

Keysight Technologies

Использование адаптивной цифровой модуляции
при тестировании регенеративных
транспондеров

Рекомендации по применению

Введение

При тестировании регенеративных транспондеров систем спутниковой связи появляются проблемы, которые отсутствуют при тестировании обычных спутниковых систем, использующих прозрачный режим (сигналы усиливаются и преобразуются только по частоте, т. е. не демодулируются на борту ИСЗ). Это связано с двумя основными причинами. Во-первых, тестируемые транспондеры работают с аналоговыми и цифровыми модулированными сигналами. Во-вторых, используемый формат цифровой модуляции может быть широкополосным, высокого порядка или специальным.

Для глубокого понимания того, что происходит в сигнальной цепи, необходим системный подход к разработке и моделированию устройств, а также к генерированию и анализу сигналов. При этом целостность всего цикла – от разработки до тестирования – снижает риски при интеграции системы в целом.

В данных рекомендациях по применению основное внимание уделено решению проблем, усложняющих системную интеграцию. Измерения могут быть выполнены с помощью программных и аппаратных средств компании Keysight, включая ПО SystemVue с библиотекой цифровых модемов и ПО 89600 VSA, генератор сигналов произвольной формы M8190A, векторный генератор сигналов E8267D серии PSG, осциллограф серии Infiniium 90000Q и логический анализатор серии 16850 с динамическим пробником для отладки ПЛИС. В приведенных ниже примерах показано, как измерять амплитуду вектора ошибок (EVM) – основной параметр модулированных сигналов, представленных в аналоговой или цифровой форме.

Основные проблемы

Широкое применение цифровых спутниковых линий связи связано с тем, что они имеют множество преимуществ по сравнению с аналоговыми линиями. С точки зрения конструкции, цифровыми интерфейсами управлять легче, чем аналоговыми каналами.

Спутниковые регенеративные транспондеры представляют собой системы, работающие со смешанными сигналами – аналоговыми и цифровыми модулированными сигналами. Трудности при тестировании связаны с изменениями формата сигналов в процессе их приема и последующей передачи. Например, амплитуды сигналов, представленные аналоговыми напряжениями, преобразуются в цифровые выборки, передаваемые по сигнальной шине с использованием нескольких уровней напряжения. Дополнительные сложности возникают и при передаче выборок синфазной и квадратурной составляющих (I/Q) по двум синхронизированным шинам.

Для устранения неисправностей часто требуется выполнять перекрестный анализ цифровой и аналоговой частей системы. С этой целью анализируются параметры модуляции цифровых и аналоговых сигналов как для блоков аналого-цифрового преобразования, так и для блоков цифро-аналогового преобразования системы.

Проблемы, связанные с цифровыми сигналами, обнаруживаются с помощью различных интерфейсов, предназначенных для конкретных аппаратных компонентов. При этом, как правило, необходим доступ к сигналам шин I/Q через множество контрольных точек. Доступ к сигналам усложняется, если система содержит ПЛИС, так как нужные контрольные точки не всегда могут быть выведены за пределы микросхемы.

Определение качества сигнала

Коэффициент битовых ошибок (BER) цифрового сигнала определяется на основе результата сквозного измерения всего канала связи и зависит от качества приема сигнала конечным пользователем (рис. 1). Операторы систем связи предпочитают работать с предсказуемыми и стабильными BER для всех абонентских терминалов. Однако, при переключениях от одной наземной станции на другую невозможно гарантировать приемлемые низкие уровни BER во всех ситуациях.

