

# CST Microwave Studio 5.0

**Немецкая компания CST, специализирующаяся в области электродинамического анализа, продолжает развивать свою линейку программных продуктов.**

В конце прошлого года немецкая компания Computer Simulation Technologies выпустила новую версию своего пакета полного трёхмерного электромагнитного анализа CST Microwave Studio 5.0, призванного максимально сократить время проектирования объёмных СВЧ-устройств и повысить достоверность результатов анализа. В основе программных продуктов лежит общий теоретический подход, позволяющий реализовать широкий набор приложений, от предназначенных для анализа статических и низкочастотных электромагнитных полей (в программе CST EM Studio) до сверхвысокочастотных и оптических систем.

## ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Наибольшие изменения затронули функции пользовательского интерфейса, отвечающие за построение и администрирование трёхмерных структур. Введена возможность логической сборки компонентов структуры, причём от-

дельные части таких компонентов могут быть построены из различных материалов. Изменение параметров материалов может выполняться как вручную по отдельности, так и глобальной заменой базы данных материалов. Реализовано выделение нескольких объектов непосредственно в поле рисования трёхмерной структуры, а также на дереве проекта на панели навигации, что позволяет одновременно изменять их параметры или геометрические размеры.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ CAD- И EDA-ПРОГРАММАМИ

Особое внимание разработчики программы CST MWS уделили её интеграции в существующий поток проектирования и связи с другими EDA- и CAD-пакетами. В новой версии переработаны модули импорта и экспорта популярных 3D-форматов STEP, SAT, IGES и STL, а также двухмерного формата DXF (рис. 1). Новые трансляторы обеспечат обмен данными с программами CATIA4

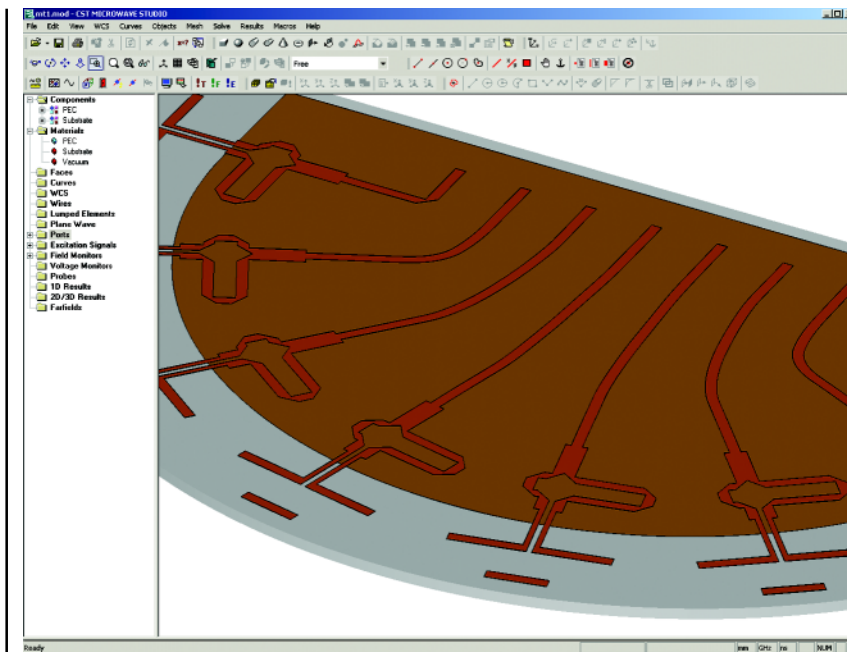
и CoventorWare, а также импорт защищённых файлов Pro/Engineer 2002. Реализован импорт двумерных форматов GDSII, Gerber и Sonnet EM, а также объёмного описания человеческого тела. Ещё несколько CAD-трансляторов будут доступны в самое ближайшее время.

Связь с системой ADS компании Agilent была первым шагом на пути интеграции программы CST MWS в другие среды проектирования. В новой версии появилась возможность обмена данными с системами Allegro и APD компании Cadence. Экспорт данных в файл формата MWS выполняется непосредственно из интерфейса среды Cadence. При этом сохраняется параметризация и сборка конструкции.

