



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

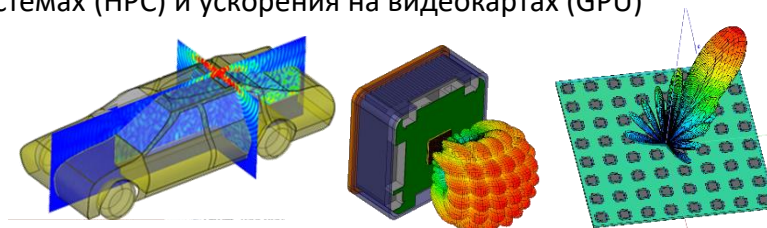
САПР «ГАММА» Обзор возможностей



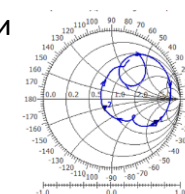
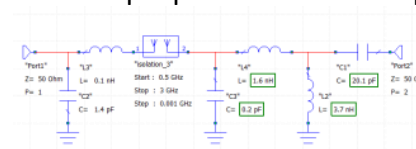
- GAMMA — это программный комплекс автоматизированного проектирования и моделирования сложных высокочастотных радиоэлектронных систем, таких как:
 - Антенно-фидерные устройства, включая фазированные антенные решетки,
 - ВЧ и СВЧ печатные платы,
 - Элементы СВЧ цепей: линии передач, делители, фильтры и т.п.,
 - Резонаторы.
- GAMMA сочетает в себе удобный пользовательский интерфейс, мощный 3-х мерный редактор, набор решателей, для моделирования разнообразных проблем, и набор инструментов для анализа результатов.
- Точность моделирования сопоставима с коммерческими программами (ANSYS HFSS, SPEAG SEMCAD, CST Studio) и хорошо согласуется с данными измерений.
- Успешно применяется для разработки различных конструкций антенн: UWB антенны, антенные решетки миллиметрового диапазона, антенны LTE MIMO, 5G для мобильных телефонов и т. д.

Основные режимы

- **3-х мерное Электромагнитное (ЭМ) Моделирование**
 - Метод Конечных-элементов в частотной области (FEM) и Конечных разностей во временной области (FDTD)
 - Влияние на организм человека и анализ безопасности
 - Режим анализа антенных решеток
 - Поддержка расчетов на высокопроизводительных системах (HPC) и ускорения на видеокартах (GPU)



- **Анализатор радиочастотных цепей**
 - Анализ цепей в частотной области
 - Автоматическая оптимизация и настройка
 - Работа с импортированными S-матрицами



- **Трассировка лучей**
 - Распространение радиоволн на большие расстояния
 - Анализ производительности установленных антенн
 - Коммуникационный анализ



■ Современный интерфейс с панелями быстрого доступа

- File
- Home
- View
- Modeling
- Simulation
- Etc.

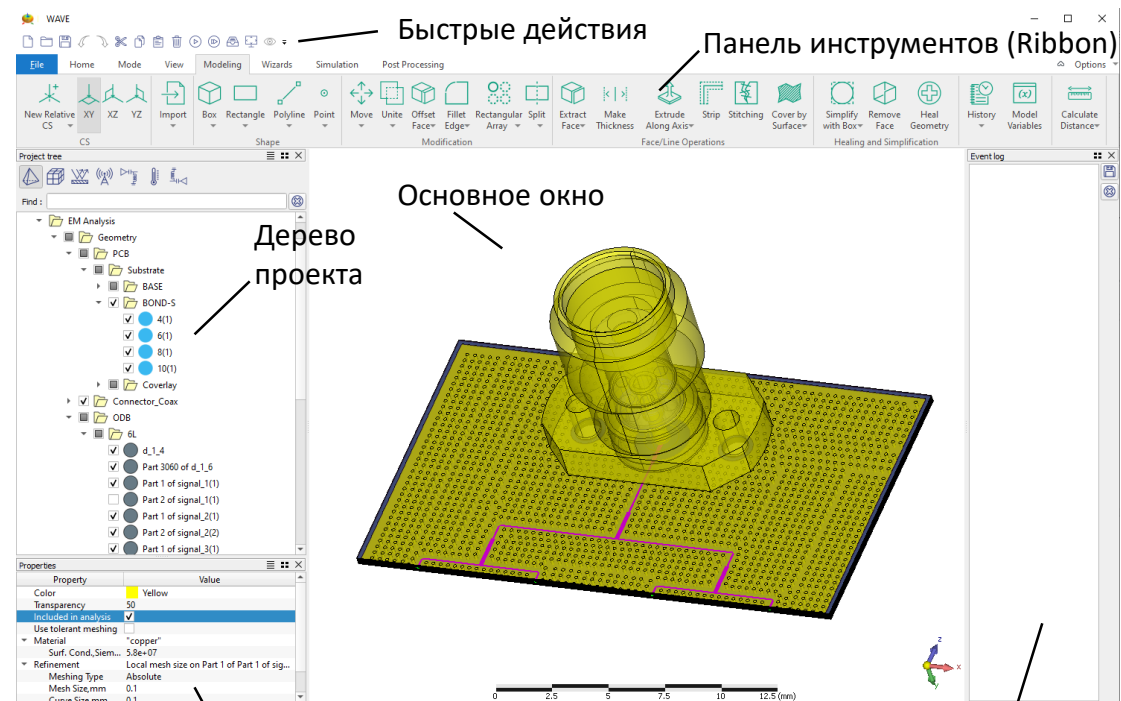
■ Основное окно

- Сечения
- Контроль прозрачности
- Настраиваемые: фон, толщина линий и т.д.
- Фронтальная, боковая и т.д. проекции

