

Интеграция устройств на основе нескольких технологий в многокристальные модули на многослойных подложках

Киф Боханнан, Keysight Technologies, Inc.

В статье приведён обзор полностью интегрированного процесса проектирования, демонстрирующий эффективность решения для разработки и оптимизации нескольких многокристальных ВЧ-модулей.

Устойчивые тенденции в создании коммуникационных систем текущего и следующего поколения порождают большой спрос на многорежимные, многодиапазонные и многофункциональные модули. Инженеры сталкиваются с необходимостью решения проблем перекрытия спектров, а также проблем ограниченности пространства на печатных платах абонентских устройств. Старые методы проектирования многокристальных модулей объединяют множество технологических процессов для различных материалов (например, соединения элементов III–V группы, кремний, керамика, органические вещества) и функций (например, усилители, акустические устройства, встраиваемые пассивные элементы, SMD-компоненты и др.). И хотя такой подход позволяет получить работоспособную конструкцию, важную роль

в улучшении характеристик, повышении эффективности проектирования и, в конечном итоге, в ускорении продвижения на рынок играет интегрированное решение для проектирования. Кроме того, интегрированная методика проектирования даёт более предсказуемые результаты, снижая риски, связанные с часто применяемыми раздробленными, независимыми технологиями проектирования.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ВЧ-МОДУЛЕЙ

Чтобы лучше понять, как правильно использовать интегрированную систему автоматизированного проектирования (САПР) электронных устройств, давайте рассмотрим процесс проектирования высокоэффективных ВЧ-модулей. Наметив конечный результат, мы рассмотрим

пример уже выпускаемых многокристальных модулей. Эти модули были разработаны с применением интегрированного процесса проектирования, который будет представлен далее. Результаты для модуля усилителя мощности (УМ) Skyworks [1] и интерфейсного модуля TDK-Epcos [2] приведены на рисунках 1 и 2 соответственно. В обоих случаях для этих сложных структур наблюдается хорошее согласование результатов моделирования и измерения.

Основные проблемы проектирования этих модулей:

- интеграция различных технологий, таких как КМОП (контроллер), ИС на основе соединений элементов III–V группы (усилитель), многослойная подложка для модуля УМ, а также акустический фильтр и коммутатор для модуля;
- потенциально разные процессы проектирования для указанных технологий;
- наличие встраиваемых пассивных компонентов и соединений в совокупности с пассивными SMD-компонентами, которые тоже нужно включить в полностью собранный модуль.

Дополнительно ситуация осложняется тем, что каждый компонент нужно моделировать совместно с другими элементами конструкции. Все эти проблемы вызывают потребность в учёте множества факторов. Как реализовать такую функциональность в ограниченном объёме и на малой площади? Как удовлетворить высокие требования, предъявляемые к эффективности при таких физических ограничениях? Как точно предсказать влияние одной части модуля на другую? Какие ключевые параметры, габариты и т.п. можно изменять для оптимизации характеристик на уровне отдельных узлов и модуля в целом? И хватит ли времени у разработчика на все эти сложные операции?

