

# Гибкое решение для формирования и анализа сигналов 5G

Грэг Джу (Greg Jue)

Хотя технологии LTE и LTE-Advanced все еще вводятся в эксплуатацию, уже полным ходом ведутся разработки беспроводных сетей следующего поколения. Скорее всего, это следующее поколение — 5G — будет представлять собой плотную высокоинтегрированную сеть, состоящую из небольших сот, поддерживающих скорость передачи до 10 Гбит/с и суммарные задержки менее 1 мс, используя при этом большое число радиointерфейсов в микроволновом и миллиметровом диапазоне частот. Такие комбинированные сети смогут поддерживать все — от простых межмашинных интерфейсов (M2M) до потоковой передачи данных виртуальной реальности. И хотя все это сулит множество преимуществ для конечного пользователя, для инженеров, разрабатывающих системы 5G, это сопряжено с некоторыми интересными проблемами.

## Проблемы формирования и анализа сигналов 5G

Переход от прогнозов к практической реализации начинается с создания, формирования и анализа прототипов сигналов. И поскольку в настоящее время стандарты 5G еще не утверждены, нет пока и четкого определения для сигналов на физическом уровне. Но, несмотря на отсутствие единого мнения о сигналах 5G, обычно рассматриваются такие реализации, как сигналы с применением групп фильтров для нескольких несущих (FBMC), универсальная фильтрация для нескольких несущих (UFMC) и мультиплексирование с ортогональным разделением частот (OFDM). Другие потенциальные модели включают сигналы в сантиметровом (около 6 ГГц) диапазоне и сигналы в СВЧ и миллиметровом (КВЧ) диапазоне частот, которые могут занимать широкие полосы до 2 ГГц. Большое число и разнообразие исследуемых сигналов, частот и полос порождает метрологические проблемы формирования и анализа сигналов 5G.

Ключом к преодолению этих проблем является гибкость на этапах исследования и раннего тестирования 5G. Оценивая ранние концепции и предполагаемые сигналы 5G, инженеры должны иметь возможность выполнять анализ типа «что, если...». Без этой возможности возрастает риск выбора неверного пути

и вероятность невыявления скрытых проблем до последних этапов цикла разработки (когда их устранение обходится значительно дороже и занимает больше времени). Гибкость, особенно в отношении средств создания и анализа сигналов, играет в этом случае исключительно важную роль, поскольку она может способствовать быстрому изменению направления исследований по мере появления потенциальных претендентов на звание сигналов 5G. Кроме того, инженерам может понадобиться настройка полос модуляции (от нескольких мегагерц до нескольких гигагерц) и частотных диапазонов (от ВЧ до СВЧ и КВЧ).

Типовое решение компании Keysight для формирования и анализа сигналов 5G предлагает оптимальный способ решения этих проблем. Оно сочетает в себе серийно выпускаемое оборудование и программное обеспечение и позволяет создать гибкую платформу для формирования и анализа сигналов 5G.

## Типовое решение для формирования и анализа сигналов 5G

Рассматриваемое типовое решение обеспечивает необходимую гибкость за счет программных и аппаратных элементов. Гибкость программных элементов гарантирует формирование и анализ разных типов потенциальных сигналов стандарта 5G и специальных сигналов. Сочетание гибкости аппаратных элементов с масштабируемостью позволяет генерировать и анализировать сигналы в диапазоне от ВЧ до КВЧ с полосой до 2 ГГц.

На рис. 1 показана комбинация программных и аппаратных средств, которую можно использовать для создания типового решения для формирования и анализа сигналов 5G. Для формирования широкополосных испытательных сигналов с полосой модуляции до 2 ГГц на частотах до 44 ГГц решение использует прецизионный генератор сигналов произвольной формы и векторный генератор сигналов с широкополосными входами I/Q и ПО создания сигналов. Более высокие частоты можно получить с помощью повышающего преобразователя частоты.

