

# ANSYS HFSS

## ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОГО РЕШЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

А.Евграфов evgraphov@orcada.ru

Компания Ansoft (с 2008 г. в составе компании ANSYS Inc.) – мировой лидер в области разработки программных решений для электромагнитного анализа радиоэлектронных устройств. За 30-летнюю историю существования компании САПР HFSS зарекомендовала себя как отраслевой "золотой" стандарт трехмерного решения прикладных электродинамических задач. Благодаря высокой точности, скорости расчета и удобству использования, HFSS получила большую популярность у разработчиков в России и во всем мире.

**В** последней версии ANSYS HFSS разработчикам САПР удалось, исходя из насущных задач современного производства, реализовать комплексный подход к трехмерному моделированию антенных и СВЧ-устройств. Передовые технологии ANSYS 2014 включают самые последние достижения в области электромагнитного моделирования. Основное внимание было уделено увеличению скорости расчетов, расширению функциональных возможностей и масштабируемости САПР. Современные алгоритмы, основанные на методе конечных элементов, интегральных уравнений, а также гибридных методов расчета позволяют проводить анализ множества задач электродинамики и распространения радиоволн. Рассмотрим основные конфигурации и методы расчета программного пакета ANSYS HFSS.

**ANSYS HFSS Frequency** – расчет задач в частотной области методом конечных элементов (FEM – Finite Element Method). Этот метод содержит в себе прямой и итерационный матричный решатель. Пользователям предоставляется возможность провести расчет паразитных параметров (S, Y, Z), показать трехмерную 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 (рис.1).

**ANSYS HFSS Transient** – расчет задач во временной области с применением дискретного метода Галеркина (DGTD, Discontinuous Galerkin Time Domain). Метод позволяет исследовать задачи с кратковременным импульсным источником возмущений – таким, как радиолокационная станция (радар), электростатический разряд, электромагнитные помехи, молнии и т.д.

**ANSYS HFSS-IE Solver** – расчет задач методом интегральных уравнений. Включает в себя метод

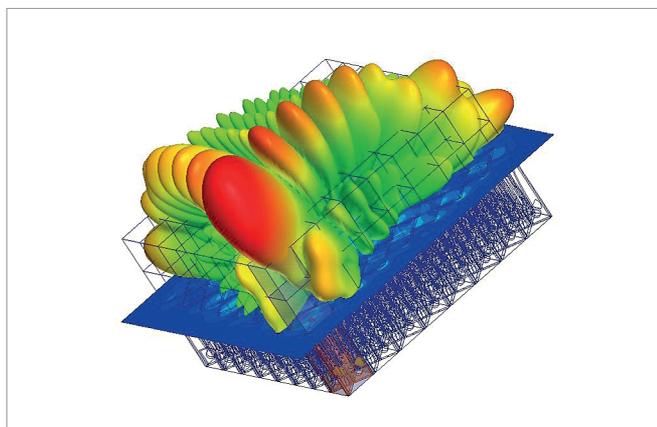
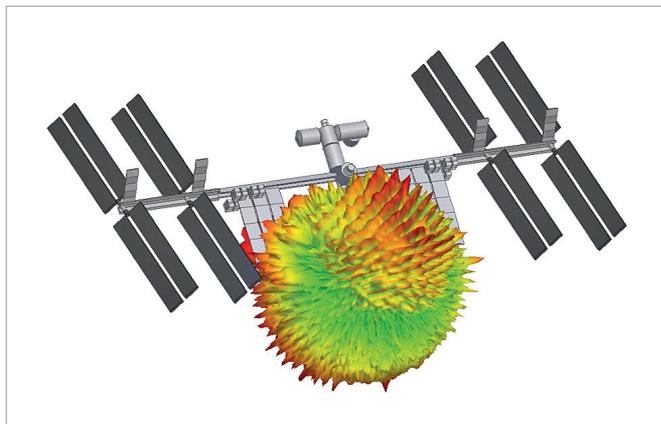
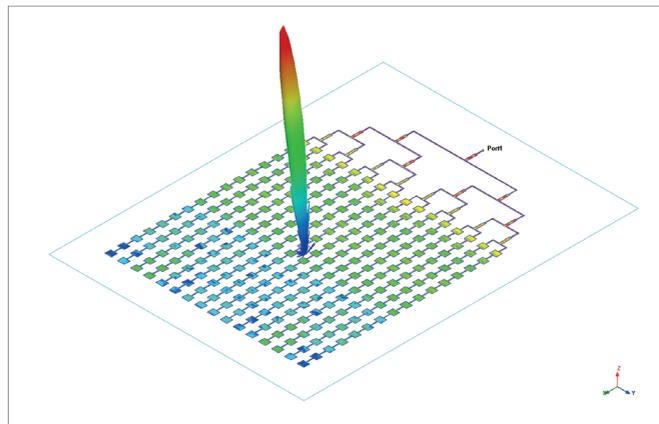


