

## ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ NI AWR DESIGN ENVIRONMENT 13

# ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

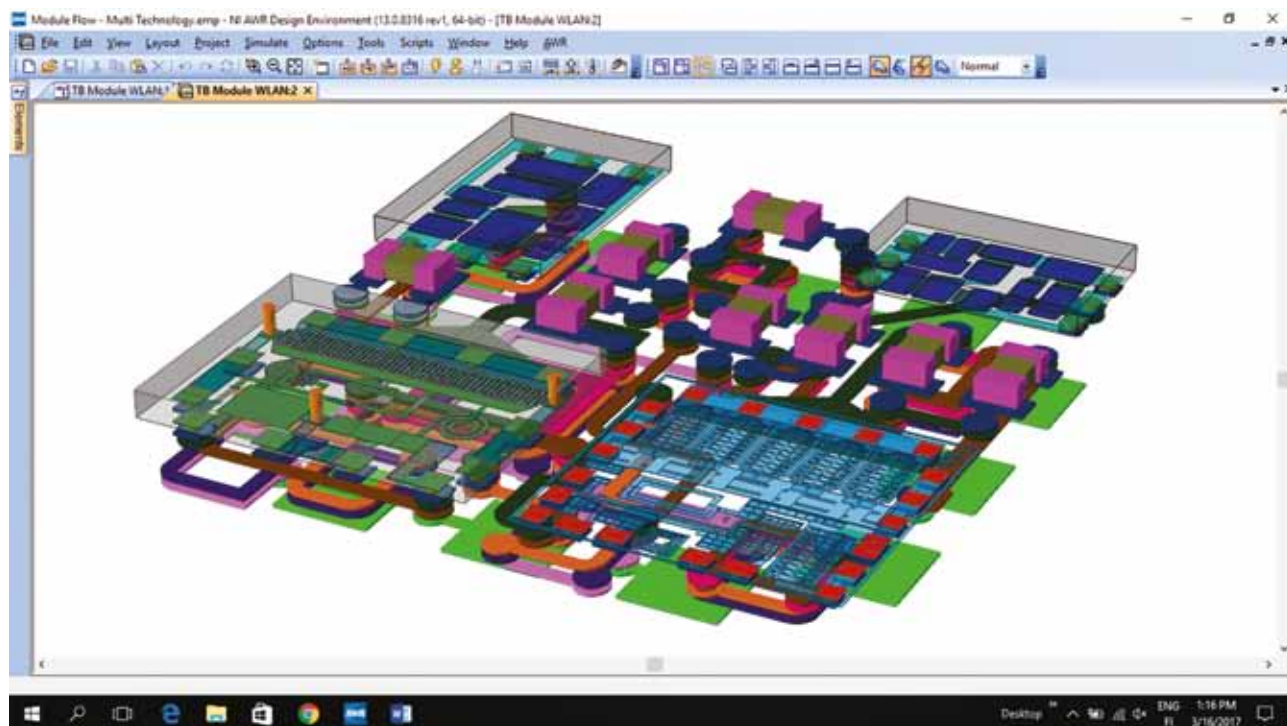
### ВВЕДЕНИЕ

Появление беспроводных устройств следующего поколения, развитие инфраструктуры сетей LTE-A/5G, необходимость в новых электронных системах аэрокосмического и оборонного назначения — все эти факторы ставят новые вызовы перед традиционными методами разработки радиочастотных (РЧ) и сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств. Эти вызовы, обусловленные высокими требованиями по ряду параметров производительности (такими, как рабочая полоса частот, линейность и эффективность), зачастую усложняются давлением системных и рыночных факторов: физических размеров, веса и минимально возможной стоимости устройств. Помимо ряда инженерных задач приходится решать и экономические проблемы, связанные с увеличивающимися затратами на разработку устройств, ограниченностью инженерных ресурсов и скоростью вывода продукта на рынок сбыта.

Чтобы удовлетворить требованиям, предъявляемым к разрабатываемому продукту, и достичь беспрецедентного уровня интеграции и функциональности при постоянно уменьшающихся конструктивных параметрах, разрабатываются и исследуются новые материалы интегральных схем и печатных плат, а также новые модульные технологии (рис. 1).