■ Настраиваемые горячие клавиши

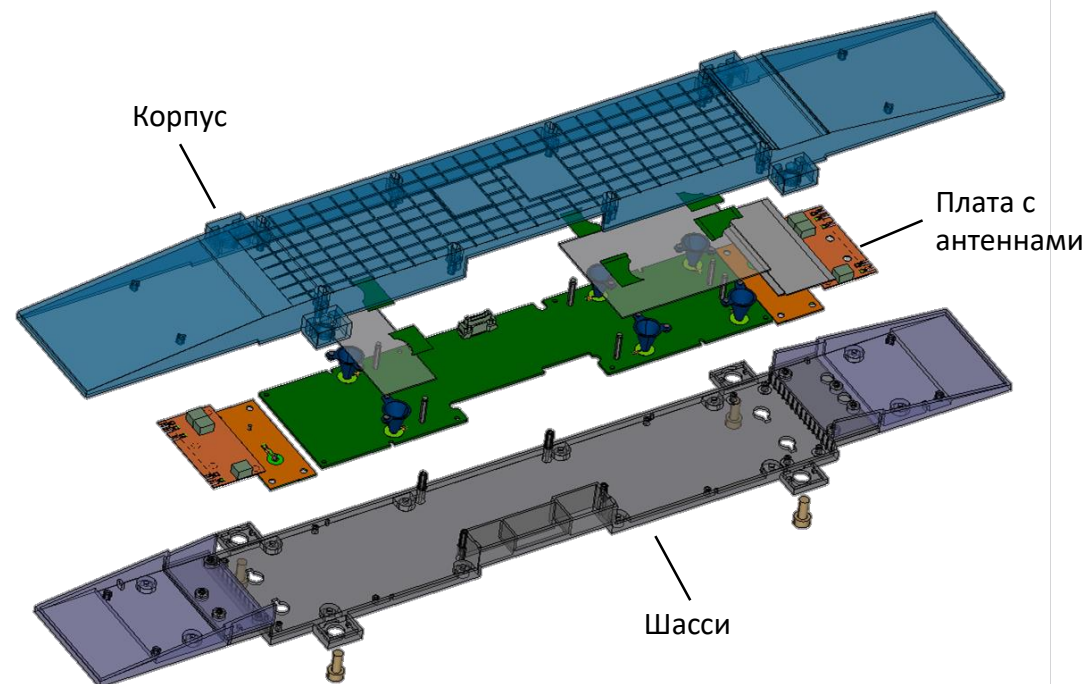
■ Иерархическое дерево проекта, Адаптивный редактор свойств и т.д.

Пользовательский интерфейс программы



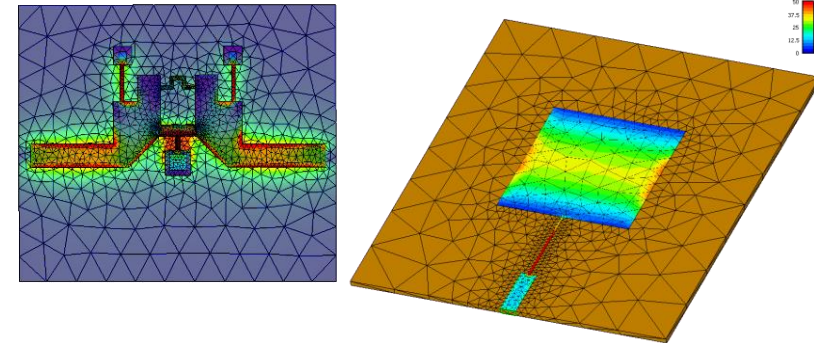
- **Импорт/Экспорт из всех основных САПР**
 - 2D/3D форматы: Pro-E / PTC Creo, ACIS SAT, STEP, IGES, STL, DXF
 - Импорт ODB++ PCB files
- **Широкий набор инструментов для создания и редактирования геометрических объектов**
 - 1D/2D/3D примитивы
 - Логические операции
 - Инструменты для локального редактирования (смещение поверхности, скругление граней и т.д.)
 - Преобразование 2-х мерных примитивов в 3-х мерные
 - Инструменты для упрощения сложных форм
- **Инструменты для измерения: объем, площадь, длина**
- **Расширенный набор точек привязки: вершины, ребра, центр поверхности, пересечение ребер, проекции и т.д.**
- **Редактируемая история операций**
- **Поддержка переменных и параметризация объектов (для параметрического анализа)**
- **Помощники: создание массива антенн, фантом головы и руки, и т.д.**

Модель антенного модуля, спроектированного в GAMMA
(шасси и детали корпуса импортированы из PTC Creo)

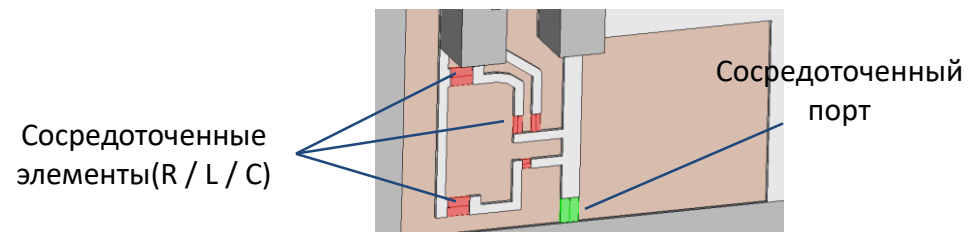
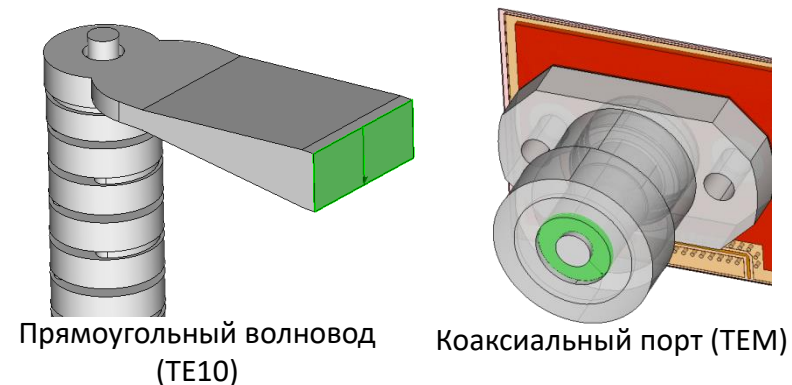


- **Конечно-Элементный решатель:**
 - Векторные конечные элементы (КЭ) высокого порядка в частотной области
 - Автоматическое построение тетраэдральных КЭ сеток
 - Адаптивное улучшение КЭ сеток
- **Поддержка высокопроизводительных систем (HPC):**
 - Параллельные расчёты на MPI и SMP системах
 - Удаленный расчёт (Windows и Linux)
- **Типы анализа:**
 - С источником (S-параметры)
 - Собственные частоты
 - Электромагнитная совместимость/интерференция (ЭМС/ЭМИ)
- **Типы источников:**
 - Сосредоточенный порт
 - Прямоугольный волновод и коаксиальный порт
 - Электрический и магнитный диполь (ЭМС/ЭМИ)
- **Материалы:**
 - Линейные не дисперсионные диэлектрики
 - Частотно зависимые ткани человека
 - Металлы (учет конечной проводимости)
- **Граничные условия:**
 - Электрическая/магнитная стенка
 - Конечная проводимость
 - Сосредоточенные элементы (R/L/C)
 - Поглощающие граничные условия

Автоматическое построение КЭ сетки с адаптивным улучшением



Поддерживаемые порты и элементы цепей



- **Конечно-разностный решатель во временной области:**

- Быстрый широкополосный анализ
- Быстрое и удобное построение регулярных сеток
- Ускорение на видеокартах (Nvidia GPU с поддержкой CUDA)

