

Быстрое тестирование УМ ВЧ с помощью нового ускорителя измерений Keysight

Александр Чумадин (Москва)

Актуальность проблемы продления времени работы мобильных устройств от аккумулятора и повышенные скорости передачи данных подталкивают разработчиков и инженеров-метрологов на поиск новых подходов к достижению лучших характеристик линейности, полосы пропускания и КПД используемых компонентов и функциональных блоков. Одним из таких блоков является усилитель мощности высокой частоты (УМ ВЧ), который входит в число основных потребителей энергии в беспроводных устройствах и требует повышения эффективности. Другие важные проблемы проектирования и тестирования УМ связаны с тем, что появление форматов модуляции с полосой сигнала 160 МГц порождает потребность в расширении полосы пропускания усилителей мощности. И, конечно, производители вынуждены ускорять тестирование для повышения темпов выпуска продукции.

ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УМ ВЧ

Усилители мощности являются важнейшими компонентами беспроводных систем связи, причём их характерной особенностью является нелинейность. Эта нелинейность порождает нежелательное расширение спектра, которое создаёт помехи в соседних каналах и может приводить к нарушению требований стандартов по внеполосному излучению. Кроме того, нелинейность становится причиной внутриполосных искажений, которые приводят к росту коэффициента битовых ошибок (BER) и снижают пропускную способность канала связи.

Высокое отношение пиковой мощности к средней (PAPR) в новых форматах передачи OFDM означает наличие редких всплесков мощности, способных вызывать отсечку в усилителе. Это приводит к нарушению маски спектра и повышает амплитуду вектора ошибки (EVM) и BER для всего сигнала. Зачастую разработчики решают эту проблему, намеренно используя усилитель в режиме пониженной мощности. Этот метод очень неэффективен, поскольку усилители работают обычно на 10% от номинальной мощности, а до 90% мощности источника питания теряется впустую.

Обычно современные усилители ВЧ поддерживают несколько режимов работы, частотных диапазонов и форматов модуляции, что повышает число

необходимых тестов. Нередко количество тестов может достигать нескольких тысяч. Для оптимизации параметров усилителя и повышения его КПД могут использоваться такие новейшие технологии, как снижение пик-фактора (CFR), цифровые предсказания (DPD) и отслеживание огибающей (ET), но они только усложняют тестирование и проектирование. Добавление в усилитель ВЧ поддержки широкой полосы может потребовать пятикратного расширения полосы измерения DPD до 1 ГГц и выше, что делает измерения ещё более сложными.

Тенденции повышения степени интеграции компонентов усилителей ВЧ и модулей сопряжения (FEM) способствуют повышению эффективности, одновременно обеспечивая поддержку более широких диапазонов частот и форматов модуляции в одном модуле FEM. Другим логическим шагом на пути сокращения числа элементов внутри мобильного устройства является встраивание в FEM источника питания или модулятора, следящего за огибающей. Большое число банков фильтров/дуплексеров, необходимое для поддержки широкого диапазона рабочих частот, тоже повышает сложность устройства и увеличивает число тестов.

СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛНЕНИЯ ТЕСТОВ

Типовое решение для тестирования усилителей ВЧ и FEM родилось в резуль-

тате тесного сотрудничества производителей контрольно-измерительного оборудования, их заказчиков и ведущих разработчиков усилителей ВЧ, работающих над решением наиболее актуальных задач тестирования. Разработанное компанией Keysight Technologies, производителем контрольно-измерительного оборудования, типовое решение объединило в себе оборудование Keysight и других производителей, а также ПО с примерами испытательных программ с открытым кодом, оптимизированное для измерения характеристик и тестирования усилителей ВЧ и модулей FEM.