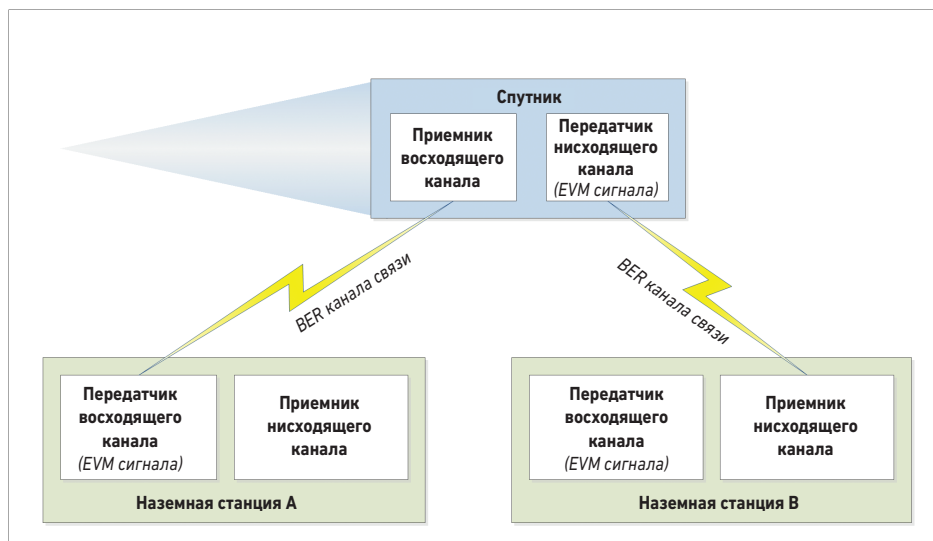


Рис. 1. BER канала связи зависит от качества приема сигнала конечным пользователем, а EVM характеризует качество аналогового и цифрового модулированных сигналов.

При проверке BER возникают проблемы, обусловленные изменением уровня сигнала и характеристик компонентов. Это затрудняет не только выбор измеряемых параметров, но и контрольных точек.

Перед оптимизацией BER следует оптимизировать параметры модулированного сигнала во всех трактах – от цифровой обработки до СВЧ. Это необходимо выполнять последовательно, независимо от представления сигнала. Отметим, что для оценки качества как цифровых, так и аналоговых модулированных сигналов можно использовать измерения EVM.

Рассмотрение методов модуляции и EVM

Актуальная задача для операторов спутниковой связи – упаковка большего числа битов в используемой полосе частот и увеличение пропускной способности канала связи. Для решения этой задачи используются виды модуляции высокого порядка, которые согласуются с имеющимися ограничениями спутниковых систем связи (например по полосе пропускания).

Как правило, применение более сложных видов модуляции позволяет передавать больше информации. Например, квадратурная амплитудная модуляция (QAM) обеспечивает передачу большего количества информации за счет использования нескольких уровней амплитуды. Эффективность различных методов модуляции оценивается на основе возможности передачи большего количества информации при одной и той же полосе ВЧ канала.

В спутниковых приложениях наметилась тенденция использовать менее сложные методы модуляции, такие как частотная манипуляция (FSK), фазовая манипуляция (PSK) и амплитудно-фазовая манипуляция (APSK). При этом передатчики работают ближе к области насыщения, что позволяет оптимизировать выходную мощность для ее согласования с динамическим диапазоном усилителя.

Конкретные примеры приведены в стандарте DVB-S2 (второе поколение цифрового спутникового вещания). В стандартах DVB-S и DVB-S2 задано ограниченное число конфигураций данных и видов модуляции, чтобы обеспечить совместимость между приемниками разных производителей. Для достижения этой цели и получения скоростей передачи данных, необходимых для высококачественной трансляции ТВЧ сигнала, в стандарт DVB-S2 добавлены три схемы модуляции: 8 PSK, 16 APSK и 32 APSK.

Отображение комплексных сигналов

По мере усложнения модуляции все труднее визуализировать сигнал в частотной или временной области и определять причины снижения качества сигналов. Это присуще современным технологиям, в которых используется квадратурная модуляция. Однако, векторный анализатор сигналов или ПО VSA позволяют демодулировать сигналы и отображать их в виде сигнальных созвездий, как показано на рис. 2.

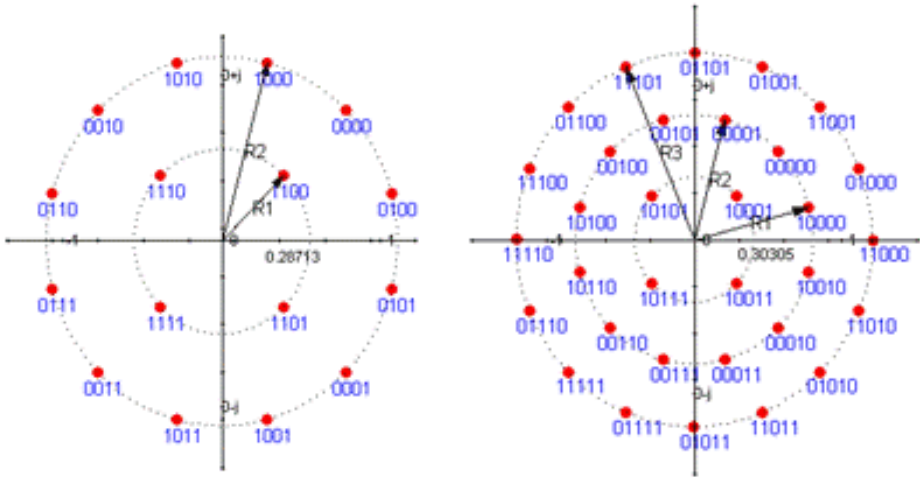


Рис. 2. Сигнальные созвездия облегчают быстрое обнаружение искажений сигналов I/Q с модуляцией 16 APSK (слева) и 32 APSK (справа).

