

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет
Кафедра общей физики

«ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ»

А. Д. Косинов, В. Н. Горев, А. М. Сорокин

Работа 2.3

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
ЛАБОРАТОРНЫМ КОМПЛЕКСОМ NI ELVIS**

Учебно-методическое пособие

Новосибирск
2008

Представлено описание новой лабораторной работы 2.3 измерительного практикума кафедры общей физики НГУ, в которой студенты знакомятся с технологией виртуальных приборов на примере автоматизированного лабораторного комплекса NI ELVIS. Работа выполняется студентами 1–2-го курсов физического факультета, факультета информационных технологий, геолого-геофизического, медицинского факультетов и факультета естественных наук.

Составители:

А. Д. Косинов, В. Н. Горев, А. М. Сорокин

Рецензенты

доц. О. А. Брагин, доц. А. М. Задорожный

Издание подготовлено в рамках выполнения инновационно-образовательной программы *«Инновационные образовательные программы и технологии, реализуемые на принципах партнёрства классического университета, науки, бизнеса и государства»* национального проекта «Образование».

© Интернет версия подготовлена для
сервера Физического факультета НГУ
<http://www.phys.nsu.ru>

© Новосибирский государственный
университет, 2008

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 4 |
| Использование Виртуальных приборов измерительного комплекса NI ELVIS | 6 |
| Включение измерительного комплекса и запуск меню ВП..... | 8 |
| Знакомство с набором ВП на базе NI ELVIS..... | 10 |
| Практические упражнения | 15 |
| Задание 1. Измерение величины сопротивления, емкости, индуктивности. Определение проводимости диода. | 15 |
| Задание 2. Измерение постоянного напряжения и тока. | 18 |
| Задание 3. Измерение вольтамперной характеристики двухполюсников | 19 |
| Задание 4. Измерение полного сопротивления | 22 |
| Задание 5. Использование мультиметра совместно с осциллографом NI ELVIS. | 23 |
| Задание 6. Использование генератора функций совместно с осциллографом NI ELVIS | 24 |
| Задание 7. Измерение АЧХ и ФЧХ для ФВЧ и ФНЧ | 25 |
| Приложение | 27 |
| Литература | 33 |

Автоматизированные измерения лабораторным комплексом NI ELVIS

Цель работы: Ознакомление с технологией Виртуальных Приборов на примере автоматизированного измерительного комплекса **NI ELVIS**. Измерение характеристик элементов электрических цепей и электрических сигналов.

Оборудование: Персональный компьютер с подсоединенным измерительным комплексом **NI ELVIS**, макетные платы с радиодеталями (диоды, резисторы, конденсаторы и т. д.).

Ключевые слова: автоматизированные измерения, лабораторный комплекс **NI ELVIS**, виртуальные приборы.

Введение

Суть измерений состоит в получении цифрового эквивалента некоторой физической величины. Для этого ее либо измеряют напрямую, либо используют первичные преобразователи (датчики), подключенные к измерительным приборам. Датчик, соединенный с измерительным прибором, представляет собой простейшую систему измерений. Современная измерительная система (рис. 1) автоматизирована и может включать как *аналоговые*, так и *цифровые* приборы.

Аналоговые приборы преобразуют входные сигналы непрерывно по времени в значения физической величины (в общем случае также непрерывно изменяющиеся по времени). Если $Y(t)$ – физическая величина, измеряемая аналоговым прибором по входному сигналу $x(t)$, то $Y(t) = L[x(t)]$, где L – известный с определенной точностью закон (модель) преобразования. Наиболее важным свойством приборов является линейность функции преобразования. Требование линейности преобразования очень важно для корректных измерений. В противном случае мы сталкиваемся с искажением результатов измерений или наблюдений и необходимостью их корректировки. Простейшим

примером линейного преобразования является усиление входного сигнала в «К» раз или масштабирование.

Цифровые приборы имеют более широкий класс преобразований входного сигнала. В первую очередь, это аналоговые преобразования сигнала, а затем его оцифровка и представление физической величины в виде цифровой индикации. Существует несколько способов преобразования аналогового сигнала в цифровой код. Наиболее наглядный и очевидный метод оцифровки сигнала – это представление его в виде дискретного ряда числовых значений или отсчетов: $Y_i(t_i) = D_i\{L[x(t)]\}$, где D_i – способ оцифровки сигнала. Аналоговые и цифровые приборы имеют свои преимущества и недостатки. И хотя совершенствование цифровых технологий и цифровых приборов, очевидно, будет продолжаться, еще долгое время оба типа приборов будут взаимно дополнять друг друга в профессиональной практике.

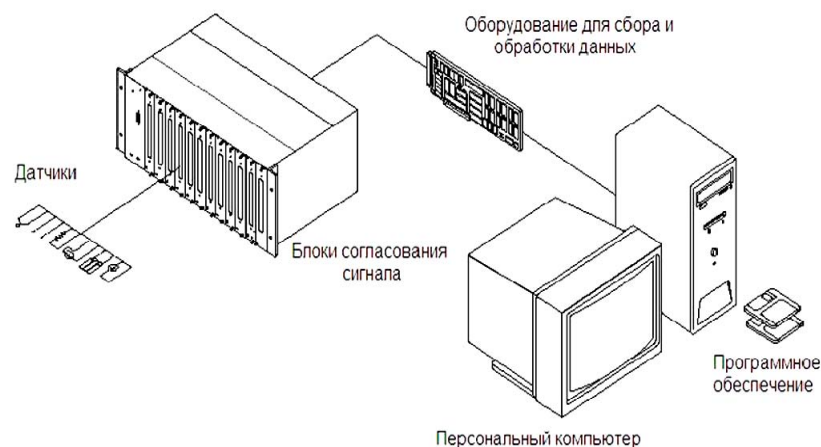


Рис. 1. Схема типичной измерительной системы

В данной лабораторной работе Вы познакомитесь с измерением разнообразных физических величин с помощью автоматизированного измерительного комплекса **NI ELVIS**.

Использование Виртуальных приборов измерительного комплекса NI ELVIS

Автоматизация измерений под управлением компьютера выполняется с помощью специально написанных программ. Для создания таких программ можно использовать разные языки программирования. Для выполнения измерений в комплексе **NI ELVIS** используется разработанный фирмой **NI** инженерный языковой пакет графического программирования **LabVIEW**. Он позволяет достаточно быстро создавать разнообразные программы автоматизации измерений.

Графическое программирование в **LabVIEW** позволяет превратить обычный персональный компьютер с подключенными к нему специализированными цифровыми платами в Виртуальное измерительное устройство с функциями реального физического прибора, которое в этом случае можно назвать Виртуальным прибором [1]. Однако в **LabVIEW** все исполняемые программы называются Виртуальными приборами (ВП – файлы с расширением *.vi – **Virtual Instrument**) независимо от того, являются ли они полными аналогами физических устройств или только графически моделируют реальный или гипотетический измерительный инструмент, панель управления технологическим процессом или экспериментальной установкой, систему измерений или обработки данных¹.

Общий вид измерительной системы **NI ELVIS** показан на рис. 2. Настольная рабочая станция, соединенная с платой сопряжения и компьютером вместе, образуют заверченный лабораторный измерительный комплекс. Панель управления, расположенная на станции, снабжена простыми в обращении кнопками и ручками управления генератором сигналов и регулируемые блоками питания. Лабораторный комплекс **NI ELVIS** имеет монтажную плату и набор виртуальных приборов (ВП), разработанных в среде **LabVIEW** [2], которые выполняют функции некоторых обычных измерительных приборов и

¹ Аналогами Виртуальных инструментов в Windows можно назвать программы Калькулятор и Медиапроигрыватель, интерфейс которых есть графическое представление реальных физических устройств.