Такое сочетание оборудования с программным обеспечением позволяет генерировать предполагаемые сигналы 5G, такие как FBMC,

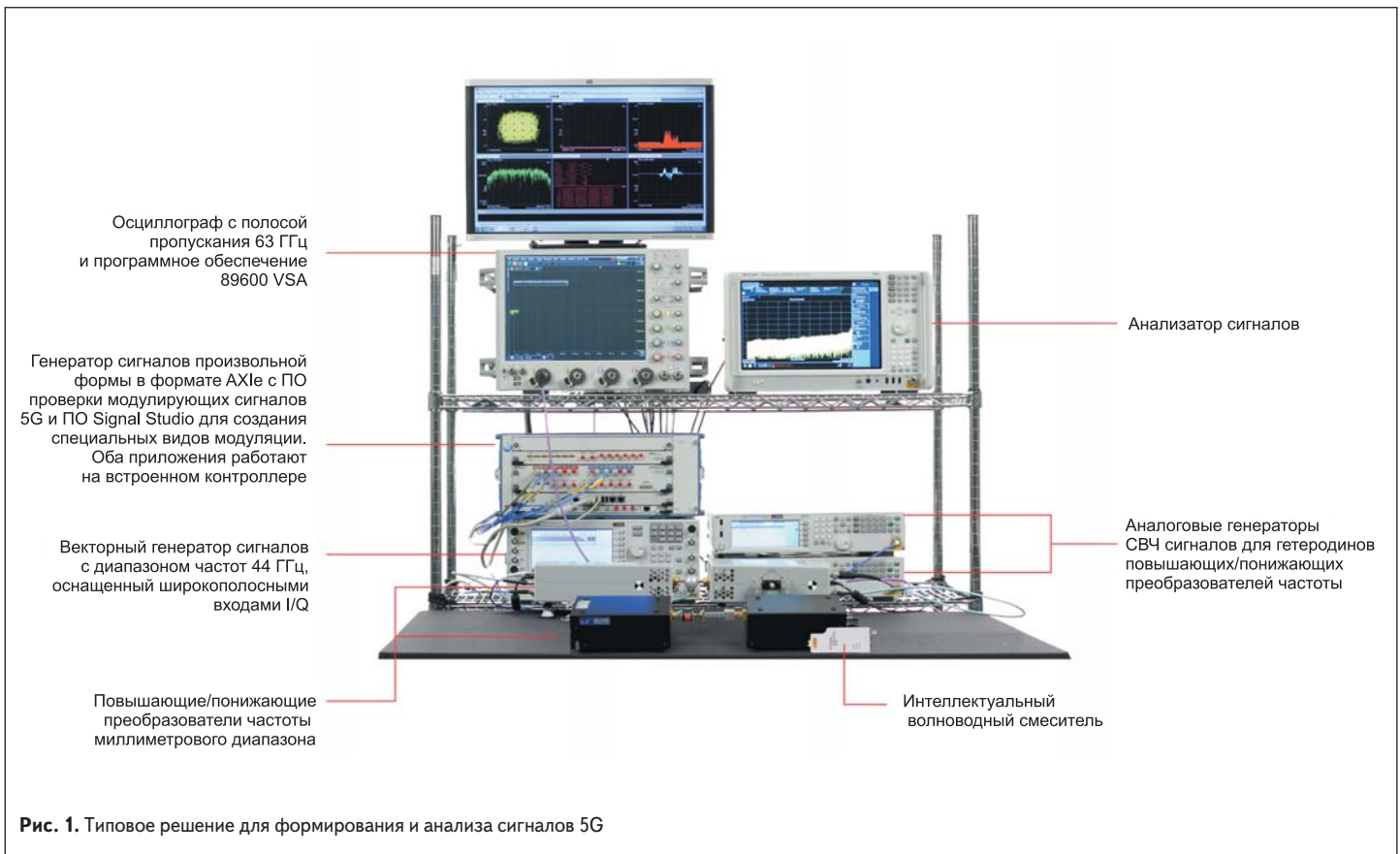


Рис. 1. Типовое решение для формирования и анализа сигналов 5G

OFDM и сигналы с одной несущей. Интеграция ПО проектирования системного уровня с оборудованием дополнительно позволяет создавать специальные алгоритмы и сценарии типа «что, если...», например для оценки совместимости сигналов LTE с сигналами FBMC.

