

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ-ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ EMPIRE XPU

ПО МАТЕРИАЛАМ СЕМИНАРА КОМПАНИИ "ПСБ СОФТ"

В.Ежов

УДК 004.942
ВАК 05.27.00

Проектирование печатных плат СВЧ-диапазона, антенн, волноводов, фазированных антенных решеток и других СВЧ-компонентов связано с необходимостью учета множества параметров, в том числе свойств используемых материалов, особенностей конструкции, волнового сопротивления микрополосковых линий и т.д. Наиболее эффективно и точно рассчитать параметры СВЧ-устройства и создать качественный проект позволяют программные пакеты, которые обеспечивают моделирование электромагнитного поля, в том числе 3D-моделирование, в широком диапазоне частот. Симулятор Empire XPU от компании IMST – один из наиболее эффективных инструментов для разработки СВЧ-компонентов и систем. В рамках семинара, который провела компания "ПСБ СОФТ" 6–7 июня 2016 года в Москве, разработчики СВЧ-устройств узнали о возможностях и особенностях этого программного продукта.

Немецкая компания IMST вот уже более 20 лет занимается разработкой беспроводных модулей, коммуникационных систем, СВЧ-микросхем, систем-на-кристалле, антенн и других СВЧ-устройств. Кроме того, IMST выполняет проектирование СВЧ-систем и программно-аппаратных решений на заказ. Также компания предлагает услуги по моделированию СВЧ-проектов, сертификации и тестированию готовых радиочастотных и СВЧ-систем в собственном аккредитованном испытательном центре.

Пакет для моделирования электромагнитного поля Empire XPU был создан компанией IMST для проведения собственных разработок и представлен на рынке в 1998 году. С тех пор он завоевал популярность среди СВЧ-разработчиков и сегодня является наиболее быстрым симулятором электромагнитного поля для проектирования антенн и СВЧ-компонентов, а также анализа проблем электромагнитной совместимости электронных устройств.

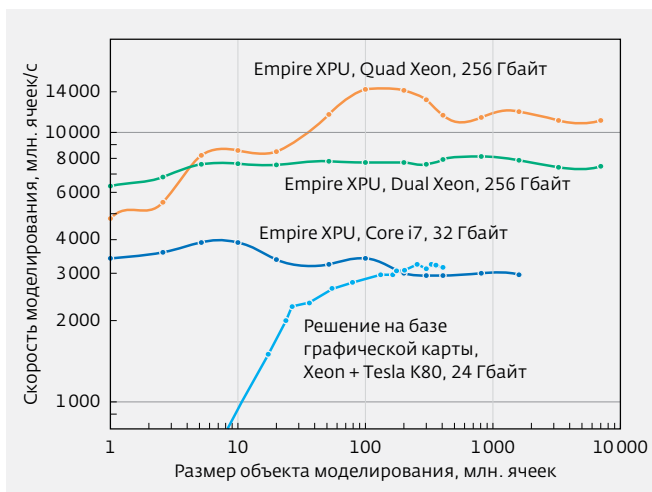


Рис.1. Сравнение скорости моделирования по технологии XPU для разных процессоров с решением на базе графической карты

Пакет Empire XPU основан на методе моделирования во временной области с конечной разностью (Finite Difference Time Domain – FDTD), который стал промышленным стандартом для проектирования радиочастотных и СВЧ-систем. Согласно этому методу моделируемое устройство помещается в ограниченный 3D-объем, который разбивается на ячейки кубической формы. Для точной аппроксимации геометрии моделируемых объектов используется локальная конформная сетка с мелкими ячейками. Особое расположение единичных ячеек обеспечивает эффективный алгоритм решения системы уравнений Максвелла отдельно для электрического и магнитного полей. Моделирование во временной области позволяет провести расчет поля в полном диапазоне частот за один проход.

Дискретизация по времени позволяет более эффективно использовать память компьютера и ускорить моделирование. Для повышения точности расчета в Empire XPU могут быть описаны специальные условия на границах области моделирования (граничные условия).

