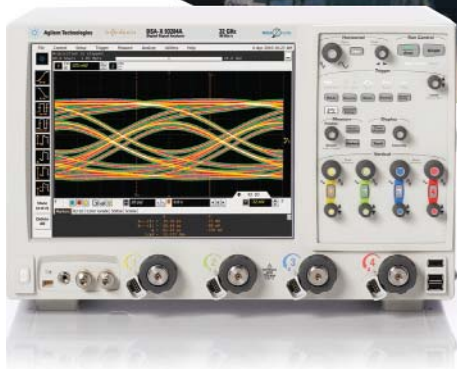


Технические решения

# Измерение широкополосных сигналов РЛС и спутниковых систем связи

Использование широкополосных осциллографов для непосредственного измерения и анализа сигналов передатчиков РЛС и спутниковых систем связи X-, Ku- и Ka-диапазонов до 32 ГГц

Заметки по применению



## Обзор

Возрастающей тенденцией в системах спутниковой связи и радиолокации на рынке аэрокосмической и оборонной промышленности является потребность в расширении полосы частот сигналов и анализа и увеличении коэффициента расширения спектра сигналов. Развитие систем спутниковой связи обусловлено требованиями увеличения скорости передачи данных, тогда как современные радиолокационные системы (РЛС) требуют большего коэффициента расширения спектра, чтобы улучшить разрешающую способность по дальности, что, в свою очередь, ведёт к более широким полосам частот модуляции. Современные РЛС также используют более сложные форматы модуляции сигналов, чтобы улучшить разрешающую способность по дальности и уменьшить вероятность перехвата и создания (постановки) помех. Многие РЛС и системы спутниковой связи работают на сверхвысоких частотах (например, в X-, Ku- или Ka-диапазоне), что способствует поддержке более широких полос частот модуляции, увеличению разрешающей способности, а также получению выгоды от использования антенн меньшего размера.

В ряде случаев требования к ширине полосы частот превышают значения полос ПЧ имеющихся на рынке РЧ анализаторов спектра и векторных анализаторов сигналов. В сочетании с более высокими рабочими частотами это создаёт серьёзный набор проблем для инженеров, занимающихся испытанием передатчиков РЛС и спутниковых систем связи.

## Проблема

Быстрое, точное и эффективное с точки зрения затрат измерение характеристик передатчиков РЧ/СВЧ диапазона современных РЛС и спутниковых систем связи является очень сложной задачей. В некоторых случаях (например, при измерении модуля вектора ошибки (EVM) передатчика систем спутниковой связи) выход передатчика не всегда можно измерить непосредственно. Инженеры часто должны надеяться на изготовленный по заказу преобразователь с понижением частоты для переноса сигналов РЧ/СВЧ диапазона на частоту ПЧ с целью последующего измерения с помощью имеющегося в продаже оборудования.

К сожалению, разовые расходы на инженерные работы, связанные с разработкой, изготовлением и испытанием преобразователя, могут оказаться непродуктивными. Аппаратура преобразователя с понижением частоты также добавляет свои собственные РЧ искажения, которые могут маскировать реальные характеристики испытуемого передатчика сигналов РЧ/СВЧ диапазона. Более того, может возникнуть искажение, вносящее дополнительный вклад в суммарное значение измеряемого EVM. В результате сложно понять, какая часть значения EVM получена с реального выхода передатчика. При отсутствии других доступных вариантов инженеры остаются с этой неопределённостью в определении погрешности измерения, которая проистекает от этого далеко не идеального подхода.



Agilent Technologies

## Решение

Разрешение этой проблемы заключается в нахождении решения, которое позволит непосредственно измерять и анализировать сигналы на выходе передатчиков РЧ/СВЧ диапазона без использования заказного преобразователя с понижением частоты. Идеальным решением для данной задачи является широкополосный осциллограф, который может непосредственно измерять и анализировать сигналы X-, Ku- и Ka-диапазонов (до 32 ГГц) передатчиков современных РЛС и систем спутниковой связи. Использование такого осциллографа не только исключает затраты времени и средств из-за использования заказного преобразователя с понижением частоты, но и освобождает от решения других проблем, таких как калибровка аппаратных средств и коррекция системных искажений и погрешностей в результатах измерений.

