Keysight Technologies

Создание и анализ сигналов OFDM пользователя для программно-определяемых радиосистем (SDR)

Рекомендации по применению

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Большинство современных коммерческих стандартов беспроводной связи базируется на исключительно универсальной схеме передачи: мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (orthogonal frequency-division multiplexing — OFDM). Кроме того, используется метод, позволяющий нескольким пользователям работать в одном и том же спектральном канале OFDM. Этот метод получил название множественного доступа с ортогональным частотным разделением (orthogonal frequency-division multiple-access — OFDMA). Примерами стандартов систем беспроводной связи, которые используют эти технологии, являются: 802.11a/g/n, 802.11ac/ad, 802.16e WiMAX, FDD-LTE, TDD-LTE и LTE-Advanced.

Технологии OFDM и OFDMA обеспечивают важные преимущества в четырёх областях: скорость передачи данных, спектральная эффективность и масштабируемость, целостность данных и устойчивость сигналов в присутствии замираний, обусловленных многолучевым распространением. Кроме того, обе технологии имеют потенциал для модификации в соответствии с возникающими требованиями.

С учётом этих и многих других причин OFDM и OFDMA рассматриваются в качестве жизнеспособных технологий для разработки систем связи, включая программно-определяемые радиосистемы (software-defined radio — SDR) и когнитивные системы радиосвязи. Чем более успешно могут быть развернуты системы на базе этих технологий, тем проще будет добиться прямой связи и координации между различными службами безопасности или вооруженными силами.

Высокая сложность технологий OFDM и OFDMA влечет за собой множество проблем в процессе разработки, к счастью его можно ускорить за счет использования специальных инструментов, которые упрощают создание, моделирование, генерацию и анализ стандартных и собственных сигналов OFDM и OFDMA.

Для тестирования устройств сигналы могут быть созданы с использованием программного обеспечения проектирования на системном уровне (ESL) SystemVue компании Keysight и загружены в прецизионный генератор сигналов произвольной формы компании Keysight. Векторные генераторы сигналов, такие как генераторы серии MXG компании Keysight, имеют встроенные генераторы сигналов произвольной формы с полосой частот модуляции до 160 МГц. Они могут использоваться для генерации сигналов несущей частоты в гигагерцовом диапазоне частот, модулированных сигналами пользователя или стандартизированными сигналами. С точки зрения анализа, можно проводить измерения сигналов систем с одной передающей антенной и одной приёмной антенной (SISO) и систем с несколькими передающими антеннами и несколькими приёмными антеннами (MIMO). Например, измерения сигналов OFDM пользователя систем SISO можно выполнить с помощью РЧ-анализатора сигналов серии X компании Keysight или высокопроизводительного цифрового осциллографа серии 90000X семейства Infiniium в сочетании с программмным обеспечением векторного анализа сигналов 89600 VSA компании Keysight. Кроме того, осциллограф и программное обеспечение 89600 VSA можно использовать для измерения стандартных сигналов OFDMA систем MIMO, таких как LTE или WiMAX.

Данные рекомендации по применению в общих чертах описывают сложности, с которыми можно столкнуться при генерации и анализе стандартизированных сигналов и сигналов пользователя, предлагают технические решения, которые решают эти проблемы и представляют результаты, полученные при использовании предложенных подходов. Для тех, кто заинтересован в получении более глубоких знаний по технологиям OFDM и OFDMA, в конце этих рекомендаций по применению включён перечень сопутствующей информации.

Проблема

Использование сигналов OFDM пользователя создаёт несколько основных проблем как при разработке, так и при тестировании. Во-первых, среды моделирования должны обладать возможностями имитации алгоритмов модуляции сигналов OFDM пользователя для генерации и анализа сложных сигналов, используемых в РЧ-схемах программно-определяемых радиосистем (SDR). Во-вторых, программное обеспечение моделирования и измерительное оборудование должны быть эффективно интегрированы для создания и анализа испытательных сигналов OFDM пользователя, которые не поддерживаются стандартным измерительным оборудованием, но необходимы для тестирования устройства.