Компания IMST разработала для Empire уникальную технологию моделирования XPU, которая позволяет ускорить расчет электромагнитного поля для крупных проектов (более 1000 млн. ячеек). Суть технологии состоит в том, что Empire определяет тип и архитектуру используемого для моделирования процессора и в соответствии с этим оптимизирует алгоритм расчета электромагнитного поля. В результате оптимально задействуются все ядра процессора и все уровни памяти (регистры, кэш-память, ОЗУ, жесткий диск). Эффективное использование кэш-памяти дает возможность исключить задержку передачи данных между ОЗУ и ЦП. Кроме того, технология XPU обеспечивает доступ ко всей оперативной памяти компьютера (на сегодня до 512 Гбайт), в результате чего можно моделировать даже весьма крупные объекты. Для повышения скорости моделирования XPU поддерживает подкачку данных (своппинг) из ОЗУ на жесткие диски (объем выделяемой памяти до 2 Тбайт).

Производительность по методу FDTD определяется количеством моделируемых единичных ячеек в секунду. Обычные алгоритмы расчета по методу FDTD из-за ограничения пропускной способности канала между ЦП и ОЗУ демонстрируют производительность на уровне 100 млн. ячеек в секунду. Некоторые поставщики используют дорогостоящие графические карты

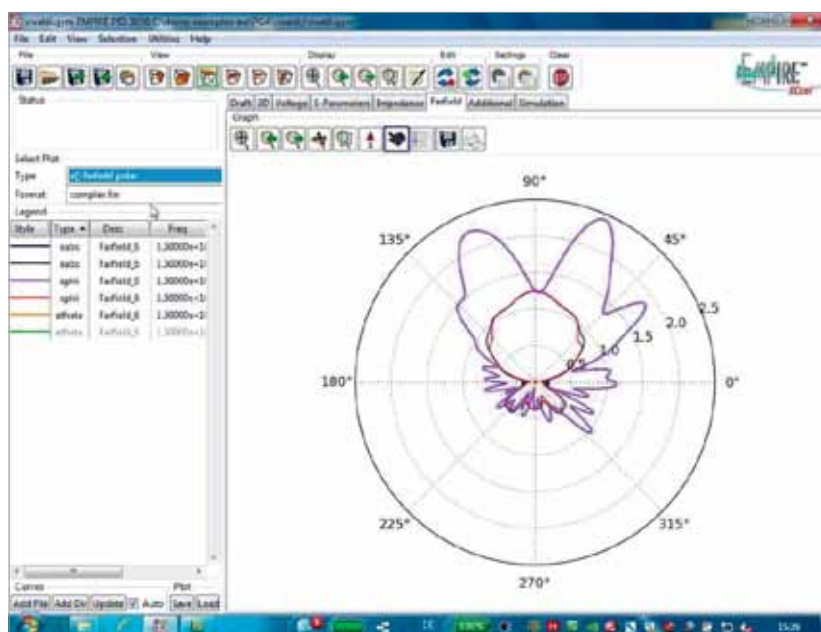
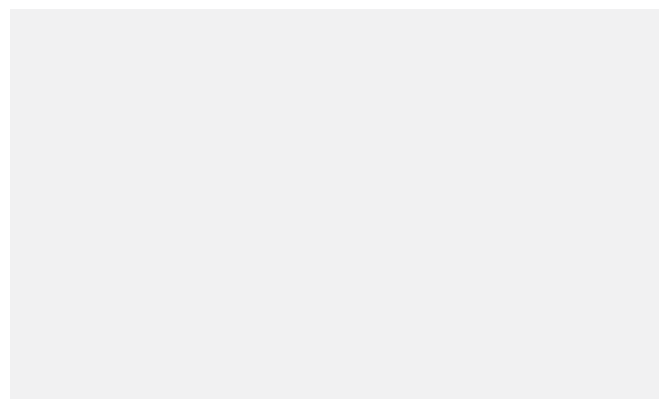


Рис.2. Результаты моделирования дальнего поля в Empire XPU в полярных координатах

в качестве аппаратных ускорителей, повышающих производительность расчета по методу FDTD до 700 млн. ячеек в секунду. Однако при использовании графических процессоров размеры объектов моделирования ограничены объемом используемой памяти. Программное ускорение в Empire XPU обеспечивает высокую производительность для моделируемых объектов всех размеров. К тому же достигается более высокая производительность, чем у решений на основе графических процессоров (рис.1). Например, при использовании компьютера на базе четырехъядерного процессора Intel Xeon и ОЗУ объемом 256 Гбайт производительность достигает 14 000 млн. ячеек в секунду для реальной модели.

