

**Тема лекции:
Программы электродинамического
моделирования**

План лекции

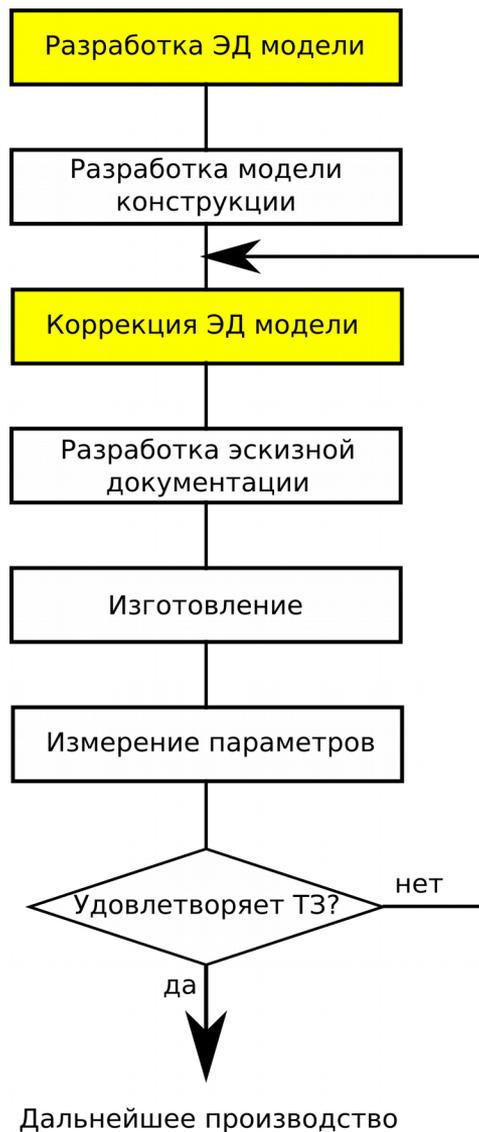
- **Задачи, решаемые с помощью программ электродинамического моделирования**
- **Методы моделирования (алгоритмы)**
- **Метод FDTD**
- **Сложности моделирования**
- **Суперкомпьютеры и параллельные вычисления**
- **Примеры моделирования**

Моделирование

Модель объекта - это другой объект (материальный или информационный), такой, что при независимом применении одних и тех же воздействий на оригинальный объект и модель между ними сохраняется соответствие по некоторым важным характеристикам, что называется адекватностью модели.

А. С. Потапов "Искусственный интеллект и универсальное мышление"

