

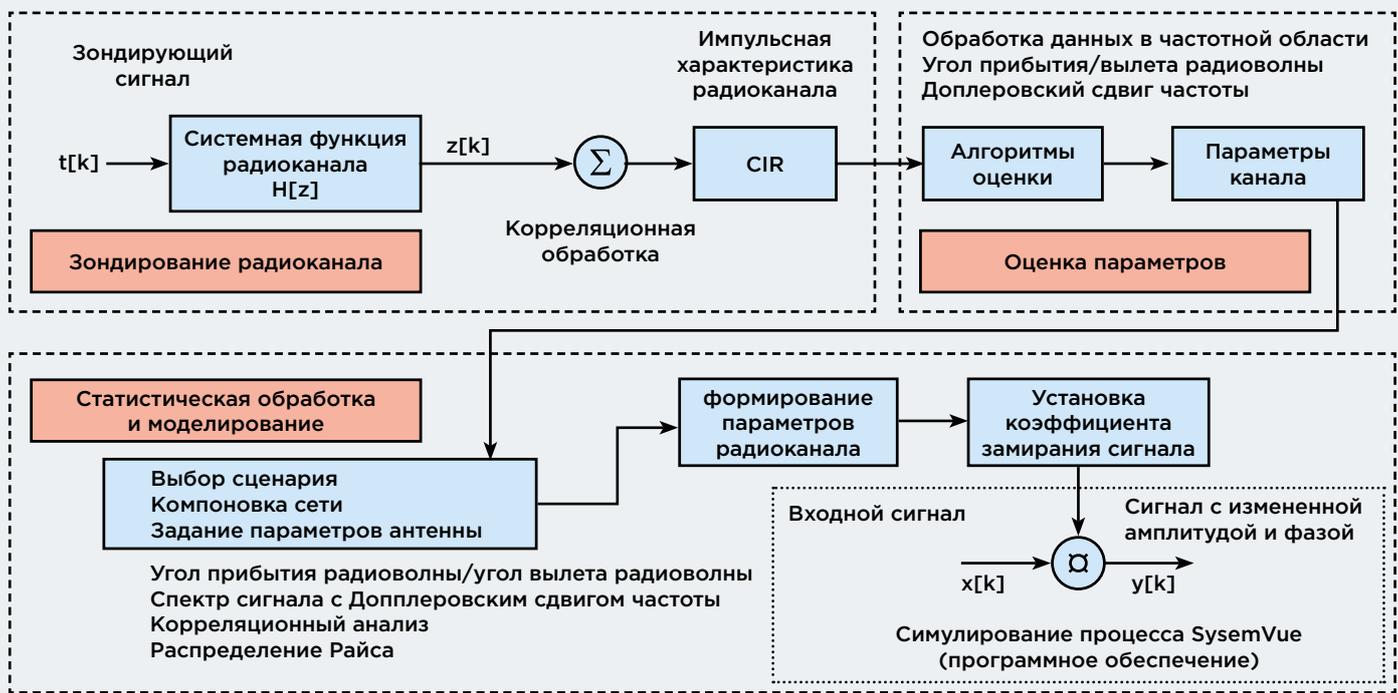
5G – СТАНДАРТ БУДУЩЕГО. ТЕСТИРУЕМ СЕГОДНЯ

Текст: **Арсений Подолько**
Алексей Смирнов
Максим Соковишин

”

Уже через три года на зимней Олимпиаде в Пхенчхане (Корея) мы сможем увидеть действующую сеть 5G со скоростью до 20 Гбит/с. Технологии передачи видео выйдут на новый уровень. По мере внедрения технологических решений широкое распространение получит 3D-видео на мобильных устройствах, затем произойдет переход к голографическому вещанию. Все это кажется далеким будущим, но решения по тестированию мы можем увидеть уже сегодня.

