

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ

С помощью NI LabVIEW FPGA

Версия 1.0.0.4.6—Q2 2015



О компании National Instruments

Перед современными инженерами и учеными стоят наиболее ответственные задачи современного мира, такие как разработка высокоточного диагностического и лечебного медицинского оборудования, поиск возобновляемых источников энергии и повышение устойчивости инфраструктуры. National Instruments обеспечивает их оборудованием, повышающим производительность, позволяющим справляться не только с глобальными, но и ежедневными инженерными задачами в нашем постоянно усложняющемся мире. Графический подход дает дополнительное преимущество в разработке программного обеспечения и настройке оборудования, упрощая и ускоряя разработку систем.

Узнайте больше, посетив страницу <http://www.ni.com/company/our-vision/>

Упрощать



С помощью платформенного подхода NI, вы можете разрабатывать системы на нужном уровне — от использования небольших роботов, чтобы вдохновить студентов для учебы, до запуска космических аппаратов — используя одну и ту же программную основу и перенастраиваемое оборудование. Вы можете сфокусироваться на решении собственных задач, абстрагируясь от сложности программного обеспечения и ограниченности оборудования с фиксированными функциями.

Оптимизировать



Вкладывайте деньги в инструменты, которые могут адаптироваться под ваши требования при оптимизации, как производительности, так и стоимости. Применяя самые совершенные технологии, National Instruments создает решения, обеспечивающие вас самыми эффективными инструментами в мире быстро меняющихся технологий.

Вводить инновации



Выстраивайте решения, пользуясь поддержкой преуспевающего сообщества пользователей, партнеров и инструментов, которые помогают гарантировать ваш успех. National Instruments обеспечивает глобальный сервис и поддержку, как часть своего вклада в вашу работу по построению и обслуживанию высококачественных систем измерения и контроля с помощью графического подхода к разработке.

Содержание

Обзор	1
Назначение этого семинара	1
Чем вы будете заниматься	1
Почему стоит пройти этот курс	1
Продолжительность курса	1
Необходимые навыки и опыт	1
Необходимое оборудование	2
Аппаратное обеспечение	2
Программное обеспечение	2
Настройка аппаратуры	2
Что такое программно-определяемая радиосистема?	3
Архитектура NI USRP RIO	4
Возможности подключения NI USRP RIO	5
Построение многоканальной системы	6
Интерфейс прикладного программирования (API)	7
Драйвер NI-USRP	7
Драйвер NI-USRP RIO	7
Перед началом работы	8
Рекомендуемая литература	8
Упражнения	9
Упражнение 1: Драйвер NI-USRP: Поиск радиостанции	11
Упражнение 2: Демодуляция FM с Modulation Toolkit	13
Упражнение 3: Драйвер NI USRP RIO: Шаблон проекта с потоком данных	15
Упражнение 4А: Реализация FM-демодуляции на хост-ПК	19
Упражнение 4В (дополнительное): Использование алгоритмов на текстовых языках	23
Упражнение 5: Прототипирование с плавающей точкой	25
Упражнение 6: Преобразование к фиксированной точке	29
О программировании ПЛИС	33
Упражнение 7: Перенос кода на ПЛИС	35
Конвейеризация: Необходимая оптимизация ПЛИС	41
Ответы к упражнениям	43
Упражнение 1	43
Упражнение 2	43
Упражнение 3	43
Упражнение 4А	44

Упражнение 4В	45
Упражнение 5	45
Упражнение 6	46
Упражнение 7	46
Часто задаваемые вопросы	47
Дополнительные ресурсы	48
Обучение и сертификация NI	49
Ваш успех зависит от опыта	49
Форматы обучения	49
Курсы	50
Подготовка к вашей сертификации NI.....	50
Зарегистрируйтесь на экзамен недалеко от вас.....	50

Обзор

Назначение этого семинара

Целью данного семинара NI видит в обучении профессионалов и исследователей прототипированию беспроводных систем связи на практическом примере, охватывающем типовые этапы разработки. Вы своими руками соберете и настроите программно-определяемое радио NI USRP™, напишите программы в LabVIEW, и внедрите алгоритмы на ПЛИС высокой пропускной способности.

Упражнения являются примерами как моделировать, имитировать и прототипировать алгоритмы обработки сигналов в приложениях с беспроводными сигналами. Хотя упражнения рассматривают общие случаи, вы сможете применить полученные знания в ваших собственных приложениях.

Чем вы будете заниматься

Вас ожидают четыре упражнения, в которых вы смоделируете алгоритм FM-демодуляции, используя LabVIEW и программно-определяемое радио NI USRP RIO, демодулируете сигнал реальной радиостанции с помощью реального оборудования, а затем внедрите алгоритмы на ПЛИС высокой пропускной способности.

Занятие начнется с краткого обзора, охватывающего основные понятия и термины, а также способы решения вашей задачи с помощью программного и аппаратного обеспечения National Instruments.

Почему стоит пройти этот курс

Вам стоит пройти этот курс если вы:

- Занимаетесь исследованиями в области беспроводных коммуникаций
- Вам нужно быстро прототипировать и валидировать алгоритмы
- Хотите оценить эффект применения программно-определяемого радио для ваших задач
- Хотите получить представление о настройке программно-определяемого радио

Продолжительность курса

Курс занимает приблизительно три часа, но точное время выполнения зависит от вашего опыта.

Необходимые навыки и опыт

Желательно иметь опыт работы с LabVIEW, хотя это не обязательно. Инструкции в упражнениях покрывают все необходимые шаги для выполнения задачи. Вы сможете освоить базовые принципы в процессе выполнения. По мере продвижения, инструкции станут менее детализированными, чтобы вы могли применить усвоенные навыки. Посетите страничку ni.com/academic/students/learn-labview, чтобы получить более подробную информацию.

От вас потребуется умение работы на компьютере и базовые знания о принципах беспроводной связи.

Необходимое оборудование

Аппаратное обеспечение

- Устройство USRP-2940R*
- Блок питания USRP
- Набор для подключения USRP RIO
- Кабель MXI Express x4
- FM антенна с разъемом SMA

**Для части упражнений также можно использовать модель USRP-2920. В этом случае об устройстве, подключении и настройке обратитесь к инструктору или документации оборудования.*

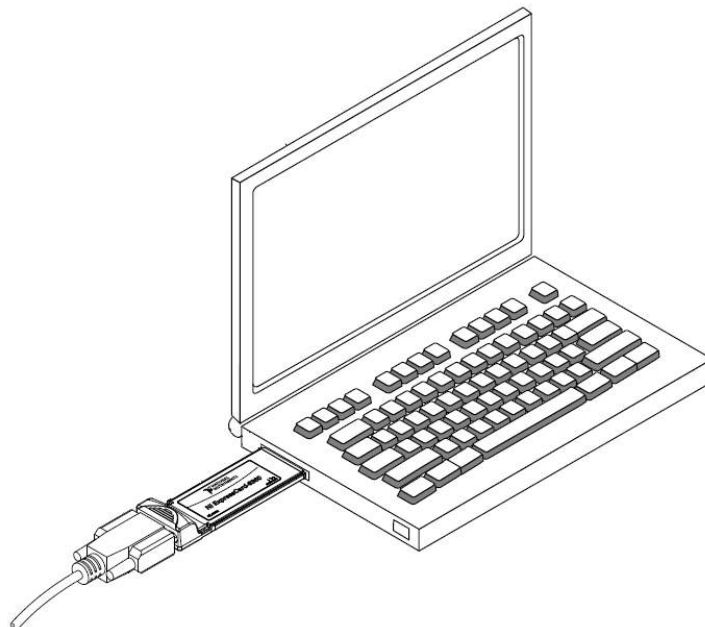
Программное обеспечение

- LabVIEW 2013 или более поздней версии
- NI-USRP 1.3 или более поздней версии
- Модуль LabVIEW2013 FPGA
- Модуль LabVIEW2013 MathScript RT

Настройка аппаратуры

Чтобы подготовить оборудование к работе:

1. Установите программное обеспечение NI USRP Software Suite с DVD-диска
2. Выключите ваш компьютер и устройство NI USRP RIO
3. Подключите NI USRP RIO с помощью набора для подключения
4. Включите NI USRP RIO
5. Включите компьютер

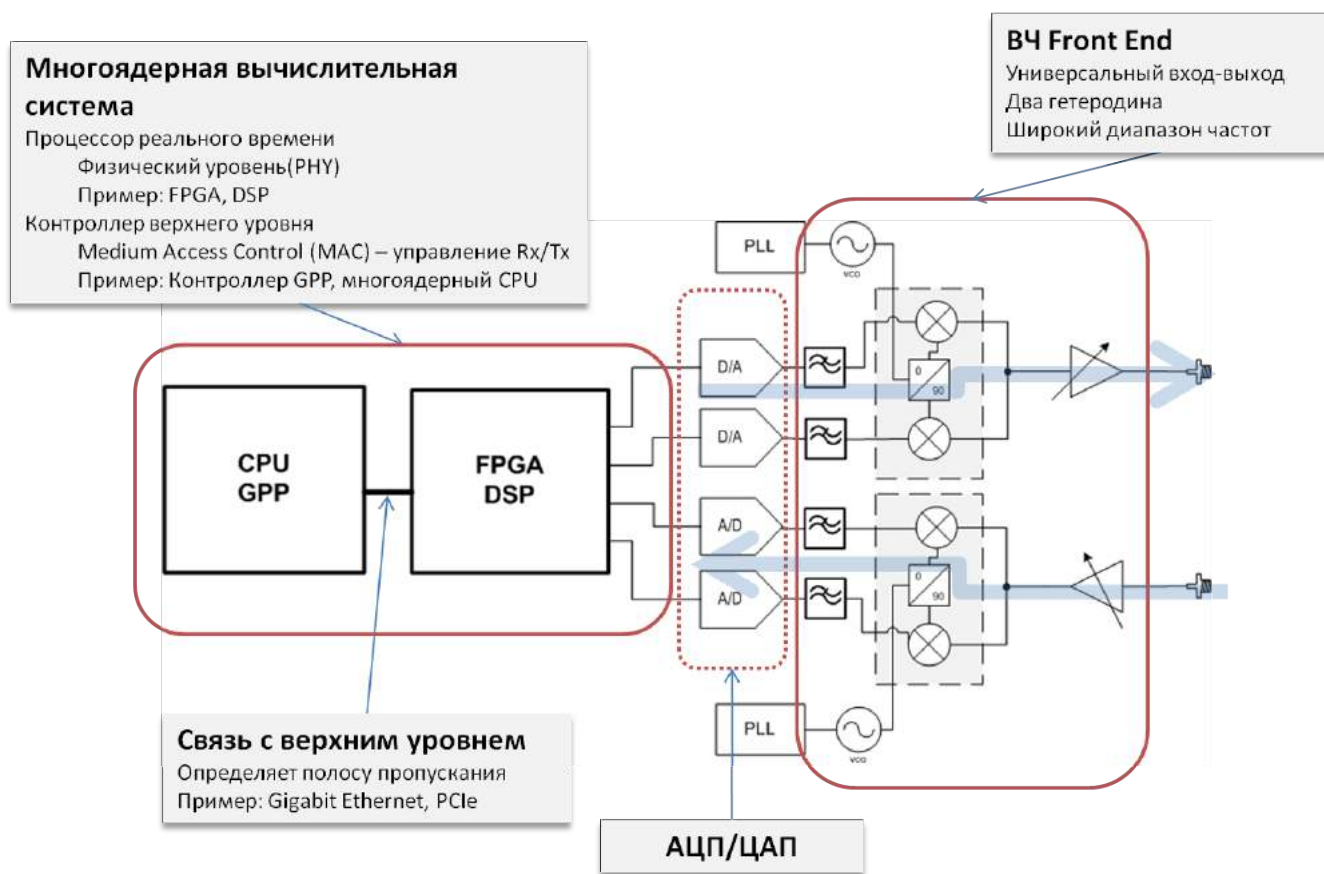


Что такое программно-определяемая радиосистема?

Организация Wireless Innovation Forum определяет программно-определяемое радио (ПОР) как:

“Радиосистема, в которой функции физического уровня частично или полностью задаются программно.”¹

Комбинация оборудования NI USRP и LabVIEW для достижения высокой функциональности и гибкости, дает платформу для быстрого прототипирования, включая разработку физического уровня, записи и воспроизведения беспроводного сигнала, радиоэлектронной разведки, валидации алгоритмов и многое другое.



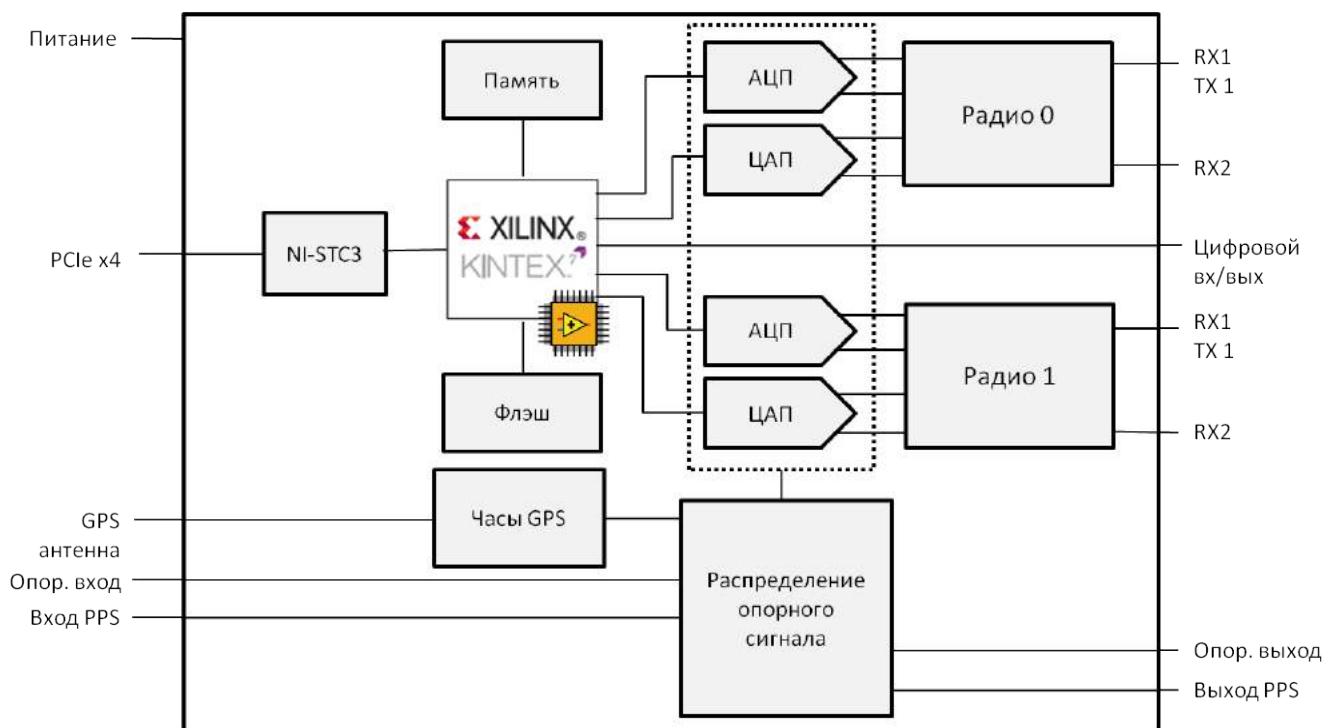
¹ http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-06-R-0011-V1_0_0.pdf

Архитектура NI USRP RIO

NI USRP RIO предлагает разработчикам беспроводных систем доступную программно-определяемую радиосистему с беспрецедентной функциональностью, позволяющей разрабатывать беспроводные системы связи пятого поколения. USRP RIO имеет на борту великолепный 2x2 многоканальный вход, многоканальный выход, радио трансивер, оборудованный управляемым через LabVIEW ПЛИС Kintex-7. Использование LabVIEW унифицирует процесс разработки, значительно ускоряя и упрощая его. USRP RIO позволяет расширить платформу USRP, делая её более гибкой. Она идеальна для широкого круга задач, в том числе беспроводных сетей пятого поколения, систем с многоканальным входом и выходом MIMO и Massive MIMO, спектрального мониторинга.

