

## **Микрополосковые излучатели для разреженных антенных решеток**

*Описывается нескольких новых вариантов малоэлементных антенных решеток микрополосковых излучателей последовательным возбуждением, предназначенных для применения в качестве излучающих элементов разреженных антенных решеток. Приводятся результаты их численного моделирования и эксперимента.*

**Ключевые слова:** микрополосковые излучатели, решетки с последовательным возбуждением, разреженные решетки

Микрополосковые антенные решетки отличаются простотой конструкции, технологии изготовления и сравнительно невысокой стоимостью. Используются как сканирующие и как синфазные антенные решетки. Микрополосковые излучатели в составе решетки возбуждаются с помощью системы распределения мощности, выполняемые на микрополосковых линиях. Используются параллельные и последовательные системы распределения мощности [1,2,3] и др. Параллельные системы и возбуждаемые ими излучатели могут быть расположены на внешней стороне одной подложки или на разных подложках. В параллельных системах проще всего реализуется двоично-этажная схема, обеспечивающая равномерное возбуждение излучателей по фазе и амплитуде. При таком амплитудном распределении максимальные боковые лепестки составляют -13 дБ, что в ряде случаев является недопустимым. Последовательная система распределения мощности обеспечивает спадающее к краям решетки амплитудное распределение, при котором уровень боковых лепестков меньше -13 дБ. Кроме того, последовательная система проще по конструкции и располагается на той же стороне подложки, что и излучатели. Это упрощает конструкцию решетки. Линейные и плоские малоэлементные антенные решетки с последовательным возбуждением могут использоваться в качестве излучателей антенных решеток с увеличенным межэлементным расстоянием (разреженных антенных решеток) – синфазных и сканирующих, в том числе цифровых антенных решеток.

Ниже описывается несколько вариантов микрополосковых антенных решеток с последовательным возбуждением, отработанных по критерию согласования и диаграмме направленности (ДН). Для моделирования использованы коммерческие программы электродинамического моделирования CST Microwave Studio, Microwave Office (MWO). Некоторые результаты численного моделирования сравниваются с результатами эксперимента.

Три из разработанных и исследованных вариантов решеток показаны на рис.1-4. Решетки, показанные на рис.1 и рис.5, однослойные. Варианты, показанные на рис.2,3, имеют двухслойную подложку. На нижнем слое подложки создана металлизированная структура, показанная на рис.2, 3, Верхний слой диэлектрики без металлизации –

защитный. В вариантах рис.1, 3, 4 плоскость поляризации перпендикулярна питающей линии, в вариантах рис.2 – параллельна.

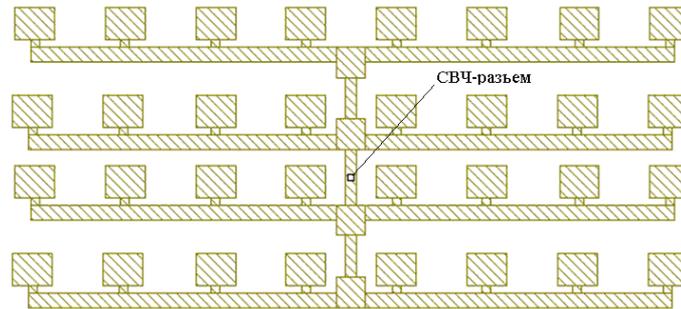
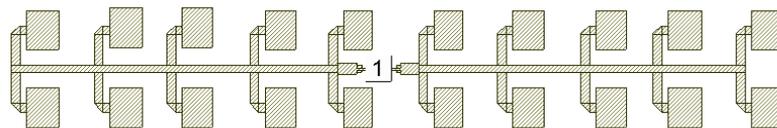
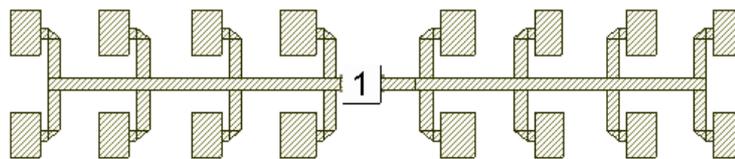


