

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ С ПОМОЩЬЮ РАЗНЫХ ЭМ-СИМУЛЯТОРОВ

Анил Кумар Пандей (Agilent EEsof EDA)

Приведен пример моделирования радиолокационной станции (РЛС) с синтезированной апертурой антенны (РСА), в котором использованы две технологии ЭМ-симуляторов для проектирования разных компонентов антенны. Показана эффективность такого подхода по сравнению с традиционным проектированием.

Ключевые слова: радиолокационная станция, антенна с синтезированной апертурой, ЭМ-симулятор, эффективность.

Поскольку процесс создания антенн очень сложен и дорог, проектированию предшествует моделирование с применением полноволновых ЭМ-симуляторов [1, 2]. Такой подход позволяет исследовать характеристики антенн до начала их изготовления. На се-

годняшний день на рынке представлено множество ЭМ-симуляторов, каждый со своими достоинствами и недостатками. На практике при проектировании сложной антенной решетки для РЛС с синтезированной апертурой антенны (РСА) одного ЭМ-симулятора

часто оказывается недостаточно. Значительно повысить эффективность разработки позволяет использование нескольких ЭМ-симуляторов для моделирования различных компонентов проекта.

В аэрокосмической и оборонной областях РСА широко применяются для радиолокационного обзора и картографирования местности. К желательным характеристикам РСА относятся оптимальная форма диаграммы направленности, широкий диапазон частот и высокая мощность. Специфика областей применения РСА требует, чтобы антенны были легкими и занимали мало места в высоту. В силу этого широко используются планарные антенны, но для них существует ряд ограничений. Ограничения по диапазону частот, свойственные обычным микрополосковым антеннам, можно преодолеть с помощью многослойных печатных антенн с электромагнитной связью между слоями. Но более серьезные ограничения связаны с мощностью, передаваемой микрополосковыми патч-антеннами, которые нельзя преодолеть в РСА, где пиковая мощность импульсов обычно достигает нескольких киловатт. В подобных применениях можно использовать гибридную антенну, фидер которой реализуется в виде волновода или квадратной коаксиальной линии (SCL). Последняя обладает массогабаритными преимуществами над волноводным фидером. Для уменьшения высоких уровней входной мощности в фидерной сети используются каскады делителей мощности. Затем эти пониженные уровни мощности подаются на микрополосковую патч-антенну.

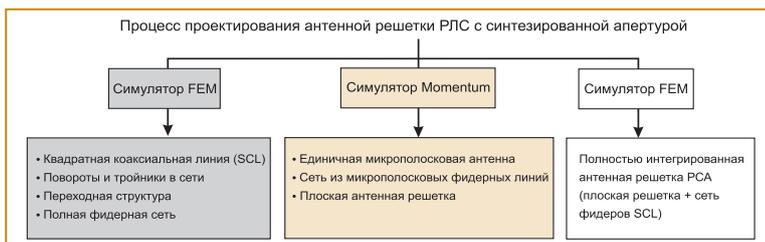


Рис. 1. Процесс проектирования антенны РСА с использованием нескольких ЭМ-симуляторов

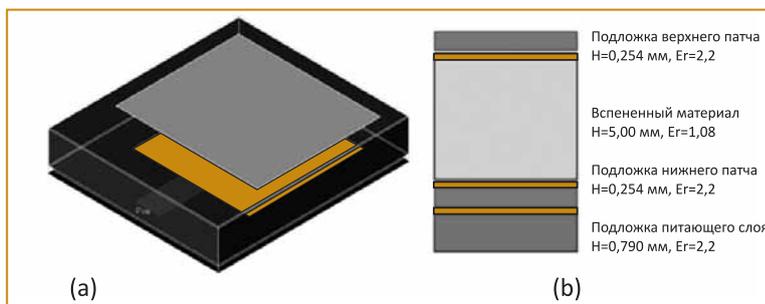


Рис. 2. Покомпонентное изображение патч-антенны: единичная микрополосковая антенна (а); структура слоев подложек антенной решетки (б)