цифровых устройств. Существует возможность подключения к программным приборам: осциллографу и цифровому мультиметру NI ELVIS с помощью BNC-разъемов и разъемов штекерного типа.

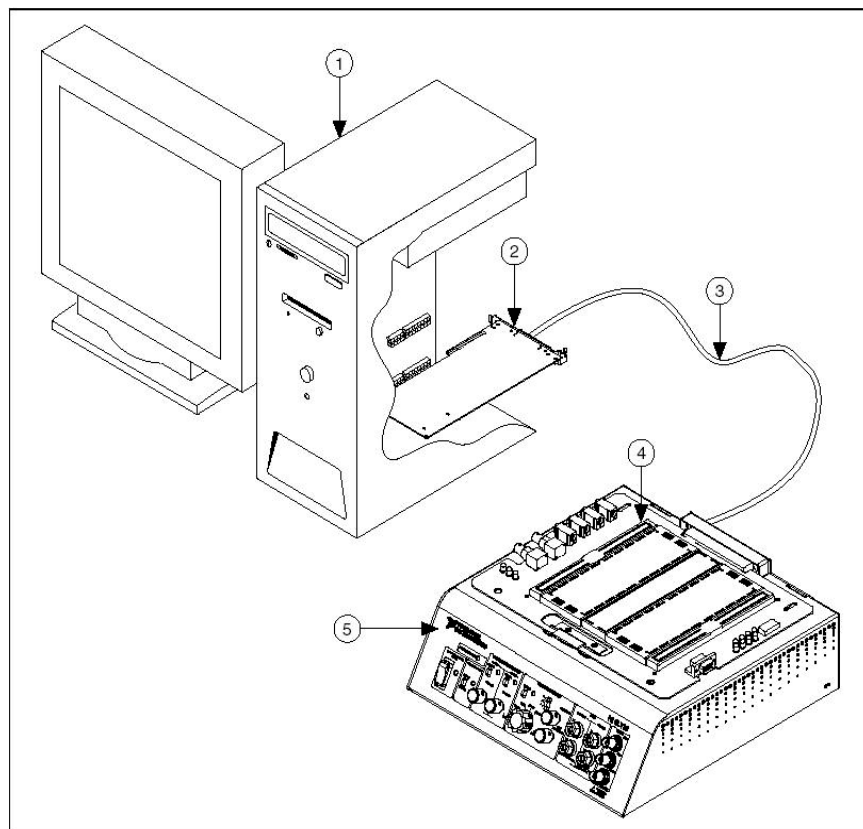


Рис. 2. Общий вид комплекса NI ELVIS. Здесь изображены:

- 1 – компьютер с программой **LabVIEW**;
- 2 – плата сопряжения;
- 3 – соединительный кабель;
- 4 – макетная плата;
- 5 – настольная рабочая станция NI ELVIS

Включение измерительного комплекса и запуск меню ВП

Для работы с настольной станцией можно использовать и панель управления, и монтажную плату, которые показаны на рис. 3 (см. также приложение).



Рис. 3. Рабочая станция NI ELVIS с монтажной платой и передней панелью управления

Перед включением станции освободите разъемы и проверьте состояние переключателей на передней панели. Включатель питания монтажной платы (**Prototyping board power**) должен быть отключен (нажат вниз), а двухпозиционные переключатели (движкового типа) справа от него (четыре) желательно также переключить в нижнее положение.

Тумблером, расположенным на задней панели справа, включите станцию NI ELVIS. Светодиод (индикатор) при этом должен засветиться. Затем включите подсоединенный к станции компьютер, если он не был включен до этого, и подождите, пока

операционная система загрузится полностью. На рабочем столе **Windows** найдите пиктограмму (ярлык) **NI ELVIS** и запустите эту программу. На экране появится меню запуска различных виртуальных приборов, которое будет доступно после окончания инициализации станции **NI ELVIS**. Этот процесс можно наблюдать, как показано на рис. 4.

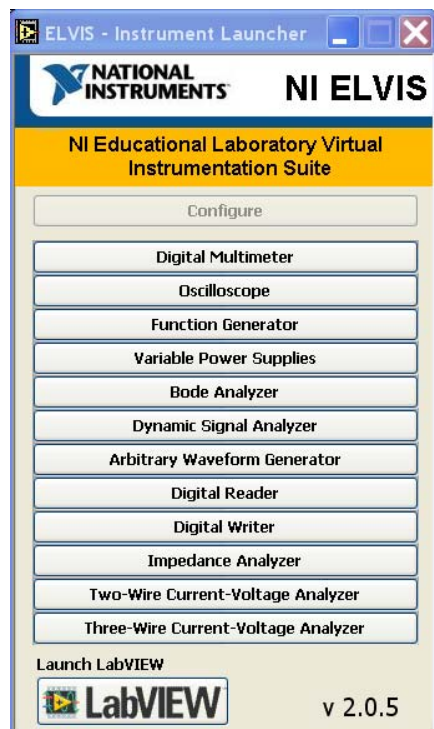


Рис. 4. Запуск программы NI ELVIS

Внимание! Если инициализация закончилась успешно, то все компоненты меню будут доступны. Если кнопки включения виртуальных приборов затемнены (недоступны), это значит, что устройство не сконфигурировано или что настольная станция отключена от питания. Программа выдаст сообщение о конкретной ошибке [1].

Знакомство с набором ВП на базе NI ELVIS

Внимательно изучите меню! Программа **NI ELVIS** включает (в том числе и физически!) следующие виртуальные приборы:

Digital Multimeter – цифровой мультиметр;

Oscilloscope – двухканальный осциллограф;

Function Generator – генератор функций;

Variable Power Supplies – регулируемые источники питания;

Bode Analyzer – анализатор амплитудно-фазовых спектров (анализатор АЧ и ФЧ характеристик сигналов);

Dynamic Signal Analyzer – анализатор спектра мощности динамических сигналов;

Arbitrary Waveform Generator – генератор сигналов произвольной формы;

Digital Bus Reader – программа считывания с шины данных цифровых (бинарных) кодов (8 бит). Шина данных (разъем) расположена на макетной плате;

Digital Bus Writer – программа записи в шину данных цифровых (бинарных) кодов (8 бит);

Impedance Analyzer – анализатор полного сопротивления (импеданса);

Two-Wire Current Voltage Analyzer – двухвыводной вольтамперный анализатор;

Three-Wire Current Voltage Analyzer – трехвыводной вольтамперный анализатор.

Внимание! Для включения какого-либо прибора, необходимо нажать на соответствующую кнопку. Сделайте это последовательно *для каждого прибора в отдельности*, т. е. выключая прибор перед включением следующего. Это позволит избежать возникновения конфликта устройств.

Основным компонентом данных ВП являются передняя панель, отображаемая на экране дисплея. Передняя панель имеет пользовательский интерфейс ВП, который позволяет выполнять функции настройки / управления и отображать результаты работы ВП.

Основными рабочими кнопками приборов являются кнопки запуска виртуального прибора и кнопки сохранения данных измерений и / или анализа в файл:

Run (Single) – кнопки запуска виртуального прибора;

Run – в нажатом состоянии – непрерывная работа виртуального прибора;

Single – при нажатии программа выполняется один раз ²;

Log – при нажатии возможно сохранение результатов в файл в режиме **Single** или после отключения кнопки **Run**.

Внимание! Перед закрытием ВП необходимо отжать кнопку Run! Только в этом случае приложение становится неактивным и не вызывает ошибки при включении некоторых других ВП.

