

УДК 621.394:004.7:056.5

DOI 10.22213/2413-1172-2018-3-155-165

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ РАДИОСИСТЕМ КАК ЭЛЕМЕНТА IoT

В. В. Хворенков, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. И. Нистюк, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Р. А. Хатбуллин, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. А. Зыкин, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Взаимодействие сетей различного уровня проявилось в появлении такого понятия, как «интернет вещей». Освоение области интернета вещей без радиоканала затруднительно, поскольку радиоканал обеспечивает одно из главных преимуществ – подвижность объектов и мобильное переконфигурирование структуры. Построение структуры «индустриальный интернет» в части построения системы контроля и тестирования радиосистем является актуальной задачей.

В качестве одного из вариантов построения и организации индустриального интернета как элемента интернета вещей авторы рассматривают систему контроля и тестирования радиосистем, построенную на базе приборов и оборудования фирмы Rohde & Schwarz.

Основными возможностями контрольно-измерительного оборудования и программного обеспечения в составе предлагаемой системы удаленного управления с архитектурой IoT являются:

- формирование радиосигналов с различными видами модуляции (манипуляции) на различных частотах;
- имитация сигналов радиопомех;
- имитация приемопередающих систем;
- имитация передачи и приема различных видов (протоколов) цифровых данных;
- измерение параметров радиосигналов, их верификация (например, с результатами математического моделирования) и сохранение в базе данных;
- выполнение тестирования изделий, измерение параметров.

Моделирование формирования радиосигналов осуществляется в среде разработки LabVIEW и с помощью универсального программируемого приемопередатчика USRPX300.

Развитие архитектуры IoT (интернета вещей) в направлении приложений «индустриальный интернет» как элемента IoT позволяет выполнять задачи построения систем контроля и тестирования радиотехнических изделий. Преимущества предлагаемой структуры:

- можно создать несколько универсальных центров уровня сетей датчиков IoT для предоставления услуг по исследованию, тестированию и контролю радиотехнических изделий с использованием универсального дорогостоящего оборудования, например, фирмы R&S и других, что не могут позволить себе множество организаций и учебных заведений;
- применение технологий IoT позволит иметь удаленный доступ с уровня приложений к центрам уровня сетей датчиков и решать задачи вне зависимости от физического расположения, что может быть также актуально при разработке и производстве различных элементов изделия разными фирмами, разделенными территориально;
- технология IoT может быть использована для других систем контроля, отличных от радиотехнических систем, где имеется возможность удаленного взаимодействия элементов системы, например, для контроля сохранности взаимоположения внутренних элементов конструкции объекта.

Ключевые слова: телекоммуникационные устройства, радиотехнические системы, технология IoT, интернет вещей, тестирование.

Введение

Развитие цифровых систем и технологий открывает широкие перспективы их использования в бытовых, коммерческих и производственных целях. Разработка и производство первых микропроцессоров, построение на их основе общедоступных персональных компьютеров и их развитие, начиная с 1985 г., показало перспективность разработки и произ-

водства цифровых систем. Первые шаги по созданию локальных вычислительных сетей и формирование на их основе корпоративных сетей, как следствие – появление глобальной сети Интернет, открыло широкие возможности по взаимодействию различных структур между собой. Перспектива такого взаимодействия проявилась в появлении такого понятия, как «интернет вещей», или английская аббревиатура

IoT от *Internet of Things*. Это термин, введенный Кевином Эштоном (*Kevin Ashton*) в 1999 г., подразумевал, что наличие большого количества информации, автоматически формируемой в компьютерной сети, и ее доступность будут позволять человеку знать, когда продукцию необходимо заменить, отремонтировать или отозвать со складов магазинов и каков процент ее износа [1]. Современная трактовка данного термина отличается от его первоначального понятия. В Указе Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» дано следующее определение: «Интернет вещей» – концепция вычислительной сети, соединяющей вещи (физические предметы), оснащенные встроенными информационными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой без участия человека». Изменение термина «интернет вещей» обусловлено развитием глобальной сети Интернет и влиянием ее на жизнедеятельность человека в различных его проявлениях. Тенденция такого влияния приводит к тому, что производители различного оборудования вынуждены учитывать это в виде наличия интерфейсов связи по протоколам Ethernet различного уровня и интерфейсов, таких как проводное соединение, использование радиоканалов, оптических линий связи. Также это привело к развитию сенсорных датчиков и устройств [2].

Структура интернета вещей

Компания *Cisco* в 2014 г. привела оценку изменения жизни с развитием интернета и интернета вещей. По оценке компании *Cisco*, количество устройств, подключенных к сети Интернет в промежутке 2008–2009 гг., стало больше количества населения земли [3]. Структуру интернета вещей можно представить графически как сеть сетей (рис. 1).

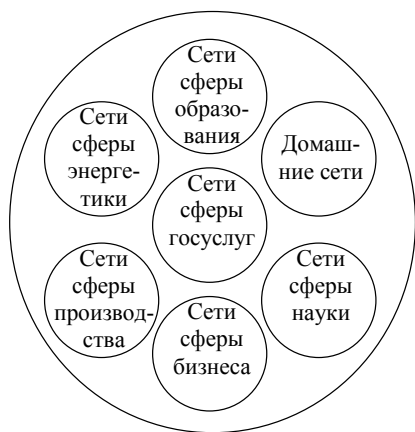


Рис. 1. Интернет вещей в качестве сети сетей

На текущем этапе развития сети Интернет к данной структуре интернета вещей следует добавить возможности подключения промышленных и производственных сетей, что уже реально выполнено, это, например, сети железнодорожного транспорта, авиалиний, производственных сетей, особенно с распределенным изготовлением элементов изделий, например, по международной кооперации. Такое изменение отражено в появлении термина «индустриальный интернет» как «концепция построения информационных и коммуникационных инфраструктур на основе подключения к информационно-телекоммуникационной сети Интернет промышленных устройств, оборудования, датчиков, сенсоров, систем управления технологическими процессами, а также интеграции данных программно-аппаратных средств между собой без участия человека» [4].

