

ANSYS HFSS: передовые технологии трёхмерного решения электродинамических задач

Александр Евграфов (Москва)

В современном производстве всё более востребованы передовые технологии автоматизации проектирования. В статье рассматриваются передовые технологии трёхмерного полноволнового электродинамического моделирования в программной среде ANSYS HFSS, где разработчикам предлагается комплексный подход к процессу трёхмерного моделирования антенных и СВЧ-устройств.

Компания Ansoft (с 2008 года в составе компании ANSYS Inc.) – мировой лидер в области разработки программных решений для электромагнитного анализа радиоэлектронных устройств. За 30-летнюю историю существования компании программный продукт HFSS стал отраслевым стандартом трёхмерного решения прикладных электродинамических задач. Обладая высокими точностью и скоростью расчёта, а также удобством использования, данная система автоматизированного проектирования завоевала популярность у разработчиков во всём мире. В последней версии программного продукта ANSYS HFSS [1] предложен комплексный подход к процессу трёхмерного моделирования антенных и СВЧ-устройств.

Передовые технологии ANSYS 2014 года основаны на последних достижениях в области электромагнитного моделирования. Основное внимание уделяется увеличению скорости расчёта, расширению функциональных возможностей и масштабируемости данного пакета программ. Использование современных алгоритмов, основанных на методе конечных элементов, интегральных уравнений и гибридных методов расчёта позволяет анализировать разнообразные задачи в области электродинамики и распространения радиоволн.

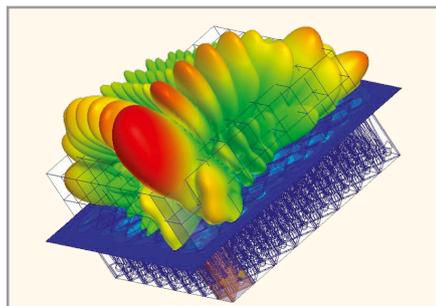


Рис. 1. Расчёт диаграммы направленности антенной решётки в ANSYS HFSS Frequency

ОСНОВНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ И МЕТОДЫ РАСЧЁТА ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS HFSS

1. ANSYS HFSS Frequency – расчёт задач в частотной области методом конечных элементов (FEM, Finite Element Method). Данный метод содержит прямой и итерационный матричный решатель. Пользователям предоставляется возможность выполнить расчёт паразитных параметров (S, Y, Z), отобразить трёхмерную диаграмму распределения электромагнитного поля в ближней и дальней зонах, создать модели для эффективной оценки качества сигнала, рассчитать потери в линиях передачи, в том числе связанные с отражением сигнала, обусловленным рассогласованием импеданса, и влиянием паразитных связей. На рисунке 1 представлен пример расчёта диаграммы направленности антенной решётки, состоящей из антенн Вивальди.

2. ANSYS HFSS Transient – расчёт задач во временной области с использованием дискретного метода Галеркина (DGTD, Discontinuous Galerkin Time Domain). Позволяет исследовать задачи с импульсным источником возбуждения, в том числе: радиолокационную станцию (радар), электростатический разряд, электромагнитные помехи, молнии и т.д.

3. ANSYS HFSS-IE Solver – расчёт задач методом интегральных уравнений. Включает в себя метод моментов (MOM) и метод физической оптики (Physical Optics). Метод моментов позволяет рассчитывать токи на проводящих поверхностях и диэлектрических объектах. Решатель использует метод адаптивного кросс-приближения (ACA) в сочетании с итерационным расчётом матриц. Данный метод позволяет снизить требования к объёму оперативной памяти компьютера, что даёт возможность применения его для исследования больших объектов.

Метод физической оптики является чрезвычайно полезным при решении очень трудоёмких задач электромагнитного излучения и рассеяния, например, больших зеркальных антенн или крупных объектов (самолёты, корабли). На рисунке 2 представлен расчёт диаграммы направленности антенны, установленной на Международной космической станции. Расчёт производился с использованием метода физической оптики.

4. ANSYS HFSS Hybrid Finite Element – Integral Equation Method (FE-BI) Solver. Данный решатель построен на методе декомпозиции и трёхмерном методе интегральных уравнений; сочетает метод конечных элементов для решения сложной геометрии с методом моментов для расчёта функций Грина в свободном пространстве. С помощью этой технологии разработчики антенных устройств могут получить высокую точность модели излучения в дальней зоне.