- **Типы анализа:**

- Широкополосный с источником (S-параметры)

- **Сосредоточенные порты и элементы цепей**

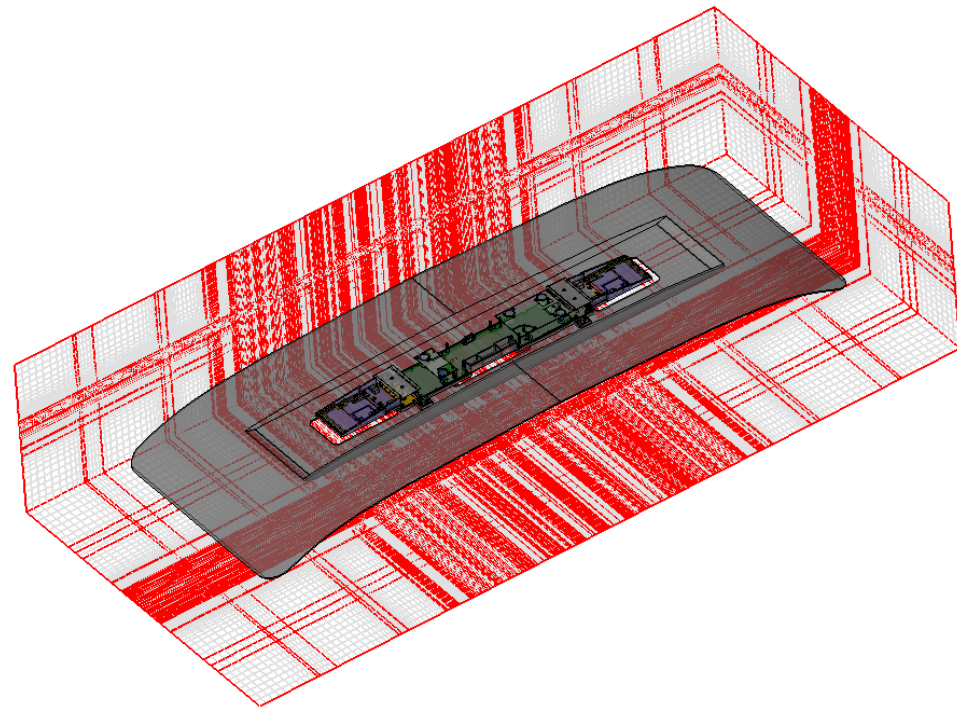
- **Материалы:**

- Линейные недисперсионные диэлектрики
- Идеальный металл

- **Граничные условия:**

- Поглощающие (на границе расчетной области)

Набор широкополосных антенн, встроенных
в крышу автомобиля (1,5 метра)



■ Сетевые параметры:

- S, Y, Z матрицы, KCB
- Диаграмма Смита
- Экспорт Touchstone SnP Text files

■ Ближнее поле:

- Поверхностные токи
- Объемное/поверхностное распределение электрического и магнитного поля

■ Безопасность:

- Certification SAR
- RF Exposure

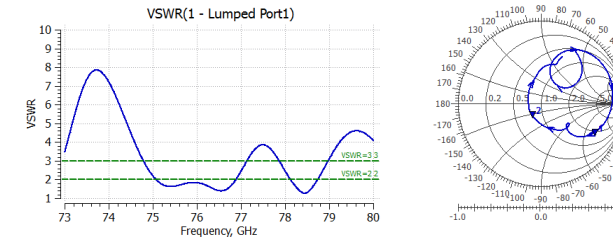
■ Параметры антенн:

- Частотные зависимости (графики) усиления антенны, КПД, полной излучаемой мощности и т.д.
- Envelope Cross-Correlation for MIMO
- Диаграмма излучения с контролем положения луча в реальном времени и инструментами анализа формирования луча для антенных решеток

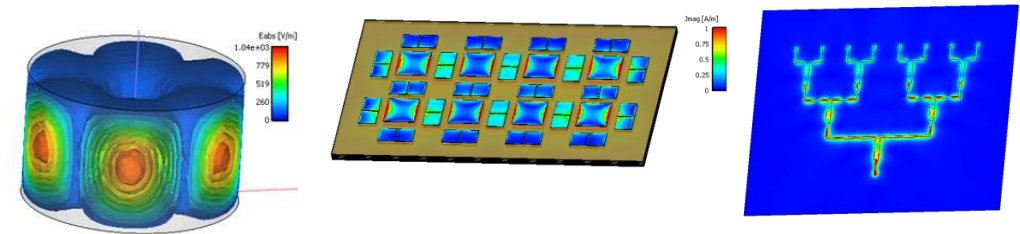
■ Дополнительно:

- Анимация полей и токов
- Графики: Маркеры, настройка шрифтов, линий и т.д.
- Экспорт: Снимки экрана, Графики в текстовые и CSV файлы

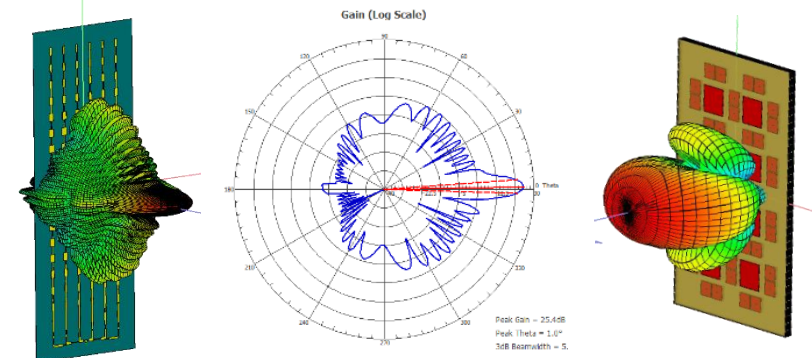
• Графики



• Ближнее поле



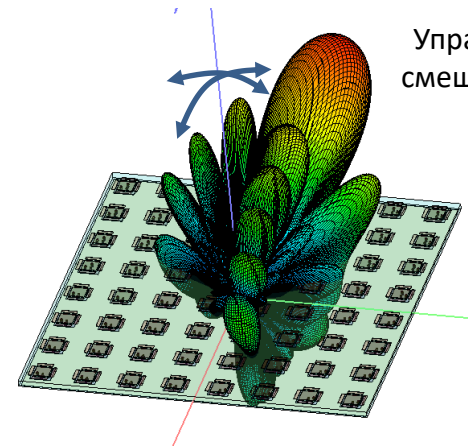
• Дальнее поле



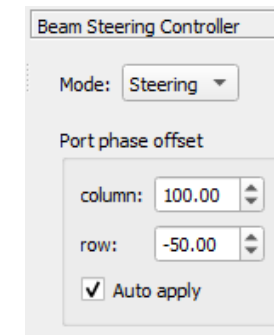
- Помощник создания Антенных решеток позволяет создавать прямоугольные решетки из одного излучателя
- Во время анализа результатов можно задавать распределение фазы и амплитуды для прямоугольных антенных решеток:
 - Анализ любых результатов в ближней и дальней зоне для любой комбинации портов и распределения амплитуд / фаз
- Усовершенствованный анализ диаграммы направленности для прямоугольных антенных решеток:
 - Управления лучом в реальном времени путем изменения смещения фазы для строк и столбцов
 - Генерация многолучевого шаблона для анализа покрытия: генерация лучей по количеству углов с использованием генетической оптимизации
 - Срез диаграммы направленности под любым углом Φ / Θ
 - Суммарная функция распределения (CDF)
 - Суммарный охват для нескольких антенных решеток