Поток обрабатываемых данных при исследовании радиоканала



1

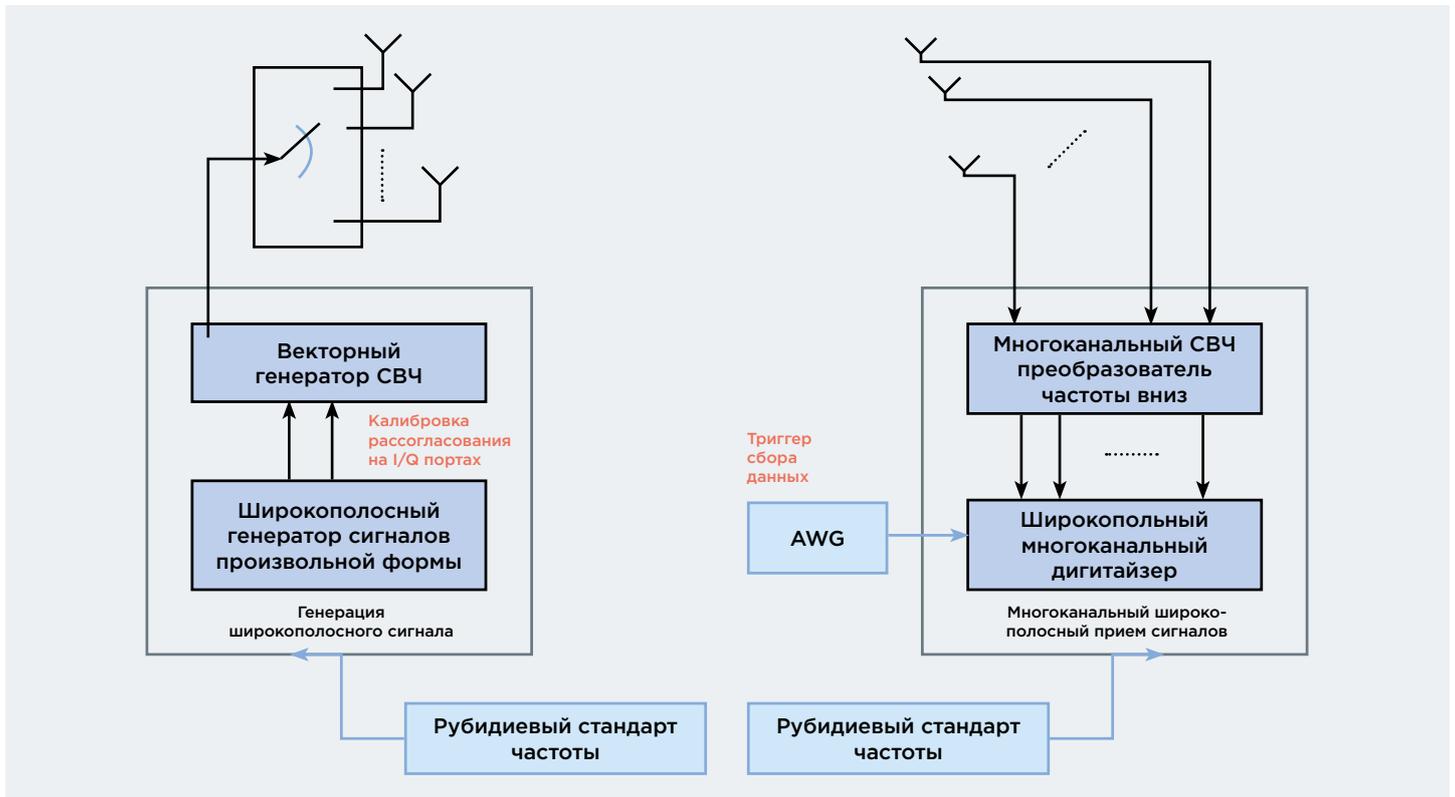
Модель исследования канала передачи состоит из трех этапов: зондирование тестовым сигналом, определение параметров радиоканала, статистическая обработка плюс моделирование

На выставке Продуктроника 2015 были представлены решения по тестированию систем связи нового поколения. Особенно интересными были решение и предложенное оборудование для разработки и тестирования стандарта связи пятого поколения 5G от компании Keysight Technologies, которое позволяет компании заявить о лидерстве в тестировании стандартов связи 5G.

Телекоммуникационный стандарт связи пятого поколения 5G позволяет поддерживать обмен информацией, в сотни раз превышающий возможности 4G сетей. Он разрабатывается для обеспечения межмашинного взаимодействия, подключенных к интернету автомобилей, производственных машин и прочих систем, требующих колоссального объема и скорости обмена данными, т.е. входит в понятие «интернет вещей». Для пользователей мобильных устройств создание стандарта 5G означает обладание мобильным интернетом со скоростью 100 Мбит/с, что позволит смотреть видео в прямой трансляции сверхвысокой четкости (7680) пикселей прямо со своего мобильного телефона.