Основные аппаратные элементы, как показано на структурной схеме решения (см. рис. 1), включают векторные анализаторы цепей, векторные генераторы сигналов и векторные анализаторы сигналов компании Keysight в формате PXIe, выбранные по критериям высокой производительности и превосходных характеристик. Основой решения является ПО создания сигналов Keysight Signal Studio для тестирования усилителей (N7614B), которое поддерживает весь процесс испытаний, включая методы тестирования CFR, ET и DPD. Инженеры могут выбирать стандартные I/Q-сигналы в Signal Studio или сигналы, созданные пользователем, которые можно импортировать в Signal Studio. Программа управления типовым решением с открытым исходным кодом обеспечивает строгую синхронизацию источника сигнала с генератором сигналов произвольной формы, что позволяет достичь оптимального согласования сигнала ВЧ с сигналом отслеживания огибающей.

Сокращение времени испытаний было достигнуто за счёт применения в источнике и приёмнике технологии ПЛИС для сокращения времени регулирования, необходимого для достижения необходимой выходной мощности тестируемого устройства. Поскольку регуляторы мощности являются недетерминированными устройствами, то режим списка – распространённый метод быстрого исполнения теста – нель-

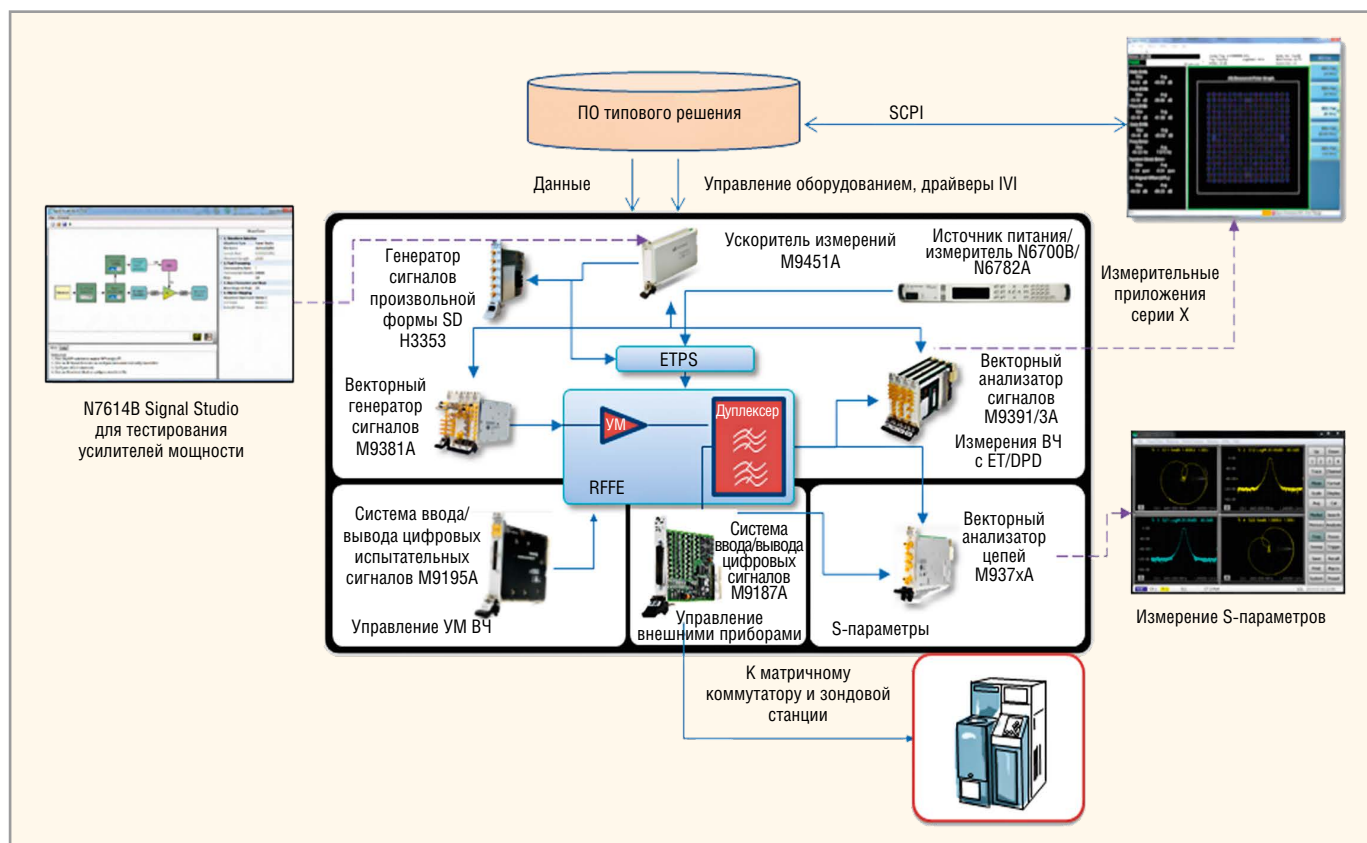


Рис. 1. Архитектура базового решения

зая применять для коррекции выходной мощности по входным уровням сигналов ВЧ. Изначально компания Keysight разработала быстрый механизм настройки модулирующих сигналов в векторном генераторе сигналов PXIe, который программно выполняет итерации, пока не будет получена нужная выходная мощность, что происходит обычно менее чем за 200 мкс. Позже компания Keysight реализовала режим захвата данных с быстрым преобразованием Фурье (БПФ) в векторном анализаторе сигналов M9391A PXIe. Режим БПФ позволил использовать ПЛИС, встроенную в векторный анализатор сигналов, для генерации БПФ по захваченным данным. Это БПФ можно использовать при измерении мощности сигнала для управления регулятором, а затем, с теми же захваченными данными, – для измерения относительного уровня мощности в соседнем канале (ACPR).