Кроме того, Empire можно эффективно использовать в сети за счет распределения задач по моделированию



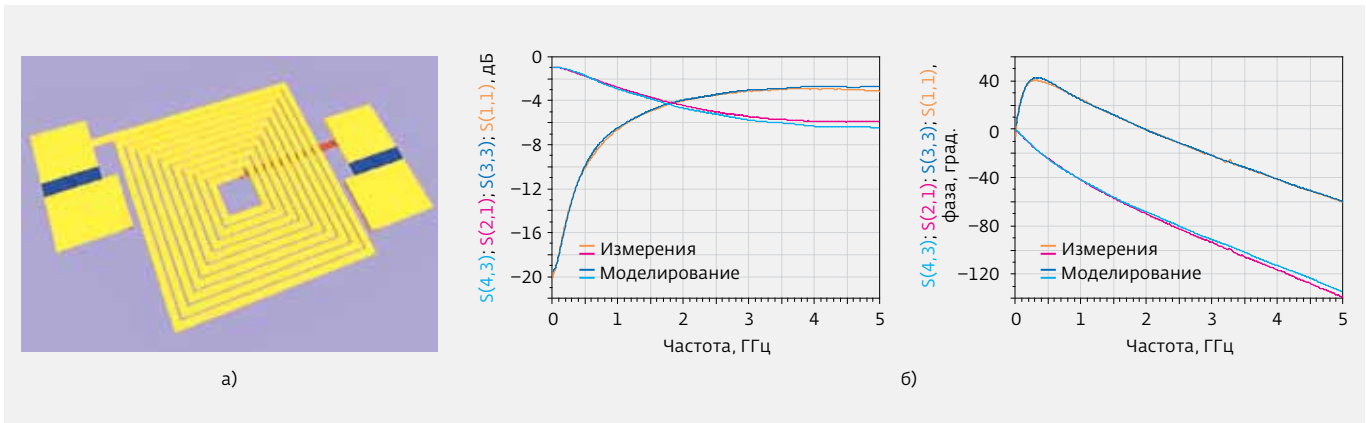


Рис.3. Моделирование индуктивности в Empire XPU: а) 3D-модель, б) S-параметры

на несколько компьютеров, что полезно при анализе различных вариантов решения или в случае оптимизации проекта. При этом входные и результирующие файлы автоматически копируются на локальные компьютеры с отображением состояния удаленных хост-компьютеров.

Для повышения производительности при моделировании очень крупных объектов возможен запуск одного задания на кластере компьютеров. Когда пропускная способность в сети достаточно высокая, производительность повышается линейно с увеличением числа используемых для моделирования компьютеров.

Порядок моделирования с использованием Empire включает в себя ряд этапов:

- импорт геометрических объектов (в том числе в виде Gerber-файлов, файлов формата DXF, GDS и др.) или их создание во встроенном графическом редакторе (имеется обширная библиотека параметризованных трехмерных объектов);
- задание свойств используемых в проекте материалов, в том числе метаматериалов (тангенс угла диэлектрических потерь, частотно-зависимые параметры, компоненты с сосредоточенными параметрами и т.д.), или их выбор из обширной стандартной библиотеки;
- задание возбуждающих сигналов на портах устройств (линии передачи, плоские волны с произвольной ориентацией и др.);
- установка параметров моделирования, таких как частотный диапазон, плотность сегментации объекта на ячейки, расчет потерь, точность, граничные условия, типы структур и др.;

- собственно моделирование, которое может быть выполнено как на локальном ПК, так и на хост-компьютере в сети;
- автоматическое генерирование результатов моделирования (напряжения, токи, s-параметры во временной и частотной области и др.).