Познакомьтесь с лицевыми (пользовательскими) панелями виртуальных приборов разного назначения. Некоторые из них Вы хорошо узнаете по графическому представлению, а с некоторыми Вам предстоит познакомиться впервые.

Цифровым мультиметром можно измерить следующие величины:

1. *Постоянное и переменное напряжение.*

Для этого используются разъемы **VOLTAGE HI** и **VOLTAGE LO**. Прибор измеряет разность величин напряжения между этими входами. Измеряемое постоянное напряжение должно быть в пределе ± 20 В. Действующее значение переменного напряжения не должно превышать 14 В.

2. *Постоянный и переменный ток.*

Для измерения тока используются разъемы **CURRENT HI** и **CURRENT LO**. Прибор измеряет разность величины напряжения между этими входами и пересчитывает на показания тока. Ток не должен превышать 250 мА.

Разъемы **CURRENT HI** и **CURRENT LO** используются, если измеряются все ниже перечисляемые величины:

– *Активное сопротивление*³. Значение сопротивления должно находиться в пределах от 1 Ом до 3 МОм.

– *Емкость*. Значение емкости должно находиться в пределах от 10 пФ до 500 мкФ.

– *Индуктивность*. Значение индуктивности должно находиться в пределах от 10 мкГн до 100 мГн.

– *Определение проводимости диода.*

– *Прозвонка* (определение целостности участка цепи).

В режиме измерения напряжения мультиметр можно использовать при работе с осциллографом **NI ELVIS**.

Осциллограф NI ELVIS обладает функциями стандартного цифрового осциллографа. Он имеет два канала. Воспользоваться осциллографом можно через разъемы на лицевой панели настольной станции либо через разъемы на макетной панели. Если Вы уже знакомы с работой осциллографа, то легко освоите работу его виртуального аналога. При работе двух каналов нечетный отсчет АЦП отображается по первому каналу, а четный – по второму. В режиме **Single** или при выключении кнопки **Run** прибор позволяет записывать осциллограммы длиной до 1 000 точек по каждому каналу либо до 2 000 точек по одному каналу в текстовый файл.

Генератор функций встроен в настольную станцию. Сигнал на его выходе имеет синусоидальную, прямоугольную либо треугольную форму. Выбор формы сигнала, выдаваемого генератором функций, производится как элементами управления настольной станции (при ручном режиме управления, когда движковый переключатель ГФ на лицевой панели установлен в верхнее положение *manual*), так и элементами управления виртуального прибора (при программном режиме управления, когда движковый переключатель ГФ на лицевой панели переведен в нижнее положение). Для этого необходимо сделать предварительно установки для:

² Как правило, после выполнения измерения в этом режиме виртуальный прибор является неактивным приложением, что позволяет чередовать измерения разными виртуальными приборами, не закрывая их.

³ Сопротивление, индуктивность и емкость измерять невозможно, когда генератор функций работает в ручном режиме.

- *формы сигнала* (синусоидальная, треугольная, прямоугольная);
- *амплитуды* (± 128 градаций амплитуды в пределах $\pm 2,5$ В);
- *частоты* (быстрая установка диапазона частоты от 5 Гц до 250 кГц и плавная регулировка частоты – 12 бит внутри выбранного диапазона);
- *постоянной составляющей* (± 256 градаций постоянной составляющей в пределах $\pm 4,5$ В);
- *амплитуды* (± 256 градаций от 0 до 2,5 В).

Генератор можно использовать при работе с некоторыми приложениями из рассматриваемого набора ВП (например, с осциллографом **NI ELVIS**). Выход генератора доступен только на разъемах монтажной платы.

Регулируемые источники питания позволяют получить на выходах, расположенных на монтажной плате, постоянное напряжение от -12 до 0 и от 0 до +12 В. Управление источниками питания возможно как в ручном, так и в программном режиме.

Анализатор амплитудно-фазовых спектров предназначен для построения амплитудно-частотной и фазово-частотной характеристик (АЧХ и ФЧХ) пассивных и активных линейных электрических цепей. Для улучшения картины АЧХ и ФЧХ надо подбирать амплитуду сигнала. На пассивные цепи следует воздействовать сигналом с высокой амплитудой, а активные цепи (с усилением) лучше изучать сигналом с небольшой амплитудой, что позволит избежать режима насыщения выходного напряжения.

Анализатор динамических сигналов вычисляет и отображает спектр мощности сигнала по одному из каналов. С его помощью можно также дискретно определять частотные составляющие сигнала по мощности на частоте. Диапазон частот, для которых производится вычисление спектра мощности сигнала, зависит от возможностей аналого-цифровых преобразователей устройства.

С помощью **генератора сигналов произвольной формы** можно получить выходной сигнал произвольной, но определяемой пользователем формы. Создавать множество различных сигналов позволяет программа **Waveform Editor**, которая включена в программное обеспечение **NI ELVIS**. Генератор имеет два канала

аналогового вывода, которые позволяют получить одновременно на выходе два сформированных сигнала. Его можно использовать при работе с осциллографом **NI ELVIS**. Выход генератора доступен на разъемах монтажной платы.

Цифровое считывающее устройство считывает двоичные коды с шины данных. Подключение устройства осуществляется через шину цифрового ввода **DI** монтажной платы.

Цифровое записывающее устройство передает шине записи пользовательские цифровые шаблоны. Вы можете сами составить шаблон или использовать готовые шаблоны. Подключение устройства осуществляется через шину цифрового вывода **DO** монтажной платы. Уровень сигнала 5 В соответствует положению переключателя **HI**, уровень 0 В соответствует положению переключателя **LO**.

Анализатор полного сопротивления можно использовать для определения сопротивления активной и реактивной составляющей пассивного двухполюсного элемента при фиксированной частоте тестового сигнала. Подключение к анализатору полного сопротивления осуществляется через разъемы **CURRENT HI** и **CURRENT LO**. Максимальная частота тестового сигнала 5 кГц.

Двухвыводной вольтамперный анализатор позволяет получить вольтамперную характеристику двухполюсника. Измерения можно производить в пределах ± 10 В для напряжения и ± 10 мА для тока. Поскольку в станции используется 12-ти битный АЦП, то минимальное разрешение по току соответствует 5 мкА. Поэтому измерять обратный ток диодов, который должен быть отрицательным и по величине составлять микроампер или меньше, нельзя. Виртуальный прибор позволяет выполнить настройку пределов изменения тока и напряжения, а также сохранить данные в файл. Подключение двухполюсника осуществляется к разъемам **CURRENT HI** и **CURRENT LO**.

Трехвыводный вольтамперный анализатор предназначен для снятия характеристик биполярных n-p-n транзисторов в пределах от 0 до 10 В по напряжению коллектора, от 0 до 10 мА по току коллектора и от 15 мкА по току базы. Подключение

транзистора: коллектор подсоединяется к разъему 3-**WIRE**, база – к **CURRENT HI**, эмиттер – к **CURRENT LO**.

Таким образом, Вы познакомились с набором виртуальных приборов, созданных на базе измерительного лабораторного комплекса **NI ELVIS**. Эти Виртуальные приборы позволяют освоить приемы таких стандартных измерений, как измерение напряжения, тока, характеристик различных двухполюсников (радиодеталей), получение амплитудно-частотной, фазово-частотной, вольтамперной характеристик (зависимостей) и оценить спектр мощности электрического сигнала. Некоторые результаты измерений ВП по желанию записываются в файл для последующего документирования, анализа и обработки. С помощью Виртуальных приборов генератор функций и регулируемые источники питания можно получить и управлять источниками электрических сигналов настольной станции по дисплею персонального компьютера. Виртуальный прибор для цифрового ввода-вывода может использоваться в задачах управления работой цифровых схем.