Рис.1. Расчет диаграммы направленности антенной решетки, состоящей из антенн Вивальди



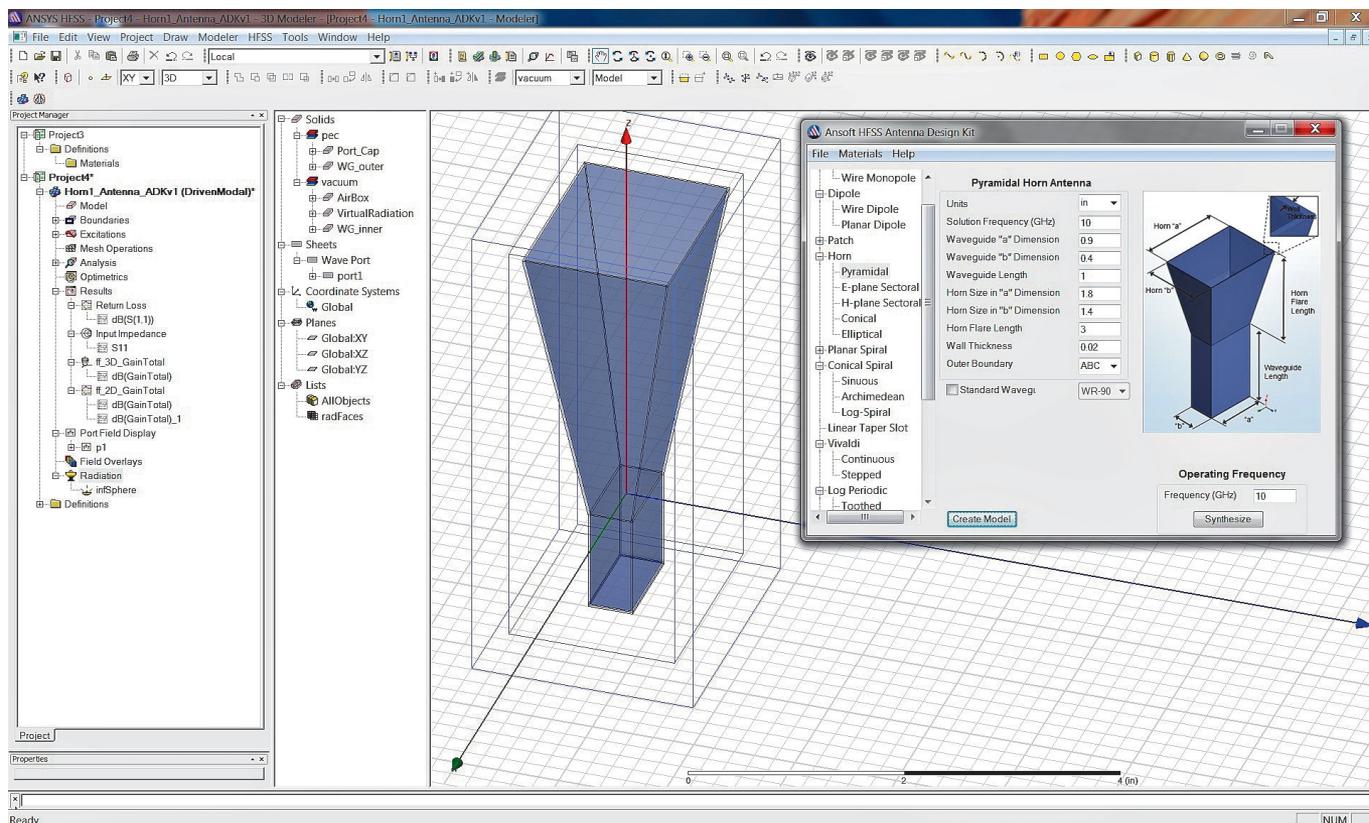
**Рис.2.** Расчет диаграммы направленности антенны на Международной космической станции методом физической оптики

