

Совместное электромагнитно-схемотехническое моделирование на базе интегрированного решения Genesys-Momentum

Рик КАРТЕР (Rick CARTER)
Richard_carter@agilent.com

Повышение рабочих частот и рост уровня сложности современных радиочастотных схем обуславливают необходимость проведения их электромагнитного (ЭМ) моделирования. Из-за сложности включения дискретных компонентов в процесс ЭМ-моделирования средствами существующих программ многие разработчики не учитывают ЭМ-эффекты при моделировании усилителей и LC-фильтров. Однако только линейное и нелинейное схемотехническое моделирование не в состоянии обеспечить той точности, которую может дать комбинация этих методик. Взаимные помехи, паразитные связи и влияние корпуса, не учитываемые при схемотехническом моделировании, могут привести к необходимости проведения дополнительных этапов разработки и задержать выход продукции на рынок.

Когда применяется электромагнитное моделирование

Большинство программных средств ЭМ-моделирования относятся к двум типам: 2,5D (иногда называемые «планарными 3D»), которые моделируют электромагнитные взаимодействия на плоскости, учитывая только вертикальные токи, например, через монтажные отверстия, и 3D, которые моделируют ЭМ-взаимодействия в пространстве. Статья посвящена программным средствам типа 2,5D (планарного 3D ЭМ-моделирования), которые используются при разработке планарных объектов, таких как печатные платы.

Планарное 3D ЭМ-моделирование применяется в следующих ситуациях:

- При наличии паразитных связей. Даже когда модели элементов схемы физически разнесены между собой, между ними могут возникать непредусмотренные паразитные связи. В качестве примера можно привести плоские выводы дискретных компонентов, которые выглядят достаточно удаленными, но на самом деле индуктивно связаны между собой при возникновении условий резонанса. Другим примером являются контактные площадки для дискретных компонентов монтажа, которые могут внести в цепь дополнительную емкость.
- При отсутствии модели схемы. Например, если разработчику нужно провести анализ

микроразветвленного Y-образного ответвителя, модель которого отсутствует.

- При наличии прорезей в металлизации заземления. Разработчики удаляют участки металлизации по различным причинам, например, для снижения емкости спиральной катушки относительно «земли» или для обеспечения сквозного прохода через слои металлизации.
- При выходе из диапазона функциональности модели. Все схемотехнические модели радиочастотных цепей разрабатываются с ограничениями на диапазоны изменения параметров их физической структуры (таких как длина, ширина и высота печатных проводников или диэлектрическая проницаемость подложки). Выход за пределы этих диапазонов может привести как к постепенному снижению адекватности модели, так и к появлению грубых ошибок при малейшем превышении диапазона.
- При размещении схемы в корпусе. Наличие корпуса, особенно закрытого, может оказать существенное воздействие на работу схемы вследствие взаимодействия ее элементов со стенками корпуса и возникновения объемных резонансов. Электромагнитное моделирование, как правило, является единственным способом, позволяющим точно оценить влияние корпуса на функциональность схемы. Большинство представленных на рынке средств 2,5D ЭМ-моделирования обеспечи-

вают возможность непосредственного моделирования планарных линий связи и цепей с распределенными параметрами. В то же время, при включении в разрабатываемую схему дискретных компонентов, таких как транзисторы, катушки индуктивности и конденсаторы, возникают проблемы. Многие средства ЭМ-моделирования имеют в этом плане ограниченные возможности или вообще не предусматривают интеграции в схему дискретных компонентов, требующих приобретения отдельных программ схемотехнического моделирования. Программы, поддерживающие интегрированное ЭМ-схемотехническое моделирование, как правило, предлагают достаточно сложный процесс включения дискретных компонентов. Для разных программ он различен, но обычно предусматриваются следующие этапы (рис. 1):

- 1) генерирование схемы устройства;
- 2) генерирование топологии платы;
- 3) размещение посадочных мест дискретных компонентов, обычно два или три места на компонент (длительная и трудоемкая процедура, в ходе которой возможны ошибки);
- 4) проведение ЭМ-моделирования;
- 5) генерирование файла S-параметров ЭМ-модели;
- 6) разработка отдельной схемы, объединяющей файл ЭМ-модели и схемотехнические модели дискретных компонентов (также длительная, чреватая ошибками процедура);

