

## **Моделирование сканирующей гибридной зеркальной антенны с малым шагом перемещения луча**

*Рассмотрена симметричная параболическая сканирующая зеркальная антенна S-диапазона с облучателем в виде решетки H-секториальных рупорных антенн, в состав диаграммо-образующей схемы которого входят СВЧ переключатели на основе PIN-диодов. Основное внимание уделено численному исследованию радиотехнических характеристик облучателя - диаграмм направленности и коэффициента отражения. Определены диаграммы направленности вторичного поля излучения.*

**Ключевые слова:** гибридная зеркальная антенна, антенная решетка, рупорная антенна, облучатель, фазовый центр

Для однозеркальной антенной системы (АС) существуют два принципиальных варианта обеспечения режима сканирования – механический и электрический. Второй вариант подразумевает использование облучающей зеркало антенны с изменяемым амплитудно-фазовым распределением в ее раскрыве и зачастую реализуется в виде фазированной антенной решетки. В этом случае саму АС принято называть гибридной зеркальной антенной (ГЗА).

В работе рассмотрен вариант реализации облучателя симметричной параболической ГЗА S-диапазона в виде решетки H-секториальных рупорных антенн, позволяющей осуществлять однокоординатное сканирование с малым шагом отклонения луча. Описан принцип построения облучающей системы. Основное внимание уделено расчету и оптимизации характеристик излучения модели рупорной решетки. Приведены также результаты расчета ДН всей АС.

Схема построения рассматриваемой конструкции рупорного облучателя представлена на рис. 1. Сама решетка H-секториальных рупорных антенн включает в себя в общем случае  $N \cdot M$  элементов. Непосредственно излучать могут только  $N$  соседних рупоров, которые возбуждаются синфазно и образуют таким образом излучающий кластер. За счет перемещения этого излучающего кластера вдоль всей решетки удается осуществлять однокоординатное управление диаграммой направленности (ДН) зеркальной антенной системы (обеспечить отклонение направления главного лепестка ДН от оси системы). При этом шаг изменения положения (сдвига) кластера равен ширине раскрыва одного рупора, величина которой относительно мала и выбирается исходя из требования на шаг отклонения ДН АС.



Рис. 1

Диаграммо-образующая схема (ДОС) антенной решетки включает в себя делитель мощности на  $N$ -каналов,  $N$   $M$ -канальных СВЧ переключателей мощности, выходы которых подключаются ко входам антенных элементов решетки в определенном порядке, образуя таким образом матрицу подключений. При этом числа  $N$  и  $M$  выбираются исходя из требуемой ширины ДН облучателя в плоскости вектора  $E$  и заданной ширины сектора сканирования. СВЧ переключатели, входящие в состав ДОС, строятся на основе PIN-диодов.

Для совмещения положения фазовых центров в плоскостях векторов  $E$  и  $H$  кластеров в конструкции облучателя производится срез широких стенок рупоров (см. рис. 2), что позволяет улучшить сферичность фазовой характеристики поля излучения. Так как подобная антенна не имеет фазового центра (ФЦ) в строгом понимании этого определения, то здесь и далее мы будем говорить о частичных фазовых центрах [1], относительно которых фазовая характеристика близка к постоянной (с учетом весовой функции в виде амплитудной ДН) в пределах углов облучения зеркала, в двух главных плоскостях.

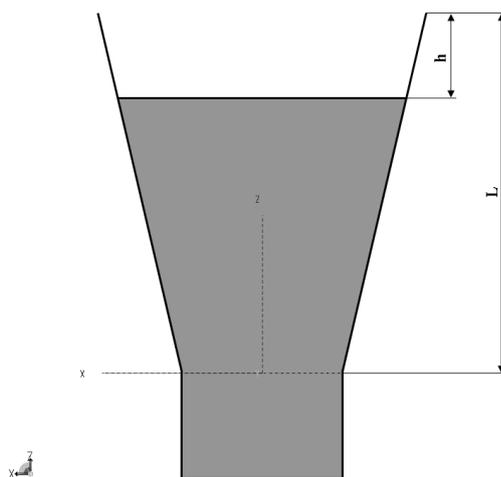


Рис. 2

Приведем результаты численного исследования облучателя рассмотренной конструкции, спроектированного для работы в составе АС с симметричной параболической зеркальной антенной диаметром раскрыва  $D$  около  $70 \cdot \lambda$  ( $\lambda$  – длина волны) и отношением фокусного расстояния  $F$  к диаметру  $D$  около 0,6.

Зададимся для примера числом  $N$  рупоров в активном кластере, равном 8. Моделирование соответствующей решетки  $H$ -секториальных рупоров проводилось посредством метода моментов на уровне одного кластера. На рис. 3 изображена модель анализируемой структуры антенны, представляющая собой кластер из 8 рупоров, возбуждаемых равноамплитудно и синфазно. Элементы решетки возбуждались с помощью волноводных портов.