В связи с появлением оборудования и устройств, подключенных к глобальной сети, возникает проблема защиты элементов этой сети от несанкционированных неумышленных, преднамеренных или ошибочных действий. Данная задача решается различными методами: частичное или полное отключение от сети Интернет при выполнении локальных производственных задач; подключение межсетевое оборудования для защиты сети; использование специализированного программного обеспечения с протоколами обмена, отличными от стандартных протоколов обмена, или с использованием криптографических методов защиты. Различные элементы защиты сети связаны с архитектурой интернета вещей, которая может быть представлена как на рис. 2 [5].

Приведем краткое описание уровней архитектуры интернета вещей [6] с адаптацией к вопросу о построении структуры «индустриальный интернет» в части построения системы контроля и тестирования радиосистем.

Уровень сетей датчиков. Представляют собой множество оборудования формирования сигналов, датчиков, измерительных систем, оборудования тестирования, специализированных систем взаимодействие элементов в рамках данного уровня. Все эти элементы доступны напрямую или косвенно по сети (*LAN* или *PAN*) с использованием стандартных протоколов обмена на транспортном уровне.

Уровень шлюзов и сетей. Данный уровень решает практически все задачи, присущие для интернета вещей. В частности, обеспечивает совместную работу множества сетей различных технологий и протоколов доступа, формирует

требуемые значения качества передачи информации, по временной задержке передаваемой

информации и вероятности ошибки, пропускной способности и безопасности.

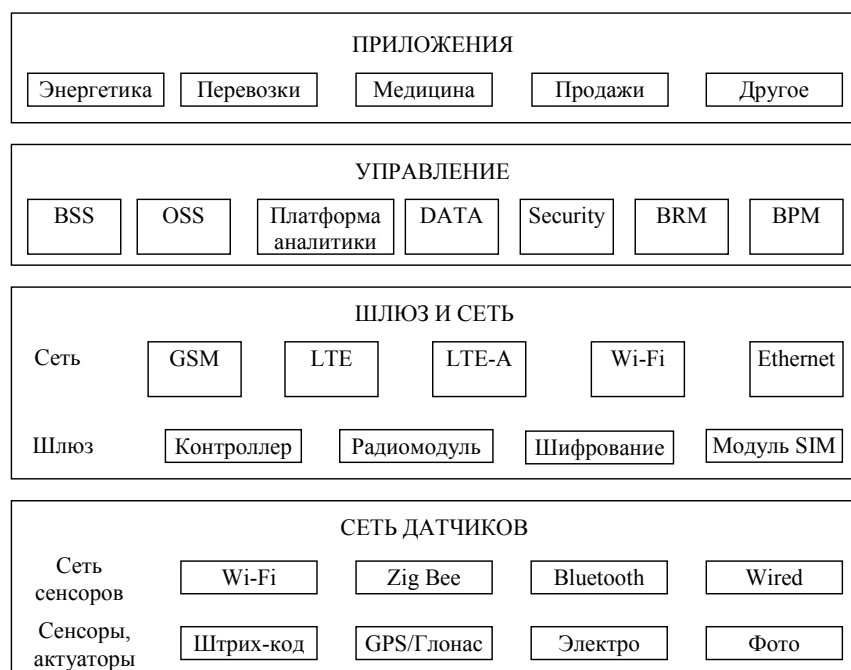


Рис. 2. Архитектура IoT

Уровень управления (сервисный уровень). Уровень является частью сети Интернет и практически не зависит от вида передаваемой информации. Это набор услуг передачи трафика, обеспечения ее доставки, достоверности, сохранения конфиденциальности пользователей и предоставления биллинга.

Уровень приложений. На этом уровне используется множество программных продуктов и комплексов, позволяющих выполнять процессы управления элементами первого уровня, получать от них информацию, обрабатывать и хранить эту информацию в удобном цифровом формате [7]. На рисунке для данного уровня следует добавить элементы «Промышленность» и «Производство».

Интернет вещей можно определить как множество элементов, подключенных к сети Интернет [8]:

- компьютеры – стационарные, настольные, ноутбуки, планшетные;
- мобильные устройства телефонии, число которых стремительно растет – смартфоны [9], коммуникаторы;
- датчики спутникового (GSM) позиционирования и автомобильные навигаторы, охранно-пожарные системы;
- интеллектуальные сенсоры (беспроводные сенсорные сети – *Smart Dust*) – самоорганизующиеся беспроводные сети миниатюрных деше-

вых датчиков с автономным питанием или питанием от альтернативных источников энергии, передающие информацию о состоянии окружающей среды в реальном времени;

– радиометки (*RFID*), позволяющие идентифицировать объекты и передавать информацию о них. Их пассивные аналоги активно используются в виде пластиковых карточек в метро, банкоматах;

– Облако приборов (*Cloud Instrument*) – облачные *web*-сервисы, позволяющие собирать, хранить, обрабатывать и визуализировать данные от различных приборов;

– «умные вещи», подключенные к интернету с помощью встроенных в них устройств, – телевизоры (*Smart TV*), автомобили (*Smart Car*), приборы энергоучета (*Smart Grid, Smart Energy*), медицинские приборы.

В рамках промышленного интернета вышеприведенный список можно расширить приборами и системами промышленно-производственного назначения.

В качестве одного из вариантов построения и организации промышленного интернета как элемента интернета вещей рассмотрим систему контроля и тестирования радиосистем, построенную на базе приборов и оборудования фирмы *Rohde & Schwarz*. Приборы и оборудование имеют возможность подключения к сети *Ethernet*, могут удаленно управляться; формировать, об-

рабатывать и передавать данные. Имеют взаимодействие с различными операционными системами и программными продуктами, так как каждый из приборов в своей основе содержит микропроцессор со специализированным программным обеспечением. Взаимодействие обеспечивается за счет установки драйверов, которые обновляются и поставляются фирмой *Rohde & Schwarz*. Приборы и оборудование, исходя из архитектуры *IoT*, находятся на уровне сетей датчиков и, как следует из названия уровня, объединяются в локальную вычислительную сеть. Объект или множество объектов контроля и тестирования, например, радиосистемы или их составные элементы, подключаются к этим приборам. Подключение может быть выполнено локально или удаленно, как с участием человека, так и без его участия по программе на уровне приложения архитектуры *IoT*. В качестве элементов уровня сетей датчиков были выбраны следующие приборы и оборудование:

- цифровой осциллограф *R&S RTO2044*;
- анализатор спектра и сигналов *R&S FSW8*;
- векторный генератор сигналов *R&S SMMW200A*;
- управляющий персональный компьютер;
- сетевой коммутатор;
- универсальный программируемый SDR-трансивер *USRPX300*.

