

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 1 » \_\_\_\_\_ 2018 г.



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ПРИБОРОВ И СИСТЕМ**

Методические указания к лабораторным занятиям

Курск 2018

УДК 621.384.001.63

Составитель О.Г. Бондарь

Рецензент

Кандидат технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий *В.А. Шлыков*.

Проектирование электронных измерительных приборов и систем : методические указания к лабораторным занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.Г. Бондарь. – Курск, 2018. - 43 с.: ил. 17, табл.4.- Библиогр.: с.42.

Приведены описание оборудования, задания и порядок выполнения лабораторных работ.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматике и электроники (УМО АЭ).

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 01.03.18. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 2,26. Тираж 100 экз. Заказ 1306. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Комплект измерительных приборов NI ELVIS II.....	4
Состав платформы.....	5
Основные характеристики платформы .....	5
Включение ELVIS II.....	7
Цифровой мультиметр ELVIS II.....	7
1 Исследование сигналов анализатором спектра.....	11
1.1 Краткие теоретические сведения.....	11
1.2 Аппаратно-программное обеспечение анализатора спектра .....	13
1.3 Функциональный генератор .....	17
1.4 Соединение и предварительная настройка приборов.....	19
1.5 Подготовка к лабораторной работе .....	20
1.6 Порядок выполнения работы .....	21
1.7 Содержание отчёта.....	23
1.8 Контрольные вопросы.....	23
2 Исследование двухполюсников анализатором импеданса .....	23
2.1 Импеданс и методы его измерения.....	24
2.2 Подготовка к лабораторной работе .....	28
2.3 Порядок выполнения работы .....	29
2.4 Содержание отчёта.....	32
2.5 Контрольные вопросы.....	32
3 Осциллограф на МК с использованием средств виртуализации .	33
3.1 Аппаратно-программная платформа осциллографа .....	33
3.2 Подготовка к лабораторной работе .....	40
3.3 Порядок выполнения работы .....	41
3.4 Содержание отчёта.....	42
3.5 Контрольные вопросы.....	42
Литература.....	43

## **Введение. Комплект измерительных приборов NI ELVIS II**

Современные электронные измерительные приборы опираются на достижения цифровой, информационной и компьютерной техники. При этом можно выделить две тенденции.

В первом случае средства вычислительной техники встраиваются в приборы, обеспечивая их автономность и многофункциональность.

Во-втором - персональные компьютеры оснащаются специализированными устройствами, встраиваемыми платами АЦП/ЦАП, или их выносными вариантами, многообразием интерфейсов.

В последнем случае достигается чрезвычайно высокая гибкость, т.к. персональные компьютеры могут выполнять все функции, связанные с управлением аппаратными средствами и обработкой данных. Такой подход называют виртуализацией приборов.

Одним из лидеров данного направления является американская фирма National Instruments. Её технология удобна и для использования в образовательном процессе, т.к. фирма уделяет много внимания разработке специализированного оборудования и программного обеспечения для него. Пример такого оборудования – учебная лабораторная станция виртуальных приборов – ELVIS 2 (Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite).

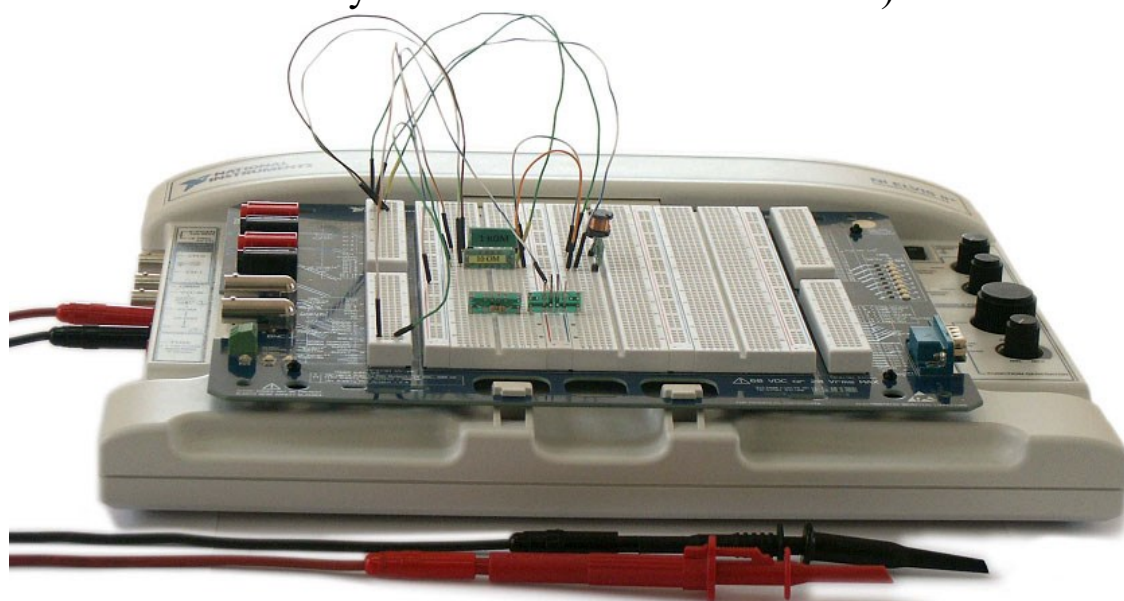


Рисунок 1 – Внешний вид платформы ELVIS 2

## Состав платформы

Платформа ELVIS 2 включает настольную рабочую станцию, макетную беспаячную плату и программное обеспечение [1].

Платформа поддерживает 12 встроенных приборов.

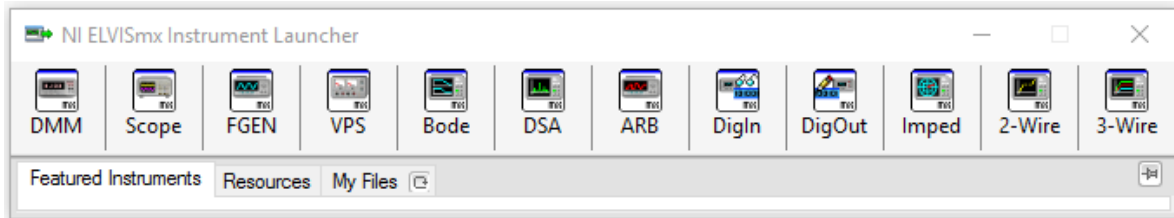


Рисунок 2 – встроенные приборы платформы:

- 1 Цифровой мультиметр (Digital Multimeter – **DMM**),
- 2 Осциллограф (Oscilloscope – **Scope**),
- 3 Генератор стандартных сигналов (Function Generator – **FGEN**),
- 4 Регулируемые источники питания (Variable Power Supplies – **VPS**),
- 5 Анализатора амплитудно- и фазочастотных характеристик (**Bode** Analyzer),
- 6 Анализатора спектра (Dynamic Signal Analyzer – **DSA**),
- 7 Генератора сигналов произвольной формы (Arbitrary Waveform Generator – **ARB**),
- 8 Устройства чтения цифровых данных (Digital Reader – **DigIn**),
- 9 Устройства записи цифровых данных (Digital Writer – **DigOut**),
- 10 Анализатора импеданса (Impedance Analyzer – **Imped**),
- 11 Анализатора вольтамперной характеристики двухполюсников (Two-Wire Current Voltage Analyzer – **2-Wire**),
- 12 Анализатора вольтамперной характеристики трехполюсников (Three-Wire Current Voltage Analyzer – **3-Wire**).

## Основные характеристики платформы

### Аналоговый ввод

Каналы	8 дифференциальных или 16 несимметричных
Разрешение АЦП	16 бит
Макс. частота дискретизации	1,25 МГц одноканальный, 1 МГц многоканальный режим
Диапазон входных сигналов	+10В, 5В, 2В, 1В, 0,5В, 0,2В, 0,1В
Коэффициент ослабления синфазного сигнала до 60 Гц	90 дБ
Входное сопротивление	>10 ГОм    100 пФ
Входной ток смещения	+100 пА
Размер буфера FIFO	4095 отсчётов

## Аналоговый выход

Каналы	2
Разрешение ЦАП	16 бит
Макс. частота обновления	
1 канал	2,8 МГц
2 канала	2,0 МГц
Разрешение	50 нс
Диапазон вых. Сигнала	+/-10В, +/-5В
Скорость нарастания напряж.	20 В/мкс

## Счётчики/таймеры общего назначения

Кол-во счётчиков/таймеров	2
Разрешение	32 бита
Функции счётчика	счёт фронтов, импульсов, полупериодов, периодов,
Функции счётчика позиции	кодирование сдвига по фазе с перезагрузкой канала, двухимпульсное кодирование
Функции выводов	импульсы, серия, деление частоты, снятие выборок интервалов
Частоты встроенного тактир.	80, 20, 0,1 МГц
Частота внешнего тактир.	0-20 МГц
Точность такт. генератора	50 ppm
Максимальная частота	1 МГц

## Мультиметр

Функции с изоляцией	измерение напряжений, токов, сопротивления, диодные измерения
Степень изоляции	60 В пост. тока, 20 В – переменного
Разрешение	5½ знака
Полное входное сопрот.	11 МОм
Диапазон измерения напряжения	
постоянного тока	100мВ, 1В, 10В, 60В
переменного тока	200мВ, 2В, 20В
Диапазон частот	40 Гц – 20 кГц
Диапазон измерения тока	
постоянный ток	2А
переменный ток	0.5 и 2А

Шунт	0,1 Ом	
Диапазон частот	40 Гц – 5 кГц	
Измерение сопротивления	100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, 1 МОм, 10 МОм	
Измерение ёмкости	50 пФ-500 мкФ	
Погрешность	1%	
Частоты измерения ёмкости	50 пФ-500 пФ	10 кГц
	500 пФ-1 мкФ	1 кГц
	1 мкФ-500 мкФ	100 Гц
Измерение индуктивности	100 нГн-100мГн	
Погрешность	1%	
Частоты измерения индуктивности	0,1 мГн-1 мГн	10 кГц
	1 мГн-10 мГн	1 кГц
	10 мГн-100 мГн	1 кГц

Подробно характеристики платформы и виртуальных инструментов приведены в [2].

## Включение ELVIS II

**ELVIS II** подключается к **ПК** с помощью USB кабеля (разъём на задней панели), а через блок питания, идущий в комплекте с устройством, к внешнему источнику питания 220 V. На задней панели **NI ELVIS II** переключатель необходимо перевести в положение «←». В этот момент на лицевой панели оранжевым цветом загорается индикатор **Active**. На рабочем столе появляется диалоговое окно **New Data Acquisition Device**, а на лицевой панели **NI ELVIS II** оранжевым цветом загорается индикатор **Ready**. Для работы с макетной платой необходимо перевести на лицевой панели **NI ELVIS II** переключатель **Prototyping Board** в положение «←», в этот момент индикатор **Power** загорается зелёным светом.