Учитывая перечисленные проблемы и компромиссы проектирования,

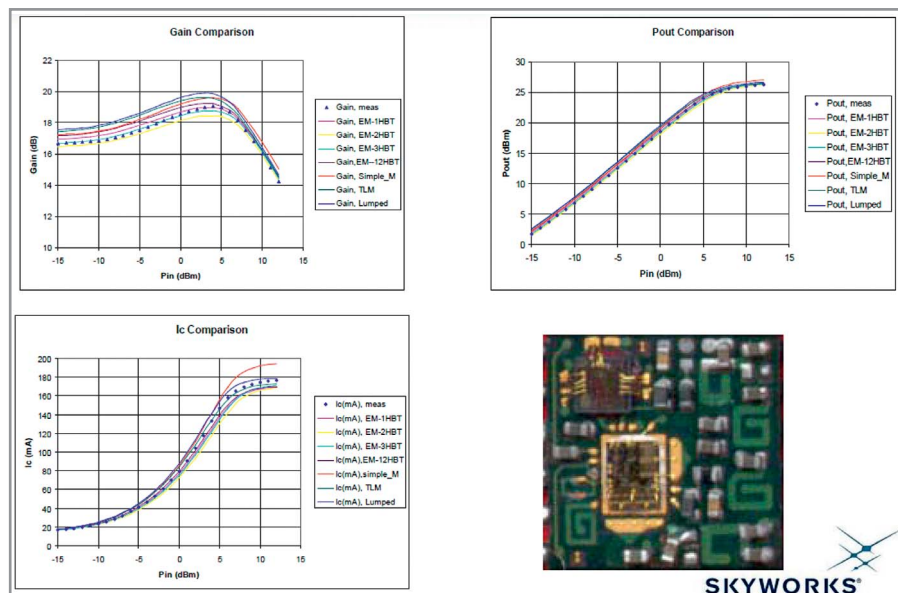


Рис. 1. Сравнение измерений в режиме свипирования входной мощности с результатами моделирования в САПР ADS (с использованием разных уровней детализации ЭМ-моделирования) для модуля УМ Skyworks