Другие аспекты измерения широкополосных сигналов РЛС и систем спутниковой связи, которые обычно представляют некоторую трудность для инженеров, следующие.

- Создание специализированных/собственных широкополосных сигналов. Традиционно создавать такие сигналы для испытания передатчиков было сложно, поскольку часто они не поддерживались имеющимся в продаже оборудованием. В результате инженеры были вынуждены разрабатывать специализированное испытательное оборудование, затрачивая на это много времени и средств.
- Анализ специализированных/собственных широкополосных сигналов. Сигналы РЛС и систем спутниковой связи могут иметь специализированные или собственные форматы, и могут потребовать до некоторой степени специализированный анализ сигналов.

Нахождение технического решения для испытаний на основе оборудования, имеющегося в продаже, с помощью которого можно создавать и анализировать специализированные/собственные сигналы с использованием встроенных программных средств, является поэтому первостепенной задачей.

Одно такое техническое решение, предлагаемое компанией Agilent, включает высокопроизводительный осциллограф серии 90000X семейства Infiniium,

векторный генератор сигналов серии PSG, генератор сигналов произвольной формы (СПФ) M8190A и программное обеспечение векторного анализа сигналов (VSA).

В сочетании эта комбинация аппаратных и программных средств обеспечивает инженеров возможностями и гибкостью, которые им необходимы для проведения измерений широкополосных сигналов РЛС и систем спутниковой связи.

Широкополосный осциллограф серии 90000X позволяет непосредственно измерять и анализировать широкополосные сигналы на выходах передатчиков РЛС и систем спутниковой связи. С истинной аналоговой полосой пропускания 32 ГГц он обеспечивает точность измерения в реальном времени для непосредственного измерения сигналов на выходах передатчиков, не требуя использования внешнего преобразователя с понижением частоты. Анализ во временной области может использоваться для измерения характеристик передатчика в импульсных режимах (например, фронта/среза, длительности импульса).

M8190A - это модульный измерительный прибор, скомпонованный в базовом блоке шины AXIe. Он используется для генерации широкополосных сигналов при испытаниях новых РЛС и систем спутниковой связи. В качестве прецизионного 1- или 2-канального генератора СПФ с разрешением ЦАП, равным 14 бит при частотах дискретизации до 8 Гвыб/с и 12 бит - до 12 Гвыб/с (от 2 до 4 бит больше в сравнении с тем, что доступно в настоящее время), он обеспечивает превосходные характеристики сигналов.

M8190A также включает память сигналов до 2 Гвыб/канал (в 30 раз больше, чем у имеющихся генераторов СПФ), что позволяет инженерам создавать длинные реалистичные сценарии, такие как имитация сигналов РЛС. Выходной тракт с шириной полосы частот 5 ГГц (на уровне -3 дБ) позволяет использовать его в качестве и генератора модулированных I/Q сигналов, и генератора сигналов ПЧ.

Генератор сигналов серии PSG обеспечивает высокое качество сигналов. Широкополосные I/Q входы упрощают его использование при измерениях сигналов РЛС и систем спутниковой связи. При соединении генератора сигналов серии PSG и M8190A обеспечивается гибкость, необходимая для создания специализированных/собственных сигналов РЛС и широкополосных модулированных сигналов (например, QPSK и 16QAM) для систем спутниковой связи. Эти сигналы могут использоваться для испытаний оборудования в лабораториях, не требуя применения дорогого специализированного испытательного оборудования.

При испытании компонентов испытываемого устройства (ИУ) M8190A генерирует широкополосные I/Q сигналы, которые поступают на I/Q входы генератора серии PSG. Генератор серии PSG генерирует затем СВЧ сигнал, который будет использоваться для ИУ в качестве сигнала стимула. Затем выход ИУ подключается к осциллографу 90000X, где и проводятся измерения сигналов (рисунок 1). При измерении сигналов функционально законченного передатчика нужно просто подключить осциллограф к его выходу.