Кроме того, типовое решение можно использовать для демодуляции и анализа испытательных сигналов. В этом случае ПО 89600 VSA используется обычно с ПО моделирования или с различными аппаратными опциями. К этим опциям относятся анализатор сигналов, осциллограф или ПК, управляющий измерительными приборами или дигитайзерами.

Чтобы продемонстрировать целесообразность типового решения такого рода, давайте рассмотрим два разных измерения. В первом случае испытательный сигнал с широкой полосой примерно 1 ГГц представляет собой сигнал OFDM частотой 28 ГГц (СВЧ-сигнал), во втором случае в качестве испытательного сигнала используется сигнал с одной несущей шириной 2 ГГц на частоте 73 ГГц (КВЧ-сигнал).

### СВЧ-сигналы: формирование и анализ специального сигнала OFDM на частоте 28 ГГц

В этом случае базовая конфигурация типового решения содержит прецизионный генератор сигналов произвольной формы и векторный генератор сигналов с широкополосными входами I/Q, которые создают широкополосные испытательные сигналы с частотой до 44 ГГц.

ПО создания сигналов позволяет создавать специальный сигнал OFDM с полосой модуляции примерно 1 ГГц на частоте 28 ГГц, как показано на рис. 2. Для преамбулы, пилот-

сигнала и поднесущих данных были настроены соответствующие параметры распределения, включая расположение и распределение каждого блока ресурсов. Значения I/Q настраивались для преамбулы, модуляции и полезной нагрузки для пилот-сигнала и сигнала данных.

Сигнал генерируется, затем записывается в генератор сигналов произвольной формы и воспроизводится им с помощью управляющей программы. Выходы IQ генератора сигналов произвольной формы подаются на входы IQ векторного генератора сигналов, а векторный генератор сигналов