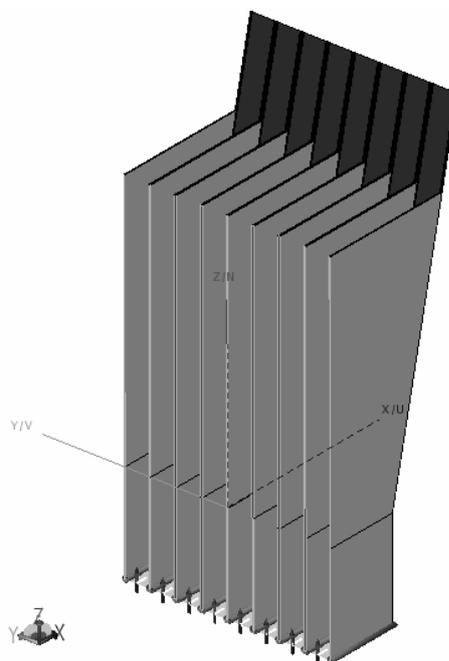


Рис. 3

Размеры рупорной части и ширина узкой стенки волновода были подобраны из условия обеспечения максимальной величины коэффициента использования поверхности зеркала при отсутствии среза широкой стенки рупоров, т.е. для случая  $h=0$ . Задачей дальнейшей оптимизации было исследовать влияние глубины среза  $h$  на положение ФЦ в обеих плоскостях и определить таким образом окончательную геометрию облучателя, позволяющую совместить оба ФЦ.

На рис. 4 отображены рассчитанные нормированные амплитудные кополяризационные ДН оптимизированного кластера в полярной системе координат в плоскостях векторов  $E$  и  $H$ , где для сравнения приведены также и соответствующие ДН одного уединенного рупора из состава кластера. На этом же рисунке отображена ДН кроссполяризационной составляющей поля излучения кластера в плоскости  $\varphi = 45^\circ$  ( $D$ -плоскости). Помимо очевидного сужения главного лепестка ДН в  $E$ -плоскости при переходе от одного уединенного рупора к 8-ми элементной решетке обращает на себя внимание видоизменение формы ДН в  $H$ -плоскости, которое нельзя предсказать при использовании множителя комбинирования для расчета поля излучения решетки по известной ДН одного уединенного элемента. Рассчитанный коэффициент направленного действия кластера равен 12,9 дБ. Полезная и паразитная составляющие поляризации определялись в соответствии с так называемым третьим определением Людвиг [2].

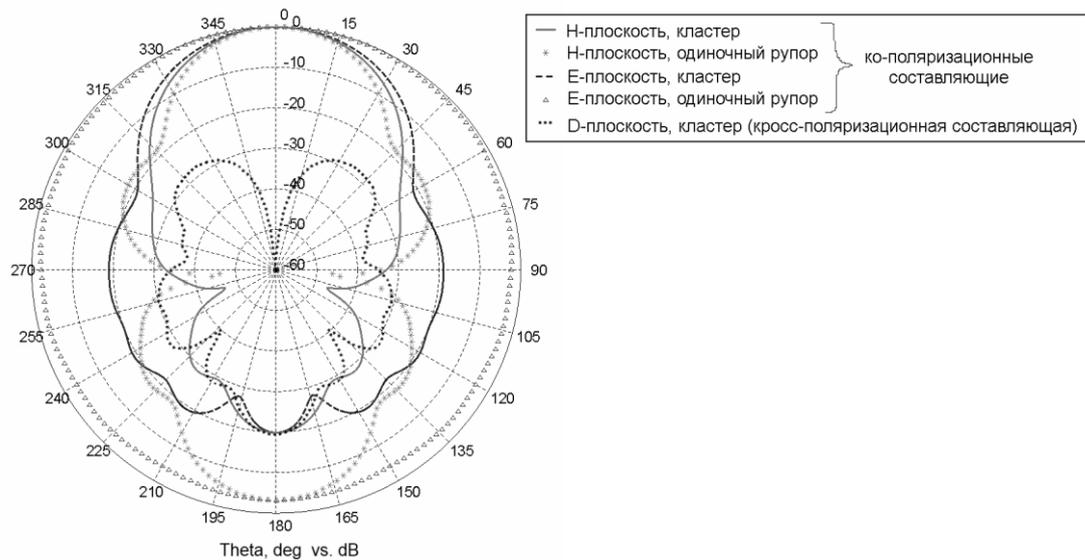


Рис. 4

Остановимся на вопросе определения качества согласования кластера. В рассчитанной матрице  $S$ -параметров оптимизированной антенной решетки обращают на себя внимание высокие уровни модулей коэффициентов отражения волноводных портов  $|S_{kk}| \approx 0,94 \div 0,96$ ,  $k = 1, 2, \dots, 8$ . Это связано с тем, что каждый рупор имеет достаточно маленькую ширину узкой стенки волновода  $b$  (по сравнению с длиной волны), а в сечении такого волновода с волной  $H_{10}$  велико отражение. Увеличение ширины этой узкой стенки должно приводить к существенному падению модуля коэффициента отражения [3].

