаях, когда измерение нельзя повторить, помимо границ,

соответствующих доверительной вероятности $P_d = 0,95$ допускается для $P_d = 0,99$

Исключение систематических погрешностей

Исключение систематических погрешностей из результатов наблюдений проводится либо расчетным путем (см., например, лабораторную работу №2), либо по результатам поверки. После исключения систематических погрешностей все дальнейшие вычисления проводятся для исправленного ряда наблюдений.

Вычисление среднего арифметического ряда наблюдений

Среднее арифметическое ряда наблюдений (результатов наблюдений) рассчитывают по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.1)$$

где x_i – i -й исправленный результат наблюдения, \bar{x} – среднее арифметическое исправленного ряда наблюдений, n – число результатов наблюдений.

Вычисление оценки среднего квадратического отклонения ряда наблюдений

Среднее квадратичное отклонение ряда наблюдений S_x рассчитывают по формуле:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3.2)$$

Среднее квадратичное отклонение S_x является основной характеристикой размера случайных погрешностей результатов наблюдений.

Вычисление оценки среднего квадратического отклонения результата измерения

Для расчета среднего квадратического отклонения результата измерения $S(\bar{x})$ используется формула:

$$S(x) = \frac{1}{\sqrt{n}} S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (3.3)$$

Среднее квадратичное отклонение $S(x)$ является основной характеристикой размера случайных погрешностей результата измерений.

Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению

Чтобы установить принадлежат (или не принадлежат) результаты наблюдений тому или иному распределению, необходимо сравнить экспериментальную функцию распределения с предполагаемой теоретической. Сравнение осуществляется с помощью критериев согласия.

В случае проверки принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению предпочтительным, при числе результатов $n > 50$, является один из критериев: χ^2 Пирсона или ω^2 Мизеса – Смирнова. В работе используется критерий Пирсона.

При числе результатов наблюдений $15 < n < 50$ производят приближенную проверку их принадлежности к нормальному распределению путем оценки коэффициента асимметрии и эксцесса.

При $n \leq 15$ гипотеза о принадлежности результатов наблюдений к какому-либо распределению не проверяется. Если при этом имеется априорная информация о том, что нет причин, которые могли бы вызвать заметное отклонение распределения результатов от нормального закона, для обработки результатов наблюдений используется распределение Стьюдента.

Для проверки принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению с помощью критерия согласия Пирсона необходимо сначала построить гистограмму.

Построение гистограммы включает в себя следующие этапы.

1) Исправленные результаты наблюдений располагаются в порядке

возрастания: $X_1, X_2, \dots, X_n, X_i \leq X_{i+1}$.

где

2) Вычисляется диапазон изменения значений результатов наблюдений:

$$R_n = X_n - X_1.$$

n

3) Весь этот диапазон разбивается на r интервалов одинаковой длины (оценить необходимое количество интервалов можно по правилу: $r = 1 + 3,32 \cdot \lg n$ с последующим округлением в большую сторону до ближайшего целого нечетного числа). Обычно r лежит в диапазоне от 7 до 15.

4) Определяется ширина интервала: $\Delta = R_n / r = \frac{X_n - X_1}{r}$.

5) Определяются границы интервалов $[X_{j-1}, X_j]$ так, чтобы верхняя граница j -

го

интервала $X_{jВ} = j \cdot \Delta$, а его нижняя граница совпадала с верхней границей $(j-1)$ -

го интервала: $X_{jН} = X_{(j-1)В}$.

6) Для каждого j -го интервала ($j = 1, 2, \dots, r$) вычисляются числа n_j – частота попадания результата наблюдений в интервал.

7) Строится гистограмма. Для этого по оси результатов наблюдений в порядке возрастания номеров откладываются интервалы Δ_j , и на каждом интервале строится прямоугольник высота которого, пропорциональна n_j .

По результатам анализа гистограммы высказывается гипотеза о виде закона распределения экспериментальных данных и о численных характеристиках этого закона (для нормального распределения такими характеристиками являются математическое ожидание и дисперсия). После этого используют критерий согласия для проверки гипотезы.

Критерий согласия χ^2 Пирсона имеет вид:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_j - nP_j)^2}{nP_j}, \quad (3.4)$$

где величина χ^2 характеризует меру отклонения результатов наблюдений от теоретически предсказанных, n_j – частость попадания результатов наблюдений в j – интервал, P_j – теоретические значения вероятности попадания результатов в j – интервал, которые вычисляются по формуле:

$$P_j = \Phi(z_{jB}) - \Phi(z_{(j-1)B}), \quad (3.5)$$

где $\Phi(z)$ – функция Лапласа, $z_{jB} = \frac{x_{jB} - x}{S_x}$, а $P_1 = \Phi(z_{1B})$.

Таблица значений функции Лапласа для некоторых z приведена в Приложении 4. (Таблица П 4.1)

После вычисления значения χ^2 для заданного уровня значимости α и числа степеней свободы $\nu = r - k - 1$ (где r – количество разрядов разбиения, k – число параметров, необходимых для определения теоретической функции распределения, равное для нормального закона распределения двум), по таблицам χ^2 – распределения находят критическое значение критерия согласия $\chi^2_{кр}$. В технической практике обычно задаются уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Значения $\chi^2_{кр}$, для этого уровня значимости, приведены в Приложении 4. (Таблица П 4.2).

Если $\chi^2 < \chi^2_{кр}$ принимают гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, характеризующемуся математическим ожиданием и дисперсией, оценки которых получены в (1.3.1) и (1.3.2). В противном случае ($\chi^2 \geq \chi^2_{кр}$) – гипотеза отвергается.

Вычисление доверительных границ случайной погрешности результата измерения

Доверительные границы ϵ (без учета знака) случайной погрешности результата измерения находят по формуле:

$$\varepsilon = t S(x), \quad (3.6)$$

где t – квантиль распределения Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности P_d и числа наблюдений n . Значения величины t при $P_d = 0,95$ и $0,99$ приведены в Приложении 4. (Таблица П 4.3).

Вычисление границ неисключенной систематической погрешности результата измерения

Не исключенная систематическая погрешность результата измерения образуется из составляющих, которыми могут быть не исключенные систематические погрешности метода, средств измерения и другие. За границы составляющих не исключенной систематической погрешности принимают, например, пределы основных и дополнительных погрешностей средств измерений. При суммировании составляющие не исключенной систематической погрешности рассматриваются как случайные величины с равномерными законами распределения. Границы не исключенной систематической погрешности θ результата измерения рассчитывают по формуле:

$$\theta = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad (3.7)$$

где θ_i – граница i -ой не исключенной систематической погрешности, k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (при $P_d = 0,95$ полагают $k = 1,1$).

Вычисление доверительных границ погрешности результата измерения

Доверительная граница погрешности результата измерения устанавливается в зависимости от соотношения $\frac{\theta}{S(x)}$.

Если $\frac{\theta}{S(x)} < 0,8$, то не исключенными систематическими погрешностями

пренебрегают и принимают, что доверительная граница погрешности

результата измерения $\Delta = \xi$.

Если $\frac{\theta}{S(x)} > 8$, то случайной погрешностью пренебрегают и принимают, что

доверительная граница погрешности результата измерения $\Delta = \theta$.

Если $0,8 \leq \frac{\theta}{S(x)} \leq 8$, то доверительные границы погрешности результата измерения вычисляются по формуле:

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (3.8)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной погрешности и не исключенной систематической погрешности, а S_{Σ} – оценка суммарного среднего квадратичного отклонения результата измерения.

Коэффициент K рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S(x) + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3}}}, \quad (3.9)$$

Оценка S_{Σ} осуществляется по формуле:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3} + S^2(x)}. \quad (1.3.10)$$

Представление результата измерений

Результат измерения записывается в виде $x = \bar{x} \pm \Delta$ при доверительной вероятности P_d , где \bar{x} – собственно результат измерения.

Отметим еще раз (см. работу 1), что числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности Δ .

Если данные о виде функции распределения случайной и не исключенного остатка систематической составляющих погрешности результата измерения

отсутствуют то, результаты измерения представляют в виде $x ; S(x) ; n ; \theta$. В

случае, если границы неисключенной систематической погрешности определены в соответствии с формулой 3.7, следует дополнительно указывать, для какой доверительной вероятности P_d проводились вычисления.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 3.1) находятся модели электронного цифрового мультиметра, модель устройства цифровой обработки измерительной информации (УЦОИИ), модель УИП и модель делителя напряжения.

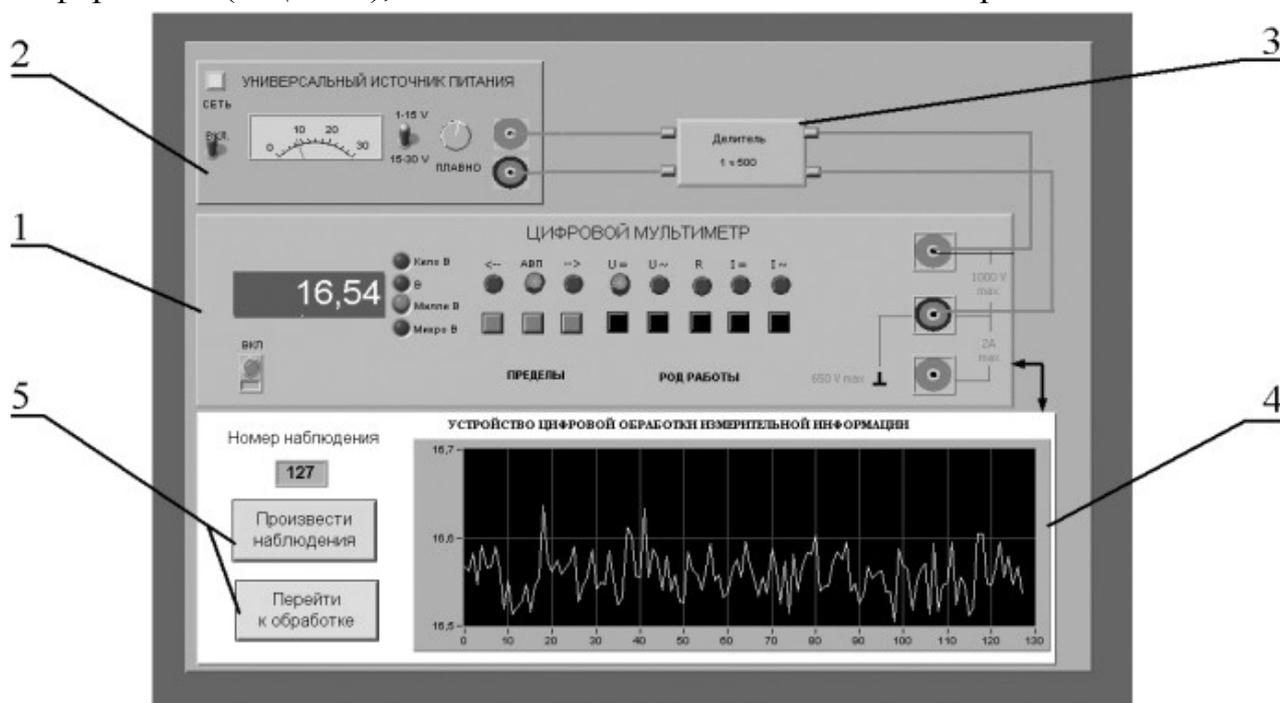


Рис. 3.1. Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 1.3. (1-электронный цифровой мультиметр, 2-универсальный источник питания, 3-делитель напряжения, 4-индикатор устройства обработки измерительной информации, 5-элементы управления устройством обработки измерительной информации).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель электронного цифрового мультиметра (см. Приложение 1) используется для прямых измерений постоянного электрического напряжения методом непосредственной оценки.

В процессе выполнения работы измеряется постоянное напряжение, значение которого лежит в диапазоне от 2 до 30 мВ. В этом случае для проведения измерений может подойти или цифровой вольтметр или компенсатор (потенциометр). Однако выполнять серию из нескольких десятков наблюдений с помощью компенсатора крайне неудобно. Поэтому в работе используется цифровой измеритель постоянного напряжения, а для уменьшения трудоемкости измерений выбран такой режим его работы, когда по стандартному интерфейсу осуществляется автоматическая передача результатов наблюдений от модели цифрового мультиметра к модели цифрового устройства обработки измерительной информации (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 Схема соединения приборов при выполнении работы

Модель УЦОИИ используется для моделирования следующих процессов:

- автоматический сбор измерительной информации от цифрового мультиметра;
- цифровая обработка собранной измерительной информации по заданному закону;
- отображение результатов обработки измерительной информации на экране индикатора.

Модель делителя напряжения используется при моделировании работы делителя с коэффициентом деления $K=1:500$ при классе точности, равном 0,01, входном сопротивлении не менее 1 Мом, выходном не более 1 кОм и возможностью работы в цепях постоянного тока при входном напряжении, не превышающем 100 В.

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR 1_3 .

На рабочем столе автоматически появится страница для выбора числа наблюдений. Самостоятельно или по указанию преподавателя выберите в интервале от 50 до 150 число наблюдений и установите выбранное значение в соответствующем окне (рисунок 3.3). После этого нажмите кнопку «Продолжить». На экране компьютера появится лабораторный стенд со средствами измерений и вспомогательными устройствами (рисунок 3.1) и создайте лабораторный журнал в среде MS Excel. Журнал служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

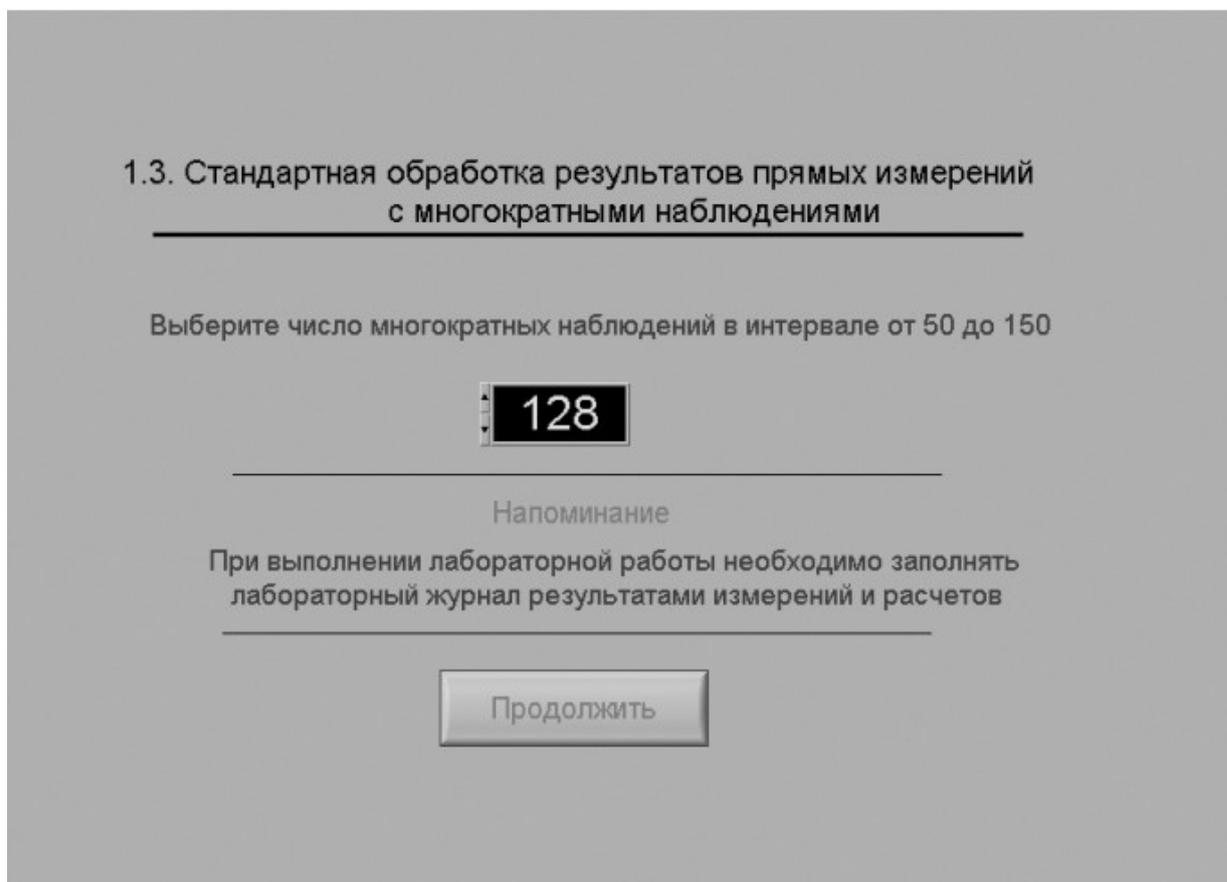


Рисунок 3.3 Вид рабочего стола при выборе числа многократных наблюдений

- 5.2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.
- 5.3. Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение многократных независимых наблюдений в автоматическом режиме.

- a. С помощью регулятора выходного напряжения УИП установите на его выходе напряжение в диапазоне от 1 В до 15 В. Напряжение на выходе делителя напряжения будет, соответственно, в пятьсот раз меньше.
- b. Нажатием на кнопку «Произвести наблюдения» на лицевой панели устройства, запустите режим сбора данных. УЦОИИ начнет получение измерительной информации от цифрового мультиметра, причем, результаты будут, по мере поступления, отображаться на графическом индикаторе устройства.
- c. После окончания сбора данных изучите результаты наблюдений, представленные на графическом индикаторе.

Задание 2. Выполнение автоматизированной стандартной процедуры обработки результатов многократных независимых наблюдений.

- a. Оцените среднее арифметическое и среднее квадратичное отклонение результатов многократных наблюдений для чего:
 - С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Перейти к обработке» запустите режим автоматизированной стандартной обработки ряда наблюдений (УЦОИИ проводит обработку в точном соответствии с методикой, описанной в разделе 2 настоящей работы)
 - Дождитесь появления в окне УЦОИИ результатов обработки, а именно: значения среднего арифметического результатов наблюдений, оценки среднего квадратичного отклонения результатов наблюдений и оценки среднего квадратичного отклонения результата измерения.
 - Запишите в отчет показания УЦОИИ, результаты обработки, а также сведения о классе точности цифрового мультиметра.
- b. Проверьте по критерию Пирсона гипотезу о нормальности закона распределения результатов наблюдений:

- С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Продолжить» запустите режим построения гистограммы (рисунок 3.4). УЦОИИ построит гистограмму, которая будет отображена на его графическом индикаторе. На цифровых индикаторах, расположенных рядом, будут индицироваться минимальный и максимальный из полученных результатов наблюдений, а также количество интервалов разбиения, выбранное для построения гистограммы



Рисунок 3.4 Вид рабочего стола при проверке гипотезы о нормальном распределении по критерию согласия Пирсона

- Продолжите проверку, установив в соответствующих окнах на лицевой панели УЦОИИ, необходимые уровень значимости и число степеней свободы
- С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Проверить» запустите режим вычисления значения χ^2 . УЦОИИ вычислит значение критерия и

отобразит полученный результат в соответствующем окне.

- Сравните вычисленное значение χ^2 с критическим значением и сделайте вывод о справедливости гипотезы, выдвинутой в отношении закона распределения результатов наблюдений.
 - Если гипотезу о законе распределения необходимо отвергнуть, повторите выполнение лабораторной работы.
 - Запишите полученные результаты в отчет.
- с. Найдите доверительные границы случайной погрешности результата измерений:
- С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Продолжить» запустите режим расчета границ случайной погрешности результата измерений (рисунок 3.5).

Вычисление доверительных границ случайной погрешности
результата измерения

Для вычисления доверительных границ выберите доверительную вероятность

Доверительная вероятность

0,950

Вычислить

Количество степеней свободы	Квантиль распределения Стьюдента	Среднее арифметическое результатов наблюдений
127	1,9788	16,5583

Доверительные границы

0,0045

Продолжить

Рисунок 3.5 Вид рабочего стола при вычислении доверительных границ случайной погрешности результата измерения

- Выберите значение доверительной вероятности и

установите его в соответствующем окне на лицевой панели УЦОИИ.

- С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Вычислить» запустите режим вычисления границ случайной погрешности. Устройство при выбранном значении доверительной вероятности вычислит значения квантиля распределения Стьюдента и координаты границ доверительного интервала для случайной погрешности и отобразит полученный результат в соответствующем окне.
 - Запишите полученные результаты в отчет.
- d. С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Продолжить» запустите режим вычисления доверительных границ не исключенного остатка систематической составляющей погрешности и доверительных границ погрешности результата измерений. Запишите полученные результаты в отчет.
- e. С помощью кнопки «Продолжить» перейдите в режим сохранения массива ряда наблюдений и гистограммы. Для сохранения данных дважды введите оригинальные имена файлов и используйте расположенные рядом кнопки «Сохранить». Затем остановите программу при помощи кнопки «СТОП».
- f. Запишите результат измерений в отчет и сохраните отчет с результатами работы под оригинальным именем в виде *****.XLS** файла на дискете.
- g. Дважды повторите измерения согласно п.п. a-f, каждый раз изменяя напряжение на выходе УИП и количество наблюдений.
- 5.6. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерения

- Сведения о характеристиках использованных средств измерений. Необходимые электрические схемы.
- Данные, на основании которых выбирались средства измерений для выполнения каждого из пунктов задания.
- Экспериментальные данные.
- Полностью заполненные таблицы отчета (см. табл. 1.3.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

Таблица 3.1.

Стандартная обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями		
Наименование	Значение	Примечание
Число многократных наблюдений		
Среднее арифметическое результатов наблюдений, мВ		
Оценка среднего квадратического отклонения ряда наблюдений, мВ		
Оценка среднего квадратического отклонения ряда результата измерения, мВ		
Проверка гипотезы о нормальном распределении ряда наблюдений		
Уровень значимости		
Значение критерия согласия Хи-квадрат		
Вывод		
Вычисление доверительных границ погрешности результата измерения		
Критическое значение критерия согласия		
Доверительная вероятность		
Квантиль распределения Стьюдента		
Доверительные границы случайной погрешности, мВ		
Границы неисключенной систематической погрешности, мВ		
Отношение неисключенной систематической погрешности к оценке среднеквадратического отклонения ряда наблюдений		
Доверительные границы результата измерений, мВ		
Результат измерений		

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 В каких случаях проводят измерения с многократными независимыми наблюдениями? Что принимают за результат таких измерений?
- 7.2 Дайте определение следующих понятий: доверительная вероятность, доверительная граница случайной погрешности измерения, промах, неисключенный остаток систематической погрешности измерения.
- 7.3 Что такое доверительный интервал?

- 7.4 Назовите основные числовые характеристики ряда наблюдений.
- 7.5 Когда проводится стандартная процедура обработки результатов измерений с многократными наблюдениями, в чем она заключается?
- 7.6 Чем отличается дисперсия ряда наблюдений от дисперсии результата измерений?
- 7.7 Что такое гистограмма? Зачем и как она строится?
- 7.8 Какие критерии согласия Вы знаете? Для чего они служат?
- 7.9 Как представить результаты измерений с многократными наблюдениями? От чего зависит выбор способа представления результатов?
- 7.10 Как вычислить результирующую погрешность измерений, если на результаты одновременно влияют неисключенный остаток систематической погрешности и случайная составляющая погрешности?
- 7.11 Всегда ли надо учитывать влияние неисключенного остатка систематической погрешности на результат измерений с многократными наблюдениями?
- 7.12 Каким требованиям должен в первую очередь отвечать вольтметр постоянного напряжения, если для измерения постоянного напряжения необходимо использовать многократные наблюдения?
- 7.13 Какие преимущества ВП были использованы при выполнении настоящей работы?

Лабораторная работа № 4

Упрощенная процедура обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с упрощенной процедурой обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями. Получение, применительно к упрощенной процедуре, навыков обработки результатов наблюдений, оценивания погрешностей результатов измерений и планирования количества наблюдений.

2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Измерения с многократными наблюдениями.
- Упрощенный способ обработки и представления результатов прямых измерений с многократными, независимыми наблюдениями при наличии случайной погрешности.
- Правилами суммирования погрешностей.
- Способы получения и представления результатов измерений при наличии нескольких составляющих погрешности.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

3 СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для обработки результатов многократных наблюдений могут быть использованы различные процедуры. Стандартная методика (работа 3) весьма трудоемка, причем, далеко не всегда можно выполнить серию наблюдений, объем которой достаточен для выявления закона распределения случайной составляющей погрешности и применения стандартной методики. Кроме того, если неисключенный остаток систематической погрешности сравнительно велик, выполнение длинной серии наблюдений для максимального уменьшения влияния случайной составляющей погрешности теряет смысл.

Упрощенная процедура обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями применяется, если число наблюдений $n \leq 30$. При использовании этой процедуры за результат измерения также как и всегда принимается среднее арифметическое результатов исправленного ряда наблюдений, которое вычисляют по формуле:

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.1)$$

где x_i – i -й исправленный результат наблюдения, x – среднее арифметическое исправленного ряда наблюдений, n – число результатов наблюдений.

Для расчета среднего квадратического отклонения результата измерения $S(x)$ используется формула:

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (4.2)$$

Среднее квадратичное отклонение $S(x)$ является основной характеристикой размера случайных погрешностей результата измерений.

Для нахождения границ доверительного интервала случайной погрешности измерений в рассматриваемом случае рекомендуется проанализировать априорную информацию об объекте измерений и условиях проведения измерений. Если явно выраженных причин, способных привести к отклонению закона распределения результатов наблюдений от нормального, не выявлено, то доверительные границы находят с помощью квантилей распределения Стьюдента по формулам:

$$x_H = x - t \cdot S(x) \quad (4.3)$$

$$x_B = x + t \cdot S(x), \quad (4.4)$$

где x_H и x_B – соответственно координаты нижней и верхней границ доверительного интервала, t – квантиль распределения Стьюдента. Значения

квантиля в зависимости от числа наблюдений n и доверительной вероятности P_d приведены в Приложении 5. (Таблица П 4.3).

Если на результат измерений оказывает влияние только случайная составляющая погрешности, то этот результат представляют в виде: X ; X_H ; X_V ; P_d .

Часто имеет место ситуация, когда на результат измерений оказывают влияние две составляющие, а именно: погрешность средства измерений и случайная составляющая погрешности, зависящая от внешних факторов. Погрешность средства измерений определяется по его классу точности, а случайная – оценивается с помощью приведенной выше методики. В этом случае при определении результирующей погрешности измерений возникает задача суммирования погрешностей. В теории измерений показывается, что в случае независимых составляющих погрешности справедливо следующее соотношение:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}, \quad (4.5)$$

где Δ_{Σ} – результирующая погрешность, Δ_1 и Δ_2 – составляющие погрешности, причем, если модуль одной из составляющих превышает модуль другой составляющей более чем в 8 раз, то влиянием меньшей составляющей на результирующую погрешность можно пренебречь.

Если доверительная вероятность для погрешности средства измерений не указана, то при расчетах ее можно принимать равной 95%. Результат измерений представляют в виде: $X \pm \Delta_{\Sigma}$; P_d , при этом как уже указывалось, числовое значение результата измерений должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности Δ_{Σ} .

Видно, что по мере того, как количество наблюдений растет, вклад случайной составляющей погрешности в окончательный результат постепенно уменьшается и может настать момент, когда вклад случайной погрешности в общую погрешность измерений станет пренебрежимо мал. Ясно, что в этом случае дальнейшее увеличение количества наблюдений бессмысленно. Таким образом, измерения с многократными наблюдениями оправданы не всегда, а

при их планировании полезно заранее оценить требуемый объем выборки. В противном случае трудоемкость измерений может оказаться неоправданно высокой, а увеличение точности - незначительным.

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера (рисунок 4.1). Оформление стенда, состав оборудования на нем, и порядок работы с ним полностью повторяют вариант, описанный в работе № 3. Схема включения приборов при выполнении работы соответствует показанной на рисунке 3.2.

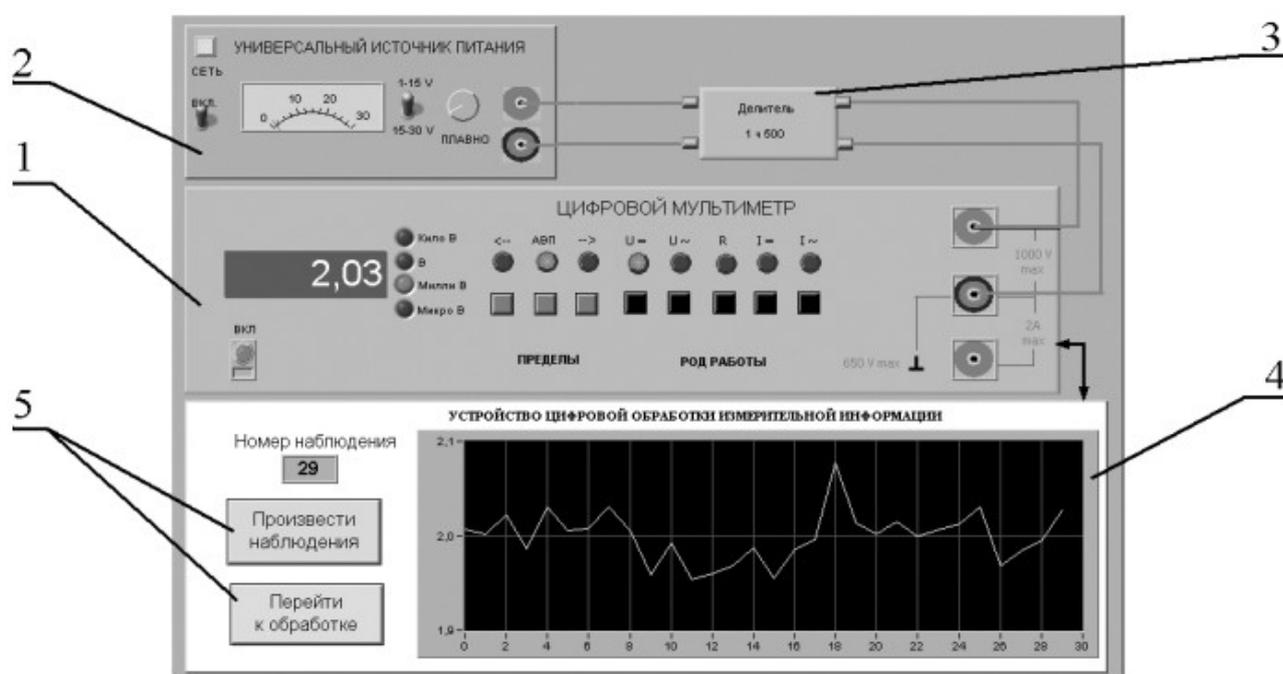


Рисунок 4.1 Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы №1.4 (1-электронный цифровой мультиметр, 2-универсальный источник питания, 3-делитель напряжения, 4-индикатор устройства обработки измерительной информации, 5-элементы управления устройством обработки измерительной информации).

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

5.2 Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR 1_4 .

На рабочем столе автоматически появится страница для выбора числа наблюдений. Самостоятельно или по указанию преподавателя выберите в интервале от 3 до 30 число наблюдений и установите выбранное значение в соответствующем окне (рисунок 4.2). После этого нажмите кнопку «Продолжить». На экране компьютера появится лабораторный стенд со средствами измерений и вспомогательными устройствами (рисунок 4.1) и окно лабораторного журнала, созданного в среде MS Excel. Журнал служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

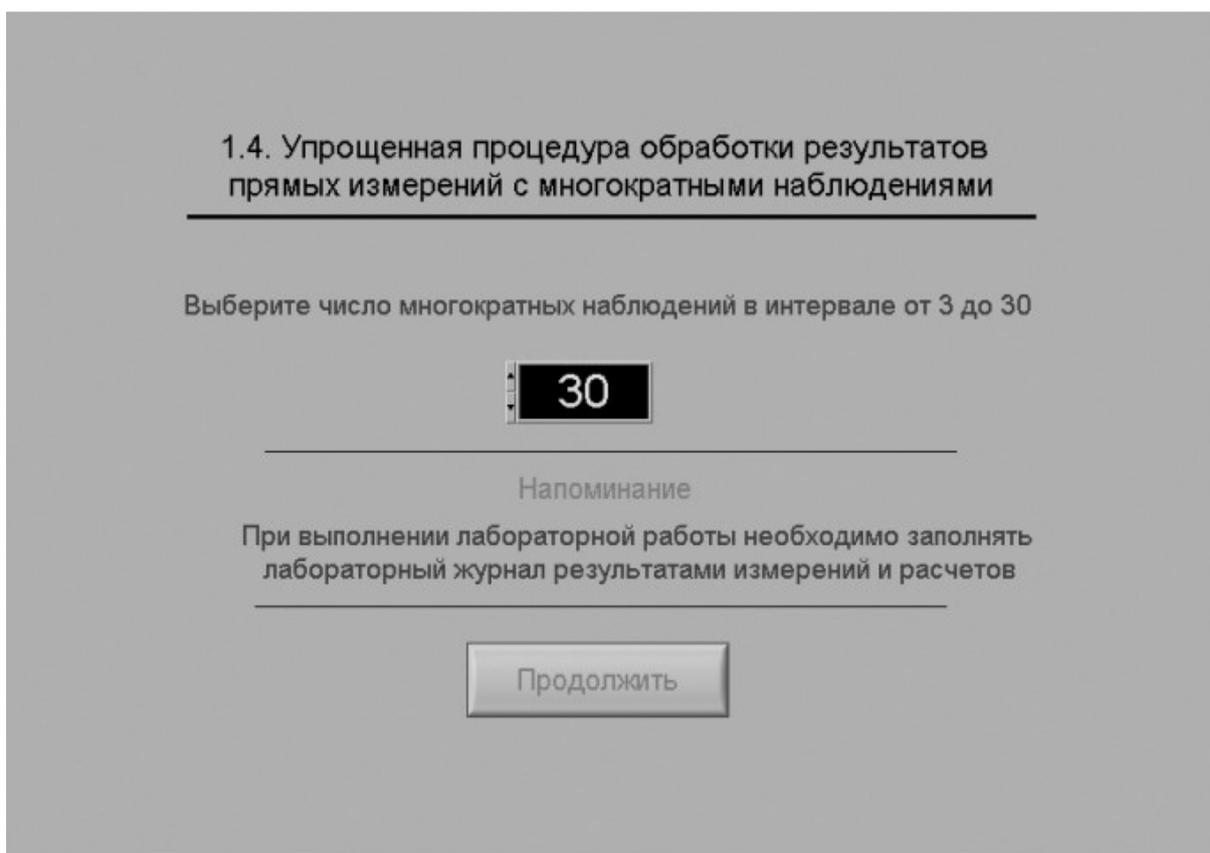


Рисунок 4.2 Вид рабочего стола компьютера при выборе числа многократных наблюдений

- 5.3 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.
- 5.4 Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение многократных независимых наблюдений в автоматическом режиме.