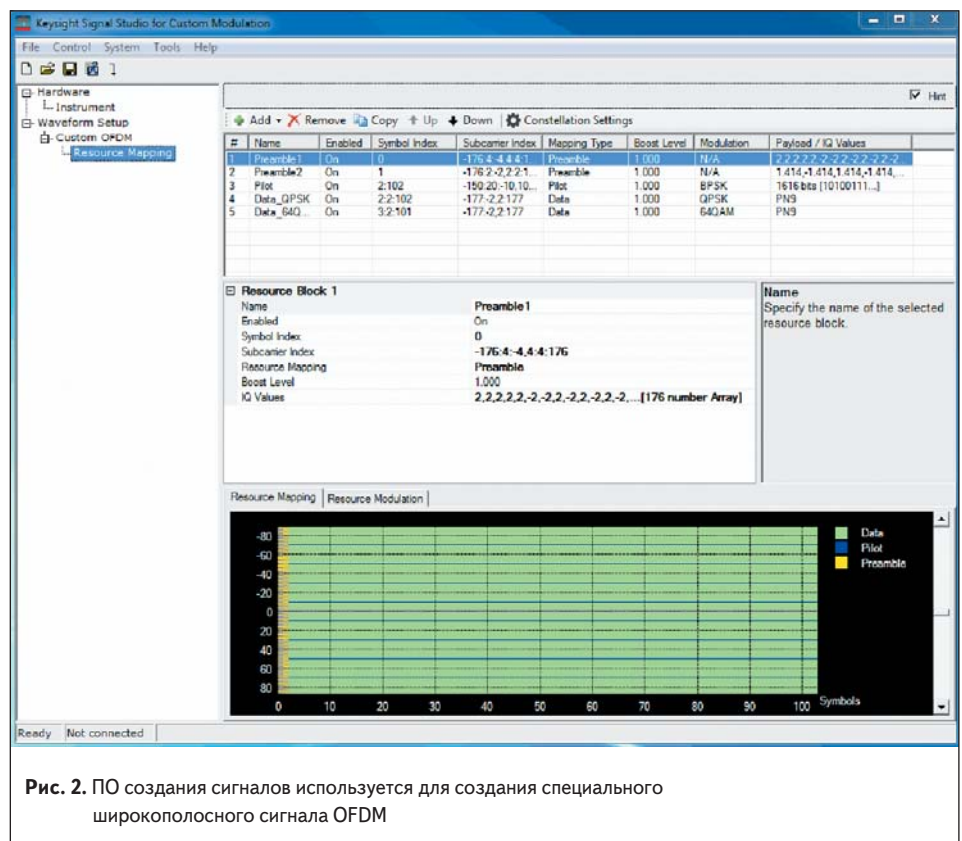
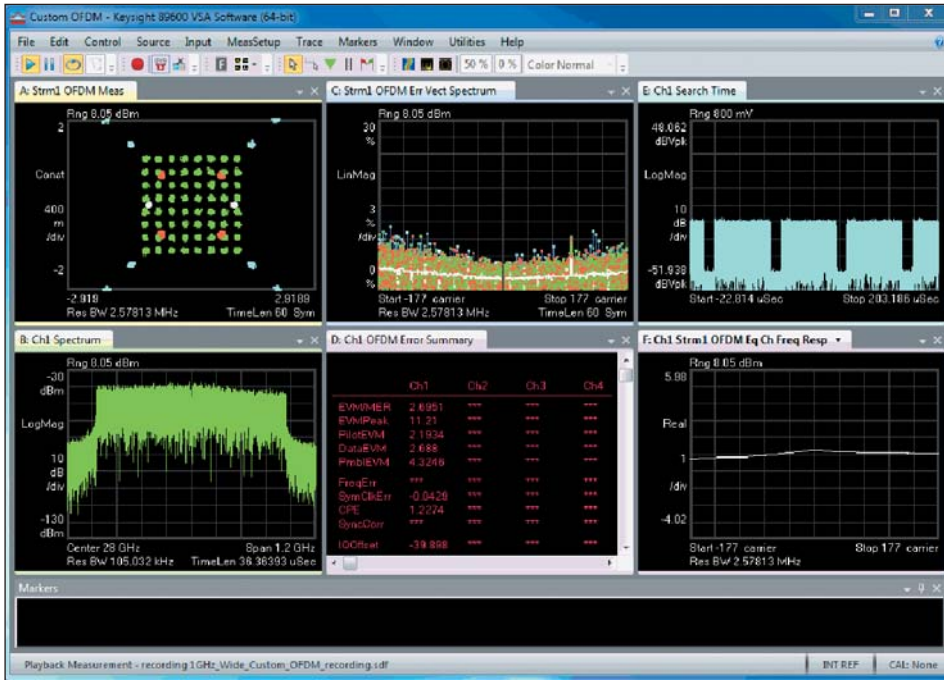


Рис. 2. ПО создания сигналов используется для создания специального широкополосного сигнала OFDM



**Рис. 3.** Демодуляция специального широкополосного сигнала OFDM с полосой примерно 1 ГГц на частоте 28 ГГц

транслирует сигнал на несущую частоту 28 ГГц. Испытательный сигнал с ВЧ-выхода векторного генератора сигналов анализируется с помощью прецизионного осциллографа с полосой пропускания 63 ГГц и ПО 89600 VSA.