В свою очередь, версия 5 будет давать доступ другим программам к своим результатам расчёта несколькими способами. Программа поддерживает прямой доступ к первичным результатам — обобщённым S-параметрам, а также позволяет экспортировать их в формате Touchstone, но при этом высокая разрешающая способность по частоте может быть ухудшена из-за плохой связи с портами или субдискретизации. Использование широкополосных SPICE-моделей, описывающих передачу между портами с учётом потерь и перекрёстных связей и полученных непосредственно из результатов полного электромагнитного анализа, позволит избежать этого эффекта. В версии 5 применён новый алгоритм экстракции SPICE схемы замещения, основанный на методе понижения порядка модели (Model Order Reduction, MOR). Модель может быть получена для произвольной топологии или структуры, причём её стабильность и пассивный характер гарантирован вне исходного частотного диапазона анализа.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫБОРА МЕТОДА РАСЧЁТА И СПОСОБА ПОСТРОЕНИЯ СЕТКИ РАЗБИЕНИЯ

Программа CST MWS использует метод конечных интегралов (FIT) — достаточно общий подход, который снача-



**Рисунок 1**

**Топология антенной решётки, импортированная через DXF-формат**

ла описывает уравнения Максвелла на пространственной сетке с учётом закона сохранения энергии, а затем формирует на их основе систему специфических дифференциальных уравнений, таких как волновое уравнение или уравнение Пуассона. Метод может быть реализован как во временной, так и в частотной области. Кроме того, не накладывает никаких ограничений на тип используемой сетки разбиения, наряду со структурированной сеткой в декартовой системе координат поддерживаются неортогональные сетки, например, тетраэдральная. Таким образом, программа CST MWS — первый на настоящий момент пакет объёмного электромагнитного моделирования, позволяющий выбирать оптимальный для данной задачи метод решения и способ разбиения.

Метод конечных интегралов во временной области наиболее эффективно работает при использовании прямоугольной сетки разбиения. Для улучшения моделирования объёмных структур произвольной геометрической формы был разработан оригинальный метод аппроксимации для идеальных граничных условий (Perfect Boundary Approximation, PBA). Этот метод позволяет разбить кубическую ячейку сетки на две части таким образом, чтобы граница разбиения проходила по границе раздела двух сред и оптимально повторяла реальную геометрию элементов моделируемой структуры. Такой подход дал возможность учитывать толщину металлических перегородок или толщину слоя металлизации микрополосковых линий внутри одной большой ячейки разбиения без необходимости большего разбиения.

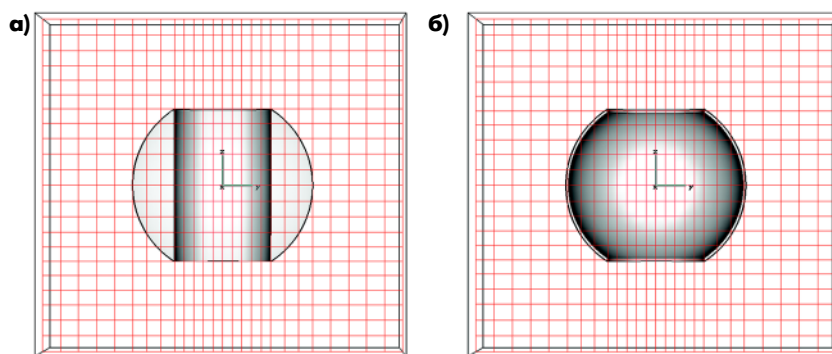
На рис. 2 показаны различные способы построения сетки разбиения и её аппроксимации для неполой и полой сфер с цилиндрическим отверстием. Но если неполая сфера хорошо описывается с помощью метода аппроксимации для идеальных граничных условий, то для анализа полой сферы с относительно тонкой стенкой была разработана другая оригинальная технология: метод тонких стенок (Thin Sheet Technique, TST).

Метод тонких стенок (TST) представляет собой расширение метода идеальных граничных условий, позволяющее оптимально представить две диэлектрические части кубической ячейки разделёнными тонкой металлической стенкой. Таким образом, стало возможным моделирование с минимумом усилий металлических корпусов произвольной формы и наклонных экранов.