Для успешного внедрения подобных технологий инженерам необходимы мощные инструменты автоматизированного проектирования, способные точно рассчитать электрические параметры производительности, связанные с физическими характеристиками конструкции, корректно учесть возбуждения от сигналов сложной формы, используемых в системах связи и радиолокации, а также обеспечить непрерывность процессов разработки и последующего изготовления устройства.

Для решения всех этих задач версия 13 программного пакета NI AWR Design Environment предлагает открытую интегриро-



▲ Рис. 1. Развитие модульных технологий направлено на достижение беспрецедентных уровней интеграции и функционала в условиях непрерывного уменьшения размерных параметров

ванную платформу для совместного моделирования на системном, схемном и электромагнитном (ЭМ) уровнях, позволяющую работать с такими высокочастотными устройствами, как антенны, усилители, фильтры, смесители, а также пассивные и активные устройства обработки сигнала. Последние нововведения повышают продуктивность разработчика благодаря более мощным и быстрым алгоритмам схемотехнического, системного и ЭМ-анализа, обширным библиотекам моделей и безупречной автоматизации и интеграции процесса проектирования, поддерживающего разработку монолитных и радиочастотных интегральных схем, печатных плат и многокристальных модулей.

### СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ Разработка для производства

На высоких и сверхвысоких частотах параметры устройств напрямую зависят от физического воплощения компонента. Следовательно, необходимо с невероятной тщательностью подойти к внедрению физических параметров в используемую модель компонента, а также убедиться, что эти параметры полностью и с достаточной точностью соответствуют реальным характеристикам производственного процесса. NI AWR Design Environment 13 предлагает новые и усовершенствованные возможности по работе с топологией и совместимости со сторонними инструментами автоматизированного проектирования интегральных схем и печатных плат (рис. 2).

Функциональные улучшения коснулись механизмов ввода проектных данных (как на схемотехническом, так на топологическом уровнях), работы с иерархическими данными схем, системных диаграмм и ЭМ-структур, инструментов синтеза, моделирования и оптимизации проекта, а также наборов измерений. В целом изменения нацелены на обеспечение более эффективной разработки проектов, основанных на конкретных технологических процессах, как, например, печатные платы или гибридные схемы, используемые в многокристальных модулях, включающих в себя различные монолитные и радиочастотные интегральные схемы (МИС и РЧИС) в одном корпусе.

Специализированные наборы разработчика PDK (Process Design Kit) содержат файлы библиотеки моделей (символы,

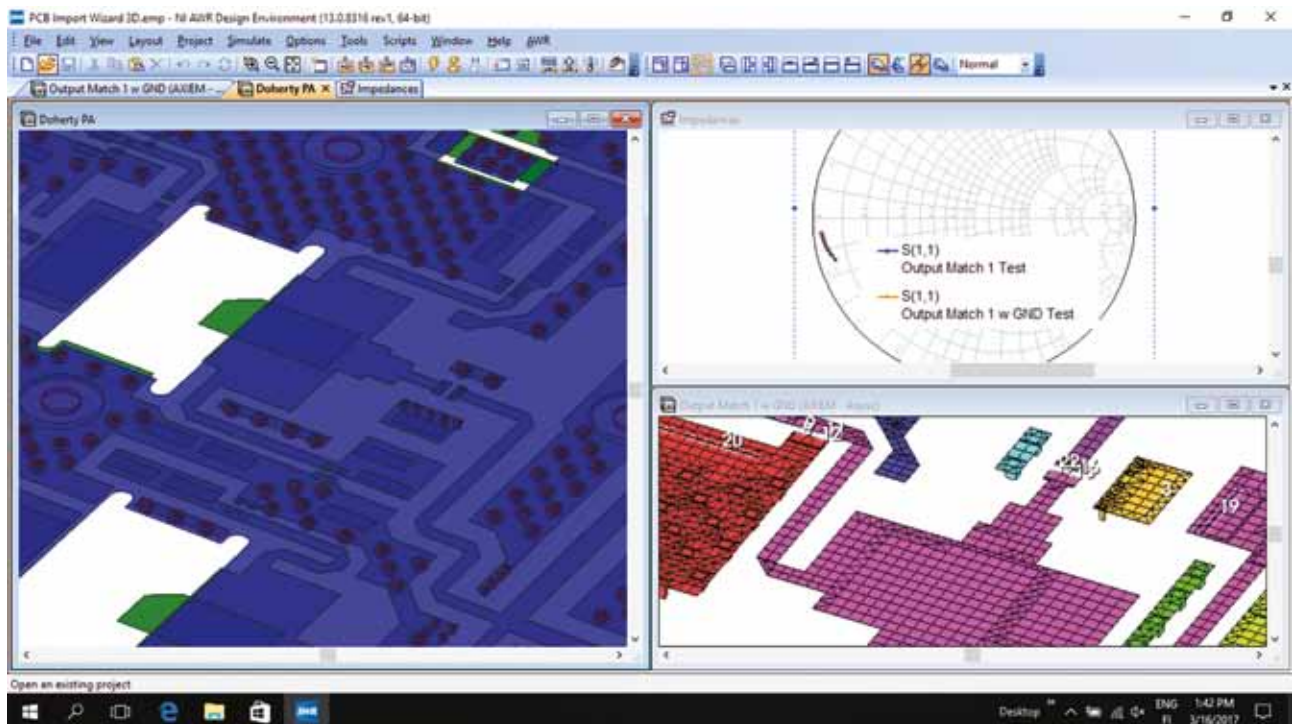
параметры компонентов, параметризованные ячейки), данные техпроцесса, модели для симуляций, набор проектных норм для верификации и другие данные. PDK используются производителями для построения готовой к симуляции модели своего устройства на основе данных, доступных в процессе производства. В NI AWR Design Environment 13 были значительно упрощены процесс установки новых PDK и работа с несколькими файлами техпроцесса (LPF), использование которых типично для многокристальных модулей. Помимо этого, в состав PDK теперь можно включить специально настроенные панели инструментов для поддержки специфики маршрутов проектирования лидирующих производителей компонентов.