Результирующее измерение испытательного сигнала в ПО 89600 VSA показано на рис. 3 в шести окнах:

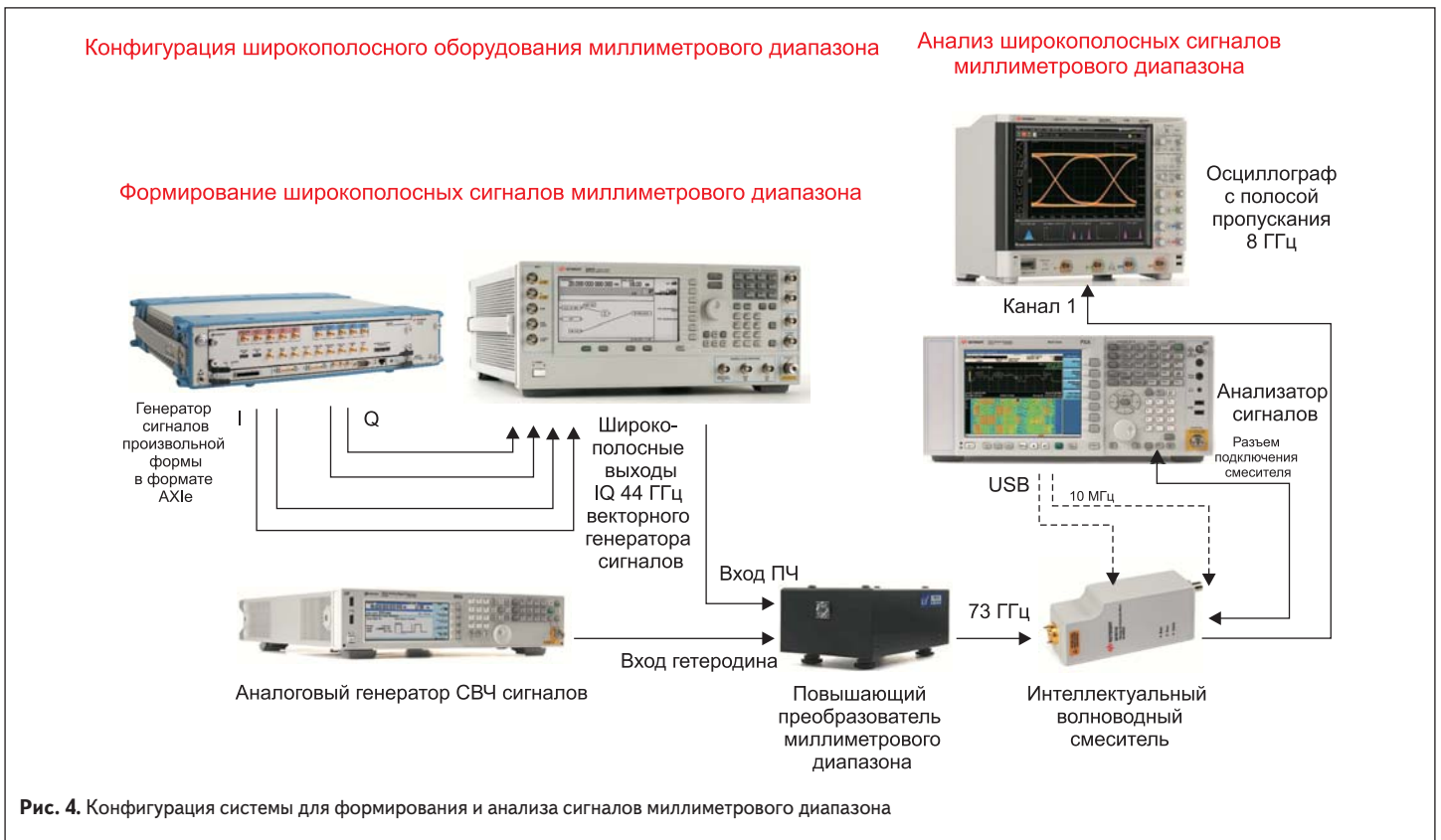
1. Слева сверху: сигнальное созвездие.
2. В центре сверху: зависимость EVM от поднесущей.
3. Справа сверху: время поиска импульса данных.
4. Слева внизу: спектр шириной примерно 1 ГГц с центральной частотой 28 ГГц.
5. В центре внизу: сводка ошибок.
6. Справа внизу: АЧХ канала эквалайзера OFDM.