## Цифровой мультиметр ELVIS II

Мультиметр является одним из наиболее используемых приборов в радиотехнике. Это универсальное устройство может не только измерить напряжение в любой точке схемы, но и выяснить, нет ли короткого замыкания или разрыва в цепи.

Каждый раз, производя измерение, мультиметр выполняет набор шагов, который называется измерительным циклом. Время переключения необходимо для настройки внутренних аналоговых схем мультиметра для следующего измерения.

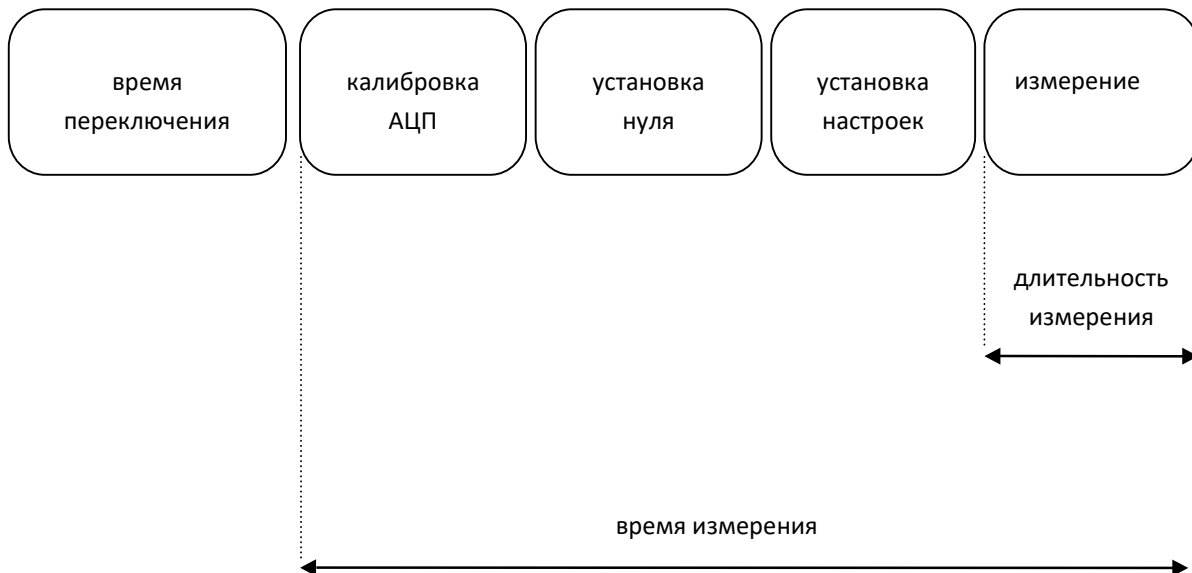


Рисунок 3 – Измерительный цикл мультиметра

**Калибровка АЦП** производится для исключения ошибок, связанных с усилением сигнала. Мультиметр считывает сигнал встроенного высокоточного источника напряжения перед каждым измерением и сравнивает с известным значением, после чего корректирует значение коэффициента усиления. Калибровка АЦП удлиняет процесс измерения, поэтому ее можно не проводить каждый раз.

**Установка нуля** перед измерением необходима для того, чтобы компенсировать существующее постоянное напряжение смещения измеряющих цепей. Прибор отключает внешний сигнал и проводит измерение, после чего вычитает полученное значение из всех последующих данных.

**Установка настроек** занимает определенное время, зависящее от типа измерения, его пределов, свойств соединяющих кабелей, входного сопротивления и других факторов.

**Измерение состоит** в многократном снятии показаний и их усреднении. Чем больше время усреднения – тем лучше разрешение, но меньше скорость считывания.

Три разъема штекерного типа ( $V\Omega$ , А и COM) цифрового мультиметра расположены сбоку на рабочей станции. Для измере-



ния постоянного и переменного напряжения, сопротивления, характеристик диода, электропроводности используются разъемы  $V\Omega$  и COM. Для измерения силы постоянного и переменного тока используются разъемы A и COM. Для простоты подключения к макетной плате имеются кабели со штекерами, позволяющие передавать сигналы от пользовательских штекерных разъемов в разъемы мультиметра на рабочей станции (рисунок 4).

Для включения мультиметра сначала включается рабочая станция, затем в диалоговом окне New Data Acquisition Device выбирается пункт NI ELVISmx Instrument Launcher, и далее – иконка с названием **DMM**. Доступен вариант с непосредственным запуском NI ELVISmx Instrument Launcher.

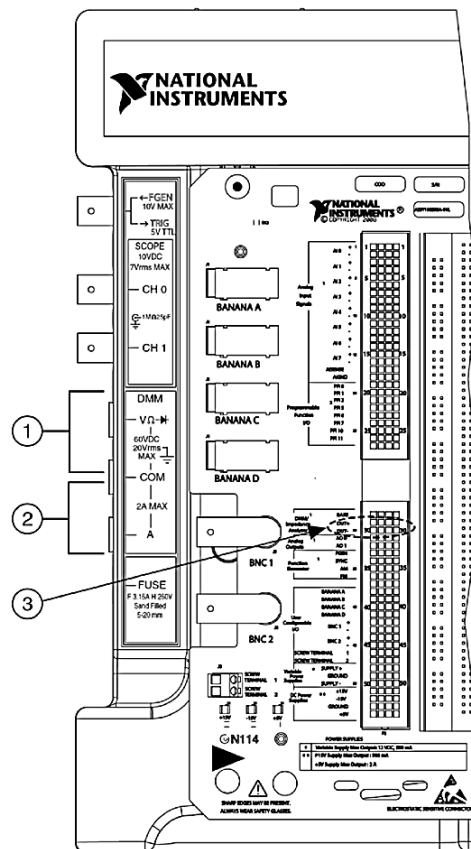


Рисунок 4 – Размещение разъёмов мультиметра:

- 1 - Разъемы для измерения напряжения, сопротивления, характеристик диода и электропроводности;
- 2 - Разъемы для измерения тока;
- 3 - Разъемы для измерения емкости и индуктивности

Передняя панель мультиметра представлена на рисунке

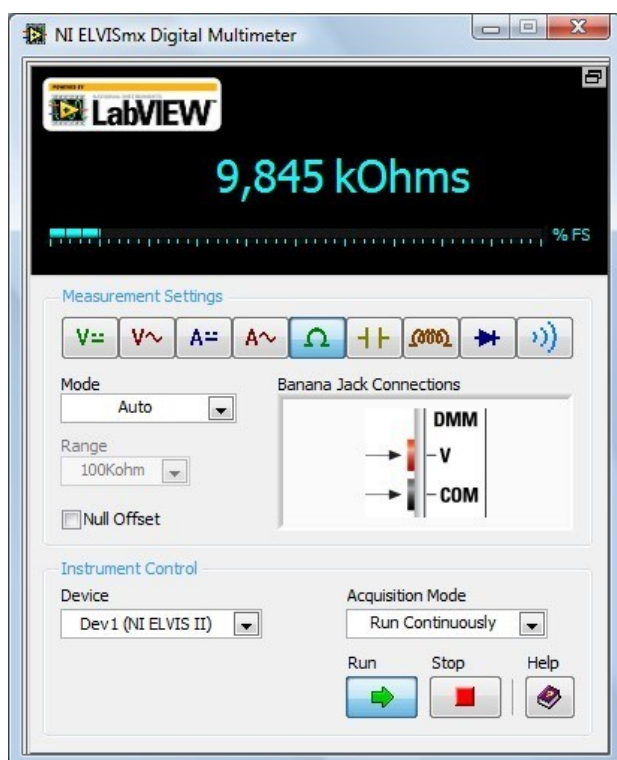


Рисунок 5 – Панель мультиметра

Выбор измеряемой величины осуществляется соответствующими кнопками на передней панели виртуального прибора. Если выбрать режим Auto, то предел измерения будет выбираться автоматически. В окне прибора указываются разъёмы для подключения щупов. Помимо этого, можно выбрать режим сбора данных (Acquisition Mode). Его можно установить непрерывным (Continuously) или однократным.

Во-втором случае необходимо нажимать кнопку Run при каждом новом измерении. Активация режима Null Offset позволяет определять разброс измеряемых значений относительно принятого за нуль.

При измерении ёмкости и индуктивности используется поле макетной платы DMM/Impedance Analyzer. Правее него располагается контактная полоса макетной платы: три ряда по 4-е контакта в каждом напротив надписей Base, DUT+, DUT- соответственно. Для измерения ёмкости её «ножки» необходимо воткнуть в контакты DUT+ и DUT-, находящихся на одной вертикальной прямой. Контактная полоса позволяет измерять суммарную ёмкость 4-х параллельно расположенных ёмкостей произвольного номинала. Появление надписи Over в правом верхнем углу индикатора говорит о выходе измеряемой величины за диапазон измерений.

Детальное рассмотрение мультиметра вызвано его частым применением при измерениях различных величин. Дру-

гие виртуальные приборы будут рассмотрены в соответствующих разделах.

## 1 Исследование сигналов анализатором спектра

### Цель работы

- изучение принципов действия анализаторов спектров;
- изучение терминологии, характеристик и методики работы с виртуализованным цифровым анализатором спектра.

### 1.1 Краткие теоретические сведения

Как известно анализ сигналов и устройств может осуществляться во временной и частотной области. Анализатор спектра позволяет наблюдать и измерять распределение энергии сигналов в частотной области. Если при измерении спектра сохраняется информация только о частоте спектральной составляющей, то анализатор называется скалярным. По такому спектру невозможно восстановить форму исходного сигнала. Векторные анализаторы сохраняют и информацию о фазе.

В основе получения информации о спектре сигнала лежит преобразование Фурье:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt.$$

Поскольку оно осуществляется на бесконечном интервале времени, а время анализа спектра ограничено, то анализаторы спектра дают лишь оценку спектра с хорошим приближением при периодическом сигнале или ограниченном во времени. В общем же случае это, так называемый, текущий спектр на интервале анализа  $\Delta t$ :

$$S(t, \omega) = \int_t^{t+\Delta t} x(t)e^{-i\omega t} dt.$$

По принципу действия анализаторы спектра бывают последовательного и параллельного типа.

**Анализаторы последовательного** типа являются наиболее распространенным видом анализаторов для исследования радиосигналов, принцип их действия состоит в сканировании полосы частот с помощью перестраиваемого **гетеродина**. Составляющие спектра последовательно переносятся на промежуточную частоту. Перестройка частоты гетеродина эквивалентна перемещению спектра исследуемого сигнала. Селективный электронный усилитель промежуточной частоты последовательно выделяет составляющие спектра, и, благодаря синхронной развёртке осциллографического индикатора, отклики каждой спектральной составляющей последовательно воспроизводятся на его экране.

**Гетеродин** — маломощный генератор электрических колебаний, применяемый, например, для преобразования частот сигнала в супергетеродинных радиоприёмниках.