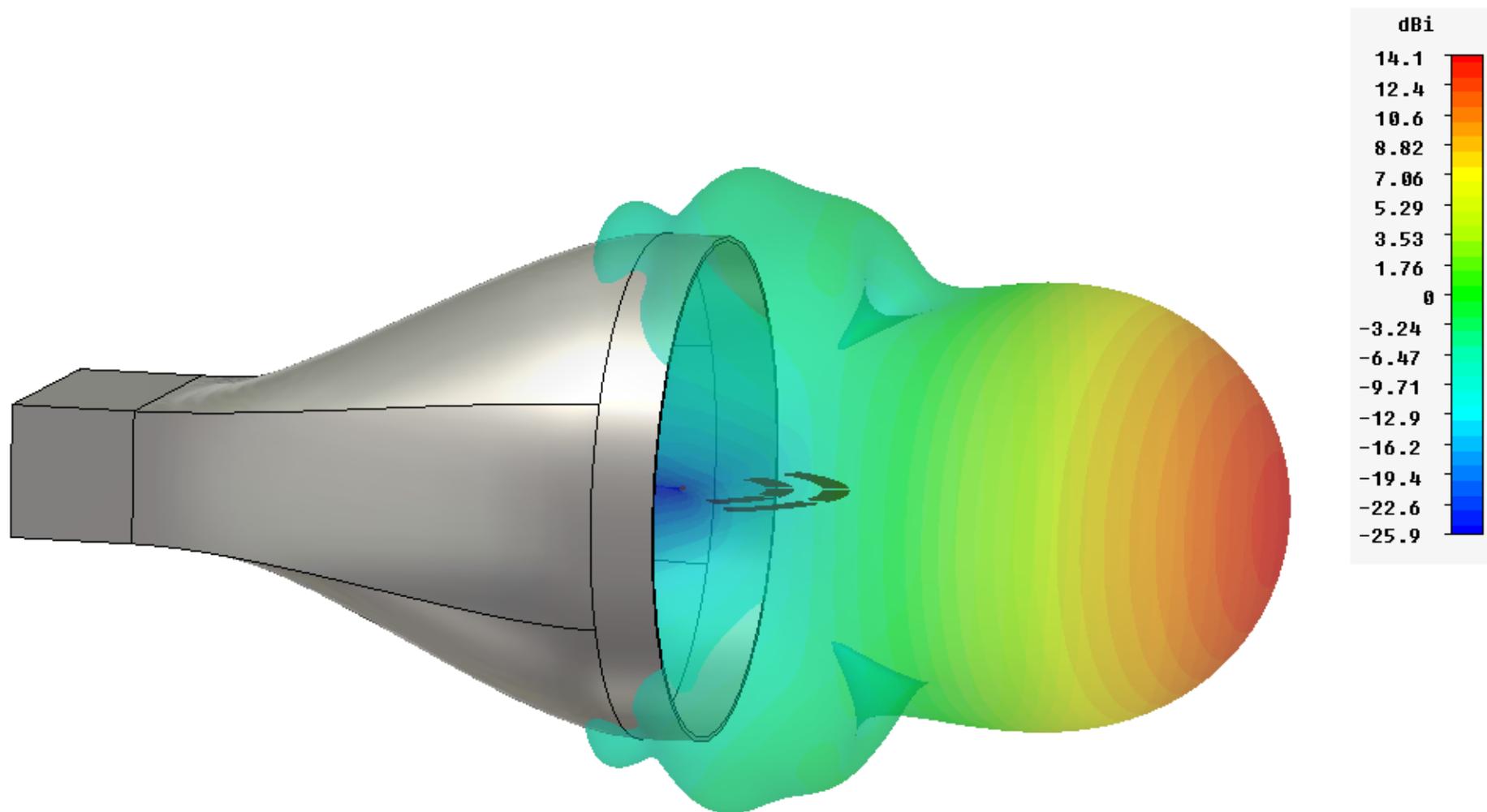
Схема процесса разработки СВЧ устройств



Задачи, решаемые с помощью программ электродинамического моделирования

- Расчет параметров антенн и устройств СВЧ
- Моделирования распространения радиоволн
- Моделирование отражения от объектов
- Расчет эффективной поверхности рассеяния
- Электромагнитная совместимость
- Расчет нагрева устройств СВЧ

Диаграмма направленности рупорной антенны



Задачи, решаемые с помощью программ электродинамического моделирования

- Расчет параметров антенн и устройств СВЧ
- Моделирования распространения радиоволн
- Моделирование отражения от объектов
- Расчет эффективной поверхности рассеяния
- Электромагнитная совместимость
- Расчет нагрева устройств СВЧ

Методы электродинамического моделирования

- **Метод конечных разностей во временной области (FDTD - Finite Difference Time Domain)**
- **Метод конечных элементов (FEM - Finite Element Method)**
- **Метод моментов (MoM - Method of Moments)**

Основные этапы моделирования

- 1. Задание геометрии задачи**
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов

Интерфейс программы CST Microwave Studio

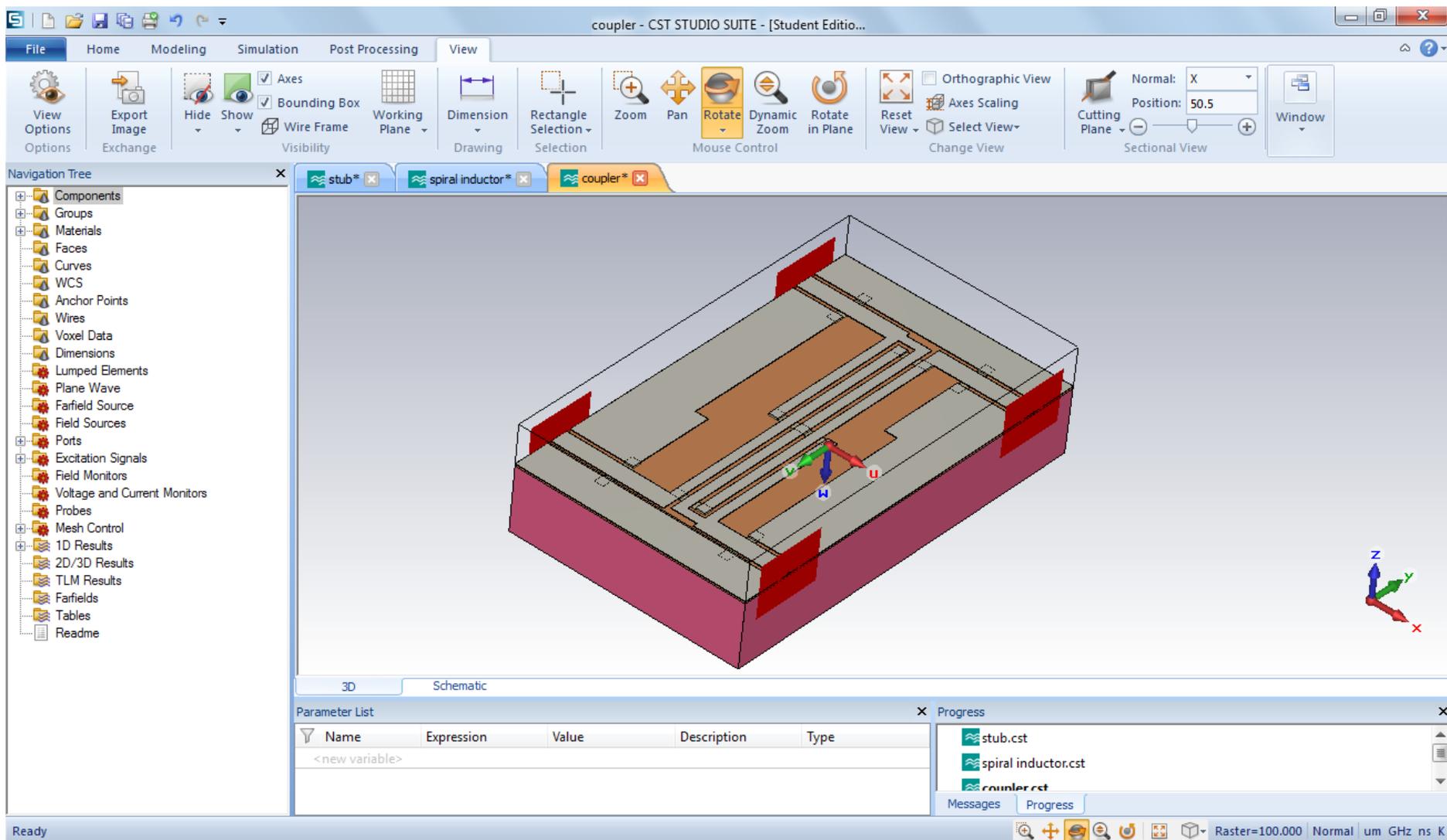
The screenshot displays the CST Microwave Studio interface for a Yagi antenna simulation. The main 3D view shows five directors and a driven element. The navigation tree on the left lists various components and simulation settings. The parameter list table at the bottom provides numerical values for various parameters.