- a. С помощью регулятора выходного напряжения УИП установите на его выходе напряжение в диапазоне от 1 В до 15 В. Напряжение на выходе делителя напряжения будет, соответственно, в пятьсот раз меньше.
- b. Убедитесь, что УЦОИИ запрограммировано на выбранное ранее число наблюдений, после чего, нажатием на кнопку «Произвести наблюдения» на лицевой панели устройства, запустите режим сбора данных. УЦОИИ начнет получение измерительной информации от цифрового мультиметра, причем, результаты будут, по мере поступления, отображаться на графическом индикаторе устройства.
- c. После окончания сбора данных изучите результаты наблюдений, представленные на графическом индикаторе.

Задание 2. Выполнение автоматизированной упрощенной процедуры обработки результатов многократных независимых наблюдений.

- a. Оцените среднее арифметическое и среднее квадратичное отклонение результатов многократных наблюдений для чего:
 - С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Перейти к обработке» запустите режим автоматизированной упрощенной обработки ряда наблюдений (УЦОИИ проводит обработку в точном соответствии с методикой, описанной в разделе 3 настоящей работы).
 - Дождитесь появления в окне УОЦИИ результатов обработки, а именно: значения среднего арифметического результатов наблюдений, оценки среднего квадратичного отклонения результатов наблюдений и оценки среднего квадратичного отклонения среднего арифметического результатов наблюдений.
 - Запишите в отчет показания УЦОИИ, результаты обработки, а также сведения о классе точности цифрового мультиметра.
- b. Найдите доверительные границы случайной погрешности результата измерений, для чего:
 - С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Продолжить» запустите режим расчета границ случайной погрешности результата измерений, в ответ УЦОИИ запросит данные о выбранном значении доверительной вероятности (рисунок 3.4).

- Выберите значение доверительной вероятности и установите его в соответствующем окне на лицевой панели УЦОИИ.
 - С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Вычислить» запустите режим вычисления границ случайной погрешности. УЦОИИ при выбранном значении доверительной вероятности вычислит значения квантиля распределения Стьюдента и координаты границ доверительного интервала для случайной погрешности и отобразит полученный результат в соответствующем окне.
 - Запишите полученные результаты в отчет.
- c. С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Продолжить» запустите режим вычисления инструментальной погрешности и доверительных границ погрешности результата измерений. Запишите полученные результаты в отчет.
- d. С помощью кнопки «Продолжить» перейдите в режим сохранения массива ряда наблюдений. Для сохранения данных введите оригинальное имя файла и используйте расположенную рядом кнопку «Сохранить». Затем остановите программу при помощи кнопки «СТОП».
- e. Запишите результат измерений в отчет и сохраните отчет с результатами работы под оригинальным именем в виде *****.XLS** файла на дискете.
- f. Дважды повторите измерения согласно п.п. а-е, каждый раз изменяя напряжение на выходе УИП и количество наблюдений.

5.5 После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений.
- Необходимые электрические схемы.
- Данные, на основании которых выбирались средства измерений для

выполнения каждого из пунктов задания.

- Экспериментальные данные.
- Полностью заполненные таблицы отчета (таблица 4.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

Таблица .4.1.

Упрощенная процедура обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями		
Наименование	Значение	Примечание
Число многократных наблюдений		
Среднее арифметическое результатов наблюдений, мВ		
Оценка среднего квадратического отклонения ряда наблюдений, мВ		
Оценка среднего квадратического отклонения ряда результата измерения, мВ		
Вычисление доверительных границ погрешности результата измерения		
Доверительная вероятность		
Квантиль распределения Стьюдента		
Доверительные границы, мВ		
Погрешность средства измерений, мВ		
Отношение погрешности средства измерения к доверительной границе		
Доверительные границы результата измерений, мВ		
Результат измерений, мВ		

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 В каких случаях проводят измерения с многократными независимыми наблюдениями? Что принимают за результат таких измерений, если количество наблюдений не превышает тридцати?

7.2 Когда проводится упрощенная процедура обработки результатов измерений с многократными наблюдениями, в чем она заключается?

7.3 Всегда ли для повышения точности результата измерений желательно проводить многократные наблюдения? Как оценить необходимое количество таких наблюдений в отдельно взятой серии?

7.4 Как представить результаты измерений с многократными наблюдениями? От чего зависит выбор способа представления результатов?

7.5 Что такое инструментальная погрешность? Всегда ли она оказывает влияние на результаты измерений? Когда ее влиянием можно пренебречь?

7.6 Как вычислить результирующую погрешность измерений, если на результаты одновременно влияют:

- инструментальная составляющая погрешности и случайная составляющая погрешности?
- Не исключенный остаток систематической погрешности и случайная составляющая погрешности?
- две и более систематических составляющих?

7.7 Какие возможности ВП были использованы при выполнении настоящей работы?

Лабораторная работа № 5

Обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии грубых погрешностей

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с методикой выполнения прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии грубых погрешностей (выбросов). Получение, применительно к этому случаю, навыков обработки результатов наблюдений и оценивания погрешностей результатов измерений.

2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Процедуры обработки результатов наиболее широко используемые в практике прямых измерений с многократными наблюдениями.
- Критерии грубой погрешности. Методы обнаружения и исключения грубых погрешностей.
- Критерии согласия, используемые для проверки принадлежности результатов наблюдений к нормальному закону распределения при малом ($15 < n < 50$) количестве наблюдений.
- Правилами суммирования погрешностей.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

3. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для повышения качества измерений часто выполняют измерения с многократными наблюдениями, т.е. один и тот же оператор несколько раз повторяет однократные измерения в одинаковых условиях, с использованием одного и того же средства и метода измерений.

После получения результатов наблюдений полученные данные обрабатывают, при этом могут быть использованы различные процедуры статистической обработки, например, стандартная или упрощенная методика (работы № 3 и № 4). Одним из условий правомерности статистической обработки

результатов многократных наблюдений является требование однородности выборки, т.е. принадлежности всех членов выборки к одной и той же генеральной совокупности. Иными словами, если в выборке имеются наблюдения, результаты которых явно выходят за границы, обусловленные ходом эксперимента в целом, то результаты этих наблюдений следует из выборки исключить. Такие «чужие» результаты называют выбросами или промахами, а соответствующую погрешность – грубой погрешностью.

В экспериментальной практике поиск «чужого» наблюдения основан на процедуре, которая называется «цензурированием выборки». Цензурирование выборки предполагает использование формальных критериев. Существует целый ряд таких критериев, простейший из которых известен как правило трех сигм.

В соответствии с этим правилом вычисляется оценка среднеквадратического отклонения результата измерения:

$$S(X) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5.1)$$

где x_i – i -й исправленный результат наблюдения, \bar{x} – среднее арифметическое исправленного ряда наблюдений, n – число результатов наблюдений. Далее граница цензурирования назначается в виде $x_{гр} - \bar{x} = 3S(X)$, после чего все

$x_{гр} - \bar{x} \geq 3S(X)$ признаются промахами (выбросами) и удаляются из дальнейших расчетов. Это правило удобно и просто, но является слишком «жестким», поэтому при его использовании есть опасность удалить из выборки правомерный результат.

Существует более квалифицированный критерий, согласно которому проверяется гипотеза о том, что сомнительный результат наблюдения x_i не содержит грубой погрешности. Сомнительными в первую очередь являются наибольший x_{\max} или наименьший x_{\min} из результатов наблюдений.

Поэтому для проверки гипотезы пользуются статистикой $v = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S_x}$ или

$$V = \frac{X - X_{\min}}{S_x}, \quad \text{где} \quad S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad - \quad \text{оценка среднего}$$

квадратического отклонения ряда наблюдений. Соответствующие функции распределения совпадают между собой и протабулированы для нормального закона распределения результатов наблюдений (см. Приложении 4, Таблица П 4.4).

При заданной доверительной вероятности $P_d = \alpha$ или уровне значимости $q = 1 - \alpha$ можно найти те наибольшие значения V_q , которые случайная величина V в принципе может принять по совершенно случайным причинам. Таким образом, если вычисленное по опытным данным значение V окажется меньше V_q , то принимается гипотеза об однородности ряда наблюдений, в противном случае эту гипотезу отвергают, как противоречащую экспериментальным данным. Если ряд наблюдений неоднороден, то результат X_{\max} или соответственно X_{\min} рассматривают как содержащий грубую погрешность и из дальнейшего рассмотрения исключают. Отметим, что в $q = 1 - \alpha$ доле случаев из ста мы можем допустить ошибку первого рода, т.е. принять за неоднородную выборку, которая на самом деле является однородной. Важно, что удалять промахи из выборки более одного раза не рекомендуется. После удаления промахов обработка результатов наблюдений ведется обычным образом (работы № 3 и № 4).

Следует особо упомянуть о том, что упомянутые критерии грубых погрешностей работают только при условии, если распределение результатов наблюдений подчиняется нормальному закону. При небольшом числе наблюдений $15 < n < 50$ критерий Пирсона не работает и для проверки гипотезы о принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению можно использовать тот факт, что и коэффициент асимметрии и эксцесс для нормального распределения равны нулю. Эмпирическая оценка Γ_1 коэффициента асимметрии находится по формуле:

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^3}{n \cdot S_x^3} \quad (5.2)$$

Эмпирическая оценка Γ_2 эксцесса находится по формуле:

$$\Gamma_2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^4}{n \cdot S_x^4} - 3 \quad (5.3)$$

Степень рассеяния для величин Γ_1 и Γ_2 может быть приближенно оценена путем сравнения с оценкой среднего квадратического отклонения коэффициентов асимметрии σ_{Γ_1} и эксцесса σ_{Γ_2} :

$$\sigma_{\Gamma_1} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}} \quad (5.4)$$

$$\sigma_{\Gamma_2} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}} \quad (5.5)$$

Распределение считают нормальным, если одновременно выполняются соотношения:

$$\Gamma_1 < 3\sigma_{\Gamma_1} \quad (5.6)$$

$$\Gamma_2 < 3\sigma_{\Gamma_2} \quad (5.7)$$

В случае если число результатов наблюдений $n \leq 15$, принадлежность их к нормальному распределению с помощью критериев согласия не проверяют.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера (рисунок 5.1).

Оформление стенда, состав оборудования на нем и порядок работы с ним полностью повторяют вариант, описанный в работе № 3. Схема включения приборов при выполнении работы изображена на рисунке 3.2.

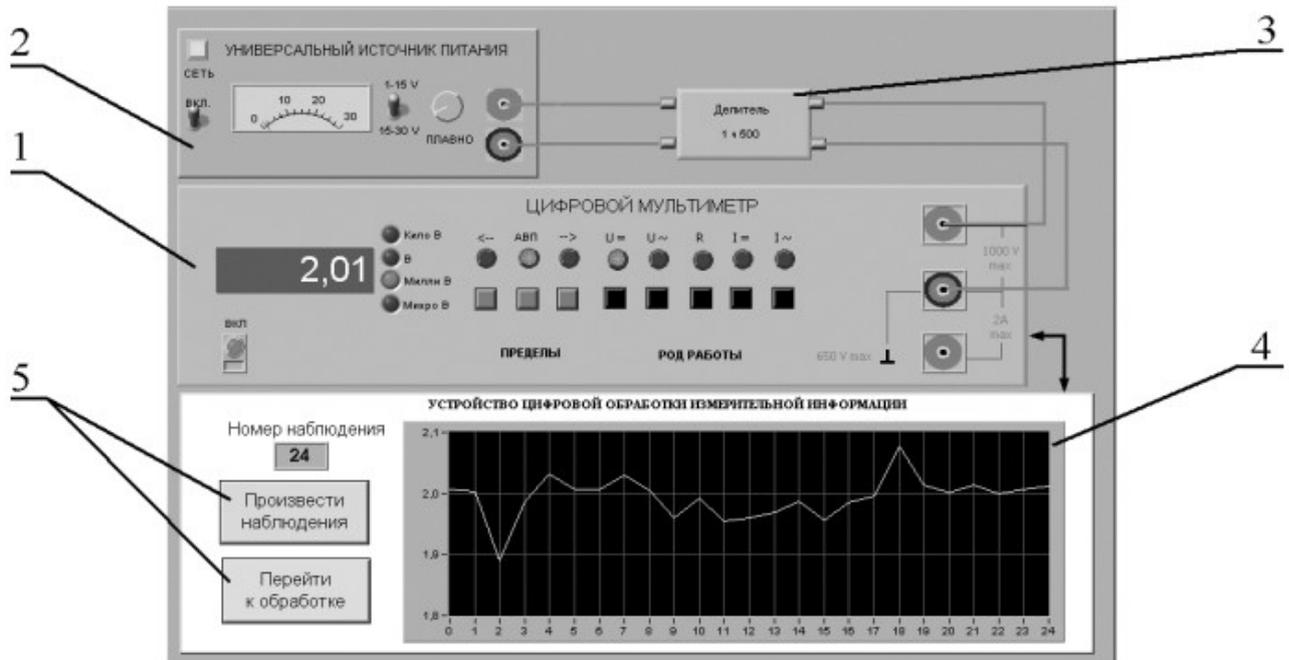


Рисунок 5.1 Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 5

(1-электронный цифровой мультиметр, 2-универсальный источник питания, 3-делитель напряжения, 4-индикатор устройства обработки измерительной информации, 5-элементы управления устройством обработки измерительной информации).

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

5.2 Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR 1_5. На рабочем столе автоматически появится страница для выбора числа наблюдений. Самостоятельно или по указанию преподавателя выберите в интервале от 15 до 25 число наблюдений и установите выбранное значение в соответствующем окне (рисунок 5.2). После этого нажмите кнопку «Продолжить». На экране компьютера появится лабораторный стенд со средствами измерений и вспомогательными устройствами (рисунок 5.1) и окно лабораторного журнала, созданного в среде MS Excel. Журнал служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

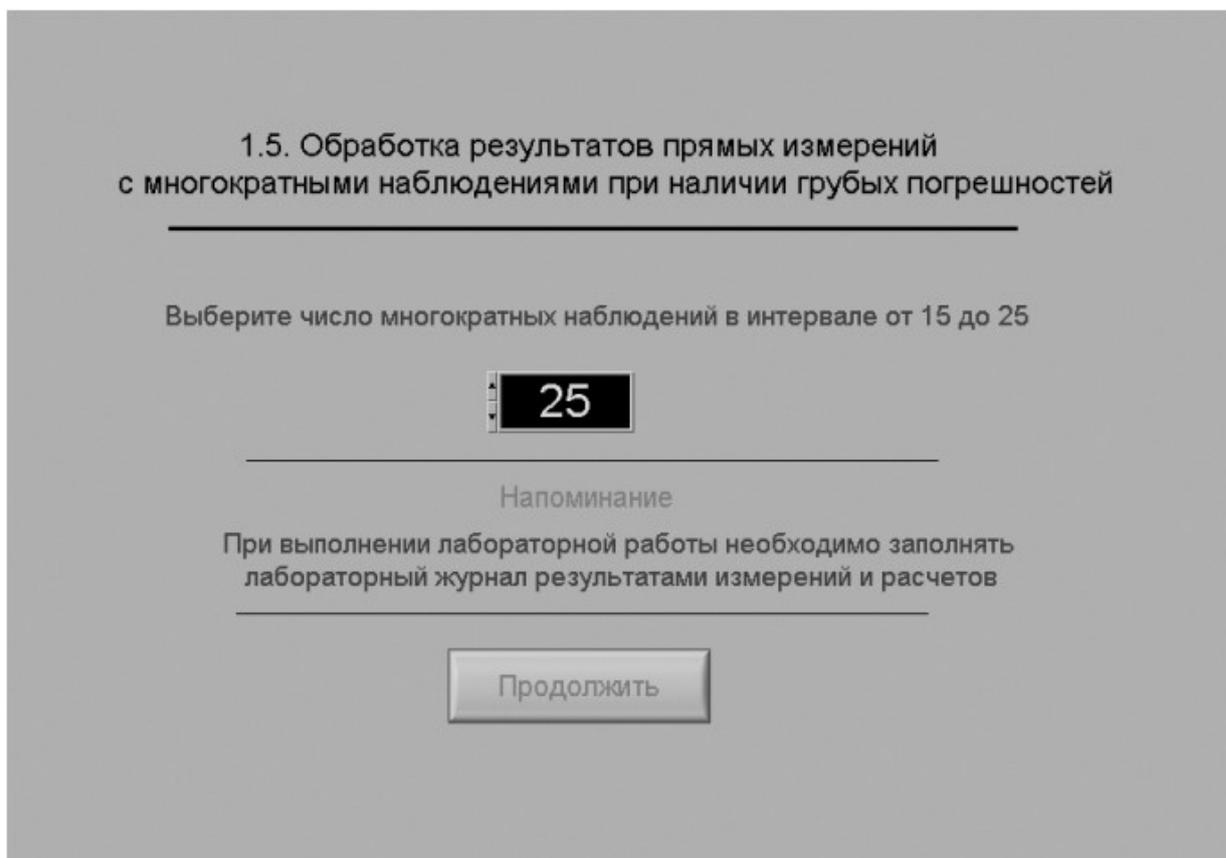


Рисунок 5.2 Вид рабочего стола при выборе числа многократных наблюдений

- 5.3 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.
- 5.4 Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение многократных независимых наблюдений в автоматическом режиме.

- а. С помощью регулятора выходного напряжения УИП установите на его выходе напряжение в диапазоне от 1 В до 15 В. Напряжение на выходе делителя напряжения будет, соответственно, в пятьсот раз меньше.
- б. Убедитесь, что УЦОИИ запрограммировано на выбранное ранее число наблюдений, после чего, нажатием на кнопку «Произвести наблюдения» на лицевой панели устройства, запустите режим сбора данных. УЦОИИ начнет получение измерительной информации от цифрового мультиметра, причем, результаты будут, по мере поступления, отображаться на графическом индикаторе устройства.
- с. После окончания сбора данных изучите результаты наблюдений,

представленные на графическом индикаторе.

Задание 2. Выполнение автоматизированной процедуры исключения результатов многократных независимых наблюдений, содержащих грубые погрешности.

- а. Проверьте гипотезу об отсутствии среди полученных результатов наблюдений грубой погрешности, для чего:
- Выберите уровень значимости для проверки гипотезы и установите его в соответствующем окне на лицевой панели УЦОИИ.
 - С помощью расположенной на лицевой панели УЦОИИ кнопки «Перейти к обработке» запустите режим автоматизированной обработки ряда наблюдений (УЦОИИ проводит обработку в точном соответствии с методикой, описанной в разделе 3 настоящей работы).

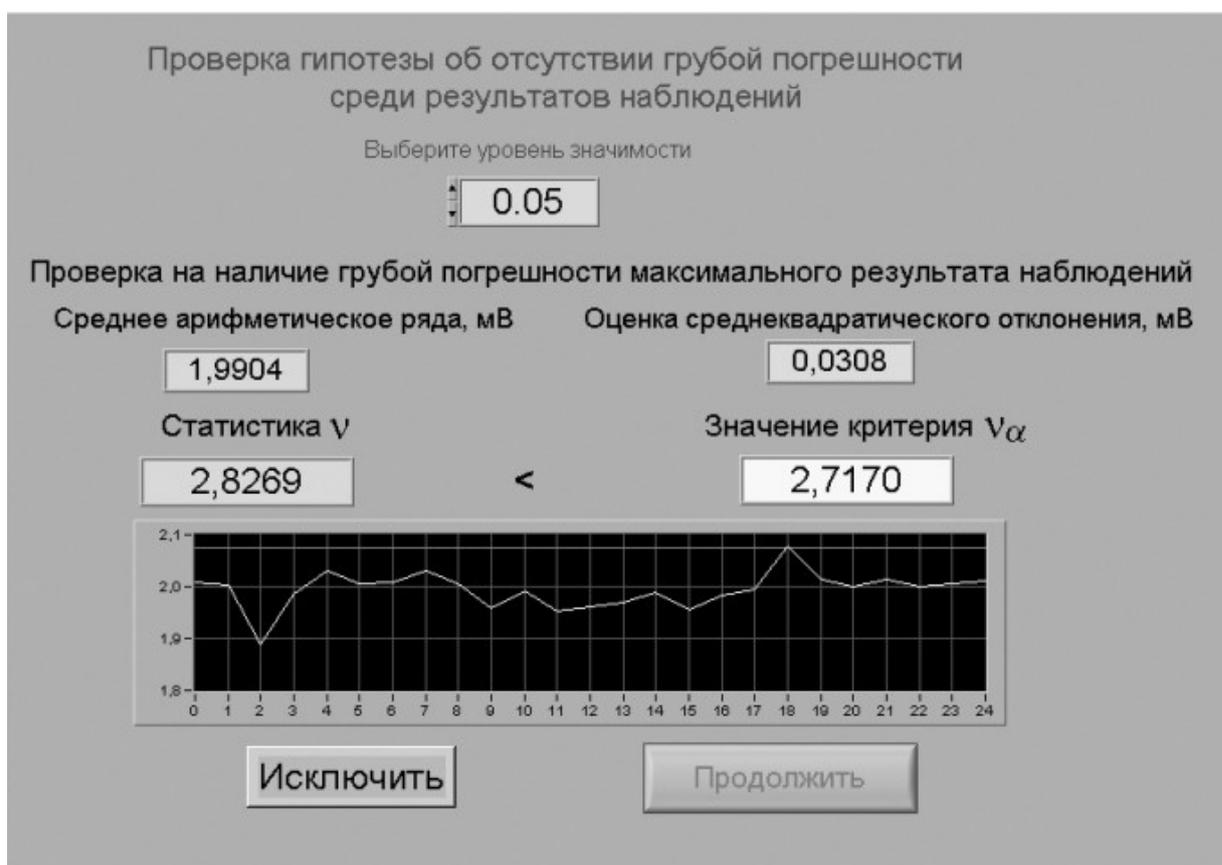


Рисунок 5.3 Вид рабочего стола при проверке гипотезы об отсутствии грубой погрешности среди результатов наблюдений

- Дождитесь появления в окне УЦОИИ результатов обработки, а

именно: значения среднего арифметического результатов наблюдений, оценки среднего квадратического отклонения результатов наблюдений, статистики V и значения критерия V_α (рисунок 5.3). Если значение статистики V оказывается меньше значения критерия V_α , то максимальное значение ряда наблюдений не содержит грубой погрешности.

- При наличии грубой погрешности нажмите кнопку «Исключить». В результате максимальное значение будет исключено из ряда и среднее арифметическое, оценка среднего квадратического отклонения ряда наблюдений и статистика V будут рассчитаны заново.
- Запишите полученные результаты в отчет и нажмите кнопку «Продолжить».

б. Повторите процедуру, описанную в пункте а, для минимального из полученных результатов наблюдений.

Проверка принадлежности результатов наблюдений
к нормальному распределению по критерию
коэффициента асимметрии и эксцесса

Эмпирическая оценка коэффициента асимметрии Γ_1	Оценка среднеквадратического отклонения коэффициента асимметрии σ_{Γ_1}
<input type="text" value="0,5025"/>	<input type="text" value="0,4912"/>
Эмпирическая оценка эксцесса Γ_2	Оценка среднеквадратического отклонения эксцесса σ_{Γ_2}
<input type="text" value="0,7044"/>	<input type="text" value="0,7312"/>

Неравенства

Γ_1	$3\sigma_{\Gamma_1}$	Γ_2	$3\sigma_{\Gamma_2}$
<input type="text" value="0,5025"/>	<input type="text" value="1,4735"/>	<input type="text" value="0,7044"/>	<input type="text" value="2,1936"/>

< <

Рисунок 5.4 Вид рабочего стола при проверке гипотезы о принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению по критерию коэффициента асимметрии и эксцесса

Задание 3. Выполнение автоматизированной процедуры проверки принадлежности результатов многократных независимых наблюдений к нормальному распределению и получение результатов измерения.

- a. На следующей странице осуществляется проверка принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению по критериям коэффициента асимметрии и эксцесса (рисунок 5.4).

Для этого по формулам 5.2 – 5.5 рассчитываются:

- - эмпирическая оценка коэффициента асимметрии Γ_1 ;
- - эмпирическая оценка эксцесса Γ_2 ;
- - оценка среднего квадратического отклонения коэффициента асимметрии σ_{Γ_1} ;
- - оценка среднего квадратического отклонения эксцесса σ_{Γ_2} .

- b. Если неравенства выполняются (см. формулы 5.6 и 5.7), то гипотезу о нормальном распределении следует принять.
- c. Внесите необходимые величины в лабораторный журнал и нажмите кнопку «Продолжить».
- d. На очередной странице программа производит расчет доверительных границ случайной погрешности результата измерений (см. рисунок 3.4). Для определения доверительных границ необходимо выбрать доверительную вероятность и затем нажать кнопку «Вычислить».

Внесите значения доверительной вероятности, квантиля распределения Стьюдента и доверительные границы случайной погрешности в лабораторный журнал и нажмите кнопку «Продолжить».

- e. На следующей странице на основе сведений о погрешности цифрового мультиметра сначала вычисляется инструментальная погрешность. Затем находится отношение погрешности средства измерения к ширине доверительного интервала, после чего находятся доверительные значения погрешности результата измерения. Перечисленные значения должны быть занесены в лабораторный журнал.

- f. С помощью кнопки «Продолжить» перейдите в режим сохранения массива ряда наблюдений. Для сохранения данных введите оригинальное имя файла и используйте расположенную рядом кнопку «Сохранить». Затем остановите программу при помощи кнопки «СТОП».
- g. Запишите результат измерений в отчет и сохраните отчет с результатами работы под оригинальным именем в виде *****.XLS** файла на дискете.
- h. Дважды повторите измерения согласно п.п. а-g, каждый раз изменяя напряжение на выходе УИП и количество наблюдений.

5.6. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений.
- Необходимые электрические схемы.
- Данные, на основании которых выбирались средства измерений для выполнения каждого из пунктов задания.
- Экспериментальные данные.
- Полностью заполненные таблицы отчета (таблица 5.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

Таблица 5.1.

Обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии грубых погрешностей		
Наименование	Значение	Примечание
Число многократных наблюдений		
Проверка на наличие грубой погрешности максимального результата наблюдения		
Уровень значимости		
Среднее арифметическое ряда наблюдений, мВ		При нескольких исключениях вставить данные

Оценка среднеквадратического отклонения ряда наблюдений, мВ		строки необходимое число раз
Статистика		
Значение критерия		
Номер исключаемого результата наблюдений (если исключение необходимо)		
Проверка на наличие грубой погрешности минимального результата наблюдения		
Среднее арифметическое ряда наблюдений, мВ		При нескольких исключениях вставить данные строки необходимое число раз
Оценка среднеквадратического отклонения ряда наблюдений, мВ		
Статистика		
Значение критерия		
Номер исключаемого результата наблюдений (если исключение необходимо)		
Проверка принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению		
Эмпирическая оценка коэффициента асимметрии		
Оценка среднеквадратического отклонения коэффициента асимметрии		
Эмпирическая оценка эксцесса		
Оценка среднеквадратического отклонения эксцесса		
Проверка неравенств		
Вывод о принадлежности ряда наблюдений к нормальному распределению		
Вычисление доверительных границ погрешности результата измерения		
Доверительная вероятность		
Квантиль распределения Стьюдента		
Доверительные границы, мВ		
Погрешность средства измерения, мВ		
Отношение погрешности средства измерения к доверительной границе		
Доверительные границы результата измерений, мВ		
Результат измерений, мВ		

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Что такое грубые погрешности? Как устранить их влияние на результат измерений?
- 7.2 Какие критерии согласия используют при обработке результатов многократных наблюдений, если предполагается наличие грубых погрешностей?
- 7.3 Каковы преимущества и недостатки правила «трех сигм»?
- 7.4 Сколько раз рекомендуется устранять грубые погрешности из выборки?
- 7.5 Как обрабатывают результаты наблюдений после устранения грубых погрешностей?

Лабораторная работа № 6

Обработка и представление результатов прямых измерений при наличии группы равно рассеянных многократных наблюдений.

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с методикой обработки и представления результатов прямых измерений для группы равно рассеянных многократных наблюдений. Получение, применительно к этому случаю, навыков обработки результатов наблюдений и оценивания погрешностей и представления результатов измерений.

2 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Понятие и свойствами равно рассеянных групп наблюдений.
- Способы проверки гипотез о равенстве дисперсий и равенстве математических ожиданий, используемые при обработке равно рассеянных групп независимых наблюдений.
- Процедуры обработки и представления результатов прямых измерений для группы равно рассеянных многократных, независимых наблюдений.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении настоящей работы.

3 СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В практике измерений часто встречаются ситуации, когда в процессе измерений многократные наблюдения проводятся несколькими сериями. При этом перед каждой серией наблюдений зачастую приходится заново настраивать измерительную аппаратуру, от серии к серии могут меняться параметры внешней среды и т.д.

В этом случае мы получаем k групп по n_j ($j=1, 2, \dots, k$) результатов наблюдений в каждой. Группы наблюдений называются равно рассеянными, если оценки среднего

арифметического $\bar{x}_j = \frac{1}{n_j} \sum_i x_{ij}$ и оценки дисперсии для ряда наблюдений

$$S_{jx}^2 = \frac{\sum_i (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n_j - 1}$$

во всех группах статистически одинаковы, т.е. являются

оценками одного и того же истинного значения измеряемой величины и одной и той же дисперсии результатов наблюдений для генеральной совокупности.

Если группы результатов наблюдений являются равно-рассеянными, их можно объединить в один ряд и обрабатывать по правилам, описанным в работах № 3,4 и 5, учитывая, что общее количество результатов наблюдений в этом объединенном ряду окажется равным сумме количеств результатов наблюдений в каждой группе.

Равно рассеянность групп наблюдений проверяется методами математической статистики, известными под общим названием дисперсионного анализа.

Для проверки равно рассеянности дисперсий, вычисленных по данным нескольких выборок, выдвигается гипотеза, что эти дисперсии статистически неразличимы, при этом конкурирующая гипотеза состоит в обратном утверждении, т.е. что эти дисперсии статистически значимо отличаются друг от друга.

Для сравнения дисперсий используется F – критерий Фишера. Если при выбранном уровне значимости α (уровень значимости при проверке гипотезы, выбирается обычно равным 0,05) окажется, что:

$$F_{\alpha, v_1, v_2} > F = \frac{S_{1x}^2}{S_{2x}^2}, \quad (6.1)$$

где $S_{1x}^2 > S_{2x}^2$, а $v_1 = n_1 - 1$ и $v_2 = n_2 - 1$ – число степеней свободы для 1-ой и 2-ой дисперсии соответственно, то дисперсии считаются статистически неразличимыми, т.е. являются независимыми оценками одной и той же дисперсии. В противном случае $F_{\alpha, v_1, v_2} \leq F$ гипотезу о равенстве

выборочных дисперсий отвергают. Значения F_{α, ν_1, ν_2} распределения Фишера приведены в Приложении 4. (Таблица П 4.5).

Гипотезу о равнорассеянности результатов наблюдений проверяют в два этапа.

1. Вначале проверяется гипотеза о равенстве дисперсий S_j^2 во всех группах наблюдений. Для этого их располагают в вариационный ряд в порядке возрастания $S_1^2 < S_2^2 < \dots < S_{kx}^2$ и проверяют значимость отношения $\frac{S_{kx}^2}{S_{1x}^2}$.