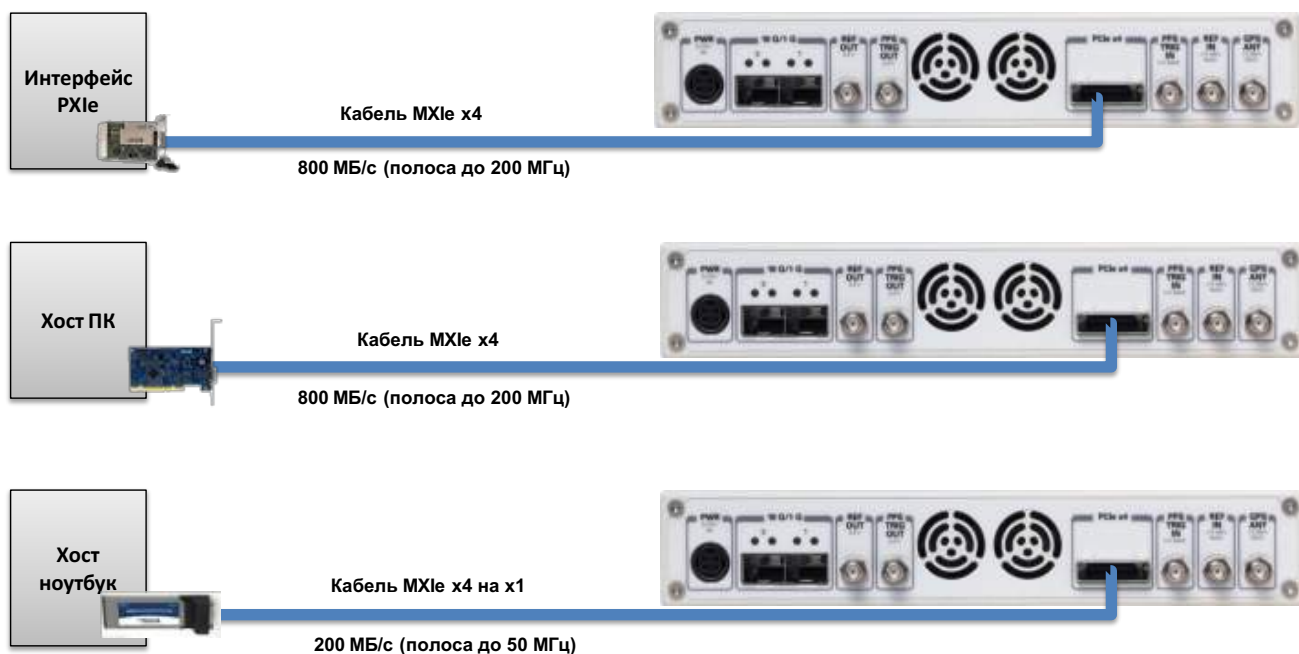
USRP RIO совмещает два дуплексных канала с мгновенной полосой в 40 МГц и ПЛИС Kintex-7, ориентированную на цифровую обработку сигналов, в форм-факторе 1U половинной ширины. Радиочастотный аналоговый входной интерфейс, ПЛИС, АЦП и ЦАП работают на частоте до 120 МГц. Каждый радиоканал оборудован переключателем, позволяющим переключаться с дуплексной работы с разделением по времени на дуплексную работу с разделением по частоте.

Вы можете выбирать между шестью разными устройствами USRP RIO, покрывающими частотный диапазон от 50 МГц до 6 ГГц, и имеющими управляемые пользователем линии ввода/вывода для взаимодействия с другими устройствами. ПЛИС, программируемая с помощью модуля LabVIEW FPGA обеспечивает совместную обработку для приложений с высокой скоростью обмена данными и малыми временами задержки. Шина PCI Express x4 позволяет вести обмен данными с вашим настольным компьютером или PXI-шасси на скорости до 800 МБ/сек и до 200 МБ/с при работе с ноутбуком. Вы можете подключить вплоть до 17 устройств USRP RIO к одному шасси PXI Express, который, в свою очередь, можно соединить с другими шасси для построения многоканальной системы.



Возможности подключения NI USRP RIO

Главная интерфейсная шина в USRP RIO — это PCI Express x4, обеспечивающая эффективное соединение для приложений с высокой пропускной способностью и малыми задержками для таких приложений как разработка физического или MAC уровней. С помощью шины PXI Express x4, вы можете передавать данные на скорости до 800 МБ/с и настраивать ПЛИС через модуль LabVIEW FPGA. Интерфейс обладает обратной совместимостью с программами, написанными для устройств NI USRP-292x и USRP-293x. Оборудование USRP RIO содержит несколько портов для дальнейшего расширения через обновления программного обеспечения. В их число входят двойные разъемы SFP+ на задней панели и отладочный порт USB JTAG на передней панели.

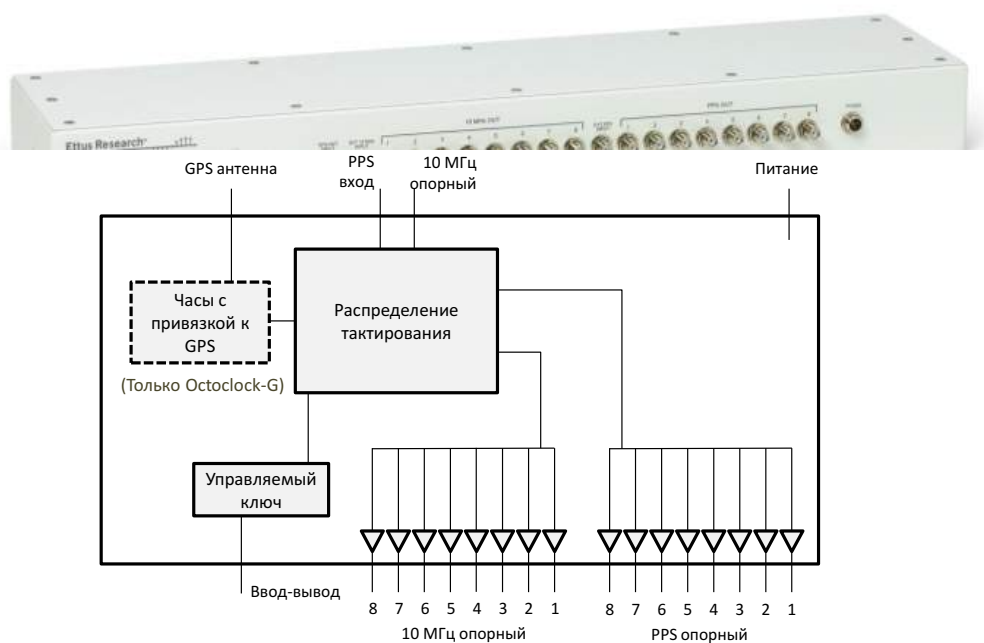


* Предельная скорость (Теоретическая мгновенная полоса)

Построение многоканальной системы

Устройства USRP-294xR содержат кварцевый генератор с температурной компенсацией (TCXO) в качестве генератора опорной частоты. Устройства USRP-295xR содержат высокоточный термостатированный кварцевый генератор (OCXO) с GPS-коррекцией, который позволяет повысить точность частоты даже без использования GPS. Если же GPS используется для коррекции частоты, точность возрастает ещё более значительно.