Рисунок 1



(а)



(б)

Рисунок 2

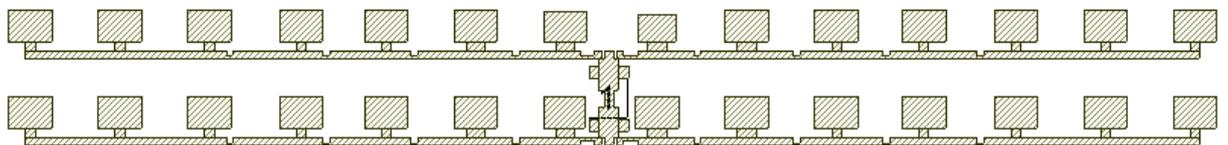


Рисунок 3

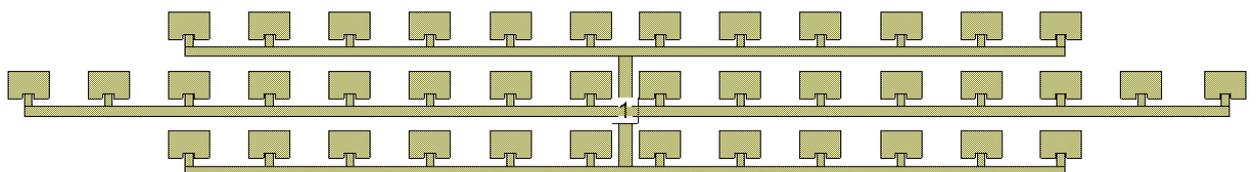


Рисунок 4

Решетки, показанные на рис.1-4, согласуются в широком диапазоне частот, но по сохранению параметров ДН полоса частот меньше. На рис.5, для примера, показана зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) от частоты для варианта рис.1. Параметры подложки: толщина  $H=2$ , диэлектрическая проницаемость  $\epsilon=2,8$ . На рис.6 показана ненормированная ДН на частоте 9,5 ГГц в горизонтальной плоскости по основной поляризации (сплошной линией) и по кроссполяризации (штриховой линией). Такая форма ДН сохраняется в диапазоне частот 9,1...9,6 ГГц. За пределами этого диапазона быстро растут боковые лепестки за счет расфазировки крайних излучателей в строках.

С увеличением числа излучателей в строках и числа строк уровень возбуждения крайних излучателей в строках и крайних строк уменьшается. В результате уменьшается уровень боковых лепестков. Ширина главного лепестка ДН также сужается, но не пропорционально отношению линейного размера к длине волны, а медленнее. На рис.7 и 8 показана зависимость ширины главного лепестка и уровень максимального бокового лепестка ДН в вертикальной плоскости (в Е-плоскости) от числа строк в решетке  $M_y$ .