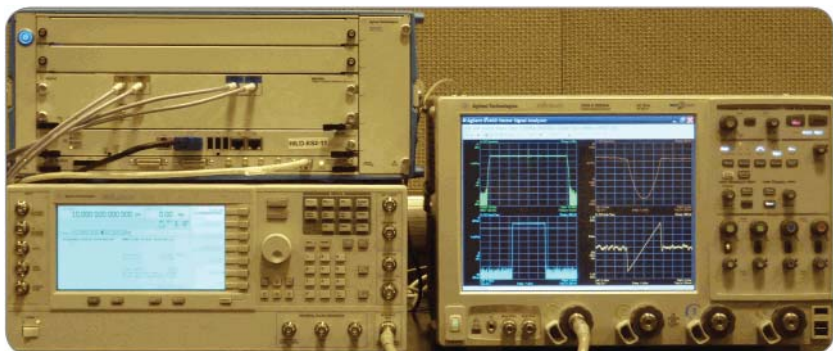


Рисунок 1 - Здесь показана типичная испытательная установка, используемая для создания и анализа широкополосных сигналов РЛС и систем спутниковой связи. Широкополосный генератор сигналов произвольной формы показан слева вверху, генератор сигналов серии PSG с широкополосными I/Q входами - слева внизу, а широкополосный осциллограф серии 90000X с программным обеспечением векторного анализа сигналов - справа.

## Специализированные/собственные измерения

Создание специализированных/собственных сигналов и проведение специализированных/собственных измерений сигналов РЛС и систем спутниковой связи можно значительно упростить, используя MATLAB при генерации сигналов с целью создания моделируемых форм сигналов, которые затем загружаются в генератор СПФ M8190A. Здесь они синтезируются в дифференциальные I/Q сигналы, которые поступают на внешние I/Q входы генератора сигналов PSG. После этого генерируются модулированные РЧ/СВЧ испытательные сигналы.

Специализированные, определяемые пользователем, функции MATLAB также можно использовать внутри осциллографа 90000X и применить к отображаемому сигналу (например, для вычисления огибающей импульсного РЧ сигнала). За счёт этого огибающую импульсного РЧ сигнала можно измерить и отобразить. Предварительно сконфигурированные измерения осциллографа 90000X можно использовать для измерения фронта, среза, длительности импульса и выброса на фронте импульсных РЧ сигналов РЛС (рисунок 2). В этом случае глубокая память сбора данных осциллографа 90000X (2 Гвб) играет важную роль в обеспечении способности захватывать и анализировать большее число импульсов РЛС.

Сегментированная память оптимизирует число импульсов РЛС, которое можно захватить и проанализировать, учитывая объём доступной памяти осциллографа. Важно, что она позволяет увеличивать масштаб изображения импульса и выполняет захват данных только во время включенного состояния импульса, а при выключенном состоянии - игнорирует. Заметим, что пока сегментированная память может использоваться функциями MATLAB, определяемыми пользователем, такая возможность недоступна для программы векторного анализа.

## Специализированные/собственные измерения

Хотя для испытания РЧ устройств традиционно использовались анализаторы спектра и векторные анализаторы сигналов, проблемы, связанные с проведением

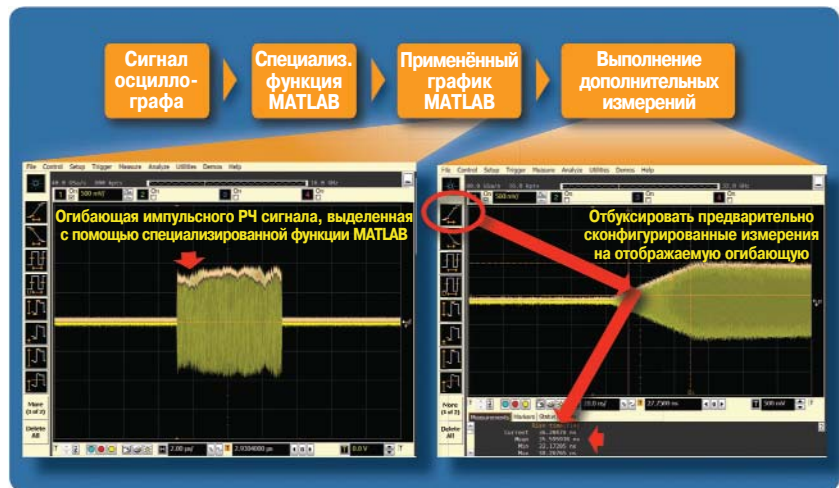


Рисунок 2 - Огибающая импульсного РЧ сигнала и измерение длительности фронта на огибающей