Гетеродин создаёт колебания вспомогательной частоты, которые в блоке смесителя смешиваются с поступающими извне колебаниями высокой частоты. В результате смешения двух частот, входной и гетеродина, образуются ещё две частоты (суммарная и разностная). Разностная частота (при амплитудной модуляции постоянная) используется как промежуточная частота, на которой происходит основное усиление сигнала. В действительности это можно реализовать в том случае если форма сигнала синусоидальна, а смеситель представляет из себя перемножитель сигналов. В действительности в спектре выходного сигнала появляются комбинационные частоты, являющиеся суммами и разностями всех гармонических составляющих сигналов. Для обеспечения высоких требований к форме сигнала и широкому диапазону перестройки и стабильности его частоты современные гетеродины выполняются как синтезаторы частот на основе принципа фазовой автоподстройки частоты, прямого цифрового синтеза или комбинированного типа.

**Анализаторы параллельного типа** содержат набор идентичных узкополосных фильтров (высокодобротных резонаторов), каждый из которых настроен на определенную частоту (в области низкочастотных измерений фильтры могут иметь одинаковой не абсолютную полосу пропускания, а относительный частотный интервал, например, «третьоктавные фильтры»). При одновременном

воздействии исследуемого сигнала на все фильтры каждый из них выделяет соответствующую его настройке составляющую спектра. Параллельный анализатор спектра имеет перед последовательным преимущество в скорости анализа, однако он сложен.

**Цифровые анализаторы** могут быть анализаторами последовательного типа, в которых измерительная информация, полученная методом сканирования полосы частот с помощью гетеродина, оцифровывается с помощью АЦП и, далее, обрабатывается цифровым методом.

**Цифровые анализаторы** параллельного типа вычисляют спектр с помощью алгоритмов **быстрого преобразования Фурье (БПФ)**. По сравнению с последовательными цифровые параллельные БПФ-анализаторы обладают определёнными преимуществами: более высоким разрешением и скоростью работы, возможностью анализа импульсных и однократных сигналов. Они способны вычислять не только амплитудный, но и фазовый спектры, а также одновременно представлять сигналы во временной и частотной областях. Диапазон частот БПФ-анализаторов из-за ограниченных возможностей АЦП ограничен относительно низкими частотами.

К основным характеристикам анализаторов спектра относятся:

диапазон анализируемых частот, разрешение по частоте и амплитуде, тип измерений (параллельный или последовательный) и тип проводимого анализа (скалярный или векторный).

## **1.2 Аппаратно-программное обеспечение анализатора спектра**

Анализатор спектра, созданный на базе NI ELVIS 2 относится к цифровым анализаторам параллельного типа в виде БПФ-анализатора, который вычисляет спектр с помощью алгоритмов БПФ. Как и все виртуальные приборы NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer (**DSA**) использует встроенный аналого-цифровой преобразователь и программное обеспечение для обработки и интерпретации измерительной информации LabView.

Для запуска **DSA** необходимо присоединить платформу NI ELVIS 2 к ПК включить её, как описано в предыдущем разделе, за-

пустить NI ELVISmx Instrument Launcher и выбрать DSA. На экране появится лицевая панель виртуального прибора NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer (рисунок 1.1).

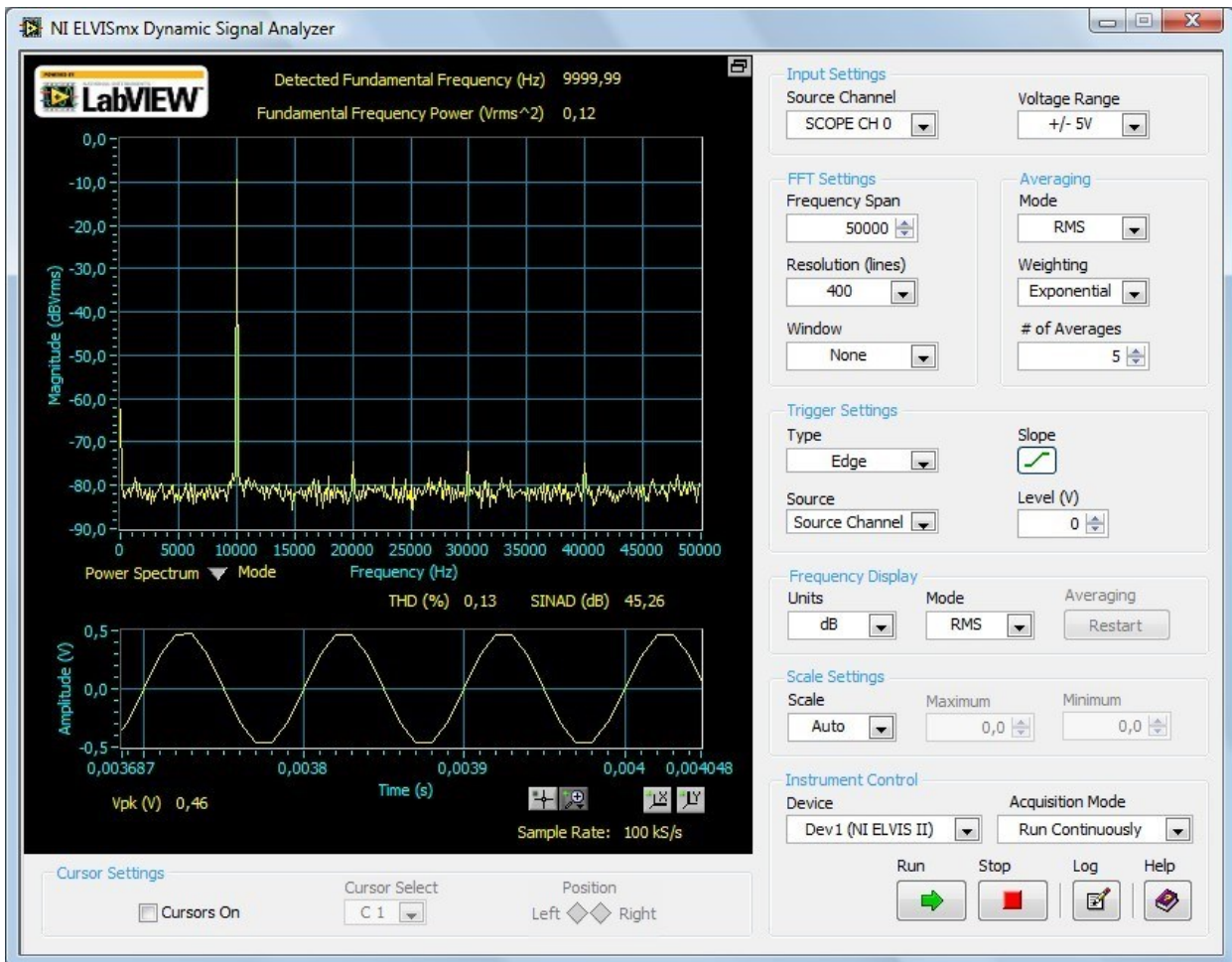


Рисунок 1.1 – Передняя панель виртуального анализатора спектра

В левой части панели анализатора отображаются:  
**Frequency Domain Display** – частотное представление временной развёртки сигнала;  
**Time Domain Display** – временное представление сигнала.

Другая информация на передней панели анализатора:

**Detected Fundamental Frequency** – измеренная основная частота сигнала, полученная в результате сканирования частотного диапазона и использования анализа гармоник. Результат выражается в Гц;

**Fundamental Frequency Power** – расчетная мощность пика основной частоты на промежутке, включающем в себя три частотные линии. Результат отображается в единицах, устанавливаемых пользователем;

**Display Mode** – установка режима отображения спектра на экране: спектральная мощность (**Power Spectrum**) или спектральная плотность мощности (**Power Spectral Density**);

**THD (%)** – суммарное значение коэффициента нелинейных искажений **Total Harmonic Distortion** выше максимальной гармоники в спектре;

**SINAD (dB)** – отношение полного сигнала к полному уровню помех (т.е. отношение суммы сигнала, шума и искажений к суммарному уровню шума и искажений). Результат выражается в дБ;

**Vpk (V)** – разница между максимальным и минимальным уровнем измеряемого напряжения во временном представлении;

**Sample Rate (kS/s)** – частота оцифровки (дискретизации) одного канала осциллографа. Полная частота оцифровки вычисляется умножением частоты оцифровки одного канала на два (число каналов).

В разделе **Input Settings** элемент управления **Source Channel** отображает источник измеряемого сигнала. В качестве источника сигнала могут выступать BNC разъёмы **SCOPE CH 0** и **SCOPE CH 1** на боковой панели **NI ELVIS II** и аналоговые линии **AI <0..7>**. Элемент управления **Voltage Range** определяет диапазон напряжений входного анализируемого сигнала.

В поле **FFT Settings** есть возможность изменения следующих параметров:

**Frequency Span** – верхняя граница частотного диапазона измерений. Нижняя граница соответствует 0 Гц;

**Resolution (lines)** – длина временного интервала и число полученных точек. Этот параметр определяет количество оцифрованных точек в выборке аналогового сигнала при фиксированной частоте дискретизации. Таким образом, увеличение разрешения (**Resolution**) приводит к увеличению длины выборки сигнала во времени;

**Window** – тип используемого временного окна. Фурье-преобразование непрерывного сигнала выполнить невозможно. Поэтому сигнал во временной области разбивается на фиксированные временные интервалы. Использование временных окон раз-



личных типов позволяет плавно увеличить/уменьшить амплитуду сигнала в начале и конце временного интервала. Это помогает уменьшить амплитуду высокочастотных гармоник, связанных с резким началом и концом выборки;

В разделе установок усреднения **Averaging** используются следующие параметры:

**Mode** – режим усреднения.

**# of Averages** – количество усреднений.

В разделе синхронизации **Trigger Settings** используются следующие параметры:

**Type** – тип сигнала синхронизации начала сбора данных. Значение по умолчанию **Immediate**, что соответствует отсутствию внешней синхронизации.

**Source** – источник внешней синхронизации начала сбора данных.

**Level (V)** – уровень напряжения аналогового сигнала синхронизации, при котором начинается сбор данных.

**Slope** – тип синхронизации по возрастающему или по спадающему фронту аналогового или цифрового сигнала синхронизации.

### 1.3 Функциональный генератор

Источником сигналов, исследуемых в работе служит виртуальный прибор NI ELVISmx Function Generator (**FGEN**). Передняя панель его приведена на рисунке 1.2.