Если это отношение незначимо, то незначимы и все остальные. Тогда гипотеза о том, что рассеяние результатов наблюдений относительно средних значений во всех группах статистически одинаково принимается. В противном случае признается, что дисперсии S_1^2 и S_{kx}^2 статистически отличны друг от друга и проверяется значимость отношений других дисперсий из вариационного ряда.

2. При равенстве дисперсий в группах проверяется гипотеза о равенстве в них математических ожиданий. Эта гипотеза может быть проверена несколькими методами. В частности, при нормальном распределении результатов наблюдений равенство математических ожиданий можно проверять попарно с помощью критерия Стьюдента.

В этом случае вычисляется величина:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1 + n_2} \left(\frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2} \right)}} \quad (1.6.2)$$

Если при выбранном уровне доверительной вероятности P_d (доверительная вероятность при проверке гипотезы выбирается обычно равной 95%) окажется, что $t_{1-\alpha/2} < t_p$, где t_p выбирается по таблице t – распределения Стьюдента при числе степеней свободы, равном $\nu = n_1 + n_2 - 2$, то гипотеза о равенстве математических ожиданий принимается.

Если имеется более двух групп результатов наблюдений, причем часть из них

равно рассеянные, а часть нет, то совместную обработку проводят только для первой части результатов наблюдений. Методы обработки неравнорассеянных результатов в данной работе не рассматриваются.

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера (рисунок 6.1). Оформление стенда, состав оборудования на нем и порядок работы с ним в основном повторяют вариант, описанный в работе № 3. Отличие заключается в наличии у цифрового устройства обработки измерительной информации двух индикаторов.

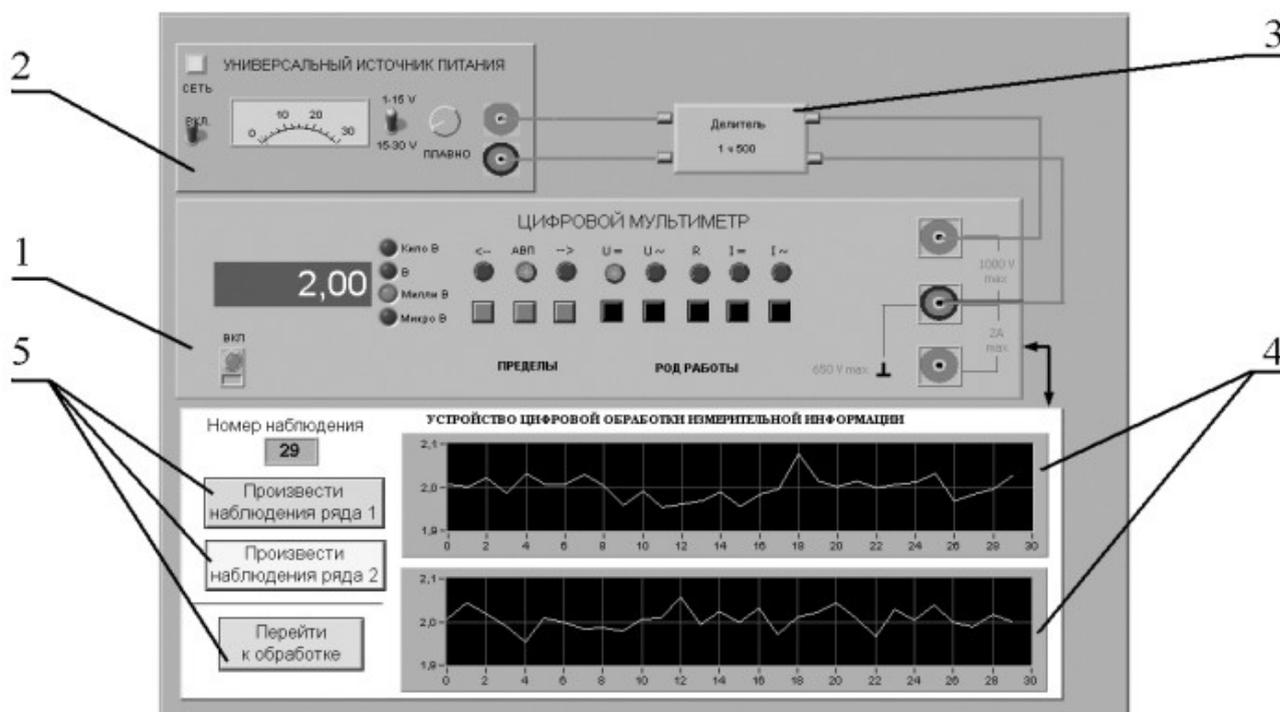
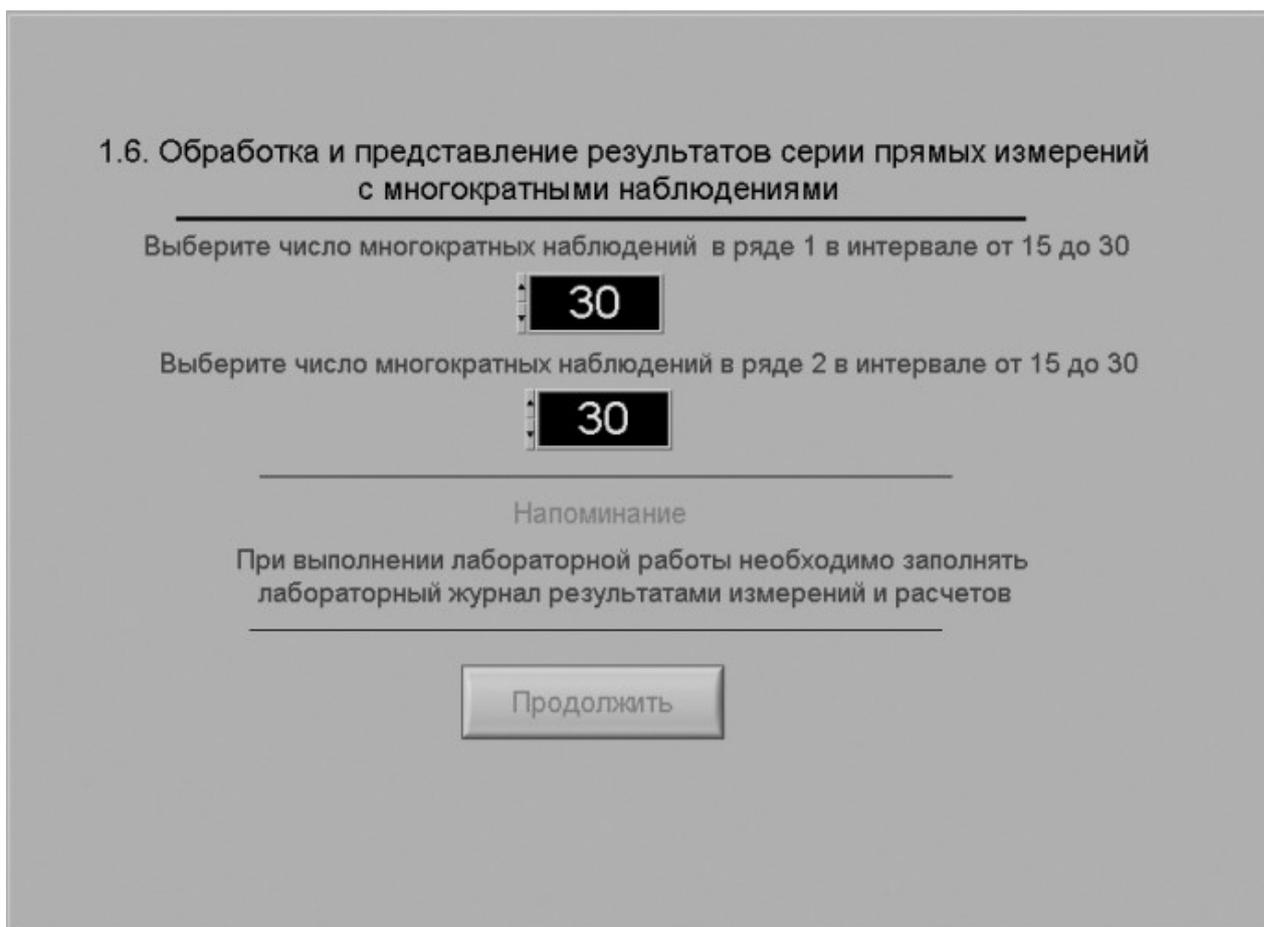


Рисунок 6.1. Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 6 (1-электронный цифровой мультиметр, 2-универсальный источник питания, 3-делитель напряжения, 4-графические индикаторы устройства обработки измерительной информации, 5-элементы управления устройством цифровой обработки измерительной информации).

5 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

5.2 Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу RL 1_6. На рабочем столе автоматически появится страница для выбора числа наблюдений. Самостоятельно или по указанию преподавателя выберите в интервале от 15 до 30 число наблюдений в 1 и во 2 ряде наблюдений и установите выбранные значения в соответствующем окне (рисунок 6.2). После этого нажмите кнопку «Продолжить». На экране компьютера появится лабораторный стенд со средствами измерений и вспомогательными устройствами (Рисунок 6.1) Создайте окно лабораторного журнала в среде MS Excel. Журнал служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.



1.6. Обработка и представление результатов серии прямых измерений с многократными наблюдениями

Выберите число многократных наблюдений в ряде 1 в интервале от 15 до 30

30

Выберите число многократных наблюдений в ряде 2 в интервале от 15 до 30

30

Напоминание

При выполнении лабораторной работы необходимо заполнять лабораторный журнал результатами измерений и расчетов

Продолжить

Рисунок 6.2 Вид рабочего стола при выборе числа многократных наблюдений

5.3 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.

5.4 Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение многократных независимых наблюдений в автоматическом режиме.

а. С помощью регулятора выходного напряжения УИП установите на его выходе напряжение в диапазоне от 1 В до 15 В. Напряжение на выходе делителя напряжения будет, соответственно, в пятьсот раз меньше.

б. Последовательным нажатием на расположенные на лицевой панели устройства кнопки «Произвести наблюдения ряда 1» и «Произвести наблюдения ряда 2», запустите режим сбора данных. УЦОИИ начнет получение измерительной информации от цифрового мультиметра, причем, результаты будут, по мере поступления, отображаться на графических индикаторах устройства.

в. После окончания сбора данных изучите результаты наблюдений, представленные на графических индикаторах.

Задание 2. Проверка гипотезы о равномерности результатов многократных независимых наблюдений.

а. Проверьте гипотезу о равно рассеянности полученных результатов при уровне значимости 0,05 (рисунок 6.3):

- Запустите, нажав на кнопку «Перейти к обработке», режим автоматической упрощенной обработки 2 рядов наблюдений (обработка проводится в точном соответствии с методикой, описанной в разделе 3 настоящей работы).
- Используя дисперсионное отношение (6.1) и статистику t_{1-2} (6.2) проверьте гипотезу о равно рассеянности результатов
- Внесите полученные результаты в отчет.

Задание 3. Обработка объединенных результатов многократных независимых наблюдений.

Проверка гипотезы о равнорасеянности двух рядов
при доверительной вероятности 0,95

Среднее арифметическое ряда наблюдений 1, мВ	1,9995	Среднее арифметическое ряда наблюдений 2, мВ	2,0063
Оценка среднеквадратического отклонения ряда 1, мВ	0,0270	Оценка среднеквадратического отклонения ряда 2, мВ	0,0243
Дисперсионное отношение	1,2295	Значение критерия Фишера	1,8608
Статистика t_{1-2}	1,0257	Значение критерия Стьюдента	1,6725

<
<
 t_{α}

Объединить ряды

Продолжить

Рисунок 6.3 Вид рабочего стола при проверке гипотезы о равно рассеянности двух рядов наблюдений

- В случае подтверждения гипотезы о равно рассеянности результатов, полученных при выполнении Задания 1, объедините их в один ряд (для этого следует нажать кнопку «Объединить ряды»). Далее обработка ведется для объединенного ряда. Если гипотеза о равно рассеянности не подтверждается обработка ведется для первого ряда.
- Нажмите кнопку «Продолжить» и проведите стандартную обработку ряда наблюдений, которая подробно описана в лабораторной работе № 1.3, задание 2, в соответствии с которым выполните все действия.
- Аналогично проделайте данную лабораторную работу дважды.

5.6 После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.

- Сведения о характеристиках использованных средств измерений.
- Необходимые электрические схемы.
- Данные, на основании которых выбирались средства измерений для выполнения каждого из пунктов задания.
- Экспериментальные данные.
- Полностью заполненные таблицы отчета (таблица 6.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

Таблица 6.1.

Обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями при наличии группы равнорассеянных результатов		
Наименование	Значение	Примечание
Число многократных наблюдений ряда 1		
Число многократных наблюдений ряда 2		
Проверка гипотезы о равнорассеянности двух рядов при доверительной вероятности 0,95		
Среднее арифметическое ряда наблюдений 1, мВ		
Оценка среднеквадратического отклонения ряда 1, мВ		
Среднее арифметическое ряда наблюдений 2, мВ		
Оценка среднеквадратического отклонения ряда 2, мВ		
Дисперсионное отношение		
Значение критерия Фишера		
Величина t_{1-2}		
Значение критерия Стьюдента		
Вывод о возможности объединения двух рядов наблюдений		
Стандартная обработка ряда наблюдений		
Среднее арифметическое результатов наблюдений		
Оценка среднего квадратического отклонения ряда наблюдений		
Оценка среднего квадратического отклонения ряда результата измерения		
Проверка гипотезы о нормальном распределении ряда наблюдений		
Уровень значимости		
Значение критерия согласия Хи-квадрат		
Вывод		
Вычисление доверительных границ погрешности результата измерения		
Критическое значение критерия согласия		
Доверительная вероятность		
Квантиль распределения Стьюдента		
Доверительные границы случайной погрешности, мВ		
Границы неисключенной систематической погрешности, мВ		
Отношение неисключенной систематической погрешности к оценке среднеквадратического отклонения ряда наблюдений		
Доверительные границы результата измерений, мВ		
Результат измерений, мВ		

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 Что такое равно рассеянность результатов наблюдений?

7.2 Чем отличается дисперсия ряда наблюдений от дисперсии результата измерений? Какие формулы используются для их оценки?

7.3 Какие критерии согласия используются при обработке результатов прямых измерений с многократными наблюдениями? Опишите методику их использования.

7.4 В каких случаях для повышения точности результата измерений полезно совместно обрабатывать результаты нескольких серий независимых многократных наблюдений? Как это делается?

7.5 Всегда ли для повышения точности результата измерений стоит проводить многократные наблюдения? Как оценить желательное количество наблюдений в отдельно взятой серии?

7.6 Выполнено несколько серий независимых наблюдений. Как выявить среди них те, что принадлежат к одной генеральной совокупности?

7.7 Как представить результаты прямых измерений при наличии группы равно рассеянных результатов многократных наблюдений? От чего зависит выбор способа представления результатов?

Лабораторная работа № 7

Определение погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков организации и проведения метрологических работ на примере определения (контроля) погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений.

2 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Сущность и область применения понятий: единство измерений, метрологическая аттестация, поверка средств измерений, метрологические характеристики средств измерений.
- Организация и порядок проведения поверки средств измерений.
- Требованиями к построению, содержанию и изложению методик поверки средств измерений.
- Составление, содержание и порядок применения поверочных схем.
- Способы получения и представления результатов поверки.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 7.1) находятся модели прибора для поверки вольтметров, электронного цифрового мультиметра и устройства управления.

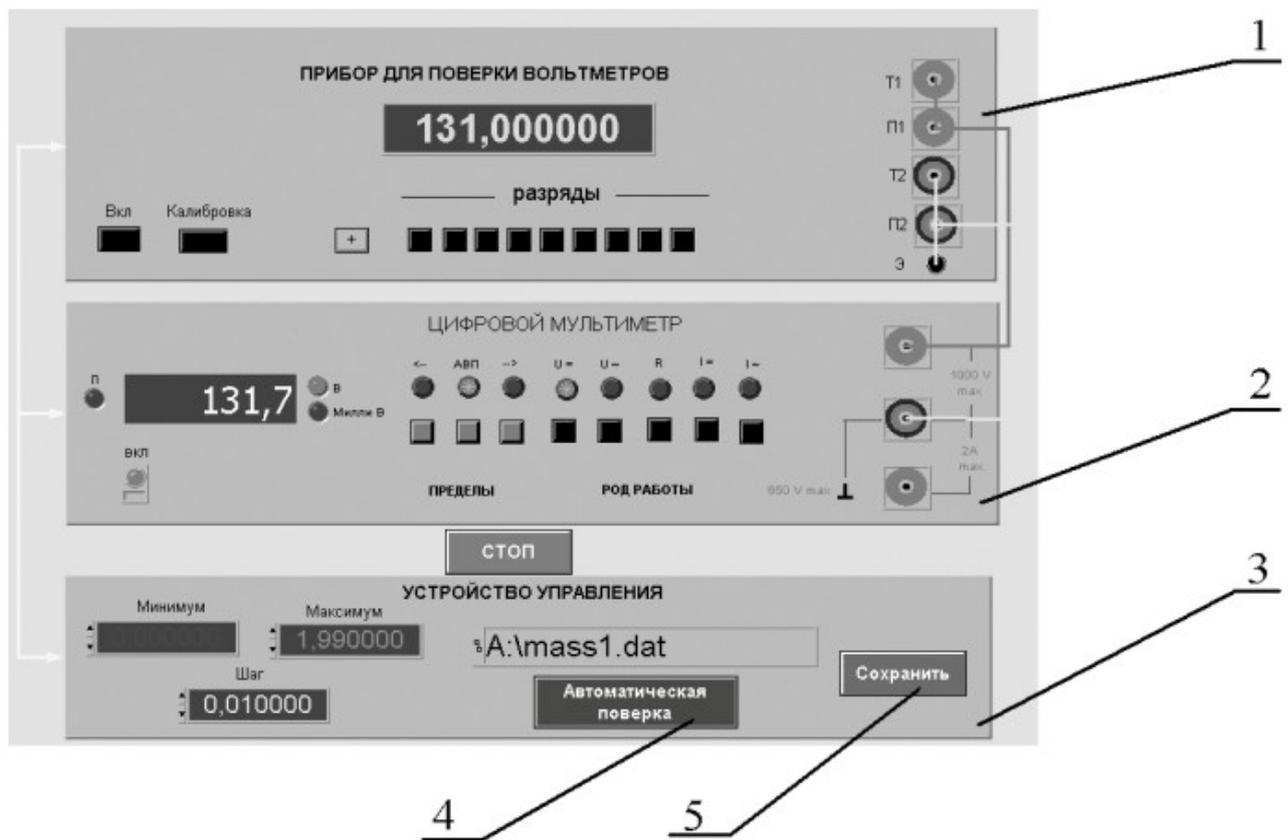


Рисунок 7.1 Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 7 (1-прибор для поверки вольтметров, 2-электронный цифровой мультиметр, 3-устройство управления, 4-кнопка запуска режима автоматической поверки, 5- кнопка запуска режима сохранения экспериментальных данных).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель прибора для поверки вольтметров (ППВ) используется при моделировании работы регулируемой многозначной меры постоянного напряжения с цифровым управлением. При выполнении работы ППВ является образцовым средством измерений, и обеспечивает воспроизведение с высокой точностью значения постоянного напряжения.

Модель электронного цифрового мультиметра (Приложение 1) используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки. В данной работе модель мультиметра играет роль рабочего цифрового вольтметра, погрешность которого подлежит определению.

Модель устройства управления служит для управления работой ППВ и

поверяемого вольтметра, сбора измерительной информации, получаемой в процессе поверки, а также для передачи измерительной информации в компьютер с целью ее сохранения.

Схема соединения ППВ, поверяемого цифрового мультиметра, устройства управления и компьютера показана на рисунке 7.2. Отметим, что в качестве компьютера, изображенного на рисунке, используется персональный компьютер, на котором выполняется работа.

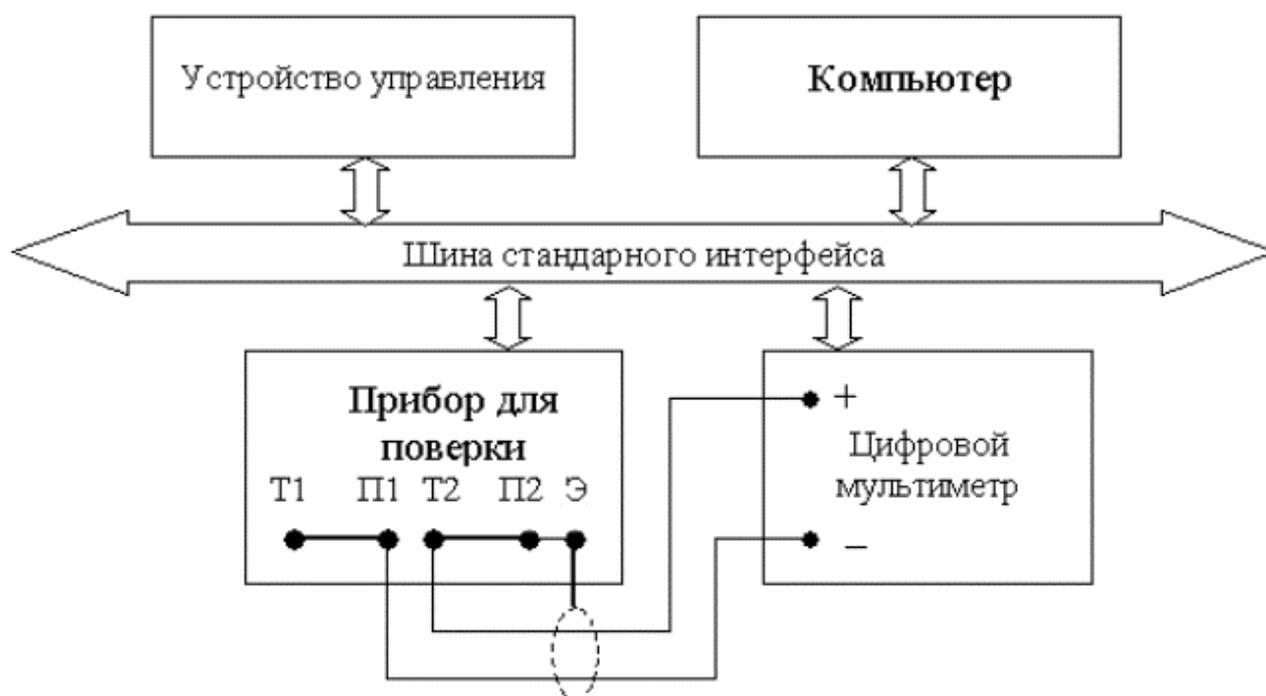


Рисунок 7.2 Схема соединения приборов при выполнении работы 7

4 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

- 4.1 Изучите описание работы, и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.
- 4.2 Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR2_1. На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 7.1) и окно, созданного в среде MS Excel, лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.
- 4.3 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений на рабочем столе и активизируйте их. Опробуйте органы

управления моделями. Изменяя в ручном режиме напряжение на выходе ППВ проследите за изменениями показаний цифрового мультиметра. Поменяйте пределы измерений и вновь проследите за изменениями показаний мультиметра по мере изменения напряжения на выходе ППВ. После того, как Вы убедитесь в работоспособности моделей, выключите их.

4.4 Подготовьте к работе прибор для проверки вольтметров и цифровой мультиметр:

- Включите ППВ, нажав кнопку «Вкл»
- Откалибруйте ППВ, нажав кнопку «Калибровка».
- Включите цифровой мультиметр, нажав кнопку «Вкл».

4.6. Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Определение погрешности цифрового мультиметра в ручном режиме.

- a. Установите на выходе ППВ, используя кнопки «Разряды», напряжение 0,000000 мВ.
- b. Установите предел измерения цифрового вольтметра равным 200мВ.
- c. Последовательно вручную увеличивайте напряжение на выходе ППВ от 0 мВ до 200 мВ с шагом 25 мВ. Измерьте с помощью цифрового вольтметра напряжение на выходе ППВ во всех полученных точках. Полученные данные запишите в лабораторный журнал.
- d. Повторите предыдущий пункт задания с той разницей, что напряжение на выходе ППВ последовательно уменьшайте с шагом 25 мВ от 200 мВ до 0 мВ.
- e. Покажите преподавателю или оцените самостоятельно полученные данные, если они удовлетворительны, сохраните результаты в лабораторном журнале..

Задание 2. Определение погрешности цифрового мультиметра в автоматическом режиме.

- a. Установите с помощью устройства управления минимальное напряжение на выходе ППВ, равным 0,000000 В, а максимальное – 1,990000 В.
- b. Выберите и установите шаг изменения напряжения на выходе ППВ (рекомендуемые значения шага составляют 10 мВ)
- c. Установите предел измерения вольтметра, равным 2 В.

- d. Включите, с помощью расположенной на передней панели устройства управления кнопки «Автоматическая поверка», режим автоматической поверки и наблюдайте за ходом ее выполнения.
- e. Сохраните результаты автоматической поверки, для чего введите имя файла в соответствующий индикатор устройства управления и нажмите кнопку «Сохранить».
- f. Считайте сохраненный файл на отдельный лист MS Excel и изучите полученные данные.

4.7. Сохраните результаты.

4.8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений, включая сведения о возможности применения прибора для поверки вольтметров в качестве образцового средства измерений, для определения (контроля) погрешности цифрового мультиметра.
- Необходимые электрические схемы.
- Экспериментальные данные, включая рекомендации по числу значащих цифр, фиксируемых в протоколе и рекомендации о пределах измерений и показаниях отсчетного устройства, при которых необходимо установить (проконтролировать) погрешность цифрового вольтметра.
- Полностью заполненные таблицы отчета (см. таблицу 7.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей рабочего средства измерений от его показаний, с выделенными на них режимами возрастания и убывания показаний, а также полосами допустимых погрешностей;
- графики зависимостей абсолютной и относительной вариации показаний рабочего средства измерений от его показаний с выделенными на них полосами допустимых погрешностей.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

Таблица 7.1.

Определение (контроль) погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений постоянного напряжения на выходе прибора для поверки вольтметров (ППВ) на пределе _____ В										
Напряжение на выходе ППВ, В	Показания цифрового вольтметра, В		Абсолютная погрешность вольтметра, мВ			Относительная погрешность вольтметра, %			Вариация показаний вольтметра	
			расчет	возрастание	убывание	расчет	возрастание	убывание	абсолютная, мВ	относительная, %
	возрастание	убывание								

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Что такое поверочная схема?
- 7.2 Можно ли на практике для поверки цифрового вольтметра, обладающего метрологическими характеристиками, подобными характеристикам модели, выбрать прибор для поверки вольтметров, с метрологическими характеристиками, аналогичными характеристикам использованной модели?
- 7.3 Как называется метод поверки, если в качестве образцового средства измерений выступает прибор для поверки вольтметров, а в качестве рабочего – цифровой вольтметр?
- 7.4 Назовите основные признаки методики поверки, использованной в работе.
- 7.5 Что является результатом поверки?
- 7.6 Какие средства измерения не подлежат поверке?

Определение погрешности электронного вольтметра методом сличения

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков проведения метрологических работ в процессе определения (контроля) погрешности электронного вольтметра методом сличения.

2 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Сущность и область применения понятий: единство измерений, метрологическая аттестация, поверка средств измерений, метрологические характеристики средств измерений.
- Организация и порядок проведения поверки средств измерений.
- Требованиями к построению, содержанию и изложению методик поверки средств измерений.
- Составление, содержание и порядок применения поверочных схем.
- Способы получения и представления результатов поверки.
- Принцип действия, устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели электромагнитного вольтметра, электронного вольтметра и генератора сигналов (рисунок 8.1).

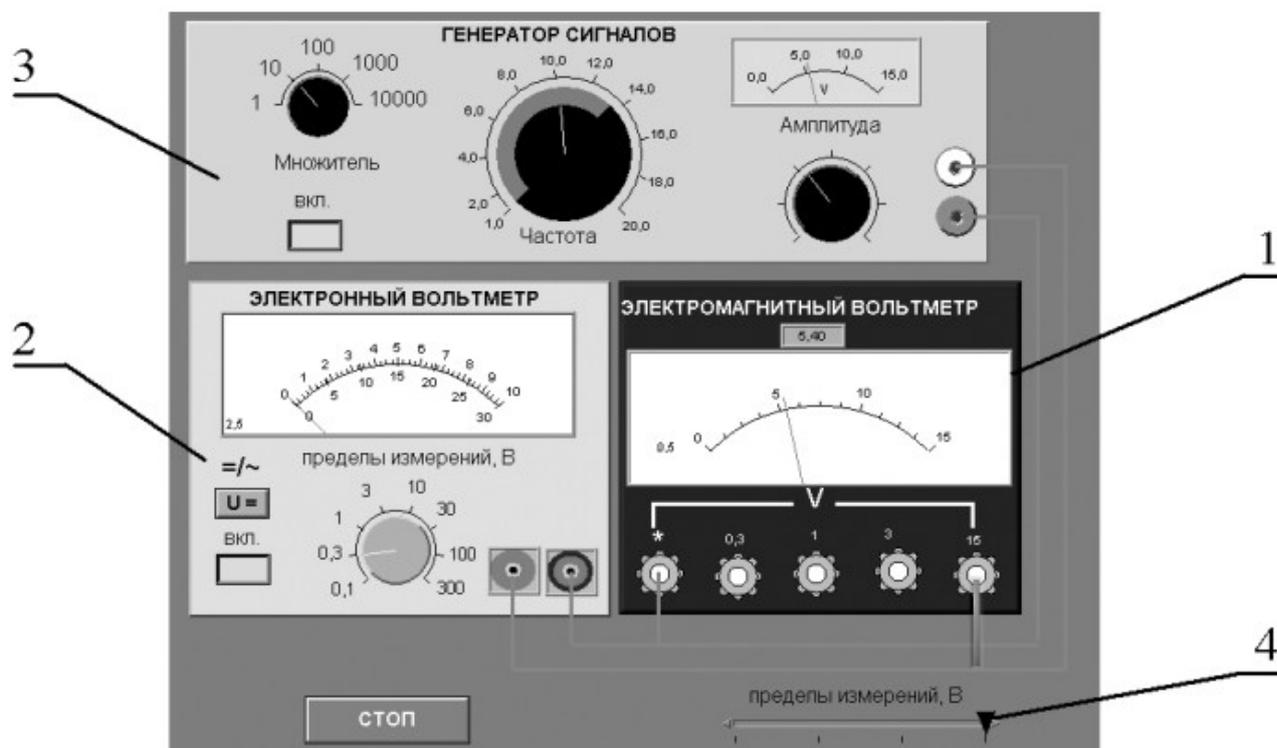


Рисунок 8.1 Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы №8 (1-электромагнитный вольтметр, 2- электронный аналоговый вольтметр, 3- генератор сигналов, 4-ползунковый переключатель).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель электромагнитного вольтметра используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки. При выполнении работы модель электромагнитного вольтметра служит образцовым средством измерений, с помощью которого методом сличения определяется (контролируется) погрешность рабочего средства измерений.

Модель электронного вольтметра с амплитудным детектором используется при моделировании процесса прямых измерений среднеквадратического значения переменного напряжения синусоидальной формы. При выполнении работы модель играет роль рабочего средства измерений, погрешность которого подлежит определению.

Модель генератора сигналов используется при моделировании работы источника переменного электрического напряжения синусоидальной формы с

плавной регулировкой амплитуды и частоты генерируемого сигнала.

Схема соединения приборов при выполнении работы № 8 ясна из рисунка 8.1.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

- 5.1. Изучите описание работы, раздел 2.0 настоящего пособия и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.
- 5.2. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу №2.2 «Определение погрешности цифрового вольтметра методом прямых измерений» в группе работ «Определение погрешности электронного вольтметра методом сличения». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рис. 2.2.1) и окно, созданного в среде MS Excel, лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.
- 5.3. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений на рабочем столе.
- 5.4. Подготовьте к работе модель электродинамического вольтметра, установив с помощью ползункового переключателя предел измерений, равным 15 В.
- 5.5. Подготовьте к работе модель электронного вольтметра:
 - включите модель вольтметра с помощью кнопки «ВКЛ»;
 - с помощью переключателя «~/=» выберите род работы модели, соответствующий измерению переменного напряжения;
 - установите предел измерений вольтметра, равным 10В
- 5.6. Подготовьте к работе модель генератора сигналов:
 - включите модель генератора с помощью кнопки «ВКЛ»;
 - установите, ориентируясь на стрелочный индикатор, амплитуду выходного сигнала, равной нулю;
 - установите частоту выходного сигнала, равной примерно 50Гц.
- 5.7. Опробуйте модели средств измерений. В процессе опробования

плавно изменяйте напряжение на выходе генератора сигналов и следите за показаниями вольтметров. Изменяя диапазон измерений вольтметров, амплитуду и частоту выходного сигнала, проследите за изменениями показаний приборов и убедитесь в их работоспособности.

- 5.8. Приготовьте к работе проверенную на отсутствие вирусов, отформатированную 3,5-дюймовую дискету и вставьте её в дисковод.
- 5.9. Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Измерение переменного электрического напряжения образцовым и рабочим вольтметрами.