### КВЧ-сигналы: формирование и анализ широкополосного сигнала с одной несущей на частоте 73 ГГц

В этом случае базовая конфигурация типового решения расширена до 73 ГГц с помощью повышающего преобразователя частоты миллиметрового диапазона для формирования сигнала и понижающего преобразователя миллиметрового диапазона или интеллектуального волноводного смесителя для анализа сигналов. На рис. 4 показана простая структурная схема измерительной системы для формирования и анализа сигналов миллиметрового диапазона. В качестве гетеродина повышающего преобразователя миллиметрового диапазона используется генератор СВЧ-сигналов, а к выходу повышающего преобразователя подключены усилитель и фильтр миллиметрового диапазона (на рис. 4 не показаны).

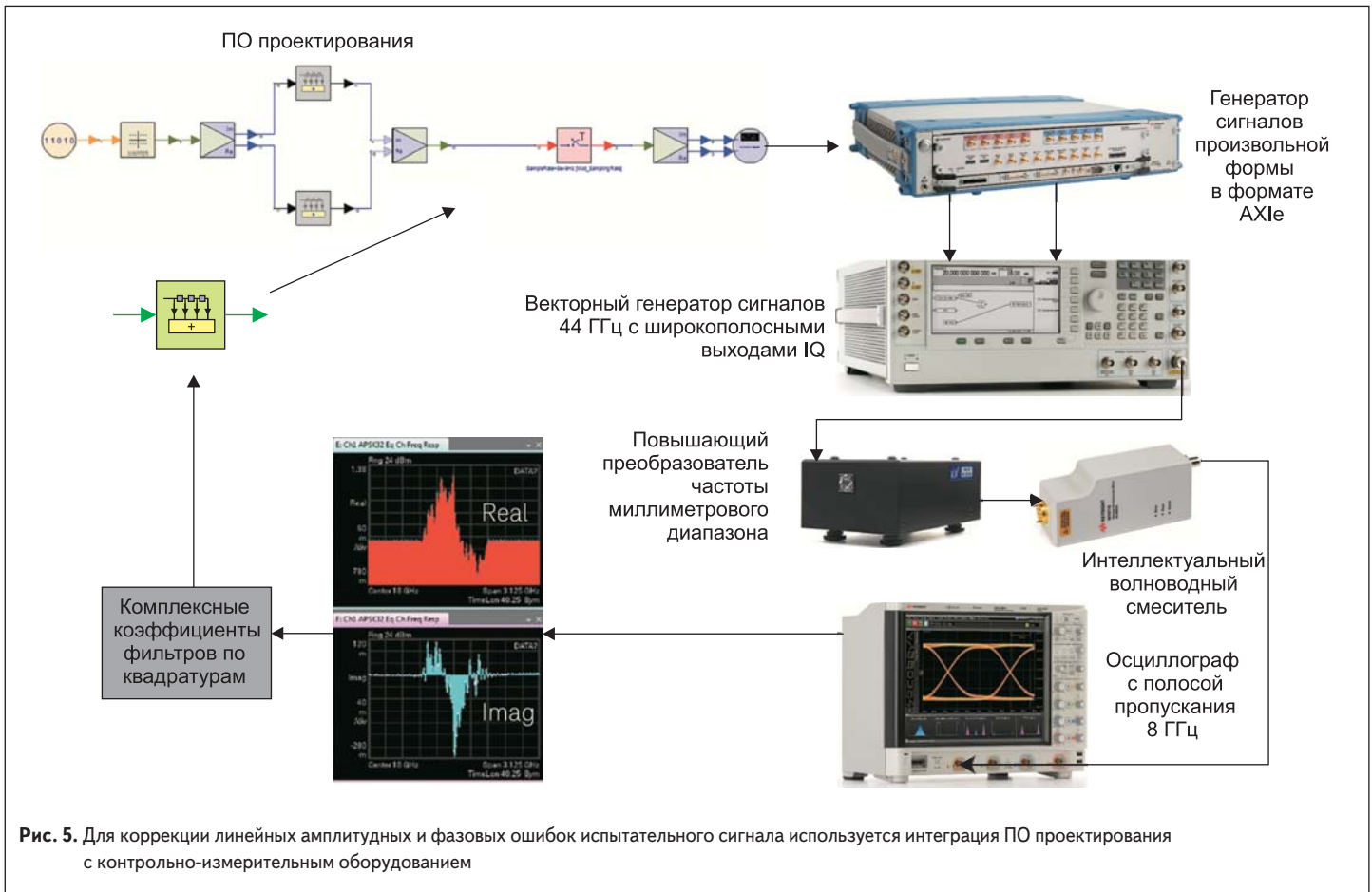
Для анализа сигналов в диапазоне 60–90 ГГц используются интеллектуальный волноводный смеситель, анализатор сигналов и осциллограф. Интеллектуальный волноводный смеситель подключен к выходу повышающего преобразователя миллиметрового диапазона, а сигнал с выхода ПЧ поступает на анализатор сигналов для анализа спектра. Вспомогательные выходы ПЧ подаются на осциллограф для анализа широкополосной модуляции с помощью ПО VSA.