Практические упражнения

Задание 1. Измерение величины сопротивления, емкости, индуктивности. Определение проводимости диода.

Оборудование: набор радиодеталей (сопротивления около 2 кОм и 3 кОм, конденсатор около 0,5 мкФ, дроссель около 0,5 мГн, диод КД503А, стабилитрон Д814А), макет длинная линия.

1.1. Запустите (включите) цифровой мультиметр (рис. 5) и остановите (выключите **Run**) автоматический режим измерения. Подсоедините поочередно измеряемые элементы к разъемам **CURRENT HI** и **CURRENT LO** передней панели станции и выполните измерения, включая нужную величину на панели мультиметра. Запишите результаты измерений в таблицу с учетом погрешностей.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | среднее | погрешн. |
|---------------|---|---|---|---|---|---------|----------|
| сопр. 1 | | | | | | | |
| сопр. 2 | | | | | | | |
| индуктивность | | | | | | | |
| емкость | | | | | | | |

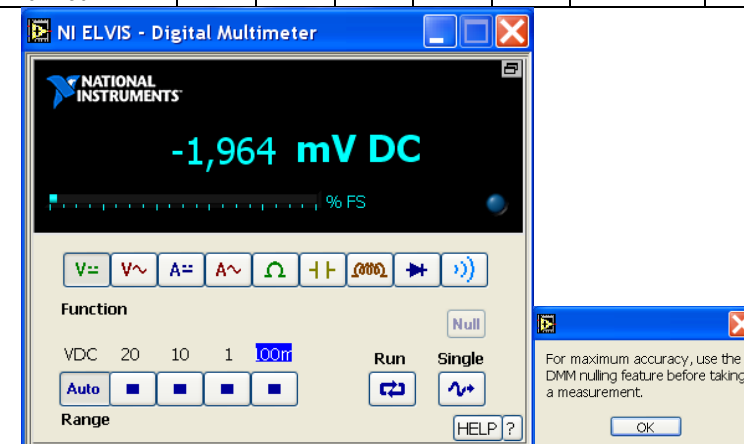


Рис. 5. Виртуальная панель цифрового мультиметра и «всплывающая» рекомендация по улучшению точности измерения при использовании клавиши обнуления прибора. Эту опцию рекомендуется использовать при выборе наименьшего из диапазонов измерения

1.2. Полупроводниковый диод – полярное устройство [3, 4] с двумя выводами: анодом и катодом. Иногда вывод катода помечается полоской. Имеются и другие способы, чтобы указать эту полярность на корпусе диода. Если приложить положительное напряжение определенной величины к аноду, то через диод потечет ток. Мы можем использовать **NI ELVIS**, чтобы выяснить полярность диода. Запустите **NI ELVIS** и выберите **DMM**, а затем отключите **Run** и нажмите клавишу со значком диода $\blacktriangleright+$.

Определите проводимость диода и запишите показания мультиметра, для этого подсоедините диод в произвольном направлении к входам **CURRENT**. Выберите на мультиметре функцию **Run**, выполните измерения. Переключите диод в другом направлении и проделайте те же действия. В одном случае

показания мультиметра будут меньше 3,5 В и экран мультиметра высветит сообщение **GOOD**. Этот режим измерения соответствует прямому включению диода. В другом направлении (при обратном включении) показания мультиметра будут равны или чуть больше 3,5 В, при этом появляется надпись **OPEN** (рис. 6.). Показание напряжения при прямом включении диода соответствует падению напряжения на нем. Для кремниевых диодов эта величина обычно около 0,6 В.

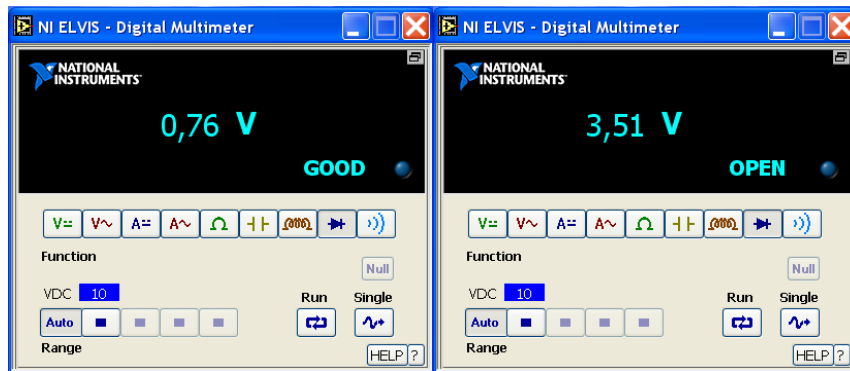





Рис. 6. Виртуальная панель цифрового мультиметра в режиме проверки полярности диода

1.3. Определите сопротивление, емкость и индуктивность макета длинная линия. Для этого подсоедините одну сторону макета длинная линия к разъемам **CURRENT**. Выберите поочередно режимы измерений: емкость **C** , сопротивление **R**  и индуктивность **L** . **Внимание!** При измерении емкости второй конец длинной линии должен быть разомкнут, а при измерении сопротивления и индуктивности замкнут. Заполните таблицу:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | среднее | погреш. |
|---------------|---|---|---|---|---|---------|---------|
| сопротивление | | | | | | | |
| индуктивность | | | | | | | |
| емкость | | | | | | | |

Оцените волновое сопротивление $R = (L/C)^{0,5}$, погонную емкость и сопротивление (емкость или сопротивление кабеля на единицу длины принято называть погонной).

Выключите **Run** перед закрытием приложения.

Задание 2. Измерение постоянного напряжения и тока.

Оборудование: макет с сопротивлениями около 2, 3 кОм и 1 Ом, источник постоянного тока Б5-47 или аналогичный.

2.1. Делитель напряжения.

Используя макет, сначала измерьте величины сопротивлений. Выберите наибольшие по величине сопротивления, соберите схему, соответствующую рис. 7, выполнив подсоединение к источнику питания и к разъемам **DMM (VOLTAGE)**.

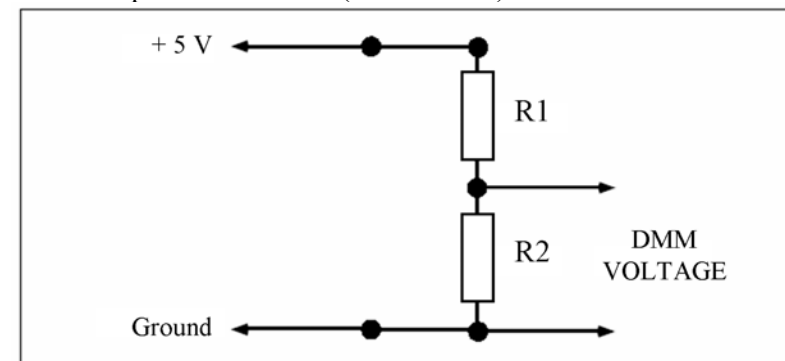


Рис. 7. Схема делителя напряжения

Измерьте входное и полное напряжение, а также падение напряжения на каждом резисторе. Определите коэффициент деления и сравните с расчетом. Оцените погрешности. Далее измерьте ток по схеме Рис. 8. Оцените величины сопротивлений.

2.2. Простая схема стабилизатора тока. Измерение малых сопротивлений.

Простой стабилизатор тока можно реализовать по схеме, приведенной на рис. 7, если использовать в качестве первого резистора большое сопротивление. Тогда при условии $R_1 \gg R_2$ ток

в схеме будет стабилизированным с точностью до отношения R_2 / R_1 . Мы можем использовать эту схему для измерения малых сопротивлений (R_2). Сделайте это в качестве упражнения.