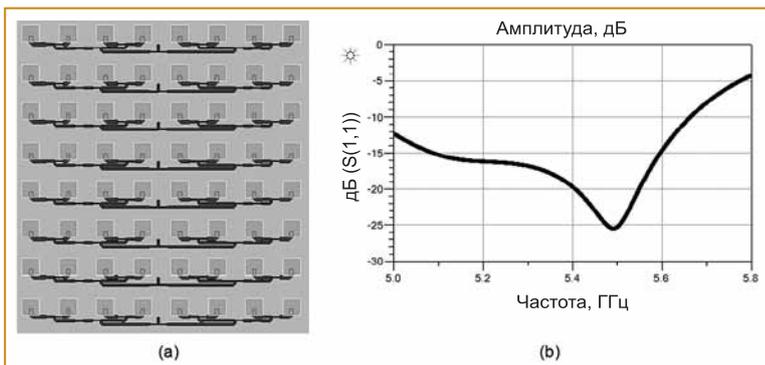


Рис. 3. Конструкция планарной антенной решетки (а), потери на отражение антенны (б)

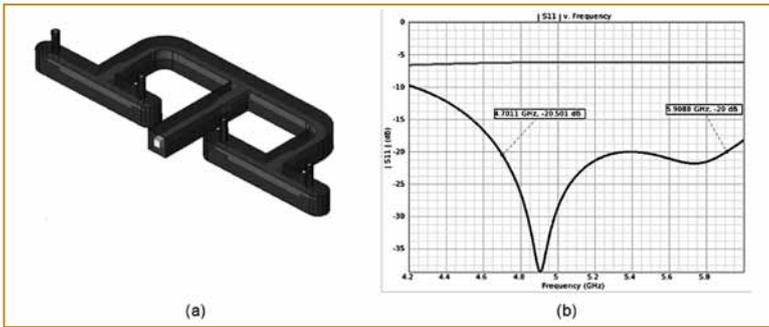


Рис. 4. Сеть фидеров из квадратных коаксиальных линий 1:4 (a), смоделированные s-параметры (b)