- a. Установите амплитуду выходного сигнала генератора сигналов, равной нулю, а частоту выходного сигнала, равной примерно 50 Гц;
- b. Плавно увеличивая выходное напряжение генератора сигналов от нуля до верхнего предела, а затем, плавно уменьшая от верхнего предела до нуля, последовательно останавливайте стрелку электронного вольтметра на каждом оцифрованном делении шкалы и фиксируйте при этом показания электромагнитного вольтметра. Если с первой попытки не удалось зафиксировать стрелку электронного вольтметра напротив оцифрованного деления, повторите попытку, сохраняя выбранное направление подхода (снизу-вверх или сверху-вниз).
- c. Занесите полученные результаты в отчет.
- d. Повторите п.п. а-с задания, выбрав другую частоту переменного напряжения (до 400 Гц) и другой предел измерений вольтметров.

Задание 2. Определение погрешности рабочего вольтметра методом сличения.

- a. Используя полученные экспериментальные данные и сведения о классах точности используемых вольтметров, рассчитайте:
 - Абсолютную и относительную погрешность электронного вольтметра в оцифрованных точках шкалы;
 - Поправки к показаниям электронного вольтметра;
 - Соотношение между фактической и допустимой погрешностями электронного вольтметра.

б. Результаты расчетов запишите в отчет.

5.10. Сохраните результаты.

5.11. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений, включая данные, подтверждающие возможность применения электромагнитного вольтметра в качестве образцового средства измерений, для определения (контроля) погрешности электронного вольтметра.

Таблица 6.1

Определение (контроль) погрешности электронного вольтметра методом сличения с показаниями образцового электродинамического вольтметра при измерении переменного напряжения частотой _____Гц на пределе шкалы _____В.										
Показания образцового вольтметра, В (мВ)	Показания рабочего вольтметра, В (мВ)		Абсолютная погрешность рабочего вольтметра, мВ			Относительная рабочая погрешность вольтметра, %			Вариация показаний рабочего вольтметра	
	возрастание	убывание	расчет	возрастание	убывание	расчет	возрастание	убывание	Абсолютная, В	относительная, %

- Необходимые электрические схемы.
- Экспериментальные данные, включая рекомендации по числу значащих цифр, фиксируемых в протоколе и рекомендации о пределах измерений и показаниях отсчетного устройства, при которых необходимо установить (проконтролировать) погрешность цифрового вольтметра.
- Полностью заполненные таблицы отчета (см. табл. 2.2.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- Графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей рабочего средства измерений от его показаний, с выделенными на них режимами возрастания и убывания показаний, а также полосами допустимых

погрешностей;

- Графики зависимостей абсолютной и относительной вариации показаний рабочего средства измерений от его показаний с выделенными на них полосами допустимых погрешностей.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и результатах проделанной работы.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Что такое поверка и зачем она выполняется?
- 7.2 Дайте определение следующих понятий: погрешность средства измерений, класс точности средства измерений, погрешность поверки.
- 7.3 Каким образом осуществляется передача размера единиц от эталонов образцовым и рабочим средствам измерений?
- 7.4 Что такое эталон, образцовое средство измерений, рабочее средство измерений?
- 7.5 Какими нормативными документами регулируются вопросы организации и проведения поверки, построения и содержания документов по поверке?
- 7.6 Каковы основные требования к построению и содержанию поверочной схемы?
- 7.7 Какие способы поверки существуют? Чем определяется выбор того или иного способа поверки?
- 7.8 Какими критериями необходимо руководствоваться при выборе образцовых средств измерений, с помощью которых поверяются рабочие средства измерений?
- 7.9 Что такое нормальные условия при поверке?
- 7.10 Какими нормами и правилами необходимо руководствоваться при разработке методики поверки?
- 7.11 Можно ли считать операции, выполнявшиеся в работе, поверкой электронного вольтметра? Почему?
- 7.12 Как вычислить погрешность средства измерений?
- 7.13 В каких случаях при поверке приходится вносить поправки в показания образцовых средств измерений?
- 7.14 Как называется метод, использованный в работе, для определения (контроля) погрешностей электронного вольтметра? Почему именно этим методом мы воспользовались?
- 7.15 Каковы принцип работы и устройство электромагнитного и электронного вольтметров? Чем определяется их погрешность?

Измерение силы постоянного электрического тока

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с прямыми и косвенными измерениями силы постоянного электрического тока; получение сведений о способах учета погрешностей измерений в этих случаях; знакомство с некоторыми средствами измерения силы постоянного электрического тока.

2 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Повторите вопросы обработки и представления результатов прямых и косвенных измерений и, используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Методы измерения силы электрического тока.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении силы электрического тока.
- Принцип действия, устройство и метрологические характеристики магнитоэлектрических измерительных приборов.
- Принцип действия, устройство и метрологические характеристики электронных цифровых вольтметров.
- Принцип действия, устройство и метрологические характеристики магнитоэлектрических измерительных приборов.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3 СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Измерение силы постоянного электрического тока заключается в нахождении ее значения и определении полярности.

В случае прямых измерений постоянного электрического тока часто используются магнитоэлектрические амперметры. По сравнению с другими

электромеханическими аналоговыми амперметрами магнитоэлектрические – обеспечивают наивысшую точность измерений (класс точности 0,05 – 2,5) и имеют максимальную чувствительность (минимальный ток полного отклонения лежит в пределах $5 \times 10^{-7} \text{ А} - 10^{-6} \text{ А}$). Диапазон измеряемых токов для магнитоэлектрических амперметров находится в пределах от 10^{-7} А до 50А (при измерении токов больше 0,05А используются внутренние шунты). Для измерения больших постоянных токов (от 50А до нескольких килоампер) используются магнитоэлектрические амперметры и килоамперметры с наружными шунтами. Для измерения малых токов (в пределах от 10^{-5} А до 10^{-12} А) часто используются магнитоэлектрические гальванометры.

Измерение постоянного тока с повышенной точностью производится косвенным образом. Для этого образцовый резистор включается в цепь измеряемого тока и падение напряжения на нем измеряется с помощью компенсатора или высокоточного цифрового вольтметра. Таким же образом (используя преобразование ток-напряжение) работают электронные аналоговые и цифровые амперметры.

Упрощенная схема измерения постоянного тока с помощью магнитоэлектрического амперметра приведена на рисунке 9.1. Как видно, основными частями магнитоэлектрического амперметра являются измерительный механизм (ИМ), обладающий собственным омическим сопротивлением $R_{\text{ИМ}}$ и шунт, включенный параллельно ИМ. Шунт служит для расширения пределов измерения амперметра, его сопротивление $R_{\text{ш}}$ должно

быть меньше сопротивления ИМ, и подбирается так, чтобы $R_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{ИМ}}}{n - 1}$, где

$n = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{ИМ}}}$, $I_{\text{пр}}$ – верхний предел измерений, которого необходимо достичь,

$I_{\text{ИМ}}$ – максимально допустимый ток через ИМ.

Отметим, что ток, протекающий через ИМ магнитоэлектрического амперметра, не может превышать некоторой номинальной величины, которая называется током полного отклонения. Значение силы указанного тока обычно лежит в пределах от 1 мкА до 50 мА.

При измерениях с помощью магнитоэлектрического амперметра реализуются прямые измерения методом непосредственной оценки. Погрешность этих измерений определяется инструментальной погрешностью амперметра и методической погрешностью измерений.

Инструментальная погрешность определяется классом точности, который для магнитоэлектрических вольтметров лежит, как уже указывалось, в пределах от 0,05 до 2,5.

Методическая погрешность зависит от соотношения между собственным омическим сопротивлением $R_{им}$ амперметра, сопротивлением цепи R и внутренним сопротивлением $R_{вн}$ источника ЭДС (рисунок 9.1).
Сопротивление

$R_{им}$ может достигать десятков ом, поэтому при измерениях тока с помощью магнитоэлектрических амперметров методическую погрешность всегда принимают во внимание.

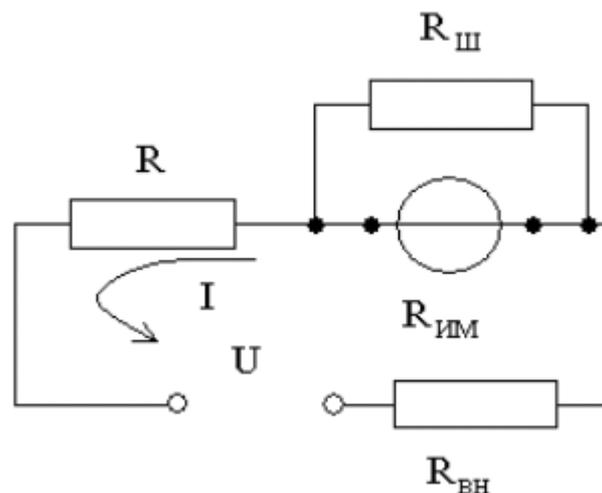


Рисунок 9.1 Схема измерения постоянного тока с помощью магнитоэлектрического амперметра

Применительно к рассматриваемому случаю, найти значение абсолютной методической погрешности можно по формуле:

$$\Delta I = I_{д} \frac{R_{им}}{R_{им} + R_{вн} + R}, \quad (9.1)$$

а относительную методическую погрешность по формуле:

$$\delta I_{\text{отн}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{д}}} = \frac{R_{\text{им}}}{R_{\text{им}} + R_{\text{вн}} + R} \approx \frac{R_{\text{им}}}{R}, \quad (9.2)$$

где $I_{\text{д}}$ – действительное значение измеряемого тока.

Напомним, что при наличии двух независимых источников погрешности: методической $\Delta_{\text{мет}}$ и инструментальной $\Delta_{\text{инст}}$, оценить значение результирующей погрешности можно по формуле:

$$\Delta_{\text{рез}} = \sqrt{\Delta_{\text{мет}}^2 + \Delta_{\text{инс}}^2}. \quad (9.3)$$

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 9.2) находятся модели магнитоэлектрического вольтамперметра, цифрового мультиметра, магазина сопротивлений и УИП.

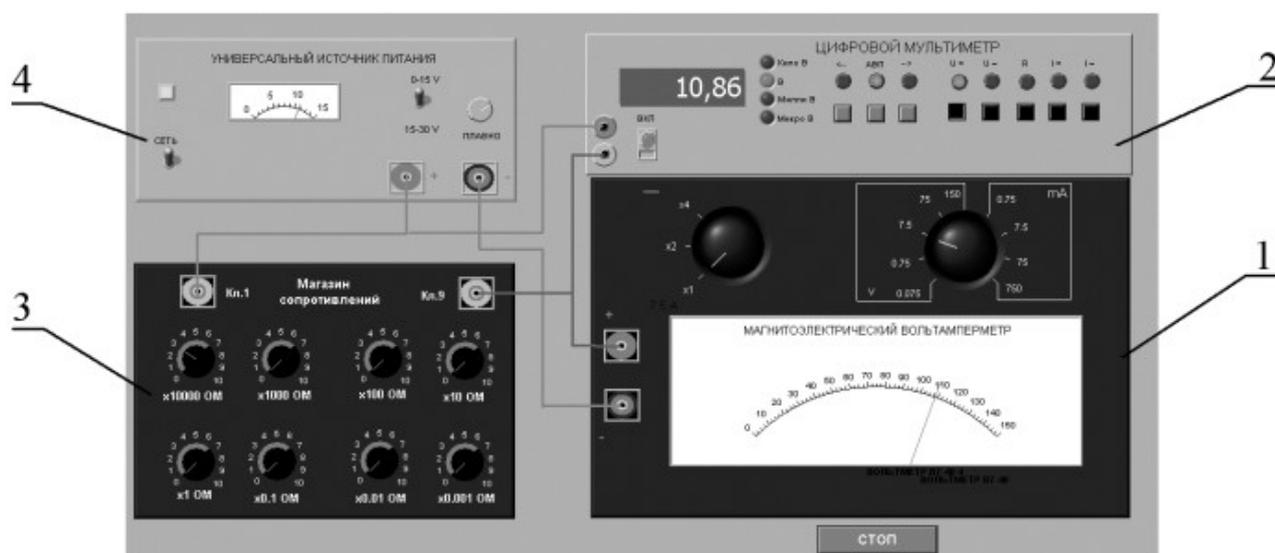


Рисунок 9.2 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы №9 (1-магнитоэлектрический вольтамперметр, 2-электронный цифровой мультиметр, 3-магазин сопротивлений, 4-УИП).

При выполнении работы модели средств измерений используются для решения описанных ниже задач.

Модель магнитоэлектрического милливольтметра (см. Приложение 1) используется в работе как амперметр при моделировании процесса прямых измерений силы постоянного электрического тока методом непосредственной оценки.

Модель электронного цифрового мультиметра (см. Приложение 1) используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного напряжения методом непосредственной оценки. Модель магазина сопротивлений (см. Приложение 1) используется при моделировании работы многозначной меры электрического сопротивления.

Модель УИП (см. Приложение 1) используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения.

Схема соединения приборов при выполнении работы показана на рисунке 9.3.

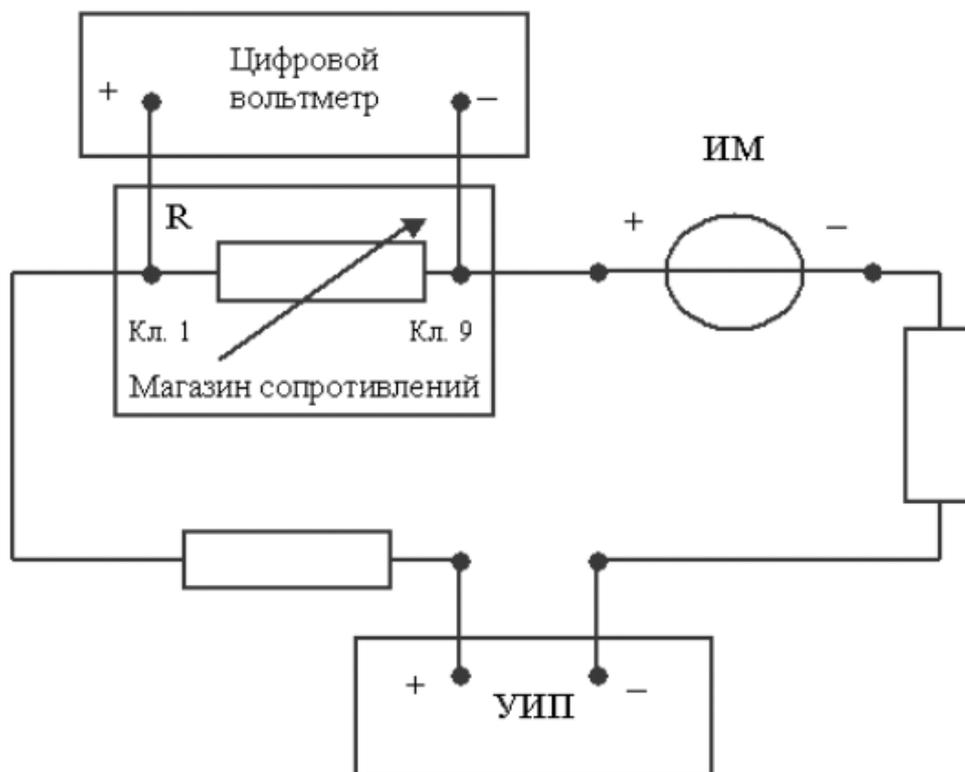


Рисунок 9.3 Схема соединения приборов при выполнении работы №9

5 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1 Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

5.2 Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR3_1. На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 9.2). Создайте в среде MS Excel, лабораторный журнал, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

5.3 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Включите модели средств измерений и опробуйте их органы управления. Плавно изменяя напряжение на выходе УИП, проследите за изменением показаний вольтамперметра и цифрового мультиметра. Поменяйте сопротивление магазина и диапазон измерений амперметра и также проследите за изменениями показаний вольтамперметра и цифрового мультиметра при изменении напряжения на выходе УИП.

5.4 Рассчитайте значение сопротивления R , при котором ток в цепи (рисунок 9.3) составит 15 мА, если напряжение на выходе УИП составит 5В (при расчете учтите внутреннее сопротивление вольтамперметра и УИП).

5.5 Подготовьте к работе модель УИП:

- тумблер переключения поддиапазонов УИП установите в положение «0 – 15 В»;
- включите тумблер «СЕТЬ»;
- с помощью ручки плавной регулировки выходного напряжения установите, ориентируясь на стрелочный индикатор, нулевое напряжение на выходе УИП.

5.6 Подготовьте к работе магазин сопротивлений, установив с помощью восьмидекадного переключателя сопротивление магазина, равным значению, рассчитанному в п. 5.4.

5.7 Подготовьте к работе модель электронного цифрового мультиметра:

- С помощью кнопки «ВКЛ» включите прибор;
- Установите режим измерения постоянного напряжения (на передней панели модели загорится соответствующий красный индикатор);
- Включите автоматический выбор пределов измерения (на передней

панели модели загорится соответствующий красный индикатор).

5.8 Подготовьте к работе модель магнитоэлектрического вольтамперметра:

- Установите переключатель пределов измерений и переключатель множителя пределов в положение, при котором обеспечивается наилучшее качество измерений.
- постепенно повышая напряжение на выходе УИП, добейтесь того, чтобы вольтамперметр показал 15 мА.

5.9 Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Выполните прямые и косвенные измерения силы постоянного электрического тока.

- a. Не изменяя регулировки средств измерений и УИП, установленной в п.п. 5.6 – 5.8, снимите показания средств измерений.
- b. Запишите в отчет показания вольтамперметра, цифрового мультиметра и магазина сопротивлений, тип и класс точности приборов, выбранные диапазоны измерений.
- c. Увеличьте сопротивление магазина до ближайшего значения, кратного ста Ом, снимите и запишите в отчет показания средств измерений;
- d. Продолжите измерения, увеличивая сопротивление магазина от опыта к опыту в два раза, снимая и записывая в отчет показания средств измерений.
- e. Завершите измерения после того, как с увеличением сопротивления цепи прекратится заметное изменение показаний амперметра.

Задание 2. Определить порог чувствительности аналогового амперметра.

- a. Не изменяя регулировки средств измерений и УИП, установленной в конце выполнения предыдущего задания, снимите вновь показания средств измерений.
- b. Запишите в отчет показания вольтамперметра, цифрового мультиметра и магазина сопротивлений, тип и класс точности приборов, выбранные диапазоны измерений.
- c. Постепенно уменьшая сопротивление магазина, определите такое значение сопротивления, при котором начнется заметное (фиксируемое объективно) изменение показаний вольтамперметра.

d. Запишите в отчет соответствующие показания амперметра, цифрового мультиметра и магазина сопротивлений.

e. Выполните измерение силы постоянного электрического тока, соответствующей границам рабочего диапазона измерений вольтамперметра (верхняя граница совпадает с избранным верхним пределом шкалы, нижняя – составляет 1/3 от верхнего предела) и запишите в отчет полученные показания средств измерений

5.11. Сохраните результаты

5.12. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

Таблица 9.1.

Результаты прямых и косвенных измерений силы постоянного электрического тока с помощью магнитоэлектрического амперметра класса _____ точности (предел шкалы _____), цифрового мультиметра класса точности _____ (предел шкалы _____), магазина сопротивлений класса точности _____														
Показания магазина сопротивлений, Ом	Показания амперметра, мА			Абсолютная погрешность прямых измерений силы тока, мА			Относительная погрешность прямых измерений силы тока, %			Результат прямых измерений силы тока, мА	Показания цифрового мультиметра, В (мВ)	Абсолютная погрешность косвенных измерений силы тока, мА	Относительная погрешность косвенных измерений силы тока, %	Результат косвенных измерений силы тока, мА
				методическая	инструментальная	результатирующая	методическая	инструментальная	результатирующая					

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений.
- Необходимые электрические схемы.
- Данные расчетов, проводившихся при выборе средств и диапазонов измерений, при выполнении соответствующих пунктов задания.
- Экспериментальные данные.
- Полностью заполненные таблицы отчета (таблица 9.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.

- Графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей прямых и косвенных измерений силы тока от показаний измерительных приборов.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Требуется измерить постоянный ток, значение которого ориентировочно равно 1 мкА (100 мкА, 10 мА, 500 мА, 10А, 100А). Как это лучше сделать, если требуется минимизировать погрешность?
- 7.2 Каковы основные достоинства и недостатки амперметров с электромеханическими измерительными механизмами?
- 7.3 Каковы основные достоинства и недостатки электронных аналоговых и цифровых амперметров постоянного тока?
- 7.4 В каком диапазоне лежат значения токов полного отклонения магнитоэлектрических механизмов?
- 7.5 Когда при измерениях силы постоянного тока следует использовать метод непосредственной оценки?
- 7.6 Когда при измерениях силы постоянного тока следует использовать косвенный метод измерения?
- 7.7 Чем определяется методическая погрешность косвенных измерений силы постоянного тока при помощи резистора и вольтметра?
- 7.8 Когда при измерении силы постоянного тока амперметром используются наружные шунты?
- 7.9 Какой диапазон значений постоянного тока доступен измерениям при помощи магнитоэлектрических приборов без использования наружных шунтов?
- 7.10 Почему при точных измерениях силы постоянного тока косвенным методом с использованием образцового резистора рекомендуется применять электронный вольтметр?
- 7.11 Каковы типовые классы точности магнитоэлектрических и электронных амперметров постоянного тока?
- 7.12 Как выбрать наиболее подходящий диапазон измерений при использовании аналогового амперметра?
- 7.13 Требуется измерить постоянный ток силой 250 нА (20 мкА, 10 мА, 1А,

100А). Как это лучше сделать?

7.14 Является ли магазин сопротивлений средством измерения?

Лабораторная работа № 10

Измерение мощности постоянного электрического тока

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление со способом измерения мощности постоянного тока при помощи амперметра и вольтметра. Получение сведений о способах учета погрешностей измерений в этом случае.

2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Повторите вопросы обработки и представления результатов прямых и косвенных измерений и, используя рекомендованную литературу, настоящее описание. Ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Методы измерения мощности электрического тока.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении мощности электрического тока.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электродинамических и ферродинамических ваттметров.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики цифровых ваттметров.
- Метод косвенных измерений мощности при помощи амперметра и вольтметра, включая схемы подключения приборов, расчетные формулы для определения мощности и способы расчета погрешности.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока производится электродинамическими и ферродинамическими ваттметрами, кроме того, используются цифровые ваттметры, в которых для нахождения мощности реализована функция перемножения векторов тока и напряжения. В лабораторных условиях электродинамические ваттметры до сих пор

используются чаще других, они выпускаются в виде переносных многопредельных приборов с классом точности 0,1–0,5.

В отсутствие дорогих электродинамических и сложных цифровых ваттметров удобно измерять мощность постоянного тока косвенно – при помощи амперметра и вольтметра. В этом случае для определения искомого значения мощности P сначала находят значение силы постоянного тока I и напряжения U , после чего значение мощности вычисляют по формуле $P=IU$.

При косвенных измерениях электрической мощности возможны две схемы включения приборов (рисунок 10.1.а и 10.1.б). В обоих случаях на результатах измерений сказывается методическая погрешность, обусловленная слиянием внутреннего сопротивления вольтметра и/или амперметра. В схеме, представленной на рисунке 10.1.а, амперметр измеряет не ток нагрузки, а сумму токов нагрузки и вольтметра, в схеме, представленной на рисунке 10.1.б – показания вольтметра определяются не падением напряжения на нагрузке, а суммой падений напряжения на нагрузке и амперметре. Следовательно, в обоих случаях мощность, вычисленная на основании показаний амперметра и вольтметра, будет отличаться от действительного значения P_d . Первую схему лучше использовать, если $R_H \ll R_B$, вторую – если $R_H \gg R_A$, где R_H – сопротивление нагрузки, а R_B и R_A – внутреннее сопротивление вольтметра и амперметра соответственно.

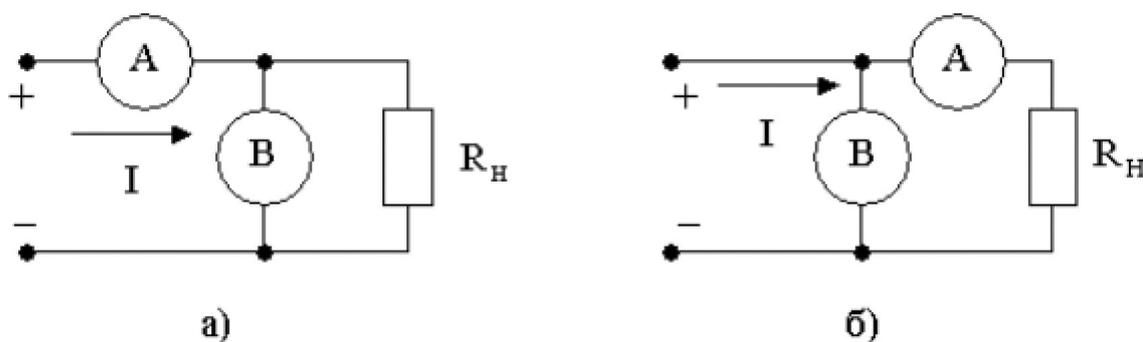


Рисунок 10.1. Различные схемы включения амперметра и вольтметра при измерении мощности постоянного тока

При выполнении косвенных измерений мощности в соответствии с описанной выше процедурой абсолютная методическая погрешность измерений в случае, изображенном на рисунке 10.1.а, вычисляется по формуле:

$$\Delta P_{\text{д}} = P \cdot \frac{R_{\text{н}}^2}{(R_{\text{а}} + R_{\text{н}})^2}, \quad (10.1)$$

а во втором случае по формуле:

$$\Delta P_{\text{д}} = P \cdot \frac{R_{\text{а}}}{R_{\text{а}} + R_{\text{н}}}. \quad (10.2)$$

Косвенные измерения мощности постоянного тока методом амперметра и вольтметра проводят, используя магнитоэлектрические приборы. Инструментальная погрешность этих приборов определяется классом точности, который обычно находится в пределах от 0,5 до 2,5.

Оценка результирующей относительной инструментальной погрешности косвенных измерений мощности электрического тока проводится по формуле:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U}, \quad (10.3)$$

инст

где ΔI и ΔU - абсолютные погрешности измерений силы тока и напряжения, соответственно. Напомним, что при наличии двух независимых источников погрешности, а именно: методической $\Delta_{\text{мет}}$ и инструментальной $\Delta_{\text{инст}}$, оценка результирующей погрешности.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 10.2) находятся 2 модели магнитоэлектрического вольтамперметра, модель магазина сопротивлений, модель УИП и модель КУ.

При выполнении работы модели средств измерений служат для решения описанных ниже задач.

Модели магнитоэлектрических милливольтамперметров используется при моделировании процесса прямых измерений постоянного электрического напряжения и силы постоянного электрического тока методом непосредственной оценки.

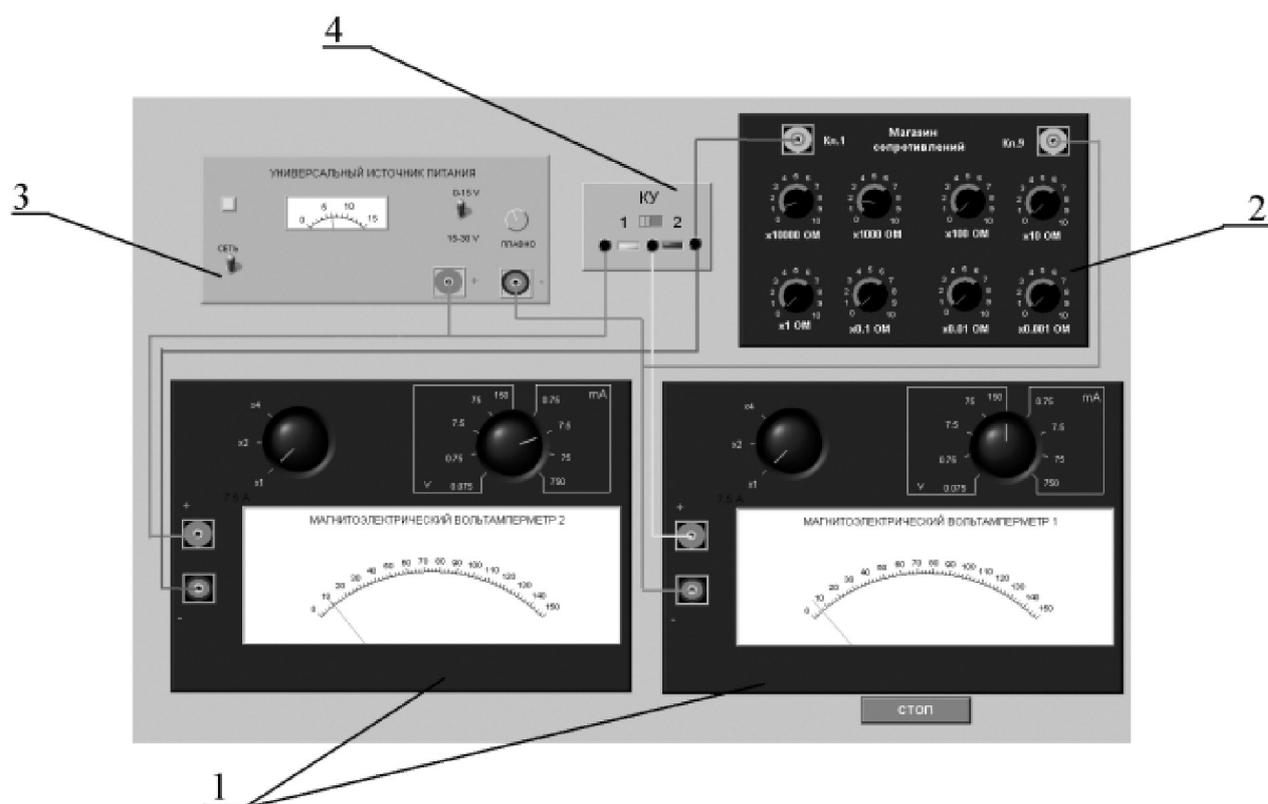


Рисунок 10.2 Вид модели лабораторного стенда

Модель магазина сопротивлений используется при моделировании работы многозначной меры электрического сопротивления.

Модель УИП используется при моделировании работы источника регулируемого стабилизированного напряжения постоянного тока.

Модель коммутационного устройства (КУ) используется для моделирования подключения измерительных приборов к электрической схеме в соответствии со схемами, рассмотренными в разделе 3 настоящей работы. На лицевой панели КУ расположены тумблер «ВКЛ» включения КУ и световые индикаторы выбранной схемы включения.

Схема соединения приборов при выполнении работы показана на рисунке 10.3.

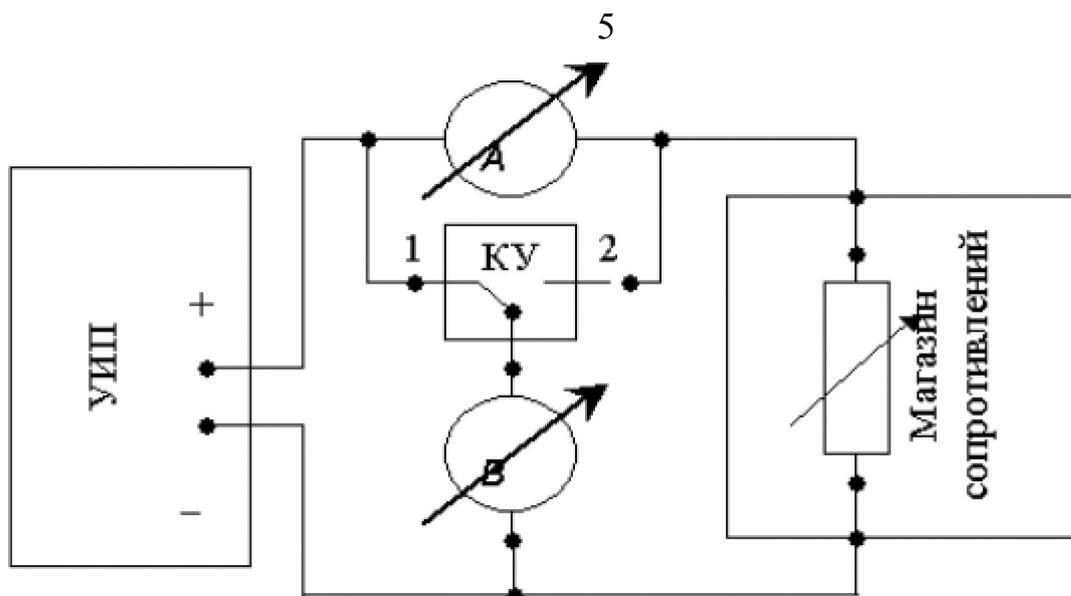


Рисунок 10.3 Схема соединения приборов при выполнении работы

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1. Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

5.2. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 10 «Измерение мощности постоянного электрического тока». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 10.2.) и окно, созданного в среде MS Excel, лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

5.3. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.

5.4. Рассчитайте значение сопротивления R , при котором ток в цепи (рисунок 10.1) составит не более 3А, при напряжении на выходе УИП не более 15В (при расчете учтите внутреннее сопротивление вольтамперметра и УИП).