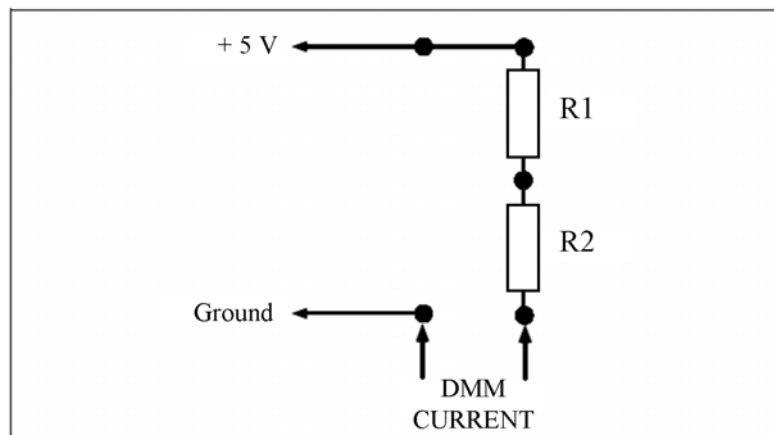


Рис. 8. Схема для измерения тока

Обычно для измерения сопротивления нагрузки используются небольшие токи, порядка 1мА. При необходимости используют усилитель постоянного тока.

Задание 3. Измерение вольтамперной характеристики двухполюсников.

Оборудование: сопротивление от 1 до 3 кОм; светодиоды: красный, желтый, зеленый.

Как известно, закон Ома выражает линейную зависимость электрического тока от напряжения: $I = \rho U$, где $\rho = 1 / R$. Элементы цепи, для которых это выполняется, называются линейными элементами электрической цепи (сопротивление, индуктивность, емкость). Если изменение тока от напряжения для элемента цепи не является линейной функцией, то такой элемент электрической цепи является нелинейным (диод, транзистор, лампа накаливания и др.). Для нелинейных элементов цепи их вольтамперная характеристика наиболее важна.

3.1. Испытание светодиодов и определение их полярности

Подсоедините один из светодиодов к выходам мультиметра **CURRENT HI** и **LO**. Нажмите **Run** на панели ВИ. Если светодиод подключен в прямом направлении, то он будет светиться и мультиметр покажет приближенно значение рабочего напряжения. Если светодиод не излучает свет, то подсоедините его в обратном направлении.

Выполните аналогичные измерения для остальных светодиодов и заполните таблицу:

| | Рабочее напряжение (U_p), В | Ток по вольтамперной характеристике (I_p), мА |
|---------|---------------------------------|---|
| Красный | | |
| Желтый | | |
| Зеленый | | |

3.2. Характеристическая кривая диода

Характеристической кривой диода является график функции (зависимости) тока от напряжения, приложенного к диоду. Для получения вольтамперной характеристики диодов в **NI ELVIS** необходимо запустить **Two Wire Current-Voltage Analyzer**, установить режимы измерения: начало, конец теста по напряжению и шаг по напряжению и нажать **Run**. По окончании теста результаты можно записать в файл, используя кнопку **Log**.

Для корректного выполнения теста используйте округленную в большую сторону величину конечного напряжения (U_p), полученную в предыдущем задании. Как правило, эти параметры следующие:

| | | |
|--------------|-------------|------------------|
| Начало теста | (Start) | -1,0 В. |
| Конец теста | (Stop) | $\approx U_p$ В. |
| Шаг | (Increment) | +0,1 В. |

Внимание! Если в результате теста был превышен максимальный ток (10 мА), то на экране анализатора появится сообщение *** Positive current limit exceeded ***. В этом случае необходимо подобрать новое (меньшее) значение для ячейки **Stop**.

Пример выполнения указанного теста для стабилитрона приведен на рис. 9. Выполните измерения вольтамперной характеристики и запишите результаты в файлы для красного, желтого и зеленого светодиодов. Определите, какому току соответствует рабочее напряжение, полученное в предыдущем задании. Для этого используйте измерения курсором. Запишите полученные значения в таблицу.

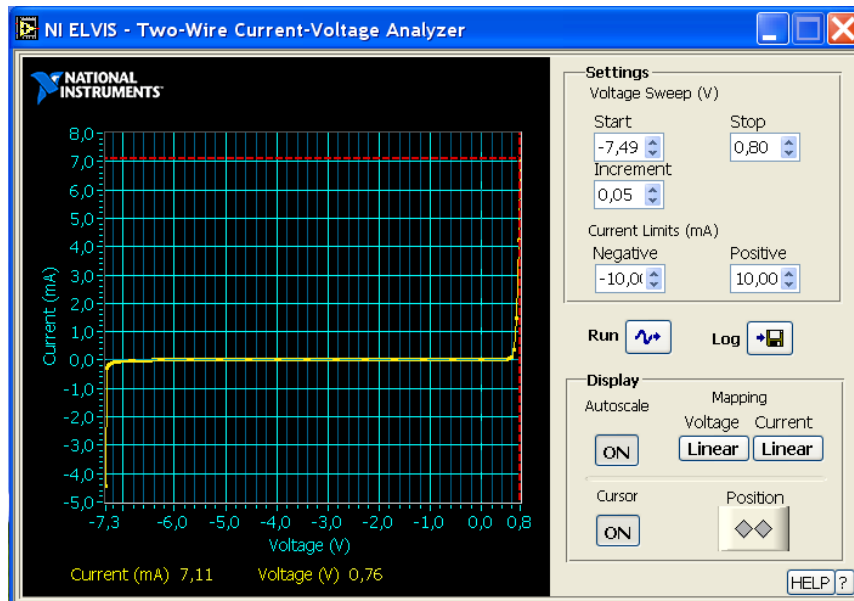


Рис. 9. Вольтамперная характеристика стабилитрона

Дополнительное задание. Выполните измерение вольтамперной характеристики для стабилитрона Д814А. Определите напряжение стабилизации.

3.3. Вольтамперная характеристика сопротивления

NI ELVIS позволяет измерить ВА характеристику в диапазоне ± 10 миллиампер и ± 10 вольт. Сделайте эти измерения для обычного сопротивления. Сначала с помощью ВП мультиметр определите величину сопротивления, подключив его к разъемам

CURRENT. Оно должно быть не меньше 1 кОм, чтобы использовать весь указанный выше диапазон по току / напряжению. Если это так, то остановите измерения мультиметром и запустите ВП для ВА измерений. Получите график и запишите данные в файл. Если вы получили линейную зависимость тока от напряжения, то вы проверили закон Ома в данном эксперименте.

В последних упражнениях вы убедились в том, что сопротивление – это линейный, а диод – это нелинейный элемент электрической цепи.

Задание 4. Измерение полного сопротивления.

Оборудование: макет RC – цепочки.

Используя ВП Анализатор полного сопротивления, выполните измерения по определению зависимости полного сопротивления от частоты. Для этого подключите «вход» макета RC – цепочки (рис. 10) к клеммам **CURRENT**, на лицевой панели ВП Анализатор полного сопротивления (см. рис. 11) установите минимальную частоту и запустите прибор кнопкой **Run**. Запишите показания. Изменяя частоту от минимального до максимального значения, выполните измерения. Необходимо определить частоту, при которой $\varphi = 45^\circ$, и величину отношения реактивной и активной части полного сопротивления.