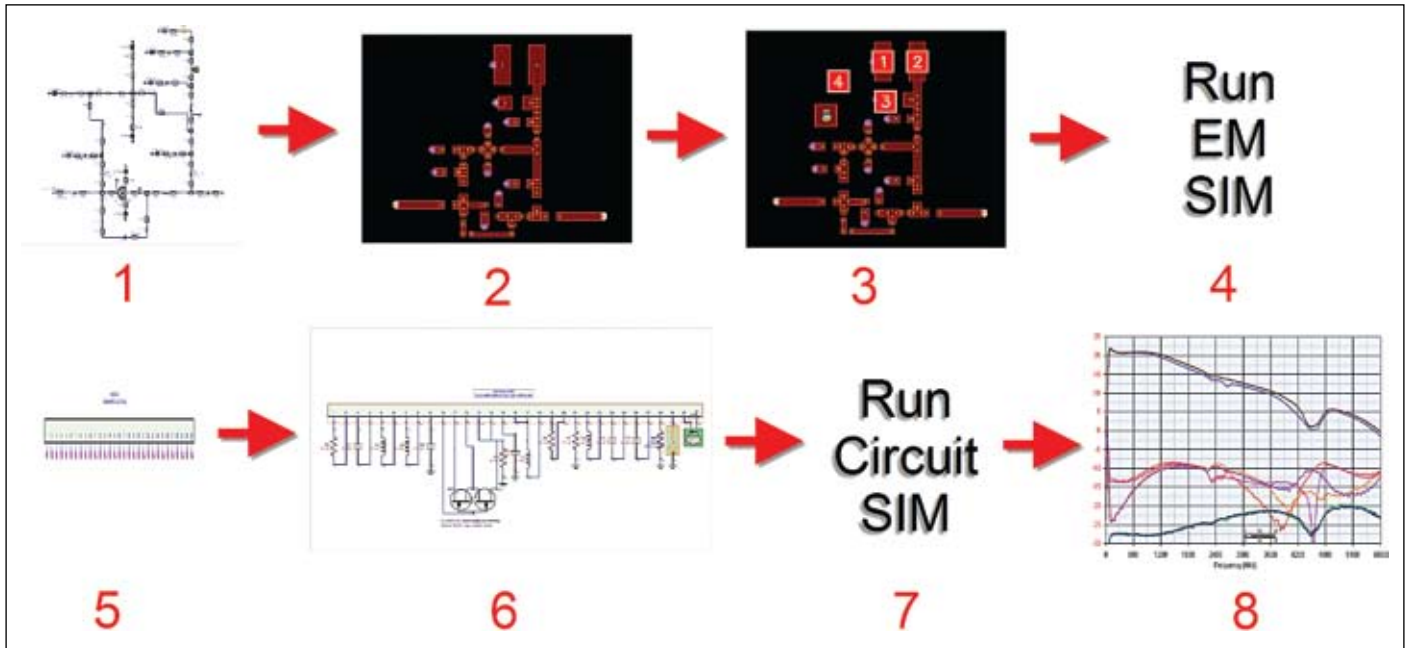


Рис. 1. Типовой маршрут совместного ЭМ-схемотехнического моделирования

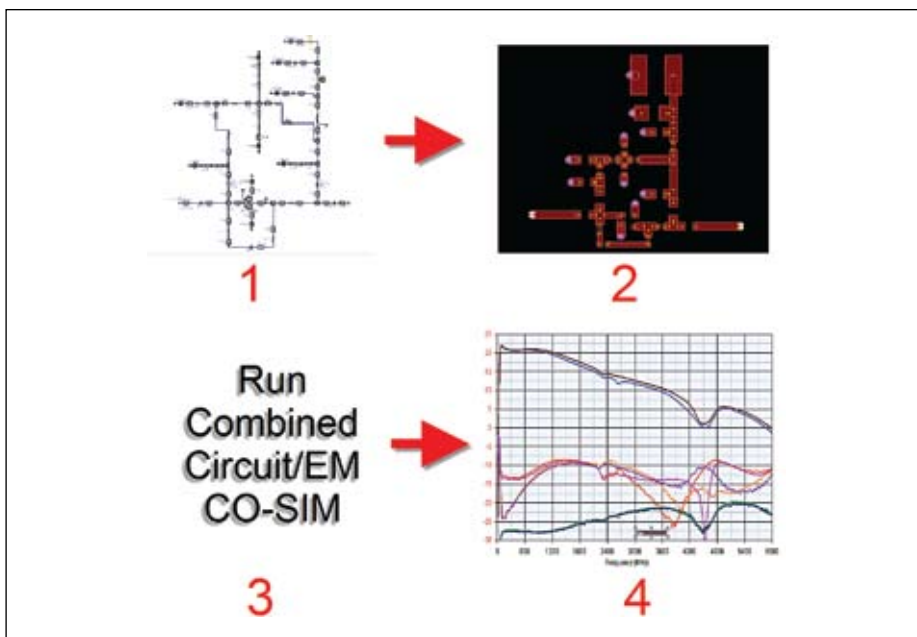


Рис. 2. Совместное ЭМ-схемотехническое моделирование в среде Genesys

моделирования методом гармонического баланса, средства SPICE-моделирования, модули синтеза и редактор радиочастотных структур с планарным 3D ЭМ-симулятором. Такое решение обеспечивает разработчикам недорогую высококачественную среду, возможности которой достаточны для обеспечения полного маршрута сквозного проектирования без привлечения дополнительных программных средств. Платформа позволяет задавать и оптимизировать параметры разрабатываемых схем, анализировать планарные схемы с проводниками произвольной геометрической формы, в том числе и в составе многослойных плат, корректно моделировать сложные электромагнитные эффекты.

Особенности симулятора Momentum GX

Характерной чертой программного модуля Momentum GX является наличие в его составе широкополосного и квазистатического симуляторы. Широкополосный (СВЧ) вычислитель обеспечивает точный учет граничных эффектов, моделирование рассеяния и излучения электромагнитных волн. Квазистатический (ВЧ) симулятор обеспечивает быстрое и точное моделирование сложных радиочастотных схем большого размера. В этом случае пренебрегают некоторыми механизмами потерь (площадь и излучение подложки).