Диаграмма направленности антенной решетки 8x8 в миллиметровом диапазоне

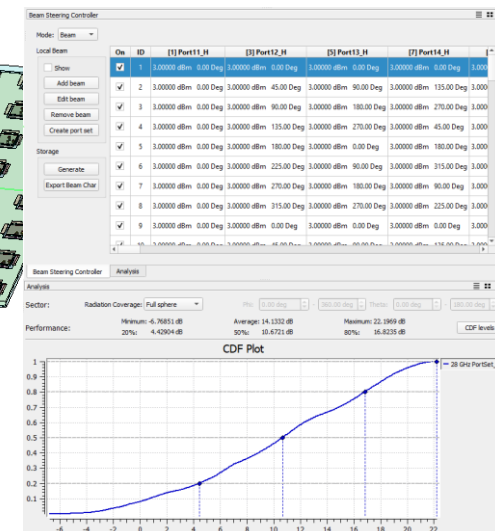
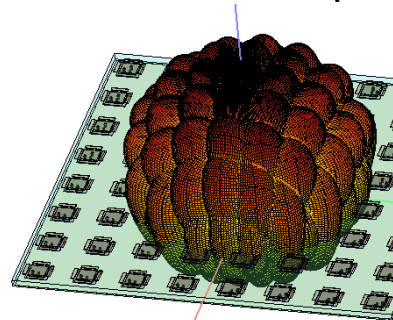
• Режим управления лучом



Управление в реальном времени смещением фазы столбца и строки



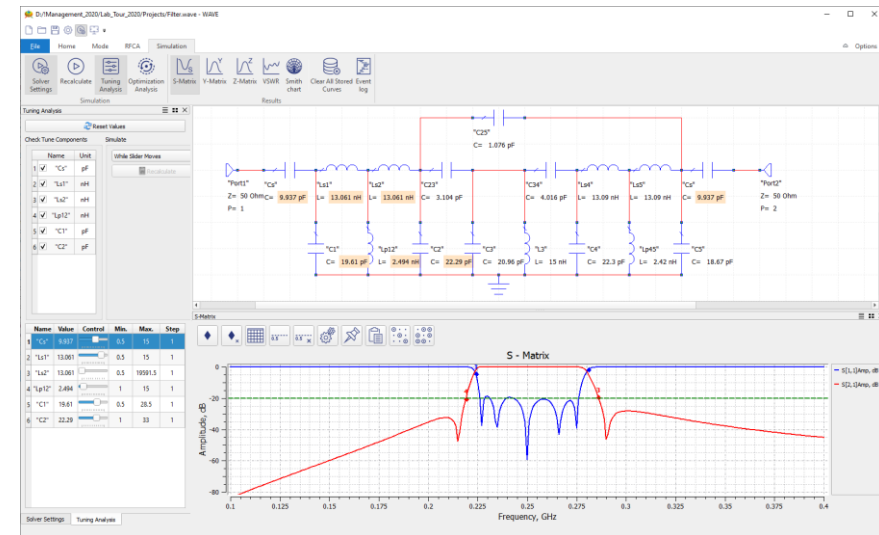
• Режим анализа покрытия (многолучевой)



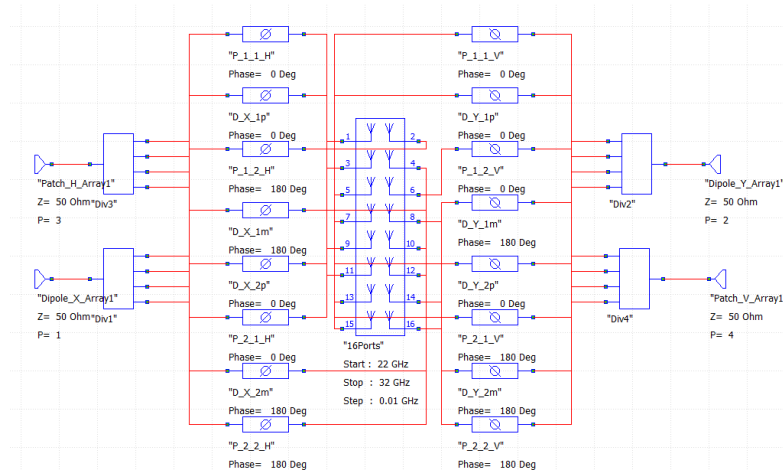
- Автоматическая генерация лучей по углам
- Контроль Амплитуды/Фазы по портам
- Статистический анализ – график CDF

- **Режим для быстрого создания и анализа пассивных цепей:**
 - Согласующие цепи
 - Фильтры
 - Комбинированные характеристики антенных решеток
 - Т.Д.
- **Импорт/Экспорт Touchstone SnP файлов:**
- **Компоненты цепей:**
 - R, L, C
 - Делители мощности
 - Линии задержки
 - Сдвиг фазы
- **Моделирование:**
 - Анализ и настройка в режиме реального времени
 - Автоматическая оптимизация (Генетический алгоритм)
- **Результаты:**
 - S-, Y-, Z- матрица, KCB, Диаграмма Смита

Пользовательский интерфейс



**Импорт N-port SnP файла
(измерение или моделирование)**



- **Квазиоптическое моделирование для численного анализа распространения РЧ-волн на большие расстояния. :**

- Базируется на методе Shooting and Bouncing Rays (геометрическая оптика)
- Поддержка отражений, проникновение через препятствия (стены, окна, перегородки) и дифракции на ребрах

- **Анализ коммуникаций:**

- Расчет многолучевого распространения радиочастотного сигнала между передающей (Tx) и приемной (Rx) антеннами в реальных условиях внутри или вне помещений
- Анализ полной системы, состоящей из передающих и приемных антенн, заданных диаграммами направленности, или только оценка покрытия для передающей антенны (базовой станции)
- Расчетные значения: принимаемая мощность, отношение сигнал-шум и пропускная способность для беспроводных сетей (LTE, Wi-Fi, Bluetooth, 5G NR).