Ещё большее повышение скорости было реализовано после недавнего представления компанией Keysight ускорителя измерений M9451A в формате PXIe. Ускоритель измерений M9451A представляет собой модуль PXIe на базе ПЛИС. В составе типового решения для измерения параметров усилителей ВЧ и модулей FEM он

генерирует сигнал тактовой частоты для измерений DPD и ET с замкнутой и разомкнутой обратной связью, позволяя выполнять измерения за десятки миллисекунд, что до 100 раз повышает скорость измерения по сравнению с программными методами. Расширенная версия типового решения обеспечивает большую производительность, сохраняя при этом высокую точность измерения S-параметров, нелинейных искажений, мощности и параметров демодуляции. В таблице 1 приведены примеры скорости извлечения и применения модели цифровых предсказаний. В качестве входных сигналов использовались сигналы LTE с полосой 5 и 20 МГц с ограниченной длительностью 500 мкс. Под извлечением понимается время анализа измеренных данных векторного анализатора сигналов и извлечения коэффициентов DPD LUT. Под применением понимается время формирования новых предсказанных сигналов для векторного генератора сигналов.

Ускоритель измерений M9451A PXIe достигает столь высокой скорости благодаря быстродействующей ПЛИС Altera Stratix V и специальному обрабатывающему ПО для DPD и ET с быстрой прямой передачей данных между векторными анализаторами сигналов PXIe и векторными генераторами сигналов PXIe, входящими в состав типового решения. Наряду с генерацией сигналов DPD выполняется генерация сигналов ET с аппаратным ускорением, а быстрая передача данных в генератор сигналов произвольной формы достигается за счёт применения объединительной платы PXI.