В многокристальных модулях проектирование и моделирование внекристальных компонентов, включая встроенные пассивные и многослойные межсоединения, зачастую требует включения в расчет некоего представления одной или нескольких РЧИС для оценки характеристик целого модуля. Разработчику необходимо встроить точную модель РЧИС (или наиболее критичных ее частей) в иерархию проекта, учитывающую наличие многослойной подложки. Благодаря усовершенствованному подходу к работе с иерархическими проектами и новому инструменту импорта и экспорта данных OpenAccess (который поддерживает, в частности, импорт/экспорт РЧИС и обозначений из Cadence Virtuoso), разработанные при помощи инструментов Cadence радиочастотные схемы можно просто моделировать при помощи технологий анализа многокристальных модулей NI AWR Design Environment. Наличие точных моделей РЧИС в иерархии проекта позволяет разработчику сфокусироваться на моделировании и оптимизации характеристик самой многослойной структуры при помощи трехмерного планарного и/или полноценного трехмерного ЭМ-моделирования на основе симуляторов AXIEM и Analyst соответственно или ЭМ-решателей сторонних разработчиков.

### ЭМ-МОДЕЛИРОВАНИЕ

#### Встроенные алгоритмы ЭМ-анализа

Встроенные в NI AWR Design Environment симуляторы AXIEM и Analyst рассчитывают электрические структуры на основе геометрии при помощи решения уравнений Максвелла.



▲ Рис. 2. Новый скрипт импорта данных позволяет автоматически перенести данные из сторонних средств проектирования печатных плат в NI AWR Design Environment

АХИЕМ применяется для анализа таких планарных структур, как линии передачи, спиральные индуктивности, антенны, антенные решетки и системы (рис. 3) и МДМ-конденсаторы, в то время как Analyst предназначен для расчета трехмерных объектов: проволочных и шариковых выводов, подложек конечной толщины, антенн (например, рупорных). Обновления расчетных алгоритмов в версии 13 обеспечивают значительный прирост в скорости работы и точности расчета, а также дополнительные усовершенствования в автоматизации и интеграции процесса проектирования в Microwave Office.

Моделирование в новой версии АХИЕМ на основе итеративного матричного решателя стало значительно быстрее благодаря одновременному расчету нескольких портов. Алгоритм продвинутой развертки по частоте AFS автоматически выбирает набор частот для моделирования, после чего использует результаты расчета для интерполяции S-параметров.