Другими особенностями модуля Momentum GX являются:

1. Автоматическая адаптивная сетка. Многие средства ЭМ-моделирования используют механизм построения топологии планарных структур в виде сетки прямоугольных ячеек, размеры которых задаются вручную (рис. 3). Для таких систем характерны погрешно-

7) проведение схемотехнического моделирования (иногда ограничиваются линейным моделированием);

8) анализ результатов моделирования.

Компания Agilent решила большую часть этих проблем, разработав интегрированный программный модуль ЭМ-схемотехнического моделирования Momentum GX. Модуль Momentum GX является результатом интеграции хорошо зарекомендовавшего себя ядра ЭМ-моделирования Agilent Momentum EM системы автоматизированного проектирования Advanced Design System (ADS) в доступную по цене и простую в использовании среду Genesys. Работа модуля ЭМ-

моделирования непосредственно из среды Genesys превратила совместное ЭМ-схемотехническое моделирование в простой четырехэтапный процесс (рис. 2):

- 1) генерирование схемы устройства;
- 2) генерирование топологии платы;
- 3) запуск ЭМ и линейного или нелинейного схемотехнического моделирования;
- 4) анализ результатов совместного моделирования.

Платформа Genesys с расширением Momentum GX объединяет в доступной по цене интегрированной среде модуль линейного схемотехнического моделирования, редактор печатных плат, модуль нелинейного