Name	Expression	Value	Description	Type
s5	= 0.10	0.1	Space between 3r...	Length
s4	= 0.10	0.1	Space between 2n...	Length
s3	= 0.10	0.1	Space between 1s...	Length
s2	= 0.11	0.11	Space between dr...	Length
s1	= 0.16	0.16	Space between re...	Length
r	= 0.003369	0.003369	Wire Radius, in w...	Length
lambda	= 10	10	Wave length	Length
l6	= 0.4	0.4	Length of 4th dire...	Length
l5	= 0.4	0.4	Length of 3rd dire...	Length

Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
- 2. Задание источников**
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов

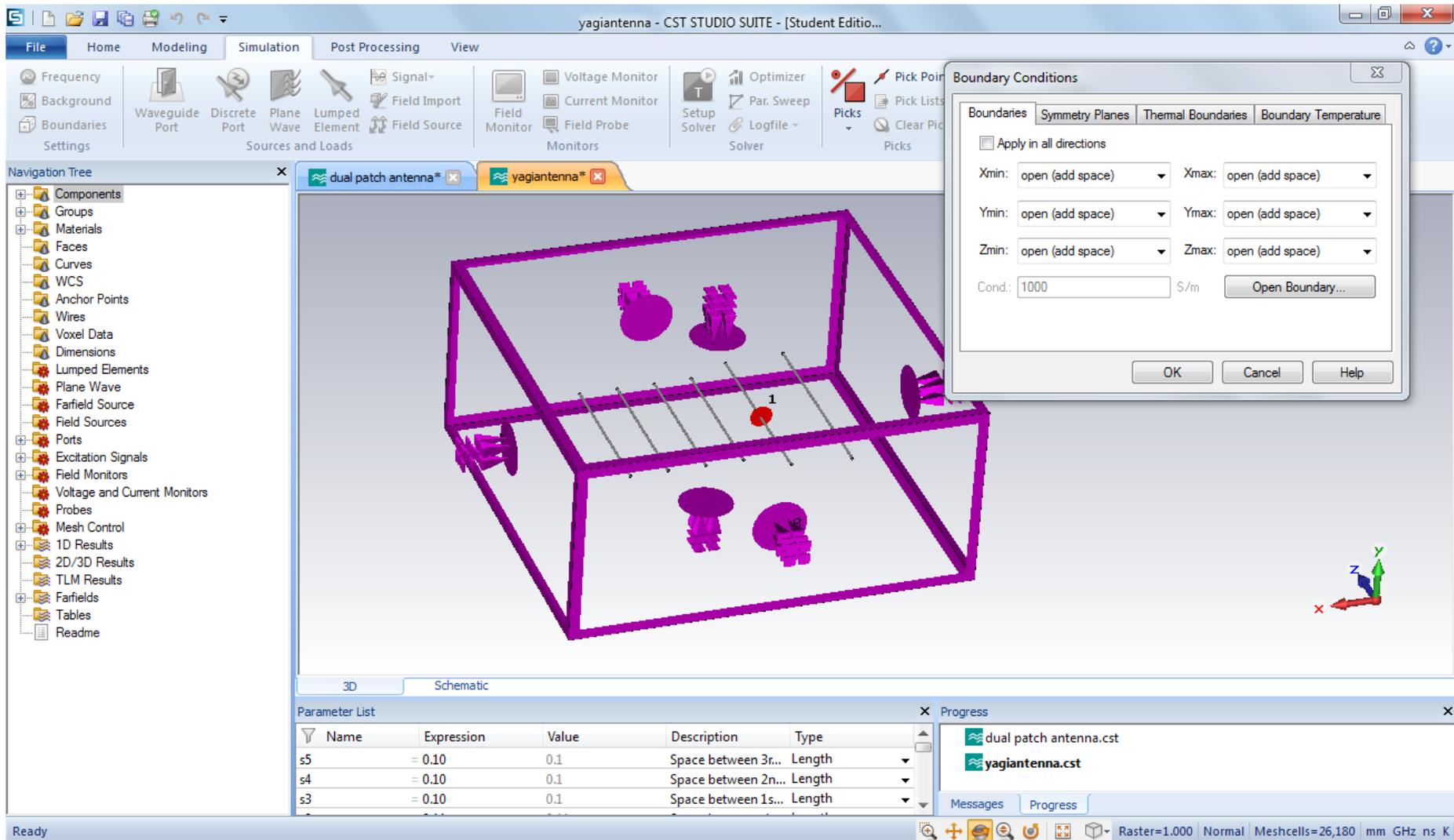
Интерфейс программы CST Microwave Studio