Сложность генерации сигналов OFDM заслуживает более внимательного рассмотрения. Генерация сигнала происходит следующим образом (рис. 1):

- Оцифрованный речевой сигнал или биты данных подаются на блоки модуляции.
- Блоки модуляции выполняют кодирование и перемежение входного потока битов и отображают результирующие “n” битов сразу на созвездие передаваемых данных.
- В данном примере четыре бита “1011” соответствуют ячейке с I/Q-координатами 0,29 + j0,85 в созвездии 16QAM. Это комплексное значение загружается в следующий элемент в массиве из 52 комплексных значений. Процесс повторяется, пока 192 бита не будут преобразованы, и весь массив не заполнится этими значениями. Дополнительные четыре элемента содержат пилотные сигналы.
- Над сформированным массивом выполняется обратное БПФ, создавая новый массив, который содержит 64 комплексных значения.
- Результирующие значения выводятся с частотой тактового сигнала 20 МГц, вырабатывая сегмент сигнала продолжительностью 3,2 мкс, который представляет один “символ”, который в данном случае содержит 192 бита полезной нагрузки. Несколько символов объединяются для создания одного “кадра.”

На приёмном конце над каждым сигналом символа выполняется БПФ, создавая заново первоначальный массив из 52 комплексных значений. Эти значения отображаются на созвездие, преобразуются обратно в биты, декодируются и так далее.

Этот процесс становится ещё более сложным за счёт возможности “множественного доступа” в технологии OFDMA. В процессе взаимодействия назначение поднесущей может изменяться в зависимости от времени (например, символов, таймслотов, кадров) для поддержки множества пользователей или множества программно-определяемых радиосистем (SDR). Управление этой дополнительной сложностью приводит к ещё большей нагрузке на устройства, программное обеспечение моделирования и измерительное оборудование.