Моделирование во временной области требует подачи на один или более портов устройства возбуждающего импульса. Во время процесса моделирования импульс распространяется по структуре, вызывая наводки и отражения электромагнитных волн. В оконечных портах структуры фиксируются напряжение и ток. Опционально с указанным временным шагом или на определенных частотах рассчитывается ближнее поле. Моделирование прекращается, когда энергия, введенная импульсом, падает до определенного уровня. Затем временные сигналы преобразуются в частотные спектры для расчета s-параметров, импедансов и других показателей.

Empire XPU позволяет оценить эффекты электромагнитного резонанса, возникающие в моделируемых

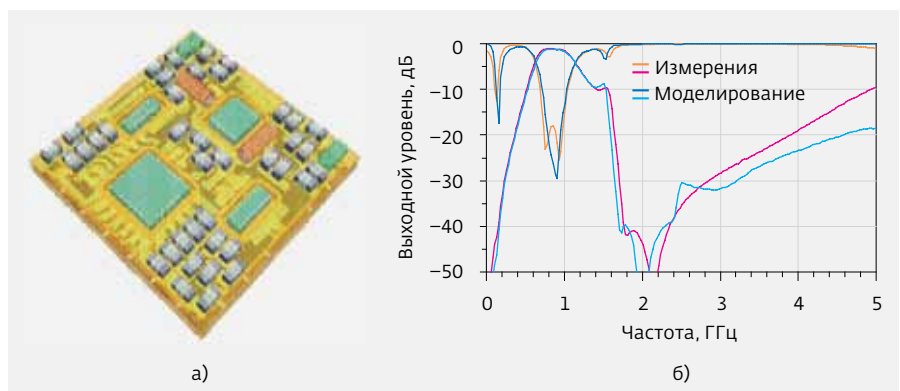


Рис.4. Моделирование усилителя мощности для GSM-телефона в Empire XPU: а) 3D-модель, б) выходная частотная характеристика

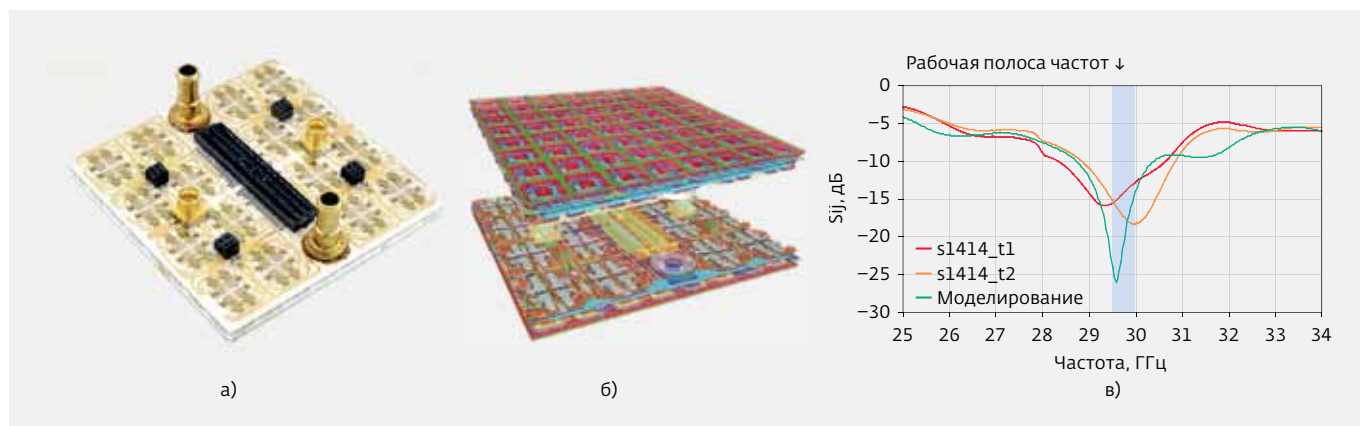


Рис.5. Моделирование 30-ГГц LTCC-модуля входного каскада в Empire XPU: а) LTCC-модуль, б) 3D-модель, в) s-параметры

структурах. Если известны параметры сигналов, протекающих в печатной плате, можно задать эти сигналы и определить частоты и уровни резонансов, что позволяет получить полную картину электромагнитного поля платы. Кроме того, в Empire XPU используется оптимизированная модель для проводников, которая учитывает поверхностные эффекты и позволяет более точно рассчитывать диэлектрические потери. Все результаты моделирования сохраняются в виде отдельных файлов в формате ASCII, поэтому могут быть использованы в качестве входных файлов для дальнейшей обработки в других программах.