Искажения сигналов с квадратурной модуляцией (I/Q) приводят к отклонениям каждого символа сигнального созвездия от заданного положения. На основе типа и степени отклонений получают важную информацию об источниках искажений. На рис. 3 приведено несколько простых примеров.

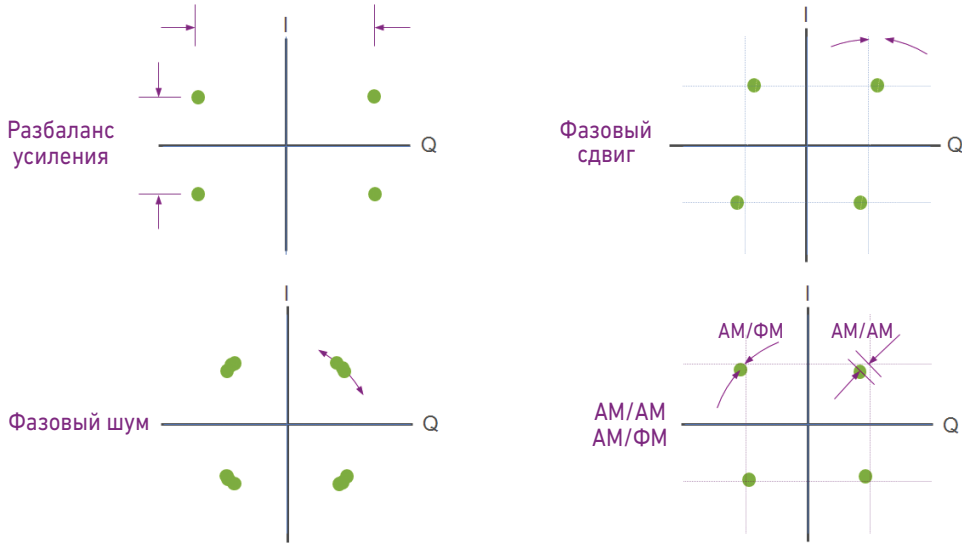


Рис. 3. Каждый тип отклонения дает информацию об искажениях квадратурных сигналов, влияющих на качество сигнала.

Если сигнальное созвездие прямоугольной формы, а не квадратной (слева сверху на рис. 3), то имеется разбаланс усиления, указывающий на неправильное соотношение амплитуд квадратурных составляющих. Фазовый сдвиг между квадратурными сигналами I и Q может стать причиной искажений формы сигнального созвездия относительно границ принятия решений (справа сверху). Линейное искажение, связанное с преобразованием AM/AM и преобразованием AM/ФМ, приводит к появлению точек с поворотом фазы и амплитудой, не достигающей требуемого значения. В четвертом примере (внизу слева) показано, что из-за фазового шума наблюдается угловое размытие точек.

В сложных сигнальных созвездиях, таких как 32 APSK, искажения формы сигнального созвездия препятствуют получению заданных характеристик системы из-за отсутствия допуска на ошибку между различными состояниями в сигнале. В связи с этим для поддержки высоких скоростей передачи данных требования к характеристикам передатчика могут быть ужесточены.

Использование EVM

В простейшем случае EVM определяется как разность между опорным вектором и вектором принятого сигнала. Для измерения EVM необходимо использовать прибор, поддерживающий формат модуляции тестируемого сигнала.

ПО 89600 VSA генерирует опорные векторы для более 70 стандартов связи и форматов модуляции, включая и те, которые обычно используются в спутниковых системах. Для разработчиков, применяющих специальные нестандартные сигналы, опция ВНК предоставляет анализ модуляции I/Q с различными функциями, такими как редактор сигнальных созвездий, пользовательские настройки для отображения I/Q и увеличение длины символов.

Параметр EVM, позволяющий получать совокупную информацию о всех типах искажений, идеален для поиска проблем в модулированных сигналах. Кроме того, с его помощью можно отследить изменение качества сигнала между функциональными узлами системы. На основе детального анализа измеренных значений EVM можно не только идентифицировать искажения модуляции, но и определять источник искажений и механизм появления проблемы.

Диагностика проблем цифровой модуляции

Сравнительный анализ сигналов на основе измерений EVM и других параметров с помощью векторного анализатора спектра очень эффективен для диагностики аномалий, появляющихся в сигналах. Различие между измеренными входным и выходным сигналами любого компонента системы, выходящее за рамки его функций, указывает на искажение сигнала, которое может быть внесено данным компонентом. При последовательной проверке всех компонентов системы можно минимизировать искажения модуляции и получать сигналы, близкие к оптимальным.