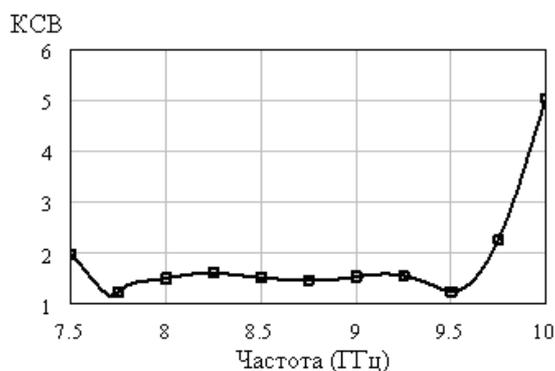


Рисунок 5

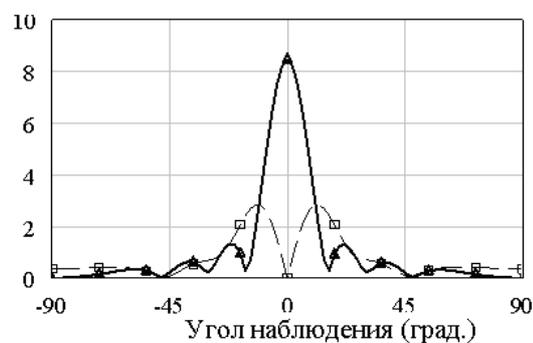


Рисунок 6

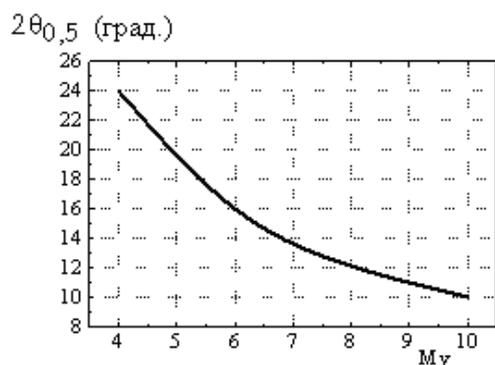


Рисунок 7

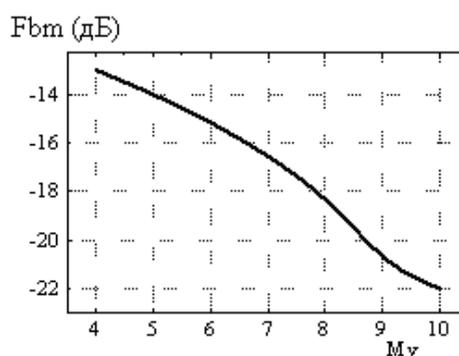


Рисунок 8

В линейных решетках, показанных на рис.2а и 2б разные способы расположения излучателей в левой и правой половинах. Для синфазного возбуждения обеих половин в варианте рис.2б точка возбуждения смещена от центра на четверть длины волны в питающей линии. Диапазонные свойства вариантов 2а и 2б примерно одинаковы, но в варианте рис.2б уровень поля по кроссполяризации меньше (особенно в Н-плоскости), но больше боковые лепестки. Для сравнения на рис.9 показаны ДН в Е-плоскости этих двух вариантов по основной поляризации (толстая линия) и по кросс поляризации (тонкая линия) на частоте 9,2 ГГц. Расчет в программе MWO сделан для материала подложки: нижний слой с металлизированной структурой  $H=1,524$  мм,  $\epsilon=3,38$ ; защитный верхний слой  $H=2$  мм,  $\epsilon=2,8$ . Полоса согласования по критерию  $КСВ < 2$  вариантов, показанных на рис.2, составляет примерно 10-12%. На рис.10 показаны зависимости КСВ от частоты вариантов «а» и «б». По критерию сохранения параметров ДН полоса частот меньше 5-7%.