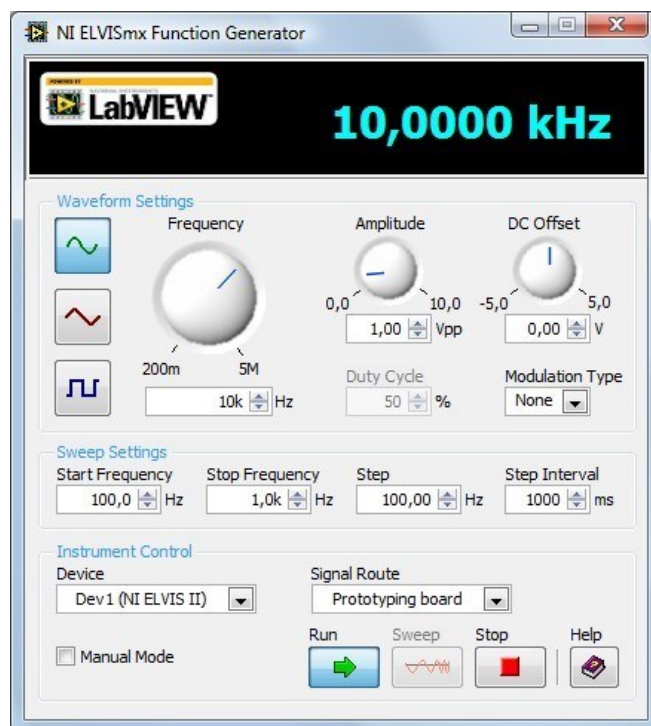


Рисунок 1.2 – Панель функционального генератора

Для запуска генератора в диалоговом окне NI ELVISmx Instrument Launcher необходимо выбрать иконку с названием **FGEN**, на экране появится окно NI ELVISmx Function Generator. Рассмотрим функциональность этого виртуального прибора.

В поле **Waveform Settings** имеется возможность изменения следующих параметров:



**Sine Wave** – гармоническая форма генерируемого сигнала.



**Triangle Wave** – треугольная форма генерируемого сигнала.



**Square Wave** – прямоугольная форма генерируемого сигнала.

**Frequency** – частота выходного сигнала. Существует возможность устанавливать значение частоты с клавиатуры в поле под круговой ручкой (Knob), отвечающей за изменение частоты. Значение по умолчанию – 100 Гц.

**Amplitude** – значение амплитуды сигнала (полного размаха колебаний от максимума до минимума генерируемого сигнала). Есть возможность устанавливать значение амплитуды с клавиатуры в поле под круговой ручкой (Knob), отвечающей за изменение амплитуды. Значение по умолчанию 1 В.

**DC Offset** – сдвиг постоянной составляющей генерируемого сигнала. Можно устанавливать значение постоянной составляющей с клавиатуры в поле под круговой ручкой (*Knob*), отвечающей за её изменение. Значение по умолчанию 0 В.

**Duty Cycle** – коэффициент заполнения (процентное соотношение длительности импульса к периоду повторения импульсов). Этот элемент управления доступен только в случае выбора прямоугольного типа генерируемого сигнала. Значение по умолчанию 50%.

**Modulation Type** – тип модуляции генерируемого сигнала (АМ – амплитудная модуляция, FM – частотная модуляция). Значение по умолчанию – None (т.е. генерируемый сигнал не модулирован).

В поле настроек генератора качающейся частоты **Sweep Settings** имеется возможность управления следующими параметрами:

**Start Frequency** – нижняя граница диапазона частот генерируемого сигнала. Значение по умолчанию 100 Гц.

**Stop Frequency** – верхняя граница диапазона частот генерируемого сигнала. Значение по умолчанию 1000 Гц.

**Step** – шаг изменения частоты при сканировании в выбранном диапазоне частот. Значение по умолчанию 100 Гц.

**Step Interval** – временной интервал между последовательными изменениями частоты генерируемого сигнала. Значение по умолчанию 1000 мс.

Существует возможность выбрать тип вывода генерируемого сигнала (**Signal Route**): на макетную плату (**Prototyping board**) или на BNC разъёмы с надписью «FGEN» на боковой панели NI ELVIS (**FGEN BNC**).

#### 1.4 Соединение и предварительная настройка приборов

Подключить рабочую станцию ELVIS 2 к персональному компьютеру и включить её.

С помощью NI ELVISmx Instrument Launcher запустить виртуальные приборы **DSA** и **FGEN**.

Селектор **Signal Route** на панели функционального генератора установите в положение **Prototyping board**.

В качестве источника входных данных установить BNC выход **SCOPE CH0** на боковой панели **NI ELVIS II**. В поле **Trigger Settings** выбрать синхронизацию по перепаду аналогового сигнала **Edge**, в поле **Source** (источник) выберите **Source Channel** (используемый канал), а уровень срабатывания синхронизации **Level** установить на **0 В**. Дополнительно можно выбрать синхронизацию по фронту или спаду – **Slope**.

BNC разъём **SCOPE CH 0**, располагающийся на боковой панели **NI ELVIS II**, соединить BNC кабелем с входом **BNC 1**, располагающимся рядом разъёмом **BANANA D**.

Соединить контактный разъём **FGEN** с контактным разъёмом **BNC 1+**, **BNC 1-** с **GROUND**, как показано на рисунке

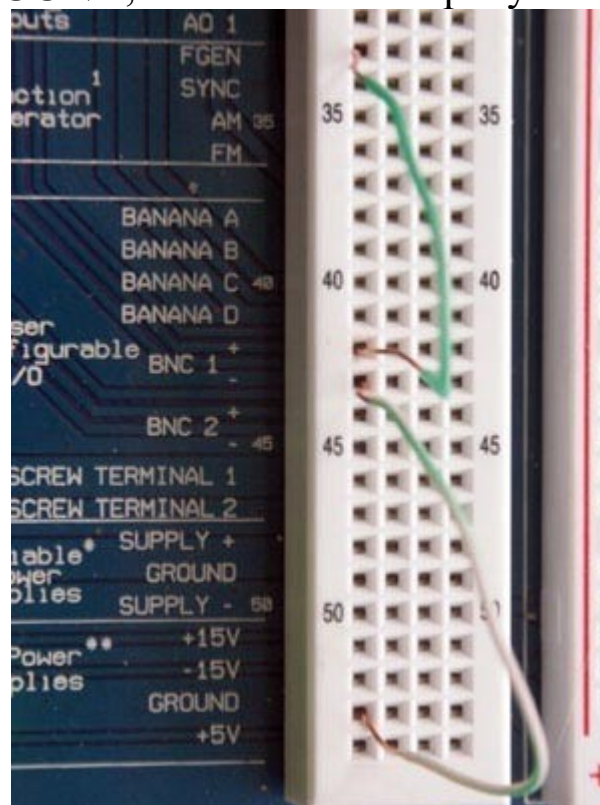


Рисунок 1.3 – Соединение анализатора спектра и функционального генератора на макетной плате рабочей станции

### 1.5 Подготовка к лабораторной работе

При домашней подготовке к работе изучить принцип действия цифровых анализаторов спектра параллельного типа.

Вспомнить теорему Котельников о выборе частоты дискретизации сигнала.

Изучить переднюю панель анализатора спектра, режимы работы и базовые настройки.

Изучить переднюю панель функционального генератора, режимы работы и базовые настройки.

Изучить схему соединения приборов рабочей станции.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 Как должен быть сконфигурирован вывод сигнала функционального генератора?
- 2 Как должен быть сконфигурирован вход анализатора спектра?
- 3 Как установить форму генерируемого напряжения на панели функционального генератора?
- 4 Каким образом могут быть установлены параметры генерируемых сигналов (частота, амплитуда, смещение, коэффициент заполнения)?
- 5 Как подключить функциональный генератор к анализатору спектра?
- 6 Как задать полосу частот для спектрального анализа сигнала?
- 7 Сформулируйте теорему Котельникова.
- 8 От чего зависит разрешение анализатора спектра?
- 9 Как задать источник синхронизации начала выборки анализатора спектра и каким он может быть?
- 10 Как изменить на экране масштаб по вертикальной оси?
- 11 Как переключиться из режима спектральной мощности в режим спектральной плотности мощности?

### **1.6 Порядок выполнения работы**

- 1 Включить рабочую станцию.
- 2 Запустить функциональный генератор и анализатор спектра.
- 3 Осуществить основные настройки в соответствии с п.1.4.
- 4 Выбрать режим синусоидального сигнала.
- 5 Установить частоту синусоидального сигнала 10 кГц, а амплитуду 1В.
- 6 Выполнить соединение приборов в соответствии с п. 1.4.
- 7 Включить функциональный генератор кнопкой Run.

- 8 Установить диапазон частот анализатора 50 кГц, а разрешение 400.
- 9 Выбрать непрерывный режим работы и запустить анализатор спектра кнопкой Run.
- 10 Сохраните спектр (Print и выбрать нужный формат) и проанализируйте его. Выводы запишите.
- 11 Включите окно Хэмминга (Window/Hamming).
- 12 Вновь сохраните спектр. Сопоставьте с результатами, полученными в п.10 и запишите выводы.
- 13 Измените разрешение до 50 и выключите окно.
- 14 Сохраните результаты измерений. Сравните с результатами п.10. Запишите выводы.
- 15 Установите верхнюю границу анализируемого частотного диапазона 10 кГц. При этом частота дискретизации будет равна 20 кГц. Верните разрешение 400.
- 16 Сохраните результаты работы анализатора. Обратите внимание на временную диаграмму сигнала. Объясните и запишите выводы.
- 17 Изменить уровень синхронизации **Level = 0.5 В**.
- 18 Сохраните результаты работы анализатора. Сравните с п.16 и приведите объяснения.
- 19 Установить диапазон анализируемых частот 7,5 кГц.
- 20 Сохранить и проанализировать результаты работы анализатора спектра.
- 21 Установить верхнюю границу диапазон анализируемых частот 100 кГц.
- 22 Сохранить результаты. Сделать выводы о качестве воспроизводимой формы сигнала в зависимости от частоты дискретизации.
- 23 Установить прямоугольную форму генерируемого сигнала, а его частоту 1 кГц.
- 24 Установить верхнюю границу диапазон анализируемых частот 10 кГц. Окно отключить.
- 25 Сохранить результаты и определить закон изменения спектральных составляющих входного сигнала.
- 26 Установить треугольную форму генерируемого сигнала, а его частоту 1 кГц.

- 27 Установить верхнюю границу диапазон анализируемых частот 10 кГц. Окно отключить.
- 28 Сохранить результаты и определить закон изменения спектральных составляющих входного сигнала.

### **1.7 Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

- Титульный лист;
- Содержание;
- Краткие теоретические сведения;
- Спектр и временную диаграмму, полученную анализатором спектра по каждому пункту исследований;
- Выводы по каждому пункту исследований;
- Результаты сравнительного анализа диаграмм одного и того же сигнала, полученных при различных режимах работы анализатора спектра;
- Ответы на контрольные вопросы;
- Перечень источников, использованных при подготовке к работе и защите.

### **1.8 Контрольные вопросы**

- 1 Каким образом задаётся частота дискретизации в анализаторе спектра рабочей станции ELVIS 2?
- 2 Как влияет на вид спектра разрешение по частоте?
- 3 К каким последствиям может привести увеличение разрешения по частоте при исследовании реальных сигналов?
- 4 Как зависит разрешение от частоты дискретизации?
- 5 Как влияет уровень синхронизации, запускающий преобразование сигнала на вид спектра?
- 6 Что такое нормирование спектра?
- 7 Как выбирать разрешение по частоте при использовании цифрового анализатора на основе БПФ?

## **2 Исследование двухполюсников анализатором импеданса**

### **Цель работы**

- изучить принципы построения анализаторов импеданса;
- изучить особенности измерения ёмкостей, индуктивностей, сопротивлений цифровым виртуальным мультиметром и виртуальным анализатором импеданса.