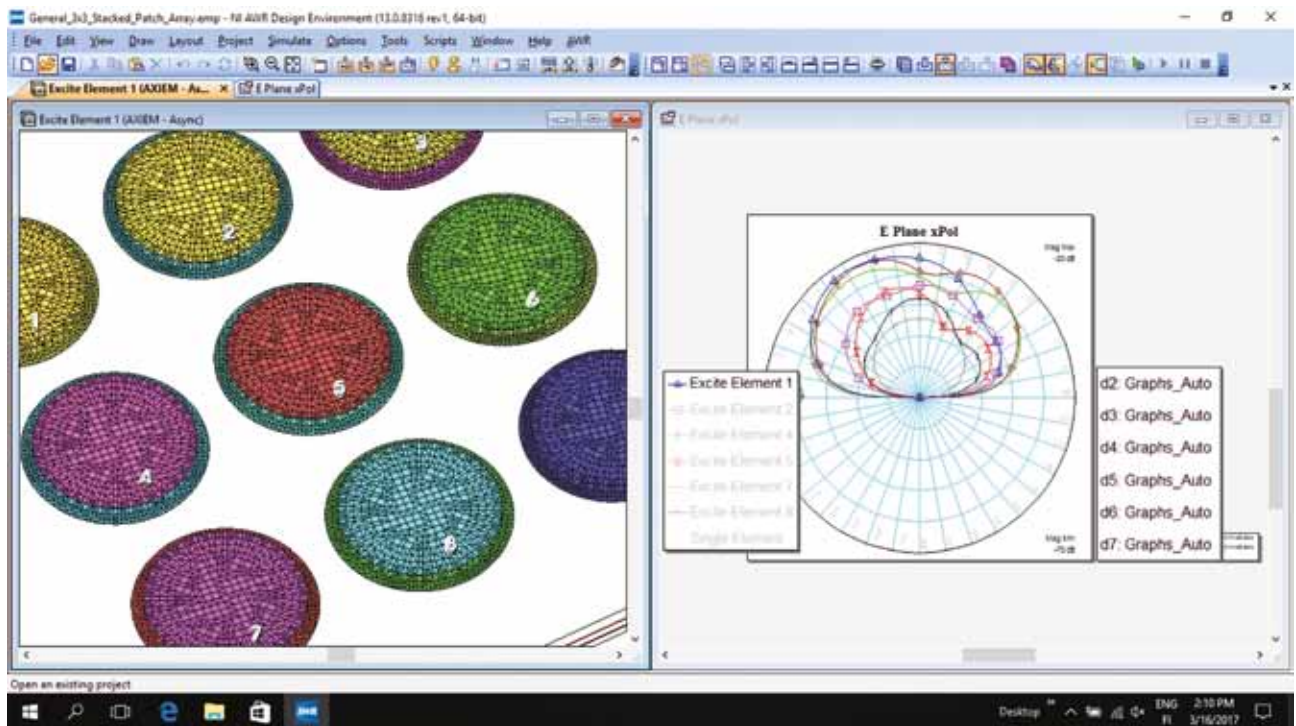
Как и АХИЕМ, Analyst обеспечивает практически двукратное сокращение времени моделирования по сравнению с предыдущей версией. Обновления алгоритмов построения сетки увели-

чивают точность и скорость расчета, при этом доступ к режиму анализа портов Ports only и получение данных о распределении полей, коэффициентах распространения и импедансах портов стал еще проще. Analyst также может моделировать шероховатости поверхностей, что позволяет учесть влияние поверхности на электрические параметры и увеличить точность расчета линий передачи.