Последний в списке – прибор фирмы *National Instruments*, позволяющий формировать и принимать радиосигналы с различной формой модуляции.

В качестве элементов на уровне приложения архитектуры *IoT* были использованы программные продукты *LabVIEW* для управления и получения данных [10]; база данных *MySQL* для сбора данных, их сортировки и поиска по ключевым словам с использованием *WEB*-технологий [11]; программный пакет для работы с трансивером *USRPX300*.

Основными возможностями контрольно-измерительного оборудования и программного обеспечения в составе системы удаленного управления с архитектурой *IoT* являются:

- формирование радиосигналов с различными видами модуляции (манипуляции) на различных частотах;
- имитация сигналов радиопомех;
- имитация приемопередающих систем;
- имитация передачи и приема различных видов (протоколов) цифровых данных;
- измерение параметров радиосигналов, их верификация (например, с результатами математического моделирования) и сохранение в базе данных;

– выполнение тестирования изделий, изменение параметров.

При разработке и проектировании новых трудоемких и сложных изделий, к которым можно отнести радиотехнические изделия, имеющие в своем составе аналоговые и цифровые элементы, включая микропроцессоры, логические программируемые матрицы и оптические системы, первоначально приходится выполнять задачи моделирования и генерации тестовых сигналов, по которым в дальнейшем будет осуществляться контроль изделия. Для решения этой задачи в качестве тестируемого изделия может выступать модель как упрощенное воспроизведение в определенном масштабе изделия или его части, на котором исследуются отдельные характеристики изделия, а также оценивается правильность принятых технических решений; модель как изделие, воспроизводящее или имитирующее конкретные свойства заданного изделия и изготовленное для проверки принципа его действия и определения характеристик; экспериментальный образец как образец продукции, обладающий основными признаками намечаемой к разработке продукции, изготавливаемый с целью проверки предполагаемых решений и уточнения отдельных характеристик для использования при разработке этой продукции.

При решении задач программно-аппаратного моделирования, задач контроля и тестирования радиосистем логическая конфигурация системы удаленного управления на основе *IoT* приведена на рис. 3.



Рис. 3. Логическая конфигурация системы удаленного управления на основе *IoT*

На уровне приложений компьютеры (планшет, ноутбук и т. п.) выполняют подготовку исходных данных для выполнения моделирования

ния, например, в среде *LabVIEW*, обработку и хранение результатов моделирования и их анализ. С использованием специального программного обеспечения на уровне сети датчиков выполняется прямое управление контрольно-измерительным оборудованием или управление через сеть на основе *IoT*. Контрольно-измерительное оборудование обеспечивает питанием тестируемое изделие, формирует сигналы воздействия и тестирования изделия и выполняет измерение полученных значений параметров в результате воздействия. Тестируемое изделие

в логической конфигурации «объект» или «объекты исследования» (например, радиосистемы различного назначения) при необходимости соединяется с компьютером в рамках системы «Компьютеры и тестируемые изделия», которые обеспечивают его сигналами управления. Уровень шлюзов и сетей выполняет типичные функции для *IoT*.

На рис. 4 представлена структурная схема системы удаленного управления контрольно-измерительной аппаратурой *R&SSDR*-трансивером *USRPX300*.

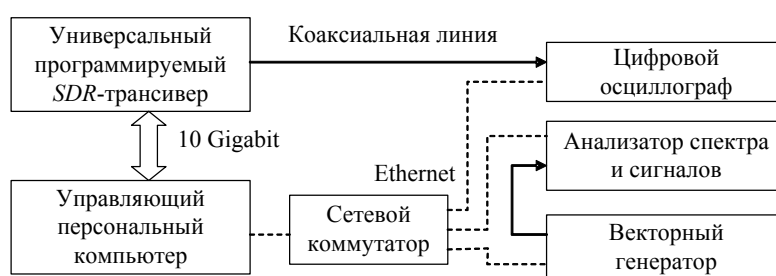


Рис. 4. Структурная схема системы удаленного управления контрольно-измерительной аппаратурой *R&S* и *SDR*-трансивером *USRP*

Выход в сеть Интернет выполняется через сетевой коммутатор. Данная структура позволяет формировать радиосигналы с помощью универсальных программируемых приемопередатчиков *NIUSRP*, удаленного управления цифровым осциллографом *R&SRTO2044* для измерения параметров сигналов, и приборами *R&SFSW* (анализатор спектра и сигналов) и *R&SSMW200A* (векторный генератор сигналов), для анализа результатов моделирования.

Моделирование формирования радиосигналов осуществляется в среде разработки *LabVIEW* и с помощью универсального программируемого приемопередатчика *USRPX300*.

Устройства серии *USRP™ X300/X310* представляют собой высокопроизводительную аппаратную основу для программно определяемых радиосистем (*Software-Defined Radio, SDR*), позволяющих быстро проектировать и реализовывать мощные, гибкие программно определяемые системы радиосвязи. Аппаратные комплексы *X300/X310* идеально подходят для приложений, требующих высокой ВЧ-производительности и большой пропускной способности. Такие приложения включают в себя разработку физического уровня прототипов, широкий спектр протоколов беспроводного доступа и когнитивного радио, мониторинг эфира, запись и воспроизведение радиосигналов, а также развертывание беспроводной сети датчиков. Данные продукты предлагают возможность работы с когерентны-

ми многоканальными системами *MIMO* с высокой пропускной способностью и динамическим диапазоном.