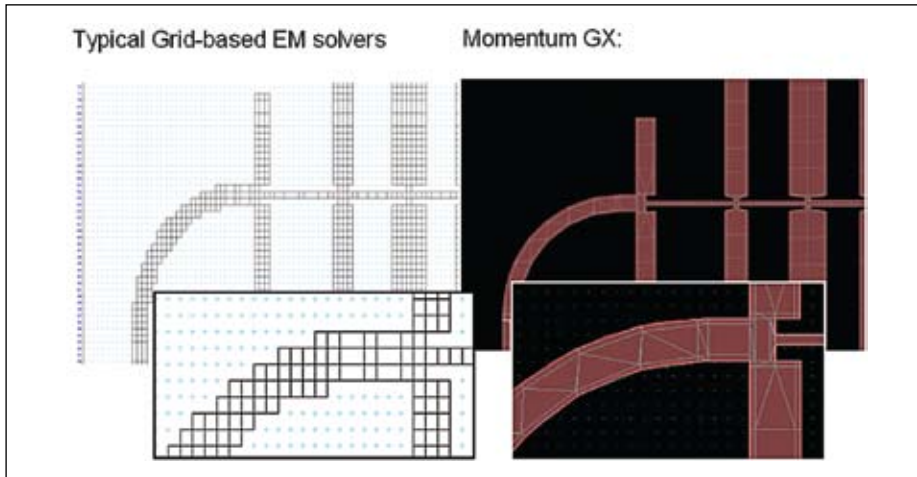


Рис. 3. Адаптивная сетка модуля Momentum GX

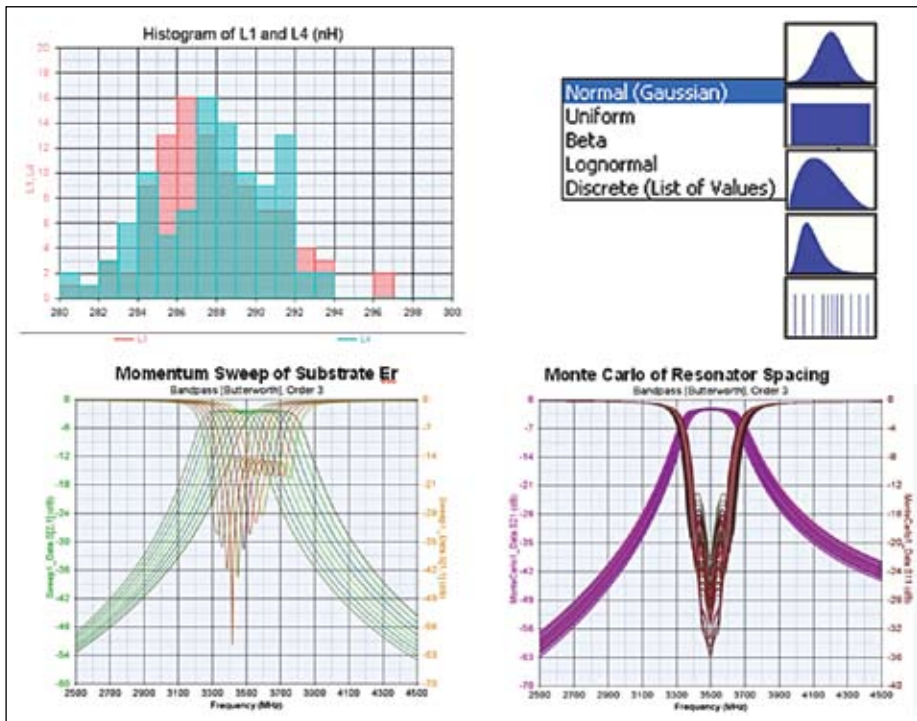


Рис. 4. Функции обеспечения технологичности разрабатываемых схем

сти, связанные со ступенчатым характером аппроксимации искривленных фрагментов проводников. Автоматическая адаптивная сетка Momentum GX использует как прямоугольные, так и треугольные ячейки, которые распределяются без вмешательства пользователя. Это улучшает точность и ускоряет процесс моделирования при сокращении требуемого объема памяти.

2. Адаптивное изменение частоты дискретизации. Адаптивная дискретизация представляет собой интеллектуальный алгоритм интерполяции данных, обеспечивающий автоматический выбор частоты дискретизации сигналов. Так, при представлении выходных характеристик модели частота дискретизации автоматически возрастает при повышении скорости изменения S-параметров, что,

в конечном итоге, минимизирует общее число выборов. Результатом такого подхода является проведение анализа S-параметров с высоким разрешением при минимальном суммарном времени, затрачиваемом на моделирование.

3. Отсутствие потребности в корпусе. Многие средства ЭМ-моделирования требуют, чтобы схема располагалась в закрытом корпусе. Если моделируемая в таких программах цепь не помещена в корпус или располагается в середине более крупной схемы и удалена от стенок корпуса на заметное расстояние, результаты моделирования могут быть некорректны. Это может привести к необходимости дополнительного моделирования и соответствующим затратам используемой памяти. Программный

модуль Momentum GX обеспечивает точное ЭМ-моделирование радиочастотных схем, как в корпусе, так и без него.