Проблемы и алгоритмы разработки каналов связи стандартов связи 5G

В июне 2015 года Международный союз электросвязи разработал дорожную карту развития технологии и назвал ее «ИМТ-2020». Была поставлена цель внедрить стандарт ИМТ-2020 к 2020 году. Выполнить требования этого стандарта — значит добиться увеличения пропускной способности сети в сотни раз,кратно повысить скорости передачи данных и построить сервисные службы, способные оперативно устранять неполадки в сети миллиметрового диапазона. В частотном диапазоне, используемом в настоящее время, а именно до 6 ГГц, большинство задач по увеличению производительности в 10, 100 и 1000 раз являются технически невыполнимыми. Следовательно, новые беспроводные интерфейсы будут разрабатываться в сантиметровом (см) и миллиметровом (мм) диапазоне длин волн, что соответствует частотам до 100 ГГц. Исследование радиоканала миллиметрового диапазона волн открывает инженерам множество новых особенностей. В статье мы сформулируем технические требования к радиосистемам, работающим в стандарте 5G, рассмотрим методы тестирования радиоканалов, выявим проблемы, связанные с построением измерительных систем тестирования стандарта 5G, предложим методы решения и приведем пример постро-



2

Система измерения стандартов связи 5G

ения измерительных систем, представленный на выставке Продуктроника нашими партнерами, компанией Keysight Technologies.

Сформулируем основные технические требования, которые предстоит выполнить для построения измерительной системы тестирования стандарта 5G:

- Разработать измерительную систему, обеспечивающую генерирование и анализ сигналов на частоте несущей до 100 ГГц с шириной полосы спектра более 500 МГц.
- Поддерживать многоканальную передачу и обработку данных.
- Обеспечить сбор и хранение данных.
- Провести оценку параметров канала.
- Обеспечить калибровку системы и синхронизацию.
- Разработать программное обеспечение, которое сможет обеспечить полный объем вычислений и осуществлять командное управление модулями системы измерений.

Взяв за основу технические требования, рассмотрим алгоритм тестирования радиоканала рис 1. Сначала разработчикам необходимо пропустить тестовый сигнал через радиоканал. Затем накопленные отсчеты импульсной характеристики радиоканала (CIR, сокращ. англ.: channel impulse response) используются для оценки параметров канала, а полученные данные — для разработки новых моделей канала.

На основе имеющихся технических требований и алгоритма тестирования радиоканала формируется структурная схема измерительной системы для тестирования каналов связи 5G рис 2.

Для увеличения производительности радиосвязи в 10, 100 и 1000 раз новые стандарты связи наиболее вероятно будут включать частоты несущих сигналов до 100 ГГц, ширина полосы спектра сигнала будет находиться в диапазоне от 500 МГц до 2 ГГц, а также требуется поддержка многоканального приема и передачи данных. Система измерения должна не только поддерживать вышеперечисленные технические требования, но и обеспечивать повторяемость измерений. Основными элементами системы измерения будут широкополосный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) в составе генератора сигналов произвольной формы AWG (сокращ. англ.: arbitrary waveform generator) и АЦП (аналого-цифровой преобразователь) в составе широкополосного осциллографа для поддержки необходимой пропускной способности и обеспечения необходимого уровня разрешения для выполнения требований к динамическому диапазону захваченного сигнала. Кроме того, в измерительном оборудовании должна быть предусмотрена возможность добавления функций, которые необходимы в данный момент или могут понадобиться позже, так как с развитием стандартов требования к испытаниям могут меняться. Также проблемой реализации приема и передачи сигналов являются большие ошибки

амплитуды и фазы, вызванные потерями в цепи распространения сигналов. Поэтому разработчики должны предусмотреть возможность уменьшения искажений исследуемых сигналов.

Также разработчики столкнутся с огромной проблемой по хранению и обработке данных. В многоканальной системе, которая получает и обрабатывает сигналы с шириной полосы спектра до 1 ГГц, поток данных будет измеряться в гигабайтах в секунду (Гб/с). Это, в свою очередь, приведет к быстрому заполнению памяти. Кроме того, придется решать задачу передачи данной информации от АЦП к устройству хранения. Это почти невозможно для данных, захваченных и обработанных в режиме реального времени. Есть два других метода сбора данных, которые следует применять для уменьшения количества хранимой информации:

1. Если длительность зондируемого сигнала меньше одного периода передачи, можно захватить только эффективные данные или только те, которые необходимы для выполнения расчетов импульсной характеристики радиоканала.
2. Дополнительно можно проводить измерения широкополосного сигнала в режиме реального времени, выполнив коррелированную обработку сигналов, чтобы получить значения отсчетов импульсной характеристики радиоканала в системе измерения. Следовательно, должны быть сохранены только значения отсчетов импульсной характеристики радиоканала.