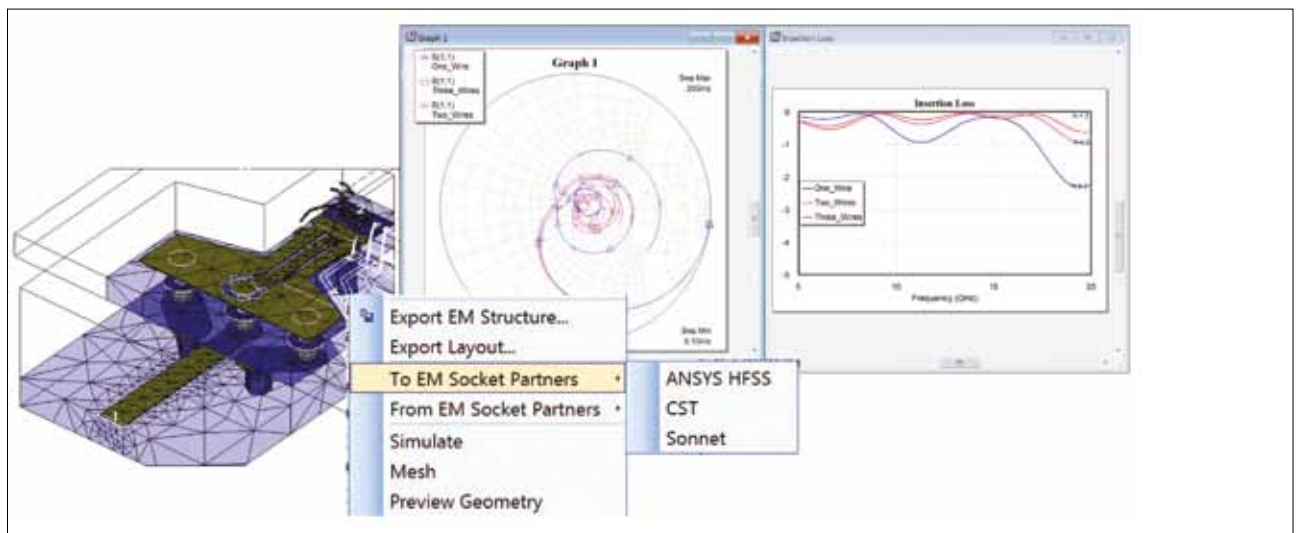
Помимо этого, вместе с Analyst 13 новый функционал добавлен и в 3D-редактор, изменения в котором затронули, в частности, функции создания эскизов и управления параметрами сплошных тел, организацию материалов и их параметров в дереве редактора, автоматическое завершение выражений для параметров и переменных, а также группировку и сортировку переменных.

### Сторонние решения для ЭМ-анализа

Семейство решений AWR Connected для взаимодействия программного обеспечения NI AWR с решениями сторонних разработчиков было усовершенствовано для еще большей ав-



▲ Рис. 3. Расчетная сетка для системы патч-антенн размером 3×3 элемента и полученные в АХИЕМ диаграммы направленности



▲ Рис. 4. Выбрав один из поддерживаемых сторонних ЭМ симуляторов в специальном меню для последующего анализа, можно будет получить набор данных, который будет автоматически импортирован обратно в Microwave Office для подстройки, оптимизации, статистического анализа и верификации результатов

томатизации передачи данных из NI AWR Design Environment в сторонние инструменты ЭМ-анализа. Версия 13 AWR Connected, поддерживающая симуляторы ANSYS HFSS, CST и Sonnet, стала более надежной и полностью двунаправленной. После создания топологии в Microwave Office можно выбрать один из поддерживаемых сторонних ЭМ-симуляторов в специальном меню для последующего анализа, после чего набор данных будет автоматически импортирован обратно в Microwave Office для подстройки, оптимизации, статистического анализа и верификации результатов (рис. 4).

### СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ/СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЕЙ

#### Метод гармонического баланса

Моделирование методом гармонического баланса — это ключевая технология в анализе нелинейных РЧ/СВЧ-схем с активными компонентами (транзисторами). Симулятор APLAC — технология NI AWR для моделирования высокочастотных схем — идеально интегрирован в инструменты проектирования схем Microwave Office и Analog Office. APLAC разрабатывался для минимизации времени моделирования и используемой памяти при сохраняющейся надежности и точности расчета. Чтобы обеспечить поддержку анализа нелинейных компонентов систем связи, новая версия APLAC включает гибридную технологию частотно-временного анализа по методу огибающей, позволяющей моделировать схемы с источниками апериодических сигналов (например, модулированных РЧ-сигналов), при этом доступный набор измерений включает в себя расчет напряжения или тока во временной области для конкретной несущей и соответствующий спектр сигнала. В дополнение к новой технологии анализа модулированных сигналов были добавлены новые источники для описания модуляции, в частности, с возможностью ввода IQ-данных модулированного сигнала.

Скорость и надежность движка симулятора переходных процессов (во временной области) APLAC были увеличены за счет нового ядра и усовершенствованного алгоритма шага по времени. Среди прочих обновлений — новая система контроля

ошибок и опция выбора типа расчета: точный, быстрый или оптимальный. Функция нестационарного гармонического баланса (ТАНВ), используемая для анализа схем цифровых делителей и точных нелинейных измерений фазового шума аналоговых и РЧ-устройств, в версии 13 может быть использована и для анализа осцилляторов путем установки параметра ТАНВ на один из трех вариантов: Disabled (отключено), Convergence Aid (подбор сходимости) или Initial Guess (начальное приближение).