Данные моделирования могут быть представлены во временной области (изменение напряжения и тока), в частотной (s-параметры, импедансы), в угловой (диаграмма направленности, RCS), в виде диаграммы Воль-

перта-Смита, графика в полярных координатах (рис.2) или задаваемых пользователем уравнений, в формате touchstone-файлов и др.

Имеется возможность визуализировать результаты моделирования в 3D-формате с расчетом ближнего и дальнего полей, а также анимировать электромагнитные поля во временной и частотной областях, что позволяет пользователю взглянуть на физическую природу электромагнитных волн. Полученные 3D-данные можно экспортировать в стандартные графические форматы.

С помощью Empire можно моделировать широкий спектр СВЧ-компонентов, устройств и систем, в том числе фильтры, индуктивности, переключатели, компоненты на основе LTCC, компоненты в BGA-корпусе, СВЧ-волноводы (диплексеры, рупорные облучатели), антенны и фазированные антенные решетки (в том числе отражатели, автомобильные излучатели, радары, остро-направленные антенны).

Рассмотрим несколько примеров применения Empire для моделирования СВЧ-элементов.

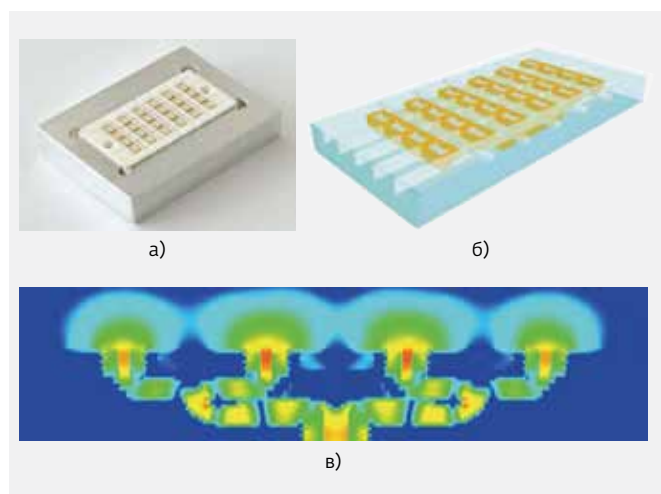


Рис.6. Моделирование 60-ГГц LTCC-антенны с управляемой диаграммой направленности в Empire XPU: а) прототип, б) 3D-модель, в) распределение поля