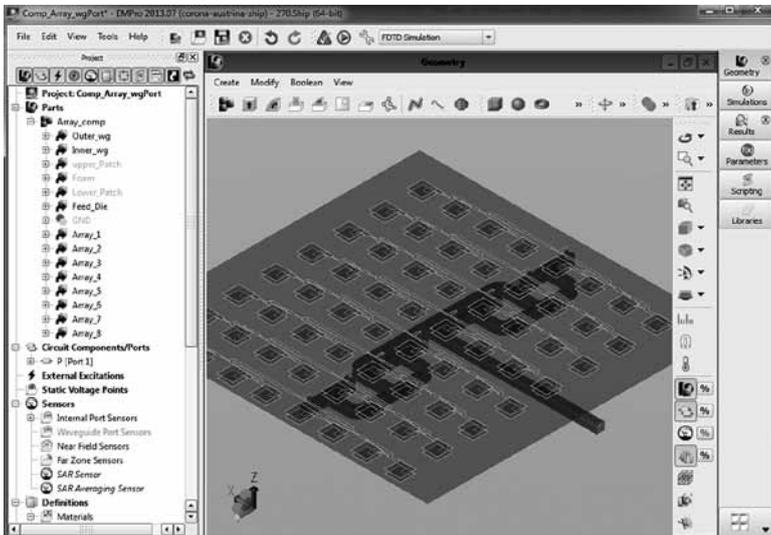


Рис. 5. Интегрированная антенна РСА, смоделированная в САПР EMPro от Agilent

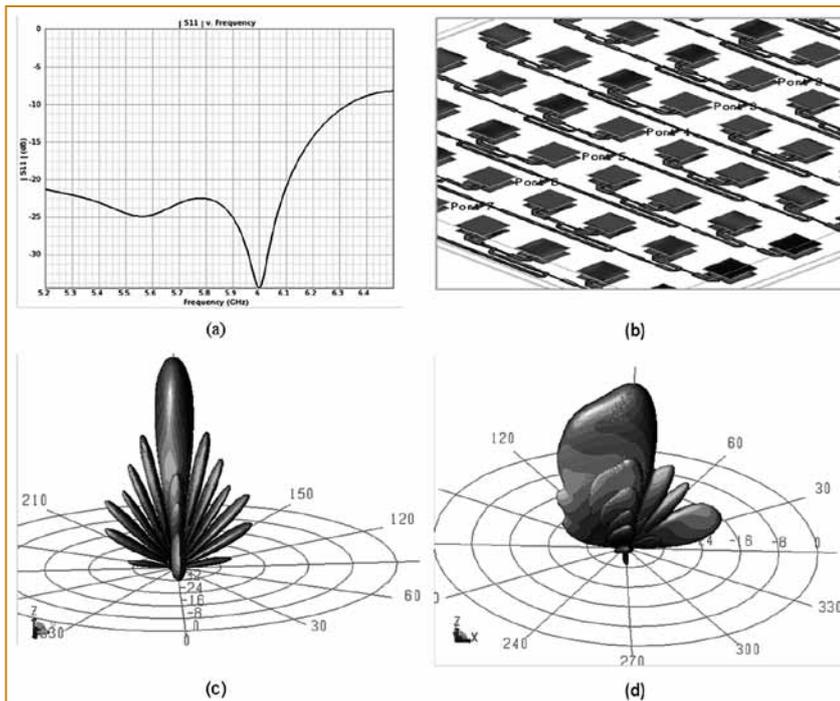


Рис. 6. Результаты симуляции в САПР EMPro: зависимость потерь на отражение от частоты (a); текущее распределение сигнала по излучающим элементам (b); диаграмма направленности в угловой плоскости (c); диаграмма направленности в азимутальной плоскости (d)

Рассмотрим пример (рис. 1), в котором проектирование антенной решетки РСА разделяется на разработку микрополосковой антенной решетки и создание сети фидеров из квадратных коаксиальных линий. Вместе они формируют полностью интегрированную антенную решетку РСА. Для проектирования этой сложной антенной решетки можно использовать два ЭМ-симулятора: планарный на основе метода моментов (МоМ) и трехмерный (3D) на основе метода конечных элементов (FEM). МоМ очень быстрый и потребляет меньше памяти при проектировании планарных структур, в то время как FEM позволяет моделировать 3D структуры произвольной формы.

В примере для создания микрополосковой решетки использован планарный симулятор МоМ из САПР Agilent ADS Momentum. Фидерная сеть из квадратных коаксиальных линий была смоделирована с помощью симулятора FEM из САПР Agilent EMPro.

**Разработка микрополосковой антенной решетки**

Единая многослойная излучающая патч-антенна разработана и оптимизирована с помощью САПР Momentum. Ее характеристики: относительный диапазон частот 12%, потери на отражение 10 дБ, коэффициент усиления 8,7 дБ. Конфигурация антенны показана на рис. 2. Она имеет четыре слоя. Размер верхнего патча — 22,6 x 19,6 мм, нижнего — 18 x 18 мм.

После разработки и оптимизации единичного элемента создается линейная решетка с неравномерным распределением мощности через микрополосковые линии для каждого из восьми антенных элементов с целью формирования заданной диаграммы направленности. Расчеты сложного распределения возбуждения были выполнены с помощью метода малых возмущений при шаге расположения элементов  $0,78 \lambda$ . Затем из восьми оптимизированных линейных решеток была сформирована планарная решетка 8 x 8 мм, (рис. 3) и выполнено моделирование с помощью САПР Momentum.

**Разработка сети фидеров из квадратных коаксиальных линий**

Для фидерной сети было выбрано волновое сопротивление 50 Ом.

Пример конструкции фидерной сети из квадратных коаксиальных линий 1:4 показан на рис. 4 (а). Размер внешнего проводника составляет 9 x 9 мм, внутреннего – 3,5 x 3,5 мм.