моментов (МОМ) и метод физической оптики (Physical Optics). Метод моментов позволяет рассчитывать токи на проводящих поверхностях и диэлектрических объектах на открытых поверхностях. Для расчета применяется метод адаптивного кросс-приближения (ACA) в сочетании с итерационным матричным решателем. Этот метод позволяет

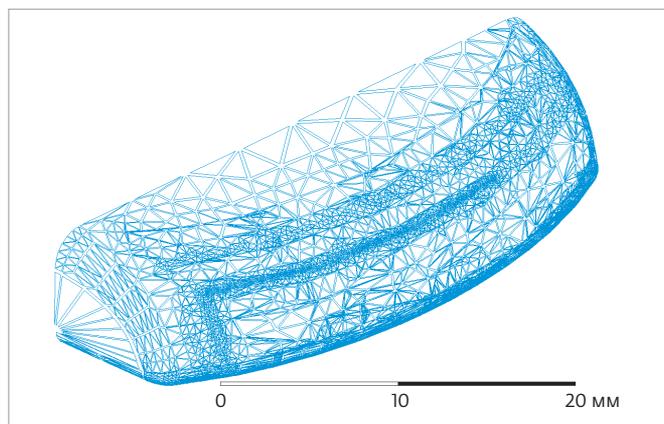


**Рис.3.** Электромагнитное моделирование распределения тока по элементам антенной решетки размером 16×16 при помощи Planar EM

снизить требования к оперативной памяти, что делает возможным его применение для исследования больших объектов. Метод физической оптики чрезвычайно полезен при решении очень больших задач электромагнитного излучения и рассеяния, например, крупных зеркальных антенн и объектов (самолетов и кораблей, рис.2).



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



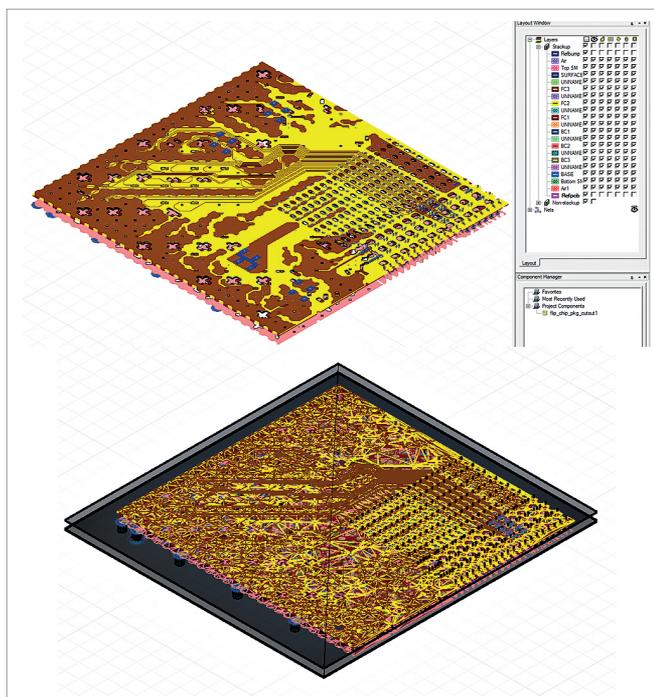
**Рис.5.** Конформная криволинейная аддитивная сетка разбиения