4. Возможности настройки, оптимизации, анализа методом Монте-Карло и анализа выхода годных. Настройка и параметрическая оптимизация схемы, статистический анализ ее свойств методом Монте-Карло и многовариантный анализ полученных результатов являются основными функциями, обеспечивающими итоговую технологичность разрабатываемых схем, и обычно выполняются только в программах схемотехнического моделирования. Программный модуль Momentum GX обладает функциями настройки, оптимизации, статистического анализа методом Монте-Карло и многовариантного анализа результатов не только на уровне топологии печатных проводников, но и на уровне любых схемотехнических элементов, и даже параметров подложки. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графика или гистограммы (рис. 4).

Пример совместного моделирования в Momentum GX

В состав среды Genesys входят 12 модулей, предназначенных для синтеза различных радиочастотных устройств в соответствии с заданными требованиями (рис. 5).

В примере используется модуль синтеза сверхвысокочастотных (СВЧ) фильтров, с помощью которого разрабатывается полосовой комбинированный фильтр Чебышева 7-го порядка с полосой пропускания от 2,3 до 2,8 ГГц. Эти исходные данные заносятся в поля вкладок "Topology" и "Setting", приведенных на рис. 6 (отмечено буквами А и В). Комбинированная топология построения фильтра выбрана в связи с тем, что в ней используются дискретные конденсаторы и, таким образом, может быть продемонстрирована простота совместного моделирования дискретных и планарных элементов. На рис. 6 (отмечено буквой С) показана вкладка "Options". Кнопка "Select Manufacturing Process" позволяет выбрать одну из 13 доступных технологий проектирования фильтров (на рис. 6 отмечено