Все модули USRP RIO позволяют использовать внутренний или внешний опорный генератор и экспортировать используемый опорный сигнал во внешние устройства. Разъем Ref In способен принимать опорный сигнал до 10 МГц, из которого вы можете извлечь опорные сигналы для АЦП/ЦАП и встроенного генератора. Вы можете использовать разъем PPS In в качестве стандартного порта для входного импульса PPS или триггера общего назначения. С помощью портов Ref Out и PPS Out, вы можете экспортировать эти сигналы в другие устройства для создания многоканальной системы. Благодаря 8-канальной системе распределения опорного сигнала OctoClock от Ettus Research, вы можете построить невероятно большие синхронизированные системы. Просто подключите ваши устройства USRP RIO в разъемы Ref In и PPS с помощью нескольких OctoClocks, и вы можете построить системы, размер которых превышает 100 каналов.

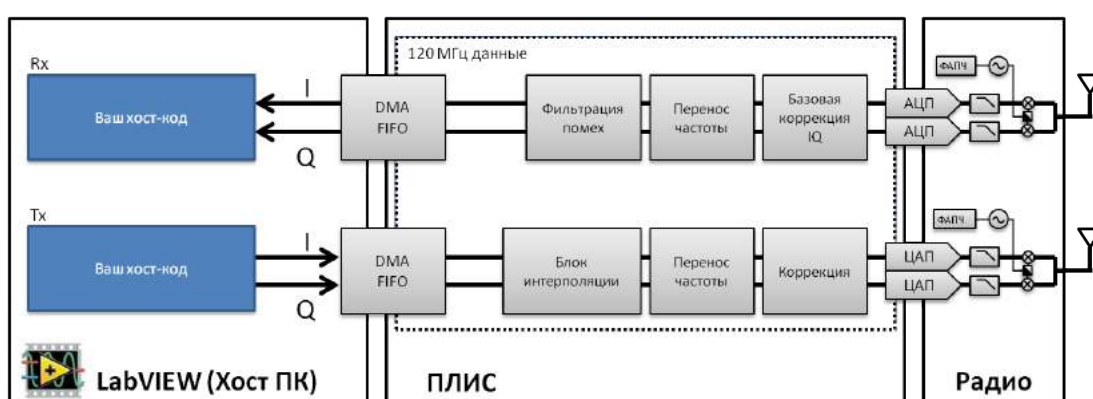


Интерфейс прикладного программирования (API)

Устройство USRP RIO позволяет воспользоваться сразу двумя методами программирования, основанными на использовании LabVIEW — драйвер для работы с хост-компьютером (NI-USRP) и с полностью открытой и настраиваемой ПЛИС (NI-USRP RIO). Оба поддерживают подключение через шину PCI Express, позволяя вам легко переносить ваш проект с хост-компьютера на ПЛИС.

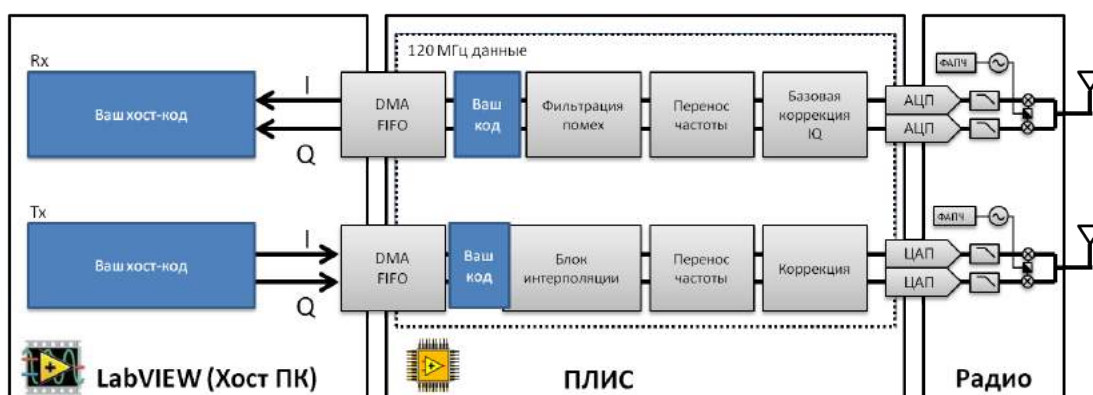
Драйвер NI-USRP

NI выпускает оборудование USRP RIO с драйвером NI-USRP 1.3 чтобы обеспечить бесперебойный основанный на хост-компьютере интерфейс, с полной обратной совместимостью с устройствами USRP-292x и USRP-293x. С помощью ПЛИС, конфигурируемой с хост-API, вы можете разработать свой алгоритм в LabVIEW и беспрепятственно перемещать его между драйвером USRP и устройством NI USRP RIO.



Драйвер NI-USRP RIO

Для повышения производительности вашего приложения, вы можете воспользоваться преимуществами ПЛИС Kintex-7, переведя исполнение кода на нее с помощью драйвера NI-USRP RIO. Этот драйвер предлагает шаблон потокового проекта, включающий в себя код для хост-процессора и код для ПЛИС, написанные в LabVIEW и LabVIEW FPGA соответственно. Вы можете настроить этот проект таким образом, чтобы код выполнялся только на хосте и/или модифицировать ПЛИС, чтобы добавить пользовательскую обработку. Хотя весь код для ПЛИС можно изменять, чаще всего вам потребуется вставлять свой код в цепь рядом с каналом прямого доступа к буферу памяти.



Перед началом работы

Рекомендуемая литература

LabVIEW— <http://www.ni.com/academic/students/learn-labview>, <http://www.labview.ru/labview/>

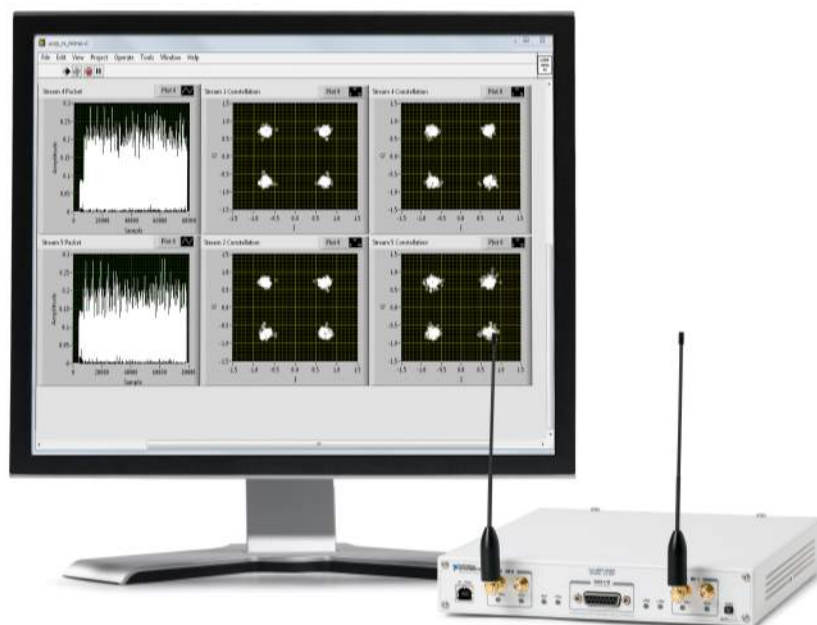
FM демодуляция — <http://www.ni.com/white-paper/13193/en>

Основы ПЛИС — <http://www.ni.com/white-paper/6983/en>

Типы данных с фиксированной точкой, часть 1— <http://www.ni.com/newsletter/50303/en>

Типы данных с фиксированной точкой, часть 2 — <http://www.ni.com/newsletter/50363/en>

Конвейеризация для оптимизации ПЛИС — http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371599J-01/lvfpgaconcepts/fpga_pipelining



Упражнения

Часть упражнений могут выполняться как на устройствах USRP RIO, таких как USRP-2940R, так и на устройствах USRP, таких как USRP-2920.

При использовании USRP RIO некоторые упражнения можно выполнять из папки **Exercises USRP 292x, 293x** или из папки **Exercises USRP RIO 294xR, 295xR**. Они отличаются функциями работы с оборудованием, но аналогичны с точки зрения выполнения упражнений.