5. HFSS Planar EM – планарный EM-решатель идеально подходит для проектирования СВЧ интегральных схем, монолитных и гибридных микроволновых интегральных схем, система-кристалле, беспроводных систем связи и других ВЧ- и СВЧ-устройств. В качестве примера на рисунке 3 представлен расчёт распределения тока по элементам антенной решётки размером 16 × 16.

6. Antenna Design Kit (ADK). Данная утилита является бесплатной и содержит большое количество готовых шаблонов различных типов антенн: спиральных, печатных, рупорных, дипольных, полосковых и др. Интерактивная среда ADK (см. рис. 4) позволяет выбирать тип антенны, указывать необходимый частотный диапазон, геометрические размеры, граничные условия и тип решателя. Созданная модель антенны может быть включена в проект ANSYS HFSS для дальнейшего трёхмерного анализа и оптимизации.

Программный пакет ANSYS HFSS использует сетку с конечными элементами в виде тетраэдров для поиска решения исследуемой электромагнитной задачи [2, 3]. Адаптивный метод разбиения позволяет создавать геометрически оптимальную сетку для любого объекта

моделирования. Сетка может состоять из элементов нулевого, первого или второго порядков, а также иметь области с элементами разных порядков. Последний вариант сетки наиболее эффективен с точки зрения расчётов. С его помощью можно описать любую криволинейную поверхность, благодаря чему достигается высочайшая точность описания геометрии всего трёхмерного объекта без аппроксимаций или двухмерного округления. На рисунке 5 представлен пример конформной криволинейной аддитивной сетки разбиения.

7. Матричный решатель (Matrix Solver), используемый в HFSS, позволяет масштабировать процессы вычислений, используя возможности многоядерных процессоров. Данная возможность доступна только при наличии опции высокопроизводительных вычислений ANSYS HPC Electronics Pack. Масштабирование задачи и увеличение скорости вычислений достигается за счёт параллельного решения каждого матричного уравнения отдельным ядром процессора. В предыдущих версиях программного пакета каждое матричное уравнение распределялось

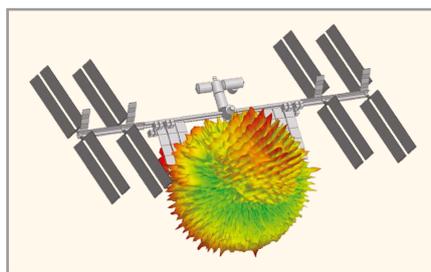


Рис. 2. Расчёт диаграммы направленности антенны на Международной космической станции