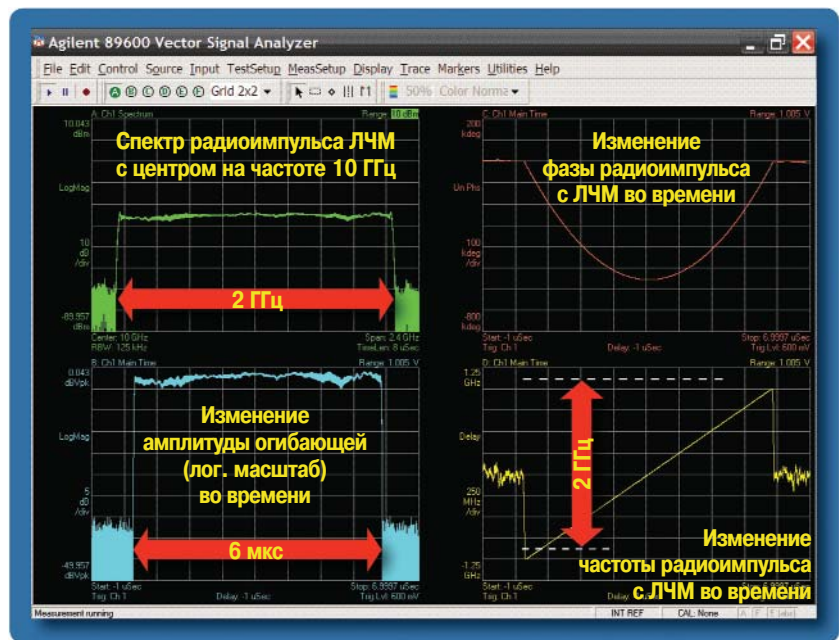


Рисунок 3 - Здесь показан пример измерения характеристик широкополосного радиоимпульса с ЛЧМ РЛС с использованием программного обеспечения векторного анализа сигналов в осциллографе 90000X

измерений сигналов современных РЛС и систем спутниковой связи, стали катализатором перехода инженеров к широкополосным осциллографам. К счастью, программное обеспечение векторного анализа (VSA) компании Agilent работает внутри осциллографа 90000X и способно упростить этот процесс перехода, предоставляя инженерам наилучшее из обеих областей: функциональность и интерфейс пользователя векторного анализатора сигналов и доступ к широкополосным возможностям осциллографа, который обеспечивает проведение измерений на частотах до 32 ГГц для широкополосных измерений сигналов РЛС и систем спутниковой связи. С помощью знакомого интерфейса пользователя VSA позволяет инженерам

задавать традиционные параметры РЧ сигналов (например, полосу обзора и полосу пропускания) в осциллографе. Затем VSA обрабатывает данные, собранные осциллографом, и выводит оцифрованные результаты на экран, используя отображение амплитуды и фазы векторного анализатора сигналов. Программное обеспечение VSA также способно проводить анализ в частотной и временной областях для измерения спектра РЧ/СВЧ сигналов, частотных и фазовых характеристик (например, частотных и фазовых характеристик радиоимпульса с ЛЧМ или характеристик скачкообразной перестройки частоты, отображаемых на спектрограмме РЧ сигнала) и EVM (рисунок 3).

Кроме того, программное обеспечение VSA поддерживает многие виды стандартов сигналов и форматов модуляции с целью демодуляции таких форматов сигналов, как QPSK, 16QAM и 64 QAM, используемых в системах спутниковой связи и других приложениях. Такой анализ даёт инженерам больше средств изучения характеристик аппаратных средств передатчиков РЛС и систем спутниковой связи.