## 2.1 Импеданс и методы его измерения

Импедансом называется комплексная величина, равная отношению комплексного значения напряжения на элементе к комплексной величине силы тока, протекающего через элемент. В частном случае идеального резистора импеданс является действительной величиной и равен его сопротивлению. В случае идеального конденсатора его сопротивление равно бесконечности, поскольку постоянный ток не течет через емкость. Сопротивление идеальной катушки индуктивности должно быть равно нулю.

Ситуация сильно изменяется, если рассматривать прохождение через цепь переменного электрического тока, когда проявляются так называемые «реактивные» свойства элементов: падение напряжения на идеальной катушке индуктивности уже перестает быть равным нулю, а конденсатор начинает пропускать переменный электрический ток. В этом случае удобно оперировать с понятием импеданса элементов, которое всегда связывает ток и напряжение на них подобно сопротивлению.

Импеданс резистора является действительной величиной равной его сопротивлению. Он может быть представлен на двумерной плоскости как отрезок, отложенный вдоль оси  $X$ , часто называемый реальной составляющей.

Для идеальной ёмкости импеданс  $X_C$  является мнимой величиной, зависящей от частоты переменного тока, и может быть представлен на двумерной плоскости как отрезок вдоль оси  $Y$  (реактивная составляющая). Математически, реактивная составляющая ёмкости может быть представлена в следующем виде ( $\omega$  – угловая частота электрического тока (измеряемая в рад/сек),  $C$  – емкость конденсатора и  $i$  – мнимая единица):



$$X_C = 1/(i \times \omega \times C)$$

Импеданс идеальной катушки индуктивности может быть представлен в следующем виде ( $L$  – индуктивность катушки):

$$X_L = i \times \omega \times L$$

Импеданс RLC-контура является последовательной суммой импедансов всех компонент:

$$Z_{RC} = R + X_C + X_L = R + i \times (\omega \times L - 1/(\omega \times C))$$

С другой стороны это может быть представлено как вектор в полярных координатах с амплитудой  $A = (R^2 + (X_L + X_C)^2)^{1/2}$  и фазой  $\theta = \text{tg}^{-1}((X_L + X_C)/R)$ .

Резистор в полярных координатах представляет собой вектор, направленный вдоль действительной оси  $X$ . Ёмкость в полярных координатах представляет собой вектор, направленный вдоль отрицательного направления мнимой оси  $Y$ . Индуктивность в полярных координатах представляет собой вектор, направленный вдоль положительного направления мнимой оси  $Y$ .

Приборы для измерения импеданса содержат генератор синусоидального напряжения и фазочувствительные вольтметр и амперметр переменного тока, т.е. используется известный метод вольтметра – амперметра. Применение амперметра с шунтом, приводит к необходимости дополнительных вычислений, связанных с определением падения напряжения на неизвестном сопротивлении (рисунок 2.1).

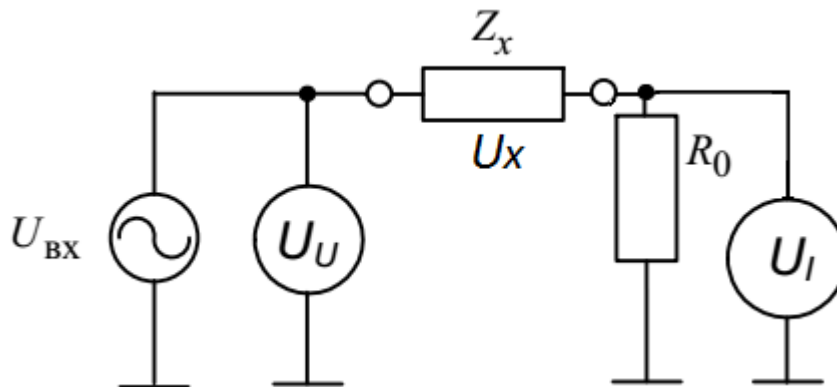


Рисунок 2.1 – Схема измерения неизвестного импеданса

При этом приходится работать с комплексными числами.

$$Z_x = R_0 \times \frac{\dot{U}_U - \dot{U}_I}{\dot{U}_I}$$

Поскольку для масштабирования всё равно приходится применять схемы усиления на основе ОУ, то чаще используется компенсационный амперметр – преобразователь тока в напряжение. В приложении к измерению импедансов схема преобразуется к виду на рисунке 2.2. При этом преобразователь по существу преобразует проводимость  $Y_x=1/Z_x$  в напряжение.

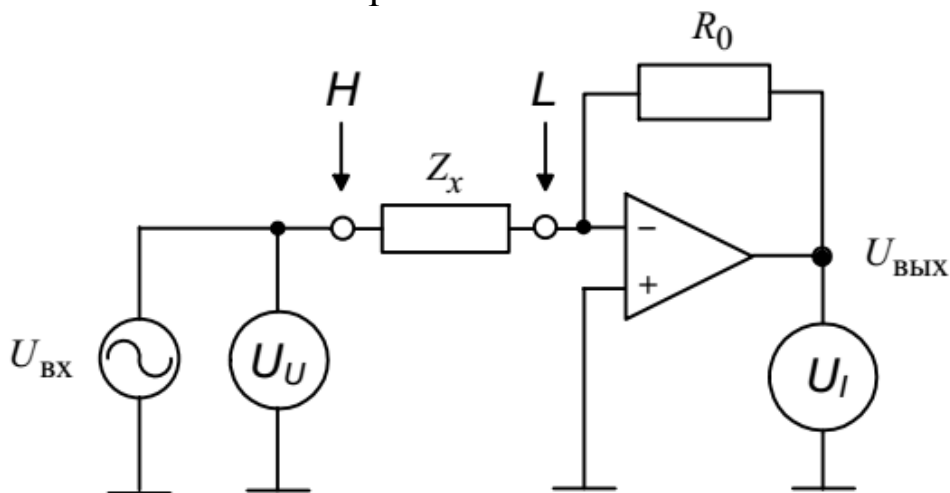


Рисунок 2.2 – Преобразователь проводимости в напряжение  
При этом:

$$Z_x = R_0 \times \frac{\dot{U}_U}{\dot{U}_I}$$

Измерение комплексных напряжений может осуществляться различными способами. При измерении вольтметром постоянного тока оба напряжения подвергаются квадратурному синхронному детектированию. Для этого формируются два напряжения прямоугольной формы синхронных с генерируемым синусоидальным сигналом и сдвинутые относительно друг друга на  $90^\circ$ . Эти напряжения управляют ключами на входы которых подаётся входное напряжение, или напряжение пропорциональное току цепи. Выходные напряжения ключей сглаживаются и измеряются вольтметром постоянного тока. Таким образом, входное и выходное напряжения раскладываются на две ортогональные составляющие в системе координат опорного напряжения. Для уменьшения уровня

помех и шумов вольтметр желательно применять интегрирующего типа. Для получения высокой точности измерений в качестве генератора синусоидального сигнала предъявляются высокие требования. Нередко после генератора устанавливается фильтр. Этот подход иллюстрирует схема, приведенная на рисунке 2.3.

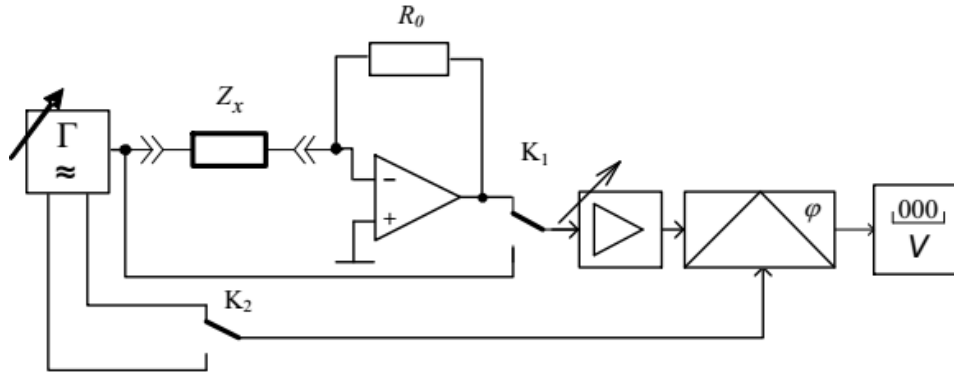


Рисунок 2.3 – Измеритель импеданса на основе квадратурного детектора и вольтметра постоянного тока

Функции синхронного детектирования может взять на себя цифровой сигнальный процессор (процессор персонального компьютера в виртуальном приборе). В этом случае напряжение пропорциональное напряжению измерительной цепи и напряжение пропорциональное току оцифровываются быстродействующим АЦП и умножаются на хранящиеся в памяти коды синусоиды (эти же коды подаются на вход цифроаналогового преобразователя генератора испытательного сигнала). Кроме того, коды АЦП умножаются на ту же последовательность цифровых кодов синусоиды, смещённых на четверть периода. Полученное цифровое представление результатов измерения квадратурных составляющих подвергается фильтрации, а по полученным значениям вычисляются составляющие в виде активного и реактивного сопротивления или модуля и фазы.

Виртуальный анализатор на платформе ELVIS 2 позволяет не только измерять модуль и фазу, активную и реактивную составляющие полного сопротивления, но визуализировать вектор полного сопротивления в полярной системе координат, а также исследовать поведение импеданса в диапазоне частот до 35 кГц. Передняя панель прибора представлена ниже.

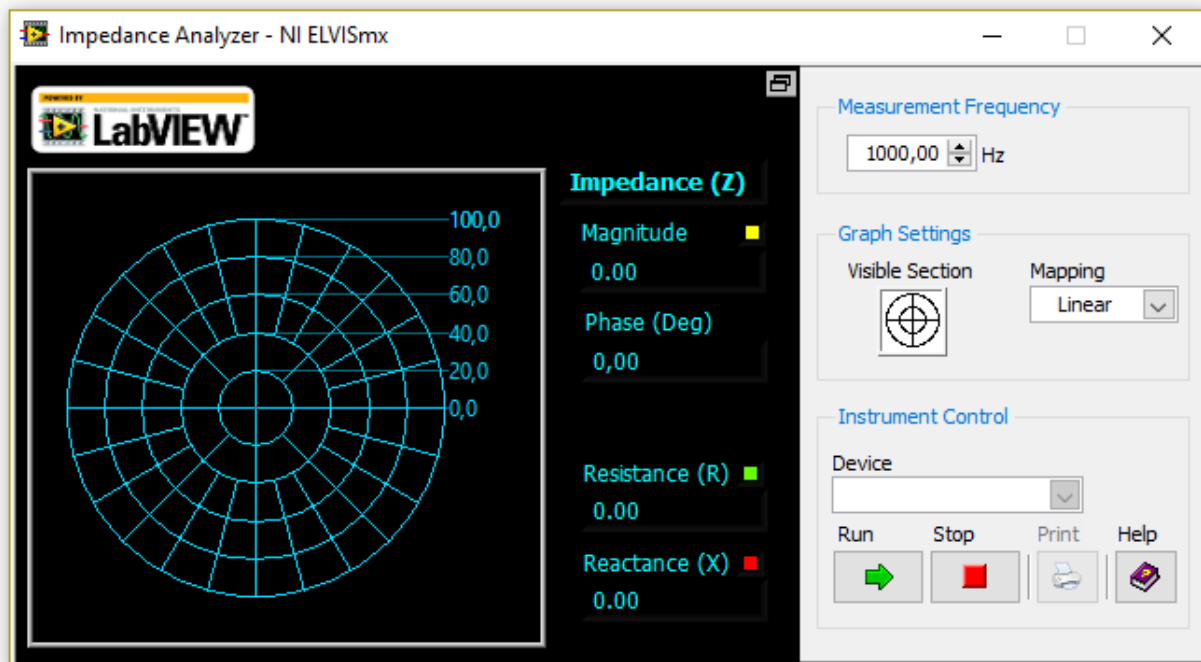


Рисунок 2.4 – Панель виртуального измерителя импеданса

В левой части панели размещена полярная система координат, позволяющая визуально контролировать положение вектора полного сопротивления. Можно выбрать для отображения только одну из четвертей или полуокружностей с помощью функции Visible Section, а также линейный или логарифмический масштаб для модуля вектора. Основные характеристики анализатора приведены ниже.