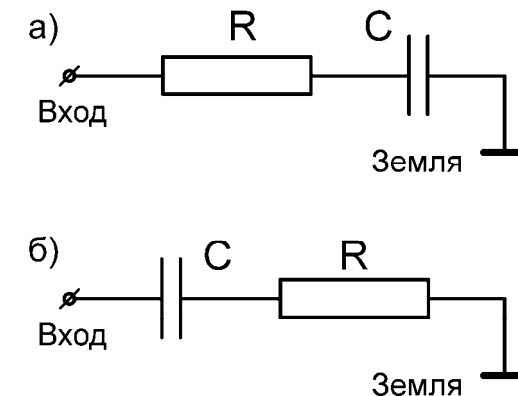


Рис. 10. Макет RC – цепочки

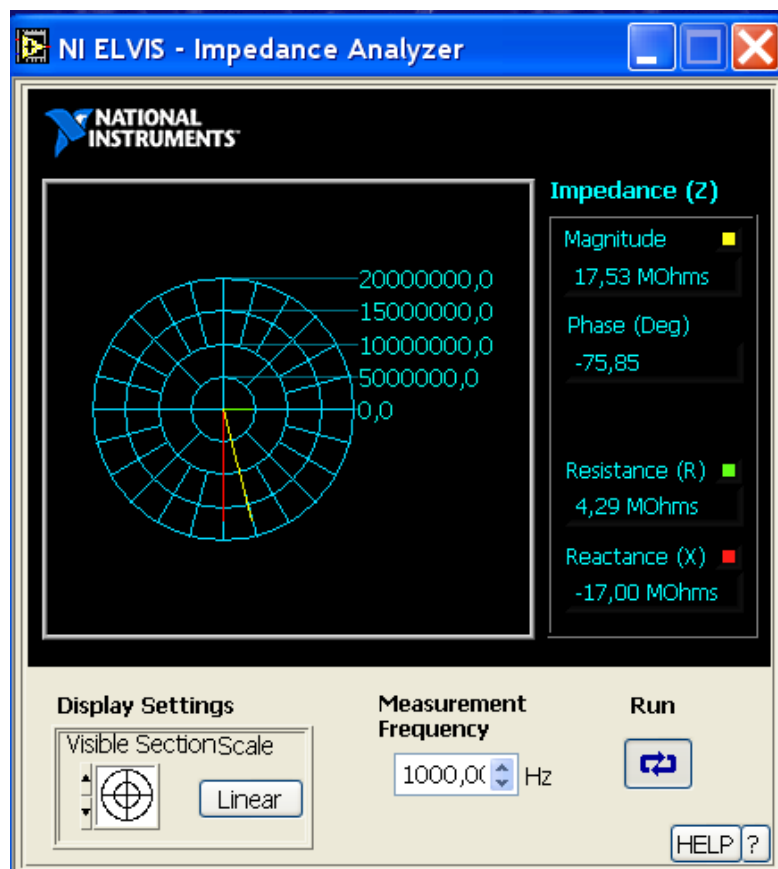


Рис. 11. Лицевая панель ВП Анализатор полного сопротивления

Задания 5 – 7 – дополнительные и выполняются по решению преподавателя.

Задание 5. Использование мультиметра совместно с осциллографом NI ELVIS.

Оборудование: источник постоянного тока Б5-47 или аналогичный.

Цель: знакомство с возможностями осциллографа NI ELVIS при измерениях постоянного напряжения.

Осциллограф NI ELVIS позволяет выбрать в качестве источников сигнала канал измерения напряжения мультиметра.

Запустите **ВП мультиметр** и отожмите кнопку **Run**. Проверьте и, если необходимо, выберите режим измерения постоянного напряжения. Подключите к разъемам **Voltage** панели управления источник Б5-47. Установите на Б5-47 напряжение около 10 В (ток 0,1 А) и включите источник. Выполните измерение напряжения мультиметром и остановите ВП. Запустите ВП осциллографа, выберите в качестве источника сигнала по каналу А **[DMM Voltage]**. Запишите подробно показания осциллографа. Остановите ВП осциллографа кнопкой **Run** и, нажав кнопку **Log**, запишите результаты измерений в файл. Результаты, записанные в файл, содержат 2 000 точек измерений постоянного напряжения на Б5-47 с частотой дискретизации, установленной по умолчанию в осциллографе (40 000 отсчетов в секунду). Используя **Excel**, выполните статистическую обработку выборки.

Подключите источник Б5-47 напрямую к разъему осциллографа **Channel A** панели управления. Выберите в качестве источника сигнала **[BNC Channel A]** и выполните те же действия, как это описано выше. После обработки данных сравните их и показания на Б5-47. Сформулируйте выводы. Оцените погрешности измерений.

Задание 6. Использование генератора функций совместно с осциллографом NI ELVIS.

Оборудование: генератор GFG или аналогичный.

Цель: знакомство с возможностями осциллографа NI ELVIS при измерениях переменного напряжения.

6.1. Работа с осциллографом NI ELVIS через канал измерения переменного напряжения DMM с источником сигнала от GFG.

Запустите **ВП мультиметр** и отожмите кнопку **Run**. Выберите режим измерения переменного напряжения. Подключите к

разъемам **Voltage** панели управления источник GFG. Установите на GFG среднее положение регулятора амплитуды сигнала. Выберите генерацию гармонического сигнала частотой 1 кГц. Выполните измерение действующего напряжения мультиметром и остановите ВП. Запустите ВП осциллограф, выберите в качестве источника сигнала по каналу А [**DMM Voltage**]. Подключите к каналу В генератор GFG и выберите источником сигнала [**BNC Channel B**]. Установите синхронизацию сигнала [**Trigger**] по каналу А. Запишите подробно показания осциллографа. Остановите ВП осциллограф кнопкой **Run** и, нажав кнопку **Log**, запишите результаты измерений в файл и постройте график сигнала в **Excel**, используя данные файла, для пяти периодов. Определите количество отсчетов на период и сколько всего периодов сигнала записано в файл. Оцените частоту сигнала по данным и сравните с показаниями генератора и осциллографа.

Переключив у генератора GFG режимы генерации сигнала по форме на треугольную и прямоугольную, повторите описанные выше измерения.

Изменяя частоту гармонического сигнала на генераторе GFG от 10 Гц до 1 МГц, определите частотную характеристику мультиметра **DMM** и осциллографа **NI ELVIS**.

6.2. Измерение осциллографом **NI ELVIS** сигналов от встроенного генератора функций.

Осциллограф **NI ELVIS** позволяет выбрать источником сигнала [**Func_out**] встроенный генератор функций. В качестве задания выполните измерения осциллографом **NI ELVIS** характеристик сигналов от встроенного генератора функций, в том числе в режиме генерации сигналов с постоянной составляющей (**DC Offset**). Используйте по-вашему усмотрению канал «А» либо канал «В», либо оба одновременно. Используя встроенный генератор, повторите измерение частотной характеристики осциллографа.

Задание 7. Измерение АЧХ и ФЧХ для ФВЧ и ФНЧ

Оборудование: макеты *ФВЧ* и *ФНЧ*.

Цель: знакомство с методом определения спектральных характеристик (амплитудно-частотных и фазово-частотных) ВЧ и НЧ фильтров.

Для того чтобы снять характеристики АЧХ и ФЧХ электрической цепи, следует выполнить следующие действия:

1. На макетной панели собрать схему, которую вы собираетесь изучать (см. рис. 12).
2. К схеме подключить источник переменного напряжения. К выводу **FUNC_OUT** один узел схемы, а к выводу **GROUND** – другой.
3. Соединить вывод **FUNC_OUT** с **ACH1+**, а вывод **GROUND** с **ACH1-**.
4. Соединить вывод **ACH0+** с изучаемым узлом, а **ACH0-** с выводом **GROUND**.
5. Запустить виртуальный прибор **Bode Analyzer**.
6. Установить начальную и конечную частоту сбора данных в элементах управления **Start** и **Stop**.
7. Запустить анализ.
8. Записать данные в файл.