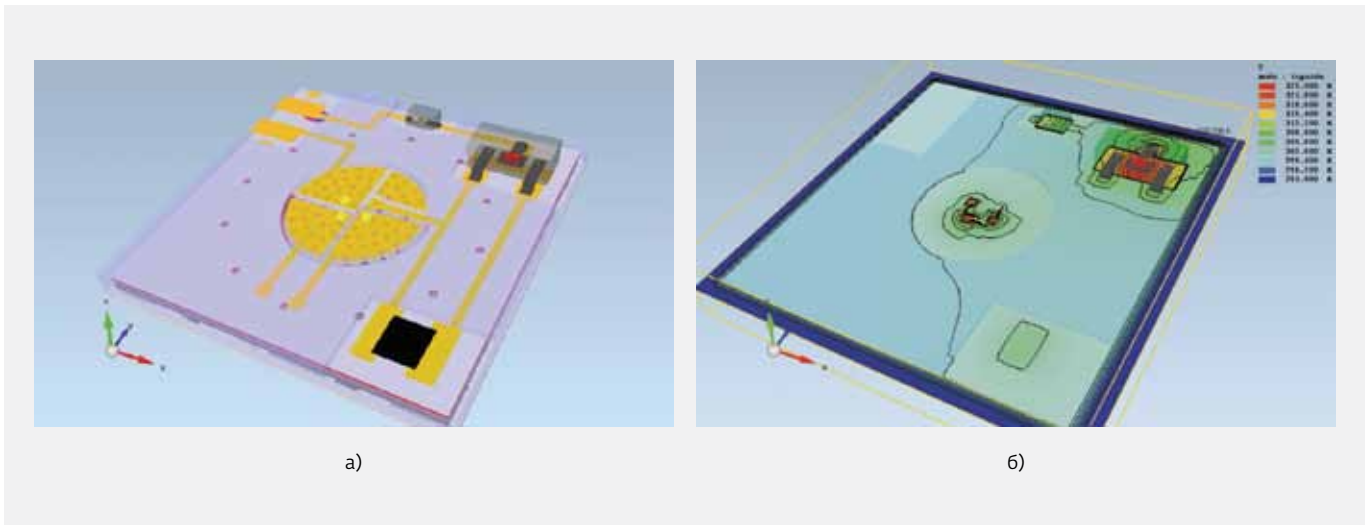


Рис.7. Тепловое моделирование в Empire XPU: а) 3D-модель, б) распределение температуры

При проектировании радиочастотных ИС требуется использовать прецизионные модели индуктивностей, которые традиционные САПР не предоставляют. С помощью Empire можно смоделировать эти компоненты с высокой точностью для требуемого диапазона частот (рис.3). В данном примере время моделирования составило менее 10 мин / порт.

Хотя Empire не предназначен для моделирования активных устройств, этот инструмент можно успешно применять при анализе усилителей мощности совместно с симулятором схем. Empire моделирует пассивные компоненты и заменяет активные компоненты встроенными портами. Импортируя полученные результаты в симулятор схем, например САПР ADS, в виде touchstone-файлов, можно выполнить общее моделирование устройства. В частности, в Empire можно создать полную модель усилителя мощности для GSM-телефона, которая содержит все пассивные структуры, включая многослойную схему, SMD-компоненты, катушки индуктивности и проволочные соединения кристалла с подложкой (рис.4).

С помощью Empire также можно выполнить моделирование законченного LTCC-модуля, например 30-ГГц входного каскада для цифровой системы формирования диаграммы направленности антенны, содержащего 64 приемных модуля, распределительную сеть, РЧ-цепи и антенную решетку 8×8 (рис.5). Весь модуль, содержащий 56 тыс. объектов и 16 LTCC-слоев, был разделен на 600 млн. ячеек и смоделирован всего за 4 ч.

Еще одним примером может служить моделирование 60-ГГц антенны на LTCC-подложке с управляемой диаграммой направленности (рис.6). В процессе расчета 3D-модель антенной решетки размером 80×170 мм

была разделена на 35 млн. ячеек. Время моделирования на двухъядерном процессоре Xeon составило всего 4 мин.

Начиная с версии 6.0 в Empire встроен новый инструмент теплового моделирования для расчета распределения температуры. Источниками тепла в устройстве могут быть как потери мощности, так и различные активные компоненты схем, такие как светодиоды, транзисторы, диоды, резисторы (рис.7). В данном примере в состав сборки входят три светодиода (0,2 Вт), по одному транзистору (0,4 Вт), диоду (0,1 Вт) и резистору (0,05 Вт). Проводниками тепла служат LTCC-подложка, золотая металлизация, переходные отверстия, корпус транзистора и проводные соединения кристалла. Температурное моделирование было выполнено с учетом эффектов радиации и конвекции.

* * *

В заключение остается отметить, что Empire XPU – гибкий и мощный инструмент анализа и проектирования радиочастотных и СВЧ-компонентов и схем. Инновационная технология генерации кода обеспечивает быстрое и точное моделирование электромагнитного поля СВЧ-структур для широкого спектра приложений.

Empire может быть настроен с учетом специфических требований заказчика. По дополнительному запросу предоставляются базовые модели, средства, упрощающие ввод данных, или автоматическая постобработка. Симулятор Empire XPU постоянно расширяет свои возможности, совершенствуется и обновляется. Поддержку пользователей Empire обеспечивает официальный дистрибьютор компании IMST в России – ООО "ПСБ СОФТ" (группа компаний PCB technology). ●