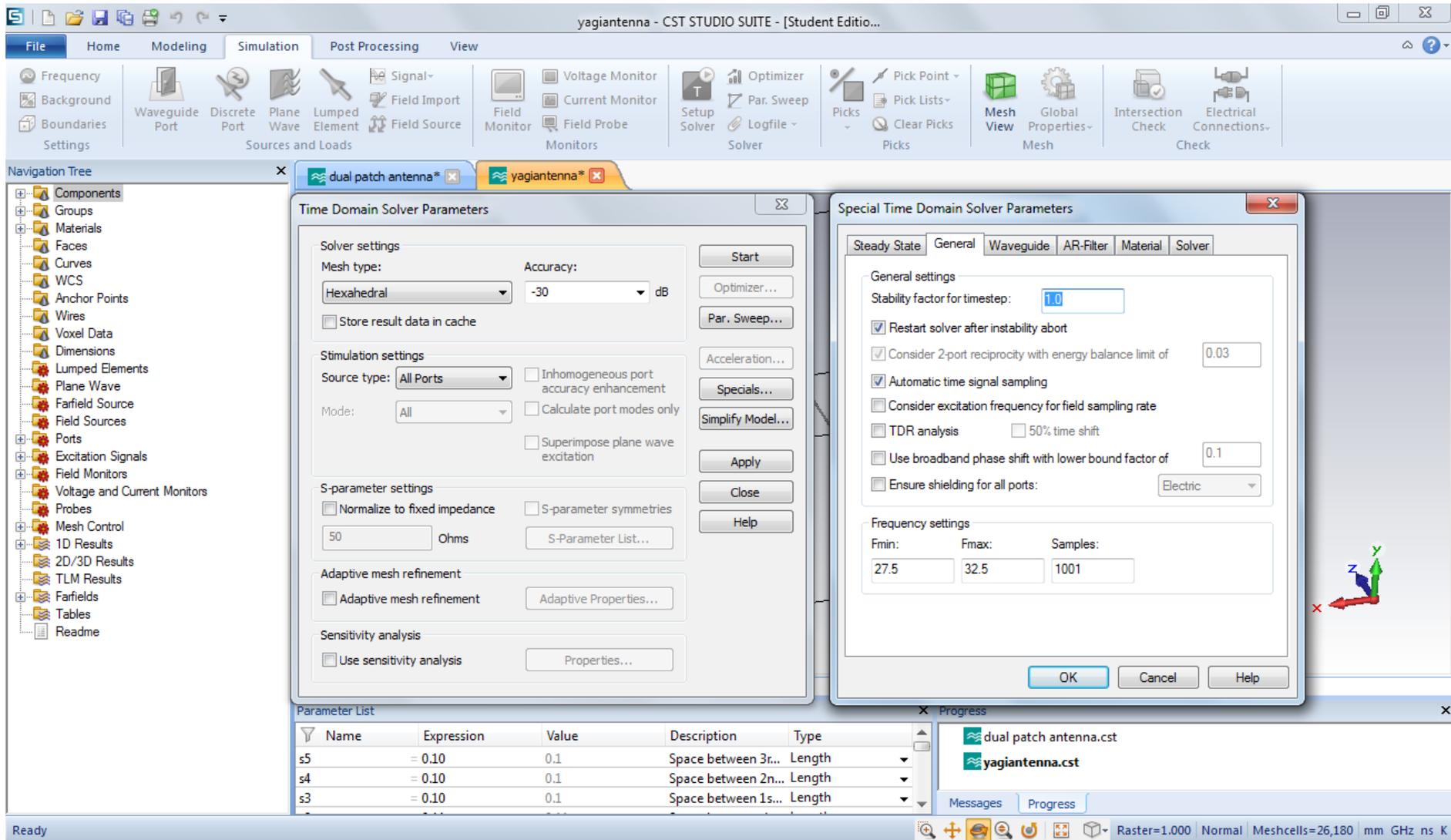
Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
- 3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)**
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов

Интерфейс программы CST Microwave Studio



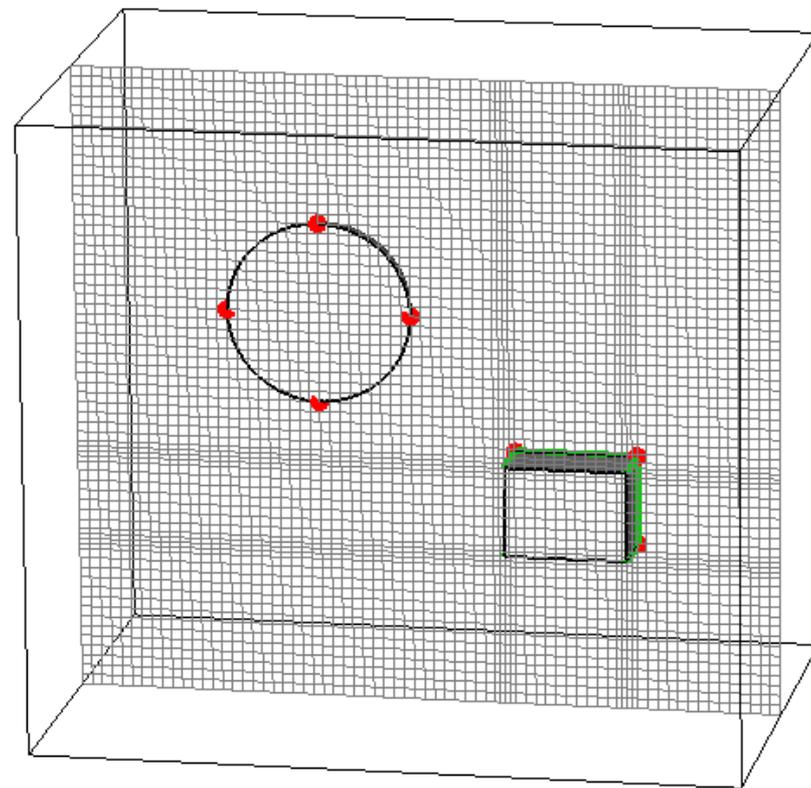
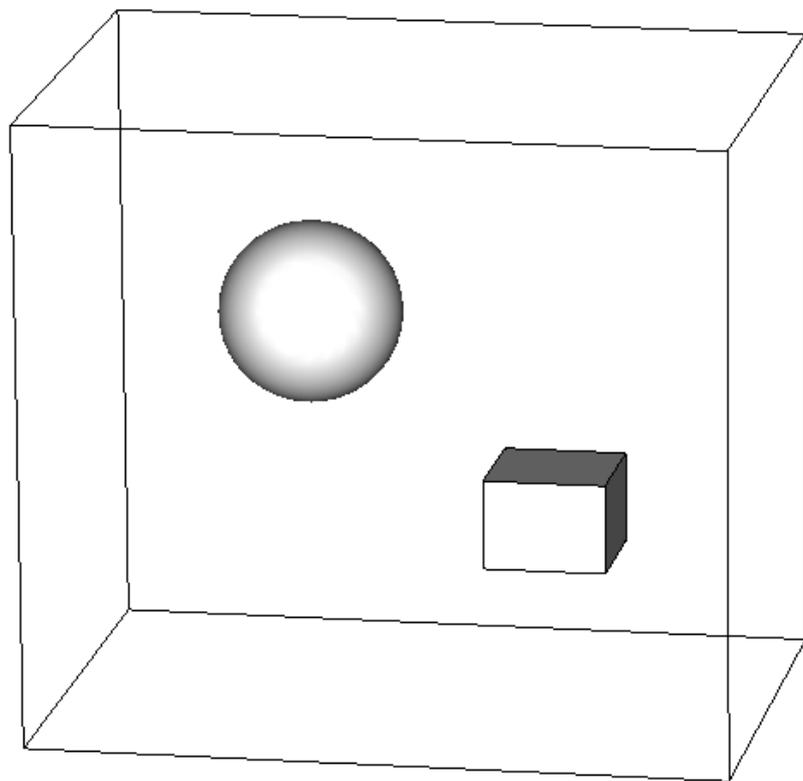
Интерфейс программы CST Microwave Studio



Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
- 4. Создание сетки**
5. Процесс моделирования
6. Анализ результатов

Метод FDTD. Пример сетки



Размер ячейки: $\lambda / 30$

Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
- 5. Процесс моделирования**
6. Анализ результатов

Процесс моделирования



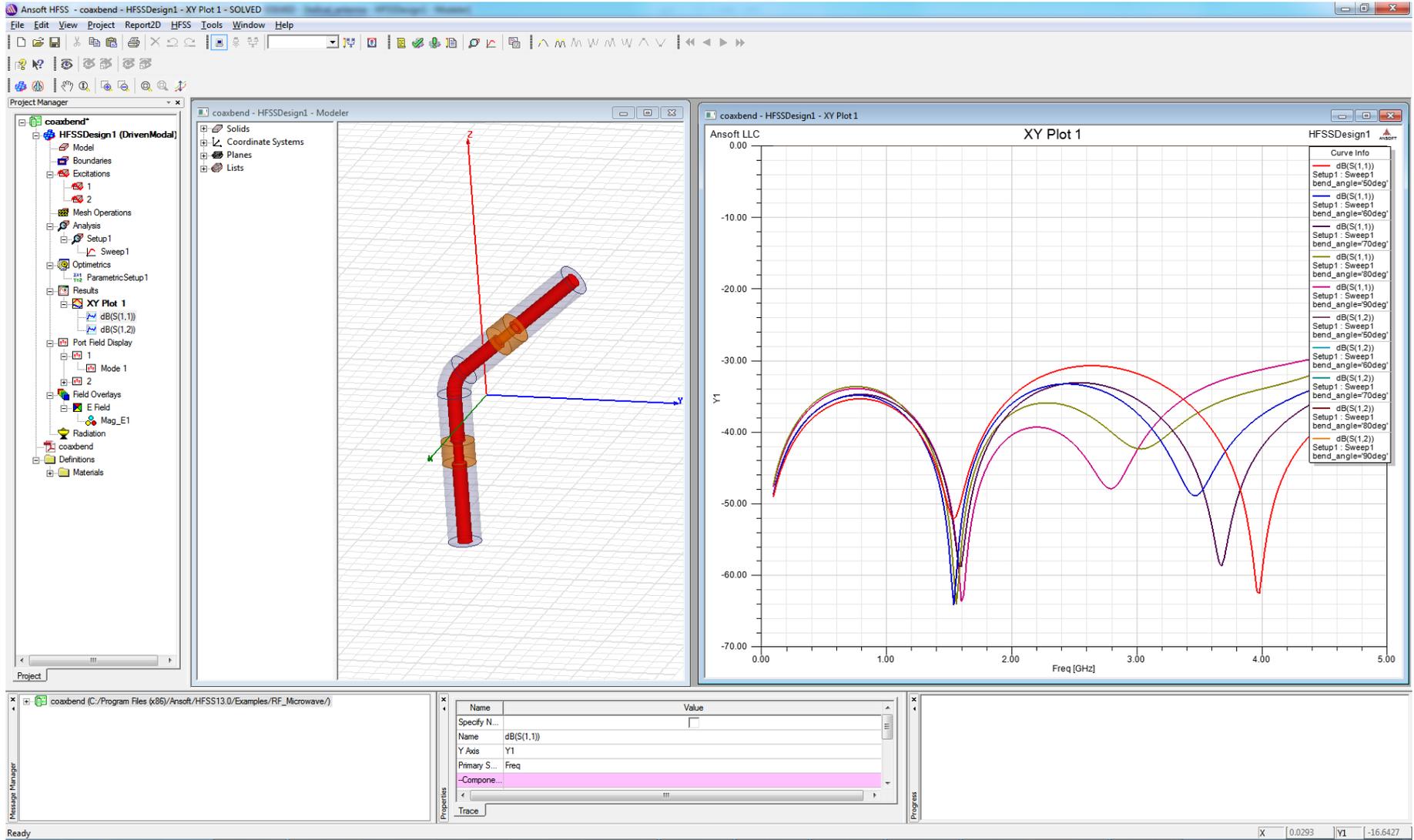
Please wait



Основные этапы моделирования

1. Задание геометрии задачи
2. Задание источников
3. Задание параметров моделирования (в том числе граничных условий)
4. Создание сетки
5. Процесс моделирования
- 6. Анализ результатов**