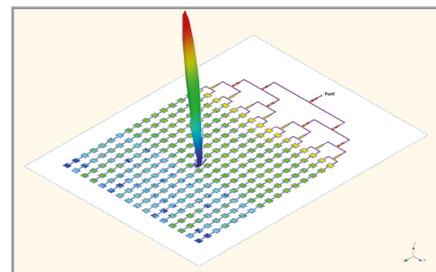


Рис. 3. Электромагнитное моделирование при помощи Planar EM

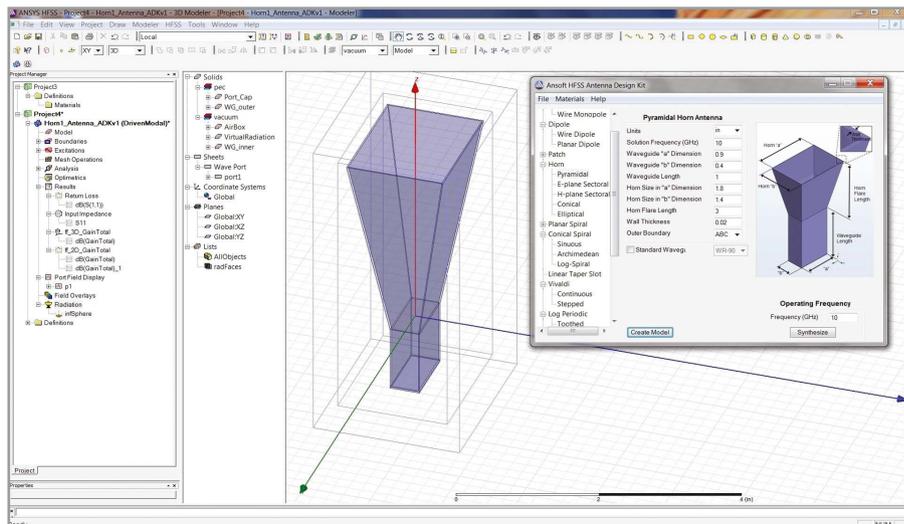


Рис. 4. Интерактивная среда проектирования антенных устройств Antenna Design Kit

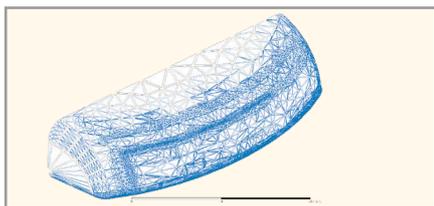


Рис. 5. Конформная криволинейная аддитивная сетка разбиения

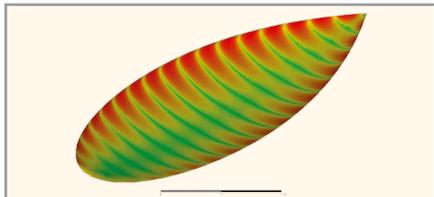


Рис. 7. Расчёт криволинейных объектов в ANSYS HFSS-IE

на соответствующее количество ядер (последовательная обработка матричных блоков). Реализация параллельного алгоритма вычисления «разреженных» матричных блоков обеспечивает более высокую скорость, по сравнению с вычислением одного «плотного» матричного блока всеми процессорами, и высокую сходимость результатов.

8. Программный модуль ANSYS ALinks для ECAD/MCAD позволяет импортировать проекты из электрических (ECAD) и механических (MCAD) систем автоматизированного проектирования Cadence, Mentor Graphics, Altium, Zuken, Creo (Pro ENGINEER), AutoCAD, CATIA, Solidworks, Siemens NX и обеспечивает поддержку форматов IGES, STEP, ACIS, Parasolid, DXF и DWG.

Новый тип сетки Phi mesher для проектирования электрических схем

Программный продукт HFSS включает улучшенный графический интерфейс для создания электрической топологии. Эта специализированная среда проектирования автоматизирует процесс подготовки данных об электрических слоях печатной платы, сборках и интегральных схемах для анализа в программном продукте HFSS. На рисунке 6 представлена многослойная печатная плата с наложением 3D-сетки, полученной с помощью технологии Phi mesher.

Технология Phi mesher генерирует более точную сетку конечных элементов для кремниевых подложек, электрических слоёв, интегральныхборок и печатных плат, затрачивая на это меньше времени и вычислительных ресурсов. Phi mesher создаёт начальную 3D-сетку конечных элементов в 30 раз быстрее,

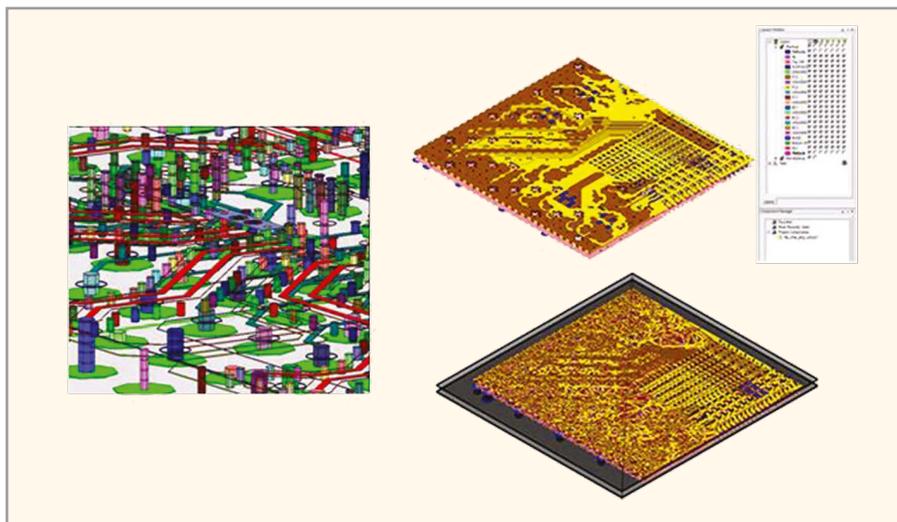


Рис. 6. Вид сетки на многослойной печатной плате, полученный с помощью технологии Phi mesher

чем традиционные методы в предыдущих версиях программного продукта.