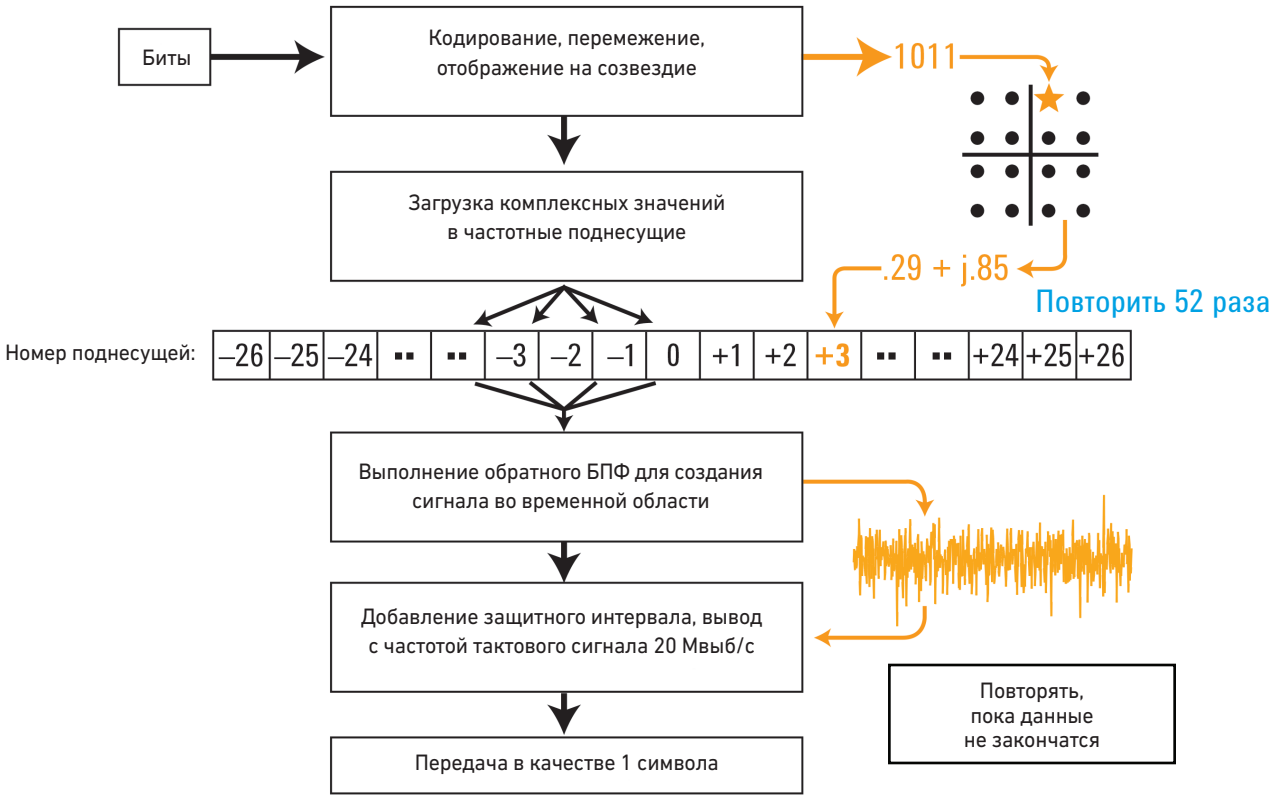


Рисунок 1 — Генерация сигналов OFDM требует расширенных возможностей имитации алгоритмов модуляции.

Технические решения и результаты: сигналы OFDM пользователя

Техническое решение для создания сигналов OFDM пользователя включает шесть основных элементов: САПР, генератор сигналов произвольной формы и векторный генератор сигналов для создания сигналов; осциллограф, анализатор сигналов и программное обеспечение векторного анализа сигналов — для определения характеристик сигналов.

САПР SystemVue и программное обеспечение векторного анализа
сигналов 89600 VSA совместно задействованы для поддержки реализаций систем SISO, использующих сигналы OFDM пользователя. Например, SystemVue включает библиотеку OFDM общего назначения, а также примеры применений, которые можно использовать в качестве основы для разработки форматов сигналов пользователя. Моделирующий сигнал OFDM с компонентами I и Q может быть создан в SystemVue либо как идеальный сигнал, либо как искажённый сигнал, который учитывает многолучевое распространение, замирание и другие проблемы, которые являются полезными при тестировании схем SDR.

Программное обеспечение SystemVue также предоставляет параметризованный образцовый источник сигнала OFDM с полной структурой кадра и преамбулами, скомпонованный из моделей библиотеки сигналов OFDM. Данный источник сигнала OFDM также предоставляет информацию о конфигурации для приложения, обеспечивающего анализ модуляции сигналов OFDM пользователя в составе программного обеспечения 89600 VSA (опция BHF), обеспечивая удобную демодуляцию и анализ сигналов пользователя (собственных сигналов).

Программное обеспечение векторного анализа сигналов 89600 VSA поддерживает более 70 стандартов сигналов и видов модуляции, а его передовые инструментальные средства отладки позволяют проводить измерения во временной, частотной и модуляционной областях. Чтобы помочь обнаружить, что происходит внутри сложных беспроводных устройств, современный графический интерфейс пользователя обеспечивает возможность отображения практически неограниченного числа графиков и маркеров на каждом графике. Поскольку данное программное обеспечение работает на более 30 измерительных платформах компании Keysight, включающих осциллографы, анализаторы сигналов и логические анализаторы, векторный анализ сигналов может быть применён практически в любой точке структурной схемы. Это позволяет проводить оценку сигналов систем SDR в трактах РЧ, ПЧ или I/Q, а также при разработке ПЛИС, используя логический анализатор с динамическим пробником ПЛИС.