Рассмотрим формирование сигнала с модуляцией *BPSK* в программе *LabVIEW* с использованием универсального программируемого приемопередатчика *USRP X300*.

Перед началом работы с *USRP X300* необходимо установить на компьютер соответствующий драйвер *USRP Hardware Driver™* для устройства *USRP X300* на уровне сети датчиков *IoT*. После установки драйвера приемопередатчик *USRP X300* подключается к компьютеру с помощью кабеля *10 Gigabit Ethernet*.

С помощью специальной утилиты *NI-USRP Configuration Utility* (утилиты конфигурации) проверяется подключение устройства *NI* с компьютером. При правильном подключении устройства в окне утилиты должно отобразиться устройство *USRP X300* с его *IP*-адресом, утилита *NI-USRP Configuration Utility* может быть запущена на уровне приложений *IoT*. Если устройство не отображается в списке, то при нажатии на программную кнопку *Refresh Devices List* (обновить список устройств) для сканирования подключенных устройств *USRP* устройство *USRP X300* должно отобразиться в списке доступных устройств.

Формирование сигнала с модуляцией *PSK* (*niUSRP EX PSK Tx*) приведено на рис. 5 в виде блок-диаграммы имитационной модели передатчика сигнала с модуляцией *BPSK*.

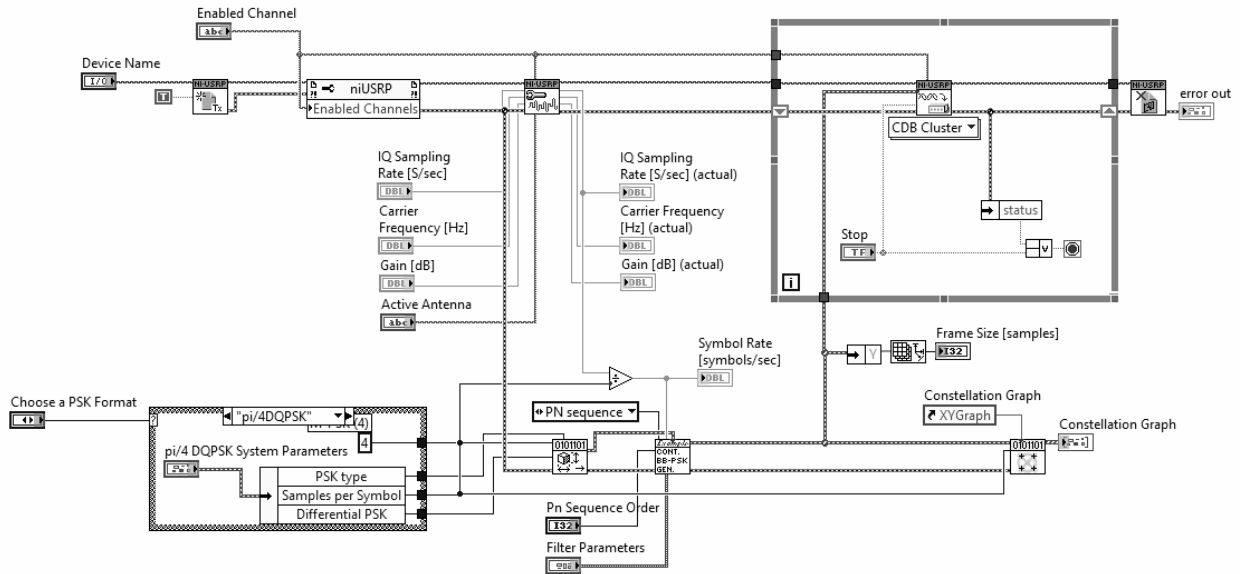


Рис. 5. Блок-диаграмма имитационной модели передатчика сигнала с модуляцией BPSK

На рис. 6 представлена лицевая панель имитационной модели передатчика сигнала USRP X300 с модуляцией BPSK.

На лицевой панели задается имя устройства (*Device Name*, в данном случае IP-адрес трансивера USRPX300) для инициализации устройства USRP X300. Также в ней задаются параметры сигнала: частота дискретизации, несущая частота, величина усиления, порядок псевдошумовой последовательности, параметры фильтра, *nbgPSK*-модуляции и выбирается тип антенны для передачи сигнала с помощью USRP X300. На лицевой панели отображается количество отсчетов, символьная скорость передачи сигнала, количество ошибок, где они возникли в блок-диаграмме имитационной мо-

дели формирования радиосигнала BPSK, график сигнального созвездия радиосигнала BPSK.

С лицевой панели можно как запустить процесс передачи BPSK-сигнала, так и остановить передачу посредством нажатия на кнопку *stop*. Сформированный сигнал подается на вход цифрового осциллографа R&SRTO2044 с помощью кабеля SMA(m)-to-SMA(m). Для подключения приемопередатчика USRP к осциллографу R&SRTO2044 с помощью кабеля SMA(m)-to-SMA(m) необходимо использовать переходник SMA(m)-BNS. На рис. 7 представлен вид дисплея цифрового осциллографа R&SRTO2044, на котором отображается осциллограмма сигнала с модуляцией BPSK.