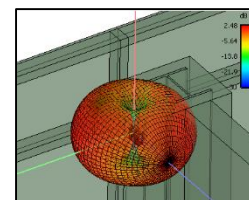
- **Анализ диаграммы направленности:**

- Оценка параметров излучения установленной антенны

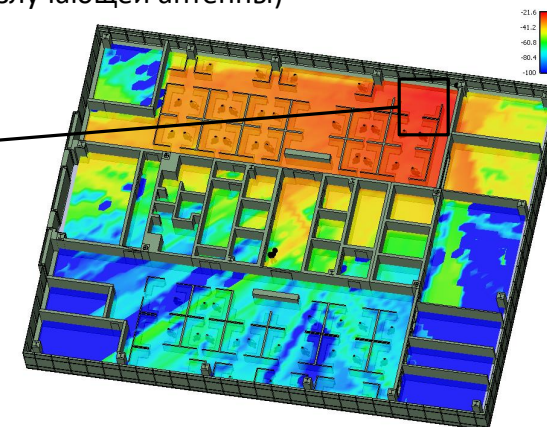
Поддерживается два типа анализа

- **Анализ беспроводных сетей**

- Анализ точка-точка (заданы диаграммы направленности на излучающей и принимающей антенне)
- Анализ покрытия точка-область (задана диаграммы направленности излучающей антенны)

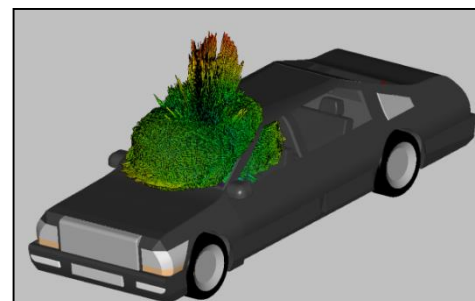


Точка доступа
(2.45 GHz, 23 dBm
Conducted Power)



Пример точка-область: Мощность сигнала Wi-Fi внутри здания

- **Расчет диаграмма направленности от крупномасштабного объекта**



Излучение антенны мобильного телефона расположенного в автомобиле



Излучение антенны в миллиметровом диапазоне внутри здания

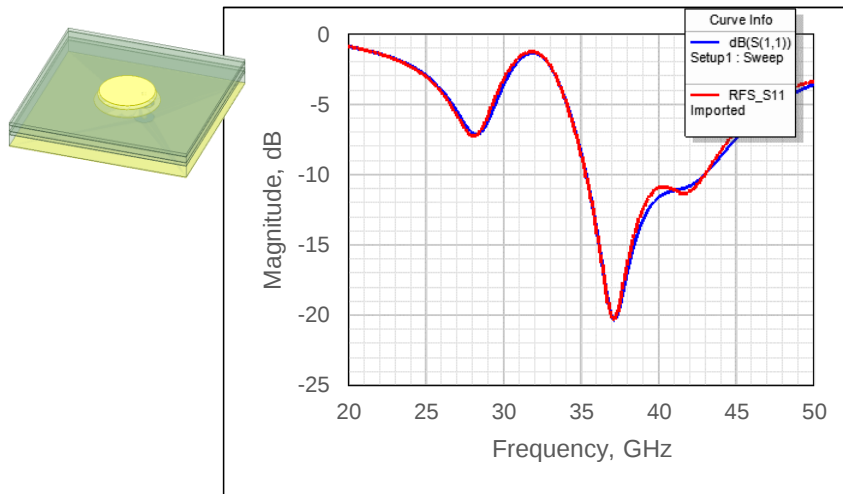
- **GAMMA поддерживает удаленный расчет на высокопроизводительных кластерах (HPC):**
 - Связь по сетевому протоколу (TCP), собственная реализация клиент/сервер
 - Запуск удаленного решателя на кластерах под управление ОС Microsoft Windows и Linux
 - Возможность адаптации под конкретный менеджер задач и тип кластера (по запросу)

- **Методы ускорение расчета:**

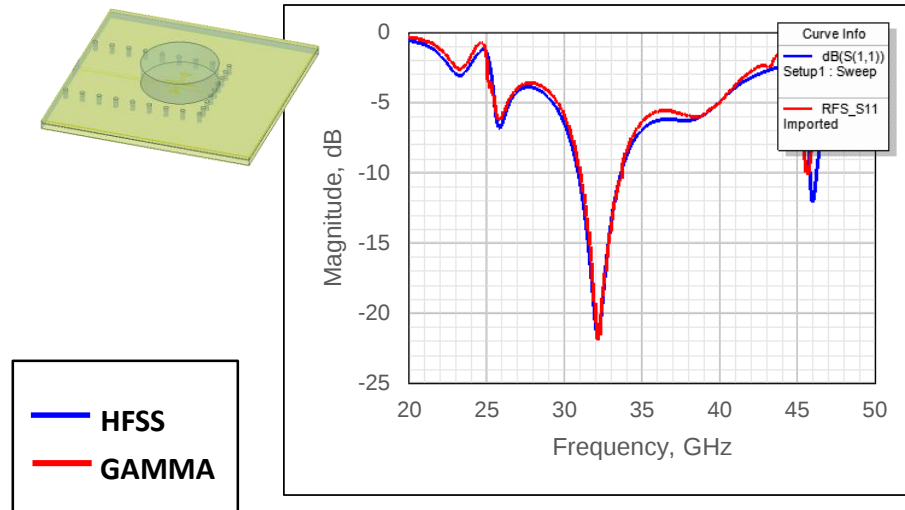
Тип	FEM	FDTD	Трассировка лучей
Удаленный расчет на HPC	Да	Нет (планируется в следующей версии)	Нет
Параллельные вычисления (SMP)	Да	Нет (планируется в следующей версии)	Да
Распределенные вычисления (MPI)	Да	Нет	Нет
Вычисления с применением графического сопроцессора (видеокарты)	Нет	Да	Нет

Сравнение результатов моделирования антенн миллиметрового диапазона: GAMMA и ANSYS HFSS