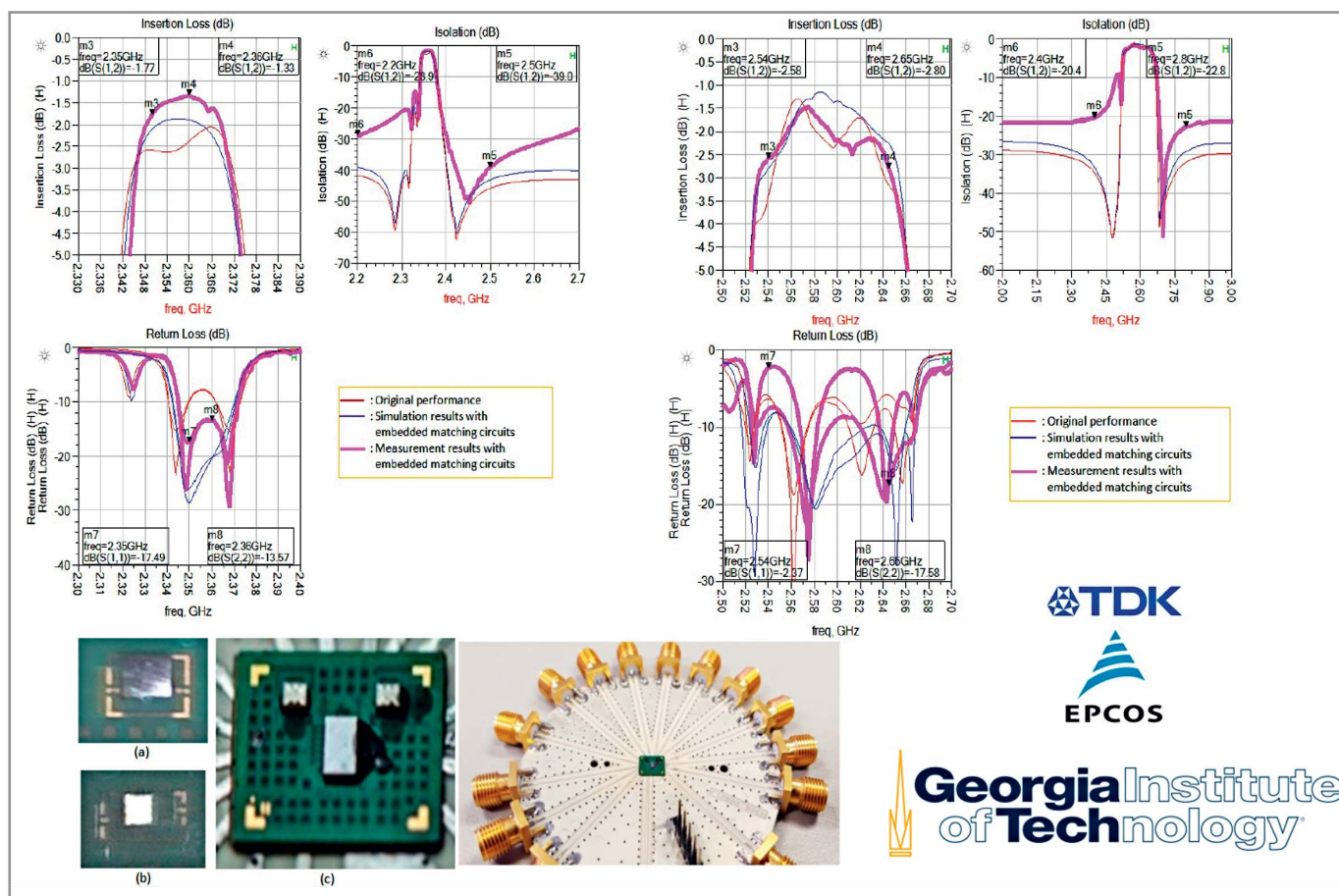


Рис. 2. Сравнение результатов измерения и результатов совместного моделирования в САПР ADS для низкочастотных и высокочастотных акустических фильтров интегрального ВЧ-модуля TDK-Epcos

у инженеров-разработчиков есть два возможных пути. Первый заключается в применении полностью интегрированного решения для проектирования, которое изначально поддерживает все технологии, хотя такой подход не всегда применим, если используются специальные инструменты для конкретного приложения. Другой путь заключается в том, чтобы создать более интегрированную методологию, использующую инструменты импорта, непосредственную интеграцию платформ и собственные возможности для максимально эффективного применения имеющегося инструментария. Для проектирования представленных здесь модулей на основе нескольких технологий использовались интегрированные платформы Keysight EEsof EDA Advanced Design System (ADS) [3] и EMPro [4]. Обе платформы предлагают возможность импорта и оптимизации модулей этого класса.

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Для интеграции различных технологических разработчиков монокристалльных

модулей нужно выбрать подходящую платформу, даже если для некоторых компонентов применяются в корне отличающиеся процессы проектирования. Что в данном случае понимается под словом «подходящая»? Решение, которое можно рассматривать в качестве «подходящего», должно поддерживать:

- полную конструкцию модуля, независимо от функционала и метода проектирования (т.е. содержимое отдельных узлов может проектироваться в собственных средствах разработки или в средствах разработки сторонних фирм);
- учёт физических эффектов (наводок, потерь, излучений, влияния подложки) для всех физических аспектов конструкции, включая конфигурацию компонентов, встроенные пассивные элементы, соединительные проводники, столбиковые контакты и т.п.;
- стандартные и специальные аналитические модели активных устройств, SMD-компонентов и т.п.;
- средства проектирования с учётом требований производства, такие как инструменты для оптимизации

выхода годной продукции, учёта вариаций технологических процессов и др.;

- сравнение результатов моделирования модуля с результатами измерений опытных или серийных образцов по ограниченной опытной партии.

Подобное этому подходящее решение не только позволяет проектировать монокристалльные ВЧ-модули, но и обеспечивает простое включение контента из других специальных средств проектирования. Для множества рассмотренных монокристалльных модулей в роли такой объединяющей платформы выступала система ADS.

Какое бы решение ни использовалось для этой цели, оно должно иметь функции проектирования схемы, топологии, средства проверки соблюдения проектных норм и контроля топологии для проектирования ВЧ-компонентов и модуля в целом. В случае САПР ADS это позволяет проектировать монокристалльные модули и оценивать их характеристики с помощью инструментов для проверки соединений (на плоскости и в объёме), 3D FEM-симуляторов и универсальных средств