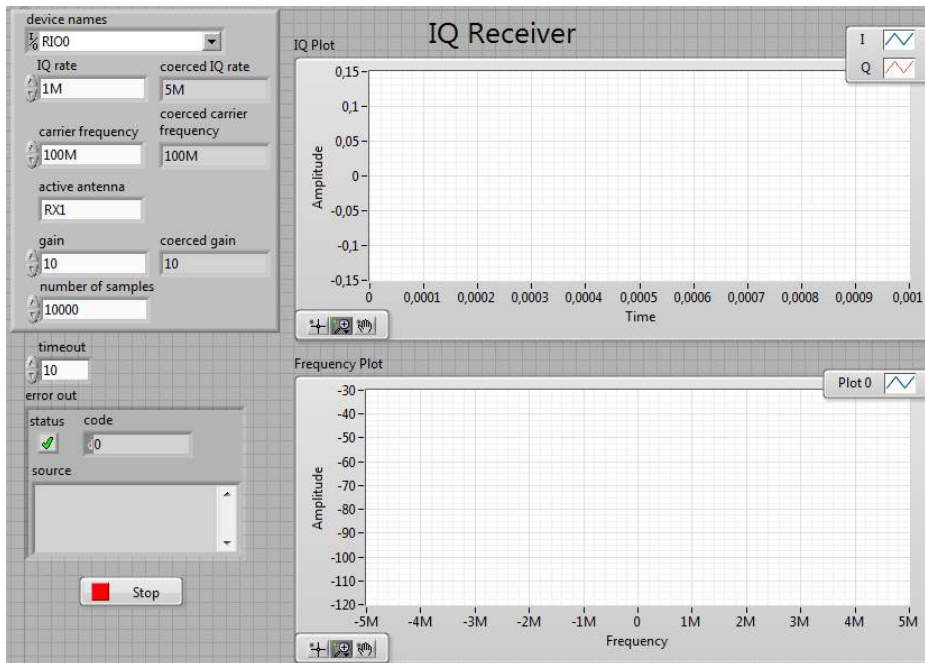
При использовании USRP-2920 доступны только упражнения из папки **Exercises USRP 292x, 293x**.

Упражнение 1: Драйвер NI-USRP: Поиск радиостанции

Примечание: Устройство USRP RIO должно быть включено и подключено к компьютеру перед тем, как вы начнете выполнение упражнения. Не отключайте USRP RIO при включенном компьютере.

- Цели**
- Изучить структуры программы с использованием драйвера NI-USRP
 - Познакомиться со спектром радиовещания

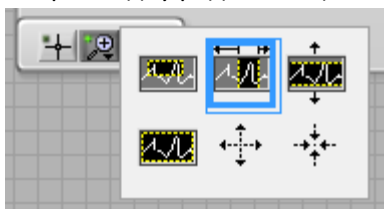
- Откройте проект **USRP RIO Hands-on** из папки Exercises.
- Откройте упражнение **Exercise 1** из папки **Exercises USRP 292x, 293x**



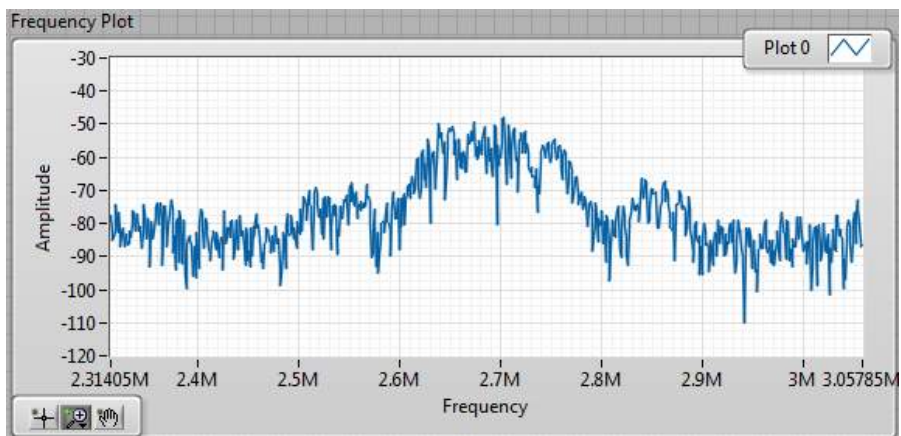
- Перейдите на блок-диаграмму
- Просмотрите порядок исполнения кода. Что делает каждый из subVI?
- Перейдите на лицевую панель и настройте ее следующим образом

Параметр	Значение
Device names	RIO0 или 192.168.10.2 (IP адрес вашего USRP)
IQ Rate	10M
Carrier frequency	100M
Active antenna	RX1
Gain	1
Number of samples	10000
Timeout	10

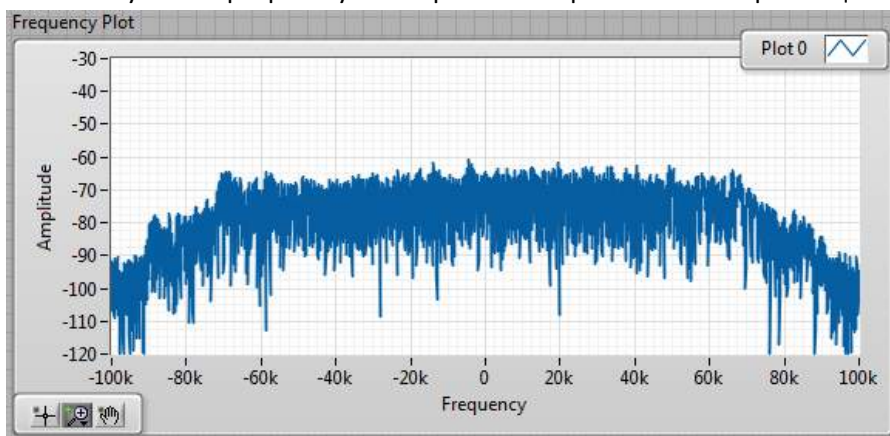
- Запустите VI. Изучите графики компонент IQ и спектра мощности
- Остановите программу, нажав кнопку **Stop**
- Приблизьте график спектра мощности, используя инструменты управления графиками, чтобы выбрать одну радиостанцию



- g. Например, на рисунке радиостанция расположена на отстройке 2.7 МГц от центральной частоты 100 МГц, то есть на частоте 102,7 МГц. Полоса сигнала 200 кГц, - это будет наша новая частота IQRate



- h. Настройте программу на эту радиостанцию – установите центральную частоту найденной станции и IQRate = 200 kS/s
- i. Снова запустите программу и настройте отображение спектра мощности.



- j. Запомните значение частоты радиостанции, она понадобится в дальнейших упражнениях

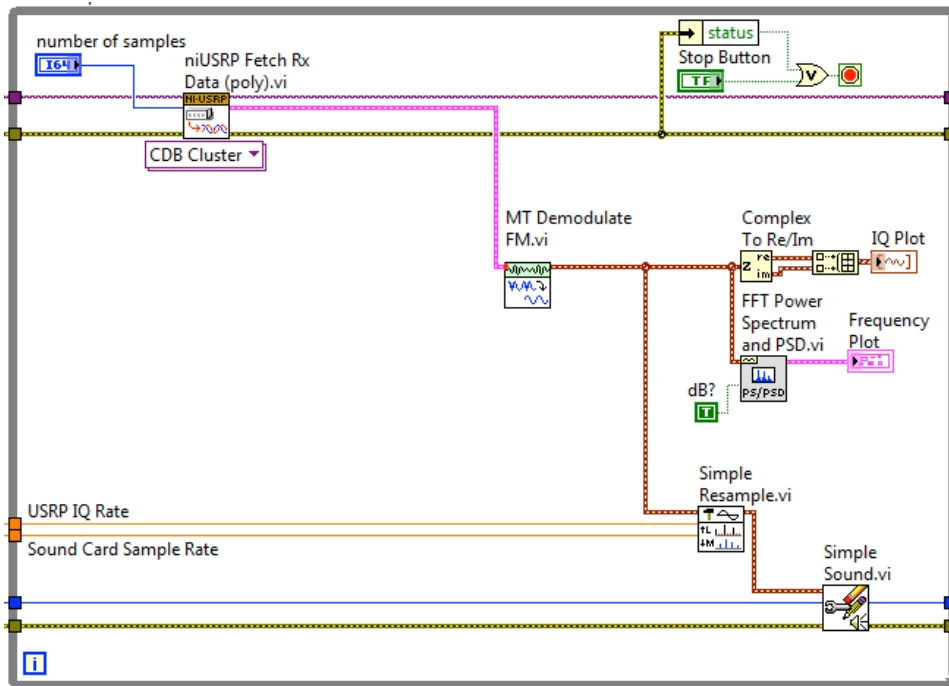
Упражнение 2: Демодуляция FM с Modulation Toolkit

Примечание: Устройство USRP RIO должно быть включено и подключено к компьютеру перед тем, как вы начнете выполнение упражнения. Не отключайте USRP RIO при включенном компьютере.