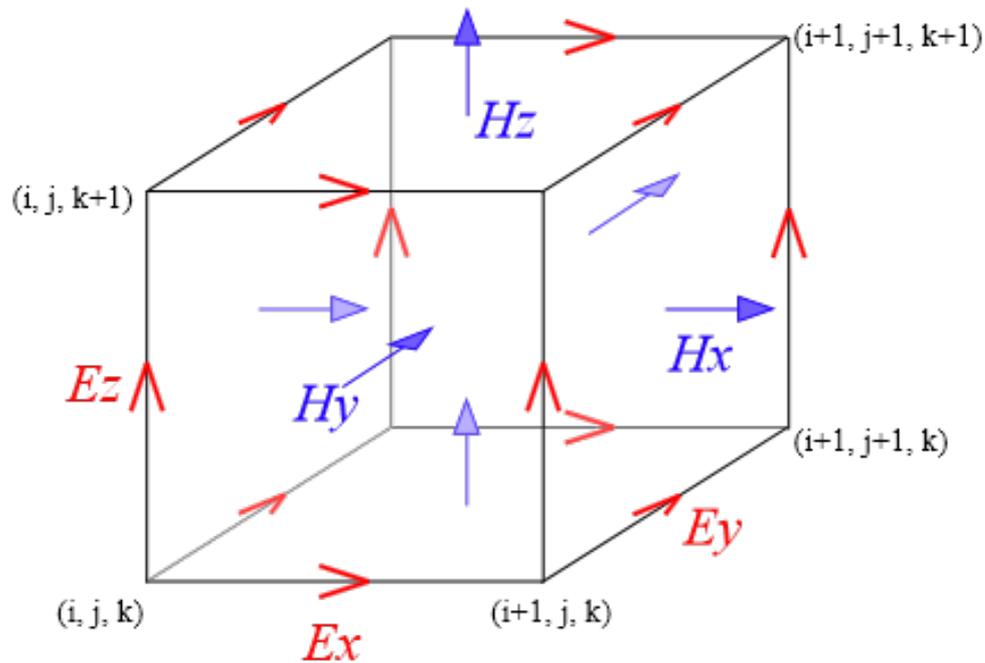
Интерфейс программы HFSS



Проблемы моделирования

- **Достоверность моделирования**
- **Время расчета**
- **Требования к оперативной памяти**

Ячейка для метода FDTD



Для работы алгоритма требуется хранить следующие величины:

- Компоненты поля:

$$E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$$

- Поле в момент времени $t - 1, t, t + 1$
- Параметры среды: ϵ, μ, σ
- Размеры ячеек: S_x, S_y, S_z

Примеры программ электродинамического моделирования

Программы на основе метода конечных разностей во временной области (FDTD)

- **Максвелл+**
- **CST Microwave Studio**
- **Remcom XFDTD**
- **CFDTD**
- **Zeland Software Fidelity**
- **SEMCAD**
- **Lumerical FDTD Solution**
- **GEMS**
- **Keysight EMPro**

Meep (Free)

CST Studio Suite

<http://www.cst.com>

CST Studio Suite

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

- **Анализ СВЧ устройств**
- **Анализ низкочастотных структур**
- **Анализ печатных структур**
- **Расчет диаграммы направленности антенн**
- **Расчет тепловыделения**
- **Расчет во временной и частотной областях**

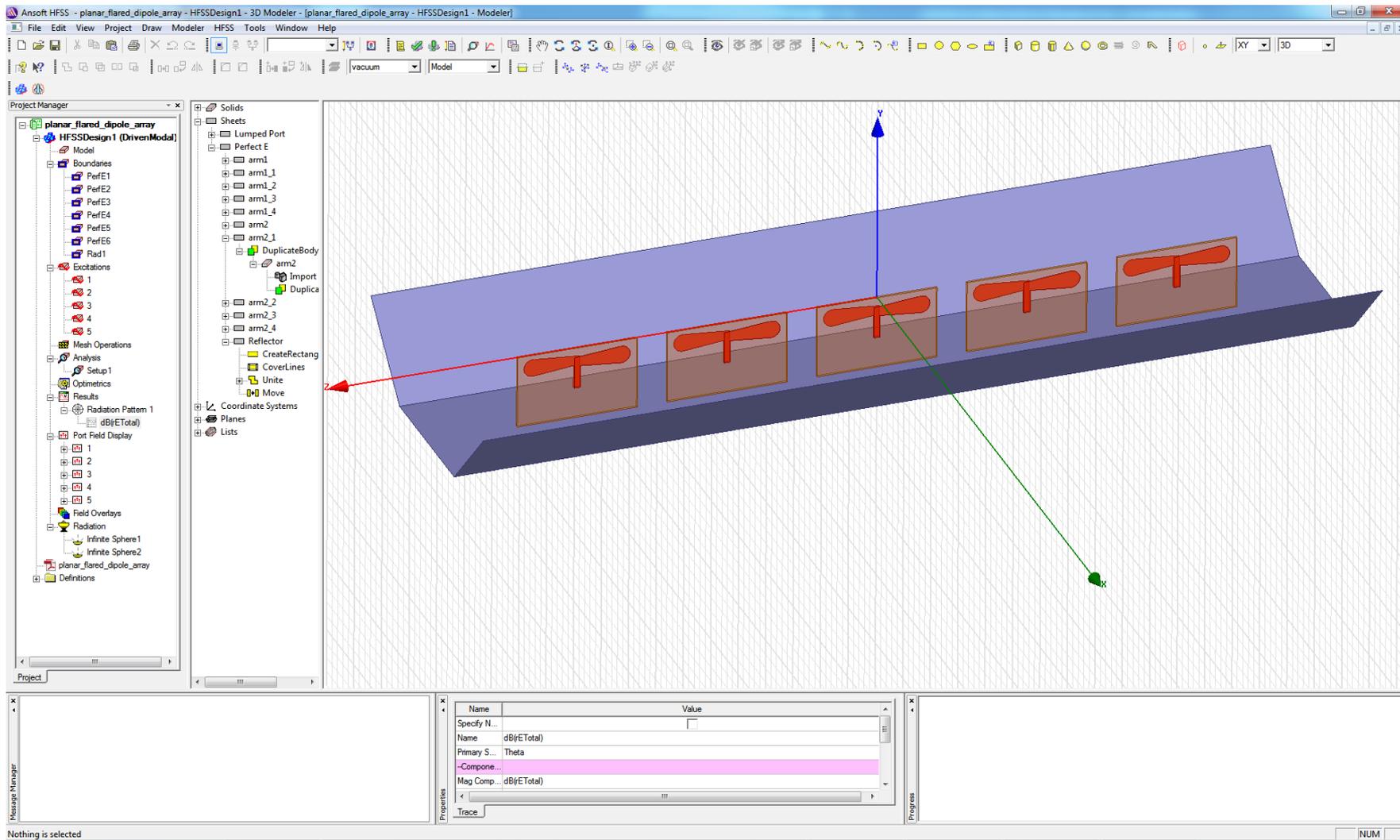
Программы на основе других методов электродинамического моделирования