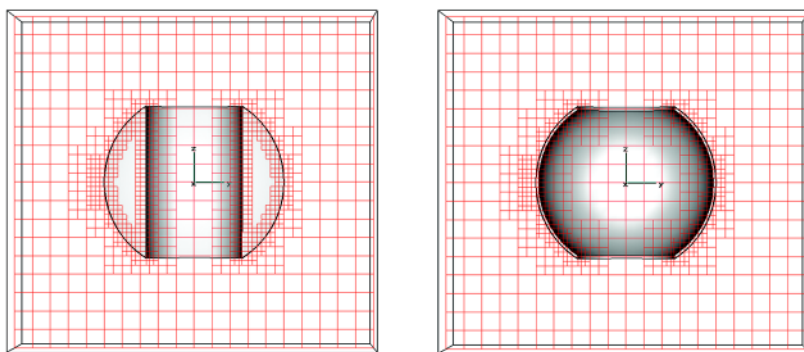
В версию 5 введена ещё одна технология разбиения: метод подсеток (Multilevel Subgridding Scheme, MSS). Он позволяет линиям разбиения начинаться и заканчиваться в любой точке анализируемого объёма и благодаря этому получать вблизи элементов произвольной формы особые конформные слои с измельчённой сеткой разбиения (рис. 3). Легко видеть, что здесь имеются три конформных слоя с ячейками разного размера, причём ячейки, расположенные внутри неполых металлических частей, из анализа исключаются. Методы PBA и TST также работают и для ячеек подсеток, что даёт дополнительный прирост точности без резкого увеличения времени анализа. Также имеется возможность исключения из анализа неинтересующих областей. На

рис. 4 показаны результаты моделирования шестнадцатиканального волноводного делителя мощности, при котором анализировались только внутренние, заполненные вакуумом элементы волноводов.

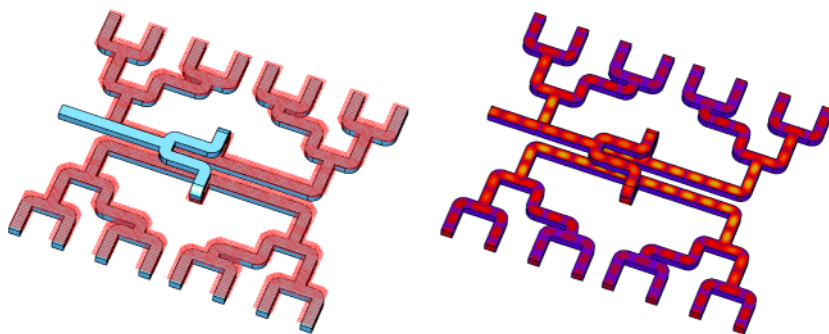
Другой важной функцией, введённой в версию 5, является наличие экспертной системы, которая сначала позволяет выявить металлические кромки и соответствующим образом учесть особенности поля, а затем гарантирует правильное решение независимо от окружающего материала. Также она допускает параметризацию сетки разбиения в соответствии с прилегающими анализируемыми объектами, что позволяет автоматически подстраивать сетку при параметрическом анализе и оптимизации. Комбинация экспертной системы с



**Рисунок 2** Пример построения сетки разбиения с использованием методов PBA и TST для неполой (а) и полой (б) сфер



**Рисунок 3** Пример построения сетки разбиения с использованием метода подсеток (MSS)

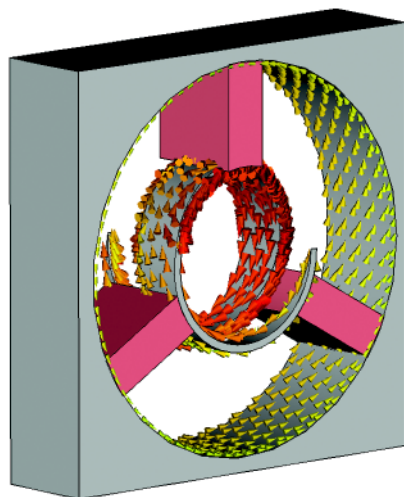


**Рисунок 4** При моделировании этого волноводного делителя мощности сетка строится только для внутренних областей

методами PBA, TST и MSS представляет собой основу технологии построения сетки разбиения, получившей обобщённое название SmartGrid, которая значительно повышает производительность программы CST MWS.