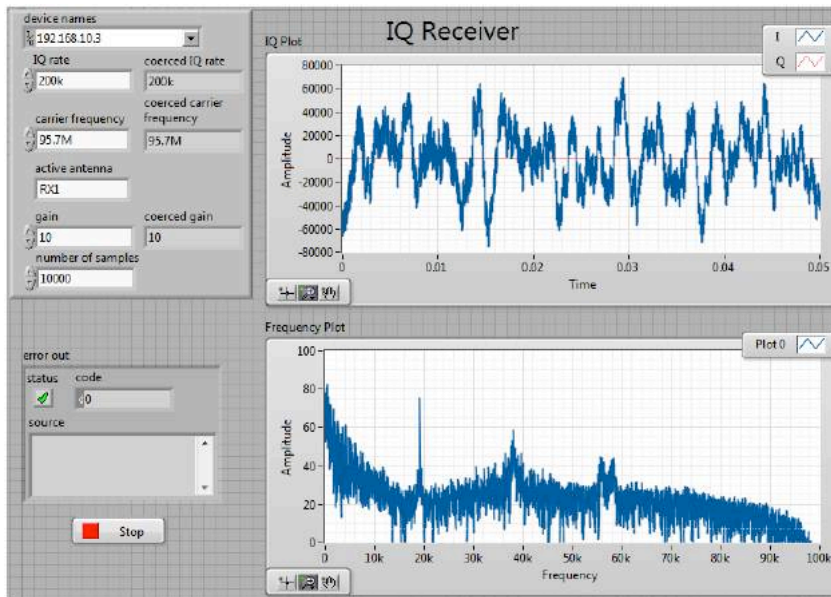
Цели

- Познакомиться с пакетом LabVIEW Modulation Toolkit
- Демодулировать радио с помощью функций высокого уровня

- Упражнение 1 можно закрыть без сохранения.
- Откройте упражнение **Exercise 2** из папки **Exercises USRP 292x, 293x** и перейдите на блок-диаграмму
- Добавьте функцию демодуляции
 - Подайте сигнал от **niUSRP Fetch Rx Data** на функцию **MT Demodulate FM**
 - Подайте демодулированный сигнал из **MT Demodulate FM** на функцию преобразования частоты оцифровки **Simple Resample**.
 - Подайте этот сигнал также на функцию вычисления спектра мощности и на функцию разделения целой и мнимой части.
- Подключите недостающие сигналы к функции вывода звукового сигнала **Simple Sound**.



- Сохраните программу
- Перейдите на лицевую панель
- Настройте параметры приема и запустите программу



- a. Если вы все сделали правильно, вы услышите радио в динамиках компьютера
8. Сохраните программу и весь проект, закройте проект.

Упражнение 3: Драйвер NI USRP RIO: Шаблон проекта с потоком данных

Примечание: Данное упражнение выполняется на устройстве USRP RIO, например, USRP-2940R. Устройство USRP RIO должно быть включено и подключено к компьютеру перед тем, как вы начнете выполнение упражнения. Не отключайте USRP RIO при включенном компьютере.

Цели

- Создать проект USRP RIO из потокового шаблона
- Изучить ввод/вывод данных между хостом и устройством ПЛИС

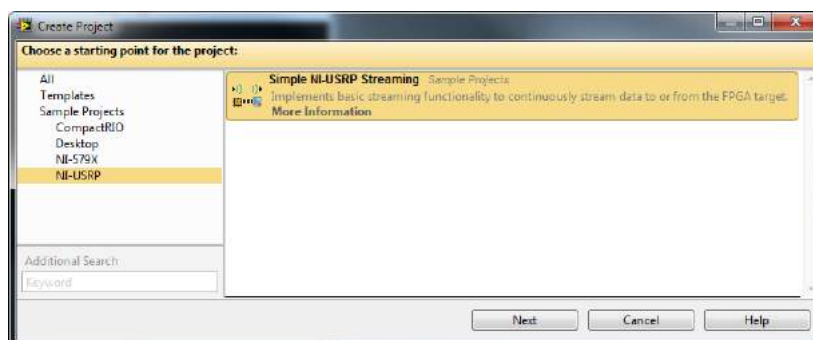
1. Создайте потоковый проект USRP RIO

a. Откройте LabVIEW.

b. Нажмите **Create Project** 

c. Из категории **Sample Project** в левой панели, выберите **NI-USRP**.

d. Выберите проект **Simple NI USRP Streaming**.

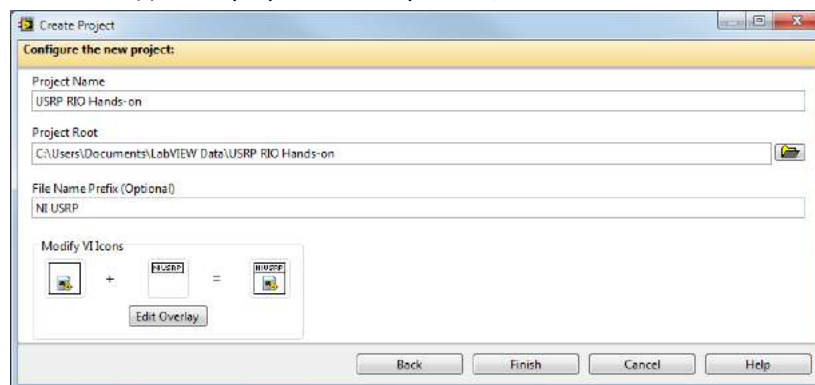


e. Нажмите **Next**

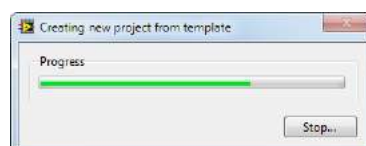
f. В поле **Project Name** задайте имя проекта, напечатав “USRP RIO Hands-on”

g. Поле **Project Root** оставьте без изменений.