5.5. Подготовьте к работе модель УИП:

- включите тумблер «СЕТЬ»;
- тумблер переключения поддиапазонов УИП установите в положение «0– 15 В»;
- с помощью ручки плавной регулировки выходного напряжения установите, ориентируясь на стрелочный индикатор, нулевое напряжение на выходе УИП.

5.6. Подготовьте к работе магазин сопротивлений, установив с помощью восьмидекадного переключателя сопротивление магазина, равным значению, рассчитанному в п. 5.4.

5.7. Приготовьте к работе проверенную на отсутствие вирусов, отформатированную 3,5-дюймовую дискету и вставьте её в дисковод.

5.8. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Выполнение косвенных измерений мощности

электрического тока в низкоомных цепях

а. Подготовьте к работе модели магнитоэлектрических вольтамперметров:

- С помощью КУ включите приборы по схеме, изображенной на рисунке 10.1.а.
- Установите сопротивление нагрузки, равным значению, рассчитанному в п. 6.1.
- Установите переключатели пределов измерения и переключатели множителя пределов вольтамперметров в положение, при котором обеспечивается наилучшее качество измерений при токе в нагрузке в пределах 400 – 500 мА.
- Плавно повышая напряжение на выходе УИП, добейтесь того, чтобы показания амперметра установились в диапазоне 400–500 мА.

с. Выполните измерение мощности постоянного электрического тока для случая, когда измерительные приборы включены по схеме, изображенной на рисунке 10.1.а:

- Не изменяя регулировки средств измерений и УИП, установленной в пункте (а) снимите показания средств измерений.
- Запишите в отчет показания вольтамперметров и магазина сопротивлений, тип и класс точности приборов, выбранные диапазоны измерений.
- Увеличьте сопротивление магазина до ближайшего значения, кратного десяти Ом, снимите и запишите в отчет показания средств измерений.
- Запишите показания вольтметра и амперметра в отчет.
- Не меняя напряжения на выходе УИП, продолжите измерения, увеличивая сопротивление магазина в последовательности 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, снимая и записывая в отчет показания средств

измерений.

Задание 2. Выполнение косвенных измерений мощности электрического тока в высокоомных цепях

а. Выполните измерение мощности постоянного электрического тока в цепи при различных значениях сопротивления R для случая, когда измерительные приборы включены по схеме, изображенной на рисунке 10.1.б:

- ▣ Не меняя напряжения на выходе УИП, переключите КУ в положение 2 и установите сопротивление магазина, равным 100 кОм.
- ▣ Снимите показания вольтметра и амперметра. Запишите полученные результаты в отчет.
- ▣ Не меняя напряжения на выходе УИП, продолжите измерения, уменьшая сопротивление магазина в последовательности 100 кОм, 10 кОм, 1 кОм, 100 Ом, 10 Ом, значение, рассчитанное в п. 6.1, снимая и записывая в отчет показания средств измерений.

5.6. **ВНИМАНИЕ:** При выполнении задания изменяйте по необходимости пределы измерений вольтметра и амперметра так, чтобы показания попадали в рабочий диапазон средств измерений. Напомним, что рекомендуется, чтобы показания оказывались как можно ближе к пределу шкалы прибора.

5.7. Сохраните результаты.

5.8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений.
- Необходимые электрические схемы.
- Данные расчетов, проводившихся при выполнении соответствующих пунктов задания.
- Экспериментальные данные.
- Полностью заполненные таблицы отчета, а также

примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.

- Графики зависимости абсолютной и относительной погрешности измерений мощности от сопротивления при различных схемах включения.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

Таблица 3.2.1.

Измерение мощности постоянного тока с помощью магнитоэлектрического амперметра класса _____ точности (предел шкалы _____) и магнитоэлектрического вольтметра класса точности _____ (предел шкалы _____)		

Схема Показания
 Показания
 включения амперметра, вольтметра,
 приборов А (мА) В (мВ) (I
 или II)

Абсолютная погрешность измерений			Относительная погрешность измерений, %			Результат измерений мощности, Вт (мВт)
тока (мА)	напряжения, (мВ).	мощности, (мВт)	тока	напряжения	мощности	

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Требуется измерить мощность постоянного тока, равную ориентировочно 1 Вт (10 Вт, 100 Вт, 1 кВт). Как это лучше сделать, если требуется, чтобы относительная погрешность измерений не превысила 0,5% (10 мВт)?
- 7.2. Какие электромеханические механизмы используются в ваттметрах постоянного тока?
- 7.3. Какая область значений мощности постоянного тока доступна для измерения электромеханическими и электронными ваттметрами?
- 7.4. В каком случае предпочтительно применять электромеханические, а в каком электронные ваттметры постоянного тока? Какова примерная погрешность измерений в этих случаях?
- 7.5. Назовите основные источники погрешности при косвенном измерении мощности постоянного тока.
- 7.6. Какова функция преобразования электродинамического ваттметра?
- 7.7. Исправный электродинамический ваттметр имеет класс точности 0,5 и шкалу от 0 до 100 Вт. Какова максимально возможная относительная погрешность измерения мощности, если прибор показывает 50 Вт?
- 7.8. В каком диапазоне частот можно использовать электродинамический ваттметр?
- 7.9. Сравните точностные характеристики электродинамических и ферродинамических ваттметров.

7.10. Что можно отнести к существенным достоинствам ферродинамических ваттметров?

Лабораторная работа № 11

Измерение постоянного напряжения методом компенсации

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с компенсационным методом измерения постоянного напряжения. Получение сведений о погрешностях измерения напряжения компенсационным методом. Знакомство с компенсаторами (потенциометрами) постоянного тока.

2 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Повторите вопросы обработки и представления результатов прямых и косвенных измерений, а также вопросы классификации измерений по методу их выполнения, и, используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Методы измерения ЭДС и малых постоянных напряжений.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении ЭДС и малых постоянных напряжений.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики компенсаторов (потенциометров) постоянного тока.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики цифровых вольтметров.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики меры ЭДС.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики магазина сопротивлений.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики делителя постоянного напряжения.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При измерении малых постоянных напряжений (менее 10мВ) можно воспользоваться как методом непосредственной оценки, так и методом сравнения с мерой.

При повышенных требованиях к точности измерений (относительная погрешность измерений менее 10^{-4}), используются или компенсаторы (потенциометры) постоянного тока или интегрирующие цифровые вольтметры высокого класса точности.

Высокоточные цифровые вольтметры, подходящие для этого случая, существенно дороже аналогичных по точности потенциометров. Поэтому, если в лабораторных условиях необходимо измерить малое постоянное напряжение с высокой точностью, удобно использовать компенсаторы (потенциометры) постоянного тока.

Компенсаторы (потенциометры) постоянного тока предназначены для измерения методом сравнения с мерой ЭДС, напряжения и величин, функционально с ними связанных. Существует несколько способов (методов) практической реализации метода сравнения с мерой, и все они обеспечивают весьма высокую точность измерений.

При использовании компенсатора (потенциометра) реализуется разновидность метода сравнения, известная как нулевой метод измерений. При использовании этого метода измеряемая величина одновременно или периодически сравнивается с мерой, и результирующий эффект воздействия этих величин на устройство сравнения доводится до нуля. Очевидно, что используемая в нулевом методе мера должна быть изменяемой (регулируемой), а погрешность метода тем меньше, чем выше чувствительность устройства сравнения. Из сказанного ясно, почему нулевой метод известен также под названием компенсационного метода измерений, а соответствующие средства измерений называются компенсаторами. В измерительной технике компенсаторы, служащие для измерения постоянного напряжения, известны также под названием потенциометров, это последнее наименование мы и будем дальше использовать.

При выполнении измерений с помощью потенциометра измеряемая величина, сравнивается с мерой, в качестве которой выступает образцовое компенсирующее напряжение, создаваемое регулируемым источником

образцового напряжения (ИОН). В электрической схеме этот источник включается встречно с источником измеряемого напряжения, который характеризуется напряжением холостого хода U_x и внутренним сопротивлением $R_{вн}$ (рисунок 11.1). В качестве устройства сравнения (нуль-индикатора) служит гальванометр, обладающий высокой чувствительностью. Значение напряжения на выходе ИОН (компенсирующего напряжения) $U_{ком}$ изменяется в процессе измерений до тех пор, пока $U_{ком}$ не уравнивает U_x .

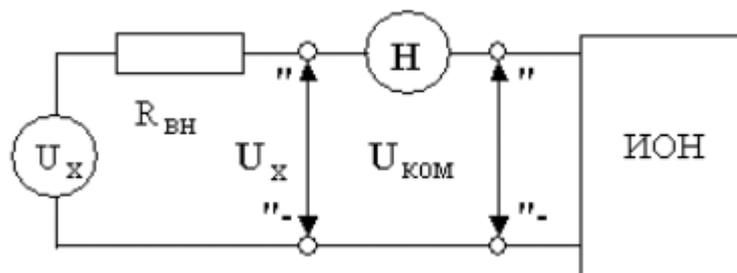


Рисунок 11.1 Схема, поясняющая принцип работы потенциометра

При выполнении соотношения:

$$U_{ком} = U_x, \quad (11.1)$$

ток через нуль – индикатор (НИ) не проходит. В этот момент и снимаются показания потенциометра.

С одной стороны напряжение на выходе ИОН известно с высокой точностью, с другой – вследствие высокой чувствительности гальванометра, точность, с которой выполняется равенство (11.1), тоже велика, поэтому, результат измерений также получается с высокой точностью.

У потенциометра есть еще одно уникальное свойство. В момент снятия результатов измерений ток через источник напряжения не протекает, следовательно, падение напряжения на его внутреннем сопротивлении $R_{вн}$ отсутствует, следовательно, напряжение, измеряемое на его зажимах, совпадает с напряжением холостого хода источника. Таким образом, при использовании потенциометра методическая погрешность измерений, обусловленная влиянием

входного сопротивления средства измерений, практически сведена к нулю, и с помощью потенциометра можно выполнять прямые измерения не только величины падения напряжения, но и ЭДС источника. Выпускаемые промышленностью потенциометры постоянного тока обычно имеют класс точности в пределах от 0,0005 до 0,5.

Потенциометрам постоянного тока присущи и недостатки. Во-первых, максимальное значение измеряемого напряжения на входных клеммах прибора не может превышать 1,5 – 2 вольт, во-вторых, процесс измерений с помощью этих приборов весьма трудоемок.

Для того, чтобы расширить пределы измерений потенциометров, используют делители напряжения. В этом случае измеряемое напряжение U_x подается на вход делителя, а к его выходу подключается потенциометр (рисунок 11.2).

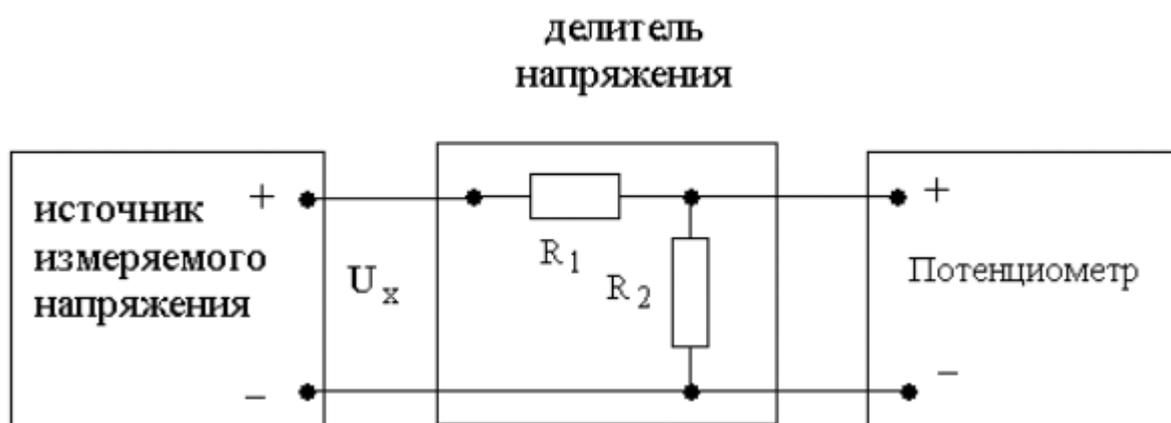


Рисунок 11.2 Схема подключения потенциометра для расширения пределов измерения

Основными характеристиками делителя напряжения являются номинальное значение коэффициента деления K и погрешность воспроизведения этого значения.

Для удобства измерений номинальное значение коэффициента деления K выбирается из ряда 10^{-n} , где $n = 0, 1, 2$ и т. д.

Значение коэффициента деления связано с сопротивлениями верхнего R_1 и нижнего R_2 плеч делителя соотношением:

$$K = \frac{U_{\text{вх}}}{U_x} \quad (11.2)$$

$$= \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

При использовании делителя от источника измеряемого напряжения потребляется некоторая мощность, т. к. через делитель протекает ток. Следовательно, теряется одно из основных преимуществ компенсационного метода измерений. Чтобы свести эти потери к минимуму, общее сопротивление делителя $R_1 + R_2$ должно быть намного больше, чем внутреннее сопротивление источника измеряемого напряжения $R_{\text{вн}}$. Использование делителя приводит и к изменению вида измерений. Измерения, выполняемые с помощью потенциометра, являются прямыми. Использование делителя приводит к тому, что измерения становятся косвенными. Зависимость между измеряемой величиной U_x и показаниями потенциометра $U_{\text{пот}}$ имеет вид:

$$U_x = \frac{R_1 + R_2}{R_2} U_{\text{пот}} \quad (11.3)$$

Как правило, $R_2 \ll R_1$, поэтому погрешность косвенных измерений в рассматриваемом случае можно вычислить по формуле:

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{\text{пот}}}{U_{\text{пот}}}\right)^2}$$

$\sim_{\text{пот}}$

– предел относительной погрешности потенциометра,

определяемый по его классу точности, а $\frac{\Delta R_1}{R_1}$ – предел относительной

погрешность воспроизведения номинального значения сопротивления верхнего плеча делителя.

Разработано несколько типовых электрических схем потенциометров постоянного тока. Одна из таких схем (упрощенная) приведена на рисунке 11.3. Модель потенциометра, которая используется в работе, имеет

аналогичную электрическую схему.

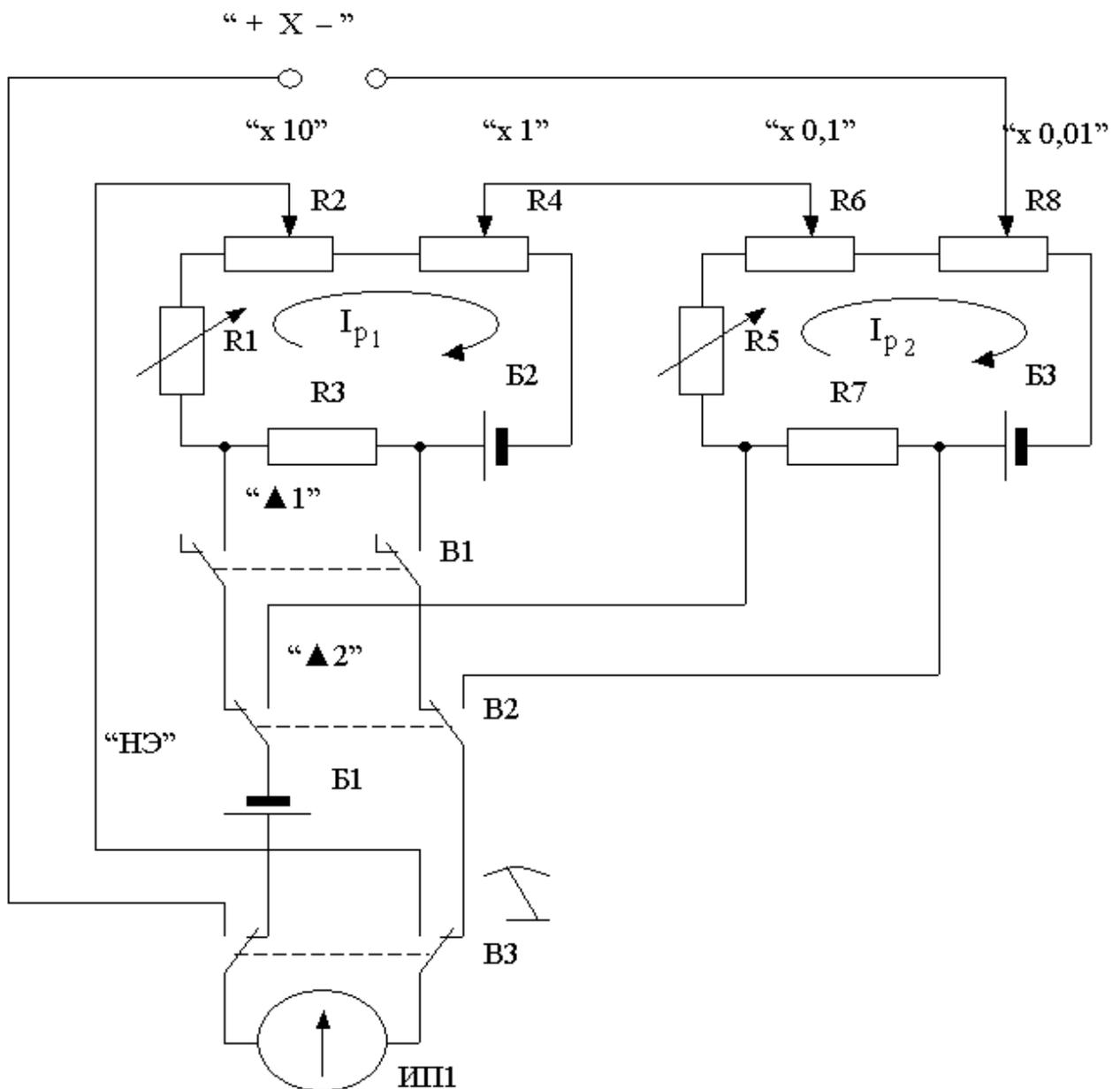


Рисунок 11.3 Электрическая схема потенциометра постоянного тока

В рассматриваемом потенциометре компенсирующее напряжение образуется за счет сложения падений напряжения, возникающих при протекании рабочего тока I_{p1} через измерительные сопротивления R_2 и R_4 первого контура и рабочего тока I_{p2} через измерительные сопротивления R_6 и R_8 второго контура. Рабочие токи создаются с помощью высокостабильных вспомогательных источников питания B_2 и B_3 . Значения величин рабочих токов регулируются с помощью регулировочного резистора R_1 в первом и регулировочного резистора R_5 во втором контуре. Регулировку выполняют до тех пор, пока падение напряжения, возникающее при протекании рабочих токов через установочные сопротивления

R_3 и R_7 , не станет равным ЭДС нормального элемента. Гальванометр (Г), который служит в качестве индикатора нуля, включается в цепь первого контура с помощью кнопки «▲ 1», а в цепь второго – с помощью кнопки «▲ 2». При измерении неизвестного напряжения U_x гальванометр включается кнопкой ВЗ.

Высокая точность воспроизведения ЭДС нормального элемента, высокая точность и температурная стабильность используемых резисторов, высокая стабильность вспомогательных источников питания способствуют достижению высокой точности измерений.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 11.4) находятся модели потенциометра постоянного тока, магазина сопротивлений и УИП.

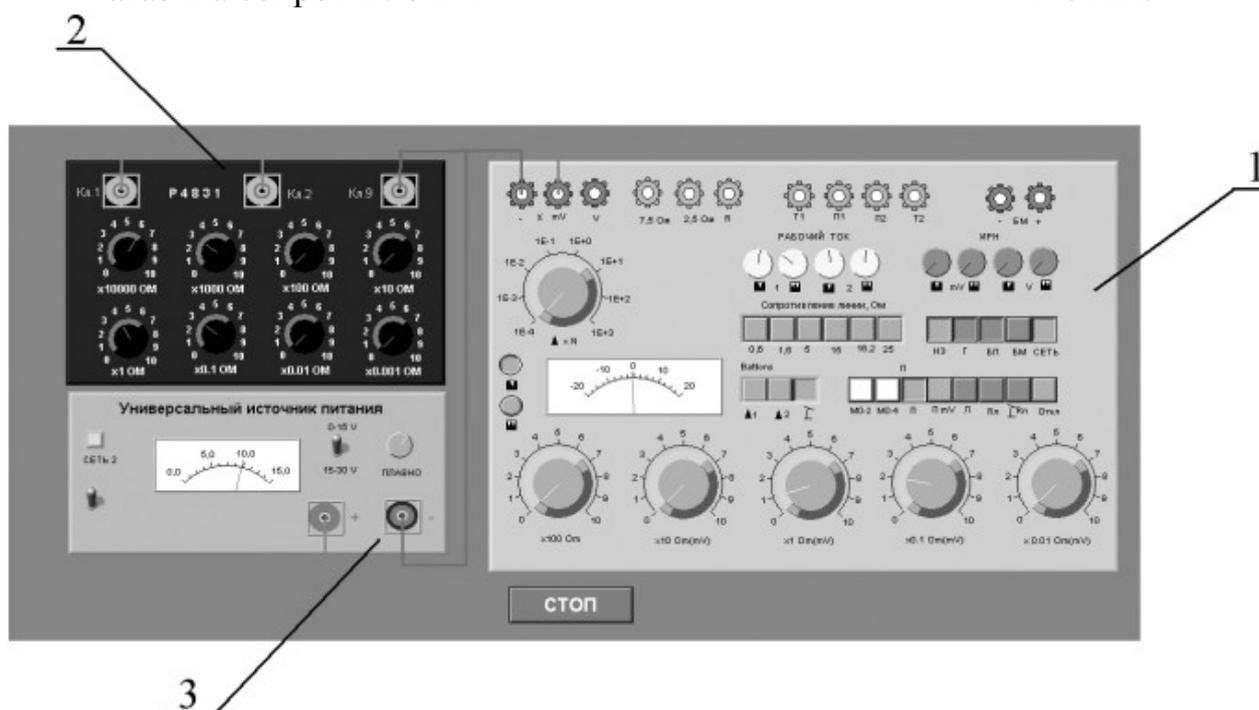


Рисунок 11.4 Вид модели лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы №11 (1-потенциометр постоянного тока, 2-магазин сопротивлений, 3-УИП).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель потенциометра постоянного тока используется при моделировании процесса измерения постоянного напряжения методом компенсации.

Модель магазина сопротивлений (см. Приложение 1) моделирует работу многозначной меры электрического сопротивления. При выполнении работы с помощью магазина моделируется работа делителя постоянного электрического напряжения с регулируемым коэффициентом деления.

Модель УИП (см. Приложение 1) используется при моделировании работы регулируемого источника стабилизированного постоянного напряжения.

Схема соединения приборов при выполнении работы приведена на рисунке 11.5.



Рисунок 11.5 Схема соединения приборов при выполнении работы №11

5. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1. Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте свои действия за компьютером.

5.2. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR3_3. На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 11.4.). Создать в среде MS Excel, лабораторный журнал, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

5.3. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.

5.4. Включите модель потенциометра и опробуйте его органы управления. Для опробования потенциометра:

- Включите модель с помощью кнопки «СЕТЬ».
- Переведите модель в режим потенциометра нажатием кнопки «П».
- Подключите к схеме потенциометра встроенные гальванометр, батареи питания и нормальный элемент, нажав, соответственно, на кнопки «Г», «БП», «НЭ».
- Нажмите кнопку ▲1 – гальванометр включится в цепь первого контура (рисунок 11.3).
- Установите рабочий ток первого контура, для чего, вращая ручки «рабочий ток 1» и «рабочий ток 2» вначале при нажатой кнопке 1, а затем при нажатой кнопке 2, установите стрелку гальванометра на нулевую отметку.
- Нажмите кнопку ▲2 – гальванометр включится в цепь второго контура (рисунок 11.3).
- Установите рабочий ток второго контура, для чего, вращая ручки «рабочий ток 1» и «рабочий ток 2» вначале при нажатой кнопке 1, а затем при нажатой кнопке 2, установите стрелку гальванометра на нулевую отметку.

5.5. Подготовьте к работе модель УИП:

- тумблер переключения поддиапазонов УИП установите в положение «0 – 15 В»;
- включите тумблер «СЕТЬ»;
- с помощью ручки плавной регулировки выходного напряжения установите, ориентируясь на стрелочный индикатор, нулевое напряжение на выходе УИП.

5.6. Рассчитайте, принимая во внимание, что входное сопротивление делителя напряжения должно быть не менее 100 кОм, значение сопротивлений плеч делителя, при которых коэффициент деления составит $K=1:100$.

5.7. Подготовьте к работе магазин сопротивлений, установив с помощью восьмидекадного переключателя сопротивления плеч делителя, равными значениям, рассчитанным в п. 5.6.

5.8. Приступите к выполнению лабораторной работы 10

Задание 1. Выполнение измерений постоянного напряжения методом компенсации.

- а. Измерьте с помощью потенциометра напряжение на выходе УИП:
- Установите на выходе УИП напряжение в пределах 1 – 2 Вольта.
 - Поверьте (см. п. 5.4 настоящей работы) правильность установки рабочего тока потенциометра.
 - С помощью кнопки  переведите потенциометр в режим измерения.
 - Добейтесь компенсации измеряемого напряжения компенсирующим напряжением, для чего:
 - Нажмите кнопку  (грубо) и, вращая ручки декадных переключателей «×10 Ом(мВ)» и «×1 Ом(мВ)» установите стрелку гальванометра на нуль
 - Нажмите кнопку  (точно) и, вращая ручки декадных переключателей «×0,1 Ом(мВ)» и «×0,01 Ом(мВ)» опять установите стрелку гальванометра на нуль.
 - Снимите показания потенциометра (значение измеренного напряжения в милливольтках будет равно сумме показаний декад регулировочного сопротивления потенциометра).
 - Запишите в отчет показания потенциометра, сведения о классе точности потенциометра и магазина сопротивлений, установленные значения сопротивления плеч делителя.

5.6. Не меняя сопротивлений плеч делителя, повторите при пяти различных положениях регулятора выходного напряжения УИП измерения в соответствии с п. (а). При выборе положения регулятора следите за тем, чтобы индикатор УИП показывал не более 10В.

5.7. Сохраните результаты.

5.8. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений.
- Необходимые электрические схемы.
- Данные расчетов, проводившихся при выполнении соответствующих пунктов задания.
- Экспериментальные данные.
- Полностью заполненные таблицы отчета (таблица 11.1), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- Графики зависимости абсолютной и относительной погрешности измерений от значения измеряемого напряжения.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

Таблица 11.1.

Результаты измерения постоянного напряжения на выходе УИП с помощью потенциометра (класса) и делителя с коэффициентом деления 1:100							
Показания потенциометра, мВ	Абсолютная погрешность		Относительная погрешность, %		Погрешность измерений		Результат измерений мВ
	потенциометра, мкВ	Коэфф. деления	потенциометра, мкВ	Коэфф. деления	Абсолютная, мкВ	Относительная, %	

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 Требуется измерить постоянное напряжение, значение которого ориентировочно равно 1 мкВ (1мВ, 1В, 100В, 1кВ, 10кВ)?

Как это лучше сделать, если погрешность не должна превысить 0,5% (должна быть минимизирована)?

7.2 Какой метод измерений реализуется при измерении постоянного напряжения с помощью потенциометра?

7.3 Можно ли с помощью потенциометра выполнить прямые измерения ЭДС способом непосредственной оценки? Почему?

7.4 Объясните чем определяется инструментальная погрешность потенциометра и магазина сопротивлений.

7.5 Объясните, от чего зависит методическая составляющая погрешности при измерении постоянной ЭДС и постоянного напряжения с помощью потенциометра? Как уменьшить эту погрешность?

7.6 Объясните принцип действия и устройство потенциометра (компенсатора) постоянного тока.

7.7 Каковы основные недостатки потенциометра, как средства измерений?

7.8 Является ли делитель напряжения средством измерений?

7.9 В каких случаях при измерении постоянного напряжения следует обратиться к косвенным измерениям?

Лабораторная работа № 12

Измерение переменного электрического напряжения

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков измерения переменного электрического напряжения. Ознакомление с особенностями влияния формы и частоты измеряемого напряжения на показания средств измерений. Приобретение представления о порядке работы с электроизмерительными приборами при измерении переменного напряжения.

2 ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Повторите вопросы обработки и представления результатов прямых и косвенных измерений, и, используя рекомендованную литературу, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.
- Понятия коэффициент формы и коэффициент амплитуды и методика учета влияния этих коэффициентов на результаты измерения переменного напряжения.
- Методы измерения переменного электрического напряжения.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении переменного электрического напряжения.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электромеханических вольтметров переменного тока.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электронных (аналоговых и цифровых) вольтметров переменного тока.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3 СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При измерении переменного напряжения синусоидальной формы, как правило, интересуются его среднеквадратическим (действующим) значением.

Действующее значение переменного напряжения U_D находят, используя

известную зависимость между $U_{\text{д}}$ и мгновенным значением измеряемого напряжения $u(t)$:

$$U_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}, \quad (12.1)$$

где T – период переменного напряжения.

Действующее значение переменного напряжения может быть измерено электромагнитными (диапазон частот от 20 Гц до 1-2 кГц), электродинамическими (диапазон частот от 20 Гц до 2-5 кГц), ферродинамическими (диапазон частот от 20 Гц до 1-2 кГц), электростатическими (диапазон частот от 20 Гц до 10-20 МГц), термоэлектрическими (диапазон частот от 10 Гц до 10-100 мГц) и электронными (диапазон частот от 20 Гц до 0,1-1 ГГц) вольтметрами.

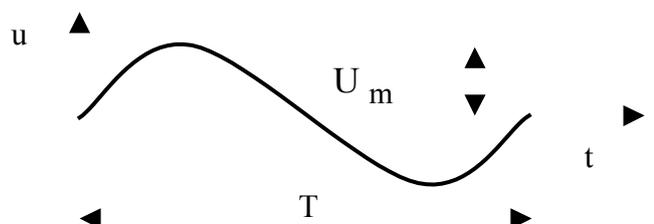
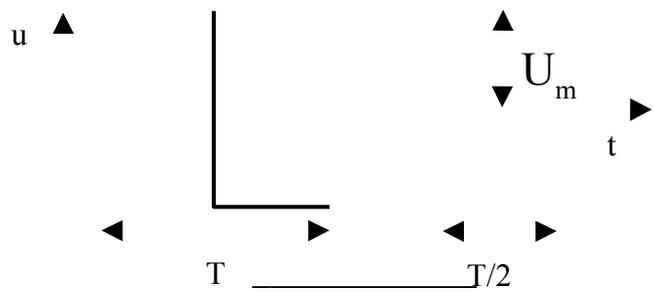
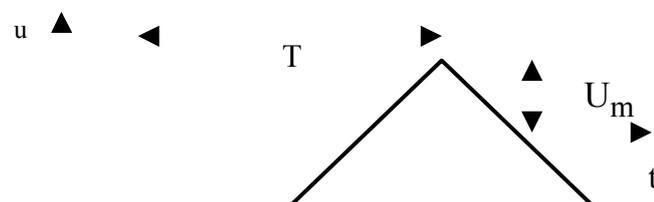
Иногда, особенно в тех случаях, когда форма электрического сигнала отличается от синусоидальной, измеряют средневыпрямленное и амплитудное значения переменного напряжения.

Средневыпрямленное значение переменного напряжения $U_{\text{св}}$ определяют, как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период:

$$U_{\text{св}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt. \quad (12.2)$$

Средневыпрямленное значение может быть измерено выпрямительным электромеханическим вольтметром (диапазон частот от 20 Гц до 10 – 20 кГц) или электронным вольтметром (диапазон частот от 10 Гц до 10-100 МГц).

Таблица 12.1.
Значения коэффициентов K_{ϕ} и K_a для некоторых сигналов

Форма сигнала	K_{ϕ}	K_a
	1,11	1,41
	1	1
	1,16	1,73

Для периодических колебаний произвольной формы связь между средневыпрямленным и среднеквадратическим значениями определяется соотношением:

$$U_{д} = K_{\phi} \times U_{св}, \quad (12.3)$$

где K_{ϕ} – коэффициент формы, значения которого для некоторых случаев

приведены в таблице 3.4.1.

Амплитудное значение U_m гармонического напряжения связано с его текущим $u(t)$ значением известной зависимостью: $u(t) = U_m \sin(\omega t + \phi)$. Для периодических колебаний другой формы эта зависимость может быть сравнительно легко определена. Что касается непериодических сигналов, то они характеризуются пиковыми значениями (максимальными значениями из всех мгновенных значений за время наблюдения).

Амплитудное и пиковое значения могут быть измерены электронными вольтметрами пикового (амплитудного) значения (диапазон частот от 20 Гц до 10-100 МГц), а также с помощью осциллографов различного типа (диапазон частот от 0,1 Гц до 10-100 ГГц).

Для периодических колебаний произвольной формы связь между амплитудой сигнала и его среднеквадратическим значением определяется по формуле:

$$U_m = K_a \times U_d, \quad (12.4)$$

где K_a – коэффициент амплитуды, значения которого для некоторых часто встречающихся случаев приведены в таблице 12.1

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера.

