

Сосуществование сигналов спутниковой связи и систем связи стандарта 5G

Потенциальная проблема разделения спектра между спутниковыми приложениями и приложениями 5G заставляет задуматься о возможности их сосуществования. В статье представлен испытательный стенд, предназначенный для исследования потенциальных сценариев совместной работы спутникового оборудования и оборудования 5G в диапазоне 28 ГГц. Показаны результаты исследования.

Грэг Джу (Greg Jue)

Сегодня спектр ниже 6 ГГц перегружен, отличается сложной структурой и практически не имеет свободных участков. В отличие от этого сантиметровый и миллиметровый диапазоны предлагают обширные участки непрерывного спектра для приложений 5G с присущими им высокими скоростями передачи данных. По этой и другим причинам органы надзора продолжают работу с новыми участками спектра. Например, в июле 2016 г. Федеральная комиссия связи США (FCC) зарезервировала участок спектра шириной 11 ГГц для широкополосной радиосвязи, чтобы обеспечить быструю разработку и внедрение технологий и услуг пятого поколения (5G) [1]. Сюда вошли лицензируемый участок спектра шириной 3,85 ГГц и нелицензируемый участок спектра шириной 7 ГГц: служба многофункционального применения верхнего СВЧ-диапазона на частотах 28 ГГц (27,5–28,35 ГГц), 37 ГГц (37–38,6 ГГц) и 39 ГГц (38,6–40 ГГц), а также новый нелицензируемый диапазон 64–71 ГГц.

Заявление, сделанное FCC в июле 2016 г., свидетельствует о том, что совместное использование лицензируемого участка спектра является ключевым элементом будущей политики. В настоящее время диапазон 28 ГГц является лицензируемым диапазоном услуг фиксированной спутниковой связи [2].

Потенциальная проблема разделения спектра между спутниковыми приложениями и приложениями 5G ставит ребром вопрос о том, как они могут сосуществовать. Исследование сосуществования планируемых сигналов 5G и спутниковых сигналов может стать очень важной областью, позволяющей выявлять потенциальные проблемы в индустрии. Здесь очень полезным оказался бы конфигурируемый испытательный стенд для изучения всевозможных сценариев сосуществования сигналов, как в лабораторной среде, так и в реальных полевых условиях для внедрения готовых систем.

В этой статье описывается испытательный стенд, который предназначен для исследования потенциальных сценариев совместной работы спутникового оборудования и оборудования 5G в диапазоне 28 ГГц. Гибкость генерации сигнальных сценариев достигается за счет применения программного обеспечения (ПО) моделирования в сочетании с широкополосными высокочастотными контрольно-измерительными приборами. Далее будет продемонстрировано ситуационное исследование планируемых сигналов 5G и спутниковых сигналов в частотном диапазоне 28 ГГц с целью оценки их сосуществования в нескольких разных сценариях. И, хотя в статье это не показано, испытательный стенд легко масштабируется и может применяться для исследования взаимодействия сигналов на частотах ниже 6 ГГц, а также в миллиметровом диапазоне.