Криволинейный тип элементов в ANSYS HFSS-IE

Современные технологии используют комплекс методов, направленных на снижение радиозаметности крупногабаритных объектов в различных областях спектра, в том числе за счёт использования специальных геометрических форм (см. рис. 7). Точность представления геометрических форм является критическим фактором при расчёте эффективной площади рассеивания (ЭПР). Программный продукт ANSYS HFSS позволяет разработчикам использовать криволинейный тип элементов, обеспечивающих высокую точность описания объектов сложной формы без увеличения времени моделирования. Данный тип элементов позволяет решать задачи по оптимальному размещению антенн и более точно рассчитывать ЭПР.

Импорт данных об излучении в ближнем поле

При разработке современной электроники необходимо соблюдать строгие нормативные требования к электромагнитной совместимости. Радиоэлектронные средства (РЭС) должны исправно функционировать при воздействии электромагнитных помех и не создавать их. Изготовление и тестирование опытных образцов РЭС можно сочетать, и в ряде случаев полностью замещать построением и тестированием виртуальной модели РЭС в HFSS.

Моделирование виртуального прототипа в HFSS выполняется с очень высокой точностью, иногда недости-

жимой при тестировании физического прототипа. Данные измерений или моделирования ближнего поля могут передаваться между разными проектами в HFSS или из других приложений ANSYS Electromagnetics. Они могут быть использованы для создания граничных условий в виде источника возбуждения, например для имитации излучения. Это позволяет использовать результаты расчётов в нескольких проектах или передавать их третьим лицам или организациям без раскрытия коммерческой тайны.

Пространственно-зависимые свойства композитов в ANSYS HFSS

Многие современные материалы состоят из нескольких слоёв с различными характеристиками. Для достижения уникальных свойств композитных материалов слои могут быть ориентированы в различных направлениях. Например, при производстве печатных плат используется многослойный стеклотекстолит. В конструкциях современных самолётов используют многослойный материал, состоящий из углеродного волокна для снижения радиозаметности.

Материал, из которого изготовлена модель, характеризуется весьма специфическими пространственно-зависимыми свойствами, которые должны быть учтены при моделировании для получения точных результатов, особенно на более высоких частотах. Однако моделирование таких структур на уровне геометрической детализации может занять очень много времени и потребует значительных вычислительных ресурсов. Новая версия программного продукта ANSYS HFSS позволяет моделировать «поведение» сложных много-

слоистых структур с высокой точностью и без значительных временных затрат.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК (FINITE ARRAY 2.0)

Программный продукт HFSS включает усовершенствования, с помощью которых легко создавать антенные массивы и производить расчёт за минимальное время (см. рис. 8). Фазированная антенная решётка (ФАР) может содержать сотни и тысячи элементарных ячеек (Cell Units). В диалоговом окне Array Properties (свойства массива) разработчику предоставляется возможность задать расположение и границы для повторяющихся элементов антенного массива. Пример расчёта ФАР представлен на рисунке 9.

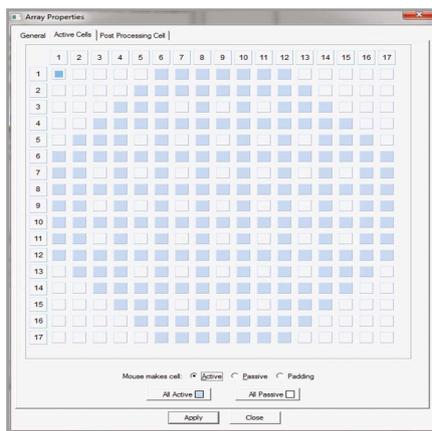


Рис. 8. Среда проектирования фазированных антенных решёток

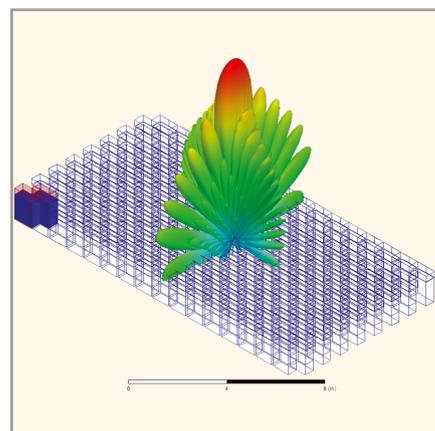


Рис. 9. Анализ ФАР в среде ANSYS HFSS

ОПЦИЯ HPC ОБЕСПЕЧИВАЕТ УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

ANSYS Electronics HPC позволяет разработчику для ускорения моделирования использовать возможности компьютерных кластеров или облачных вычислений. Это возможно благодаря комбинированию вычислительных технологий, основанных на распределении параметров и частот, на использовании многоядерных процессоров и декомпозиции доменов. Распределённый решатель матричных уравнений позволяет использовать оперативную память доступных компьютеров в локальной сети, в результате чего появляется возможность решать задачи больших электрических размеров для объектов со сложной геометрией (см. рис. 10).