Обладая таким диапазоном возможностей, САПР SystemVue и программное обеспечение векторного анализа сигналов 89600 VSA обеспечивают набор инструментов разработчика, который можно использовать как для разработки, так и для верификации форматов сигналов связи на базе OFDM, соответствующих требованиям заказчика.

Работа с сигналами OFDM пользователя систем SISO

В этом сценарии САПР SystemVue использовалась для создания сигналов OFDM пользователя, а программное обеспечение векторного анализа сигналов (запущенное на осциллографе) — для демодуляции полученных в результате сигналов. В качестве альтернативы для демодуляции и анализа можно использовать анализатор сигналов PXA с работающим программным обеспечением векторного анализа сигналов.

На рисунке 2 показана конфигурация системы. Сигнал OFDM из SystemVue был загружен в генератор сигналов произвольной формы, встроенный в векторный генератор сигналов серии MXG. Этот встроенный генератор сигналов произвольной формы/генератор модулирующих сигналов, работающий в режиме реального времени в векторном генераторе сигналов серии MXG, имеет полосу частот РЧ-модуляции до 160 МГц. Модулированный сигнал несущей частоты 5,8 ГГц может быть использован в качестве входного сигнала для аппаратного тестируемого устройства (RF DUT).

Для анализа сигнала OFDM пользователя был использован высокопроизводительный осциллограф с полосой пропускания 13 ГГц и работающим программным обеспечение векторного анализа сигналов 89600 VSA. Как показано на рисунках 3 и 4, данное программное обеспечение демодулировало сигнал OFDM и реализовало 256- или 512-точечное БПФ, соответственно, для представления соответствующего частотного спектра (левый верхний угол каждого графика). Диаграммы созвездий и значения EVM (амплитуда вектора ошибки) были получены из демодулированных сигналов.

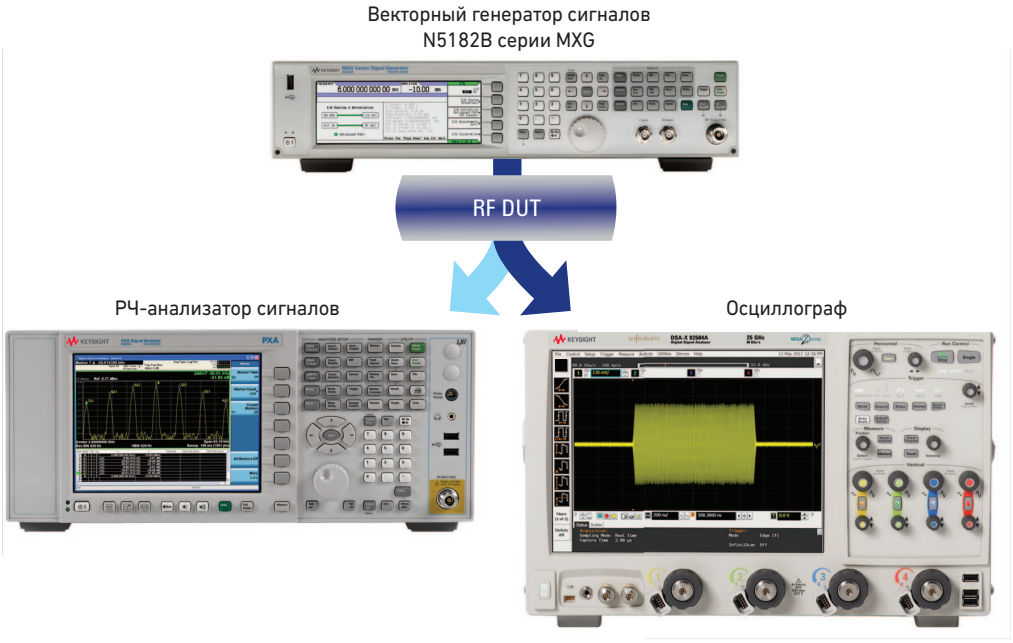


Рисунок 2 — Конфигурация для создания сигналов OFDM систем SISO в самом простом случае может включать генератор сигналов произвольной формы (AWG), программное обеспечение векторного анализа сигналов и осциллограф или РЧ-анализатор сигналов.