Полоса рабочих частот	1 Гц -35 кГц
Диапазон измерения сопротивления	5 Ом – 3 МОм
Диапазон измерения ёмкости	50 пФ – 500 мкФ
Диапазон измерения индуктивности	100 мкГн – 100 мГн

## 2.2 Подготовка к лабораторной работе

Повторить понятия активного и реактивного сопротивления, зависимость ёмкостного и индуктивного сопротивления от частоты и выражения для определения реактивных сопротивлений. На комплексной плоскости построить вектора напряжений и токов для ёмкости и индуктивности.

По методическим указаниям познакомиться с методами измерения импеданса.

Изучить характеристики и параметры анализатора импеданса на платформе ELVIS 2.

Для самоконтроля ответить на нижеследующий вопросы.

### 2.3 Вопросы для самоконтроля

- 1 Опережает или отстаёт ток от напряжения на конденсаторе?
- 2 Какова подобная связь между током и напряжением на индуктивности?
- 3 Как изменится угол между напряжением на последовательной RC- цепи и током при увеличении частоты переменного тока?
- 4 Как изменится угол между напряжением на параллельной RC- цепи и током цепи при увеличении частоты переменного тока?
- 5 Рассмотреть аналогичные цепи с катушкой индуктивности вместо конденсатора.
- 6 Какой метод положен в основу измерителей импеданса?
- 7 Каков диапазон рабочих частот анализатора импеданса?

### 2.3 Порядок выполнения работы

1. Включите анализатор импеданса. Для включения выберите в диалоговом окне NI ELVISmx Instrument Launcher иконку с названием Imped. На экране появится лицевая панель виртуального прибора NI ELVISmx Impedance Analyzer.
2. На макетной плате **NI ELVIS II** найдите контактную полосу, соответствующую **Impedance Analyzer**, выберите из комплекта три резистора разных номиналов и поочерёдно установите в контактные разъёмы напротив меток DUT+ и DUT-. Установите частоту анализатора 1 Гц. Определите величину сопротивления каждого резистора и результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерения сопротивлений

№ п/п	Номинальное значение сопротивления, кОм	Анализатор импеданса (АИ), кОм		Мультиметр (М), кОм	Отклонение (АИ-М)/М, %	
		F=1 Гц	F=35 кГц		F=1 Гц	F=35 кГц
1						
2						
3						

3. Прodelайте тоже при частоте анализатора импеданса 35 кГц.
4. Повторите измерения сопротивления резисторов с помощью цифрового мультиметра и результаты также занесите в таблицу 1.
5. Вычислите относительное отклонение показаний анализатора импеданса от показаний мультиметра.
6. Удостоверьтесь в том, что резистивное сопротивление в полярных координатах имеет только действительную составляющую, а фаза равна нулю. Если имеет место отклонение зарегистрируйте его.
7. Сделайте выводы по результатам измерения сопротивлений на разных частотах.
8. Выберите 3 конденсатора, отличающихся по ёмкости не менее чем в 10 раз. Один из них должен быть электролитическим.
9. Поочерёдно подключите конденсаторы к анализатору импеданса, проведите измерения для разных частот с каждым конденсатором и занесите результаты в таблицу 2. Произведите вычисления.

Таблица 2. Результаты исследования конденсаторов

F, кГц	Номинальная ёмкость, нФ	Мультиметр, C <sub>M</sub> , нФ	Анализатор импеданса C <sub>A</sub>			(C <sub>A</sub> -C <sub>M</sub> )/C <sub>M</sub> , %
			X, кОм	C <sub>A</sub> , нФ	R	
0,1						
1						
10						

10. Сделайте выводы о поведении результатов измерений в зависимости от частоты анализа.
11. Проведите исследование катушки индуктивности. Результаты занесите в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты исследования катушки индуктивности

F, кГц	Номинальная индуктивность, мГн	Мультиметр, L <sub>M</sub> , мГн	Анализатор импеданса L <sub>A</sub>			(L <sub>A</sub> -L <sub>M</sub> )/L <sub>M</sub> ,
			X, Ом	L <sub>A</sub> , мГн	R, Ом	%
0,1						
1						
10						

12. Проанализируйте результаты исследований. Объясните их.
13. Выберите резистор, конденсатор и катушку индуктивности и определите их параметры мультиметром. Запишите результаты измерения.
14. Составьте последовательную цепь из выбранных элементов. Проведите исследование импеданса цепи во всём рабочем диапазоне частот анализатора на частотах, распределённых в соответствии с геометрической прогрессией. Занесите результаты исследований в таблицу 4.

Таблица 4. Результаты исследования импеданса последовательного колебательного контура

	Частота анализатора импеданса, Гц								
	1	10	20	190	530	1500	4270	12160	34620
Z, кОм									
φ°									

15. Постройте графики зависимости модуля сопротивления и фазы от частоты. Проанализируйте результаты измерений. Попадает ли в диапазон исследований частота резонанса контура. Если нет, оцените какой должна быть ёмкость конденсатора, чтобы резонансная частота попала в диапазон рабочих частот анализатора.

Рекомендация:

Таблицы 1-4 желательно оформлять в Excel. Графики строить его же средствами.

## 2.4 Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

Титульный лист;

Содержание;

Краткие теоретические сведения;

Результаты исследований, сведенные в таблицы;

Необходимые графики;

Выводы по каждому пункту исследований;

Ответы на контрольные вопросы;

Перечень источников, использованных при подготовке к работе и защите.

## 2.5 Контрольные вопросы

1. Что такое импеданс, адмитанс, иммитанс?
2. Как определить индуктивность и ёмкость по результатам измерения их импедансов?
3. Почему при измерении ёмкости и индуктивности автоматически изменяется частота, на которой осуществляется измерение?
4. К каким последствиям приводит измерение ёмкости и индуктивности с помощью анализатора импеданса на произвольно выбираемой частоте?
5. Какие аппаратные средства используются в измерителях импеданса при применении цифрового вольтметра постоянного тока?
6. Почему в измерителях импеданса с цифровым вольтметром постоянного тока чаще используется квадратурный детектор на электронных ключах?
7. Каковы недостатки квадратурного детектора на электронных ключах?
8. Какие проблемы возникают при измерении малых импедансов?
9. Как изменяется схема измерений для малых импедансов?



## **3 Осциллограф на МК с использованием средств виртуализации**

### **Цель лабораторной работы**

- дать общее представление о принципах построения внешних модулей компьютерных осциллографов;
- изучить особенности протокола обмена между внешним устройством и программным обеспечением LabView через виртуализованный коммуникационный порт.

### **3.1 Аппаратно-программная платформа осциллографа**

Мощные средства программирования LabView позволяют управлять существующими встроенными виртуальными приборами. Если их возможностей недостаточно, то воспользовавшись встроенными протоколами поддержки интерфейсов можно подключить к ПК дополнительные приборы. В лабораторной работе иллюстрируется возможность создания простого цифрового осциллографа, возможности которого легко можно расширить программным обеспечением.

Поскольку целью работы является демонстрация возможностей средств виртуализации, то в качестве аппаратно- программной платформы работы выбрана платформа ARDUINO, обеспечивающая низкий порог вхождения в сегменте программирования микроконтроллерных устройств.

Аппаратная часть представляет собой плату с установленным на ней микроконтроллером (AVR, ARM CortexM) и минимальным числом периферийных компонентов, обеспечивающих его работу и связь с персональным компьютером через интерфейс USB или другие. Также официальными и сторонними разработчиками предлагаются различные платы расширения с установленными на них дополнительными периферийными устройствами.

Этот аппаратно-программный комплекс имеет полностью открытую архитектуру и множество клонов разных производителей.

В лабораторном макете цифрового осциллографа применена плата – Freeduino 2009 (рисунок 3.1), являющаяся клоном оригинала Arduino Duemilanove.

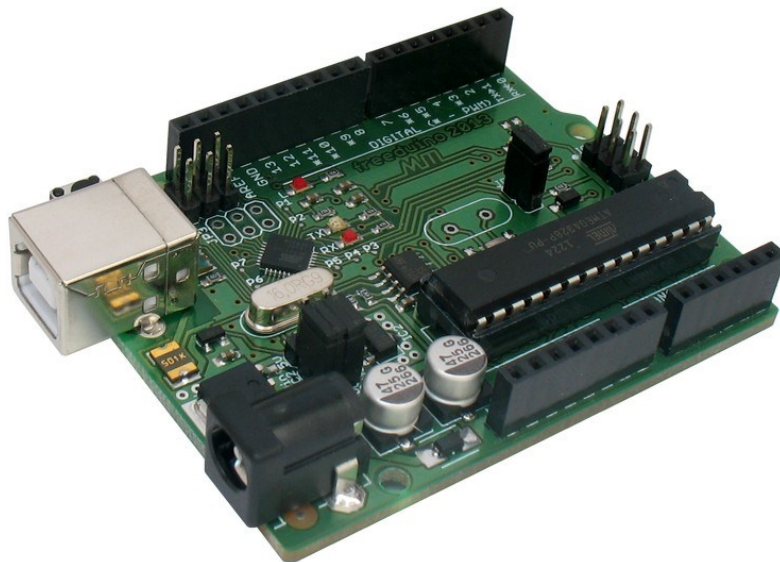


Рисунок 3.1 - Freeduino 2009 (клон Arduino Duemilanove)

Данная плата построена на основе микроконтроллера AVR Atmega168/328 и имеет в своем составе преобразователь USB-RS232. Частота тактирования контроллера 16 МГц.

Принцип работы простого цифрового осциллографа состоит в преобразовании поступающего на вход аналого-цифрового преобразователя сигнала в цифровой код, накопления его в буфере кадра и последующей передаче по последовательному интерфейсу в ПК, где средствами LabView этот код масштабируется и отображается на мониторе ПК в виде осциллограммы.