- **CST Microwave Studio**
- **Ansys HFSS**
- **FEKO**
- **AWR Microwave Office**
- **Keysight EMPro**

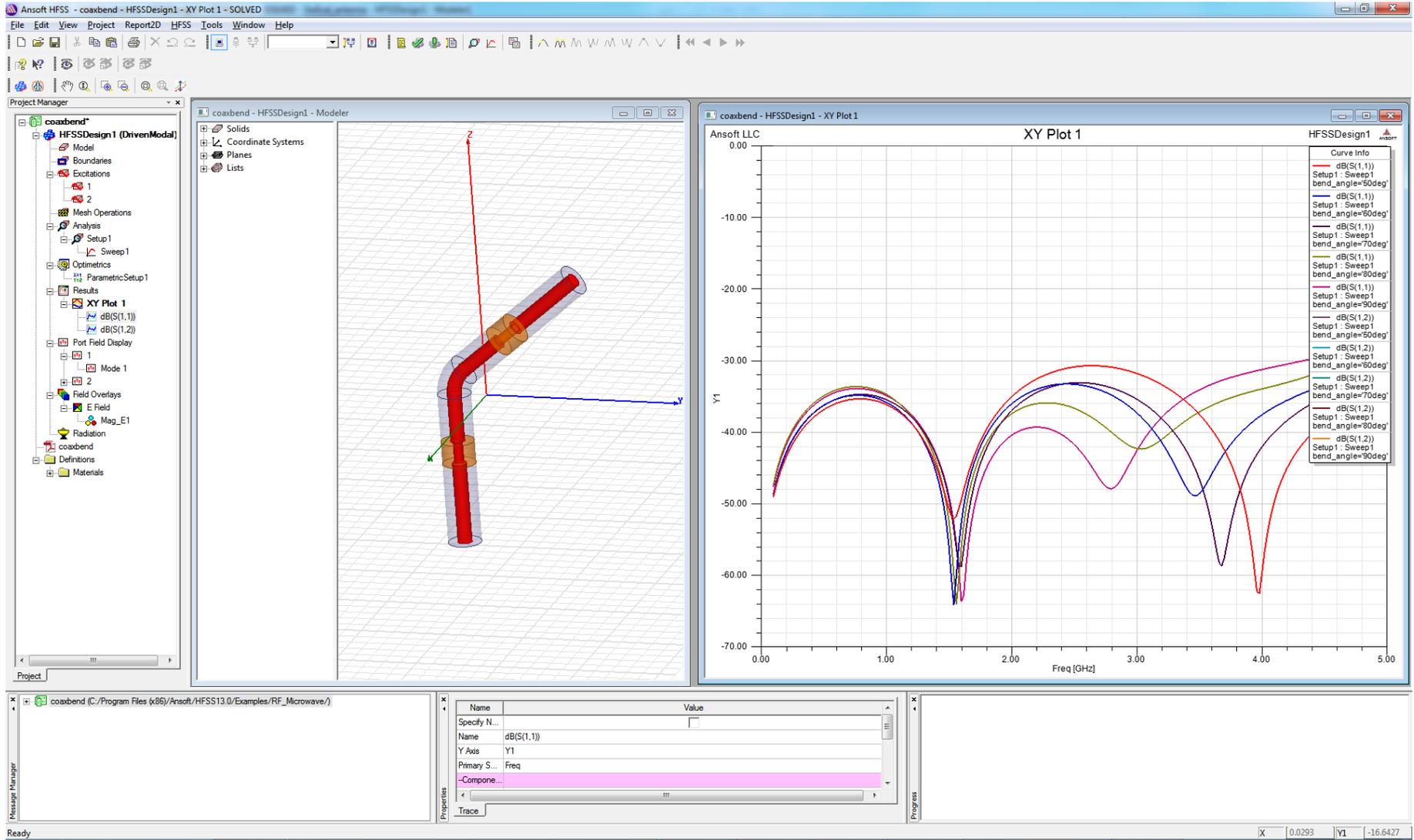
Ansys HFSS

<http://www.ansys.com/>

Интерфейс программы HFSS



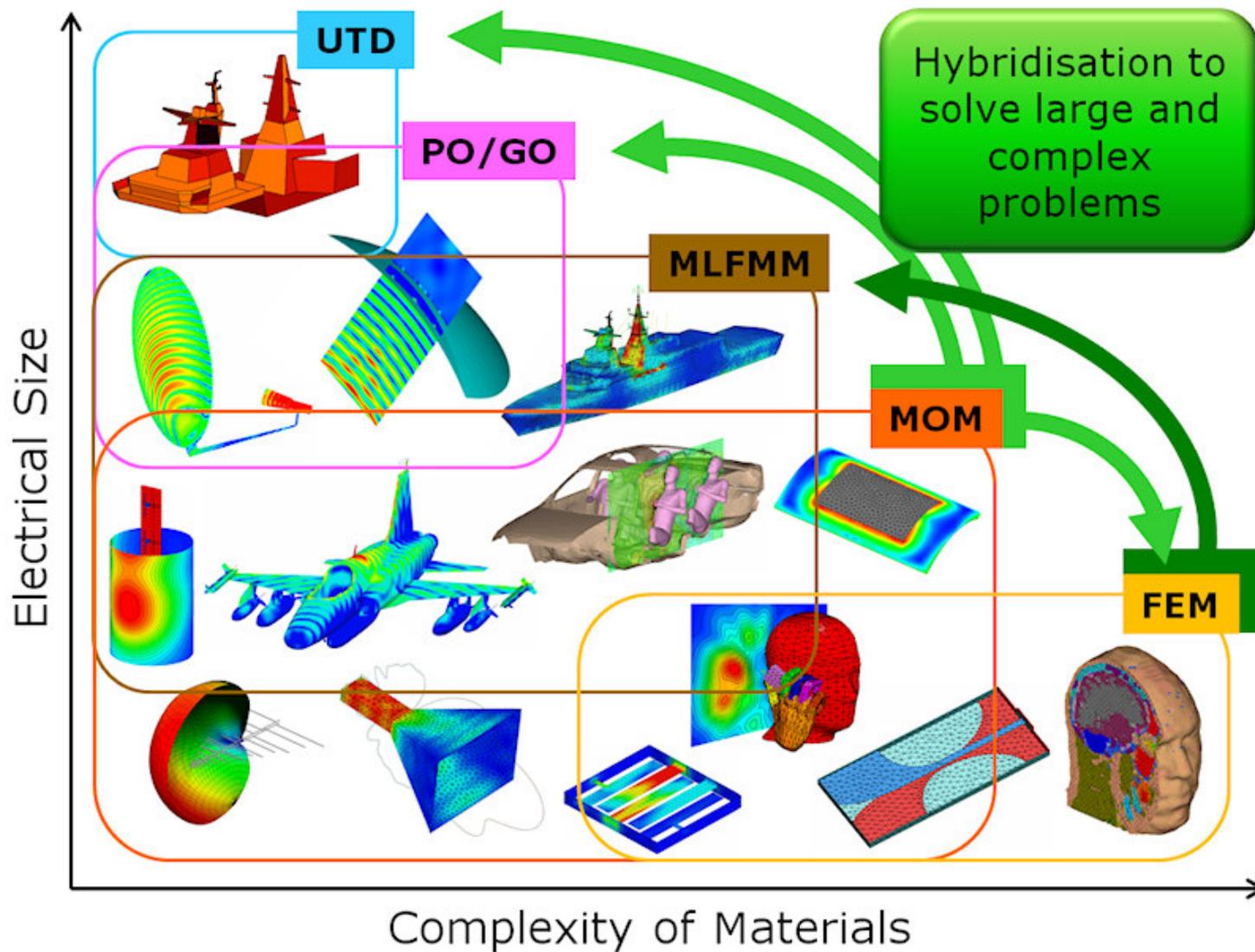
Интерфейс программы HFSS



FEKO

<http://www.feko.info/>

Возможности программы FEKO



Интерфейс программы FEKO

The screenshot displays the CADFEKO software interface for a 3D view of a coupled patch antenna. The main window shows a 3D model of the antenna structure, which consists of a rectangular patch on a dielectric substrate, surrounded by a ground plane. The model is rendered with a green mesh. A red vertical line indicates the Z-axis, and a blue horizontal line indicates the X-axis. The Y-axis is also visible.

The left sidebar contains a tree view of the project structure, including:

- Named points
- Workplanes: Global XY [Default], Global XZ, Global YZ
- Media: Perfect electric conductor, Perfect magnetic conductor, Free space, Dielectric, bottom_layer, top_layer
- Geometry: Union1, bottom_layer, feed, patch, Split_back1, Split_front1, Subtract1, top_layer
- Meshes: Union1
- Non-radiating networks
- Ports
- Solution:
 - Frequency [2.1 GHz - 2.3 GHz]
 - Infinite planes
 - Loads
 - Excitations: Power [No scaling], VoltageSource1
 - Calculation: Currents [No currents], Source data: VoltageSource1
 - Far fields: FarField1
- Optimisation

The bottom status bar shows the unit set to cm.

Opening project file--
 C:\Program Files\FEKO 6.0\examples\ExampleGuide_models\Example34-Aperture_Coupled_Patch_Antenna\ap_coupled_patch_finite.cfx
Note: *.cfs workspace file not found. Loading default workspace.
 C:\Program Files\FEKO 6.0\examples\ExampleGuide_models\Example34-Aperture_Coupled_Patch_Antenna\ap_coupled_patch_finite.pre

Интерфейс программы FEKO