Для моделирования во временной области необходимо качественно провести экстракцию соответствующих моделей пассивных компонентов, набора S-параметров и линий передачи. Нововведения версии 13 включают улучшенное соотношение скорости/точность применительно к экстракции S-параметров и более надежную обработку данных низкого качества.

NI AWR Design Environment версии 13 расширяет поддержку load-pull и source-pull анализа, позволяя разработчикам непосредственно наблюдать за изменениями контуров на диаграмме Смита в зависимости от значений импеданса источника и нагрузки. Этот уникальный функционал обеспечивает значительное ускорение процесса разработки усилителей с известной моделью транзистора, поскольку прямое изменение импеданса нагрузки или источника сразу отображается на контуре противоположного конца тракта и не требует повторного проведения симуляции, что значительно экономит время за счет отсутствия необходимости в трудоемком итеративном подходе к согласованию нагрузки или источника.

#### Разработка систем связи

Достижение характеристик, соответствующих требованиям сетей 5 поколения, основано на разработках в нескольких основных направлениях. Во-первых, это эффективное использование спектра, включающее вариации сигналов с мультиплексированием с ортогональным частотным разделением (OFDM), представленные в LTE R8, и меж- и внутримоносную агрегацию несущей. Во-вторых, это повышение эффективности радиопередачи с развитием технологий ММО (многоканальный вход — многоканальный выход) и методик управления лучом диаграммы направленности. Еще одним направле-

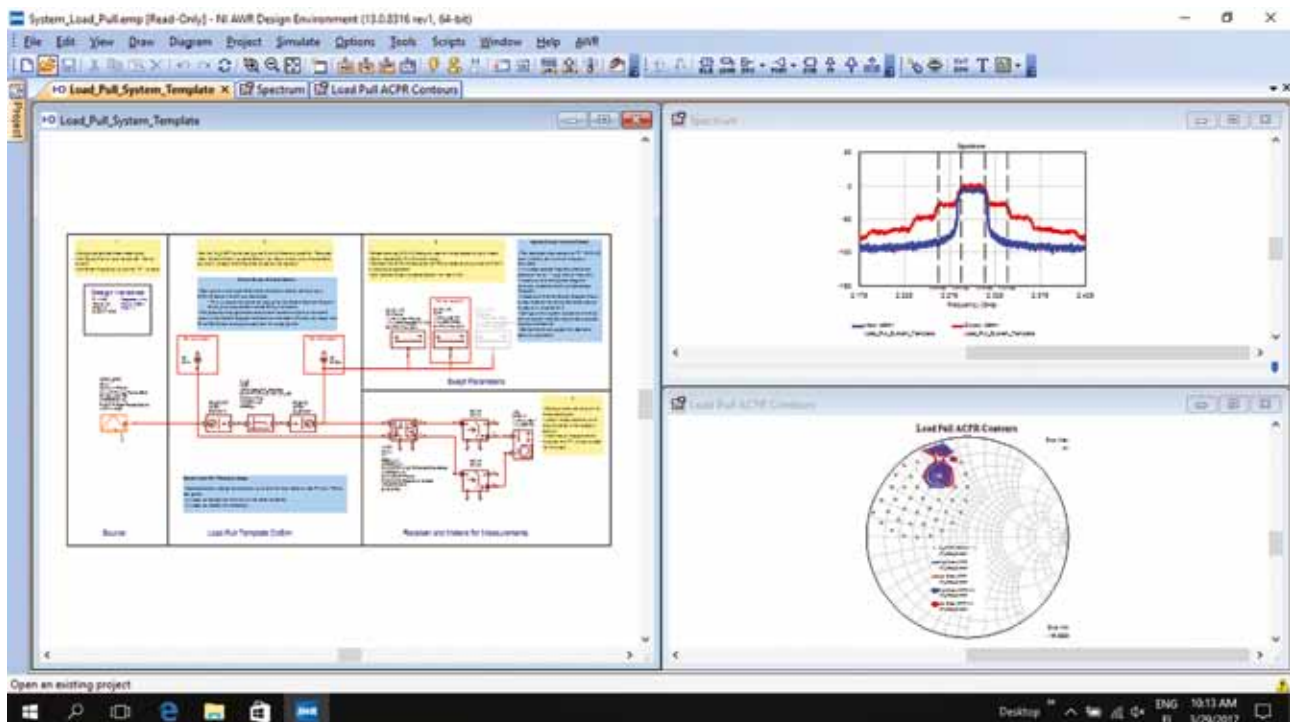


Рис. 5. VSS поддерживает load-pull анализ активных устройств с цифровой модуляцией (например, мощных транзисторов) для таких параметров систем связи, как ACPR и EVM