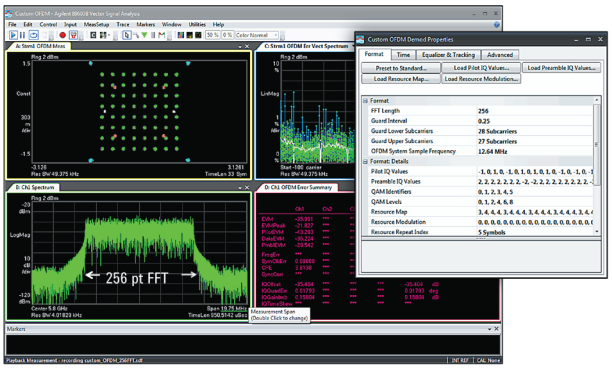


Рисунок 3 — Данные результаты отображают демодуляцию сигнала OFDM пользователя: диаграмма созвездия (слева вверху), спектр, полученный в результате реализации 256-точечного БПФ (слева внизу), зависимость EVM от частоты поднесущей (справа вверху) и значения EVM (справа внизу).



Рисунок 4 — Данные результаты отображают демодуляцию сигнала OFDM пользователя: диаграмма созвездия (слева вверху), спектр, полученный в результате реализации 512-точечного БПФ (слева внизу), зависимость EVM от частоты поднесущей (справа вверху) и значения EVM (справа внизу).