Рис. 5. Модули синтеза радиочастотных устройств среды Genesys

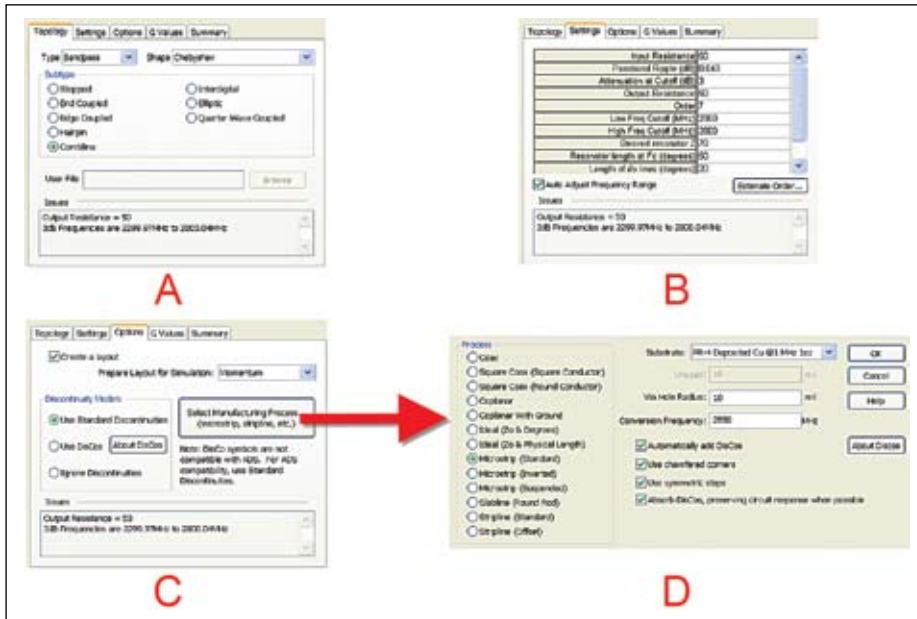


Рис. 6. Маршрут синтезирования СВЧ-фильтра в среде Genesys

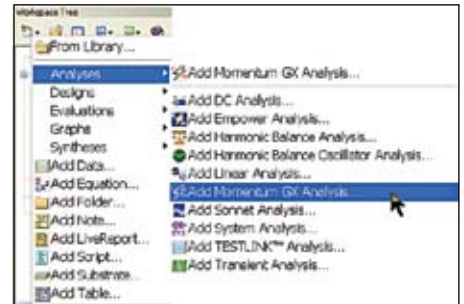


Рис. 8. Выбор ЭМ-анализа в Momentum GX среды Genesys

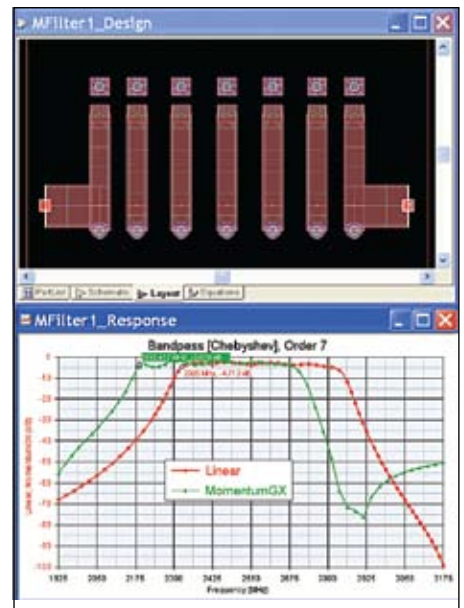


Рис. 9. Модель планарной структуры фильтра и его АЧХ в Momentum GX

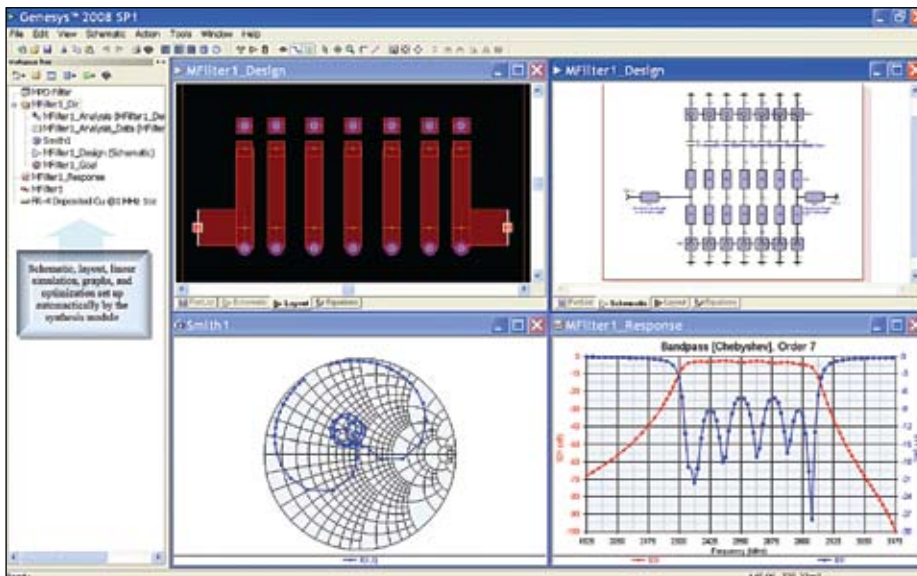


Рис. 7. Результаты синтеза СВЧ-фильтра: схема, топология печатных проводников, графики с результатами моделирования и оптимизации

ная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра сдвинута относительно центра заданной полосы примерно на 140 МГц. Причина в том, что Genesys генерирует топологию фильтра автоматически, соединяя между собой узлы каждого печатного проводника. Узлы печатных линий передачи располагаются на их концах, в то время как узлы навесных конденсаторов расположены по центру контактных площадок. Соединение таких узлов удлинит резонансную длину печатных проводников на половину длины контактной площадки. Для достижения заданных характеристик проектируемого фильтра необходимо сместить контактные площадки, чтобы убрать избыточную длину проводников.

Для того чтобы сместить контактные площадки, необходимо выделить их, обведя рамкой, и переместить с помощью клавиш управления курсором, как показано на рис. 10.

После коррекции топологии нужно перезапустить совместное моделирование в Momentum GX. Полученная в результате моделирования новая АЧХ приведена на рис. 11. Видно, что теперь сдвиг характеристики относительно заданной полосы состав-

буквой D). Из библиотеки подложек выбрана подложка FR4. Для автоматической генерации топологии фильтра и расстановки посадочных мест под конденсаторы для последующего ЭМ-моделирования в программе Momentum GX выбраны функции “Create a Layout” и “Prepare Layout for Simulation-Momentum”.