Выделенная на рисунке 2 область реализует основные функции цифровых предсказаний (DPD) и отслеживания огибающей (ET) ускорителя измерений M9451A PXIe. Цилиндры представляют зарезервированные блоки IQ-данных в памяти M9451A, а прямоугольники представляют алгоритмы, реализованные в ускорителе. Программа тестирования управляет процессом обработки

Табл. 1. Скорости извлечения и применения модели цифровых предсказаний

Частота	Без M9451A		С M9451A	
	Извлечение	Применение	Извлечение	Применение
5 МГц	415,4 мс	48,7 мс	4,9 мс	21,8 мс
20 МГц	1676,1 мс	172,5 мс	6 мс	63 мс

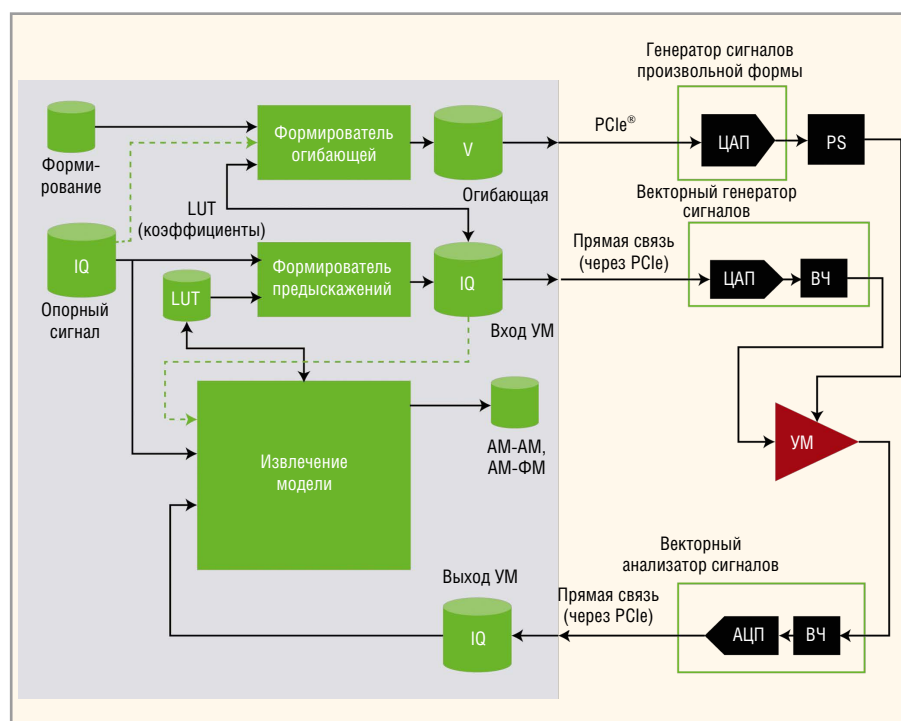


Рис. 2. Структурная схема ускорителя измерений M9451A PXIe

данных, передавая указатели на данные, связанные с каждым цилиндром, в метод API, связанный в свою очередь с каждым прямоугольником алгоритма. Для быстрой передачи данных между памятью M9451A и векторным генератором сигналов M9381A PXIe используется технология прямой связи PCI Express (P2P).

Сначала идеальный опорный сигнал без предсказаний загружается в память векторного генератора сигналов M9381A PXIe, а затем передаётся в M9451A с помощью P2P. После того как алгоритм извлечения модели рассчитает таблицу преобразования (LUT) или соответствующие коэффициенты, формирователь предсказаний создаёт предсказанный сигнал в цилиндре «Вход УМ». Затем данные предсказанного сигнала передаются прямо в память VSG по шине PCI. Кроме того, технология P2P PCI Express используется для передачи данных измерения из векторного анализатора сигналов M9391A или M9393A PXIe в ускоритель измерений M9451A.

Для упрощения портирования программы тестирования интерфейс для программирования приложений (API)

ускорителя измерений заимствован из API программного обеспечения Keysight Signal Studio. Например, ускоритель измерений поддерживает те же методы таблицы преобразования (LUT) и полиномиального порядка памяти (MOP) DPD в режимах с разомкнутой и замкнутой обратной связью. Причём для ускорения тестирования не приходится жертвовать точностью и воспроизводимостью измерений. Базовое решение Keysight предлагает примеры программирования тестов для оптимизации воспроизводимости и времени тестирования при выполнении измерений мощности.

УСКОРЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Векторный трансивер Keysight M9420A VXT в формате PXIe повышает скорость производственного тестирования усилителей более чем в два раза при тех же размерах контрольно-измерительной системы. В одно шасси PXI можно установить до четырёх 4-слотовых векторных трансиверов, или можно создать специальную систему с картой ввода-вывода цифровых сигналов

и однослотовым модулем векторного анализатора цепей.

Векторный трансивер можно использовать для минимизации времени разработки контрольно-измерительной системы и сокращения времени до первого измерения в типовом решении для измерения параметров усилителей мощности. Встроенная процедура регулирования точно определяет конечную выходную мощность усилителя для контроля искажений усилителя и точного определения, готово ли устройство к поставке. Традиционные методы измерения мощности используют либо свипирование, либо захват I/Q-сигнала с последующей программной обработкой. И поскольку скорость обработки может зависеть от скорости процессора, с недавних пор стали широко применяться измерители на основе ПЛИС, которые позволяют достигать скоростей измерения, превышающих возможности современных процессоров. Благодаря высокоскоростной шине PXI в сочетании с обработкой БПФ в режиме реального времени в ПЛИС, векторный трансивер значительно сокращает общее время тестирования (см. табл. 2: сигнал FDD LTE с полосой 10 МГц, а общее время тестирования включает время установки и измерения для одной итерации регулирования).

Таким образом, разработчики коммуникационных систем, усилителей ВЧ и инженеры-метрологи, которые пытаются повысить эффективность усилителей, должны принимать во внимание методы измерения и анализа, входящие в состав типового решения Keysight для измерения параметров усилителей мощности ВЧ и модулей FEM. Типовое решение для измерения УМ ВЧ и модулей FEM представляет собой комбинацию измерительных приборов компании Keysight и лучшего в отрасли измерительного ПО. Кроме способов тестирования, отвечающих специальным требованиям методов ET и DPD, типовое решение предлагает проверенный подход к ускорению разработки контрольно-измерительных систем и повышению производительности тестов на всех этапах – от проектирования до изготовления. Применение нового ускорителя измерений Keysight M9451A PXIe позволяет достичь беспрецедентной производительности, необходимой для отслеживания огибающей, измерения цифровых предсказаний и многого другого.

Табл. 2. Общее время тестирования

Регулировка мощности	Спилирующий захват / программная обработка	Быстрый захват I/Q / программно-аппаратная обработка	Обработка в ПЛИС / векторный трансивер PXIe
WCDMA	70 мс	20 мс	5,5 мс
FDD LTE	110 мс	20 мс	5,5 мс





Новые цифровые мультиметры Keysight Technologies 34465A и 34470A

Keysight представляет новые высокопроизводительные 6,5- и 7,5-разрядные цифровые мультиметры серии TrueVolt. Мультиметры 34465A и 34470A обладают большой скоростью измерений, высокой точностью и большим объемом памяти, что делает их идеальным решением для тестирования сложных современных устройств. По сравнению с предыдущим поколением приборы снабжены большим объемом памяти для хранения данных. Кроме того, они имеют возможность измерять очень малые токи (диапазон 1 мкА с пикосекундным разрешением), что позволяет им работать со сверхмаломощными устройствами.

- Разрешение до 7,5 разрядов
- Скорость измерений: до 50 000 отсчетов в секунду
- Память: до 2 млн отсчетов
- Диапазон измерения напряжения: от 100 мВ до 1000 В
- Диапазон измерения силы тока: от 1 мкА до 10 А
- Интерфейсы: USB и LAN (в стандартной комплектации), GPIB (опция)

Инновационные решения для электронной промышленности

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород
www.dipaul.ru / info@dipaul.ru / тел. (812) 702-12-66