### Пример: широкополосный сигнал с модуляцией 16QAM

Кроме измерения сигналов РЛС, то же самое измерительное оборудование, имеющееся в продаже, можно использовать для широкого круга других приложений, включая системы спутниковой связи. Рассмотрим, например, широкополосный сигнал (ширина полосы частот 1,76 ГГц) с модуляцией 16QAM. Он создаётся и анализируется с использованием той же самой испытательной установки, созданной на базе оборудования, имеющегося в продаже, как показано на рисунке 1. MATLAB используется для создания сигнала с модуляцией 16QAM, который загружается в генератор СФП М8190А. Как показано

на рисунке 4, программное обеспечение VSA, работающее в осциллографе, используется для демодуляции сигнала с модуляцией 16QAM. Напомним, что EVM является индикатором амплитудных и фазовых искажений сигналов с цифровой модуляцией. В данном случае остаточное значение EVM приблизительно равно 1,17%, что очень хорошо для модулированного сигнала с ширины полосы частот 1,76 ГГц в X-диапазоне (10 ГГц). Если сравнивать с существующим оборудованием, то значение EVM, которое может быть достигнуто при такой скорости передачи данных, составляет обычно от 2 до 3%, что является результатом значительно больших значений погрешности и неопределённости измерения.

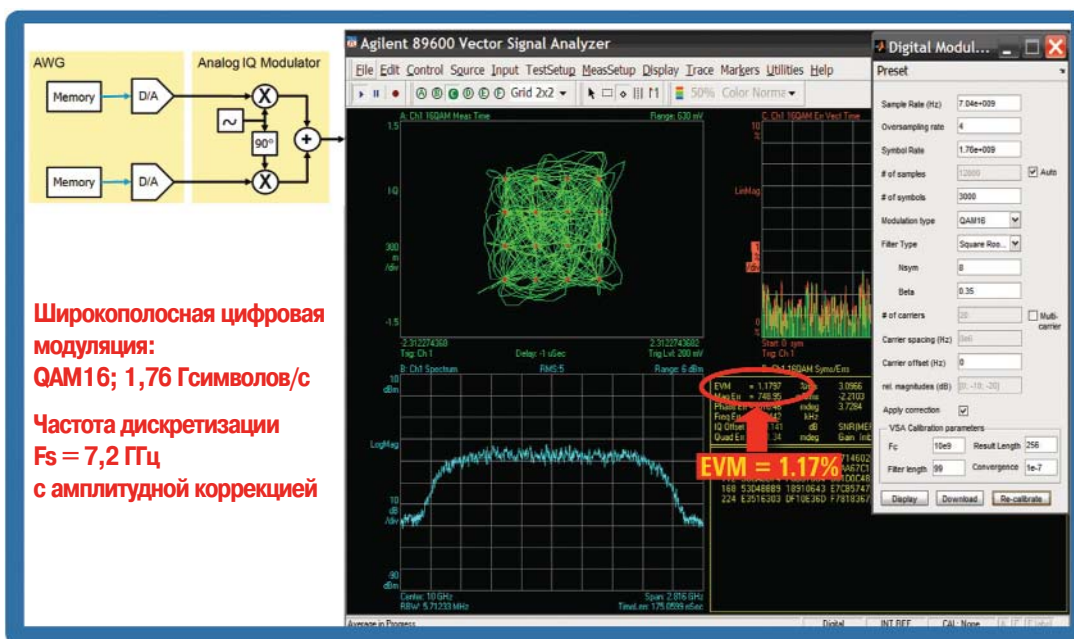


Рисунок 4 – В четырёх квадрантах дисплея программы векторного анализа сигналов (VSA) показаны: звёздная диаграмма (слева сверху), спектр сигнала X-диапазона (10 ГГц) (слева внизу), зависимость EVM от времени (справа сверху) и итоговое значение EVM (справа внизу). В данном примере остаточное значение EVM получено в результате объединения генератора СФП, генератора сигналов серии PSG с широкополосными I/Q входами и цифрового осциллографа с полосой пропускания 32 ГГц.