В современных спутниках передатчики и приемники реализуются на основе цифровых компонентов и устройств. Для последовательной диагностики и локализации искажений, вносимых каждым компонентом, требуются многоформатные приборы, работающие как с аналоговыми, так и с цифровыми модулированными сигналами (рис. 4).

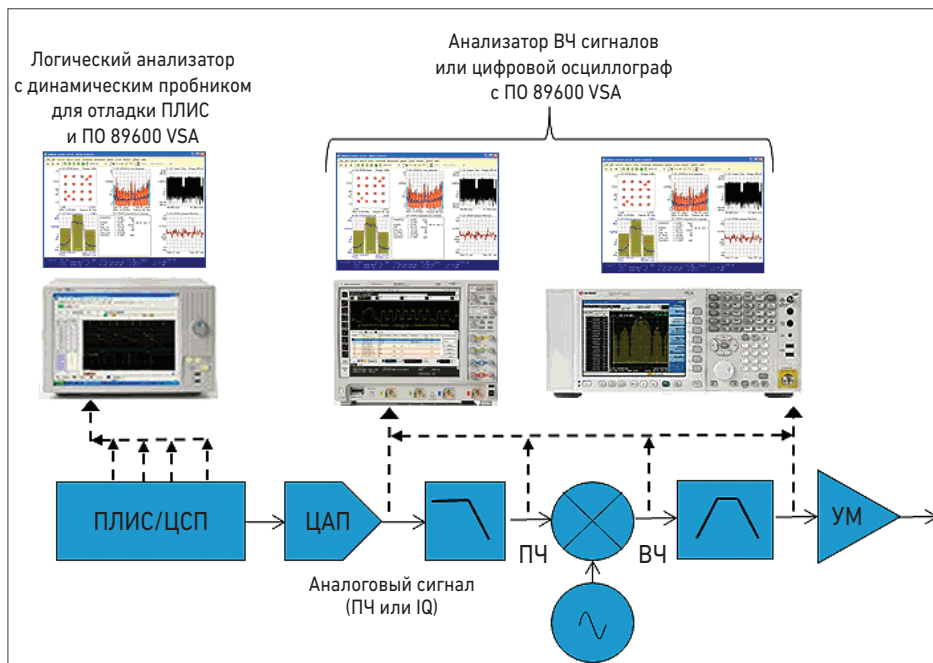


Рис. 4. Сравнительный анализ сигналов позволяет диагностировать и локализовать искажения практически в любой точке системы, работающей с аналоговыми и цифровыми модулированными сигналами.

Диагностика проблем цифровой модуляции выполняется с применением специальных интерфейсов для разных типов устройств или шин. При этом необходимо захватывать сигналы I/Q с множества контрольных точек. Доступ к сигналам усложняется при наличии в устройстве ПЛИС, так как некоторые контрольные точки могут быть не выведены за пределы микросхемы. Многие из этих проблем легко решаются с помощью ПО 89600 VSA, установленного на логические анализаторы Keysight серий 1680, 1690, 16800, 16850 или 16900. Эти анализаторы также поддерживают функцию динамического пробника, используемую для выбора групп внутренних сигналов ПЛИС, которые затем декодируются ПО 89600 VSA.

Это приложение также может быть использовано со многими цифровыми осциллографами, анализаторами сигналов серии X, модульными дигитайзерами и модульными анализаторами сигналов компании Keysight. В процессе проектирования оно позволяет выполнять захват сигнала в различных областях и высокоточные измерения, а также повысить эффективность поиска искажений, причин ухудшения характеристик и запаса по характеристикам на уровне системы. Кроме того, с его помощью можно проводить согласованные измерения во всех точках системы на всех этапах проектирования.