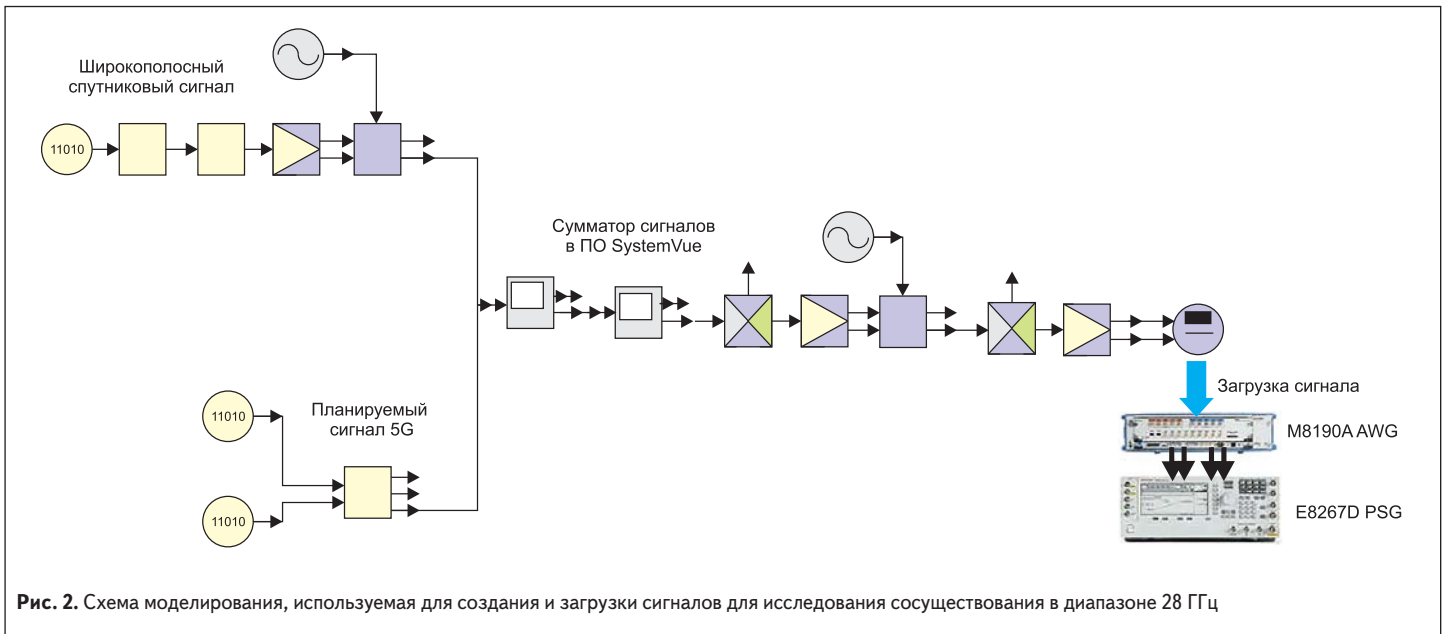
Испытательный стенд для исследования проблем сосуществования

На рис. 1 показан испытательный стенд, который будет использоваться для исследования сигналов в диапазоне 28 ГГц. Для генерации широкополосных спутниковых и 5G испытательных сигналов используется векторный генератор PSG



Рис. 1. Испытательный стенд для исследования сосуществования в диапазоне 28 ГГц.

1 — осциллограф DSOV334A, 33 ГГц; 2 — AWG M8190A с установленным на встроенный контроллер ПО SystemVue; 3 — анализатор UXA N9040B, 50 ГГц



с широкополосными входами IQ в сочетании с широкополосным прецизионным генератором сигналов произвольной формы (AWG). AWG генерирует сигналы квадратур, которые модулируют соответствующую несущую частоту в диапазоне 28 ГГц с помощью векторного генератора PSG. Такая комбинация позволяет формировать испытательные сигналы частотой до 44 ГГц с полосой модуляции до 2 ГГц. Анализ испытательных моделей выполняется с помощью анализатора сигналов с диапазоном частот 50 ГГц, полосой анализа 1 ГГц или с помощью осциллографа с полосой пропускания 33 ГГц.

ПО моделирования установлено на встроенный контроллер AWG. Оно будет использоваться также для генерации сценария сосуществования в следующем примере.

Исследование сосуществования в диапазоне 28 ГГц

Для генерации сигнального сценария сосуществования в диапазоне 28 ГГц использовалась схема моделирования, показанная на рис. 2.

В этом сценарии сосуществования в качестве спутникового сигнала использовался сигнал с широкополосной амплитудно-фазовой манипуляцией (APSK). Источник испытательного сигнала APSK показан в левом верхнем углу. В качестве планируемого сигнала 5G использовался сигнал со специальной широкополосной модуляцией OFDM (мультиплексирование с ортогональным делением частот), который показан в левом нижнем углу. Оба источника испытательных сигналов обладают целым рядом параметров, которые можно настраивать для получения нужных характеристик сигнала. Эти сигналы были выбраны, чтобы продемонстрировать концепцию сценария сосуществования, но пользователь может заменить их сигналами другого типа в соответствии с интересующим его конкретным приложением.