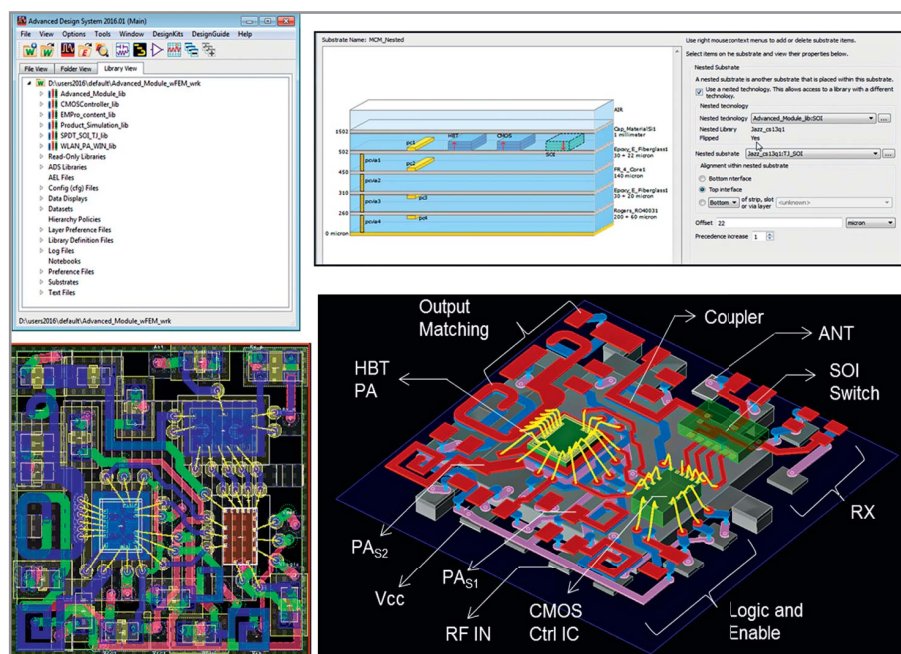


Рис. 3. Проект мультитехнологичного РЧ-модуля в САПР Advanced Design System: главное окно проекта с библиотеками, редактор подложки и топология модуля в 2D и 3D

электромагнитного и схемотехнического моделирования линейных и нелинейных цепей.

Далее приведена сводка возможностей проектирования различных УМ и интерфейсных модулей.

- Интегральные компоненты и акустические фильтры могут проектироваться в САПР ADS или с помощью сторонних инструментов. Если они проектируются специальными средствами, то аналитические модели или 2D-конструкции могут непосредственно импортироваться в САПР ADS, тогда как 3D-конструкции можно легко импортировать в САПР EMPro, обладающую полным набором 3D-функций.
- Любые компоненты, импортированные в САПР EMPro, можно сохранить в виде библиотеки с открытым доступом (Open Access, OA).
- Любую OA-библиотеку из САПР EMPro можно добавить в среду САПР ADS и включить в конструкцию многокристального модуля в виде flip-chip или посредством проволочных перемычек. Собственные функции САПР ADS обычно включают проектирование многокристальных модулей на многослойных подложках (встраиваемых пассивных компонентов, соединительных линий и SMD-компонентов), а также проволочных соединительных проводников или медных столбиковых выводов, которые используются для подключения к кристаллу уси-

лителя, спроектированного с помощью полного сквозного процесса в САПР ADS.

- Затем в САПР ADS применяются функции полного ЭМ-моделирования, моделирования цепей, совместного ЭМ/схемотехнического моделирования и оптимизации, которые позволяют оптимизировать характеристики и процент выхода годной продукции.

Этот интегрированный процесс проектирования можно продемонстрировать с помощью нескольких общедоступных примеров. Однако в данном случае мы будем использовать пример многокристального модуля УМ.

На рисунках 3 и 4 показаны наиболее важные компоненты интегрированной рабочей среды для данного многокристального модуля УМ.

На рисунке 3 показаны (по часовой стрелке, начиная с левого верхнего угла): главное окно управления рабочей средой ADS (прямой доступ к множеству библиотек, включая PDK, библиотеки EMPro и собственные библиотеки), редактор физических структур с Nested Technology, трёхмерное представление топологии (с подписями) и двумерное представление многокристального модуля УМ, созданного с помощью интегрированного процесса проектирования в САПР ADS.

На рисунке 4 показаны (по часовой стрелке, начиная с левого верхнего угла): главное окно управления рабо-

чей средой, схема совместного ЭМ/схемотехнического моделирования верхнего уровня и некоторые результаты моделирования для многокристального модуля УМ, созданного с помощью интегрированного процесса проектирования в САПР ADS.

В процессе проектирования можно использовать множество различных библиотек, что обеспечивает беспрепятственный доступ к содержимому собственных библиотек проектирования, библиотекам для технологических процессов (PDK) изготовителей полупроводниковых приборов, библиотеке проектирования EMPro и библиотекам изготовителей SMD-компонентов. Редактор физических структур позволяет легко объединять несколько технологий с помощью опций Nested Technology (вложенной подложки). Система позволяет выводить двумерное и трёхмерное представление конструкции, а также позволяет использовать разные средства ввода-вывода и проверки. Затем на верхнем уровне совместного ЭМ/схемотехнического моделирования подключалась ЭМ-модель всей физической структуры многокристального модуля, созданная с помощью ADS FEM.