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ЯДРО ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Вычислительное ядро во временной области (Time Domain Solver) позволяет рассчитать характеристики электромагнитных устройств в широком диапазоне частот со сколь угодно высокой разрешающей способностью по частоте, в результате чего снижается вероятность потери острых резонансных пиков. При наличии у устройства нескольких портов, каждый из них может возбуждаться собственным сигналом. Описания сигналов и материалов могут быть сохранены в специальной базе данных, что значительно упрощает описание проекта. В версию 5 также добавлена возможность введения в проект так называемых внутренних портов, необходимых для возбуждения антенн типа "волновой канал". Помимо дополнительной степени свободы при моделировании внутренние порты дают возможность увеличить точность расчёта поля в дальней зоне. Для анализа материалов с ярко выраженными дисперсионными свойствами используются модели Дейби (Debye), Друды (Drude) и Лоренца (Lorentz). Также возможно моделирование гиротропических материалов, например ферритовых узлов циркуляторов.



**Рисунок 5** Результат моделирования поверхностных токов в одном витке спиральной замедляющей структуры

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ЯДРО В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Вычислительное ядро в частотной области (Frequency Domain Solver) имеет адаптивный алгоритм частотного свипирования, позволяющий получить точные характеристики при автоматически выбираемом минимальном числе частотных точек. Для широкополосных расчётов, использующих периодические граничные условия, вместо фазового сдвига для описания направления излучения может использоваться геометрический угол сканирования. Особое внимание уделено вычислителю мод в портах устройства, который стал поддерживать материалы с потерями. Программа CST MWS включает периодический (Floquet) вычислитель мод в граничных портах, обеспечивающий высокую точность для широкого диапазона углов излучения, что необходимо для расчёта фазированных антенных решёток. Возможность задания фронта волны через набор периодических граничных портов позволяет легко рассчитать освещение частотно избирательной поверхности (FSS) под любым углом.

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ЯДРО НА СОБСТВЕННЫХ МОДАХ (EIGENMODE SOLVER)

В дополнение к ранее реализованному методу подпространства, в новой версии программы CST MWS реализован алгоритм Якоби-Девидсона (Jacobi-Davidson, JD). Этот вычислитель позволяет рассчитать собственные моды областей, заполненных материалом с большим тангенсом угла диэлектрических потерь. Вычислительное ядро на собственных модах (Eigenmode Solver) поддерживает периодические граничные условия для расчёта замедляющих структур, а также анализ методом нормальных волн, который позволяет получать производные S-параметров высокорезонансных структур, например фильтров. Этот метод поддерживает алгоритм частотного свипирования, оценивающий суммарный вклад высших типов волн в интересующей полосе частот. Пример использования вычислителя на собственных модах приведён на рис. 5.

## РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Ещё одной ключевой функцией новой версии программ CST MWS является

механизм распределённых вычислений на нескольких компьютерах в рамках локальной сети. Здесь имеются две разные методики. Первая предназначена для моделирования многопортовых устройств, для получения матриц S-параметров которых необходимо выполнить число запусков анализа, равное числу портов, что легко сделать параллельно на нескольких машинах (рис. 6). Вторая методика предназначена для параметрического анализа и оптимизации, так как в этом случае выполняются многократные запуски моделирования одной и той же структуры с небольшими геометрическими изменениями, которые также могут выполняться параллельно на разных машинах. Результаты анализа накапливаются в центральном компьютере, который на следующем шаге автоматически формирует задачи для простаивающих машин. Оба способа организации распределённых вычислений позволяют повысить скорость анализа пропорционально количеству используемых для этого компьютеров.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТОВ

Значительно улучшены возможности расчёта характеристик антенн в дальней зоне. Стал возможен ручной поворот системы координат. Реализованы преобразования Людвига (угол места из азимута, азимут через угол места, горизонтальное и вертикальное сечения), фазовые диаграммы и вычисление фазового центра структуры. Введены специальные, работающие во временной области зонды, позволяющие оценивать уровень поля CST MWS в дальней зоне (вне области расчёта). Аппроксимация поля в дальней зоне может быть принудительно отключена, и поле будет рассчитано как в ближней зоне.