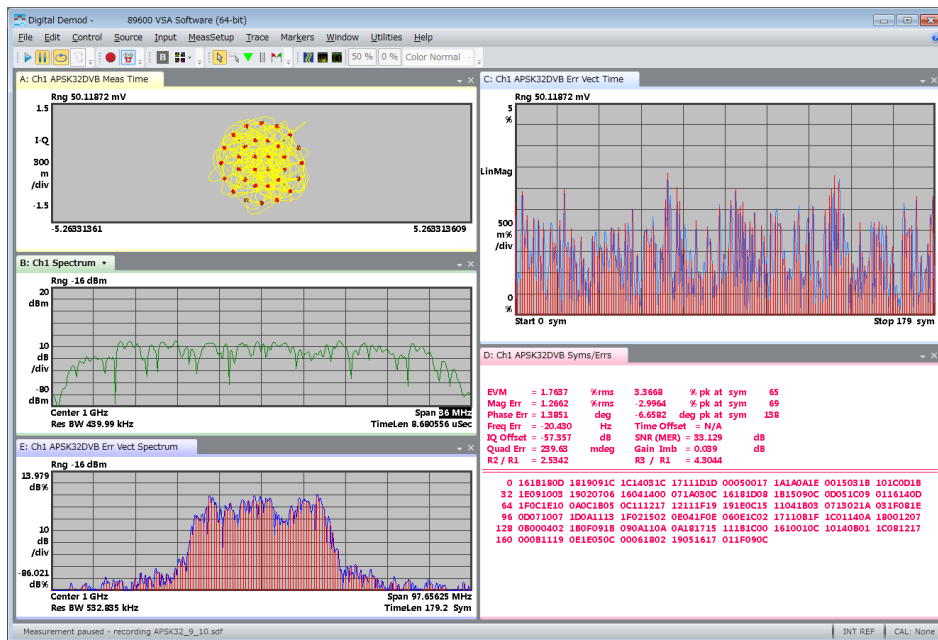


Рис. 5. Для согласованного сравнения измеренных значений EVM, ПО 89600 VSA учитывает взаимосвязь измерений аналогового и цифрового модулированных сигналов, выполненных с помощью логических анализаторов, цифровых осциллографов и анализаторов сигналов компании Keysight.

Создание и анализ широкополосных сигналов

Моделирование системы с применением высокоточного генератора сигналов произвольной формы и высококачественного векторного генератора СВЧ сигналов позволяет создавать многие виды сигналов, которые можно использовать при тестировании системы. На рис. 6 показан стенд на основе стандартных приборов.

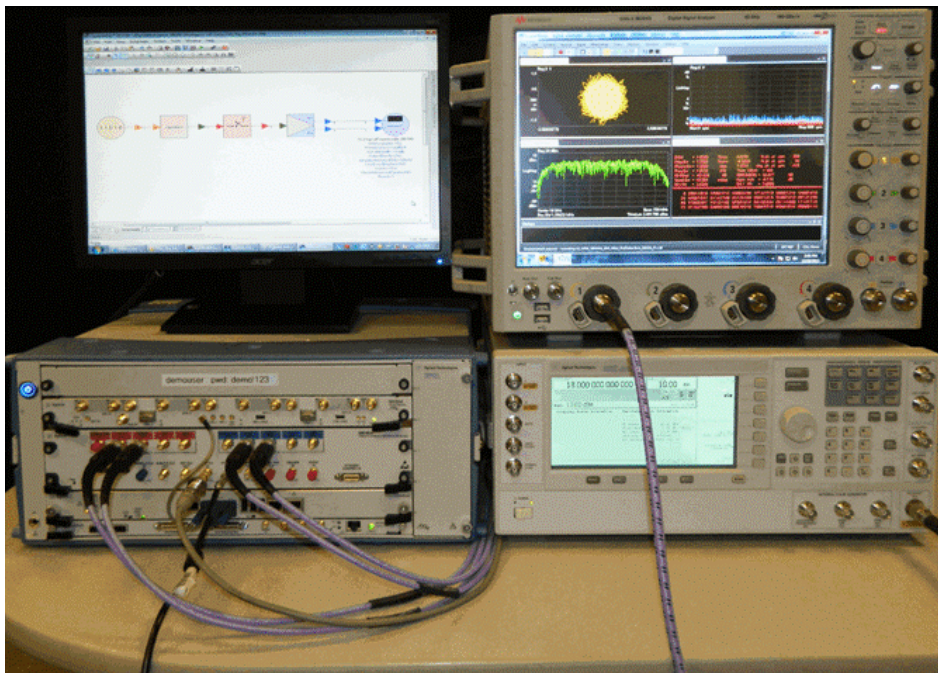


Рис. 6. Пример комбинации стандартных приборов и ПО, которые могут быть использованы для создания и анализа широкого диапазона тестовых сигналов.

Комплект приборов включает четыре основных компонента:

- Шасси стандарта AXIe со встроенным контроллером (внизу слева)
- Модульный генератор сигналов произвольной формы M8190A с частотой дискретизации 12 Гвыб./с, установленный в шасси
- Осциллограф серии Infiniium с верхней границей полосы пропускания 62 ГГц (вверху справа)
- Векторный генератор сигналов E8267D серии PSG (внизу справа)

Векторный генератор сигналов имеет опцию 016 – широкополосные входы внешних сигналов I/Q.