Совместно с LabVIEW на данной платформе возможно создать демонстрационную модель цифрового осциллографа, позволяющую оцифровывать сигналы с частотой 130 тысяч выборок в секунду. Для получения стабильного изображения можно использовать программную синхронизацию, анализируя преобразованный в цифровой код сигнал и начиная заполнение буфера по выбранному условию.

**Blink example**

```

/*
 * Blink
 * http://arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13; // LED on digital pin 13

// setup() runs once, when sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// loop() runs over and over again
void loop() {
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}

```

**Serial**

```

Serial.begin( 9600 );
count = Serial.available();
char = Serial.read();
Serial.write(value);
Serial.flush();
Serial.print(b, BYTE); //DEC,HEX,OCT,BIN
Serial.println(value);
Serial.end();

```

**Functions I/O**

Digital

```

pinMode(pin, mode); // OUTPUT, INPUT
digitalWrite(pin, value);
int digitalRead(pin);

```

Analog

```

int analogRead(pin);
analogWrite(pin, value); // PWM

```

shiftOut(dataPin, clockPin, bitOrder, value);  
 unsigned long pulseIn(pin, value);

**Math**

```

min(x, y);
max(x, y);
abs(x);
constrain(x, a, b);
map(value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh);
pow(base, exponent);
sq(x);
sqrt(x);
sin(rad);
cos(rad);
tan(rad);

```

**Random**

```

Random
randomSeed(seed);
long random(max);
long random(min, max);

```

**Constants**

```

#define HIGH 0x1 // 3-5V
#define LOW 0x0 // 0-2V

#define INPUT 0x0
#define OUTPUT 0x1

```

**Time**

```

unsigned long millis();
unsigned long micros();
delay(ms);
delayMicroseconds(us);

```

**Atmega168 Pin Mapping**

Arduino function	PC Pin	MCU Pin	Arduino function
reset	(PCINT14/RESET) PC6	1	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
digital pin 0 (RX)	(PCINT16/RXD) PD0	2	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
digital pin 1 (TX)	(PCINT17/TXD) PD1	3	PC3 (ADC3/PCINT11)
digital pin 2	(PCINT18/INT0) PD2	4	PC2 (ADC2/PCINT10)
digital pin 3 (PWM)	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	PC1 (ADC1/PCINT9)
digital pin 4	(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	VCC	7	GND
GND	GND	8	AREF
crystal	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	AVCC
crystal	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	PB5 (SCK/PCINT5)
digital pin 5 (PWM)	(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	PB4 (MISO/PCINT4)
digital pin 6 (PWM)	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
digital pin 7	(PCINT23/AIN1) PD7	13	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
digital pin 8	(PCINT0/CLK0/ICP1) PB0	14	PB1 (OC1A/PCINT1)

**Interrupts**

```

attachInterrupt(interrupt, function, mode);
detachInterrupt(interrupt);

interrupts();
noInterrupts();

```

Рисунок 3.2 – Назначение выводов и элементы языка программирования платформы прототипирования Arduino

В качестве источника сигнала при тестировании осциллографа используется канал ШИМ микроконтроллера со сглаживающей RC цепочкой, подключенной к его выходу (рисунок 3.3).

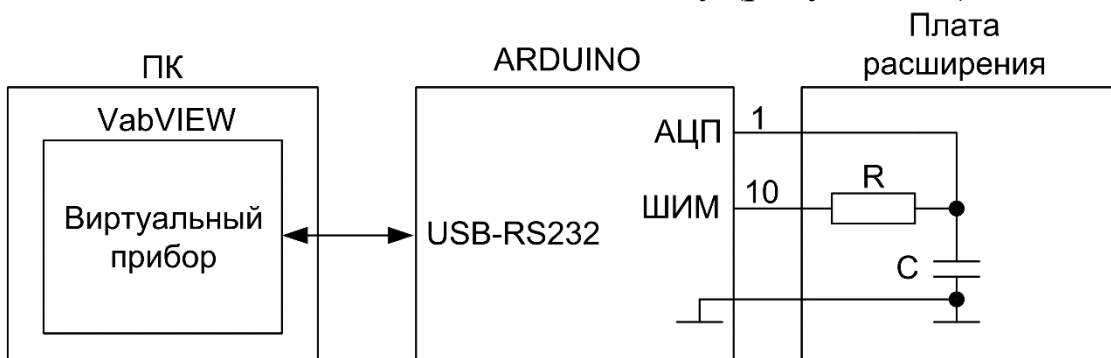


Рисунок 3.3 – Структурная схема демонстрационной модели цифрового осциллографа

Стандартная скорость работы АЦП Freeduino 2009 примерно 8 тысяч выборок в секунду. Согласно документации на это устройство в языке нет стандартных средств, позволяющих увеличить эту

скорость. Однако, согласно технической документации на микроконтроллер ATmega168/328 блок АЦП имеет делитель тактовой частоты, значение которого может изменяться в 64 раза (от 2 до 128). Настройка этого узла осуществляется заданием трех младших битов регистра ADCSRA. Установив 3 младших бита в состояние 010, получим коэффициент деления 4:

```
ADCSRA = ADCSRA & 0b11111000 | 0x02; // установка делителя тактовой частоты АЦП равным 4
```

С учётом затрат времени на запись результатов в буфер средствами языка возможно достичь считывания аналого-цифровым преобразователем входного сигнала один раз в 7,7 мкс.

Поскольку скорости стандартного интерфейса недостаточно для передачи данных непосредственно с работающего на максимальной скорости АЦП в ПК, то эта информация накапливается в памяти микроконтроллера, а затем пересылается в ПК. Промышленные цифровые осциллографы также используют буфер для накопления данных. ОЗУ микроконтроллера ATmega168 способно вместить массив до 300 отсчётов, ATmega328 – свыше 500. Данное обстоятельство ограничивает размер буфера оцифрованных значений.

Момент начала захвата данных со входа осциллографа определяется программно по выбранным критериям.

Текст программы микроконтроллера представлен ниже:

```
//=====
int Gen_Out = 10; // пин - выход генератора сигналов
int Osc_In = 1; // Номер входа осциллографа
int VTrigger = 500; // Напряжение на входе, при котором запускается оцифровка вх. сигнала

int ValADC0 = 0; // Буфер с предыдущим знач. АЦП
int ValADC1 = 3; // Измеряемое аналоговое напряжение
int KBuf = 250; // Объём буфера

void setup() {
  pinMode(Gen_Out, OUTPUT); // ориентировать на вывод
  analogReference(DEFAULT); // опорное напряжение 5В
  Serial.begin(9600);
  // скорость вывода устанавливать одновременно в МК и виртуальном COM порте

  ADCSRA = ADCSRA & 0b11111000 | 0x02; // установка делителя тактовой частоты АЦП равным 4
}
void loop() {
```

```

int RArray[KBuf]; // массив отсчётов напряжений измеренных АЦП
analogWrite(Gen_Out, 128); // установка выходного сигнала - меандр
ValADC0 = analogRead(Osc_In);
ValADC1 = analogRead(Osc_In);
if ((ValADC1 >= VTriger) and (ValADC1 <= (VTriger+10)) and ((ValADC1-ValADC0) > 5))
// считывание начинается при нарастании и превышении VTriger входного напряжения.
{
RArray[0]=ValADC1;
for(int k = 1 ; k <= KBuf; k++) {

RArray[k] = analogRead(Osc_In ); // измерение очередного значения и сохранение в буфер
};
for(int k = 0 ; k <= KBuf; k++) {
// передача накопленных данных на компьютер
Serial.print(k);
Serial.print(";"); // вывод разделителя
Serial.println(RArray[k]); // вывод отсчётов АЦП
};
delay (500);
};
}
//=====

```

Визуализация данных осуществляется виртуальным прибором, созданным на базе среды визуального программирования National Instruments LabView (рисунок 3.4) [3].

Поскольку с платы микроконтроллера данные передаются с помощью адаптера RS232 – USB, а в ПК используется виртуальный COM–порт, то для работы с ним используются элементы: VISA Configure Serial Port, VISA Read, Scan From String, VISA Close, Clear Errors.

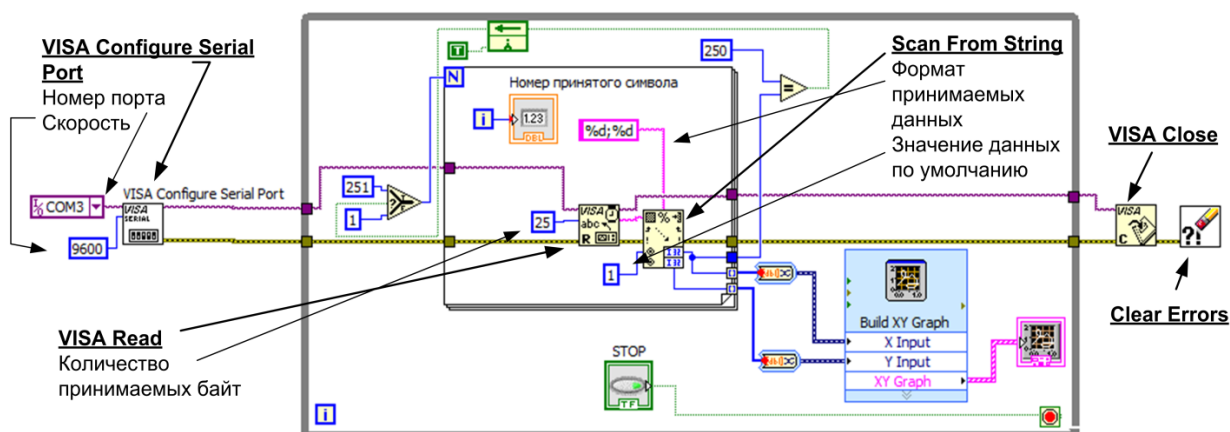


Рисунок 3.4 – Блок-схема виртуальной части системы сбора и визуализации данных

С помощью элемента VISA Configure Serial Port производится инициализация порта – указывается номер порта и скорость передачи данных.

VISA Read – функция чтения из проинициализированного COM порта. Настраиваемым параметром функции является количество принимаемых байт.

Функция Scan From String производит преобразование полученных данных в соответствии с установленным форматом данных.

VISA Close производит закрытие порта при окончании приёма данных. Clear Errors очищает ошибки. Используется для игнорирования ошибок рассинхронизации интерфейса.

Интерфейс панели демонстрационной модели осциллографа предельно упрощён (рисунок 3.5).