Большая часть исследований на сегодняшний день проводится на одноканальных системах связи. Технология MIMO (сокращ. англ.: Multiple Input Multiple Output) позволяет осуществлять многоканальную коррелированную передачу и прием данных.

Ключевая проблема при построении MIMO-системы — определение пространственных параметров. Это угол прибытия радиоволны (от англ. AoA: angle of arrive), угол вылета радиоволны (от англ. AoD: angle of departure) и угловая расходимость (от англ. AS: angular spread). Есть несколько алгоритмов для оценки параметров канала, среди них: формирование диаграммы направленности, метод пространственного разделения каналов, метод максимального правдоподобия (ML). В частности, алгоритм SAGE (ML), основанный на методе максимального правдоподобия с относительно небольшим количеством вычислений, широко распространён в научном сообществе.

Калибровка и синхронизация имеют первостепенное значение для получения точных и надежных результатов в измерительной системе. Синхронизация подсистемы передатчика и приемника может быть достигнута с помощью двух рубидиевых стандартов тактовой частоты 10 МГц, обеспечивая стабильную высокую точность синхронизации. Кроме того, сигналы запуска должны использоваться для синхронизации

зондирующего сигнала с началом обработки данных. В измерительной системе, работающей в миллиметровом диапазоне длин волн **рис 2**, должен быть выполнен следующий процесс калибровки:

- Калибровка системы заключается в физическом подключении передатчика к приемнику для настройки опорной частоты и тактовой частоты системы. Это позволит получить точные значения амплитуды, фазы и времени при оценке параметров радиоканала.
- Дифференциальные IQ-выходы генератора сигналов произвольной формы (AWG) могут иметь расхождение, разное усиление и ошибки квадратуры, влияющие на качество сигнала. Калибровку IQ необходимо использовать для решения проблем дисбаланса фаз у синфазного и квадратурного сигнала на IQ выводах генератора сигналов произвольной формы (AWG).
- Многоканальный широкополосный дигитайзер или осциллограф имеет межканальные временные и фазовые сдвиги, которые будут влиять на результаты измерений. Для измерения межканальных фазовых сдвигов могут быть использованы различные способы. Один из методов калибровки заключается в измерении амплитуды и разности фаз в широком диапазоне частот для каждого канала с применением широкополосного фильтра коррекции.
- Калибровка антенн и системы питания также должна быть изучена. Необходимо проверить данные о калибровке, предоставленные изготовителем антенн. Если эти данные отсутствуют, система из фазированной антенной решетки должна быть измерена в безэховой камере, где полученные характеристики сравниваются с теоретическими значениями для данной фазированной антенной решетки.

Пример построения системы измерения широкополосных сигналов на частоте несущей 60 ГГц и 72 ГГц, продемонстрированный компанией Keysight Technologies на выставке Продуктроника 2015

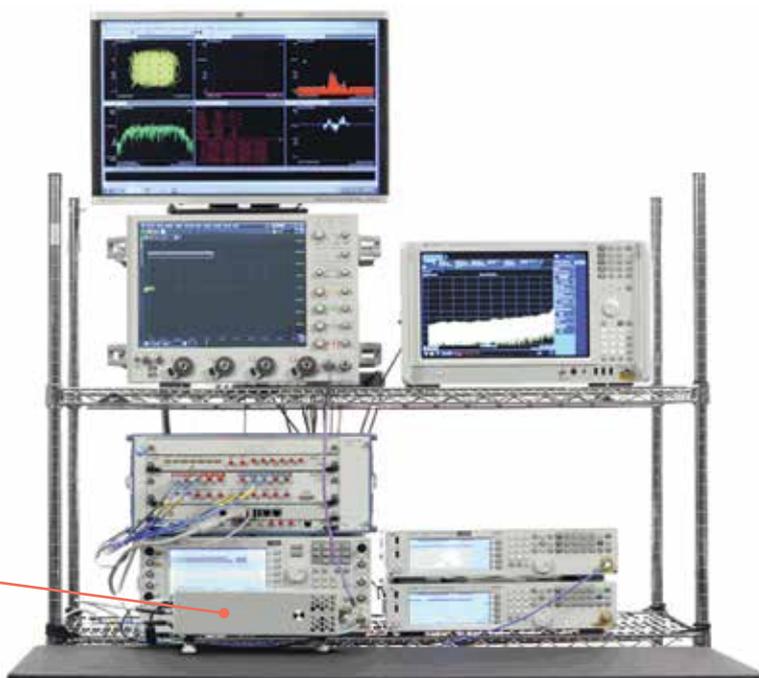
Измерительная система для тестирования широкополосных сигналов **рис 3** состоит из программного обеспечения и парка измерительного оборудования. В качестве программного обеспечения используется продукт SystemVue (Keysight Technologies), основное назначение которого — моделирование сигналов стандарта 5G из встроенной библиотеки или созданных пользователем IQ сигналов для оценки качества используемых алгоритмов. А также — построение архитектуры системы измерения и разработка алгоритмов тестирования. Второе программное обеспечение Signal Analysis 89600A (Keysight Technologies) используется для демодуляции и анализа векторных широкополосных сигналов на выходе радиоканала.