Работа с сигналами OFDMA систем MIMO

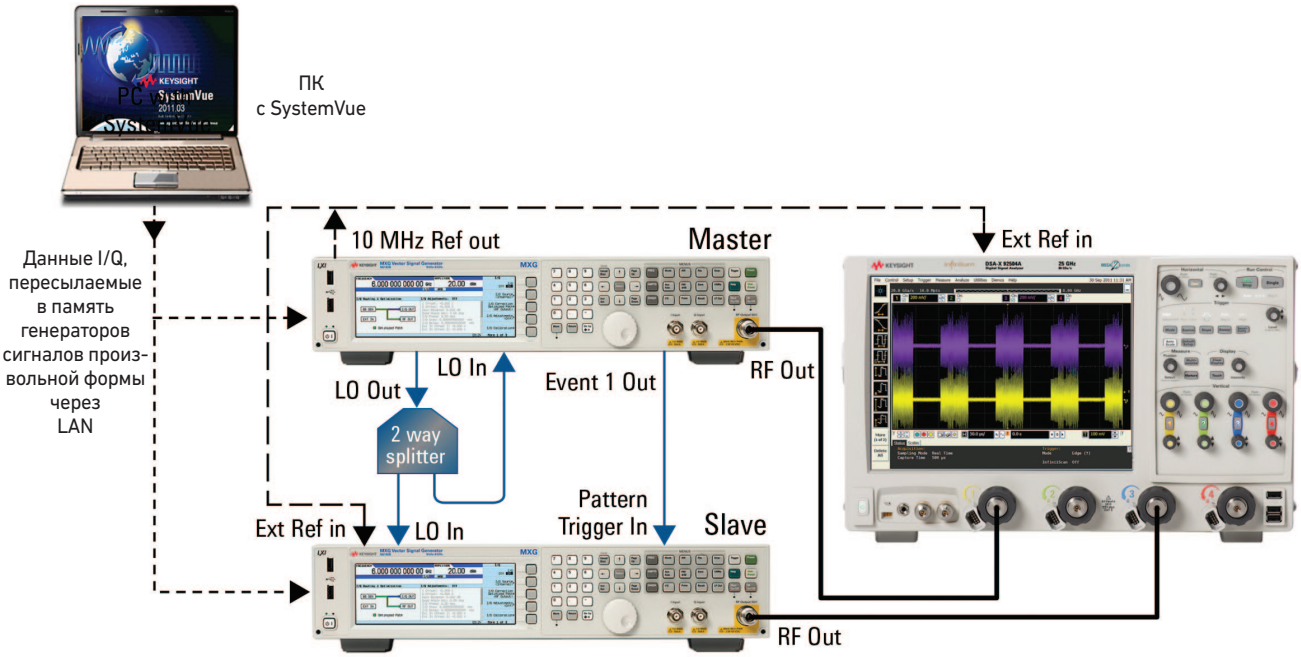


Рисунок 5 — Эта конфигурация поддерживает создание, генерацию и анализ сигналов для систем 2x2 MIMO.

В данном примере (2x2 MIMO) система включает два генератора сигналов сигналов произвольной формы, два векторных генератора сигналов и один многоканальный осциллограф (рисунок 5). Точность измерения сигналов систем MIMO зависит от стабильности фазовых соотношений между всеми сигналами.

С целью генерации фазокогерентного сигнала для конфигурации 2x2 MIMO с использованием генераторов сигналов серии MXG выход LO Out (выход сигнала гетеродина) ведущего генератора (Master) подключается ко входу LO In подчинённого генератора (Slave). Выход LO Out обеспечивает достаточную амплитуду сигнала гетеродина при непосредственном подключении для управления подчинённым (Slave) генератором сигналов серии MXG, обеспечивая таким образом фазовую когерентность сигналов на выходах RF Out. Сигнал опорной частоты 10 МГц (10 MHz Ref) от ведущего векторного генератора сигналов был подключён к каждому из других измерительных приборов. Кроме того, для установления временной синхронизации между двумя генераторами сигналов произвольной формы, позволяющей этим приборам совместно использовать один и тот же тактовый сигнал дискретизации, был использован дополнительный специальный кабель.

Для загрузки сигналов I и Q из SystemVue в каждый из генераторов сигналов произвольной формы использовалось соединение по локальной сети (LAN). Выходы I и Q ведущего и подчинённого генераторов сигналов произвольной формы были подключены к широкополосным входам I и Q ведущего и подчинённого векторного генератора сигналов.

Для целей демонстрации возможностей измерения и анализа сигналов систем MIMO модулированные сигналы несущей частоты 5,8 ГГц были подключены к каналам 1 и 3 четырёхканального осциллографа. Поскольку все четыре канала являются фазокогерентными, осциллограф серии X семейства Infiniium может быть использован для проведения измерений РЧ-сигналов системы MIMO с помощью программного обеспечения 89600 VSA.

Для проверки правильности синхронизации двух сигналов системы MIMO был использован осциллограф с полосой пропускания 13 ГГц, как показано на рисунке 6. Используя фазокогерентные входы осциллографа, программное обеспечение векторного анализа сигналов (VSA) смогло надлежащим образом демодулировать оба сигнала и предоставить результаты, показанные на рисунке 7. На этом рисунке сверху слева показаны две диаграммы созвездий, снизу слева — два спектра (с центром на частоте 5,8 ГГц) и результаты измерения EVM — справа от верхних и нижних графиков. В данном случае значение EVM было приблизительно равно -40,4 дБ для канала 1 и -40,6 дБ — для канала 2. При этом для программного обеспечения была использована установка, предписывающая использование преамбулы, пилотных сигналов и данных в качестве обучающей последовательности корректора.

Искажения I/Q могут повлиять на характеристики остаточной EVM устройства. В данном примере разбаланс I/Q настраивался вручную с помощью органов управления передней панели генератора сигналов произвольной формы. Для этого сначала сигналы систем SISO были загружены в каждый генератор сигналов произвольной формы, а затем анализатор сигналов PXA с запущенным программным обеспечением 89600 VSA был использован для измерения разбаланса I/Q в процессе настройки установок генератора сигналов произвольной формы.