ПО SystemVue, представляющее собой САПР системного уровня, запускается на встроенном контроллере с отображением графической информации на внешнем дисплее, установленном на шасси. ПО SystemVue дополнено библиотекой цифровых модемов (W1092), с помощью которой разработчики могут создавать конфигурируемые модели источников сигналов, использующие стандартные и специальные форматы цифровой модуляции, включая APSK.

ПО SystemVue используется для создания сигналов и их загрузки в генератор сигналов произвольной формы M8190A. Этот генератор вырабатывает квадратурные сигналы I/Q, подаваемые на широкополосные I/Q входы векторного генератора сигналов серии PSG, который генерирует модулированную несущую в диапазоне X или Ku (для генерирования сигналов в диапазоне Ka нужно применять более высокочастотную модель векторного генератора PSG).

Сигнал диапазона X или Ku можно измерять с использованием осциллографа и анализировать с помощью ПО 89600 VSA, запущенного на этом осциллографе.

Адаптивная коррекция для улучшения сигналов

В сигналах, генерируемых контрольно-измерительным оборудованием, могут появляться шумы, отклонения амплитуды и фазы, а также другие искажения, снижающие качество сигналов. Влияние всех этих факторов увеличивается при полосе сигнала более 1 ГГц.

Для улучшения качества передачи сигналов можно корректировать квадратурные сигналы I/Q перед их загрузкой в генератор сигналов произвольной формы. При этом используются реальная и мнимая части частотной характеристики и функция адаптивной коррекции (EQ) в ПО 89600 VSA.

Рассмотрим, как можно улучшить EVM сигнала APSK. Сигнал APSK с полосой модуляции 1 ГГц загружается из ПО SystemVue в генератор сигналов произвольной формы M8190A. Выходные сигналы этого генератора подаются на широкополосные входы I/Q векторного генератора сигналов, который генерирует модулированную несущую частотой 18 ГГц. Результирующий сигнал измеряется цифровым осциллографом и анализируется ПО 89600 VSA, а адаптивная коррекция используется для определения реальной и мнимой частей частотной характеристики. ПО SystemVue считывает коэффициенты из ПО 89600 VSA и запоминает их в виде файла ASCII. На основе этих коэффициентов задается характеристика комплексного КИХ-фильтра, который осуществляет требуемую коррекцию повторно моделируемого сигнала. Смоделированный сигнал загружается в генератор M8190A.

На рис. 7 показаны результаты, полученные для сигнала 32 APSK. КИХ-фильтр в ПО SystemVue выполняет адаптивную коррекцию реальной и мнимой частей частотной характеристики исходного сигнала. EVM скорректированного сигнала уменьшена на 1,28 %.

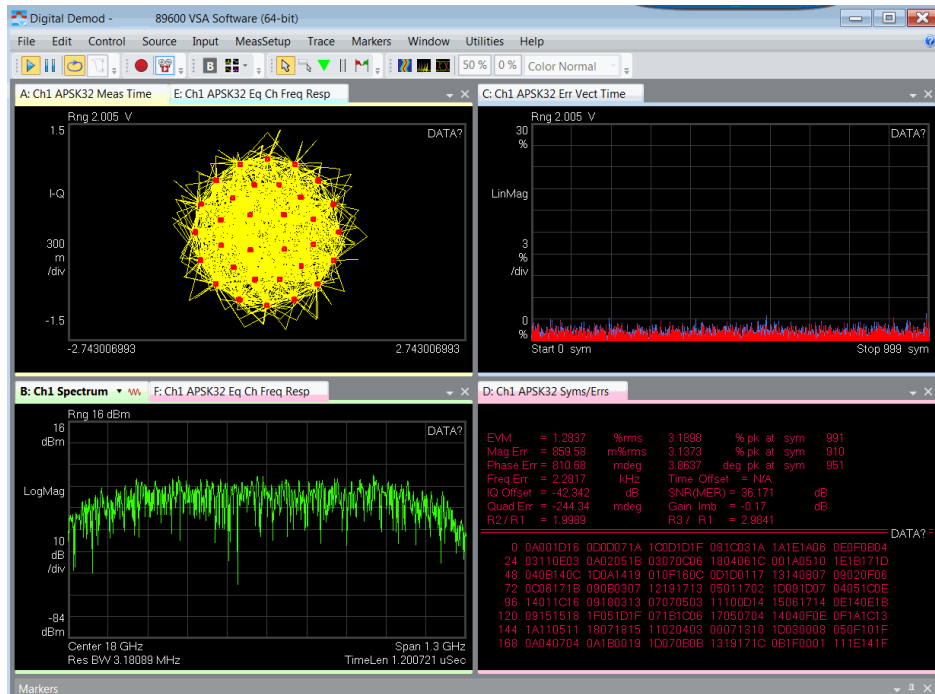


Рис. 7. Цифровая демодуляция в ПО 89600 VSA позволяет глубже анализировать скорректированный сигнал.