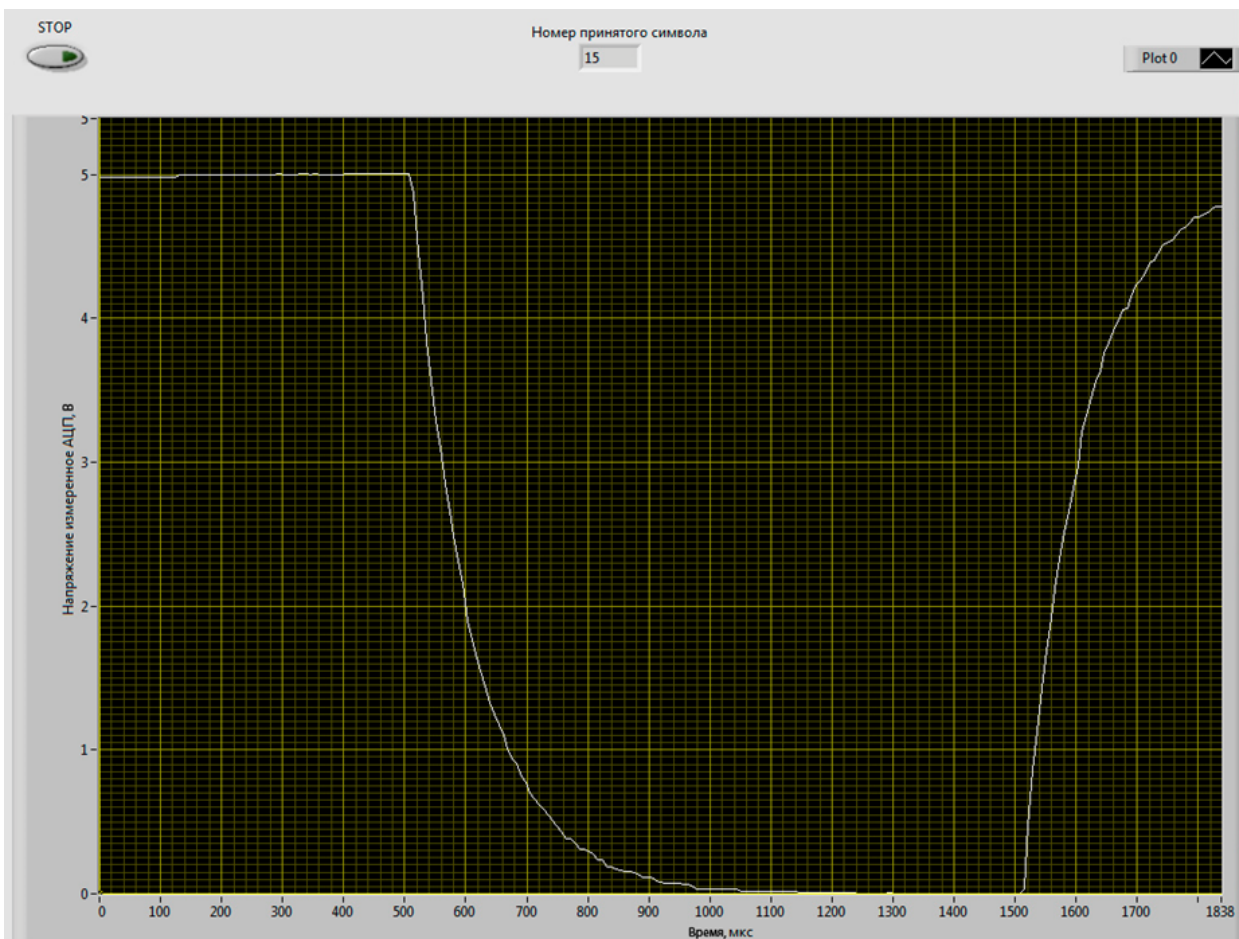


Рисунок 3.5 – Интерфейс панели демонстрационной модели цифрового осциллографа.

Поскольку интерфейс с ПК двунаправленный, то возможно расширение функциональности прототипа добавлением поддержки управления разверткой по оси времени и напряжений с использо-

ванием делителей, управляемых микроконтроллером [4,5], уровнем срабатывания синхронизации (триггера) и введением соответствующих органов управления виртуальным осциллографом. Не вызывает проблем расширение функционала до анализатора спектра сигналов, измерений с помощью маркеров, измерения частоты и периода сигналов.

Для расширения возможностей осциллографа необходимо предусмотреть средства смещения входного сигнала в середину динамического диапазона, встроенного АЦП (+2,5 В). Добавить управляемый делитель входного сигнала и усилитель. Также целесообразно ввести триггер синхронизации, опрашиваемый программно или срабатывающий по прерываниям.

Для включения цифрового осциллографа необходимо:

- подключить USB-кабелем прототипную плату к ПК;
- загрузить программу осциллографа OSC4.ino в МК для чего необходимо выполнить щелчок ЛКМ на файле, зайти в открывшемся окне Arduino в пункт меню Инструменты/Платы и выбрать в нём плату Arduino Duemilanove, переместится в подпункт процессор и установить требуемый (ATmega168), переместиться в подпункт порт и считать номер автоматически определённого порта, нажать ЛКМ иконку →, что вызовет компиляцию и загрузку программы;
- загрузить программу ПК OSC\_LabView.vi. что вызовет окно с передней панелью осциллографа;
- нажать сочетание клавиш Ctrl+E и откроется блок диаграмма виртуальной части системы сбора и визуализации данных;
- вписать или выбрать номер порта, считанный выше;
- установить скорость порта, такую же как в программе микроконтроллера;
- закрыть окно блок диаграммы и на передней панели виртуального осциллографа нажать иконку →, или выбрать Run в пункте меню Operate, что запустит осциллограф;
- для остановки нажать красную иконку или кнопку STOP.

*Внимание! Нельзя одновременно держать открытыми окно скетча ARDUINO и LabView – произойдёт взаимная блокировка последовательного порта.*

Настройка осциллографа осуществляется через свойства панели, для чего следует навести курсор мыши на экран осциллографа и выполнить щелчок ПКМ. В выпавшем окне выбрать пункт «Свойства».

В закладке «Свойства» можно менять высоту и ширину экрана, масштабы по осям, минимальные и максимальные отсчёты, наименование осей и единицы измерения.

### **3.2 Подготовка к лабораторной работе**

При домашней подготовке к работе следует изучить устройство платы Freeduino 2009, назначение и именование её выводов и базовые операторы языка программирования [6].

Разобрать, опираясь на комментарии текст программы осциллографа и блок схему рисунка 3.4.

Изучить порядок подготовки виртуального осциллографа к работе, его пуска и остановки.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 Какой командой устанавливается скорость передачи данных микроконтроллером?
- 2 Как установить скорость работы последовательного коммуникационного порта виртуальной части сбора и визуализации данных?
- 3 Какова максимальная скорость обмена?
- 4 Чем определяется минимальный и максимальный уровень входного сигнала осциллографа?
- 5 Каковы эти уровни?
- 6 Откуда поступает исследуемый сигнал на вход осциллографа?
- 7 Каким образом микроконтроллеру удаётся одновременно формировать исследуемый сигнал осуществлять его оцифровку и паковать данные в буфер?
- 8 Как и где задаётся в программе объём буфера кадра?



9 Какие строки программы определяют скорость оцифровки данных?

10 Как в данной программе определяется время начала заполнения буфера?

11 Как связаны объём буфера и параметры цикла приёмника виртуальной системы сбора и отображения?

### **3.3 Порядок выполнения работы**

1 Подключите плату прототипирования к ПК.

2 Откройте скетч (программу осциллографа для МК) и выполните конфигурирование платы.

3 Запомните или запишите номер активного порта ARDUINO.

4 Запишите в МК программу осциллографа.

5 Загрузите программу виртуальной части системы сбора и визуализации данных.

6 Настройте порт виртуальной части системы сбора и визуализации данных.

7 Запустите цифровой осциллограф.

8 Скопируйте временную диаграмму сигнала с экрана осциллографа и сохраните её в отчёте.

9 Определите параметры исследуемого сигнала: амплитуду, длительность фронта, спада, длительность импульса, период повторения. Запишите их.

10 Наблюдайте сигнал. Обратите внимание на дрожание осциллограммы (джиттер). Оцените и запишите величину джиттера.

11 Объясните, изучив по тексту программы метод синхронизации, чем определяется величина джиттера.

12 Предложите изменения в программном обеспечении позволяющие растянуть изображение на экране осциллографа (например, разместить один период исследуемого сигнала).

13 Сделайте эти изменения и сохраните полученную диаграмму.

14 Проведите по ней измерение ранее определённых временных параметров и сопоставьте результаты.

15 Настройте осциллограф на максимальную скорость развёртки.

- 16 Снимите сохраните временную диаграмму и определите, сохранился ли временной масштаб.
- 17 Приведите временной масштаб в соответствии с прежними значениями.
- 18 Сохраните временные диаграммы в отчёте.
- 19 Уменьшите в два раза объём буфера МК и сделайте соответствующие изменения на диаграмме виртуальной системы сбора и отображения.
- 20 Запустите осциллограф без сохранения изменений.
- 21 Сохраните временную диаграмму.
- 22 Проанализируйте и опишите обнаруженные изменения.

### **3.4 Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

- Титульный лист;
- Содержание;
- Краткие теоретические сведения;
- Программное обеспечение осциллографа для МК и ПК;
- Временные диаграммы и результаты измерения параметров сигнала;
- Все изменения по программе выполнения лабораторной работы и сохранённые временные диаграммы с результатами измерений параметров сигнала;
- Анализ полученных результатов по каждому пункту исследований;
- Ответы на контрольные вопросы;
- Перечень источников, использованных при подготовке к работе и защите.

### **3.5 Контрольные вопросы**

- 1 Каков принцип работы цифрового осциллографа?
- 2 Как преодолеть ограничения скорости интерфейса при исследовании быстрых сигналов?
- 3 На что влияет объём буфера аппаратуры сбора?

- 4 Объясните сущность используемого метода синхронизации.
- 5 Предложите метод синхронизации с учётом того факта, что исследуемый сигнал формируется тем же МК, который и оцифровывает его.
- 6 Сравните значение ожидаемого джиттера для используемого и предложенного вами методов синхронизации?
- 7 Как реализовать сдвиг отображаемого сигнала на экране?

### Литература

1. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NI ELVIS II. Руководство пользователя. Новосибирск. Центр технологий NI, Российский филиал, 2008. -36 с.
2. NI ELVIS II Series Specifications [Электронный ресурс]: National Instruments. 11 p. // Режим доступа – <http://www.ni.com/pdf/manuals/372590b.pdf>
3. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW.- М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.
4. Бондарь О.Г. Организация многопредельных измерений в газоанализаторах. / О. Г. Бондарь, Е.О. Брежнева, А.В. Полякова, А.А. Аксентьев // Математические методы и инновационные научно-технические разработки -2014: сб. Сборник научных трудов. / ред. кол.: В.В. Серебровский [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. С. 237-241.
5. Бондарь О.Г. Применение микроконтроллера для температурной стабилизации полупроводниковых газочувствительных датчиков / О.Г. Бондарь, Е.О. Брежнева, А.В. Полякова // Датчики и системы 2014. №2. С41-46.
6. Среда быстрого прототипирования для микроконтроллеров AVR [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению лабораторной работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О. Г. Бондарь. Курск, 2016. – 31 с.