Для семплирования и объединения спутникового сигнала и планируемого сигнала 5G используется сумматор сигналов ПО моделирования. Этот элемент позволяет объединить несколько входных сигналов с разными центральными частотами,

полосами и частотами дискретизации и создать композитный выходной сигнал, который можно загружать в контрольно-измерительное оборудование и генерировать сигналы для проверки сосуществования.

Загрузчик сигналов AWG показан в правой части схемы моделирования. По окончании моделирования компоненты I и Q сложного композитного сигнала автоматически загружаются в генератор. Выходы I и Q AWG подаются на широкополосные входы квадратур на задней панели векторного генератора сигналов PSG и используются для модуляции несущей с частотой в диапазоне 28 ГГц.

Результирующий сигнал показан на рис. 3. Специальный сигнал OFDM показан в левой

части спектра, а спутниковый сигнал APSK — в правой. Центральные частоты и полосы в этом сценарии были настроены так, чтобы обеспечить достаточный защитный интервал между двумя сигналами.

Успешное одновременное сосуществование в этом сценарии демонстрируется путем демодуляции специального сигнала OFDM с помощью ПО векторного анализа сигналов, запущенного на контрольно-измерительном приборе. В данном сценарии созвездие OFDM выглядит сравнительно чистым, демонстрируя благополучное сосуществование двух сигналов.

Затем в сигнальный сценарий были внесены изменения, а именно, был изменен частотный интервал между двумя сигналами. На рис. 4

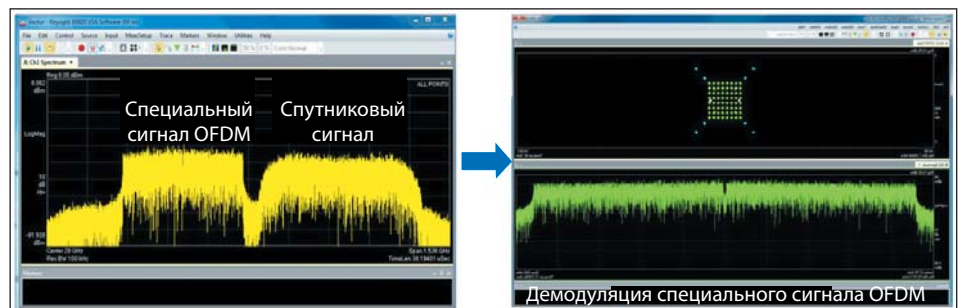


Рис. 3. Благополучное сосуществование планируемого сигнала 5G и спутникового сигнала

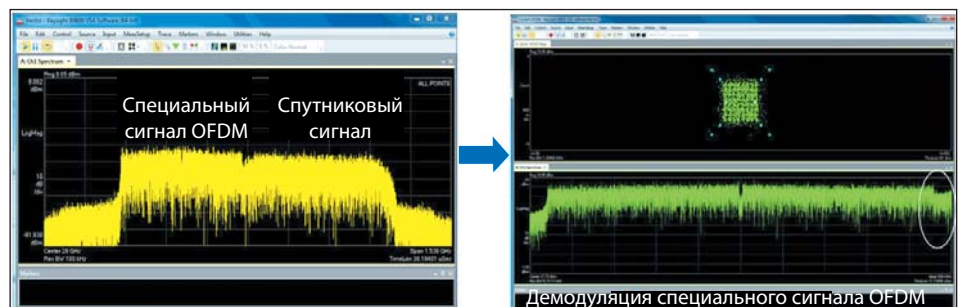


Рис. 4. Неблагополучное сосуществование планируемого сигнала 5G и спутникового сигнала