**ANSYS HFSS Hybrid Finite Element – Integral Equation Method (FE-BI) Solver** построен на методе декомпозиции и трехмерного метода интегральных уравнений. Метод FE-BI сочетает в себе лучшее из обоих методов: метод конечных элементов для решения сложной геометрии применяется совместно с методом моментов для расчета функций Грина в свободном пространстве. С помощью этой технологии разработчики антенных устройств могут получить высокую точность расчетов излучаемых поверхностей в дальней зоне.

**HFSS Planar EM** – планарный EM-решатель, идеально подходящий для проектирования интегральных СВЧ-схем, монолитных и гибридных микроволновых интегральных схем, систем на кристалле, беспроводных коммуникационных систем и других ВЧ-и СВЧ-устройств (рис.3).

**Antenna Design Kit (ADK)** – бесплатная утилита, содержащая большое количество готовых шаблонов различных типов антенн: спиральные, печатные, рупорные, дипольные, полосковые и др. Интерактивная среда ADK (рис.4) позволяет пользователям 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 трехмерного анализа и оптимизации.

Для поиска решения исследуемой электромагнитной задачи ANSYS HFSS использует сетку с конечными элементами в виде тетраэдров. 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 расчетов. С помощью сеток можно описать любую



**Рис.6.** Вид сетки на многослойной печатной плате, полученной с помощью Phi mesher

криволинейную поверхность, благодаря этому достигается высочайшая точность в описании геометрии всего трехмерного объекта без аппроксимаций или двумерного округления (рис.5).

Матричный решатель (Matrix Solver), используемый в HFSS, позволяет масштабировать процессы вычисления решаемой задачи с использованием возможностей многоядерных процессоров. Эта возможность доступна только при наличии опции высокопроизводительных вычислений ANSYS HPC Electronics Pack. Масштабируемость и увеличение скорости вычисления поставленной задачи достигается за счет параллельного решения матричных уравнений ядрами процессора. В предыдущих версиях каждое матричное уравнение распределялось на соответствующее количество ядер (последовательная обработка матричных блоков). Реализация параллельного алгоритма вычисления "разреженных" матричных блоков имеет более высокую скорость (по сравнению с вычислением одного "плотного" матричного блока всеми процессорами) и сходимость результатов.

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. Поддерживаются форматы IGES, STEP, ACIS, Parasolid, DXF, DWG. С помощью

3D-решателей Q3D Extractor и SIwave разработчики электроники могут создавать различные модели чипов, сборок и печатных плат на базе паразитарных RLCC параметров.

### Новый тип сетки Phi mesher для проектирования электрических схем

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 HFSS (рис.6).

Технология Phi mesher генерирует более точную сетку конечных элементов для кремниевых подложек, электрических слоев, интегральных сборок и печатных плат, затрачивая на это меньше времени и вычислительных ресурсов. Phi mesher создает начальную 3D-сетку конечных элементов в 30 раз быстрее, чем традиционные методы предыдущих версий САПР.