Функционирование системы обеспечивают генераторы. Двухканальный генератор сигналов произвольной формы M8190A с вертикальным разрешением 14-бит при частоте дискретизации 8 ГВыб/с или 12 бит при частоте дискретизации 12 ГВыб/с, позволяющий генерировать сигналы с шириной спектра сигнала до 5 ГГц и длиной записи до 2 ГВыб на канал. Векторный генератор сигналов E8267D с дифференциальными

I/Q выходами (опция 016), генерирующий широкополосные сигналы с полосой 2 ГГц на частоте несущей до 44 ГГц. Для генерирования сигналов на частотах до 90 ГГц используются внешние смесители. Генераторы сигналов Keysight серии MXG используются в качестве гетеродинов для внешних смесителей. Для анализа и демодуляции сигналов применяются анализаторы сигналов Keysight UXA N9040B или PXA N9030A. Если требуется анализировать сигналы с шириной полосы спектра несколько ГГц, используется осциллограф Keysight Infiniium DSOZ632A с установленным программным обеспечением 89600A.

Теперь рассмотрим принципы функционирования системы. Программное обеспечение SystemVue используется для формирования сигнала шириной 2 ГГц и частотой дискретизации 8 ГВыб/с. Данные о форме сигнала загружаются в генератор сигналов произвольной формы M8190A, выходы которого подключаются к I/Q портам векторного генератора сигналов E8267D. Векторный генератор сигналов генерирует широкополосный сигнал с внешнего генератора на частоте несущей 5 ГГц. Затем сигнал поступает на вход внешнего смесителя Keysight Technologies N5152A, который переносит его на частоту несущей 60 ГГц. В качестве гетеродина к внешнему смесителю используется аналоговый генератор сигналов Keysight Technologies серии MXG. Полученный сигнал распространяется по исследуемому радиоканалу и поступает на вход осциллографа Infiniium DSOZ632A для последующей демодуляции и анализа. Важно отметить,