Circular Patch Antenna

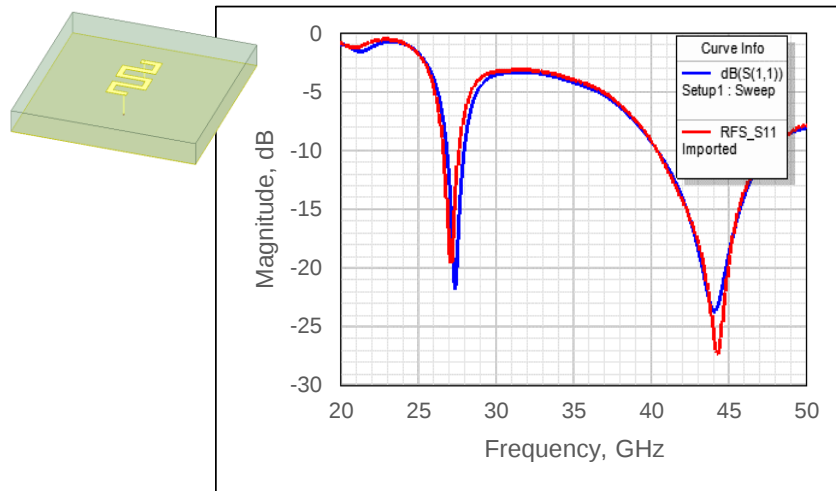


Dielectric Resonator Antenna

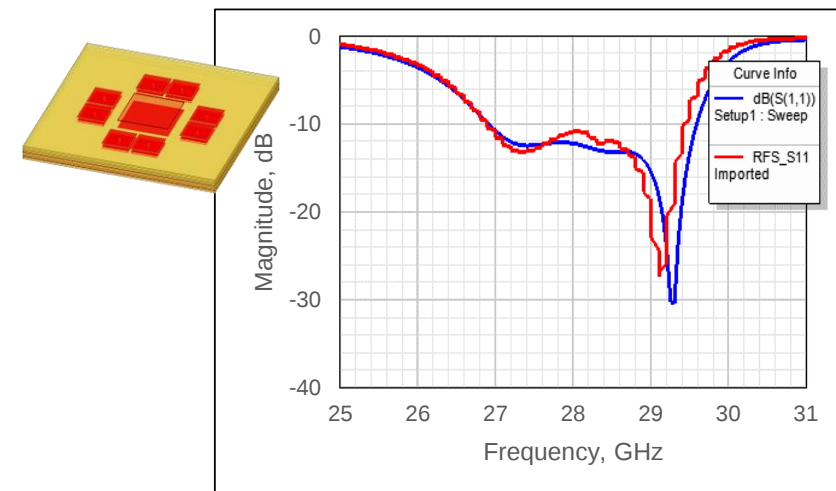


— HFSS
— GAMMA

Meander Antenna

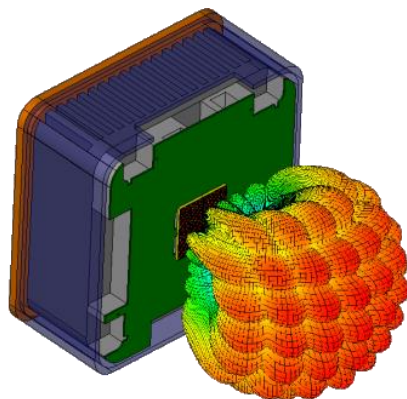


Coupled Patch Antenna

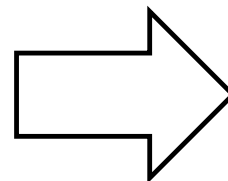


- **Поддерживается полный цикл проектирования систем связи:**
 - Системы связи < 6 ГГц (Wi-Fi, Bluetooth, LTE, 5G NR sub-6 GHz)
 - Системы связи миллиметрового диапазона (5G mm-Wave, 60GHz Wi-Fi)
- **Проектирование и моделирование устройств (пользовательские устройства, точки доступа и базовые станции)**
 - Набор инструментов для электромагнитного моделирования полных моделей сложных устройств, включающих несколько фазированных антенных решеток
- **Моделирование крупномасштабной инфраструктуры методом трассировки лучей**
 - Моделирования распространения сигнала внутри и снаружи помещения с учетом всех физических эффектов
 - Планировка сетей, оценка покрытия

I. Моделирование устройств (FEM/FDTD)



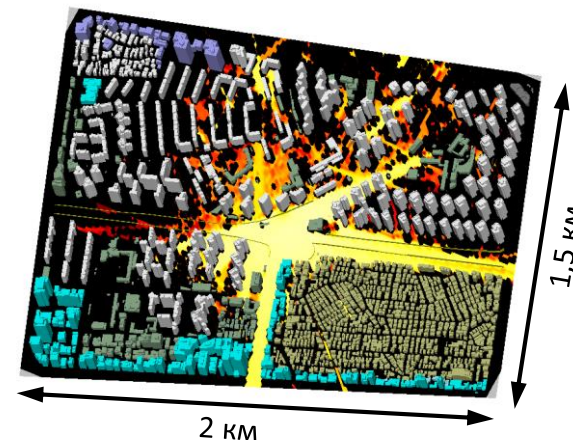
5G Точка доступа
(антенная решетка мм
диапазона)



Импорт
результатов ЭМ
моделирования

II. Моделирование систем связи (трассировка лучей)

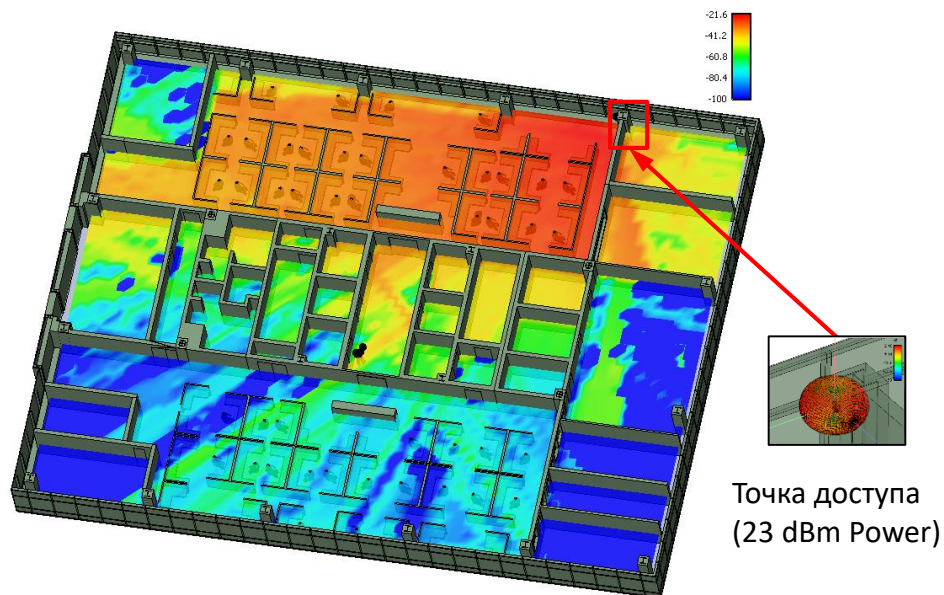
- Импорт параметров антенн из результатов ЭМ моделирования или из базы (диполь и т.п.)
- Загрузка 3-х мерных карт городской инфраструктуры (Shapefiles)