В данном конкретном случае выполнялось линейное моделирование на основе S-параметров и нелинейный анализ гармонического баланса. Некоторые результаты анализа показаны на рисунках 3 и 4.

Затем можно выполнить более глубокий анализ и оптимизацию конструкции так, как это было сделано для модуля маломощного усилителя (МШУ). Для данного МШУ выполнялось статистическое моделирование, позволяющее оптимизировать конструкцию для повышения процента выхода годной продукции (соединение кристалла проволочными перемычками в корпусе QFN). Сравнение результатов моделирования с результатами измерения для этого компонента, а также фотография модуля и его 3D-представление в САПР ADS, показаны на рисунке 5. Данное сравнение, демонстрирующее высокие характеристики, точно предсказанные решением САПР, красноречиво подтверждает достоинства этого метода проектирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты измерения подтвердили точность прогнозов по результа-

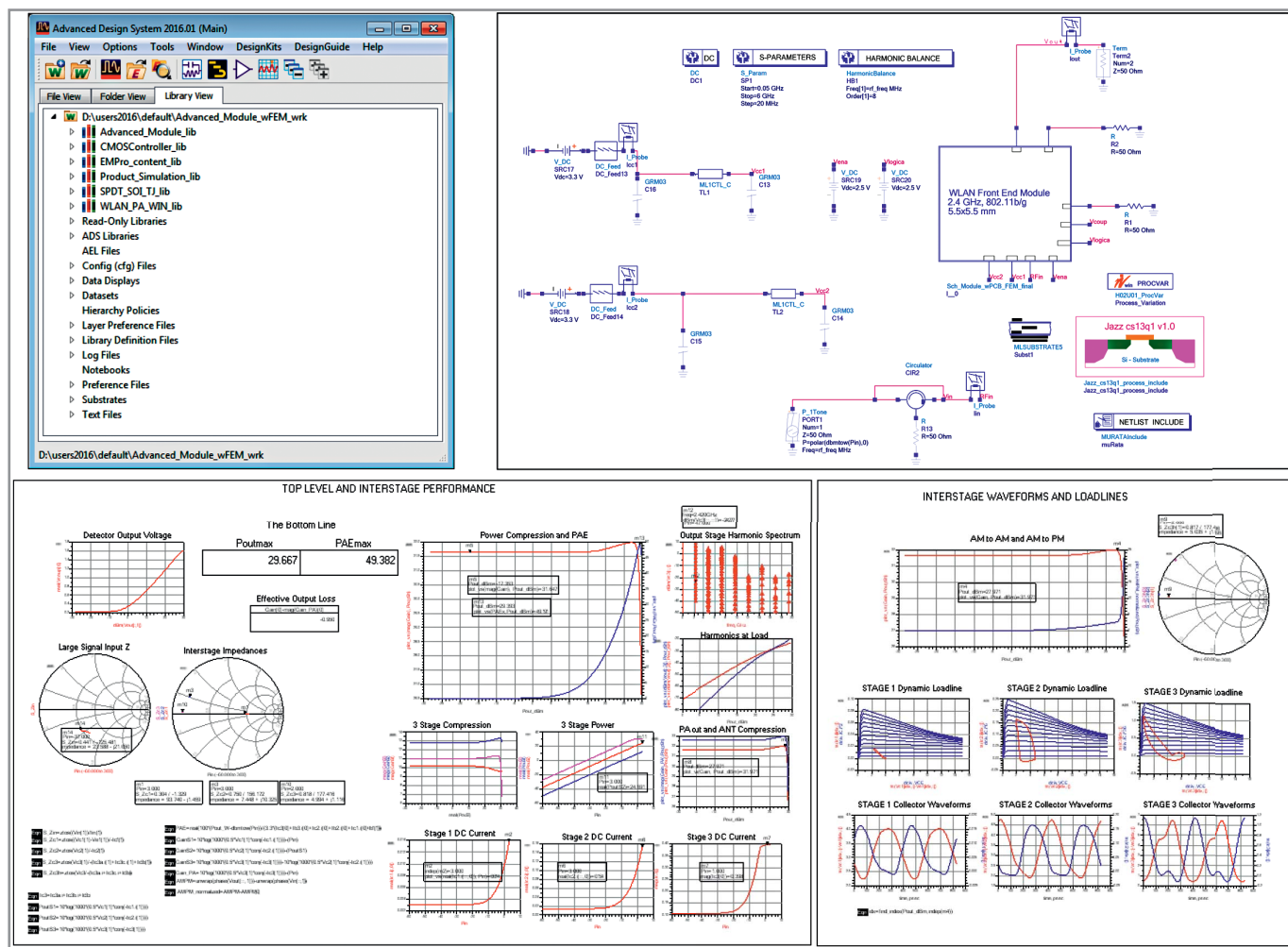