### Краткое изложение результатов

Использование внешних преобразователей с понижением частоты для измерения характеристик сигналов широкополосных передатчиков РЛС и систем спутниковой связи может потребовать больших затрат времени и средств. Этот подход может оказаться неоптимальным для улучшения возможностей исследования истинных характеристик передатчиков РЧ/СВЧ диапазона. Осциллограф 90000X компании Agilent предоставляет практичную альтернативу: средство непосредственного измерения и анализа характеристик передатчиков РЧ/СВЧ диапазона для РЛС и систем спутниковой связи.

Осциллограф можно объединить с генератором СФП М8190А и генератором сигналов серии PSG. Вместе они позволяют создавать и анализировать испытательные сигналы на физическом уровне. Специализированные/собственные формы сигналов можно сгенерировать с помощью MATLAB и затем загрузить в генератор СФП М8190А, объединённый с генератором сигналов серии PSG, для создания испытательного сигнала. С помощью осциллографа 90000X сигналы на выходах передатчиков можно измерить, используя программное обеспечение VSA компании Agilent, функции MATLAB,

определяемые пользователем, или встроенные возможности анализа во временной области осциллографа. Для современных РЛС и систем спутниковой связи, использующих более широкие полосы частот и более высокие рабочие частоты, непосредственное и точное измерение сигналов на выходе передатчиков с использованием осциллографа 90000X становится основным средством улучшения возможностей исследования истинных характеристик передатчиков, позволяющим сэкономить время и помогающим сократить число дорогостоящих циклов разработки.

## Сопутствующие приложения

- Измерение сигналов систем MIMO, анализ и тестирование модуляции физического уровня

## Сопутствующие изделия компании Agilent

- Цифровой осциллограф DSOX93204A с полосой пропускания 32 ГГц и опциями:
  - 02G, глубина памяти 2 Гвыб/канал
  - 062, MATLAB (базовый пакет)
  - 010, функция, определяемая пользователем
- Генератор сигналов произвольной формы M8190A
- Программное обеспечение векторного анализа сигналов 89601B/BN (VSA) с опциями:
  - 200, базовый векторный анализ сигналов
  - 300, подключение аппаратных средств
  - AYA, гибкий анализ модуляции
- Векторный генератор сигналов E8267D с опциями:
  - 520 или 532, диапазон частот от 250 кГц до 20 ГГц или 31,8 ГГц
  - 016, широкополосные дифференциальные внешние входы I/Q
  - N18, широкополосная модуляция в полосе не более чем 3,2 ГГц



Ремонтные и калибровочные службы компании Agilent (Agilent Advantage Services) считают своей обязанностью способствовать успеху наших пользователей в течение всего срока службы оборудования. Для поддержки конкурентоспособности пользователей мы непрерывно инвестируем в инструментальные средства и технологические процессы, которые ускоряют калибровку и ремонт приборов, уменьшают стоимость их владения. Можно также использовать возможности служб Infoline Web Services для более эффективного управления оборудованием и его технического обслуживания через Интернет. Мы делимся нашими профессиональными знаниями в области измерений и технического обслуживания, чтобы помочь пользователям создать продукты, которые изменят наш мир.

[www.agilent.com/find/advantageservices](http://www.agilent.com/find/advantageservices)



[www.agilent.com/quality](http://www.agilent.com/quality)

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)  
[www.agilent.com/find/AD](http://www.agilent.com/find/AD)

Для получения дополнительной информации по продуктам компании Agilent Technologies, предназначенным для измерений и испытаний, а также по их применению и обслуживанию, пожалуйста, обращайтесь в Российское представительство компании Agilent Technologies по адресу:

**Россия, 113054, Москва,  
Космодамианская набережная,  
д. 52, стр. 1**

**Тел: (495) 797 3963, 797 3900**

**Факс: (495) 797 3902, 797 3901**

**E-mail: [tmo\\_russia@agilent.com](mailto:tmo_russia@agilent.com)**

или посетите нашу страницу в сети Internet по адресу: [www.agilent.ru](http://www.agilent.ru)

Технические характеристики и описания изделий, содержащиеся в данном документе, могут быть изменены без предварительного уведомления.

© Авторское право

Agilent Technologies, Inc. 2011

Отпечатано в России в октябре 2011 года

**Номер публикации 5990-6353RURU**



**Agilent Technologies**