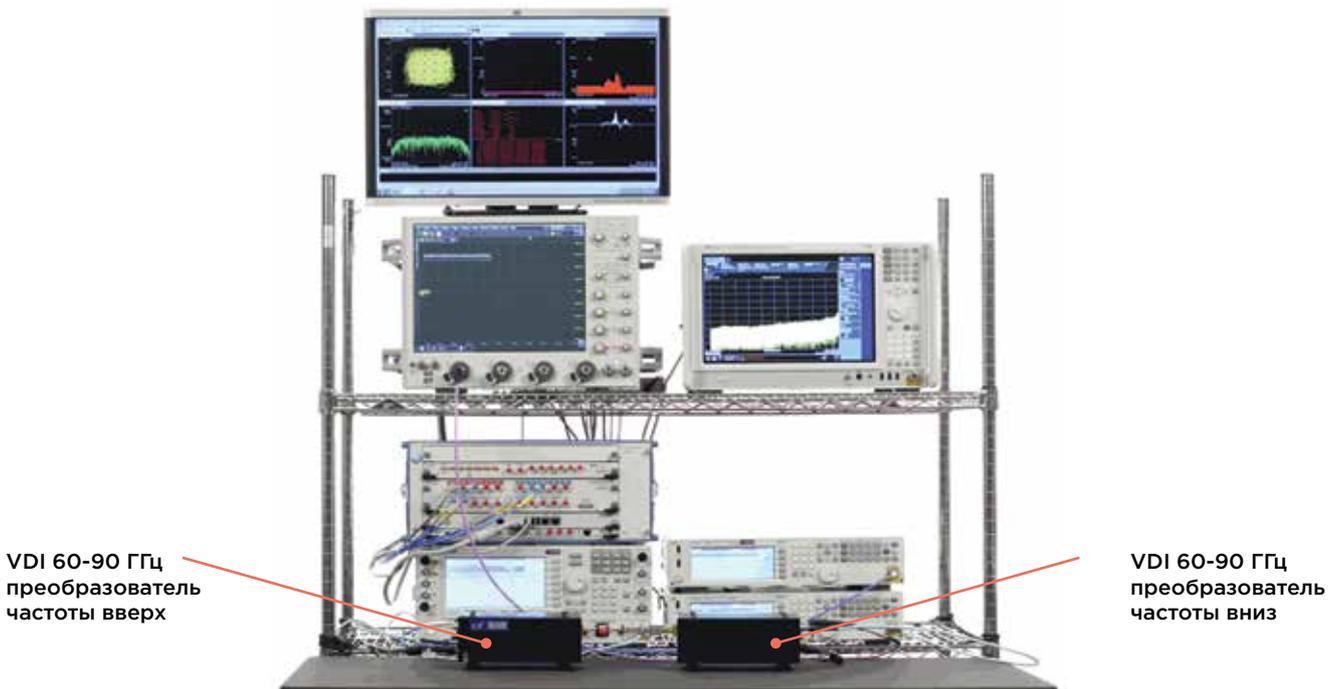
Keysight 5152A
5 ГГц/60 ГГц
преобразователь
частоты вверх



что исследуемый сигнал анализируется на осциллографе напрямую, исключая влияние на погрешности по амплитуде и фазе от внешнего смесителя для преобразования сигнала в промежуточную частоту. Как говорилось в технических требованиях, для таких сигналов важно уменьшать ошибки амплитуды и фазы, вызванные потерями в цепи распространения сигналов: генератор сигналов произвольной формы M8190A, векторный генератор E8267D, кабели, смеситель РЧ и переходники. Данная измерительная система может решить эту проблему. Линейные ошибки амплитуды и фазы, вызванные цепью сигнала, вычитаются из демодулированного сигнала при помощи внутреннего эквалайзера встроенного программного обеспечения 89600 VSA, которое передает данные для корректировки сигнала в программном обеспечении SignalVue. Подобная измерительная система может быть собрана для частоты несущей 72 ГГц рис 4. Для этого нужно заменить внешний смеситель N5152A до 60 ГГц на смеситель, поддерживающий преобразование сигнала до 90 ГГц, и для улучшения отношения сигнал-шум добавить фильтр на выходе смесителя. Сигнал на выходе радиоканала будет преобразован вторым внешним смесителем в промежуточную частоту 4 ГГц для последующей обработки на анализаторе сигналов.

Заключение

Чтобы воплотить технологию 5G в жизнь, необходимо решить множество задач, связанных с исследованием и разработкой новых стандартов связи. При изучении каналов с изменяющимися во времени параметрами и многолучевым распространением радиоволн получаемые измерительные системы будут крайне сложными. Система измерения должна состоять из измерительного оборудования, поддерживающего прием и передачу сигналов миллиметрового диапазона длин волн, а также обеспечивать прием и обработку широкополосных сигналов по нескольким каналам (MIMO). Оборудование в составе системы должно быть откалибровано и обеспечено системой синхронизации, что позволит производить точные измерения с высокой повторяемостью с использованием нужных алгоритмов оценки параметров канала. Таким образом проводится тестирование и разработка реалистичных и точных моделей радиоканалов связи пятого поколения. На Продуктронике наши партнеры, компания Keysight Technologies, продемонстрировали не только парк оборудования, способный генерировать сверхширокополосные сигналы в векторной форме на несущей частоте до 44 ГГц, но и программное обеспечение с готовыми библиотеками сигналов стандарта 5G. А поскольку на программном уровне учитываются искажения, вносимые в цепи сигнала, можно с уверенностью утверждать, что решения компании Keysight Technologies наилучшим образом отражают текущие запросы разработчиков стандартов связи. □



4

Измерительная система для тестирования сигналов на частоте несущей 72 ГГц