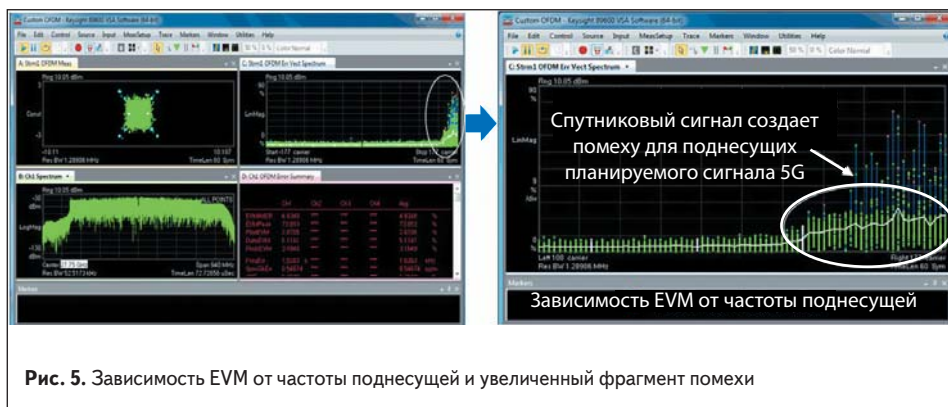


Рис. 5. Зависимость EVM от частоты поднесущей и увеличенный фрагмент помехи

видно, что теперь спутниковый сигнал перекрывается со специальным сигналом OFDM, и необходимый защитный интервал между двумя сигналами отсутствует.

Эффективность сосуществования в этом сценарии можно оценить, выполнив векторный анализ сигнала. Сигнальное созвездие демонстрирует значительную дисперсию, возникающую в результате наложения спутникового сигнала на сигнал OFDM. Более точную картину помех можно получить, измеряя зависимость амплитуды вектора ошибки (EVM) от частоты поднесущей, как показано на рис. 5.

На левом снимке экрана запущен основной интерфейс ПО векторного анализа сигнала, в правом верхнем углу отдельно показано влияние спутникового сигнала на зависимость EVM от частоты поднесущей, особенно заметное у верхней границы диапазона. В правом ниж-

нем углу левого снимка экрана ПО векторного анализа сигнала показано сравнительно большое значение EVM, которое свидетельствует о неблагоприятном сосуществовании в этом сценарии планируемого сигнала 5G со специальной модуляцией OFDM и спутникового сигнала. Это значение EVM получено путем усреднения за все время захвата во всей полосе сигнала, но, если необходимо, ПО векторного анализа сигнала может показать зависимость ошибок от частоты (от поднесущей) или от времени (от символов).

На показанном справа экране ПО векторного анализа сигнала ось X растянута так, чтобы показать поднесущие, поврежденные спутниковым сигналом. Белая кривая показывает зависимость среднего значения EVM от частоты поднесущей. Видно, что ошибки резко возрастают у верхней границы диапазона, где спутниковый сигнал

накладывается на планируемый сигнал 5G OFDM. Синие и зеленые вертикальные линии представляют распределение EVM по поднесущим в зависимости от символа.

По мере развития стандарта 5G и политики использования спектра проблема сосуществования будет стоять все более остро. В настоящей статье описан многофункциональный испытательный стенд, который можно использовать для исследования потенциальных проблем сосуществования в различных сигнальных сценариях. И хотя для реализации этих сценариев использовалось ПО моделирования в сочетании с широкополосным контрольно-измерительным оборудованием, сценарии можно обрабатывать и автономно в ПО моделирования (например, можно моделировать влияние сосуществования на коэффициент битовых ошибок). Кроме того, хотя в статье это и не показано, описанный испытательный стенд можно использовать для создания сигнальных сценариев сосуществования в частотном диапазоне 39 ГГц. Демонстрационный видеоролик можно увидеть по ссылке [3]. ■

Оригинал статьи опубликован в *Microwave Journal*, март 2017.

Литература

1. https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-340301A1.pdf
2. https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-16-89A1.docx
3. www.keysight.com/find/5G