На стенде находятся модели электромагнитного и электродинамического вольтметров, электронного вольтметра с амплитудным детектором, проградуированного в действующих значениях гармонического напряжения, электронных милливольтметров средневыпрямленного и среднеквадратического значения, электронного осциллографа и генератора сигналов специальной формы (рисунок 12.1).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модели электромагнитного и электродинамического вольтметров, а также

вольтметра с амплитудным детектором (см. Приложение 1) используются при моделировании процесса прямых измерений действующего значения переменного электрического напряжения синусоидальной формы методом непосредственной оценки.

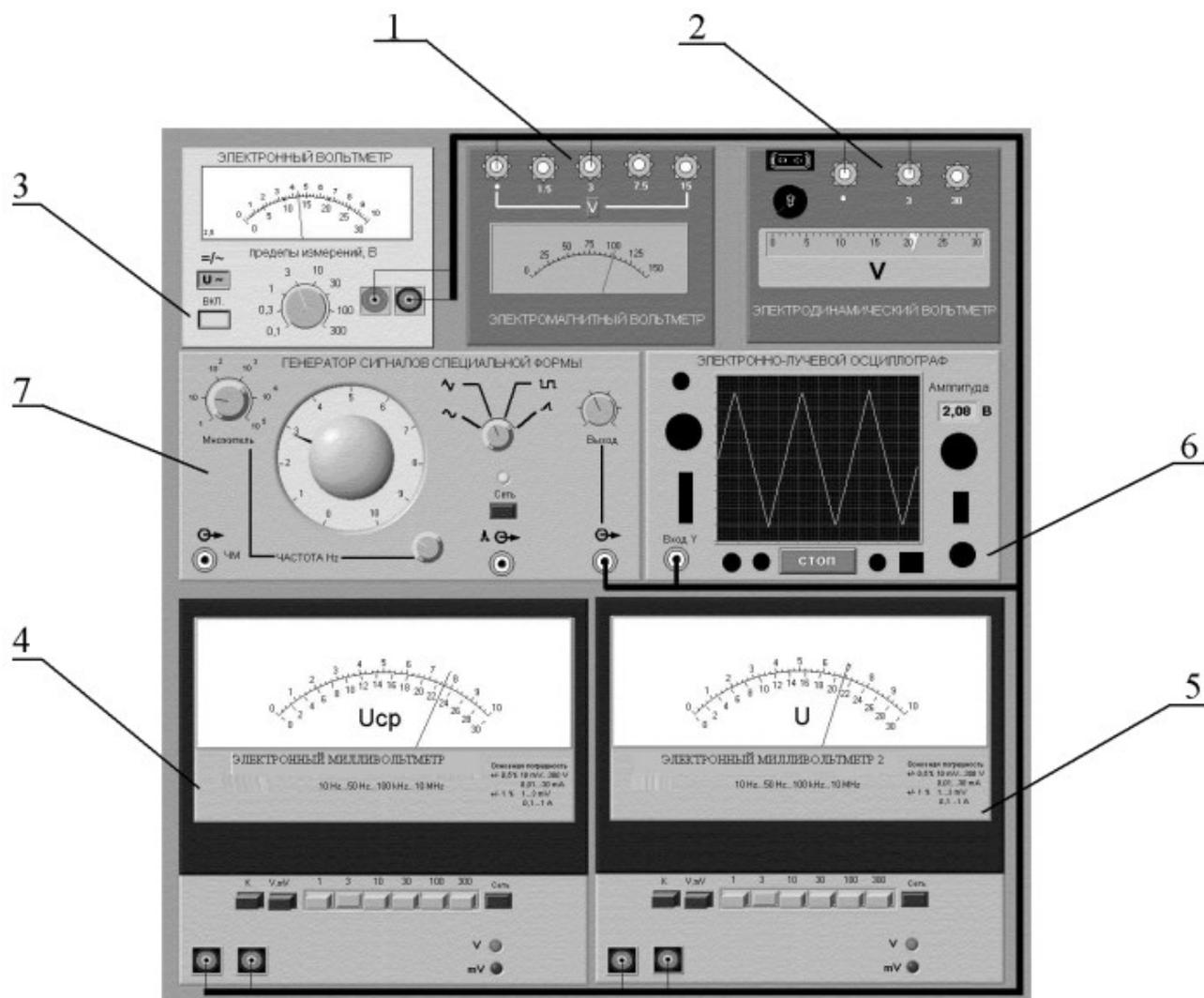


Рисунок 12.1 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении работы № 12 (1-электромагнитный вольтметр, 2-электродинамический вольтметр, 3-электронный вольтметр с амплитудным детектором, 4-электронный вольтметр средневыпрямленного значения, 5- электронный вольтметр среднеквадратического значения, 6-электронный осциллограф, 7-генератор сигналов специальной формы)

Модели электронных аналоговых милливольтметров средневыпрямленного и среднеквадратического значения (см. Приложение 1) используются при моделировании процесса прямых измерений соответственно средневыпрямленного и среднеквадратического значения напряжения в цепях

переменного тока синусоидальной и искаженной формы методом непосредственной оценки.

Модель электронного осциллографа используется при моделировании процесса измерения параметров переменного напряжения произвольной формы.

Модель генератора сигналов специальной формы используется при моделировании работы источника переменного напряжения синусоидальной, прямоугольной (меандр), треугольной (двухполярной) и пилообразной формы, с плавной регулировкой амплитуды и частоты выходного сигнала

Схема электрического соединения приборов при выполнении измерений приведена на рисунке 12.2

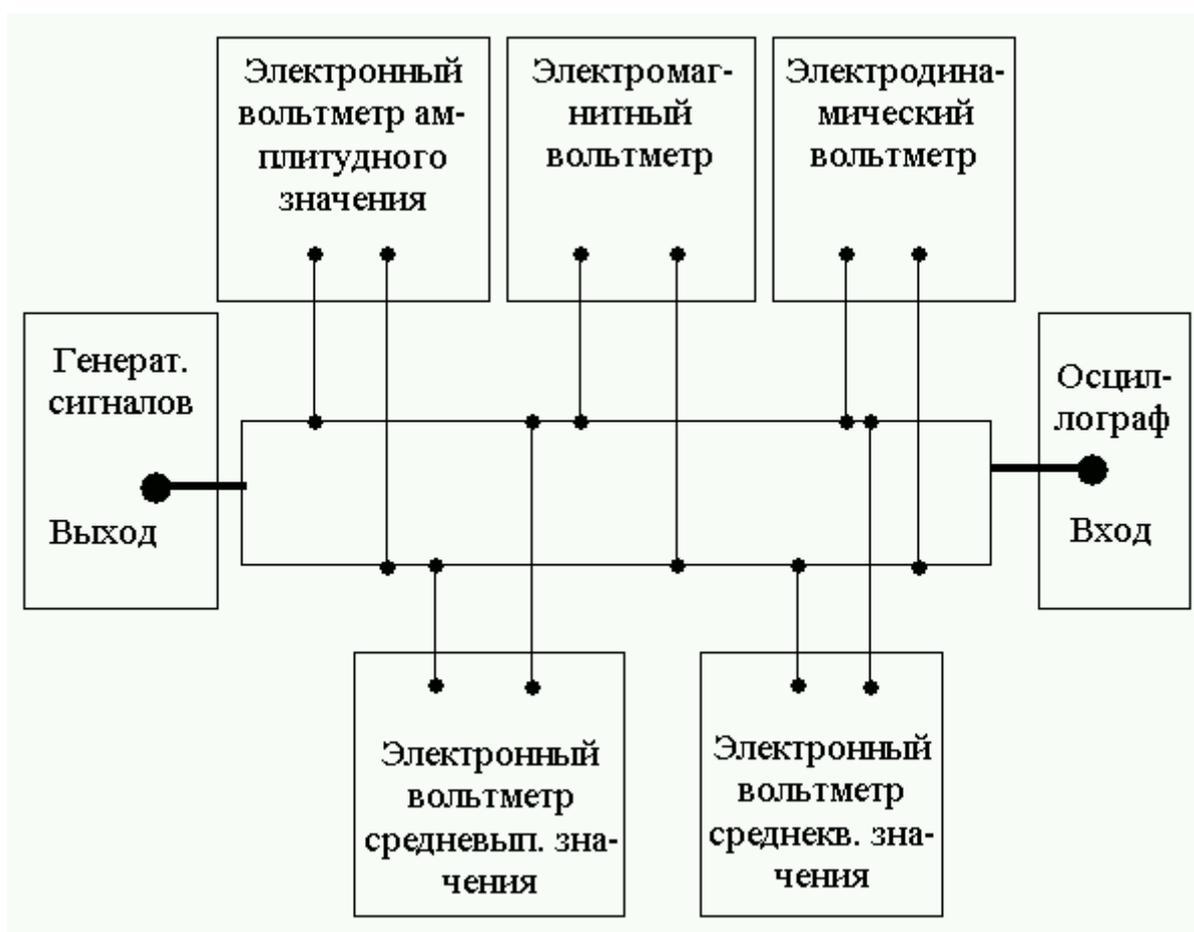


Рисунок 12.2. Схема соединения приборов при выполнении работы №12

5 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

5.1. Изучите описание работы и рекомендованную литературу. Продумайте

свои действия за компьютером.

5.2 Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR3_4. На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 12.1) Создайте в среде MS Excel, лабораторный журнал, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

5.3 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе.

5.4 Подготовьте модели к работе:

- Включите электронные вольтметры с помощью тумблеров «СЕТЬ».
- Включите генератор сигналов и установите ручку регулятора выходного напряжения в крайнее левое положение (амплитуда выходного сигнала равна нулю).
- Установите переключатель рода работы генератора сигналов в положение, соответствующее гармоническому напряжению.
- Установите частоту сигнала на выходе генератора, равной 20Гц.
- Включите осциллограф

5.5 Опробуйте органы управления моделями и убедитесь в их работоспособности. В процессе опробования установите регулятор напряжения на выходе генератора в среднее положение и наблюдайте форму сигнала на экране осциллографа. Изменяя напряжение, частоту и форму сигнала на выходе генератора, а также диапазон измерений вольтметров, проследите за изменением изображения на экране осциллографа и изменениями показаний вольтметров.

5.6 Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Исследование частотных характеристик вольтметров переменного тока

Используя осциллограф в качестве индикатора, определите в диапазоне

частот от 20 Гц до 100 кГц зависимость показаний электромагнитного, электродинамического и электронного вольтметров (тип электронного вольтметра выбирается по своему усмотрению) от частоты измеряемого переменного напряжения:

- a. Установите на выходе генератора сигналов гармоническое напряжение частотой 20 Гц
- b. Отрегулируйте амплитуду сигнала на выходе генератора так, чтобы показания вольтметров оказались в последней трети шкалы диапазона 3В, а стрелка электродинамического вольтметра остановилась напротив оцифрованного деления шкалы.
- c. Снимите показания вольтметров.
- d. Запишите в отчет показания вольтметров и частоту исследуемого сигнала, а также сведения о классе точности вольтметров.
- e. Выполните измерения в соответствии с п.п. b-d, оставляя неизменной амплитуду и форму выходного напряжения генератора, и, последовательно устанавливая частоту сигнала, равной 50 Гц, 400 Гц, 3 кГц, 1 кГц, 2 кГц, 3 кГц, 5 кГц, 5 кГц, 7 кГц, 10 кГц, 12 кГц, 15 кГц, 20 кГц и далее с шагом 10 кГц до 100 кГц. При выполнении задания тщательно следите за показаниями осциллографа (амплитуда измеряемого напряжения должна оставаться неизменной). В случае изменения амплитуды возвратите ее, ориентируясь на показания осциллографа, к исходному значению, используя регулятор выходного напряжения генератора сигналов.

Задание 2. Исследование зависимости показаний электромагнитного, электродинамического и электронных вольтметров от формы измеряемого напряжения.

- a. Установите на выходе генератора сигналов гармоническое напряжение частотой от 50 Гц до 100 Гц.
- b. Установите амплитуду выходного напряжения генератора такой, чтобы показания вольтметров оказались в последней трети шкалы диапазона 3В, а стрелка электродинамического вольтметра остановилась напротив оцифрованного деления шкалы.
- c. Зарисуйте осциллограмму исследуемого напряжения.
- d. Снимите показания вольтметров.

е. Запишите в отчет показания вольтметров, сведения о частоте и форме исследуемого сигнала, а также сведения о классе точности вольтметров.

5.6 Оставляя неизменной амплитуду (контроль производится с помощью осциллографа) и частоту выходного напряжения генератора, выполните измерения согласно п.п. (а-е), последовательно устанавливая на выходе генератора прямоугольную (меандр) и треугольную форму напряжения.

5.7 Сохраните результаты.

5.8 После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

6 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Сведения о цели и порядке выполнения работы.
- Сведения об использованных методах измерений.
- Сведения о характеристиках использованных средств измерений.
- Необходимые электрические схемы.
- Данные расчетов, проводившихся при выполнении соответствующих пунктов задания.
- Экспериментальные данные и осциллограммы.
- Полностью заполненные таблицы отчета (таблица 12.2 и 12.3), а также примеры расчетов, выполнявшихся при заполнении таблиц.
- Графики зависимости показаний вольтметров различных систем от частоты измеряемого напряжения.
- Таблицу с теоретическими и экспериментальными данными о зависимости показаний вольтметров различных систем от формы измеряемого переменного напряжения.
- Оценки, где это возможно, частоты измеряемого напряжения и значения его коэффициента формы и/или амплитуды, при которых соответствующая дополнительная погрешность вольтметров будет равна основной погрешности, определяемой классом точности прибора.
- Анализ полученных данных и вывод об особенностях и качестве проведенных измерений и по результатам проделанной работы.

Таблица 12.2

Результаты определения частотных характеристик электромагнитного вольтметра класса _____ точности (предел шкалы _____), электродинамического вольтметра класса точности _____ (предел шкалы _____), электронного вольтметра _____ значения класса точности (предел шкалы _____)			
Частота сигнала, Гц (кГц)	Показания вольтметров, В		
	электромагнитный	электродинамический	электронный__значения

Таблица 12.3

Исследование зависимости показаний вольтметров различных систем от формы измеряемого переменного напряжения на частоте ___Гц

Форма измеряемого напряжения	Показания вольтметров, В			
	электромагнитный	электронный среднеквадратич. значения с ампл. детектором	электронный среднеквадратич. значения	электронный средневыпрямл. значения
синусоидальная				
меандр				
треугольная				

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 Требуется измерить действующее (среднее, среднеквадратическое, амплитудное) значение переменного напряжения синусоидальной (искаженной) формы. Ориентировочно значение напряжения равно 100 мкВ (10 мВ, 1 В, 100 В), а частота 5 Гц (50 Гц, 5 кГц, 500 кГц, 50 МГц). Как это лучше сделать, если погрешность должна быть минимальной (не превышать 1%)?

7.2 Какими параметрами, подлежащими измерению, характеризуется переменное напряжение?

7.3 Что такое среднеквадратическое, среднее и средневыпрямленное значения переменного напряжения?

7.4 Какими вольтметрами измеряется среднеквадратическое значение переменного напряжения? Какие из них наиболее точны и почему?

7.5 Какими вольтметрами измеряется средневыпрямленное значение переменного напряжения?

7.6 Нужно измерить среднее значение переменного напряжения. Какое средство измерений Вы выберете?

7.7 В каком диапазоне частот можно измерять гармоническое напряжение? Какие вольтметры могут служить образцовыми на низких, средних и высоких частотах?

7.8 Имеется выпрямительный вольтметр класса 1,0 со шкалой 100 делений, проградуированный в действующих значениях гармонического напряжения. В

каком диапазоне может изменяться коэффициент формы и/или амплитуды измеряемого напряжения, чтобы этим величиной этого изменения можно было пренебречь?

7.9 Чем определяется зависимость показаний вольтметров различного типа от частоты измеряемого напряжения?

7.10 Опишите принцип работы и устройство электромеханических вольтметров переменного тока? Чем определяется погрешность этих приборов?

7.11 Опишите принцип работы и устройство электронных вольтметров переменного тока? Чем определяется погрешность этих приборов?

Лабораторная работа № 13

Измерение параметров гармонического напряжения с помощью осциллографа

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение навыков измерения параметров гармонического напряжения с помощью осциллографа. Получение сведений о характеристиках и устройстве электронного осциллографа.

2. ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

Повторите вопросы обработки и представления результатов прямых и косвенных измерений, и, используя рекомендованную литературу, настоящее описание и Приложение 1 к Практикуму, ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.
- Измерение амплитуды, частоты и угла фазового сдвига для синусоидального электрического напряжения.
- Измерение длительности временных интервалов.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электронного осциллографа.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

3. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Гармоническое напряжение характеризуется тем, что его текущее значение $U(t)$ изменяется с течением времени по синусоидальному закону:

$$U(t) = U_0 \sin(\omega t + \phi), \quad (13.1)$$

где U_0 – амплитуда гармонического напряжения, t – время, ω – угловая частота гармонического напряжения, $(\omega t + \phi)$ – фаза, а ϕ – начальная фаза.

гармонического напряжения.

Существует множество измерительных приборов, позволяющих измерять отдельные параметры гармонического напряжения. Это аналоговые и цифровые вольтметры переменного тока, частотомеры и фазометры различных видов и систем. С помощью этих приборов можно добиться высоких показателей точности измерений, обеспечить выполнение измерений в широком диапазоне амплитуд и частот, провести измерения, как в лабораторных, так и в цеховых условиях. Однако ни одно из перечисленных средств измерений не позволяет измерить одновременно все параметры гармонического напряжения, и не обладает таким дружественным пользовательским интерфейсом, как электронный осциллограф.

Электронные осциллографы обеспечивают возможность наблюдения функциональной связи между переменными величинами, одной из которых, как правило, является время. При измерении гармонического напряжения изображение, наблюдаемое на экране осциллографа (осциллограмма), несет информацию о значениях амплитуды и частоты (периода) напряжения, и, если осциллограф двухлучевой, о разности фаз между двумя гармоническими напряжениями. Осциллографические измерения можно выполнять в широком диапазоне частот, в электрических цепях различного назначения (промышленных, радиотехнических, компьютерных и т. д.), в лабораторных и цеховых условиях. Все эти преимущества в значительной степени искупают основной недостаток осциллографических измерений – низкую точность.

Существует несколько разновидностей электронных осциллографов, а именно: универсальные, запоминающие, стробоскопические, скоростные и специальные. Универсальные осциллографы наиболее распространены. Рассмотрим упрощенную структурную схему такого прибора (рисунок 13.1).

Осциллограмма на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) возникает в результате перемещения электронного луча по поверхности экрана, покрытого люминофором. Перемещение в вертикальном направлении происходит под действием электрического поля вертикально отклоняющих пластин, а в горизонтальном направлении – горизонтально отклоняющих.

На вертикально отклоняющие пластины подается управляющее напряжение с

выхода усилителя вертикального отклонения (УВО). Значение этого напряжения пропорционально амплитуде исследуемого напряжения на одном из входов канала вертикального отклонения «Y».



Рисунок 13.1. Упрощенная структурная схема универсального осциллографа: ЭЛТ

– электронно-лучевая трубка, УВО – усилитель вертикального отклонения, УГО – усилитель горизонтального отклонения

На горизонтально отклоняющие пластины подается управляющее напряжение с выхода усилителя горизонтального отклонения (УГО). Если вход УГО подключен к выходу генератора развертки, это напряжение имеет пилообразную форму. Если вход УГО с помощью переключателя входов подключен к одному из выходов промежуточного усилителя вертикального отклонения (УВО), напряжение развертки изменяется во времени по такому же закону, как и исследуемое напряжение.

Если напряжение развертки имеет линейную пилообразную форму, луч на экране ЭЛТ будет перемещаться в горизонтальном направлении с постоянной скоростью. В результате осциллограмма представит собой график зависимости

амплитуды исследуемого сигнала от времени, изображенный в прямоугольных координатах.

Входное устройство служит для согласования входа осциллографа с выходом источника исследуемого сигнала. Линия задержки и устройство синхронизации служат в первую очередь для того, чтобы синхронизировать между собой моменты прихода управляющих напряжений на вертикально и горизонтально отклоняющие пластины. Калибраторы длительности и амплитуды представляют собой встроенные в осциллограф генераторы сигналов, амплитуда и частота выходного напряжения которых известны и воспроизводятся с высокой точностью.

Из сказанного ясно, что погрешность в воспроизведении формы исследуемого сигнала на экране ЭЛТ будет определяться в первую очередь двумя факторами:

- 1) точностью, с которой соблюдается отношение пропорциональности между текущим значением исследуемого напряжения и значением управляющего напряжения, приложенного к вертикально отклоняющим пластинам;
- 2) точностью, с которой соблюдается постоянство скорости луча при его перемещении вдоль горизонтальной оси ЭЛТ.

Для нормирования этих факторов служат такие метрологические характеристики осциллографа, как коэффициент отклонения канала «Y» – K_v , называемый также коэффициентом вертикального отклонения и коэффициент развертки – K_p .

Под коэффициентом отклонения понимают отношение значения напряжения U на входе канала вертикального отклонения к величине вертикального перемещения h луча на экране ЭЛТ, произошедшего под воздействием этого напряжения:

$$K_v = \frac{U}{h}, \quad (13.2)$$

Эта величина имеет размерность В/см, мВ/см или В/дел, мВ/дел. Выбор размерности зависит от того, в каких единицах измеряется перемещение луча – в сантиметрах или в делениях шкалы координатной сетки, нанесенной на экран

ЭЛТ осциллографа. Коэффициент отклонения характеризуется диапазоном калиброванных значений и основной погрешностью. Калиброванные значения выбираются из ряда $K_B = (1, 2, 5) \times 10^n$, где $n = -3, -2, -1, 0, 1$ и 2 . Основная погрешность K_B нормируется в соответствии с классом осциллографа (таблица 13.1).

Под коэффициентом развертки K_P понимают отношение длительности прямого хода T_{Π} луча на экране ЭЛТ к величине произошедшего за время T_{Π} горизонтального перемещения L луча на экране ЭЛТ:

$$K_P = \frac{T_{\Pi}}{L}. \quad (13.3)$$

Эта величина имеет размерность время/см, или время/дел. Коэффициент развертки характеризуется диапазоном калиброванных значений и основной погрешностью. Калиброванные значения выбираются из ряда $K_B = (1, 2, 5) \times 10^n$, где $n = -3, -2, -1, 0, 1$ и 2 . Основная погрешность K_P нормируется в соответствии с классом осциллографа (таблица 13.1).

Таблица 13.1

Нормы на метрологические характеристики осциллографа

Параметр	Норма для осциллографа класса			
	I	II	III	IV
Основная погрешность коэффициента отклонения, % не более	2,5	4	8	10
Основная погрешность коэффициента развертки, % не более	2,5	4	8	10

Измерения с помощью осциллографа можно проводить как методом непосредственной оценки, так и методом сравнения с мерой.

Измерение значения напряжения методом непосредственной оценки сводится к

определению K_B , фактически являющегося ценой деления шкалы, и к определению вертикальных размеров изображения h на экране ЭЛТ. Оценка значения измеряемого напряжения U_x получается из соотношения:

$$U_x = K_B \times h \quad (13.4)$$

Определение коэффициента K_B проводится путем калибровки канала вертикального отклонения. Эта процедура выполняется с помощью калибратора амплитуды (рис. 3.5.1). Из соотношения (3.5.4) видно, что оценка значения измеряемой величины выполняется на основании известной зависимости между искомой величиной и другими величинами, значения которых получают в результате прямых измерений. Таким образом, осциллографические измерения методом непосредственной оценки являются косвенными измерениями. Следовательно (работа № 1), предел относительной погрешности результатов измерения напряжения можно оценить по формуле:

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{\Delta K}{K} + \frac{\Delta h}{h} \quad (13.5)$$

Как указывалось, погрешность коэффициента отклонения определяется классом осциллографа. Ясно, что это инструментальная составляющая погрешности. Погрешность определения размеров изображения Δh определяется в первую очередь тем, что линия луча на экране ЭЛТ имеет конечную ширину. Ширина линии, в свою очередь, зависит от размытости и расфокусировки изображения на экране и составляет от 0,2мм до 1,0мм, в зависимости от типа осциллографа. Таким образом, погрешность определения размеров изображения на экране также по своей сути является, инструментальной, но в нее входит и погрешность параллакса при снятии отсчетов, поэтому, погрешность определения размеров изображения на экране осциллографа обычно называют погрешностью отчета. Погрешность отчета тем меньше, чем больше размер изображения, наблюдаемого на экране, и чем тоньше луч. Современные осциллографы имеют поперечные размеры экрана до 10 – 15 сантиметров, типовая погрешность отчета для них составляет от 0,5% до 2%.

При измерении напряжения с помощью осциллографа методом сравнения с

мерой, используется разновидность метода, известная как метод замещения. Метод замещения состоит в том, что измеряемая величина замещается известной величиной воспроизводимой мерой (например, встроенным калибратором амплитуды). Напряжение на выходе калибратора, при котором показания осциллографа такие же, как при измерении искомого напряжения, равно измеряемому значению.

Измерение периода T гармонического напряжения методом непосредственной оценки выполняется практически также, как измерение U_x и сводится к определению K_p , являющегося ценой деления шкалы, и к определению горизонтальных размеров изображения L на экране ЭЛТ. Отличие заключается в том, что для калибровки коэффициента K_p используется калибратор длительности. Оценка длительности измеряемого периода производится по формуле:

$$T = K_p \times L. \quad (13.6)$$

Измерения косвенные и предел относительной погрешности результатов измерения периода вычисляется по формуле:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta K_p}{K_p} + \frac{\Delta L}{L} \quad (3.5.7)$$

Частота колебаний величина обратная их периоду. Сначала с помощью осциллографа измеряется значение периода T исследуемого напряжения, а значение частоты f в герцах определяется по формуле: $f = \frac{1}{T}$. Для определения

значения круговой (циклической) частоты ω служит соотношение $\omega = 2\pi f$.

При измерении периода и частоты с помощью осциллографа методом сравнения с мерой, используется разновидность метода, называемая методом совпадения. Метод совпадения состоит в том, что разность значений измеряемой величины и величины воспроизводимой мерой (например, встроенным калибратором длительности или образцовым генератором сигналов) определяют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов. Именно таким образом выполняются измерения методом интерференционных фигур (фигур Лиссажу) и методом круговой развертки.

Угол сдвига фаз представляет собой модуль разности фаз двух гармонических сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$ одинаковой частоты. Таким образом, если $U_1(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \phi_1)$, а $U_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t + \phi_2)$, то согласно определению угол сдвига фаз ϕ равен:

$$\phi = \phi_1 - \phi_2, \quad (13.8)$$

если ϕ_1 и ϕ_2 постоянны во времени, то ϕ от времени не зависит. При $\phi = 0$ гармонические напряжения называются синфазными, при $\phi = \pm\pi$ – противофазными.

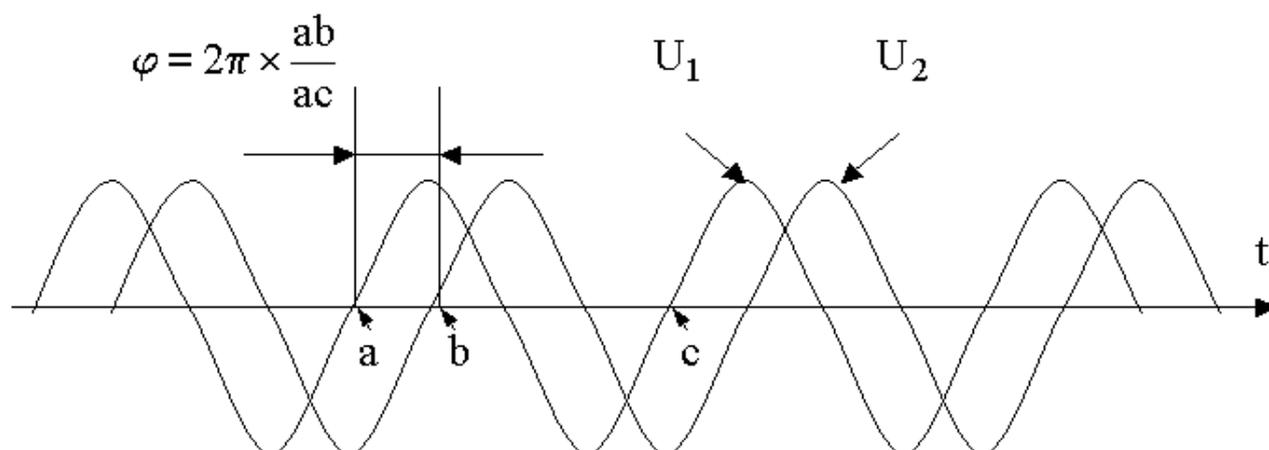


Рисунок 13.2. Измерение угла сдвига фаз способом линейной развертки

Измерение угла сдвига фаз методом непосредственной оценки может выполняться способом линейной развертки или способом эллипса (фигур Лиссажу). В первом случае на экране двухлучевого осциллографа получают изображение кривых $U_1(t)$ и $U_2(t)$, взаимное расположение которых несет

искомую информацию (рис. 3.5.2). Значение угла сдвига фаз Φ в градусах

вычисляют по формуле:

$$\Phi = 2\pi \times \frac{ab}{ac}, \quad (13.9)$$

где ab и ac — длина соответствующих отрезков осциллограммы. Измерения

косвенные, следовательно, предел относительной погрешности результатов измерения угла сдвига фаз можно вычислить по формуле:

$$\frac{\Delta\phi}{\phi} = \frac{\Delta ab}{ab} + \frac{\Delta ac}{ac}, \quad (13.10)$$

Соотношением (3.5.10) можно пользоваться, если погрешности, обусловленные смещением горизонтальных осей изображения относительно друг друга и нелинейностью развертки достаточно малы. В целом абсолютная погрешность измерения этим методом составляет, как правило, $\pm (5^0 \div 10^0)$.

Несколько лучшие результаты могут быть достигнуты при использовании способа эллипса (фигур Лиссажу). При выполнении измерений этим способом одно из напряжений подается на вход канала вертикального, а другое – горизонтального отклонения осциллографа. Генератор линейной развертки при этом выключен. На рисунок 13.3 оказано изображение, которое получается на экране при разных углах фазового сдвига.

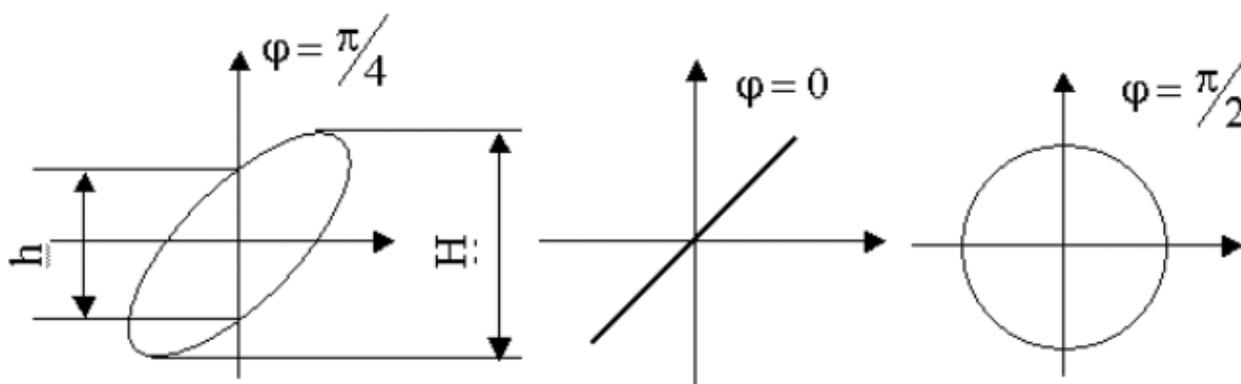


Рисунок 13.3. Измерение угла сдвига фаз способом эллипса

При использовании способа эллипса угол сдвига фаз можно определить по формуле:

$$\phi = \arcsin \frac{h}{H}, \quad (13.11)$$

где h и H длина отрезков на осциллограмме (рисунок 13.3).

Перед измерением h и H необходимо совместить центр эллипса с началом

координат шкалы. Для этого поочередно отключают напряжения U_x и U_y , и совмещают середины полученных вертикального и горизонтального отрезков с центром шкалы. При использовании метода результаты измерения, как видно из формулы (3.5.11), однозначно интерпретируются только в диапазоне от 0 до 180 градусов. Абсолютную погрешность измерений можно определить по формуле:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{\sqrt{H^2 + h^2}} \left(\frac{h}{h} + \frac{\Delta H}{H} \right) \quad (13.12)$$

Она не превышает ± 2 градусов при φ , близких к 0 или 180 градусам, и возрастает до ± 10 градусов при приближении φ к 90 градусам.