### Криволинейный тип элементов в ANSYS HFSS-IE

При проектировании изделий специального назначения применяются методы снижения радиозаметности крупногабаритных объектов в различных

областях спектра. Один из таких методов предполагает расчет специальных геометрических форм (рис.7). При вычислении эффективной площади рассеивания (ЭПР) критична точность представления этих форм. В САПР ANSYS HFSS разработчики могут применять криволинейный тип элементов, обеспечивающий высокую точность описания объектов сложной формы без увеличения времени моделирования. Криволинейный тип 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 по электромагнитной совместимости. Радиоэлектронные системы (РЭС) должны исправно функционировать при воздействии внешних электромагнитных помех и не создавать собственные. Изготовление и тестирование опытных образцов РЭС можно сочетать, а в ряде случаев и полностью замещать построением и тестированием виртуальной модели РЭС в HFSS. Моделирование виртуального прототипа в HFSS выполняется с очень высокой точностью, иногда недостижимой при тестировании физического прототипа. Данные

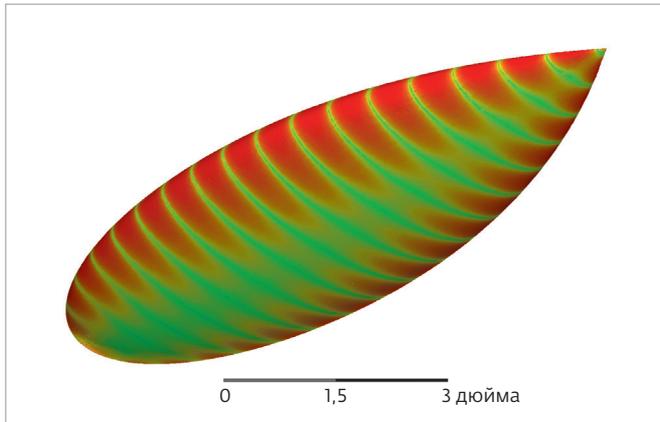


Рис.7. Расчет криволинейных объектов в ANSYS HFSS-IE

измерений или моделирования ближнего поля могут передаваться в другие проекты HFSS или приложения ANSYS Electromagnetics. С их помощью могут задаваться граничные условия в виде источника возбуждения (например, падающей волны). Таким образом, результаты расчетов могут использоваться в нескольких проектах или переданы третьим лицам или организациям без раскрытия коммерческой тайны.