■ Результаты коммуникационного анализа:

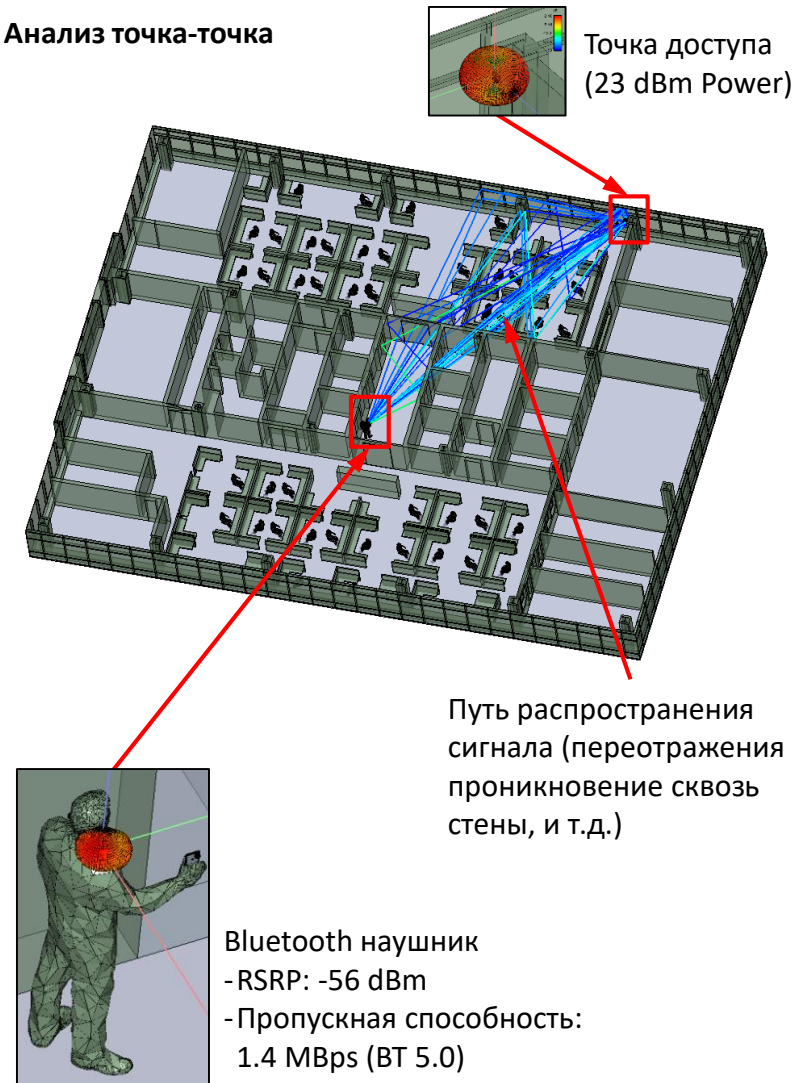
- Мощность принятого пилотного сигнала (RSRP)
- Пропускная способность канала передачи данных (Мбит/сек) для стандартов:
 - Bluetooth 4.0/4.1/4.2/5.0,
 - Wi-Fi IEEE 802.11 n/ac/ax,
 - Wi-Max,
 - LTE,
 - 5G NR.

Покрывание точка-область (распределение RSRP на высоте 1.5 метра)



Bluetooth локальная сеть внутри офисного помещения

Анализ точка-точка

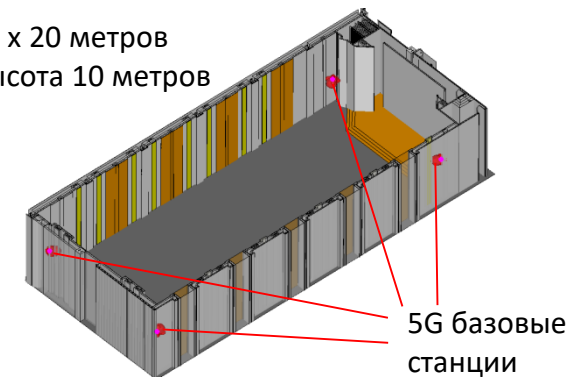


■ Тестирование приватной сети 5G:

- Приватная сеть: 4x 5G базовых станций расположены на стенах
- Промоделировано 4 варианта конфигурации сети:
 - Полное/половинное покрытие помещения
 - 2x Мощность излучаемого сигнала
- Сравнение распределения RSRP на высоте 1.5m над уровнем пола с коммерческими программами iBwave¹⁾ и Ranplan Wireless²⁾
 - Хорошее совпадение для всех вариантов,
 - Разница в пиковых значениях RSRP < 1.5 dBm (2%)

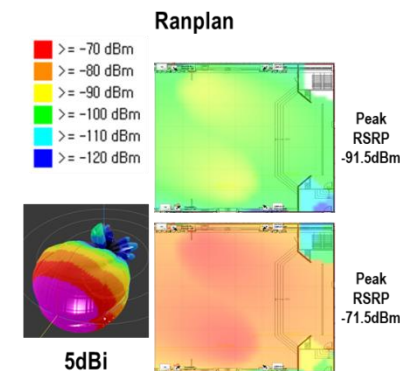
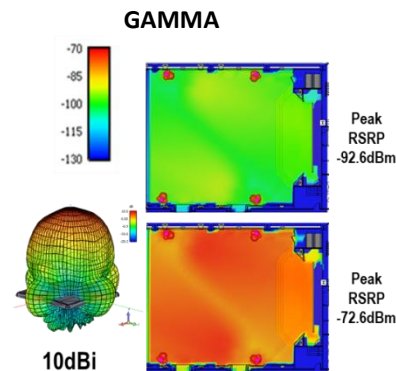
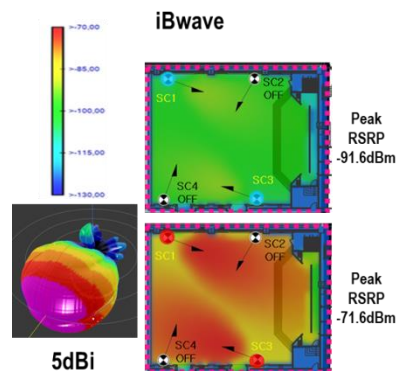
План помещения