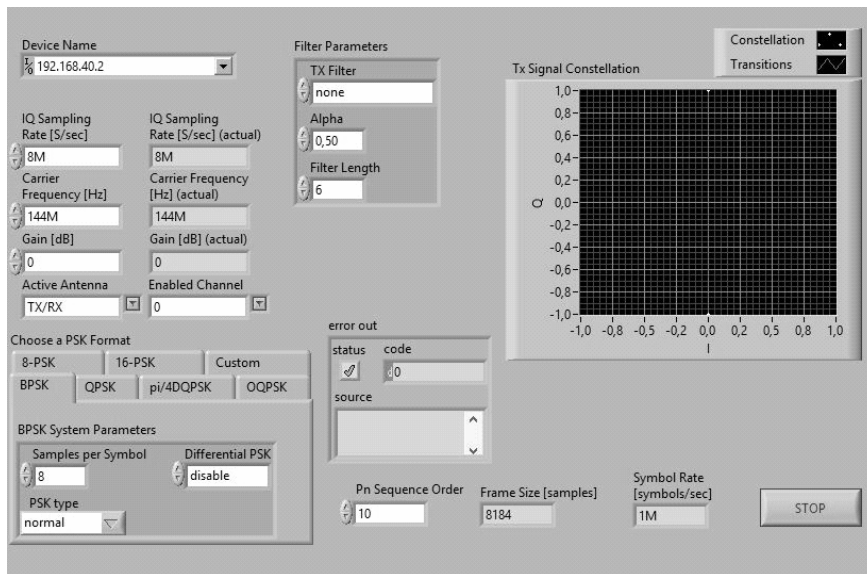


Рис. 6. Лицевая панель имитационной модели передатчика сигнала с модуляцией BPSK

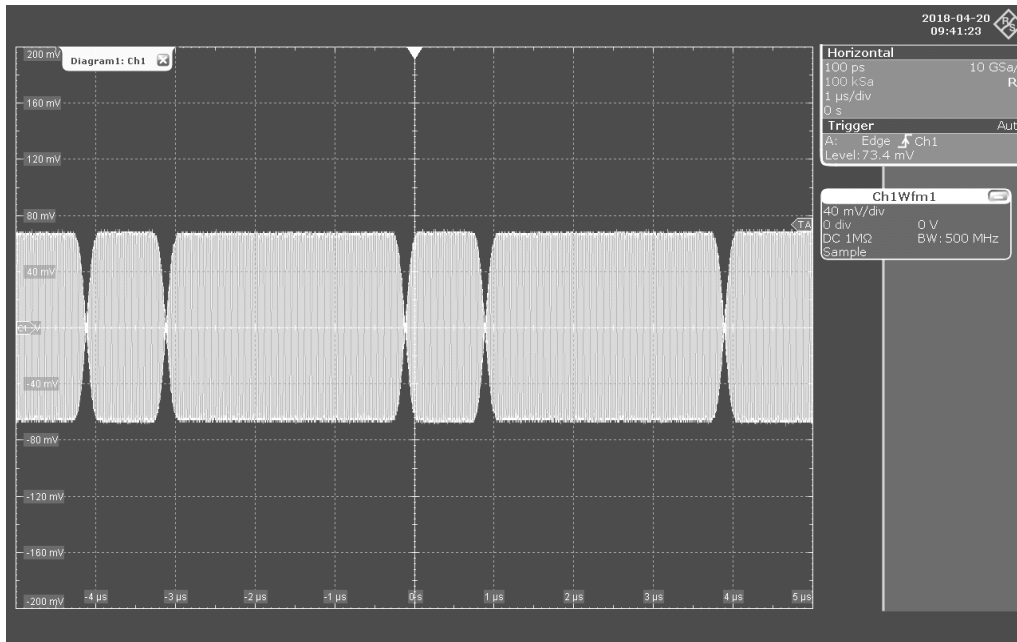


Рис. 7. Вид дисплея цифрового осциллографа R&SRTO2044,

Как и в случае с удаленным управлением трансивером *USRPX300*, для удаленного управления цифровым осциллографом *R&SRTO2044* с помощью *LabVIEW* необходимо установить на компьютер соответствующий драйвер (*rsscope-lv-3_65_1*), а также специальный тулбокс (*rsidrToolboxInstall-5_17_0*), что можно выполнить на уровне приложений *IoT*. Удаленное управление прибором *R&SRTO2044* может осу-

ществляться по следующим интерфейсам: *IEEE 488.2 (GPIB)*, *USB*, *Ethernet*, на уровне сети датчиков *IoT*. Для удаленного управления осциллографом *R&SRTO2044* была разработана специализированная программа в *LabVIEW*, которая может быть запущена и выполняться без участия человека, что вписывается в концепцию *IoT*. Лицевая панель программы удаленного управления прибором *R&SRTO2044* представлена на рис. 8.

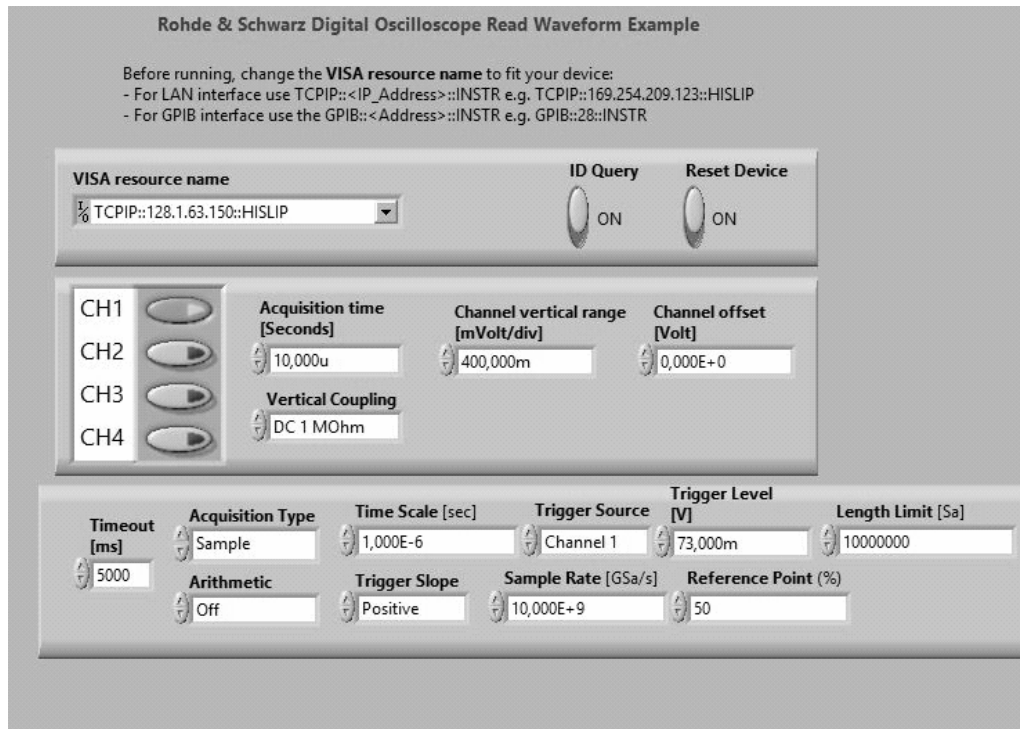


Рис. 8. Лицевая панель программы для удаленного управления цифровым осциллографом R&SRTO2044