На таких частотах и в таких полосах генератор сигналов произвольной формы, векторный генератор сигналов, повышающий преобразователь частоты, интеллектуальный волноводный смеситель, кабели/соединители и анализатор сигналов могут породить



**Рис. 4.** Конфигурация системы для формирования и анализа сигналов миллиметрового диапазона





линейные ошибки амплитуды и фазы. Эти ошибки снижаются путем соответствующей векторной коррекции с помощью адаптивного эквалайзера в ПО VSA. Эквалайзер создает комплексную частотную характеристику, которую можно использовать для минимизации амплитудных и фазовых ошибок. Для этого частотная характеристика загружается в ПО проектирования системного уровня, используемое для формирования широкополосных сигналов, а затем используется для предварительной коррекции сигналов, как показано на рис. 5.

На рис. 6 показан анализ демодуляции скорректированного сигнала частотой 73 ГГц с полосой модуляции 2 ГГц. Демодуляция сигнала с полосой 2 ГГц без адаптивной коррекции обычно достаточно сложна из-за погрешностей оборудования в широкой полосе. Однако в этом примере линейные ошибки амплитуды и фазы корректировались в ПО моделирования так, чтобы сгенерировать нужный сигнал с малым значением EVM без адаптивной коррекции.

\*\*\*

Разработка устройств 5G предъявляет противоречивые требования, которые очень трудно реализовать одновременно. Исследователям и инженерам нужна высокая степень гибкости, которая помогла бы решать эти проблемы и быстро реагировать на изменения по мере развития технологий 5G.

Описанное в этой статье типовое решение для работы с сигналами 5G использует обо-

рудование и программное обеспечение для создания гибкой испытательной платформы, обеспечивающей формирование и анализ сигналов 5G. Это решение позволяет инженерам и исследователям генерировать и анализировать вновь появляющиеся прототипы сигналов 5G. За счет применения в данном

решении программных компонентов достигается многообразие типов генерируемых и анализируемых сигналов 5G. Аппаратные компоненты решения обеспечивают гибкость и масштабируемость в диапазоне от ВЧ до СВЧ и миллиметрового диапазона с полосой модуляции до 2 ГГц. ■