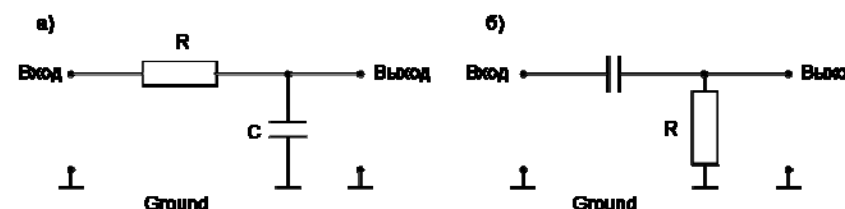


Рис. 12. Фильтры низких частот (ФНЧ) – (а) и высоких частот (ФВЧ) – (б)

Определите по уровню 0,7 амплитуды и $\Delta\varphi = 45^\circ$ частоты среза для НЧ и ВЧ фильтров. Частоты среза можно сравнить с оценками другими способами. Например, по 2К осциллографу с помощью синусоидального теста. Это Фурье анализ вручную.

Приложение

Панель управления NI ELVIS

Здесь кратко описывается панель управления и монтажная панель **NI ELVIS**. Более подробную информацию можно найти в руководстве пользователя станций **NI ELVIS**.

На рис. 13 показаны элементы панели управления.

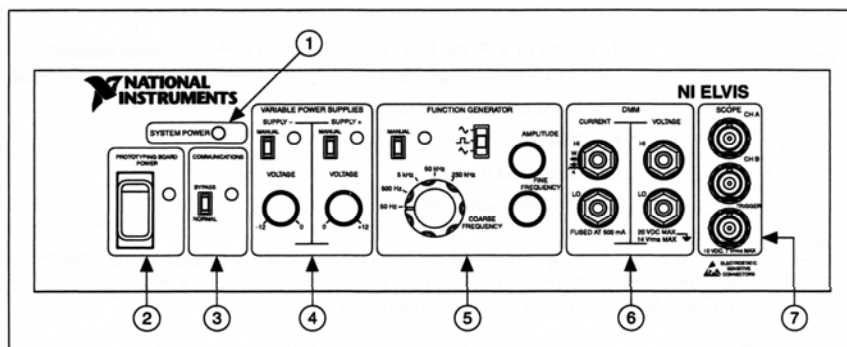


Рис. 13. Элементы панели управления: 1 – светодиод системного питания; 2 – выключатель монтажной панели; 3 – переключатель режима работы настольной станции; 4 – элементы управления регулируемых источников питания; 5 – элементы управления генератора функций; 6 – разъемы цифрового мультиметра; 7 – разъемы осциллографа

Остановимся подробнее на некоторых функциях панели управления настольной станции [1]. Переключатель **Communications** управляет подсоединением ПК к **NI ELVIS**. Во время обычной работы переключатель находится в положении **Normal**. В этом случае **NI ELVIS** подключен к персональному компьютеру через шину данных, и им можно управлять через программное обеспечение. Когда переключатель **Communications** установлен в положение **Bypass**, то возможна только автономная работа с **NI ELVIS**. В этом режиме программное обеспечение не работает. Некоторые элементы управления виртуальных приборов затемнены и неактивны.

Переключатель **Manual**, имеющийся среди элементов управления **регулируемых источников питания и генератора функций**, устанавливает управление в ручной или программный режим. При работе настольной станции в режиме **Bypass** генератор функций и регулируемые источники питания доступны только в ручном режиме управления.

Элементы управления **генератора функций**, кроме ручки регулирования амплитуды и выбора формы сигнала, содержат ручку грубой регулировки частоты (**COARSE FREQUENCY**) и ручку плавной регулировки частоты (**FINE FREQUENCY**).

Разъемы цифрового мультиметра **CURRENT HI** и **LO**, **VOLTAGE HI** и **LO** типа «банан» и **BNC** разъемы осциллографа **CH A**, **CH B** и **TRIGGER** соответствуют выводам с теми же названиями на монтажной панели. Поэтому при использовании разъемов цифрового мультиметра и осциллографа будьте осторожны. Их нельзя подключать одновременно к различным сигналам. Это может повлечь за собой повреждение элементов схемы на монтажной панели.

Посредством **NI ELVIS** можно производить различные измерения, используя как драйвер **NI-DAQ**, так и драйвер **NI ELVIS**. При подключении к **NI ELVIS** можно пользоваться тремя стандартными измерительными функциями **DAQ**-устройств (**DAQ**-устройства физически реализованы в плате сопряжения, которая установлена в ПК): аналоговым вводом и выводом, синхронизацией. Четвертую функцию **DAQ**-устройства – цифровой ввод-вывод – невозможно использовать одновременно с измерительной системой **NI ELVIS**, поскольку через цифровой ввод-вывод осуществляется управление схемами настольной станции, а также регулируемые источниками питания, генератором функций и цифровым мультиметром.

Монтажная панель NI ELVIS

Настольная станция **NI ELVIS** обеспечивает соединение устройства аналого-цифрового ввода-вывода с монтажной панелью. В нее встроены следующие приборы:

– источники постоянного напряжения ± 15 В и +5 В;

- регулируемые источники питания ± 12 В;
- генератор функций (гармонической, прямоугольной, треугольной).

Имеется система защиты устройства от возможных повреждений в результате лабораторных ошибок.

Монтажная панель (рис. 2) подключается к настольной станции через стандартный PCI-слот.

Предполагается, что студент, выполняющий лабораторную работу на макетной панели **NI ELVIS**, собирает аналоговую или цифровую электрическую цепь [1]. Собранную цепь он может подключать к аналоговым или цифровым каналам ввода-вывода **DAQ**-устройства, к встроенным в настольную станцию источникам постоянного напряжения, регулируемым источникам питания и к генератору функций. Кроме этого, к собранной на макетной панели электрической цепи через разъемы типа «банан», **BNC** разъемы и разъем **D-Sub** можно подключать и внешние сигналы, измерительные приборы, источники энергии и т. п. Следует отметить, что сама аналоговая или цифровая электрическая цепь может быть собрана и вне макетной панели. Это в ряде случаев может оказаться исключительно полезным. Для ее подключения к монтажной панели **NI ELVIS** можно воспользоваться соответствующими разъемами.

Сама макетная панель представляет собой набор выводов, объединенных в горизонтальные полосы по 4 и по 5 выводов и вертикальные полосы по 25 выводов. Выводы каждой такой полосы соединены между собой, что позволяет набирать схемы, образуя из них узлы. Горизонтальные полосы по четыре вывода в каждой слева и справа макетной панели уже подключены к различным каналам **DAQ**-устройства, устройствам и разъемам монтажной панели. Рядом нанесено обозначение к каждому такому выводу. Остальные выводы вы можете использовать по своему усмотрению. В паспорте [2] представлено описание выводов монтажной панели **NI ELVIS**. Выводы сгруппированы по своему функциональному назначению.

Монтажная панель **NI ELVIS** имеет 6 дифференциальных каналов **ACH<0..5>**. Эти каналы подключены непосредственно к входам **DAQ**-устройства. В паспорте [2] показано их подключение.