При измерении угла сдвига фаз методом сравнения с мерой, используется разновидность метода, называемая нулевым методом. В этом случае в цепь одного из исследуемых напряжений включают фазовращатель, например, RC – цепочку, мостовую или трансформаторную схему. При равенстве фаз между исследуемыми напряжениями на экране осциллографа вместо эллипса будет наблюдаться отрезок прямой. Этот метод измерений заметно точнее, чем предыдущий – относительная погрешность измерений составляет 1% – 2%, а частотные свойства фазовращателя определяют диапазон рабочих частот.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде находятся модели электронного осциллографа и калибратора фазового сдвига (рисунок 13.4).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модель электронного осциллографа используется при моделировании процесса измерения параметров переменного напряжения. При выполнении работы следует считать, что используемая модель осциллографа соответствует классу точности II (таблица 13.1).

Модель калибратора фазовых сдвигов используется при моделировании работы образцового источника двух переменных напряжений синусоидальной формы, параметры которых (амплитуда и частота сигналов и фазовый сдвиг между ними) могут регулироваться.

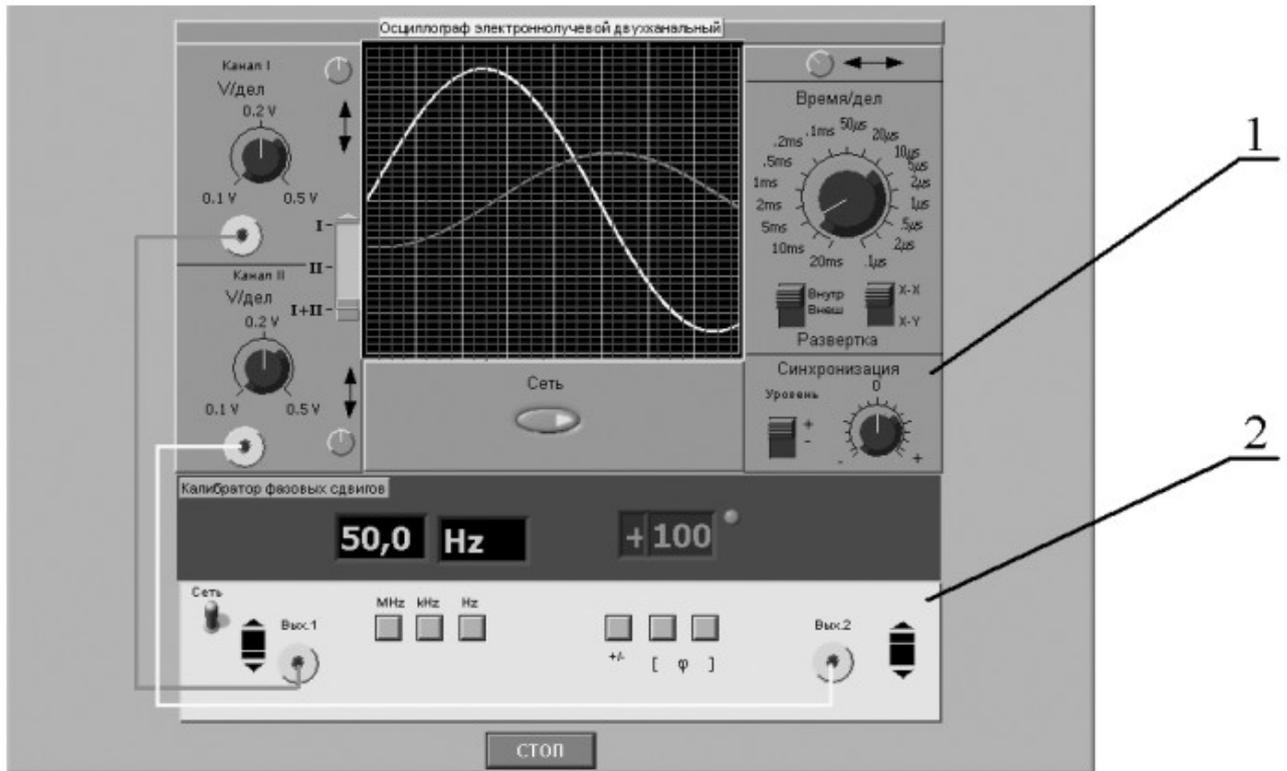


Рисунок 13.4. Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении лабораторной работы № 3.5 (1-электронный осциллограф, 2-калибратор фазовых сдвигов)

Схема соединения приборов при выполнении измерений приведена на рисунок 13.5.

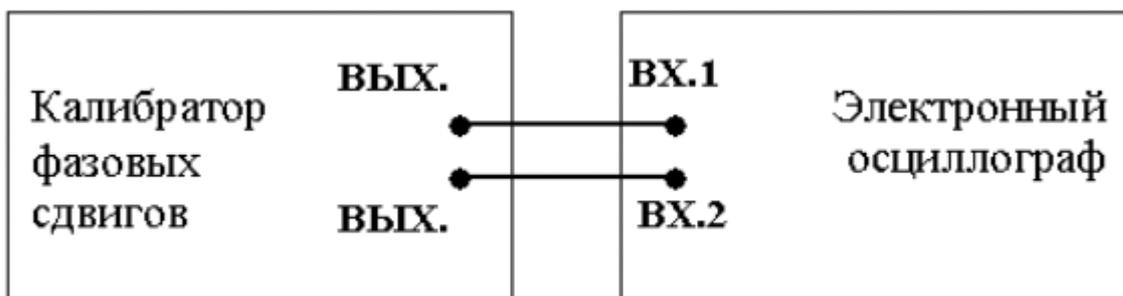


Рисунок 13.5 Схема соединения приборов при выполнении работы №

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Запустите программу-оболочку лабораторного практикума и выберите лабораторную работу № 3.5 «Измерение параметров гармонического напряжения с помощью осциллографа» в группе работ «Измерение электрических величин». На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений (Рис. 3.5.4) и окно, созданного в среде MS Excel, лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомьтесь с расположением моделей средств измерений на рабочем столе. Включите модели средств измерений и опробуйте их органы управления. В процессе опробования установите регулятор выходного напряжения калибратора в среднее положение и наблюдайте форму сигнала на экране осциллографа. Изменяя напряжение, частоту и фазовый сдвиг на выходе калибратора, а также коэффициент развертки и чувствительность канала вертикального отклонения осциллографа проследите за изменениями изображения на экране осциллографа.

4.3. Подготовьте модели приборов к работе.

- Включите с помощью тумблера «Сеть» калибратор фазовых сдвигов и осциллограф.
- Установите регуляторы уровня выходных сигналов калибратора в среднее положение.
- Установите значение угла фазового сдвига между сигналами на выходах калибратора, равным 0 градусов.
- Установите переключатель управления режимом входных каналов осциллографа в положение II (одноканальный режим, подключен II-ой канал).
- Установите режим внутренней синхронизации развертки осциллографа (переключатель «Внутр-Внеш» находится в положении «Внутр»).
- Установите переключатель чувствительности входных каналов осциллографа в такое положение, чтобы входной сигнал целиком умещался на экране и был наибольшего размера.
- Установите переключатель коэффициента развертки осциллографа в

такое положение, чтобы на экране умещалось примерно два периода исследуемого сигнала.

4.4. Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Измерение с помощью осциллографа амплитуды гармонического напряжения.

- a. Установите частоту выходного сигнала калибратора, равной 10кГц.
- b. Подберите подходящий коэффициент вертикального отклонения, при котором размер изображения по вертикали (размах изображения) будет максимальным.
- c. Подберите такой коэффициент развертки, чтобы на экране умещалось несколько периодов исследуемого напряжения, и было удобно определить размах изображения.
- d. Измерьте размах изображения.
- e. Запишите в отчет показания осциллографа и калибратора, а также сведения о классе точности используемых средств измерений.
- f. Оставляя неизменной частоту исследуемого сигнала, выполните измерения в соответствии с п.п. (b-e) для 5-6 различных значений напряжения на выходе калибратора.

Задание 2 Измерение с помощью осциллографа периода и частоты гармонического напряжения.

- a. Установите амплитуду выходного сигнала калибратора, равной примерно 1В.
- b. Установите частоту сигнала на выходе калибратора, равной 50Гц.
- c. Выберите для измерения канал II осциллографа и включите режим линейной развертки с внутренней синхронизацией (переключатель «Внутр-Внеш» находится в положении «Внутр»).
- d. Подберите подходящий коэффициент вертикального отклонения, при котором размах изображения будет максимальным.
- e. Подберите такой коэффициент развертки, чтобы на экране умещалось 2-3 периода исследуемого напряжения.
- f. Измерьте линейный размер изображения, соответствующий одному периоду исследуемого сигнала.
- g. Запишите в отчет показания осциллографа и калибратора.
- h. Оставляя неизменной амплитуду исследуемого сигнала, выполните измерения в соответствии с п.п. (d-g), последовательно устанавливая частоту выходного сигнала калибратора, равной 500 Гц, 5 кГц, 50 кГц, 0,5

МГц, 5 МГц.

Задание 3. Измерение с помощью осциллографа угла фазового сдвига

- a. Установите на выходах калибратора одинаковое (близкое к максимальному) значение напряжения; частоту сигнала, равную 10 кГц и угол сдвига фаз, равный 30 градусов.
- b. Выберите для измерения каналы I+II осциллографа и включите режим линейной развертки с внутренней синхронизацией (переключатель «Внутр-Внеш» находится в положении «Внутр»).
- c. Подберите подходящий коэффициент развертки и коэффициент вертикального отклонения.
- d. Измерьте линейный размер изображения, соответствующего одному периоду исследуемого сигнала и сдвигу фаз.
- e. Запишите в отчет показания осциллографа и калибратора.
- f. Оставляя неизменными амплитуду и частоту исследуемых сигналов, включите режим круговой развертки «X-Y» и подберите такие коэффициенты вертикального отклонения, чтобы полученный эллипс занял практически весь экран.
- g. Зарисуйте осциллограмму и измерьте размеры отрезков h и H.
- h. Запишите в отчет показания осциллографа и калибратора.
- i. Оставляя неизменными амплитуду и частоту исследуемых сигналов, выполните измерения в соответствии с п.п. (a-h), последовательно устанавливая величину фазового сдвига, равной 40, 60, 90, 180, 270 и 360 градусам.

5.7 Сохранение результаты

5.8 После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во Введении, а также содержать:

- Осциллограммы.
- Графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений фазового сдвига от показаний осциллографа при использовании методов линейной развертки и эллипса.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Какие параметры полностью характеризуют гармоническое напряжение? Поясните на графике.
- 6.2 Требуется измерить все параметры гармонического электрического сигнала. Ориентировочно амплитуда сигнала равна 1 мВ (100 мВ, 5В, 100В), частота – равна 0,1 Гц (30 Гц, 1кГц, 1МГц, 1ГГц), а разность фаз с опорным напряжением составляет 1 градус (10 градусов, 60 градусов, 175 градусов). Как это лучше сделать, если необходимо минимизировать погрешность (минимизировать количество средств измерений, обеспечить, чтобы погрешность измерения всех параметров не превысила 1%)?
- 6.3 Почему при наблюдении гармонических сигналов и измерении их параметров удобно использовать осциллограф?
- 6.4 От чего зависит погрешность измерения амплитуды при помощи осциллографа?
- 6.5 От чего зависит погрешность измерения частоты при помощи осциллографа?
- 6.6 Что измеряется осциллографом при измерении разности фаз?
- 6.7 Какие параметры гармонического напряжения можно измерить при помощи фигур Лиссажу? Как организовать такие измерения?
- 6.8 Как определить разность фаз между двумя гармоническими сигналами по форме и ориентации наблюдаемого на экране эллипса?
- 6.9 Чем определяется погрешность измерения угла сдвига фаз методом линейной развертки и методом эллипса?
- 6.10 Почему при осциллографических измерениях размер изображения на экране стремятся по возможности увеличить?
- 6.11 Каким образом можно повысить качество осциллографических измерений?

Лабораторная работа № 14

Измерение частоты и периода электрических сигналов

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков измерения частоты и периода электрических сигналов. Знакомство с устройством и характеристиками резонансного и электронно-счетного частотомеров.

2 СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы повторите вопросы обработки и представления результата прямых и косвенных измерений и ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.
- Измерение частоты и периода электрических сигналов методами непосредственной оценки и сравнения с мерой.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении частоты и периода электрических сигналов.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики резонансных и цифровых частотомеров.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

На практике измерение частоты электрических сигналов (далее частоты) производится в диапазоне от 0 Гц до 10^{11} Гц. На низких частотах (от 20 до 2500 Гц), особенно в окрестности частот 50 Гц и 400 Гц часто используются электромеханические приборы: электромагнитные частотомеры и частотомеры на основе логометров. Основная погрешность электромеханических аналоговых частотомеров составляет 1,0 – 2,5 %. Они имеют узкие диапазоны измерения и используются в качестве щитовых приборов.

В лабораторных условиях для измерения частоты нередко используют осциллографы. Это оправдано, если к точности измерений не предъявляется

жестких требований. Получение фигур Лиссажу, использование круговой развертки с модуляцией яркости, определение частоты, исходя из измеренного значения периода электрического сигнала – наиболее распространенные способы осциллографических измерений частоты (работа 13).

Электронные конденсаторные частотомеры применяются для измерения частот в диапазоне от 10 Гц до 1 МГц. Принцип работы таких частотомеров основывается на попеременном заряде конденсатора от батареи с последующим его разрядом через магнитоэлектрический механизм. Этот процесс осуществляется с частотой, равной измеряемой частоте, поскольку переключение производится под воздействием самого исследуемого напряжения. За время одного цикла через магнитоэлектрический механизм будет протекать заряд $Q = CU$, следовательно, средний ток, протекающий через индикатор, будет равен $I_{cp} = Qf_x = CUf_x$. Таким образом, показания магнитоэлектрического амперметра оказываются пропорциональны измеряемой частоте. Основная приведенная погрешность таких частотомеров лежит в пределах 2 – 3 %.

Семейство аналоговых частотомеров дополняют гетеродинные частотомеры, принцип действия которых основан на сравнении измеряемой частоты с частотой перестраиваемого стабильного генератора. Сравнение осуществляется посредством гетеродинирования напряжений сравниваемых частот. В результате этого нелинейного процесса конечный электрический сигнал будет кроме исходных частот ω_1 и ω_2 содержать целый ряд комбинационных – в том числе и разностную частоту $\omega_1 - \omega_2$. Когда эта частота близка к нулю, возникают низкочастотные (нулевые) биения, которые удобно наблюдать на экране осциллографа или с помощью специальных электронных устройств. Достоинством гетеродинных частотомеров является возможность измерения очень высоких частот – до 100 ГГц с относительной погрешностью не превышающей 0,01 – 0,001 %.

Резонансные частотомеры имеют в своем составе колебательную систему, настраиваемую в резонанс с измеряемой частотой внешнего источника сигналов. Состояние резонанса фиксируют по максимальным показаниям индикатора резонанса. Измеряемую частоту отсчитывают непосредственно по шкале калиброванного элемента настройки (переменного конденсатора). Измеряемая частота может достигать 200 МГц, а относительная погрешность измерений обычно составляет 0,1%-1,0%.

Хорошими характеристиками обладают цифровые электронно-счетные частотомеры (в дальнейшем цифровой частотомер). Принцип работы этих устройств основан на подсчете числа периодов измеряемой частоты за некоторый, строго определенный, интервал времени, т.е. используется аналого-цифровое преобразование частоты в последовательность импульсов, число которых пропорционально измеряемой величине и может быть подсчитано. Погрешность таких частотомеров в основном определяется нестабильностью формирования калиброванного интервала времени и погрешностью квантования. Последняя погрешность уменьшается с увеличением измеряемой частоты. Цифровые частотомеры являются наиболее точными среди известных средств измерения частоты электрических сигналов (относительная погрешность может не превышать $10^{-7}\%$) и обладают всеми преимуществами цифровых приборов, например, позволяют автоматизировать измерительные процедуры, поэтому, они нашли широкое применение. Диапазон частот, измеряемых цифровыми частотомерами, лежит, как правило, в пределах от единиц герц до единиц гигагерц.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 14.1) находятся модели резонансного и цифрового частотомеров, генератора сигналов и КУ, с помощью которого выход генератора сигналов подключается к входу одного из частотомеров.

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модели электронного аналогового резонансного частотомера и электронного цифрового частотомера (см. Приложение 1) используются при моделировании процесса прямых измерений частоты гармонических электрических сигналов методом непосредственной оценки.

Модель генератора сигналов (см. Приложение 1) используется при моделировании работы источника переменного напряжения синусоидальной формы, обеспечивающего регулировку амплитуды и частоты выходного сигнала.

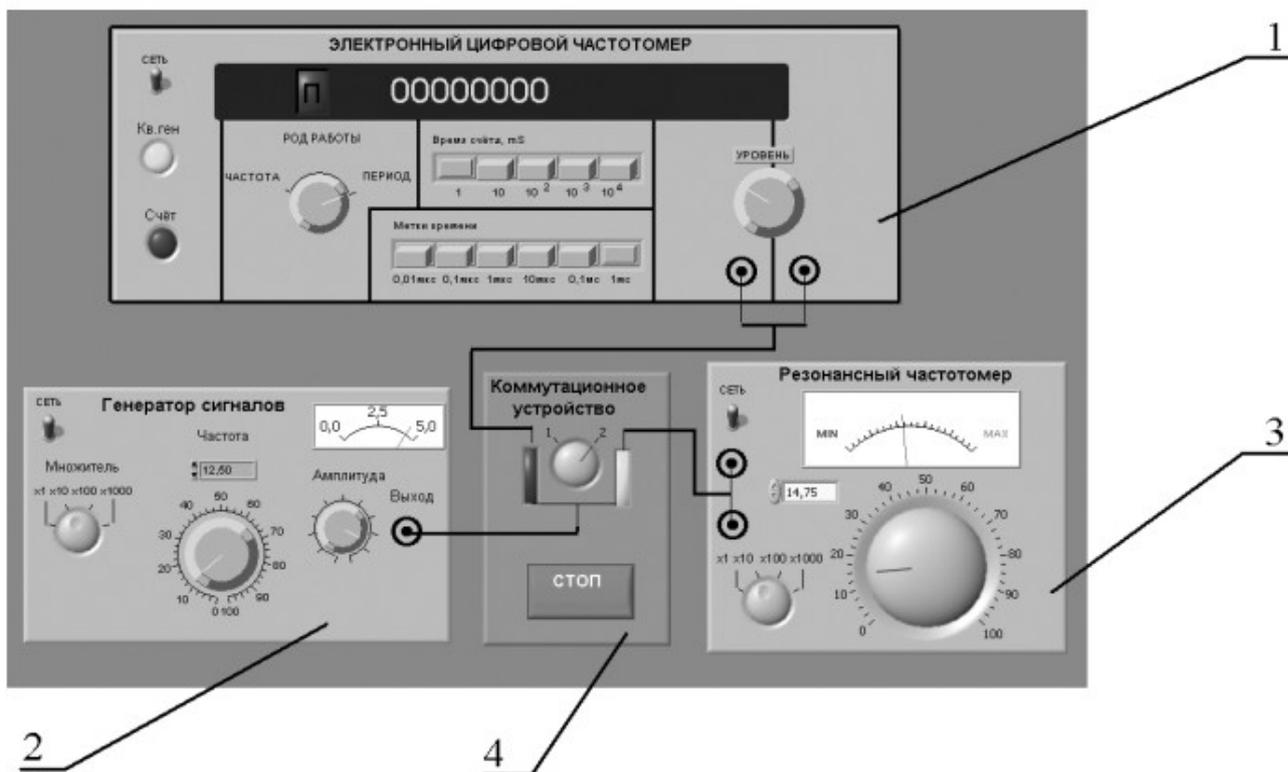


Рисунок 14.1 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении работы № 14
(1-электронный цифровой частотомер, 2-генератор сигналов, 3-резонансный частотомер, 4-КУ)

Схема соединения приборов при выполнении работы приведена на рисунке 14.2.

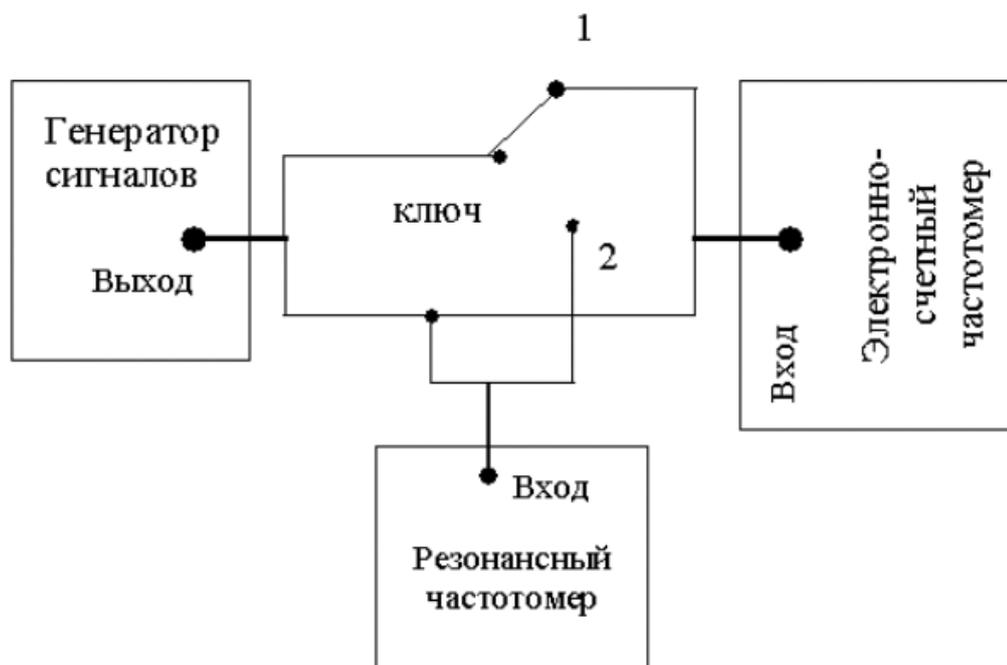


Рисунок 14.2. Схема соединения приборов при выполнении работы №14

4 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1 Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR3_6. На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 14.1) и окно, созданного в среде MS Excel, лабораторного журнала, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2 Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Включите модели средств измерений и опробуйте их органы управления. В процессе опробования установите регулятор напряжения на выходе генератора в среднее положение и зафиксируйте частоту выходного сигнала. После того, как показания цифрового частотомера установятся, настройте резонансный контур резонансного частотомера на максимум отклика. Далее, изменяя частоту сигнала на выходе генератора, проследите за изменениями показаний частотомеров.

4.3 После того, как Вы убедитесь в работоспособности приборов, подготовьте к работе модели частотомеров и модель генератора сигналов.

- Включите частотомеры.
- Включите генератор сигналов и установите ручку регулятора выходного напряжения в крайнее левое положение (амплитуда выходного сигнала равна нулю).

4.4 Приступите к выполнению лабораторной работы.

Задание 1. Измерение частоты гармонического сигнала резонансным частотомером

- a. Установите амплитуду выходного сигнала генератора, равной примерно 2В, а частоту выходного сигнала генератора, равной примерно 50 кГц.
- b. Включите резонансный частотомер и выберите подходящий предел измерения.
- c. Подключите с помощью КУ вход резонансного частотомера к выходу генератора.
- d. Измерьте резонансным частотомером частоту гармонического

сигнала. В процессе измерений подберите такое положение ручки плавной регулировки настройки резонанса колебательного контура, при котором показания индикатора будут максимальными.

е. Запишите в отчет показания резонансного частотомера, а также сведения о его классе точности.

Задание 2. Измерение частоты гармонического сигнала цифровым частотомером

а. Включите цифровой частотомер в режиме измерения частоты и выберите время счета, равным 0,01 секунде.

б. Оставляя неизменными амплитуду и частоту сигнала на выходе генератора, установленные при выполнении задания по п. 5.4.а, подключите с помощью КУ вход частотомера к выходу генератора.

с. Снимите показания частотомера.

д. Запишите в отчет показания цифрового частотомера, а также сведения о его классе точности.

е. Оставляя неизменными амплитуду и частоту сигнала на выходе генератора, повторите измерения, выбирая время счета, равным последовательно 0,1 с, 1 с и 10с.

ф. Запишите показания цифрового электронно-счетного частотомера в отчет.

г. Выполните измерения согласно п.п. (а-ф) задания, последовательно устанавливая частоту сигнала на выходе генератора, равной 5 кГц, 1 кГц, 500 Гц, 50 Гц и 10 Гц.

Задание 3. Измерение периода гармонического сигнала цифровым частотомером

а. Установите амплитуду выходного сигнала генератора, равной примерно 2В, а частоту выходного сигнала генератора, равной примерно 10 Гц.

б. Подключите с помощью КУ вход цифрового частотомера к выходу генератора.

с. Включите цифровой частотомер в режиме измерения периода и выберите период меток времени, равным 1 мс, а множитель периодов, равным 100.

д. Снимите показания цифрового частотомера.

Таблица 14.2

Результаты измерения периода электрического гармонического сигнала электронно-счетным частотомером

Показания эл./сч. частотомера	Период меток времени, мс	Множитель периодов	Погрешность эл./сч. частотомера		Результат измерений	
			Абс., (кГц)	Отн., %	Частота, (кГц)	Период, (мс)

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Требуется измерить частоту гармонического электрического сигнала, равную ориентировочно 1 Гц (100 Гц, 1 кГц, 100 кГц, 5 МГц, 100 МГц, 30 ГГц). Как это лучше сделать, если погрешность измерений не должна превысить 0,5% (10 Гц)?

6.2 В каком диапазоне частот выполняются измерения частоты периодических электрических сигналов?

6.3 Каковы достоинства резонансного метода измерения частоты?

6.4 Какие частотомеры обладают наибольшей точностью?

6.5 Какова основная причина возникновения погрешностей при измерении частоты с помощью осциллографа?

6.6 В каком диапазоне значений частот удобно использовать для измерений цифровой частотомер? Как в этом случае погрешность измерений зависит от значения измеряемой частоты?

6.7 В каком диапазоне значений длительности периодов удобно использовать для измерений цифровой частотомер? Как в этом случае погрешность измерений зависит от длительности измеряемого периода?

6.8 Как нормируется класс точности цифровых частотомеров?

6.9 Какой частотомер дает возможность производить измерения в гигагерцовом диапазоне частот?

6.10 Какова инструментальная погрешность конденсаторных частотомеров?

Чем она определяется?

6.11 Каким образом при использовании цифровых частотомеров удается достичь высокой точности измерений как в области высоких, так и в области низких частот? В каком диапазоне частот погрешность таких измерений максимальна (минимальна)?

Лабораторная работа № 15
Измерение угла фазового сдвига

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков измерения угла фазового сдвига, знакомство с устройством и характеристиками цифрового фазометра.

2 СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы повторите вопросы обработки и представления результата прямых и косвенных измерений и ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Переменное электрическое напряжение и параметры, которые его характеризуют.
- Измерение угла фазового сдвига методами непосредственной оценки и сравнения с мерой.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при измерении угла фазового сдвига.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электронных (аналоговых и цифровых) фазометров.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

Фазой гармонического напряжения $U(t) = U_m \sin(\omega t + \phi_0)$ называется аргумент функции $U(t)$, описывающей колебательный процесс. Фаза гармонического напряжения является линейной функцией времени. Угол сдвига фаз представляет собой модуль разности фаз двух гармонических сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$ одинаковой частоты. Таким образом, если $U_1(t) = U_{1m} \sin(\omega t + \phi_1)$, а $U_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t + \phi_2)$, то согласно определению угол сдвига фаз $\Delta\phi$ равен $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$.

Если ϕ_1 и ϕ_2 постоянны во времени, то $\Delta\phi$ от времени не зависит. При

$\Delta\phi = 0$ гармонические напряжения называются синфазными, при $\Delta\phi = \pm\pi$ – противофазными. Выбор метода измерения угла сдвига фаз зависит от диапазона частот, амплитуды сигнала и, главным образом, от требуемой точности измерения. Измерение угла сдвига фаз может выполняться как методом непосредственной оценки, так и методом сравнения. Результат измерения выражается либо в градусах, либо в радианах. Измерительные приборы, специально предназначенные для измерения угла сдвига фаз, называются фазометрами. Угол сдвига фаз может быть измерен также с помощью осциллографа.

Измерение угла сдвига фаз методом непосредственной оценки может быть выполнено с помощью фазометров различных типов.

При измерении на низких частотах в промышленных цепях удобно использовать электромеханические фазометры на основе электродинамических и ферродинамических логометров. Однако они имеют сравнительно низкий класс точности от 0,5 до 2,5, и их показания заметно зависят от частоты.

Электронные аналоговые фазометры используют принцип преобразования фазового сдвига во временной интервал. Этот временной интервал формируется в приборе так, что его длительность оказывается пропорциональна значению измеряемого угла сдвига фаз. В течение этого временного интервала через магнитоэлектрический измерительный механизм (ИМ) прибора протекает постоянный ток фиксированного значения, в результате показания ИМ оказываются пропорциональными значению измеряемой величины. Электронные аналоговые фазометры могут использоваться в различных цепях и позволяют измерять угол сдвига фаз в диапазоне частот от десятков герц до единиц мегагерц. Относительная погрешность таких фазометров составляет 1 – 2%, разрешающая способность примерно 1^0 , им присущи общие для аналоговых приборов недостатки.

В лабораторных условиях в маломощных цепях для измерения угла сдвига фаз методом непосредственной оценки удобно использовать осциллограф. Такие измерения (работа № 13) могут выполняться методом линейной развертки или методом эллипса (фигур Лиссажу). В первом случае на экране получают изображение двух кривых $U_1(t)$ и $U_2(t)$, взаимное расположение которых несет искомую информацию (рисунок 13.2), во втором случае на экране

осциллографа наблюдается эллипс, форма которого определяется значением измеряемого угла сдвига фаз (рисунок 13.3). Измерение угла сдвига фаз с помощью осциллографа можно выполнять в широком диапазоне частот, но их точность невелика.

Осциллограф можно также использовать для выполнения измерений угла сдвига фаз методом компенсации (работа 13). При равенстве фаз между исследуемыми напряжениями на экране осциллографа вместо эллипса будет наблюдаться отрезок прямой (рисунок 13.3б). Этот метод измерений заметно точней, чем предыдущий. Диапазон рабочих частот в этом случае определяется главным образом частотными характеристиками фазовращателя.

В диапазоне частот от долей герца до десятков мегагерц наилучшие результаты по точности дает цифровой фазометр. Такие фазометры рекомендуется применять в маломощных цепях, а также при искаженной форме напряжения.

В настоящей работе для измерения угла сдвига фаз используется именно цифровой фазометр, рассмотрим принцип его действия.

В основе работы цифровых фазометров всех систем лежит принцип преобразования измеряемого угла сдвига фаз во временной интервал, длительность которого пропорциональна значению измеряемой величины. Длительность временного интервала определяется при этом методом дискретного счета непосредственно, или с промежуточным преобразованием длительности временного интервала в пропорциональное ему значение величины напряжения постоянного тока.

Фазометры с непосредственным преобразованием значения длительности временного интервала в код в свою очередь подразделяются на две группы: с измерением за один период входных напряжений и с измерением за несколько периодов входных напряжений. Фазометры первой группы называются фазометрами мгновенного значения, а второй группы – фазометрами среднего значения. Фазометры среднего значения, называемые также фазометрами с постоянным временем измерения, благодаря хорошим характеристикам получили наибольшее распространение.

На рисунке 15.1 приведена структурная схема такого фазометра.

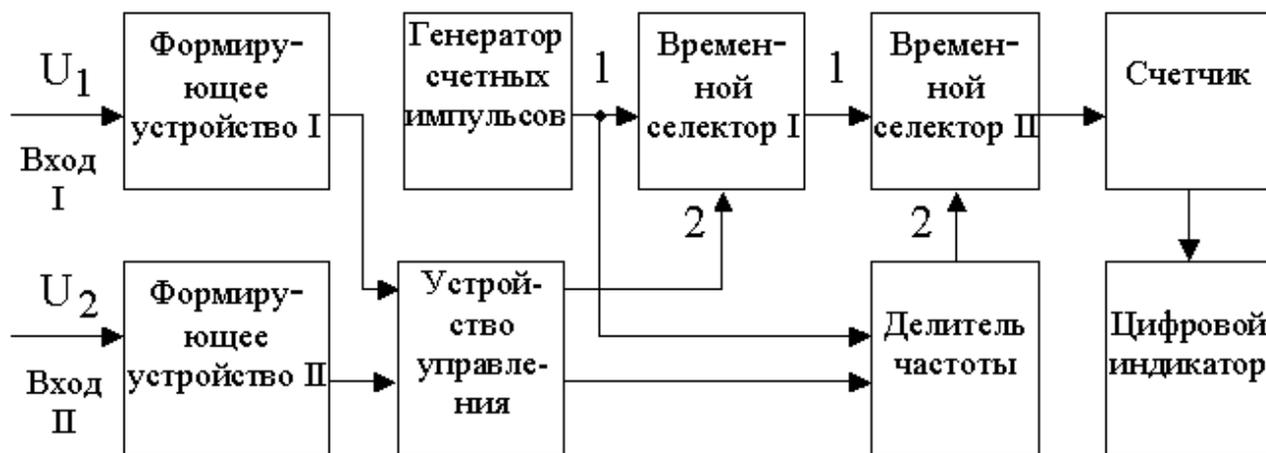


Рисунок 15.1 Структурная схема цифрового фазометра с усреднением

Входные синусоидальные напряжения U_1 и U_2 с помощью формирующих устройств преобразуются в периодические последовательности коротких импульсов, сдвинутые относительно друг друга на временной интервал

$$\Delta T = \frac{\Delta \phi}{2\pi} \times T.$$

Эти импульсы, попадая на два входа устройства управления,

формируют на его выходе последовательность прямоугольных импульсов длительностью ΔT и с периодом следования T . Полученные прямоугольные импульсы подаются на вход 2 (управляющий) временного селектора I, а на его вход 1 (сигнальный) подается последовательность коротких импульсов с выхода генератора счетных импульсов, период следования которых равен $T_{сч}$.