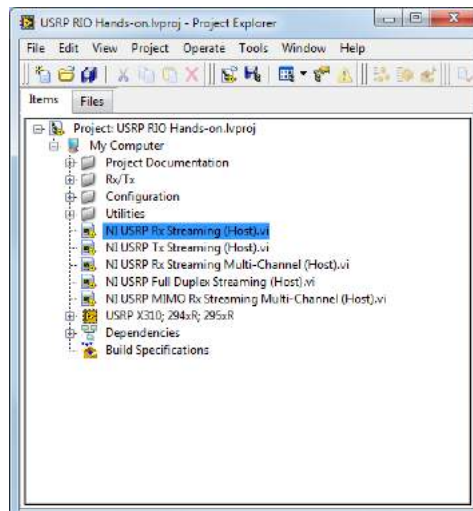
h. В поле **File Name Prefix** задайте префикс имен файлов, напечатав “NI USRP”



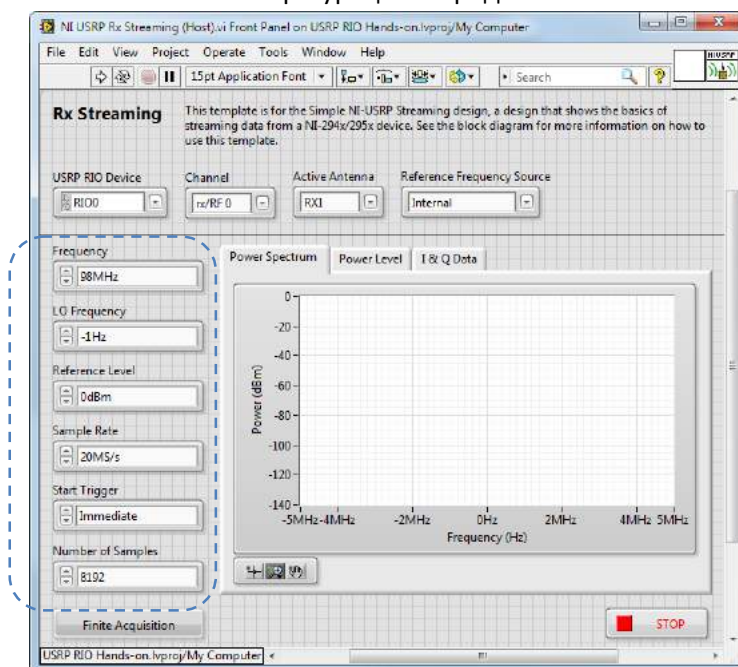
i. Нажмите **Finish**



2. В окне браузера проекта (Project Explorer) LabVIEW, откройте виртуальный прибор (VI) **NI USRP RX Streaming (Host).vi** с помощью двойного щелчка.



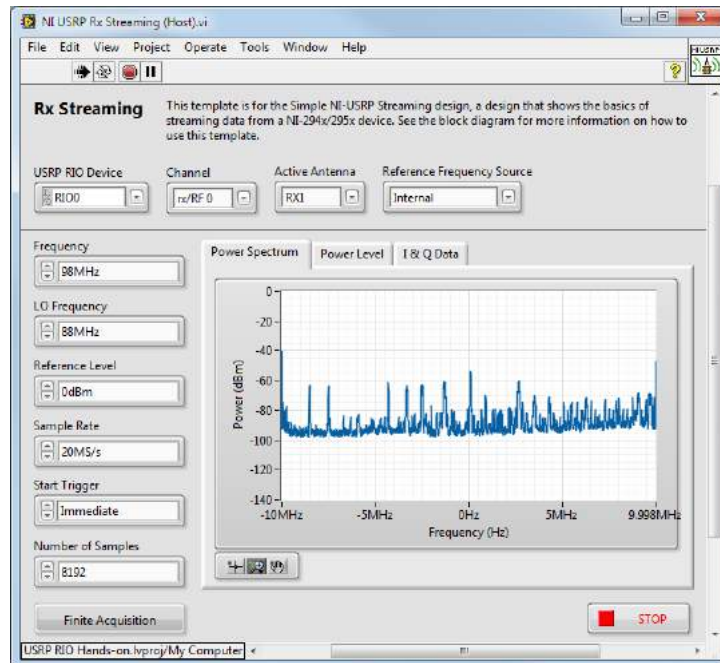
3. Настройте USRP в качестве анализатора спектра
 - a. Слева измените конфигурацию передней панели:



- b. Убедитесь, что канал задан как **rx/RF 0**, и что антенна подключена к порту RFO – RX1 port.

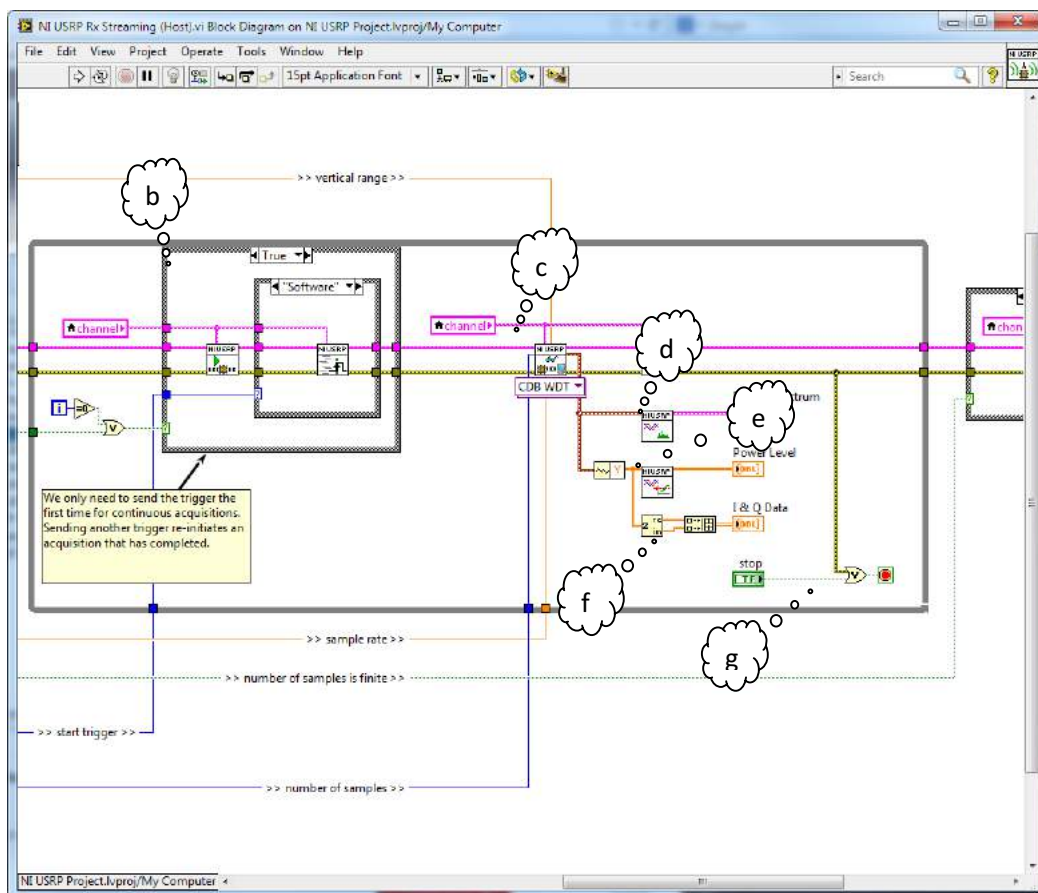
4. Найдите радиостанцию
 - a. Запустите VI с ранее упомянутыми настройками.
 - b. Найдите доступные в вашей местности радиостанции, используя всплески на графике.
 - c. Для определения диапазона радиостанции может потребоваться масштабировать график.

Примечание: Запомните частоту вашей радиостанции. Вы будете работать с ней до конца семинара.



Примечание: Вам может потребоваться отключить автоматическое масштабирование по оси X (Autoscale X) для правильного увеличения масштаба.

5. Изучите блок-диаграмму и поток данных
 - a. Хост-программа настраивает USRP (не отображено на рисунке)
 - b. Хост-программа инициирует поток данных с АЦП и передает стартовый триггер.
 - c. Хост-программа собирает данные с USRP RIO и проверяет статус устройства.
 - d. Из полученных данных хост-программа генерирует график спектра мощности.
 - e. Вычисляет уровень мощности входного сигнала во времени.
 - f. Отображает сигнал в квадратурах IQ.
 - g. В случае ошибки, или при нажатии пользователем кнопки, происходит выход из цикла While.
 - h. Освобождаются использованные ресурсы (не отображено на рисунке).



Пожалуйста, дождитесь инструктора перед продолжением работы

Упражнение 4А: Реализация FM-демодуляции на хост-ПК

Примечание: Устройство USRP RIO должно быть включено и подключено к компьютеру перед тем, как вы начнете выполнение упражнения. Не отключайте USRP RIO при включенном компьютере.

- Цели**
- a) Симуляция FM-демодулятора на хосте
 - b) Изучение потоков данных в LabVIEW

1. Закройте потоковый проект из упражнения 3.