- 50 x 20 метров
- Высота 10 метров

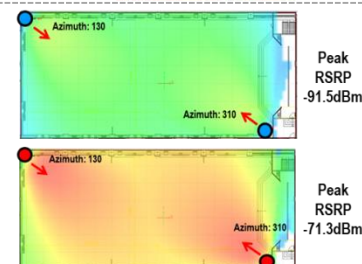
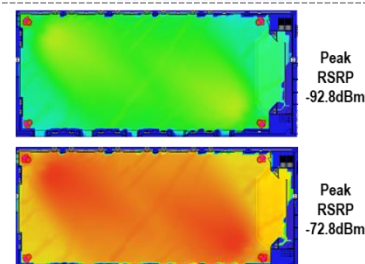
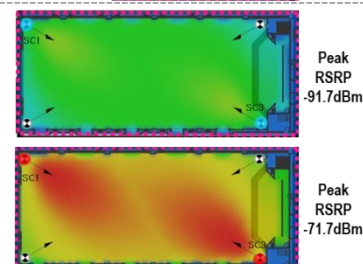


Распределение RSRP

- Половина помещения (разделено перегородкой)
- 2x уровень мощности базовых станций



- Полное помещение
- 2x уровень мощности базовых станций



1) In-building wireless network design & deployment solutions by iBwave <https://ibiwave.com>

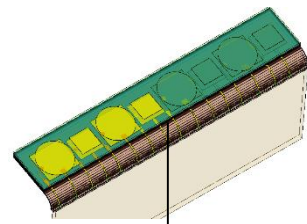
2) In-Building and Outdoor Wireless Network Design | Ranplan Wireless <https://www.ranplanwireless.com/gb/>

Цели

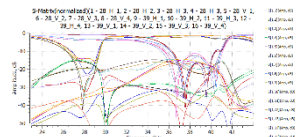
- Разработать mm-Wave антенную решетку для работы в сетях 5-го поколения
- Подготовка к прототипированию и измерениям: спроектировать РЧ линию и делитель мощности для каждой подрешетки

Спецификации:

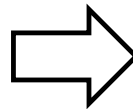
- Многослойная гибкая печатная плата
- 1x4 28GHz/39GHz двух-диапазонная двойной поляризации антенная решетка
- Компактный размер



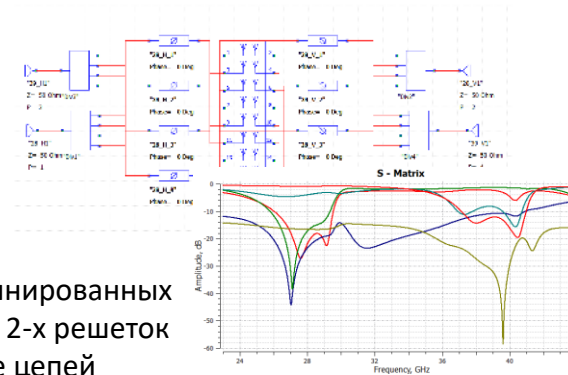
Линия передачи на гибкой печатной плате



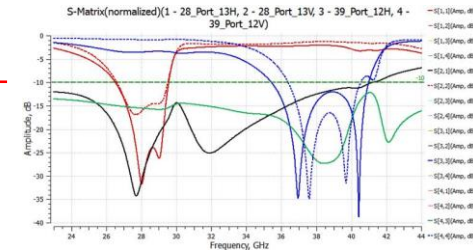
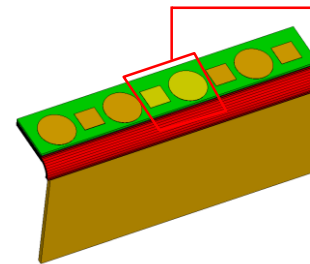
S-параметры по всем элементам



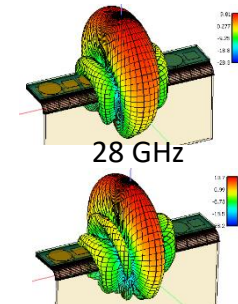
Анализ комбинированных S-параметров 2-х решеток в анализаторе цепей



1. Дизайн и оптимизация излучателей

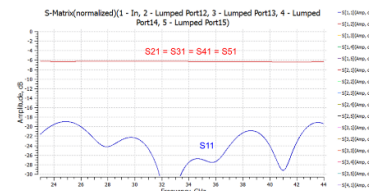
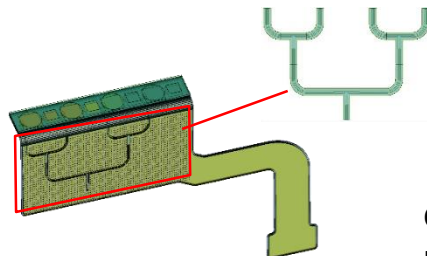


Широкая полоса, изоляция >20 dB между поляризациями и диапазонами



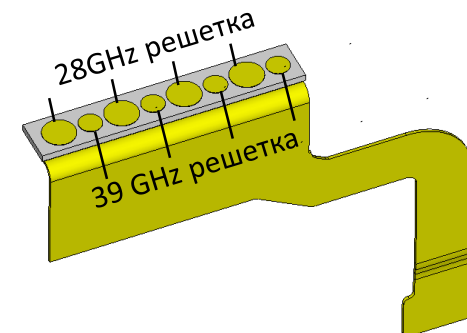
Array Realized Gain

2. Оптимизация решеток по диапазонам



Согласование и изоляция широкополосного делителя

3. Дизайн делителя мощности



4. Итоговый дизайн

*Каждый узел имеет доступ к ssd пространству для проведения вычисления объемом 133 ТБ.

Общие характеристики

Количество узлов/CPU/Ядер/GPU	25/50/*/4
Модель процессора	Intel Xeon Gold / AMD EPYC
Модель GPU	NV TESLA T4 -E3x16 16GB
Оперативная память	14,8 ТБ
Система хранения данных	400 ТБ
Тип вычислительной сети	InfiniBand
Gigabit Ethernet	NV TESLA T4 -E3x16 16GB
Пиковая производительность	позже пришлют
Производительность в LINPACK	позже пришлют
Операционная система	CentOS

4 узла

Центральные процессоры	2xAMD7702
Графические процессоры	Отсутствуют
Оперативная память	2 тб
Энергонезависимая память	300 гб
Сетевой адаптер InfiniBand	2 x Mellanox 100 Гбит/с
Сетевой адаптер Ethernet	Intel 1 Гбит/с

19 узлов

Центральные процессоры	2xAMD7452
Графические процессоры	Отсутствуют
Оперативная память	256 гб
Энергонезависимая память	300 гб
Сетевой адаптер InfiniBand	2 x Mellanox 100 Гбит/с
Сетевой адаптер Ethernet	Intel 1 Гбит/с

2 узла

Количество узлов/CPU/Ядер/GPU	2xIntel XEON 6248R
Графические процессоры	NV TESLA T4 -E3x16 16GB
Оперативная память	1 тб
Энергонезависимая память	300 гб
Сетевой адаптер InfiniBand	2 x Mellanox 100 Гбит/с
Сетевой адаптер Ethernet	Intel 1 Гбит/с

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**