Разработка фидерной сети требует индивидуального анализа таких элементов, как тройник, поворот на 90° и структура для перехода от квадратной коаксиальной к микрополосковой линии. Симулятор FEM из состава САПР EMPro был использован для проектирования и оптимизации этих элементов с целью достижения потерь на отражения менее 15 дБ в требуемом диапазоне частот. Смоделированные данные для сети 1:4 показаны на рис. 4 (б).

#### Симуляция интегрированной антенны PCA

Созданная в САПР Agilent EMPro полная модель антенны PCA показана на рис. 5. Конструкция планарной антенны была экспортирована из САПР ADS и интегрирована с фидерными сетями в EMPro. Симуляция интегрированной конструкции выполнена с помощью симулятора FEM из EMPro. Результаты симуляции показаны на рис. 6.

*Анил Кумар Пандей – инженер по верификации маршрутов проектирования в Agilent EESof EDA.  
Контактный телефон 8 (800) 500-92-86.  
E-mail: tmo\_russia@agilent.com*

#### Заключение

Антенна SAR была полностью смоделирована с помощью симуляторов МоМ и FEM. Решетка излучающих элементов разработана с помощью симулятора МоМ, который отличается скоростью и эффективностью моделирования планарных структур. Для 3D проектирования фидерной сети из квадратных коаксиальных линий, а также для верификации окончательного проекта были использованы гибкие возможности симулятора FEM. Как можно видеть из данного примера, применение наиболее эффективной технологии ЭМ моделирования для каждого компонента антенной системы значительно повышает эффективность проектирования по сравнению с традиционными подходами.

#### Список литературы

1. *Анил Кумар Пандей*. Применение гибридного электромагнитного моделирования для анализа целостности сигнала высокоскоростных внутрисхемных соединений // Автоматизация в промышленности. 2014. №2.
2. *Питерсен М.* Проектирование высокоэффективных СВЧ антенн в САПР EMPro // Автоматизация в промышленности. 2013. №9.

## РЕШЕНИЯ ВЫСОКОЙ ДОСТУПНОСТИ С НУЛЕВЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРОСТОЯ

И.Н. Афонин (Компания ПРОСОФТ)

*Представлены аппаратно-программные решения, обеспечивающие системам Advantix Intellect, выпускаемые ЗАО НПФ "ДОПОМАНТ", высокую отказоустойчивость и доступность.*

*Ключевые слова: отказоустойчивость, высокая доступность, интенсивность отказов, простои, резервирование, виртуализация.*

#### Введение

Высокая доступность информационной системы управления является ключевым требованием обеспечения непрерывности функционирования современного производства. Необходимый коэффициент готовности системы зависит от специфики производственных процессов и определяется, прежде всего, максимально допустимым временем простоя и размерами нанесенного ущерба. Особого внимания требуют критически важные системы класса SCADA и MES, не допускающие даже минимального времени простоя, потери данных и транзакций, сбой в работе которых влияет на безопасность и может привести к невосполнимым потерям.

#### Обеспечение высокой доступности

Повысить отказоустойчивость системы можно, прежде всего, использованием высоконадежных компонентов, изготовленных из высококачественных материалов с использованием высокотехнологичных производственных процессов с непрерывным контролем качества и отбраковкой изделий. Это требует

значительных затрат на их производство. И на определенном этапе стоимость таких компонент становится несоизмеримой с достигаемым результатом. Повышение надежности таким способом становится нецелесообразным.

Практически единственным и широко используемым методом кардинального повышения надежности является резервирование элементов системы. Для электронных систем в течение полезного срока эксплуатации характерно постоянство величины интенсивности отказов  $\lambda$ . Интенсивность отказов системы, состоящей из нескольких компонентов, определяется суммой интенсивности каждого компонента.

Таким образом, если существует компонент, интенсивность отказа которого будет значительно больше, чем у других, то именно он и определит интенсивность отказов всей системы. Такой подход является обоснованием принципа резервирования так называемого слабого звена. К таким звеньям обычно относятся компоненты с повышенным тепловыделением и имеющие в своем конструктиве высокоскоростные