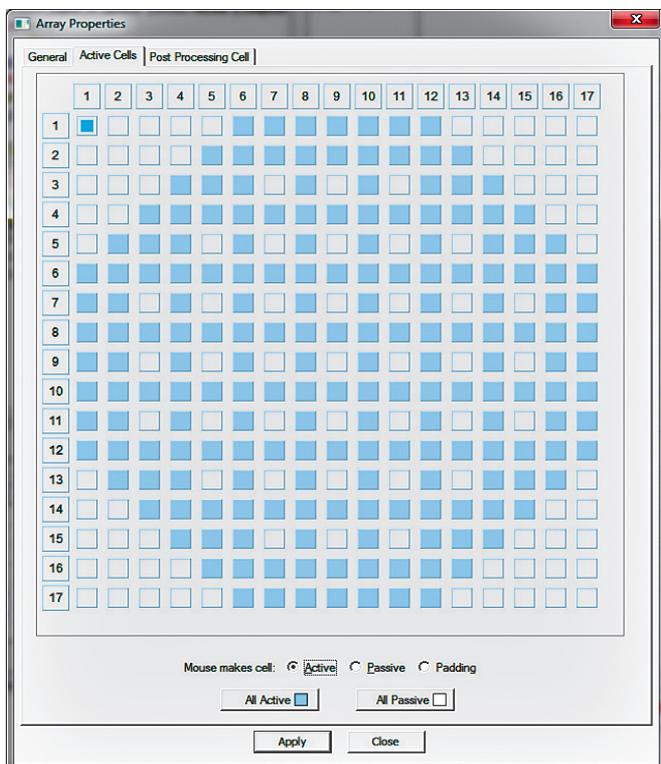


Рис.8. Среда проектирования ФАР

## Пространственно-зависимые свойства композитов в ANSYS HFSS

Многие композитные материалы состоят из слоев различных материалов. Для получения уникальных свойств композитов слои могут быть ориентированы в различных направлениях. Например, при производстве печатных плат применяется многослойный текстолит, а в конструкциях современных самолетов для снижения радиозаметности используют многослойный композит, состоящий из углеродного волокна. Модель композита содержит материалы со специфическими пространственно-зависимыми свойствами, которые должны быть учтены для достижения заданной точности моделирования, особенно на высоких частотах. Однако моделирование таких структур на уровне геометрической детализации может занять очень много времени и требует значительных вычислительных ресурсов. Новая версия ANSYS HFSS позволяет моделировать "поведение" сложных многослойных структур с высокой точностью и без особых временных затрат.

## Моделирование фазированных антенных решеток (Finite Array 2.0)

Одно из усовершенствований новой версии САПР HFSS – возможность максимально быстро создавать и рассчитывать антенные массивы (рис.8). Фазированная антенная решетка (ФАР) может содержать сотни и тысячи элементарных ячеек (cell unit). В диалоговом окне Array Properties (свойства массива) разработчик задает расположение и границы для повторяющихся элементов антенного массива (рис.9).