На лицевой панели задается имя устройства (например, *TCPIP::128.1.63.150::HISLIP*) для инициализации устройства *R&SRTO2044*. Также в программе можно выбрать, с какого канала будет отображаться радиосигнал, можно задать время обзора (*Acquisition time*, в секундах), задать значение входного сопротивления (50 Ом, 1 МОм, АС) на выбранном канале отображения осциллографа *R&SRTO2044* (*Vertical Coupling*), изменять вертикальную (по амплитуде) развертку канала (*Channel vertical range*), смещение канала

(*Channel offset*) и выбор типа данных (*Acquisition Type*), подстраивать горизонтальную (временную) развертку (*Time Scale*), изменять уровень триггера (синхронизации) (*Trigger Level*), выбирать, на каком канале будет производиться синхронизация канала (*Trigger Slope*), скорость обзора канала (*Sample Rate*), а также выполнить другие операции по управлению и настройке *RTO2044*.

На рис. 9 представлена осциллограмма сигнала *BPSK* в программе удаленного управления прибором *R&SRTO2044*.

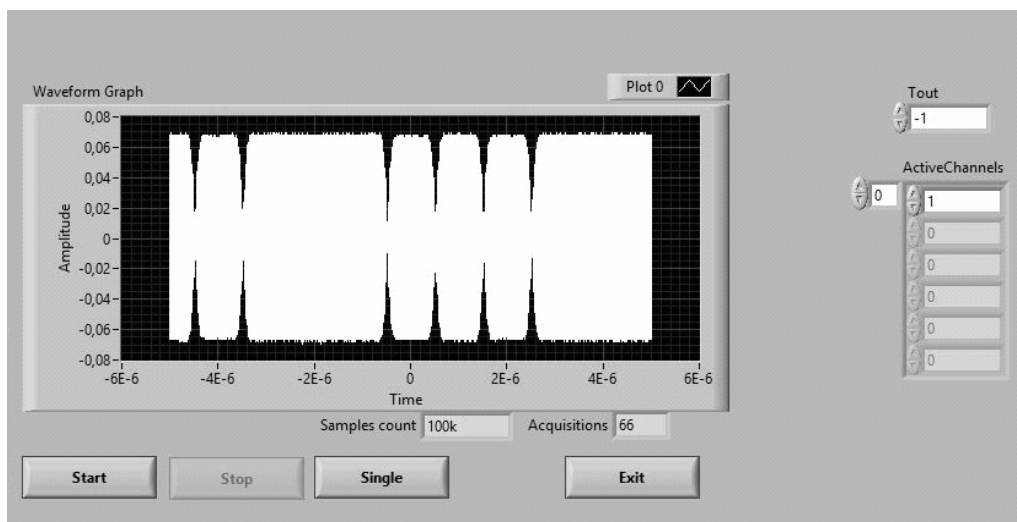


Рис. 9. Осциллограмма сигнала *BPSK* в программе удаленного управления прибором *R&SRTO2044*

Векторный генератор сигналов *R&SSMW200A* позволяет генерировать сигналы как с аналоговой, так и с цифровой модуляцией. Рассмотрим программу для удаленного управления векторным генератором сигналов *R&SSMW200A*. Для удаленного управления векторным генератором сигналов *R&SSMW200A* также была разработана программа в *LabVIEW*. Данная программа позволяет удаленно генерировать сигналы с цифровой модуляцией и может быть запущена на уровне приложений *IoT*. На рис. 10 представлена лицевая панель программы удаленного управления прибором *R&SSMW200A*. В программе удаленного управления прибором *R&SSMW200A* можно задавать значение несущей частоты (*Frequency*), уровень мощности (*Power Level*), номера портов, с которых будет генерироваться ВЧ-сигнал (*Path (RF Out)*, *Path (Freq RF)*, *Path (Power Level RF)*). Также в программе можно выбрать тип цифровой модуляции (*Modulation*), тип данных (*Source (PRBS)*), источник сигнала (*Source (Internal)*), ослабление сигнала с цифровой модуляцией (*Attenuation*), а также выполнить другие операции по управлению и настройке.

Переключатель *Output Enabled* позволяет включать/выключать генерацию ВЧ-сигнала, с помощью переключателя *Attenuation* можно включать/выключать ослабление сигнала с цифровой модуляцией, а переключатель *DM Enabled* включает/выключает генерацию сигнала с цифровой модуляцией. Сформированный сигнал с цифровой модуляцией с выхода ВЧ поступает на вход анализатора спектра и сигналов *R&SFSW8*. С помощью программы удаленного управления выполняем настройку генератора на генерацию сигнала с модуляцией FSK4.

Контрольно-измерительным прибором *R&SFSW8* также можно управлять удаленно на уровне приложений *IoT*. Для удаленного управления прибором необходимо установить соответствующий драйвер прибора *R&SFSW8* для программы *LabVIEW*. Для автоматической настройки и управления разработана программа в *LabVIEW*.

Лицевая панель программы для удаленного управления *R&SFSW8* представлена на рис. 11. Данная программа позволяет отображать спектр входного сигнала, задавать центральную частоту

ту анализа спектра (*Frequency Center*), начальную частоту анализа (*Frequency Start*), конечную частоту анализа (*Frequency Stop*), а также задавать полосу анализа спектра исследуемого сигнала (*Frequency Span*) и время обновления

дисплея (*Sweep Time*) анализатора спектра и сигналов *R&SFSW8*.

На лицевой панели отображается спектр сигнала с модуляцией *FSK4* на несущей частоте, равной 300 МГц, и полосой обзора 10 МГц.