Модуль синтеза автоматически генерирует схему фильтра и соответствующую ей топологию печатных проводников, проводит линейное моделирование с выводом графических результатов и оптимизацию параметров схемы. Дополнительно он подготавливает топологию фильтра к ЭМ-моделированию в Momentum GX путем расстановки входных и выходных портов. Семь конденсаторов схемотехнической модели автоматически при-

вязываются к топологии через намеченные посадочные места. Добавлять порты вручную не нужно: они уже вставлены и расположены в соответствии со схемой фильтра для ЭМ-моделирования в Momentum GX. Схема фильтра, топология его печатных проводников и графики с результатами моделирования и оптимизации схемы приведены на рис. 7.

Для запуска ЭМ-моделирования необходимо выбрать пункт “Add Momentum GX Analysis” из списка доступных видов анализа среды Genesys (рис. 8).

Результаты совместного моделирования и вид планарной структуры фильтра в Momentum GX приведены на рис. 9. Процесс моделирования в квазистатическом режиме занял менее 4 минут. Видно, что получен-



Рис. 10. Перемещение контактных площадок к концам линий

ляет всего 30 МГц. При необходимости можно подогнать вид АЧХ вручную, настраивая емкости конденсаторов регулировочными ползунками, выведенными непосредственно на график, и наблюдая за изменением характеристики в режиме реального времени. Можно запустить автоматическую оптимизацию фильтра под заданные проектные параметры. Для исследования характеристик фильтра во временной области может быть запущено моделирование по постоянному току или SPICE-моделирование.

В примере использовались идеальные конденсаторы. Они могут быть заменены моделями реальных конденсаторов, моделями на основе S-параметров или другими типами более точных моделей конденсаторов.

Пример импорта модели в формате Gerber

Многим инженерам было бы удобно проводить совместное моделирование планарных схем на базе топологий, разработанных в редакторах печатных плат, которые не имеют собственных средств ЭМ-моделирования. Для этого могут быть использованы функции импорта и экспорта среды Genesys. Пользователь просто импортирует внешний проект в форматах DXF, Gerber или GDSII, размещает в соответствии со схемой посадочные места и добавляет необходимые дискретные компоненты, после чего запускается процесс совместного моделирования в Momentum GX, как было показано выше. На рис. 12 приведены результаты импортирования платы, выделенная из нее согласующая цепь, сгенерированная схема и размещенные в соответствии с ней посадочные места дискретных компонентов на проводниках согласующей цепи. В примере использовались зависящие от типа подложки модели LC компонентов компании Modelithics (www.modelithics.com). Далее была выполнена оптимизация параметров дискретных компонентов согласующей цепи. График результатов моделирования показывает существенное улучшение согласования после проведения оптимизации.

Заключение

Планарное 3D ЭМ-моделирование является залогом успешной разработки радиочастотных схем, однако большинство существующих программ ЭМ-моделирования не подходят для моделирования схем, содержащих дискретные компоненты. Компания