Следует учитывать, что некоторые каналы аналогового ввода используются несколькими приборами. Поэтому их нельзя включать одновременно. К каналам **ACH<0..2>** виртуальные приборы не подключены, с ними можно работать без помех. Канал **ACH 5** используется цифровым мультиметром. При работе с осциллографом отключите от каналов **ACH 3** и **ACH 4** какие-либо соединения. При одновременном использовании одного и того же канала разными устройствами на экран выводится сообщение о том, что продолжение работы виртуального прибора невозможно.

Для подключения схем или элементов к цифровому мультиметру на монтажной плате предусмотрены входы для тока и напряжения. Дифференциальные входы вольтметра обозначаются **VOLTAGE HI** и **VOLTAGE LO**. Все остальные возможности цифрового мультиметра доступны через контакты **CURRENT HI** и **CURRENT LO**. Вход **3-WIRE** одновременно с **CURRENT HI** и **CURRENT LO** используется для измерений характеристик транзисторов.

Для подключения осциллографа на монтажной плате предусмотрены входы **CH<A..B> +**, **CH<A..B> -** и **TRIGGER**. Во время работы виртуального прибора **осциллограф** используются каналы **ACH 3** и **ACH 4**.

NI ELVIS обеспечивает доступ к двум ЦАП **DAQ**-устройства. К ним относят каналы **DAC 0** и **DAC 1**. Эти каналы используются **NI ELVIS** для формирования сигналов произвольной формы. Кроме генератора сигналов произвольной формы **NI ELVIS**, к указанным каналам обращаются и другие виртуальные приборы, например, цифровой мультиметр и генератор функций. В случае одновременного использования каналов выводится сообщение о том, что возможен конфликт устройств.

Доступ к генератору сигналов на монтажной панели обеспечивается не только выходом **FUNC_OUT**, но и некоторыми дополнительными контактами. **SYNC_OUT** выводит сигнал синхронизации той же частоты, что и выходной сигнал. Входы **AM_IN** и **FM_IN** относятся к амплитудной и частотной модуляции соответственно. Из программы величиной амплитудной модуляции управляют через канал **DAC 0**, а частотной – через канал **DAC 1**.

Регулируемые источники питания обеспечивают регулировку напряжения от 0 до +12 В на выходе **SUPPLY +** и от -12 до 0 В на выходе **SUPPLY -**.

Схема цифрового ввода-вывода **NI ELVIS** состоит из 8-битной шины считывания и записи, четырех управляющих входов и 4-битной адресной шины. Их назначение представлено в паспорте.

Монтажная панель обеспечивает доступ к счетчику-таймеру **DAQ**-устройства. Имеется возможность управлять им и через программное обеспечение. Обозначение этих контактов представлено в паспорте.

На монтажной панели есть некоторые разъемы и контакты, предназначенные для решения дополнительных задач. Имеются четыре разъема типа «банан», два **BNC** – разъемы, а также разъем **D-Sub**. Каждый штекер разъема подключен к полосе выводов на макетной панели.

Основные характеристики аналого-цифрового преобразователя (АЦП)

АЦП – это электронное устройство, преобразующее аналоговый входной сигнал в цифровой код по заранее определенному закону (рис. 14.).

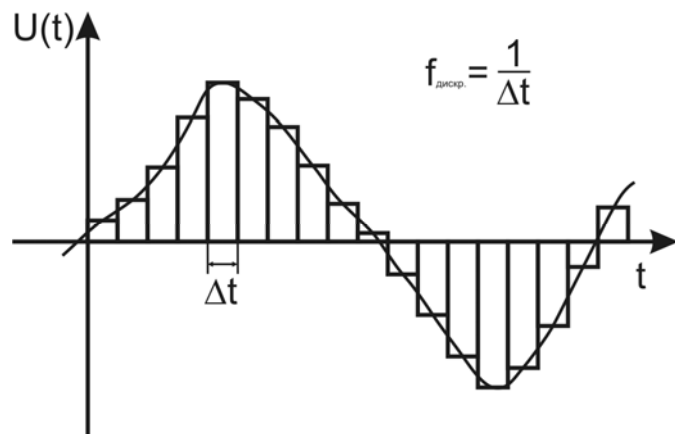


Рис. 14. Пример дискретизации аналогового динамического сигнала с помощью АЦП

Наиболее важными его характеристиками являются линейность преобразования, точность и быстродействие. Линейность мы уже рассмотрели выше. Точность преобразования связана с разрядностью цифрового выхода АЦП. Если АЦП квантует входной сигнал с разрядностью n , то это означает, что он «разбивает» сигнал на 2^n уровней. В данном исполнении **NI ELVIS** имеет АЦП 12 бит. Это позволяет получить максимально $2^{12} = 4\,096$ уровней (градаций) сигнала по диапазону измерений. (Сравните: сколько градуировочных меток имеется на шкале аналогового вольтметра?). Максимальная частота отсчетов данного АЦП – 1 МГц, что теоретически позволяет оцифровывать сигнал полосой до 500 кГц (определяется частотой Найквиста, которая равна половине частоты дискретизации). Однако реально в конкретных ВП полоса частот меньше и ограничивается аналоговыми цепями, реализующими заложенные в приборы законы преобразования, и выбором меньшей частоты дискретизации. Отметим, что требование высокой точности и высокого быстродействия для АЦП одновременно трудно достижимы. Высокая точность (большое число разрядов АЦП) обеспечивается обычно при проектировании АЦП за счет меньшей частоты дискретизации.

Основной погрешностью измерений с помощью АЦП следует рассматривать абсолютную погрешность квантования $\Delta_k = \pm [\text{диапазон измерения (A)} / 4\,096]$ и абсолютную погрешность дискретизации $\Delta_d = \pm (U_d - U_a)$, где U_d – величина оцифрованной величины, U_a – величина аналогового сигнала. Очевидно, что $\Delta_k > \Delta_d$.

Полное сопротивление. Если к цепи приложено переменное во времени напряжение, то полное сопротивление Z (импеданс) определяет переменный ток в цепи. Импеданс – комплексная величина: $Z = R + iX$, где R это активное сопротивление (или обычное сопротивление), которое является мерой рассеяния (диссипации) энергии, а X – реактивное сопротивление, которое определяет возможность (меру) запасать энергию в цепи. Реактивное сопротивление состоит из индуктивного и емкостного вклада: $X = X_L - X_C$, величина которых зависит от круговой частоты

$\omega = 2\pi f$: $X_L = \omega L$; $X_C = (\omega C)^{-1}$. Естественно, что $Z = |Z| e^{i\varphi}$, $\varphi = \arctg(X/R)$. Для индуктивной составляющей величина $Q = X/R = \tg(\varphi)$ называется добротностью. Для емкостной нагрузки используется обратная величина $D = Q^{-1} = R/X = \tg(\delta)$, называемая тангенс угла потерь. При этом $\varphi + \delta = 90^\circ$.

Литература

1. Бутырин П. А., Васьковская Т. А., Каратаева В. В., Материкин С. В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 (30 лекций) / Под. ред. П. А. Бутырина. М.: ДМК Пресс, 2005. 264 с.
2. NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI ELVIS) User Manual / August 2004.
3. Paton B. Introduction to NI ELVIS / March 2004.
4. Тимце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника М: Мир, 1982. 512 с.

Учебное издание

**Косинов Александр Дмитриевич,
Горев Василий Николаевич,
Сорокин Александр Михайлович**

Лабораторный практикум
«Измерительный практикум»

Учебно-методическое пособие

Редактор К. В. Шмугурова

Подписано в печать 22.08.2008
Формат 64×80/16. Офсетная печать.
Уч. изд. листов 2,1. Усл. печ. 1,9.
Тираж 50 экз.

Заказ №

Редакционно-издательский центр НГУ
630090, Новосибирск-90, ул. Пирогова, 2.