Введена возможность создания пользовательских шаблонов постобработки результатов расчёта. Например, теперь можно выполнить несколько последовательных запусков моделирования на разных частотах и получить частотную зависимость усиления антенны. Далее можно найти максимум этой частотной характеристики и использовать полученный результат для автоматической оптимизации характеристик антенны на заданной частоте.

Кроме того, появилась возможность возбуждающего сигнала. Например, для расчёта матрицы S-параметров устройства в диапазоне частот использовалось

возбуждение модулированным колоколообразным (Гауссовым) импульсом. Теперь после выполнения расчёта можно заменить этот сигнал на другой, например цифровой импульсный, и построить глазковые диаграммы, необходимые для оценки проблем целостности сигналов.

## ОТКРЫТАЯ СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Программа CST MWS полностью интегрируется с другим продуктом CST Design Studio (CST DS), открытой средой проектирования, которая позволяет комбинировать различные программы моделирования, наилучшим образом подходящие для решения той или иной конкретной задачи. Основная цель данного продукта — объединение различных вычислительных технологий в рамках одного пользовательского интерфейса.

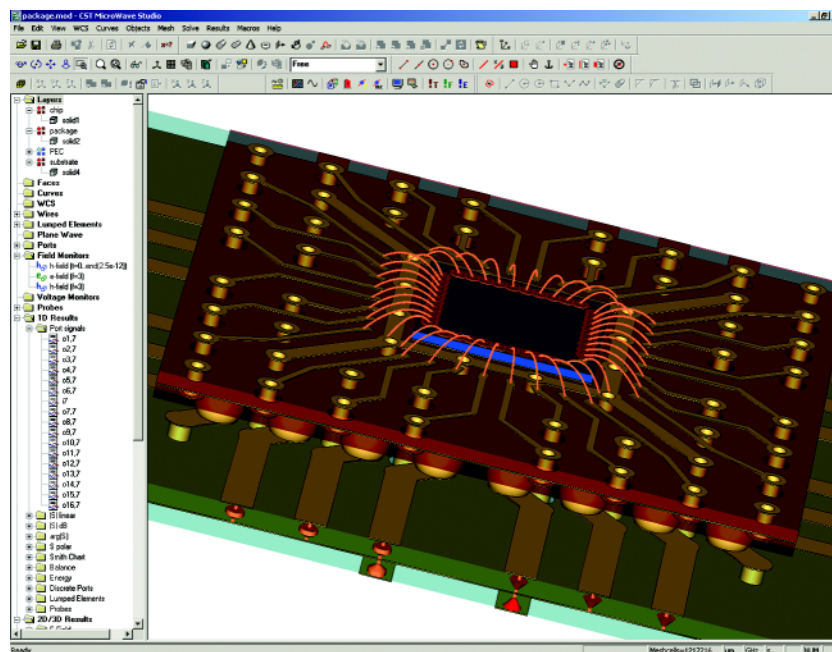
Для решения задач моделирования схем пакет CST DS имеет интерфейс связи с программным обеспечением APLAC. Такая комбинация позволяет решить задачи совместного моделирования EM-структур и нелинейных схем, таких как смесители или усилители, с применением методов гармонического баланса и анализа шумов. Среда проектирования CST обеспечивает прямой доступ к различным параметрам анализируемых схем и структур, например, геометрическим размерам, характеристикам материалов, номиналам элементов, что делает возможным выполнение быстрой настройки и оптимизацию проектов. Для дополнительной обработки результатов расчёта без повторного перезапуска анализа используется метод интеллектуальной интерполяции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Версия 5 пакета CST Microwave Studio предлагает пользователям значительно обновлённый набор функций, способных реализовать самые различные запросы. Вместе с двумя другими программами, CST Design Studio и CST EM Studio, она представляет собой мощный инструмент для решения задач электродинамики.

За любой дополнительной информацией относительно программных продуктов компании CST просим обращаться в компанию ЭлекТрейд-М по адресу info@eltm.ru или телефону (095) 974-1480.

**По материалам компании CST**



**Рисунок 6** Моделирование частотных характеристик корпуса микросхемы может быть выполнено на нескольких компьютерах в сети