Специальные сигналы APSK

В спутниковых приложениях нередко используются специальные сигналы. ПО SystemVue и библиотека цифровых модемов позволяют создавать, например, сигнал 32 APSK на основе следующих параметров: число состояний созвездия для каждого кольца, разнесение колец и фазы колец. Демодуляция и анализ специального сигнала могут быть выполнены после ввода этих параметров в ПО 89600 VSA.

Изменение разнесения колец с помощью ПО SystemVue позволяет, например, компенсировать компрессию усиления усилителя мощности. На рис. 8 проиллюстрировано влияние разнесения колец на линейность характеристики усилителя. В левой части рис. 8 показаны исходный сигнал и его созвездие (слева сверху), зависимость вектора ошибок от времени (справа сверху), спектр (слева снизу) и таблица символов и ошибок (справа снизу; включает EVM). В правой части рис. 8 верхнее окно представляет искажение сигнала созвездия, вызванное компрессией усиления усилителя мощности, при этом EVM равна 10,56 %. Нижнее окно показывает регулировку разнесения внешнего кольца созвездия от 4 до 5, обеспечивающую расширение созвездия и уменьшение EVM до 6,99 %.

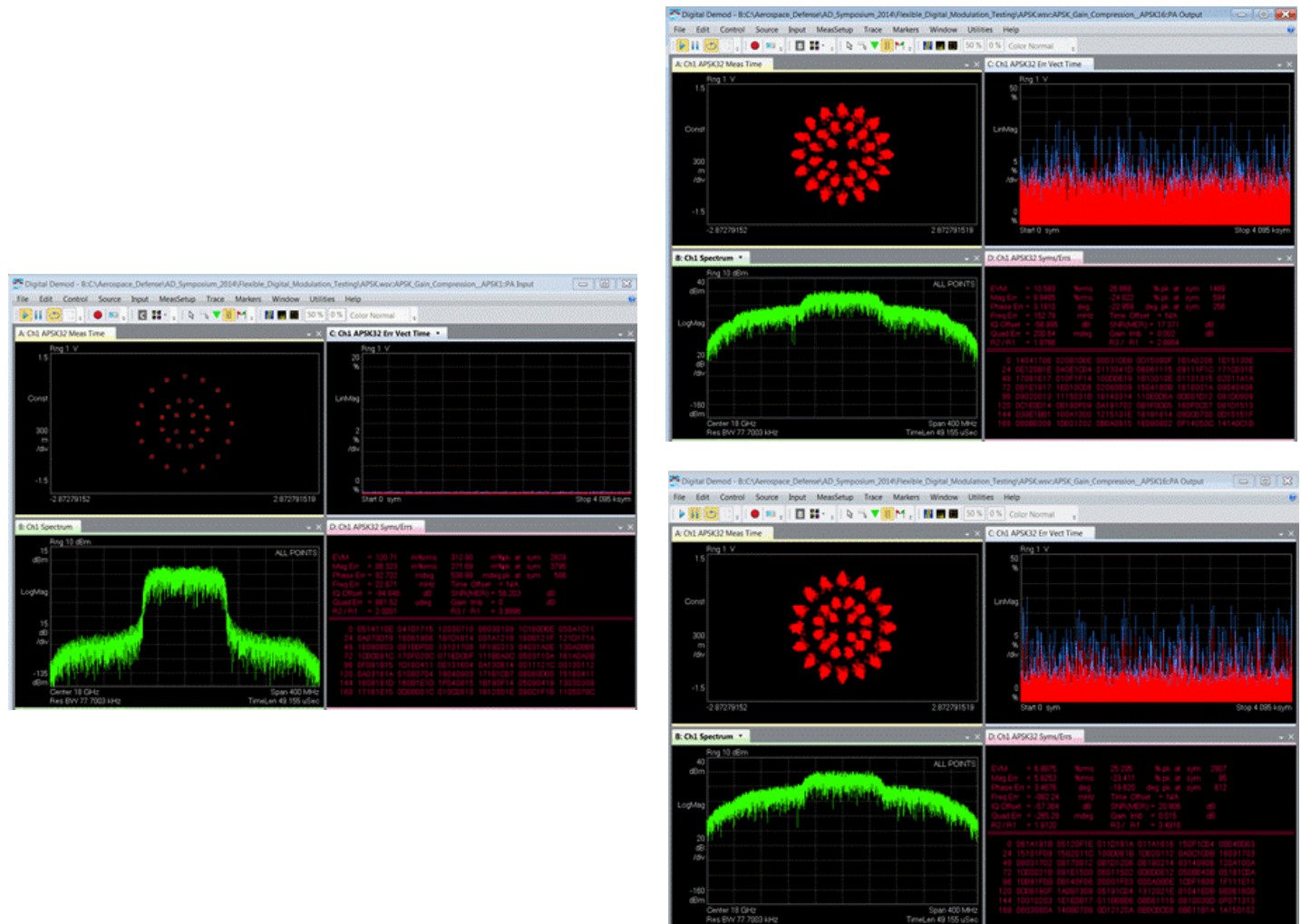


Рис. 8. Входной сигнал усилителя мощности показан слева, исходный выходной сигнал (справа сверху) указывает на наличие компрессии усиления. Регулировка разнесения колец позволяет частично решить проблему компрессии и уменьшить EVM с 10,56 % до 6,99 % (слева внизу).

Выводы

Несмотря на то, что для комплексной оценки спутниковых каналов связи используется коэффициент ошибок на бит (BER), сначала необходимо оптимизировать качество аналоговых или цифровых модулированных сигналов. Применяя сравнительный анализ для оценки модулированных сигналов, очень важно использовать параметр EVM, так как он обеспечивает последовательную и согласованную оценку аналоговых и цифровых сигналов по всем функциональным узлам схемы и на всех этапах проектирования. ПО 89600 VSA позволяет упростить выполнение основных задач, таких как поиск и устранение искажений, а также достичь оптимального запаса по характеристикам на уровне системы. Возможность загрузки этого ПО в измерительные приборы компании Keysight – осциллографы, анализаторы сигналов и логические анализаторы – расширяет возможности выполнения и анализа измерений.

ПО SystemVue и библиотека цифровых модемов предоставляют разработчикам мощный набор инструментов для создания широкополосных сигналов, необходимых при проектировании или тестировании. Загрузка сигналов I/Q в генератор сигналов произвольной формы и их подача на входы внешних модулирующих сигналов векторного генератора сигналов позволяют тестировать отдельные блоки транспондеров ИСЗ. При этом можно оптимизировать характеристики разрабатываемой системы, изменяя сигналы с применением функции адаптивной коррекции в ПО 89600 VSA.