Рис. 4. Проект мультитехнологичного РЧ-модуля в САПР Advanced Design System: главное окно проекта с библиотеками, схематехнический редактор, окно постобработки данных с расчётами

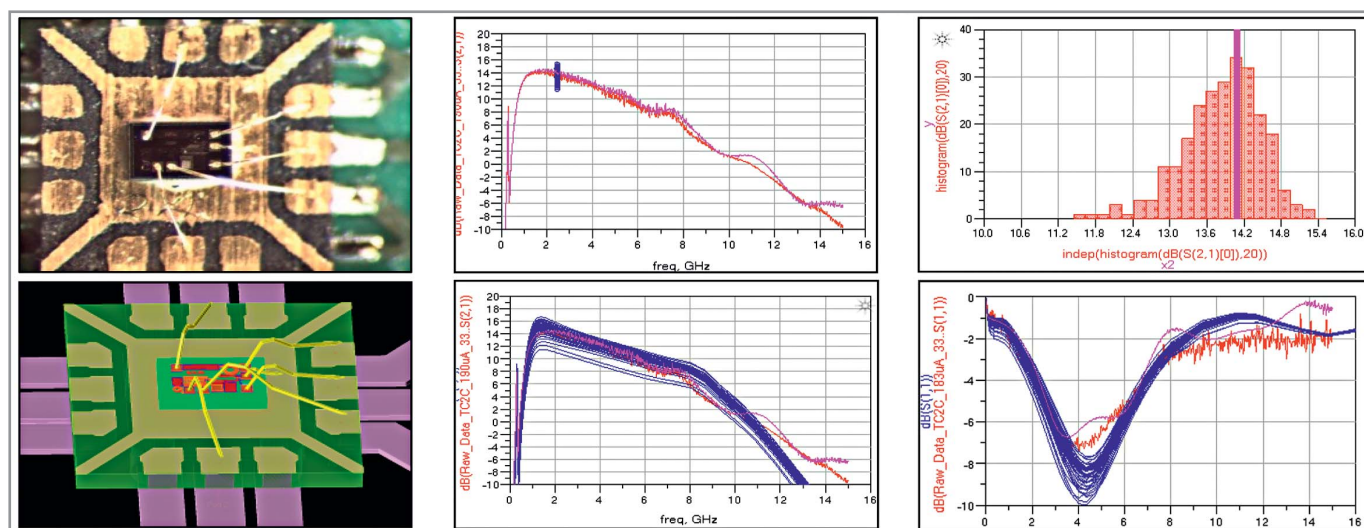


Рис. 5. Сравнение результатов моделирования с результатами измерения МШУ

там моделирования и также использовались для проверки процесса проектирования. Успех данного примера демонстрирует явные преимущества решения проблем проектирования многокристалльных модулей с помощью интегрированного процесса проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замфарди П., Шао Х. Сквозное проектирование и моделирование модулей УМ для сотовых телефонов. Презентации инновационных решений Agilent Technologies в серии веб-семинаров по САПР. 2012. Март.
2. Мин Дж., Ву З., Пулугурта М.Р., Смет В., Сундарам В., Равиндран А., Хоффман К.

Туммала Р. Разработка и демонстрация модели ВЧ-модуля на сверхтонкой стеклянной подложке для приложений LTE. Материалы 66-й конференции по электронным компонентам и технологиям (ECTC). 2016. С. 1297–1302.

3. www.keysight.com/find/eesof-ads.
4. www.keysight.com/find/eesof-empro.