В результате на выходе временного селектора I формируется последовательность пачек счетных импульсов (рис.3.7.2). При условии, что $\Delta T > T_{сч}$, число импульсов n в каждой пачке, без учета погрешностей, может быть подсчитано по формуле:

$$n = \frac{\Delta T}{T_{сч}} = \frac{\Delta \phi}{2\pi} \times \frac{T}{T_{сч}}. \quad (15.1)$$

Эти пачки счетных импульсов подаются, в свою очередь, на вход 1 временного селектора II. На его вход 2 с выхода формирователя, в качестве которого работает делитель частоты, подается прямоугольный импульс длительностью $T_{изм}$. В результате, на выходе временного селектора II образуется конечная последовательность пачек счетных импульсов (рисунки 15.1. и 15.2).

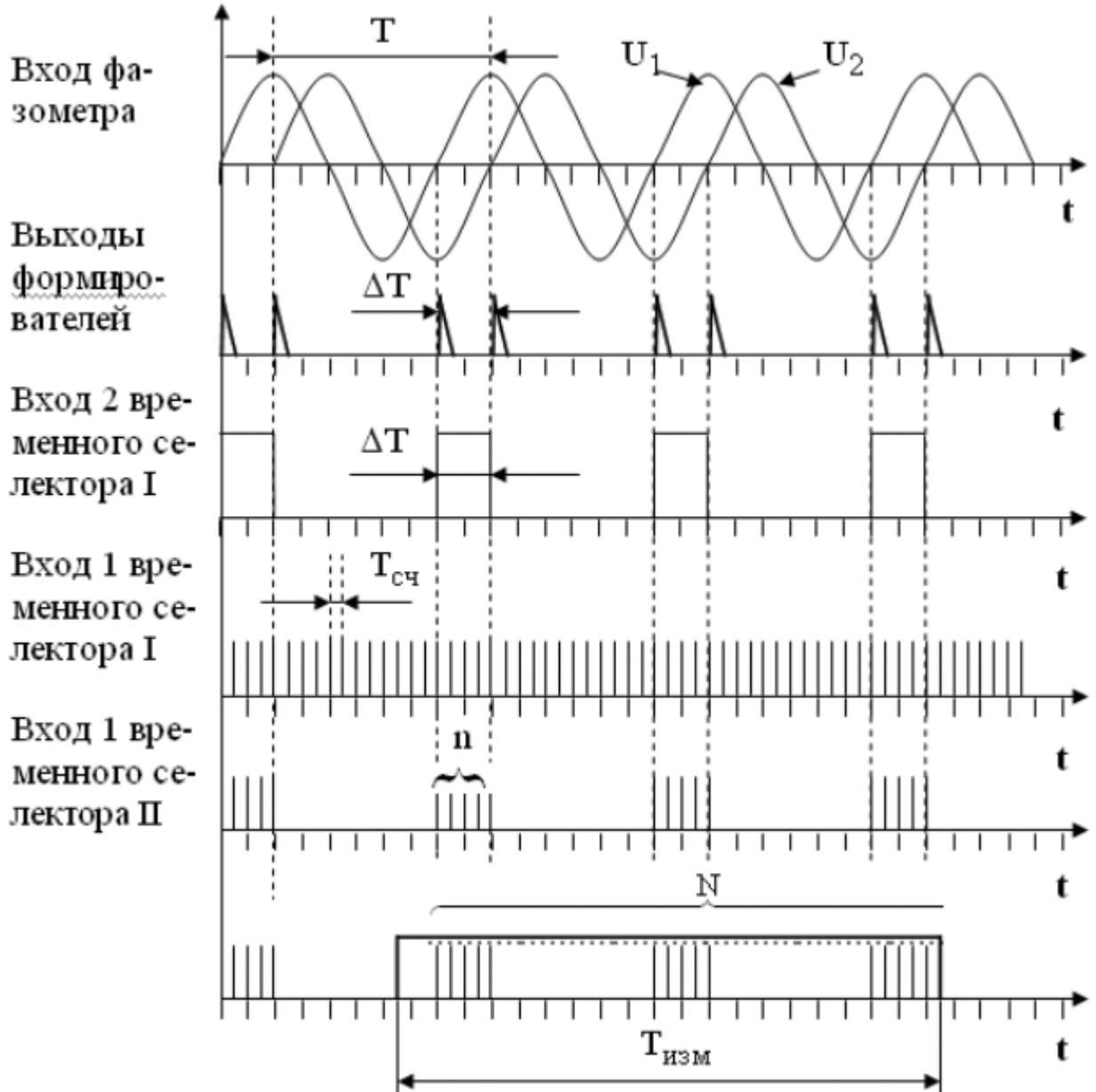


Рисунок 15.2 Временные диаграммы работы цифрового фазометра

Длительность одного цикла измерений $T_{\text{изм}}$ выбирается так, чтобы

$$T_{\text{изм}} \gg T_{\text{нижн}}, \quad (15.2)$$

где $T_{\text{нижн}}$ – период самого низкочастотного напряжения, исследуемого фазометром. При выполнении этого условия общее количество счетных импульсов N , попавших на вход счетчика, можно определить по формуле:

$$N = n \times \frac{T_{\text{изм}}}{T} = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \times \frac{T_{\text{изм}}}{T_{\text{сч}}}. \quad (15.3)$$

Погрешность в определении N по формуле (15.3), тем меньше, чем больше число импульсов n в каждой пачке, и чем лучше выполняется условие (15.2).

Код числа N с выхода счетчика поступает на цифровой индикатор.

Если длительность одного цикла измерений выбрать в соответствии с выражением $T_{\text{изм}} = \frac{K}{2}$, где K – коэффициент деления частоты, то

выражение (15.3) можно записать в виде:

$$N = n \times \frac{T_{\text{изм}}}{T} = \frac{T}{2\pi} \times \frac{T_{\text{изм}}}{T_{\text{сч}}} = \frac{T}{2\pi} \times \frac{K}{2} = \frac{TK}{4\pi}$$

(15.4)

Значение величины K выбирают, как правило, из условия $K = 720 \times 10^m$, где $m=0; 1; 2$ и т. д.

В этом случае для значения угла сдвига фаз получаем:

$$\Delta\phi = 10^{-m} N = qN, \quad (15.6)$$

где q – значение единицы младшего разряда цифрового отсчетного устройства фазометра.

При $m=0$ имеем $q = 1^0$, при $m=1$ – соответственно $q = 0,1^0$, при $m=2$ – соответственно $q = 0,01^0$ и т. д.

Видно, что такой цифровой фазометр является прямопоказывающим, это одно из его достоинств. Важная особенность цифрового фазометра с усреднением состоит в том, что его погрешность дискретности имеет две составляющие: одна связана с ограниченным числом импульсов в каждой пачке, а другая – с ограниченным числом пачек, попадающих в интервал $T_{\text{изм}}$. С изменением

частоты входных напряжений влияние этих двух составляющих погрешности дискретности изменяется в противоположных направлениях. С увеличением частоты количество импульсов в каждой пачке уменьшается, но количество подсчитанных пачек возрастает, с уменьшением частоты происходит противоположный процесс. Возрастание одной составляющей погрешности дискретности при уменьшении n лимитирует верхнюю границу частотного диапазона фазометра, а возрастание другой составляющей при уменьшении числа пачек – нижнюю границу. Можно показать, что для рассмотренных фазометров, значение абсолютной погрешности измерений в диапазоне частот

от 20 Гц до 1МГц обычно составляет от $0,1^0$ до $0,5^0$ и быстро растет по мере

уменьшения или роста частоты за указанные пределы.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 15.3) находятся модели калибратора фазового сдвига (далее калибратора) и цифрового фазометра (далее фазометра).

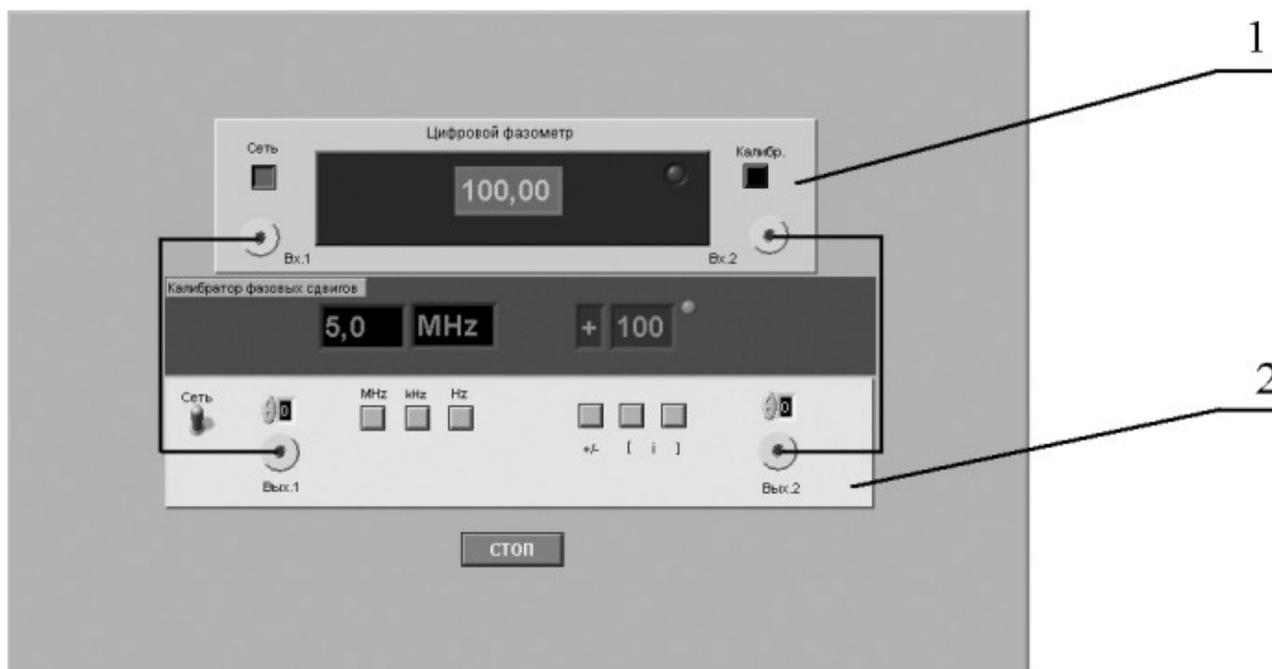


Рисунок 15.3 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении работы № 15 (1-цифровой фазометр, 2-калибратор фазовых сдвигов)

Модель калибратора используется для моделирования работы многозначной меры, воспроизводящей углы фазового сдвига между двумя синхронными гармоническими электрическими сигналами.

Модель цифрового фазометра используется при моделировании процесса измерения угла фазового сдвига между двумя синхронными гармоническими напряжениями с цифровым отображением информации.

Схема включения приборов при выполнении измерений приведена на рисунке 15.4.

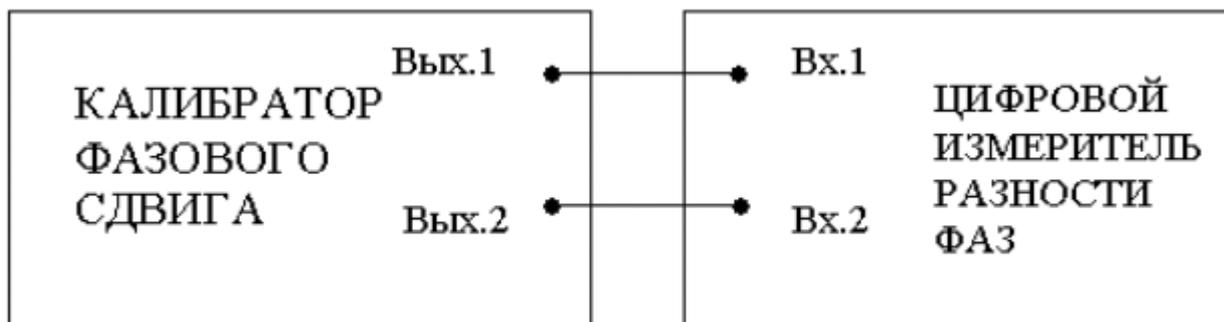


Рисунок 15.4. Схема электрического соединения калибратора и цифрового фазометра при выполнении работы № 15

4 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Запустите программу-оболочку лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR3_7. На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 15.3) Создайте в среде MS Excel, лабораторный журнал, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Включите модели средств измерений и опробуйте их органы управления. В процессе опробования определите возможность изменения частоты сигналов на выходе калибратора и фазового сдвига между ними. Далее установите напряжения на выходе калибратора равным примерно 1В и убедитесь в том, что показания фазометра меняются по мере изменения фазового сдвига между сигналами на выходе калибратора.

4.3. После того, как Вы убедитесь в работоспособности приборов, подготовьте к работе модель фазометра и модель калибратора:

- Включите фазометр и калибратор (после включения на лицевых панелях моделей загорятся табло индикации).
- Установите регуляторы выходных напряжений калибратора в среднее положение.
- Установите значение угла фазового сдвига между сигналами на выходах

калибратора, равным 0 градусов.

- Откалибруйте фазометр, удерживая кнопку «Калибр.» до появления нулевых показаний. После отпускания кнопки фазометр автоматически переходит в режим измерений.

4.4. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Измерение угла фазового сдвига на фиксированной частоте.

- a. Установите значение угла фазового сдвига на выходе калибратора, равным 0 градусов, а значение частоты выходных сигналов равным 10 кГц.
- b. Повторно откалибруйте фазометр.
- c. Снимите показания фазометра.
- d. Запишите в отчет показания фазометра, а также сведения о его классе точности.
- e. Оставляя неизменными амплитуду и частоту сигнала на выходе калибратора, повторите измерения, выбирая фазовый сдвиг между сигналами на выходе калибратора, равным последовательно 10, 30, 60, 90, 120, 150 и 180 градусов.
- f. Повторите измерения согласно п.п. (a-e), оставляя неизменной амплитуду сигналов на выходе калибратора и установив их частоту, равной 0,5Гц или 5МГц.

Задание 2. Измерение угла фазового сдвига на различных частотах.

- a. Установите значение угла фазового сдвига на выходе калибратора, равным 10 градусов, а значение частоты выходных сигналов равным 0,5Гц.
- b. Повторно откалибруйте фазометр.
- c. Снимите показания фазометра.
- d. Запишите в отчет показания фазометра, а также сведения.
- e. Оставляя неизменными амплитуду и фазовый сдвиг между сигналами на выходе калибратора, повторите измерения, выбирая частоту сигналов на выходе калибратора, равной последовательно 50 Гц, 500 Гц, 50 кГц, 0,5 МГц, 5 МГц.
- f. Повторите измерения согласно п.п. (a-e), оставляя неизменной амплитуду сигналов на выходе калибратора и установив разность фаз, равной 60 градусов или 90 градусов.

4.5. Сохраните результаты.

4.6. После сохранения результатов закройте приложение LabVIEW и, при необходимости, выключите компьютер.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными во Введении, а также содержать:

- Графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей измерений от результатов измерений (при фиксированной частоте и при фиксированном фазовом сдвиге) с выделенными на них полосами допустимых погрешностей;

Рекомендованная форма таблиц для записи результатов приведена ниже.

Таблица 15.1

Результаты измерений угла фазового сдвига с помощью цифрового фазометра (частота сигналов 10 кГц)

Фазовый сдвиг на выходе калибратора, град.	Показания фазометра, град.	Абсолютная погрешность фазометра, град		Относительная погрешность фазометра, %		Результат измерений, град.
		расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	

Таблица 15.2

Результаты измерений угла фазового сдвига ___градусов на различных частотах с помощью цифрового фазометра

Частота сигнала на выходе калибратора, Гц	Показания фазометра, град	Абсолютная погрешность фазометра, град		Относительная погрешность фазометра, %		Результат измерений
		расчет	эксперимент	расчет	эксперимент	

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Требуется измерить угол фазового сдвига между двумя гармоническими электрическими сигналами, ориентировочно равный 1 (10, 30, 90, 175) градусам с погрешностью не превышающей 1% (1 градуса). Как это лучше сделать, если частота сигналов равна 1 Гц (100 Гц, 100 кГц, 10 МГц, 1 ГГц)?

- 6.2 В каком случае гармонические напряжения называют противофазными?
- 6.3 Какой метод реализуется при измерении сдвига фаз электродинамическим или ферродинамическим логометром?
- 6.4 Какие преобразования претерпевает измеряемая величина в аналоговых электронных фазометрах?
- 6.5 В каком диапазоне частот работают аналоговые электронные фазометры?
- 6.6 Какие фазометры обеспечивают наивысшую точность в диапазоне частот от нескольких герц до десятков мегагерц?
- 6.7 За счет чего при использовании цифровых фазометров удается обеспечить высокую точность измерений как в области высоких, так и в области низких частот?
- 6.8 Чем отличаются друг от друга цифровой фазометр с усреднением и без усреднения? Когда они используются?
- 6.9 В каком для измерения угла фазового сдвига следует выбрать электронный осциллограф?

Лабораторная работа № 16

Прямые измерения активного электрического сопротивления

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков измерения активного электрического сопротивления (далее сопротивление). Ознакомление с методами измерения активного сопротивления. Приобретение сведений об устройстве и характеристиках некоторых омметров.

2 СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы повторите вопросы обработки и представления результата прямых и косвенных измерений и ознакомьтесь со следующими вопросами:

- Измерение электрического сопротивления постоянному току методами непосредственной оценки и сравнения с мерой.
- Причины возникновения и способы учета погрешностей при прямых и косвенных измерениях электрического сопротивления.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электромеханических омметров.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики электронных (аналоговых и цифровых) омметров.
- Устройство, принцип действия и основные характеристики измерительных мостов постоянного тока.
- Содержание и способы реализации методов измерения, используемых при выполнении работы.
- Устройство и характеристики средств измерений, используемых при выполнении работы.

Прямые измерения сопротивления производятся как приборами непосредственной оценки – омметрами, так и методом сравнения с помощью измерительных мостов. Омметры и мосты бывают электромеханическими, электронными и цифровыми.

Основным элементом электромеханического омметра является магнитоэлектрический механизм или магнитоэлектрический логометр. В

зависимости от схемы они предназначены для измерения либо больших (от единиц Ом до десятков или сотен МОм), либо малых (менее 1 Ом) активных сопротивлений. Многопредельные омметры могут объединять эти схемы в одном приборе. Логометрические омметры имеют достоинства, вытекающие из независимости показаний от напряжения питания. Погрешность омметров рассматриваемых типов обычно лежит в диапазоне от одного до нескольких процентов, причем она неодинакова на разных участках шкалы и резко возрастает на обоих ее концах.

Большие сопротивления (до 10^{10} - 10^{17} Ом) измеряются электронными мегаомметрами и терраомметрами, которые обычно включают в себя измерительные усилители, обеспечивающие высокое входное сопротивление прибора.

Цифровые омметры, как правило, входят в состав цифровых мультиметров. Такие омметры позволяют измерять сопротивления в диапазоне от десятых долей Ом до десятков МОм. Например, многопредельный омметр, входящий в состав миниатюрного цифрового мультиметра М832, позволяет измерять сопротивления в диапазоне от 0,1 Ом до 2 МОм с приведенной погрешностью около 1 %.

Одинарные мосты постоянного тока широко применяются для измерения сопротивления средних значений (от 1 Ом до 10^{10} Ом). Измерительный мост представляет собой стационарный или переносный прибор с набором магазинов сопротивлений, соединенных в мостовую схему (рис. 3.8.1). Индикатором нуля обычно служит гальванометр магнитоэлектрической системы. Гальванометр может быть встроенным в прибор или наружным, так же как батарея или блок питания. Погрешности резисторов, входящих в состав моста вносят основной вклад в погрешность измерения. Значительная погрешность, особенно при малых значениях измеряемых сопротивлений, может быть обусловлена влиянием сопротивления соединительных проводов, при помощи которых измеряемое сопротивление подключается к зажимам. Измерение больших сопротивлений затруднено малой чувствительностью схемы и влиянием паразитных проводимостей. Типичные значения приведенной погрешности при измерении сопротивления одинарным мостом составляют 0,005 – 1,0 %. Однако при измерении больших сопротивлений погрешность может составлять от 5% до 10 %. Для измерения малых сопротивлений применяют двойные мосты, схемы которых позволяют исключить влияние сопротивления проводников и контактов.

Пределы

измерений двойных мостов охватывают область сопротивлений от 10^{-8} Ом до 1000

Ом, погрешность измерения составляет от 0,1% до 2 %.

3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд представляет собой LabVIEW компьютерную модель, располагающуюся на рабочем столе персонального компьютера. На стенде (рисунок 16.1) находятся модели электромеханического омметра, цифрового мультиметра, измерительного моста постоянного тока, магазина сопротивлений и трехпозиционного переключателя.

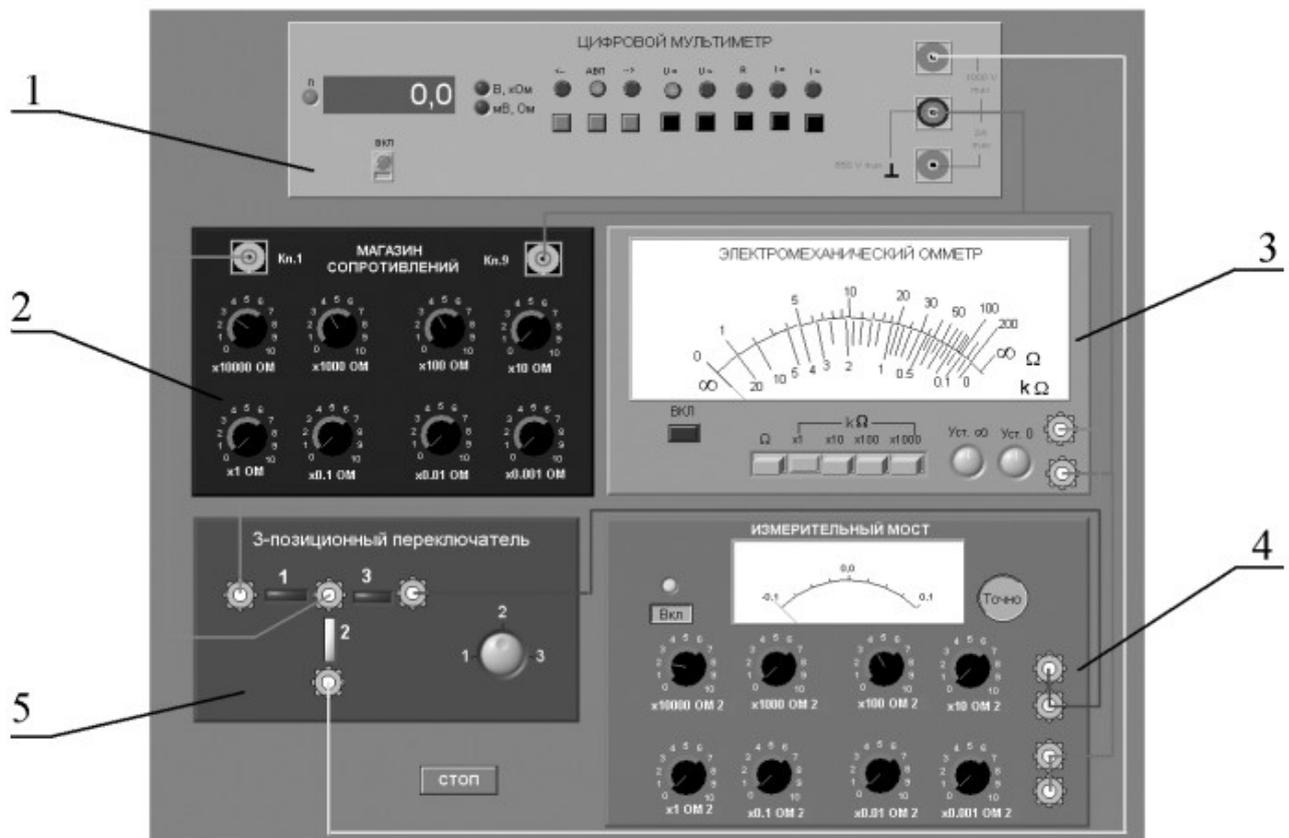


Рисунок 16.1 Модель лабораторного стенда на рабочем столе компьютера при выполнении работы № 16

(1-цифровой мультиметр, 2-магазин сопротивлений, 3-электромеханический омметр, 4-измерительный мост, 5-трехпозиционный переключатель).

При выполнении работы модели средств измерений и вспомогательных устройств служат для решения описанных ниже задач.

Модели электромеханического омметра и цифрового мультиметра используются при моделировании процесса прямых измерений активного

электрического сопротивления методом непосредственной оценки.

Модель измерительного моста постоянного тока используется при моделировании процесса прямых измерений активного электрического сопротивления методом сравнения с мерой.

Модель магазин сопротивлений используется при моделировании работы регулируемой меры активного электрического сопротивления.

В процессе выполнения работы модель трехпозиционного переключателя используется для моделирования различных схем электрического соединения измерительных приборов.

Схема включения приборов при выполнении работы приведена на рисунок 16.2.

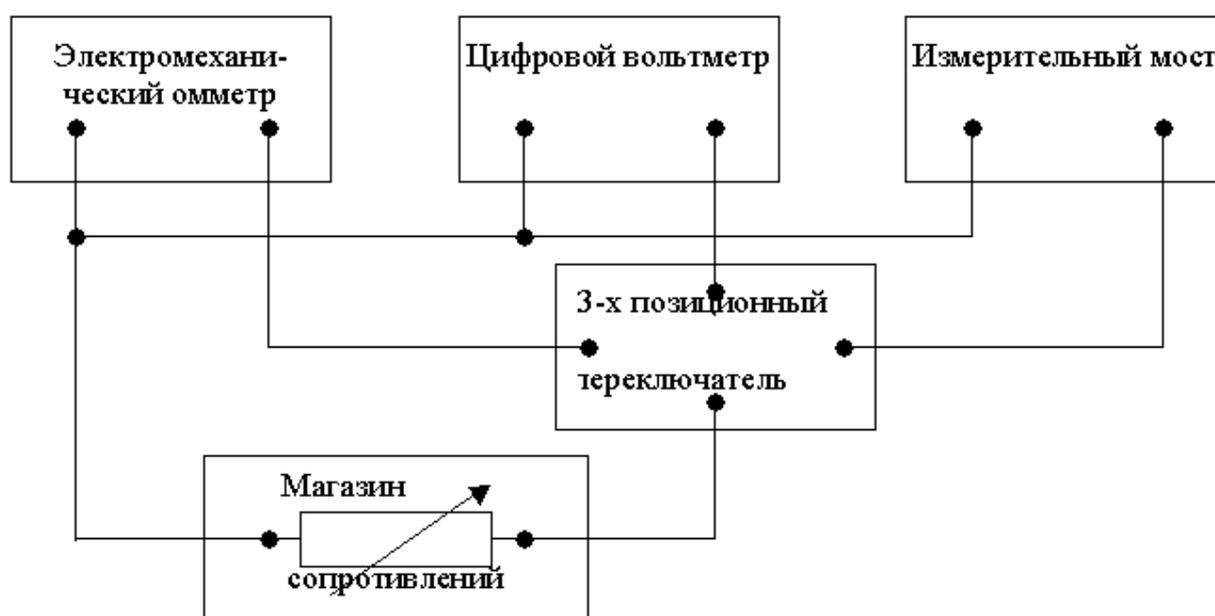


Рисунок 16.2 Схема соединений при выполнении работы № 16

4 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Запустите программу лабораторного практикума и выберите лабораторную работу LR3_8. На рабочем столе компьютера автоматически появится модель лабораторного стенда с моделями средств измерений и вспомогательных устройств (Рисунок 16.2) Создайте в среде MS Excel, лабораторный журнал, который служит для формирования отчета по результатам выполнения лабораторной работы.

4.2. Ознакомьтесь с расположением моделей отдельных средств измерений и других устройств на рабочем столе. Включите модели средств измерений и опробуйте их органы управления. В процессе опробования убедитесь в том, что измерительный мост можно сбалансировать, а показания электромеханического омметра и мультиметра меняются по мере изменения сопротивления магазина сопротивлений.

4.3. После того, как Вы убедитесь в работоспособности приборов, подготовьте к работе модель омметра, мультиметра и измерительного моста:

- Включите омметр (после включения на лицевой панели модели загорится световой индикатор).
- Откалибруйте омметр. Выберите режим измерения омметра, соответствующий минимальным измеряемым сопротивлениям (« Ω ») и подключите к входу прибора бесконечно большое сопротивление (разрыв цепи), затем ручкой «Уст. ∞ » установите стрелку на деление шкалы, обозначенное « ∞ ». Выберите режим измерения омметра, соответствующий максимальным измеряемым сопротивлениям (« $k\Omega \times 100$ ») и подключите к входу прибора нулевое сопротивление (короткое замыкание цепи), затем ручкой «Уст. 0» установите стрелку на нулевое деление шкалы.
- Включите цифровой мультиметр и переведите его в режим измерения сопротивления с автоматическим выбором пределов АВП (на лицевой панели модели загорится соответствующий световой индикатор).
- Включите измерительный мост (после включения на лицевой панели модели загорится световой индикатор), выключите все модели.

4.4. Приступите к выполнению заданий лабораторной работы.

Задание 1. Измерение активного электрического сопротивления методом непосредственной оценки.

- a. Установите значение сопротивления магазина, равным 100кОм.
- b. Пользуясь 3-х позиционным переключателем, подключите последовательно измеряемое сопротивление к входам омметра и мультиметра.
- c. Снимите последовательно показания омметра и мультиметра.
- d. Запишите в отчет показания омметра и мультиметра, а также сведения о классе точности использованных приборов.
- e. Повторите измерения по п.п. (a-d), последовательно устанавливая

Таблица 16.2

Результаты измерения активного сопротивления с помощью измерительного моста (класс ___)

Показания магазина сопротивлений, кОм(Ом)	Показания измерительн. моста, кОм(Ом)	Погрешность измерений		Результат измерений, Ом
		Абс., Ом	Относит., %	

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Требуется измерить активное электрическое сопротивление, значение которого ориентировочно равно 0,01 Ом (0,1 Ом, 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом, 10кОм, 100 кОм, 1Мом, 10Мом). Как это лучше сделать, если погрешность измерений не должна превысить 1 Ом (0,5%)?
- 6.2 Опишите принцип работы электромеханического омметра. Чем, в первую очередь, определяются его метрологические характеристики?
- 6.3 Что является главным источником погрешностей магнитоэлектрических омметров?
- 6.4 Каков нижний предел измерения одинарного моста постоянного тока? Чем он определяется?
- 6.5 Какие значения сопротивления удобно измерять с помощью двойного моста постоянного тока?
- 6.6 Когда оправдано использовать косвенные измерения для определения значения электрического сопротивления?
- 6.7 Опишите принцип работы цифрового омметра. Чем, в первую очередь, определяются его метрологические характеристики?
- 6.8 Опишите принцип работы измерительного моста постоянного тока. Чем, в первую очередь, определяются его метрологические характеристики?
- 6.9 Чем определяется погрешность измерений при использовании цифрового омметра?
- 6.10 Почему с помощью мостовой схемы нельзя измерять большие (более

10 МОм) сопротивления?

Список литературы

- 1 Закон України. Про метрологію та метрологічну діяльність. Київ. 11 лютого 1998 року №113/98-ВР.
- 2 Державний стандарт України ДСТУ 3921.1 – 1999. Вимоги до забезпечення якості засобів вимірювальної техніки.
- 3 Державний стандарт України ДСТУ 3921.2 – 2000. Забезпечення якості засобів вимірювальної техніки
- 4 Державний стандарт України ДСТУ 2681 Державна система забезпечення якості виірювань
- 5 Стандарты информационных технологий.(ГОСТ 34.XXX-XX)
- 6 Системи оброблення інформації (ДСТУ 2940-94, ДСТУ 2941-94, ДСТУ 3043-95).
- 7 Довгалюк Б.П. Метрологія., Дніпропетровськ 2001.
- 8 В.Г.Тарасенко, О.Ю.Долга Основи метрології та електричні вимірювання, Дніпропетровськ НГУ 2011
- 9 У Болтон Карманный справочник инженера-метролога, М.,2002