Подробную информацию и бесплатные пробные версии ПО SystemVue и 89600 VSA см. на сайте Keysight.

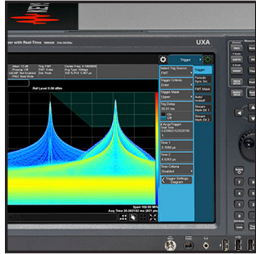
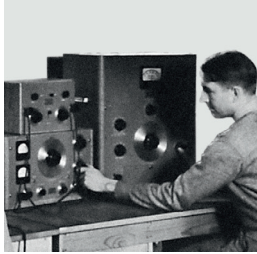
Справочная информация

- Библиотека цифровых модемов W1902 для ПО SystemVue (техническое описание), номер документа 5991-3123EN
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-3123EN.pdf>
- ПО 89600 VSA: пути решения сложных проблем (брошюра), номер документа 5990-6553EN
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-6553EN.pdf>
- Генератор сигналов произвольной формы M8190A (техническое описание), номер документа 5990-7516EN
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-7516EN.pdf>
- Генераторы СВЧ сигналов Keysight серий PSG, MXG и EXG (листовка), номер документа 5991-3594EN
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-3594EN.pdf>
- Осциллографы Keysight серии Infiniium 90000Q (техническое описание), номер документа 5990-9712EN
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-9712EN.pdf>
- Шасси стандарта AXIe с двумя и пятью слотами Keysight M9502A и M9505A (техническое описание), номер документа 5990-6584EN
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-6584EN.pdf>
- Компактные логические анализаторы серии Keysight 16850 (техническое описание), номер документа 5991-2791EN
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5991-2791EN.pdf>

Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, услуг, знаний и опыта наших инженеров поможет вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.

От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight.



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированная подборка только нужной вам информации.

http://www.keysight.com/find/emt_product_registration

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомлениям о выходе новых публикаций по приборам.

KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

Услуги ЦСМ Keysight

www.keysight.com/find/service

Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по поверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.



Планы технической поддержки Keysight

www.keysight.com/find/AssurancePlans

ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

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-16-10-14)



www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.

Сертифицировано DEKRA на соответствие стандарту ISO 9001:2015

Система управления качеством