нием является переход в область более высоких частот — выше 6 ГГц и дальше в область миллиметровых волн. Нововведения NI AWR Design Environment 13 направлены на помощь разработчикам систем и компонентов, сталкивающимся с новыми вызовами при работе над этими задачами.

Интеграция новых сигналов и несущих усложняет задачи, стоящие перед разработчиками усилителей мощности, в числе которых достижение характеристик линейности и эффективности, и обеспечить пропускную способность для покрытия полосы пропускания внутри несущей. Чтобы помочь инженерам с решением этих задач, программный пакет проектирования на системном уровне Visual System Simulator (VSS) получил новый функционал, поддерживающий load-pull анализ активных устройств с цифровой модуляцией (например, мощных транзисторов) для таких параметров систем связи, как коэффициент мощности по соседнему каналу (ACPR), модуль вектора ошибок (EVM) и частота получения ошибочных битов (BER) на основе либо измеренных load-pull данных, либо нелинейной модели, построенной на результатах измерений или моделирования (рис. 5).

### Модели и библиотеки

Моделирование систем и усилителей мощности для проектирования систем связи в VSS обеспечивается новыми библиотеками и функциями, представленными в версии 13. VSS теперь поддерживает LTE-Advanced (LTE-A) и объединение несущей в одной или разных полосах частот, а также набор перспективных типов модуляции сигналов для сетей 5G: FBMC (мультиплексирование с множеством несущих на основе банка частотных фильтров), GFDM (обобщенный метод частотного дискретного мультиплексирования) и FOFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением и фильтрацией) (рис. 6).

Эти технологии используют преимущества высоких скоростей обработки данных для обеспечения высоких скоростей передачи, и поэтому рассматриваются как замена OFDM и SC-FDMA (ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием на одной несущей), предназначенных для скачивания и загрузки данных соответственно.

### ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

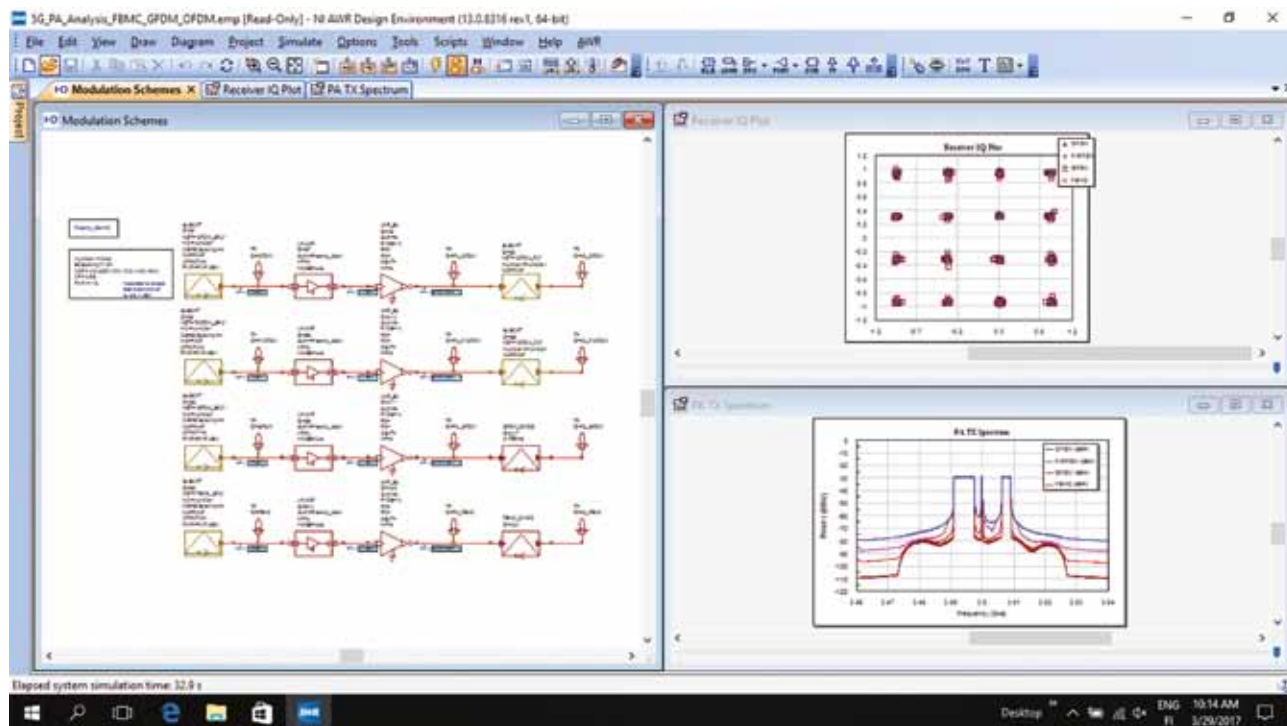
Для обмена и дальнейшего использования данных в последующих симуляциях в новой версии VSS создается текстовый файл нелинейной поведенческой модели, включающий данные о входной и выходной фундаментальных частотах, продуктах интермодуляции (для двухтональных симуляций), гармониках (для однотональных симуляций),  $S_{11}$  и  $S_{22}$ , характеристических импедансах входа и выхода, шумовом факторе. Кроме того, данные, полученные при помощи встроенного в VSS РЧ-анализатора RF Inspector могут быть экспортированы в файл формата .xml.