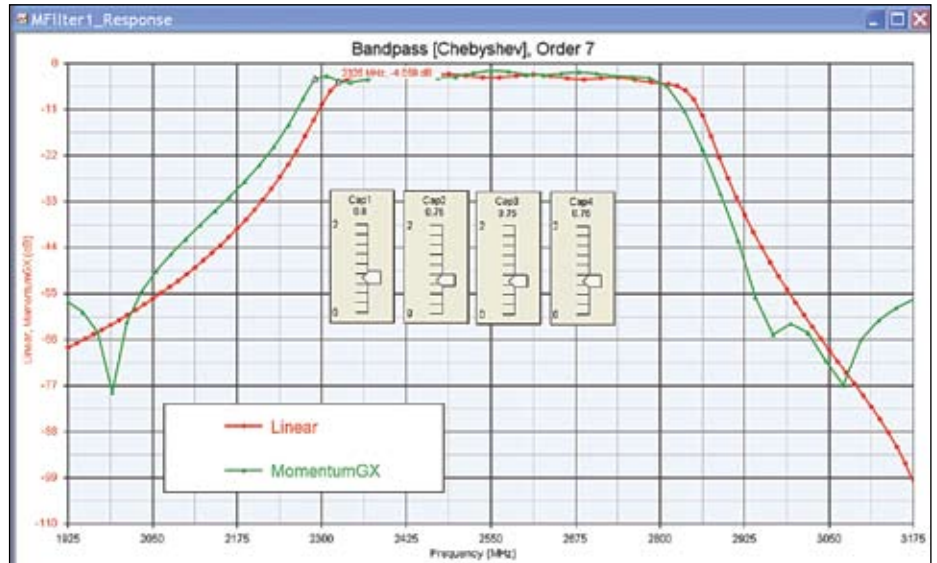


Рис. 11. АЧХ фильтра после настройки расположения контактных площадок

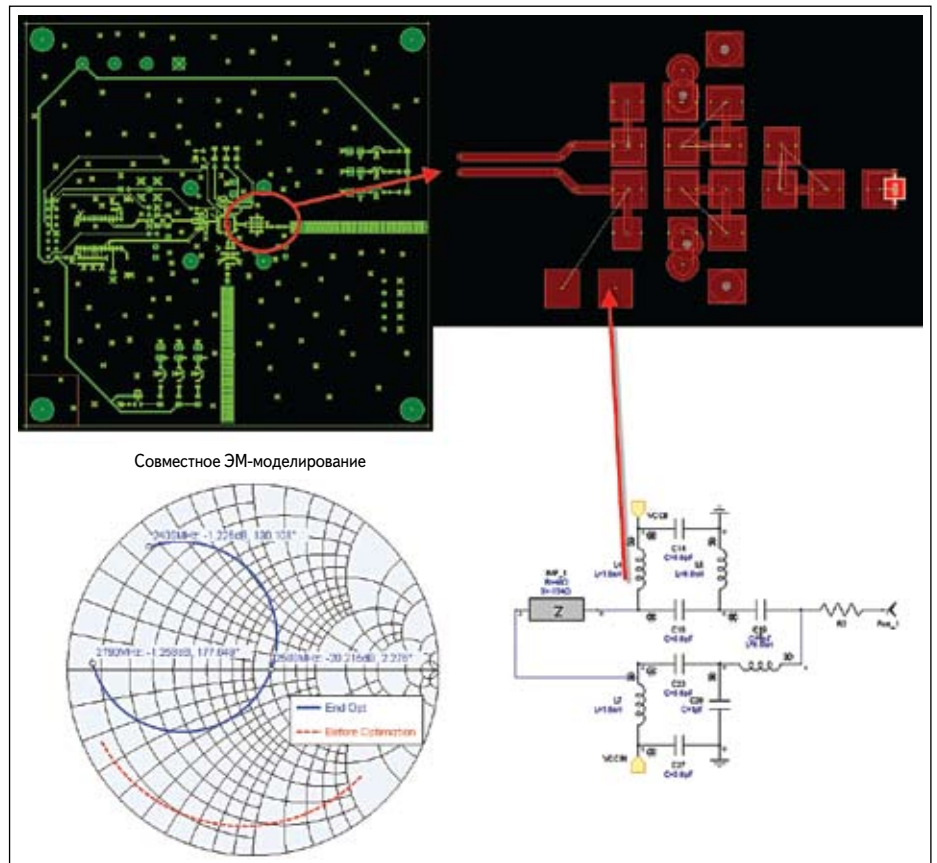


Рис. 12. Импортированная в формате Gerber модель печатной платы, выделенная из нее согласующая цепь, ее схема и результаты моделирования до и после оптимизации

Agilent смогла объединить производительность и точность отработанного ядра ЭМ-моделирования ADS Momentum EM с возможностями схемотехнического моделирования радиочастотных компонентов, обеспечиваемыми простой в использовании и доступной по цене средой Genesys.

Продаваемый по цене от \$15 000 за пакет Agilent Genesys/Momentum GX предлагает

разработчикам высокопроизводительные средства проектирования радиочастотных схем и систем, позволяющие сократить время выхода продукции на рынок за счет уменьшения числа этапов проектирования.

Файлы примеров, использованных в статье, могут быть загружены с веб-страницы Momentum GX: www.agilent.com/find/eesof-genesys-latest-downloads.