В новом выпуске программного продукта значительно расширены возможности HPC:

- улучшены гибридные методы моделирования (FEBI, IE-области) и метод декомпозиции матрицы;
- улучшен метод декомпозиции доменов для анализа многопортовых структур;
- решатель HFSS Transient поддерживает графические процессоры (GPU) для высокопроизводительных вычислений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые возможности и особенности релиза ANSYS HFSS 2014 года:

- новый тип сетки Phi mesher для проектирования электрических схем: технология Phi mesher генерирует более точную сетку конечных элементов

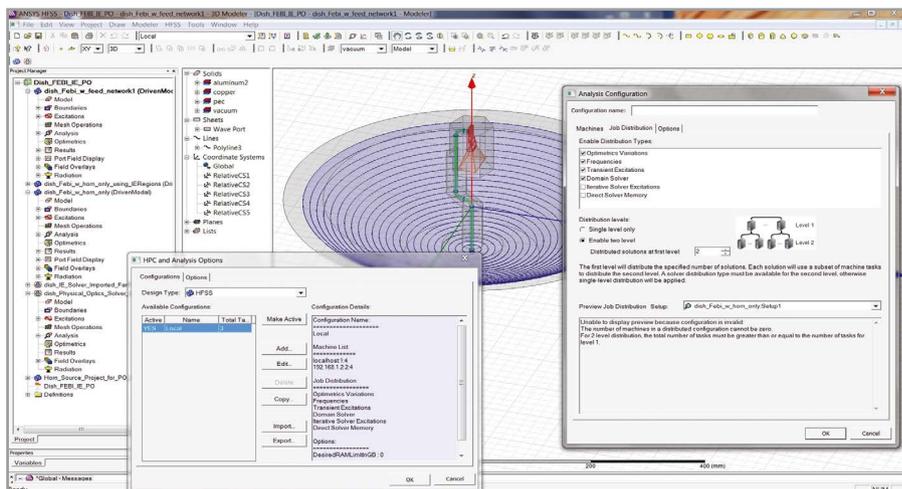


Рис. 10. Опция ANSYS Electronics HPC Pack

- для кремниевых подложек, электрических слоёв, сборок и печатных плат;
- криволинейный тип элементов в ANSYS HFSS-IE: программный продукт ANSYS позволяет разработчикам использовать криволинейный тип элементов, обеспечивающих высокую точность описания объектов сложной формы без увеличения времени моделирования;
- поддержка данных о ближнем поле: данные измерений или моделирования ближнего поля теперь импортируются в HFSS и могут быть использованы в качестве граничных условий в виде источника возбуждения, например в виде падающей волны;
- пространственно-зависимые материалы: новая версия программного продукта ANSYS HFSS позволяет моделировать «поведение» сложных многослойных структур с высокой точностью и без существенных затрат времени;
- увеличена скорость моделирования в режиме HPC;
- анализ целостности сигналов с помощью программных продуктов ANSYS 15.0: расширены технические

возможности 3D-решателей Q3D Extractor и SIwave. С помощью этих программ разработчики электроники могут создавать различные модели кристаллов ИС, сборок и печатных плат с учётом параметров RLCG;

- режим HPC для SI/PI-анализа высокоскоростной электроники позволяет с высокой скоростью моделировать сложные многослойные структуры «кристалл–корпус–печатная плата».

Даже краткое описание технологий трёхмерного электромагнитного анализа позволяет сделать вывод, что компания ANSYS Inc. серьёзно подходит к развитию и совершенствованию своих программных продуктов. Каждый последующий релиз содержит в себе большое число нововведений и улучшений, благодаря которым программный продукт ANSYS HFSS остаётся незаменимым инструментом для разработчиков СВЧ и антенных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.ansys.com.
2. ANSYS HFSS Online Help.
3. www.orcada.ru.