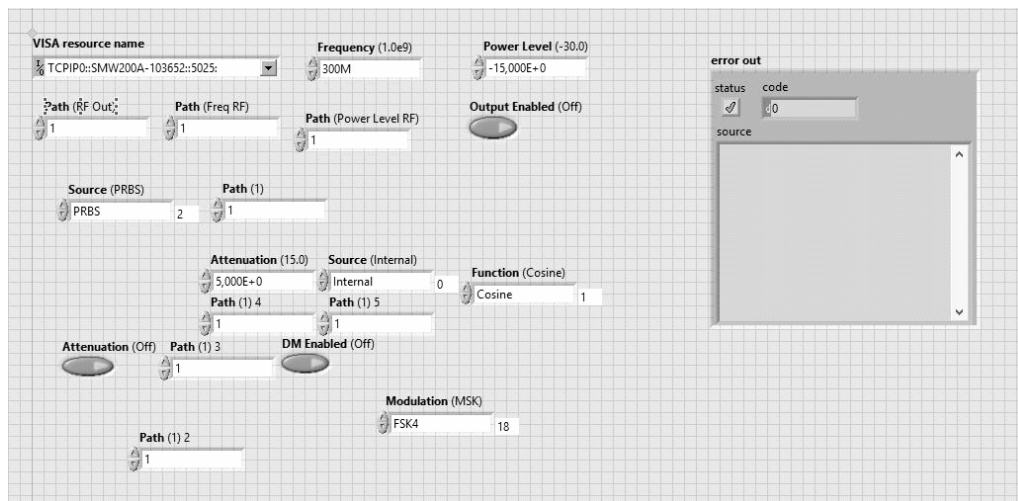


Рис. 10. Лицевая панель программы для удаленного управления векторным генератором сигналов *R&SSMW200A*

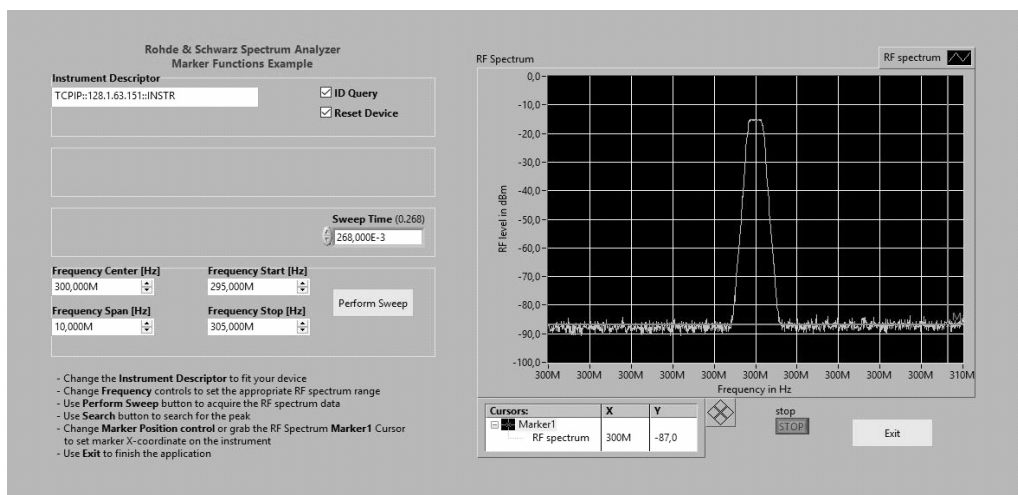


Рис. 11. Лицевая панель программы для удаленного управления анализатором спектра и сигналов *R&SFSW8*

Выводы

Таким образом, развитие архитектуры *IoT* (интернета вещей) в направлении приложения «индустриальный интернет» как элемента *IoT* позволяет выполнять задачи построения систем контроля и тестирования радиотехнических изделий. Это оправдано по нескольким причинам:

- можно создать несколько универсальных центров уровня сетей датчиков *IoT* для предоставления услуг по исследованию, тестированию и контролю радиотехнических изделий с использованием универсального дорогостоящего оборудования, например, фирмы *R&S* и других фирм, что не могут позволить себе множество организаций и учебных заведений;

- применение технологий *IoT* позволит иметь удаленный доступ с уровня приложений к центрам уровня сетей датчиков и решать задачи вне зависимости от физического расположения, что может быть также актуально при разработке и производстве различных элементов изделия разными фирмами, разделенными территориально;

- технология *IoT* может быть использована для других систем контроля, отличных от радиотехнических систем, где имеется возможность удаленного взаимодействия элементов системы, например, для контроля сохранности взаимоположения внутренних элементов конструкции объекта [12].

Библиографические ссылки

1. Пушкарев М. С. Интернет вещей : Понятие и значение для формирования правовой основы цифровой трансформации экономики // Вопросы российского и международного права. 2018. Т. 8, № 1А. С. 16–27.

2. Nistyuk A. Mathematical Base of Technology of Tactile Feedback in Devices with the Touch Screen // 2013 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk, September 12-13, 2013. IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR. ISBN: 978-1-4799-1060-1. Digital Object Identifier: 10.1109/SIBCON.2013.6693612. Pp. 138-142.

3. Дэйв Эванс (Dave Evans) Интернет вещей : Как изменится вся наша жизнь на очередном этапе развития Сети. URL: <http://stfw.ru/page.php?id=19016> (дата обращения: 29.05.2018).

4. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю. Интернет вещей : учеб. пособие. Самара : ПГУТИ, 2015. 200 с.

5. Там же.

6. Там же.

7. Богданов И. Ю., Копысов А. Н. К вопросу о моделировании беспроводной сети передачи стандарта ZIGBEE // Измерения, контроль и диагностика – 2014 : сборник материалов III Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. С. 174–181.

8. Восков Л. С. Интернет вещей // Новые информационные технологии : тезисы докладов XX Междунар. студ. конф.-школы-семинара. М. : МИЭМ, 2012. С. 89–94.