В сечении волноводов весь кластер – совокупность 8-ми прямоугольных волноводов, в которых распространяется волна  $H_{10}$ , можно рассматривать как один непрерывный волновод с волной  $H_{10}$ , ширина которого в Е-плоскости равна примерно  $8 \cdot b$ . Вследствие этого на входе делителя мощности, где (в режиме приема) синфазно суммируются поля ото всех антенных элементов кластера, следует ожидать существенного снижения уровня отраженной волны по сравнению с  $|S_{kk}|$ . Элементы вектора-столбца  $S$ -параметров  $S_i$  в сечениях входов элементов кластера (волноводных портов) для случая одновременного синфазного возбуждения всех 8-ми рупоров могут быть найдены на основе соотношений

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^8 S_{ij}}{\sqrt{8}}, \quad i = 1, 2 \dots 8, \quad (2)$$

где  $S_{ij}$  – элементы исходной  $S$ -матрицы размера  $8 \times 8$ , а множитель  $8^{-1/2}$  введен для нормировки всей мощности на единицу. Тогда коэффициент отражения  $S_d$  на входе делителя в приближении равноканального деления мощности и отсутствия потерь в ДОС определяется выражением

$$S_d = \sum_{i=1}^8 S_i. \quad (3)$$

На основании выражений (2), (3) и рассчитанной  $S$ -матрицы кластера мы получили модуль  $|S_d| \approx 0,14$ , что соответствует коэффициенту стоячей волны около 1,3.

Расчет вторичного поля излучения всей антенной системы был проведен методом физической оптики при задании самого облучателя – кластера в виде точечного источника поля, помещенного в фокус зеркала. На рис. 5 представлены ДН вторичного поля излучения антенной системы, рассчитанные для четырех положений кластера в решетке: в центре решетки (центральный луч), со смещением offset центра кластера в фокальной плоскости из фокуса на  $d$ ,  $8 \cdot d$  и  $16 \cdot d$ .

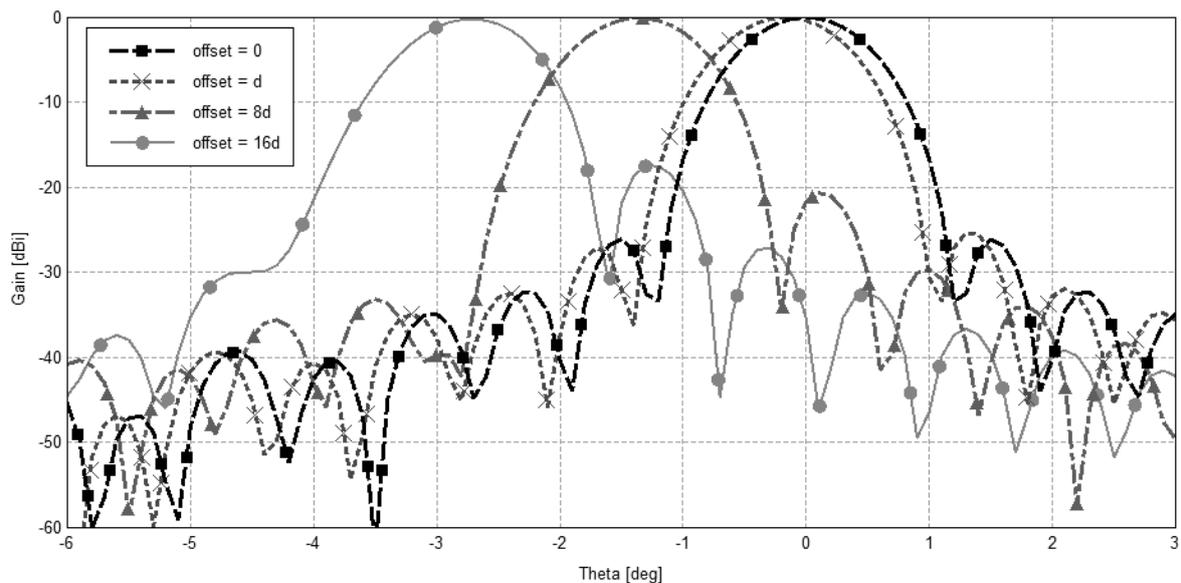


Рис. 5

Максимальное снижение усиления, обусловленное выносом кластера (его ФЦ) из фокуса, составляет менее 0,2 дБ. Однако за счет возникновения несимметричных aberrаций типа комы при этом рост уровня бокового излучения относительно центрального луча составляет около 10 дБ.

Результаты проведенного моделирования использованы при создании реальной конструкции ГЗА S-диапазона.

#### Библиографический список

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. Учебник для радиотехнических специальностей вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975.
2. Ludwig A.C. The Definition of Cross Polarization // IEEE Transaction on Antennas and Propagation. 1973. V. 21. P. 116-119.
3. Вайнштейн Л.А. Теория дифракции и метод факторизации. – М.: Советское радио, 1966.