Еще одна новая возможность версии 13 — построение данных измерений в режиме реального времени даже до завершения моделирования, что позволяет разработчикам получить предварительное представление о результатах и дает возможность подстроить параметры проекта или симуляции для максимальной оптимизации процесса проектирования.

Чтобы помочь пользователям извлечь как можно больше полезной информации из полученных результатов, в версии 13 предложены два новых типа маркеров: маркеры автопоиска и маркеры смещения. Маркеры автопоиска автоматически определяют заданные пользователем элементы (например, глобальный максимум графика) и перемещаются по оси X, чтобы оставаться на найденном элементе даже после обновления графика, вызванного подстройкой или оптимизацией какого-либо параметра проекта. Маркеры смещения поддерживают постоянным заданное смещение по осям X и Y относительно другого маркера на графике. Помимо этого, к маркерам теперь можно добавлять заметки и примечания в формате RTF для упрощения комментирования и документации результатов.

### ОПТИМИЗАЦИЯ И СИНТЕЗ

Версия 13 представляет новые возможности для ускорения запуска проекта благодаря новым скриптам синтеза таких устройств, как преобразователи, делители мощности, смесители и сумматоры, на основе набора задаваемых пользователем начальных спецификаций. Оптимизация проектирования была улучшена за счет использования новых генетических алгоритмов, основанных на перемешивании и отборе данных для



▲ Рис. 6. Новые перспективные сигналы для сетей 5G и поддержка анализа нелинейных схем с цифровой модуляцией и систем связи

быстрого и надежного анализа большого числа случайно распределенных по проектному пространству точек. Такой подход приводит к более эффективному поиску проектных возможностей и оптимальных решений.

#### ИТОГИ

NI AWR Design Environment 13 предлагает новые и усовершенствованные решения в области автоматизации проектирования и моделирования передовых устройств современной высокочастотной электроники, в том числе телекоммуникационного, аэрокосмического и оборонного назначения. Несмотря на то, что стремительный рост требований к компонентам для подобных применений ставит сложные задачи перед разработчиками полупроводниковых интегральных схем, печатных плат и многокристальных модулей, программное обеспечение NI AWR предлагает мощные инструменты автоматизации маршрута проектирования, обеспечивающие высокую скорость и точность моделирования на схемотехническом, системном и электромагнитном уровнях, позволяя производителям устройств и системным интеграторам легко справиться с вызовами рынка РЧ-/СВЧ-устройств относительно параметров производительности устройств, их размера, стоимости и скорости вывода проекта на рынок.

Чтобы узнать больше о NI AWR Design Environment 13, посетите [awr.com/whats-new](http://awr.com/whats-new), где вы сможете ознакомиться с документацией, раскрывающей подробности каждого из более чем ста нововведений и улучшений последней версии. —