9. Васильев О. И., Нистюк А. И. Тактильная связь с телекоммуникационными устройствами // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 2(26). С. 85–88.

10. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. М. : Пресс, 2007. 400 с.

11. Маклафлин Б. PHP и MySQL. Исчерпывающее руководство. СПб. : Питер, 2013. 512 с. : ил.

12. Хатбуллин Р. А. Техническая реализация системы контроля сохранности взаимоположения внутренних элементов конструкции объекта // Вестник ИжГТУ. 2011. № 4(51). С. 110–111.

2. Nistyuk A. Mathematical Base Of Technology Of Tactile Feedback In Devices With The Touch Screen. Proceedings of the International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, September 12–13, 2013, IEEE Catalog Number: CFP13794-CDR., Digital Object Identifier: 10.1109, SIBCON.2013.6693612, pp. 138-142.

3. Dave Evans. *Internet veshchej. Kak izmenitsya vsya nasha zhizn' na ocherednom eh tape razvitiya Seti* [Internet of things. As all our life at the next stage of development of Network will change] (in Russ). Available at: <http://stfw.ru/page.php?id=19016> (accessed 29.05.2018).

4. Roslyakov A. V., Vanyashin S. V., Grebeshkov A. Yu. *Internet veshchej* [Internet of things]. Samara, PGUTI, 2015, 200 p. (in Russ.).

5. Roslyakov A. V., Vanyashin S. V., Grebeshkov A. Yu. *Internet veshchej* [Internet of things]. Samara, PGUTI, 2015, 200 p. (in Russ.).

6. Roslyakov A. V., Vanyashin S. V., Grebeshkov A. Yu. *Internet veshchej* [Internet of things]. Samara, PGUTI, 2015, 200 p. (in Russ.).

7. Bogdanov I. Yu., Kopysov A. N. *K voprosu o modelirovanii besprovodnoj seti peredachi standarta ZIGBEE* [To a question of modeling of wireless network of transfer of the ZIGBEE standard]. *Izmereniya, kontrol' i diagnostika - 2014: sbornik materialov III Vseros. nauch.-tehn. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh* [Proc. Measurements, control and diagnostics - 2014: collection of materials III Vseros. scientific-techn. Conf. students, graduate students and young scientists]. Izhevsk, Kalashnikov ISTU Publ., 2014, pp. 174-181 (in Russ.).

8. Voskov L. S. *Internet veshchej* [Internet of things]. *Novye informacionnye tehnologii: tezisy dokladov XX Mezhdunar. stud. konf.* [Proc. New information technologies: abstracts XX International. stud. conf.]. Moscow, MIEHM, 2012, pp. 89-94 (in Russ.).

9. Vasil'ev O. I., Nistyuk A. I. [Tactile communication with telecommunication devices]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2015, no. 2(26), pp.85-88 (in Russ.).

10. Evdokimov Yu. K., Lindval' V. R., Shcherbakov G. I. *LabVIEW dlya radioinzhenera: ot virtual'noj modeli do real'nogo pribora* [LabVIEW for the radio engineer: from virtual model to the real device]. Moscow, Press Publ., 2007, 512 p. (in Russ.).

11. Maklaflin B. *PHP i MySQL. Ischerpyvayushchee rukovodstvo* [PHP and MySQL. Complete guide]. St. Petersburg, Piter Publ., 2013, 512 p. (in Russ.).

12. Hatbullin R. A. [Technical implementation of the system for monitoring the safety of the interrelation of the internal elements of the construction of the object]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2011, no. 4(51), pp. 110-111 (in Russ.).

References

1. Pushkarev M. S. [Internet of things: Concept and significance for the formation of the legal basis for the digital transformation of the economy]. *Voprosy rossijskogo i mezhdunarodnogo prava*, 2018, vol. 8, no. 1A, pp. 16-27 (in Russ.).

Building a System for Monitoring and Testing Radio Systems As an IoT Element

V. V. Khvorenkov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A. I. Nistyuk, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

R. A. Khatbullin, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A. A. Zykin, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Interaction of networks of various levels has revealed in emergence of such a concept as "The Internet of things". Development of the area of "The Internet of things" without radio channel is impossible. The radio channel provides one of the main advantages - mobility of objects and mobile reconfiguration of structure. Creation of structure "industrial Internet" concerning creation of a control system and testing of systems of a radio communication is the corresponding task.

As one of options of construction and organization "industrial Internet" as an element of "The Internet of things", authors consider a control system and testing of systems of a radio communication constructed on the basis of devices and the equipment Rohde&Schwarz.

The main opportunities of instrumentations and the measuring equipment and the software as a part of the offered system of the remote management with architecture of IoT are:

- formation of radio signals with various types of modulation (manipulation) at various frequencies;*
- imitation of signals of radio-noise;*
- imitation of two-way systems;*
- imitation of transfer and reception of various types (protocols) of digital data;*
- measurement of parameters of radio signals, their check (for example, with results of mathematical modeling) and preservation in the database;*
- performance of testing of products, measurement of parameters.*

Modeling of formation of radio signals is executed in the environment of design of LabVIEW and by means of the universal programmable USRPX300 transceiver.

Development of architecture of IoT ("The Internet of things") in the direction of statements "the industrial Internet" as the IoT element, allows to carry out tasks of creation of control systems and testing of products of radio engineering. Advantages of the offered structure:

- it is possible to create several universal centers of level of networks of IoT sensors for rendering of services on a research, testing and control of products of radio engineering, with use of universal expensive equipment, for example R&S and other firms which a number of organizations and educational institutions isn't able to provide;*
- use of IoT technologies to allow to have remote access from the level of annexes to the centers of level of networks of sensors and to solve problems in independence of the physical arrangement which can be also relevant during development and production of various elements of a product by various firms divided territorially;*
- the IoT technology can be used for other control systems except the systems of radio engineering where there is a possibility of remote interaction of elements of system, for example for safety control mutually of granting internal elements of design of an object.*

Keywords: telecommunication devices, radio engineering systems, IoT technology, Internet of things, testing.

Получено 15.06.2018