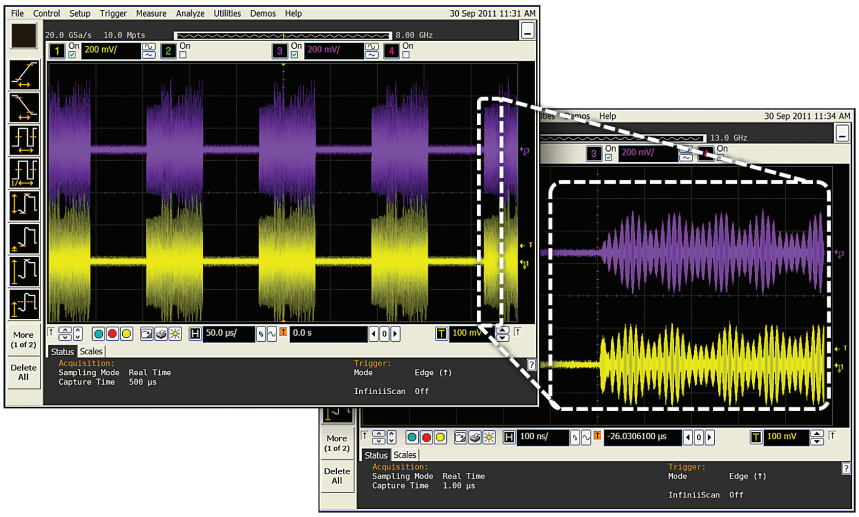


Рисунок 6 — Данное отображение сигналов во временной области показывает синхронность двух широкополосных сигналов системы MIMO.



Рисунок 7 — Данные графики, полученные с помощью программного обеспечения 89600 VSA показывают результаты демодуляции РЧ-сигналов системы MIMO на частоте 5,8 ГГц: две диаграммы созвездий, два частотных спектра и два результата измерения EVM.

Выводы

Технологии OFDM и OFDMA обеспечивают важные преимущества в скорости передачи данных, спектральной эффективности и масштабируемости, целостности данных и устойчивости сигналов в присутствии замираний, обусловленных многолучевым распространением. Кроме того, системы, построенные на основе технологии OFDM, можно легко модифицировать в соответствии с требованиями заказчика для удовлетворения требований частных приложений, таких как программно-определяемые радиосистемы (software-defined radio — SDR) и когнитивные системы радиосвязи.

Технические решения для систем SISO и MIMO, представленные здесь, упрощают создание, моделирование, генерацию и анализ сигналов OFDM пользователя и стандартных сигналов OFDMA. Гибкость и удобство измерительных приборов и программного обеспечения компании Keysight ускоряют разработку и в конечном счёте помогают обеспечить успешное взаимодействие между различными агентствами охраны общественной безопасности или вооруженными силами.

Сопутствующая информация

SystemVue ESL software: www.keysight.com/find/SystemVue
- Рекомендации по применению: Custom OFDM Signal Generation Using SystemVue (Генерация сигналов OFDM пользователя, используя SystemVue), номер публикации 5990-6998EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-6998EN.pdf
- Рекомендации по применению: Flexible OFDM Signal Generation, Analysis and Troubleshooting (Гибкие возможности генерации сигналов OFDM, анализ и отладка), номер публикации 5990-9757EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-9757EN.pdf
- Брошюра: Keysight SystemVue System-Level Design & Verification Environment (Среда проектирования и верификации системного уровня SystemVue компании Keysight), номер публикации 5990-9412EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-9412EN.pdf
- Технический обзор: Keysight EEsof EDA SystemVue 2012 (САПР SystemVue подразделения EEsof EDA компании Keysight, версия 2012), номер публикации 5990-4731EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-4731EN.pdf