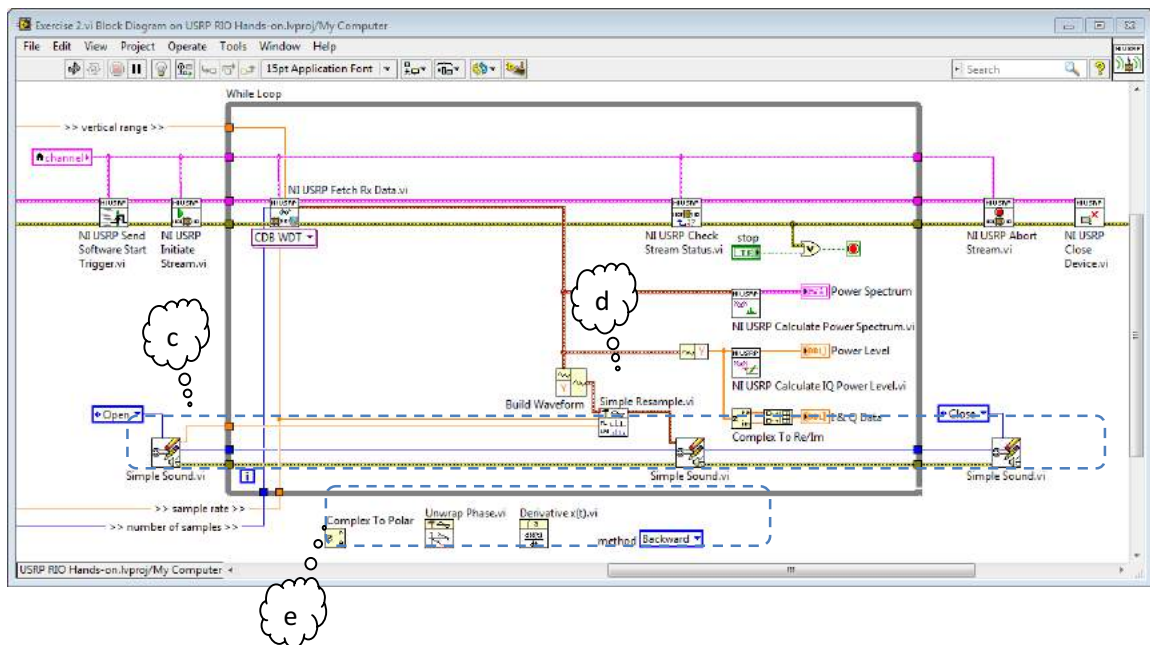
Сохранять изменения не нужно.

2. Откройте проект **USRP RIO Hands-on** из папки Exercises.

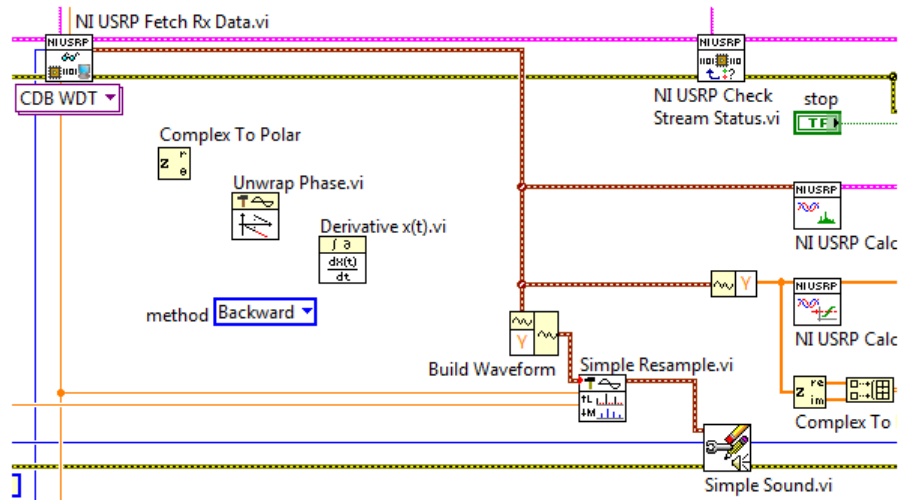
3. Изучите программу упражнения 4А

- a. Из браузера проекта LabVIEW откройте VI **Exercise 2** из папки **Exercises USRP 292x, 293x** или из папки **Exercises USRP RIO 294xR, 295xR**
- b. Переключитесь на блок-диаграмму (Ctrl + E)

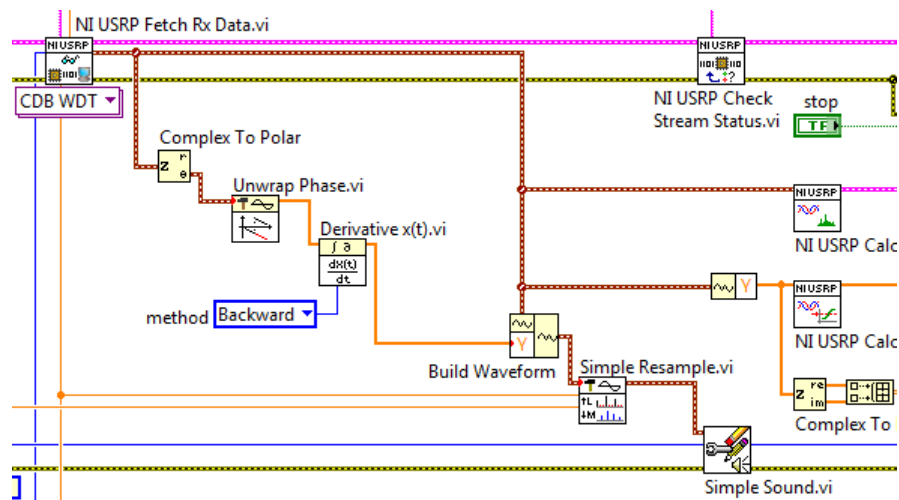
- (c) Звуковые VI для открытия, настройки, записи данных и закрытия звуковой карты уже добавлены на блок-диаграмму и соединены.
- (d) Также добавлен простой VI ресэмплинга, чтобы преобразовать входящие данные к правильной частоте оцифровки звуковой карты.
- (e) Ниже вы можете видеть дополнительные функции для реализации FM-демодулятора.



4. Переместите и соедините VI для демодуляции FM-радио.
 - a. Переместите функцию **Complex To Polar** вниз, справа от VI **Fetch Rx Data**.
 - b. Переместите VI **Unwrap Phase** вниз, справа от функции **Complex To Polar**.
 - c. Переместите VI **Derivative x(t)** вниз, справа от VI **Unwrap Phase**.
 - d. Переместите константу **method** вниз, слева от VI **Derivative x(t)**.



- e. Соедините выход **Waveform** из VI **Fetch Rx Data** с входом **z** функции **Complex To Polar**
- f. Соедините выход **Theta** функции **Complex To Polar** с входом **Phase** из VI **Unwrap Phase**.
- g. Соедините выход **Unwrapped Phase** из VI **Unwrap Phase** с входом **X** из VI **Derivative x(t)**.
- h. Соедините константу **Backward** с входом **method** из VI **Derivative x(t)**.
- i. Соедините выход **dX/dt** из VI **Derivative x(t)** с функцией **Build Waveform**.



5. Послушайте радио с помощью функций с плавающей точкой для хоста.
 - a. Переключитесь на переднюю панель, и настройте её, как показано на рисунке ниже.

Частота вашей радиостанции

Оцифровка на 200 кВыб/с

Оцифровка на 200 кВыб/с

Частота вашей радиостанции

- b. Используйте частоту радиостанции, найденную в упражнении 1.
- c. Нажмите **Run**
- d. Включите колонки вашего компьютера
- e. Послушайте радио.
- f. *Используйте имеющиеся VI чтобы рассчитать спектр демодулированного сигнала
- g. *Изучите структуру спектра (моно канал, пилот-тон 19 кГц, стерео канал, канал RDS)

Пожалуйста, дождитесь инструктора перед продолжением работы