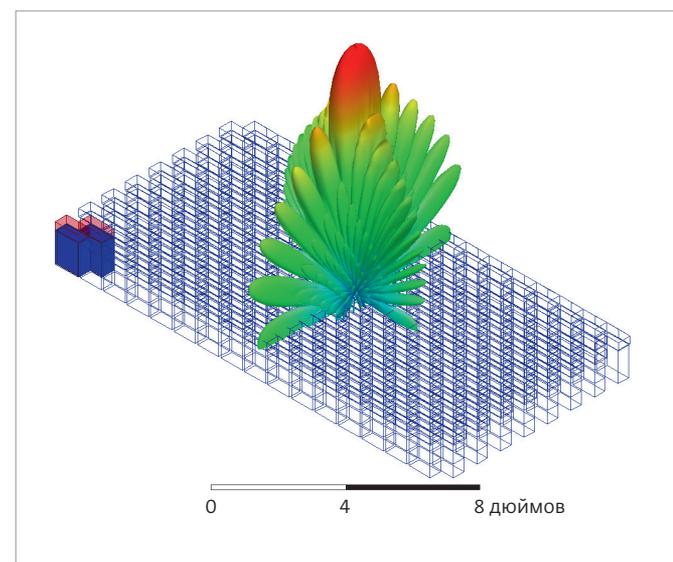


Рис.9. Анализ ФАР в среде ANSYS HFSS

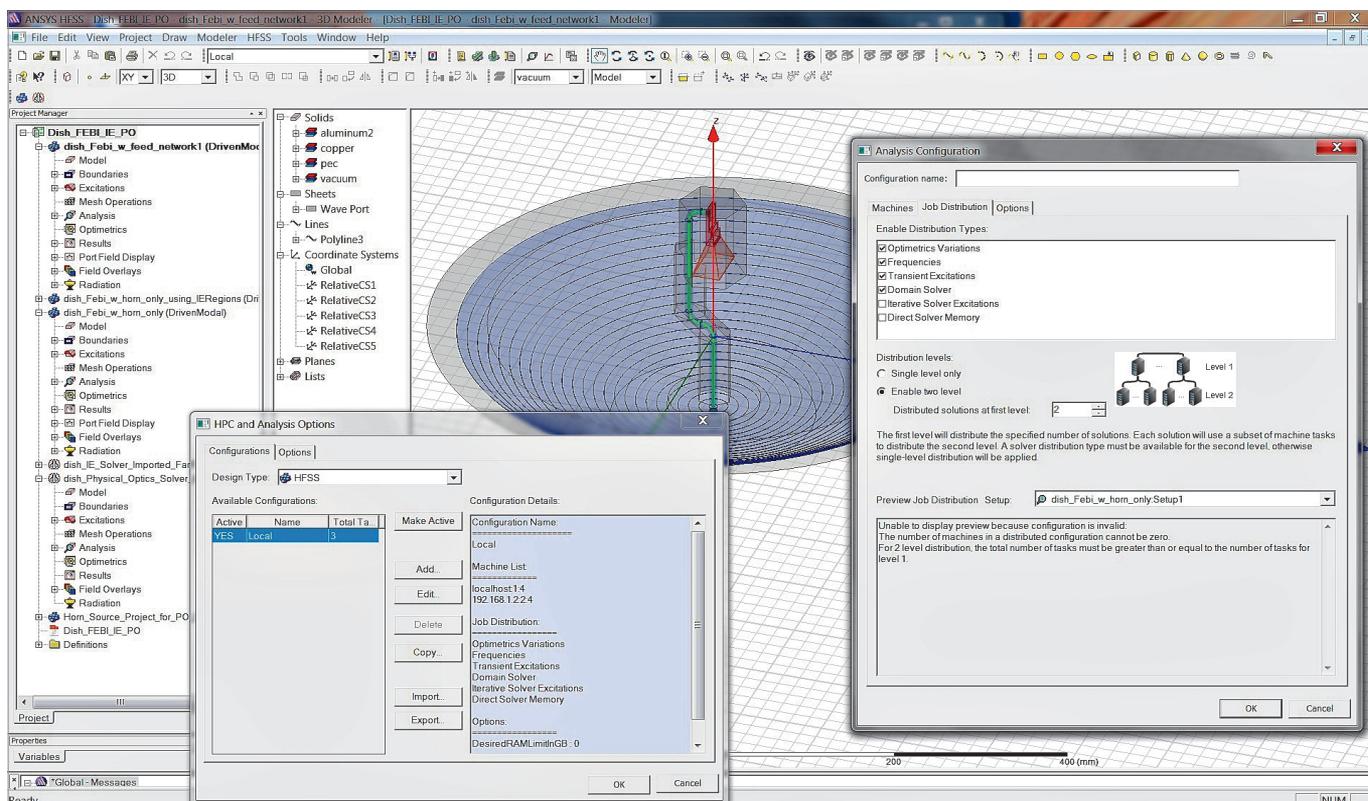


Рис.10. Опция ANSYS Electronics HPC Pack

## HPC – увеличение скорости моделирования

Возможность высокопроизводительных вычислений (HPC) позволяет ускорять моделирование, используя ресурсы компьютерных кластеров. В этом случае сочетаются несколько вычислительных технологий – распределение параметров, частот, многоядерные вычисления и декомпозиция доменов. Распределенный решатель матричных уравнений может использовать память доступных компьютеров в локальной сети, в результате чего разработчик получает возможность эффективней решать задачи больших электрических размеров для объектов со сложной геометрией (рис.10). HPS также применяются для SI/PI анализа высокоскоростной электроники, позволяя с высокой скоростью моделировать комплексные многослойные структуры "кристалл – корпус – печатная плата".

В опции HPC были улучшены:

- гибридные методы моделирования (FEBI, IE- области), метод декомпозиции матрицы;
- метод декомпозиции доменов для анализа многопортовых структур;
- решатель HFSS Transient, поддерживающий процессоры графических ускорителей (GPU) для высокопроизводительных вычислений.

\*\*\*

Компания ANSYS Inc. всегда серьезно подходит к развитию и совершенствованию своих программных решений. С каждой новой версией в ANSYS HFSS появляется все больше нововведений и улучшений, благодаря которым эта САПР становится незаменимым инструментом для разработчиков СВЧ- и антенных устройств.

## ИСТОЧНИКИ

- What's New in ANSYS HFSS 2014.
- ANSYS HFSS Online Help.
- [www.ansys.com](http://www.ansys.com).
- [www.orcada.ru](http://www.orcada.ru).