89600 VSA software: www.keysight.com/find/89600
- Брошюра: Keysight 89600 VSA Software: See through the complexity (Программное обеспечение 89600 VSA компании Keysight: исследовать, преодолевая сложности), номер публикации 5990-6553EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-6553EN.pdf Технический обзор: 89601B/BN-105 Link to EEsof ADS/SystemVue (Динамическая связь 89601B/BN-105 с EEsof ADS/SystemVue), номер публикации 5990-6410EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-6410EN.pdf

Генератор сигналов произвольной формы с частотой дискретизации до 12 Гвыб/с M8190A: www.keysight.com/find/M8190A
- Брошюра: Enhance your reality, Keysight M8190A AWG (Повышение реалистичности испытаний, генератор сигналов произвольной формы M8190A компании Keysight), номер публикации 5990-7516EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-7516EN.pdf

Генератор сигналов произвольной формы с частотой дискретизации до 4,6 Гвыб/с 81180B: www.keysight.com/find/81180
- Технические данные: Keysight 81180B Arbitrary Waveform Generator (Генератор сигналов произвольной формы 81180B компании Keysight), номер публикации 5991-0364EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5991-0364EN.pdf

Осциллографы серии 90000X семейства Infiniium: www.keysight.com/find/90000X-series
- Технические данные: Keysight Infiniium 90000 X-Series Oscilloscopes (Осциллографы серии 90000X семейства Infiniium компании Keysight), номер публикации 5990-5271EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-5271EN.pdf

Анализатор сигналов PXA N9030A: www.keysight.com/find/PXA
- Брошюра: Drive your evolution, PXA X-Series Signal Analyzer N9030A (Управляйте своим развитием, анализатор сигналов PXA серии X N9030A), номер публикации 5990-3951EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-3951EN.pdf
- Технические данные: Анализатор сигналов PXA серии X N9030A, номер публикации 5990-3952RURU http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-3952EN.pdf
- Брошюра: X-Series Signal Analysis (Анализаторы сигналов серии X), номер публикации 5990-7998EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-7998EN.pdf

Многоканальный анализатор сигналов N7109A: www.keysight.com/find/N7109A
- Технические данные: Keysight N7109A Multi-Channel Signal Analyzer (Многоканальный анализатор сигналов N7109A компании Keysight), номер публикации 5990-6732EN http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5990-6732EN.pdf

Широкополосный векторный анализатор сигналов MIMO в формате PXI: www.keysight.com/find/PXI-VSA

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight
Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.

www.lxistandard.org
LXI представляет собой сетевой интерфейс, пришедший на смену интерфейсу GPIB и обеспечивающий более быстрый и эффективный обмен данными. Компания Keysight входит в число основателей консорциума LXI.

http://www.pxisa.org
PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.

Трехлетняя гарантия
www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty
Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предлагает стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование.

Планы Технической Поддержки Keysight
www.keysight.com/find/AssurancePlans
До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

www.keysight.com/quality
Система управления качеством Keysight Electronic Measurement Group сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008

Торговые партнеры компании Keysight
www.keysight.com/find/channelpartners
Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

PCI-SIG®, PCIe® и PCI Express® являются зарегистрированными в США товарными знаками и/или знаками обслуживания организации PCI-SIG.

Windows, Windows NT, MS Windows и Windows Vista являются зарегистрированными товарными знаками компании Microsoft Corporation в США и/или других странах.

www.keysight.com/find/ad

Российское отделение

Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954
8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902
e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр
Keysight Technologies в России
115054, Москва, Космодамианская наб, 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930
Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: tmo_russia@keysight.com

(BP-07-01-14)

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Информация в данном документе может быть изменена без предварительного уведомления
© Keysight Technologies, 2013-2014
Published in USA, August 3, 2014
5991-1440RURU
www.keysight.com