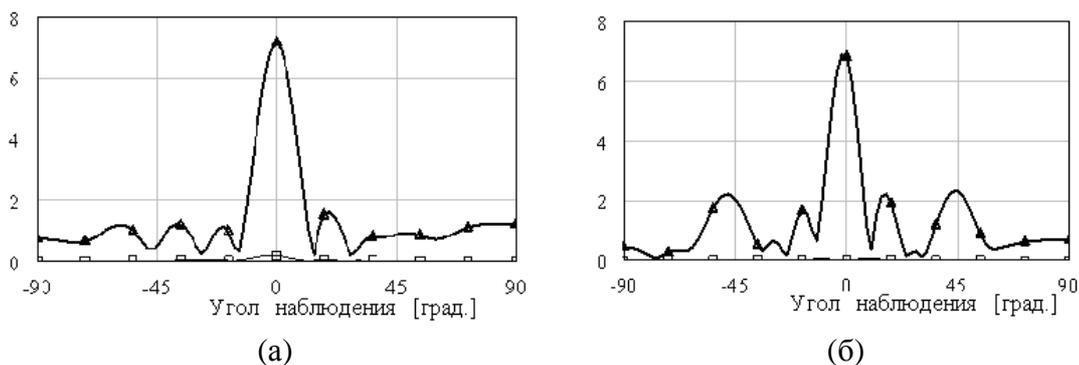


Рисунок 9

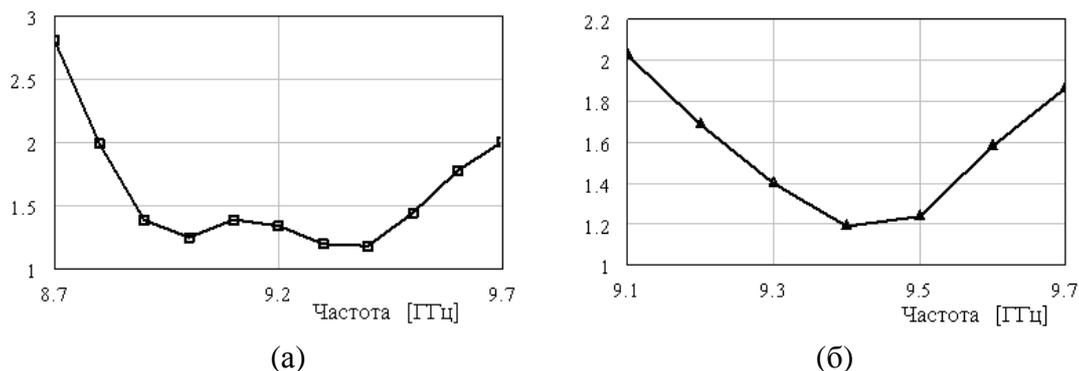


Рисунок 10

Рисунок 11 иллюстрирует диапазонные свойства по критерию согласования варианта, показанного на рис.3. На рис.12 представлена ДН в плоскости Н по основной поляризации (толстая линия) и по кроссполяризации (тонкая линия) на средней частоте диапазона 9,1-9,5 ГГц, в котором максимальный боковой лепесток  $F_{bm} < -13$  дБ. На средней частоте  $F_{bm} = -15$  дБ. Из сравнения рис.6 и рис.12 следует, что антенна (рис.4) характерна пониженным уровнем поля по кроссполяризации (не более -17 дБ в Е и Н-плоскостях в диапазоне частот 9,1-9,5 ГГц). Как видно, диапазонные свойства по критерию согласования значительно лучше, чем по критерию сохранения параметров ДН.

В решетке, показанной на рис.4 число излучателей в строке уменьшается с удалением строки от центра решетки. Это сделано для того, чтобы уменьшить уровень боковых лепестков в плоскостях Н и Е. Диаграмма направленности такой решетки на средней частоте 9,5 ГГц показана на рис.13 - в плоскости Н. На рис.14 показана ДН в плоскости Н решетки, в которой число излучателей в строках одинаково. Материал подложки: толщина  $H=1,5$  пронцаемость 2,5. На рис.13 уровень максимального бокового лепестка на 3 дБ меньше. Степень уменьшения боковых лепестков тем больше, чем больше число строк в решетке, в которых число излучателей в строке уменьшается с удалением от центра решетки. Этот эффект отражает известную закономерность влияния формы раскрытия апертурной антенны на уровень боковых лепестков. Известно, например, что в круглом раскрытии при равномерном возбуждении апертуры максимальный боковой лепесток на 4 дБ меньше, чем в квадратном при одних и тех же габаритах [4].

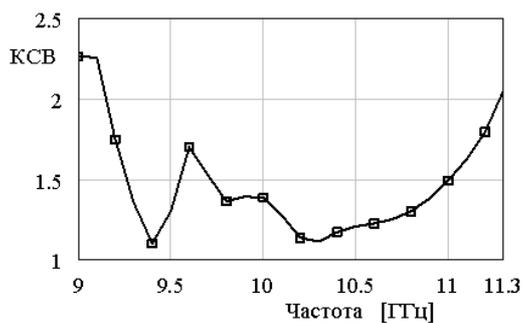


Рисунок 11

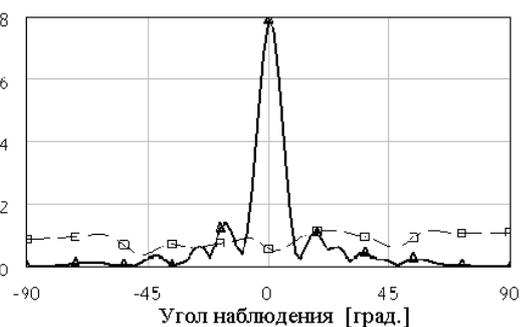


Рисунок 12

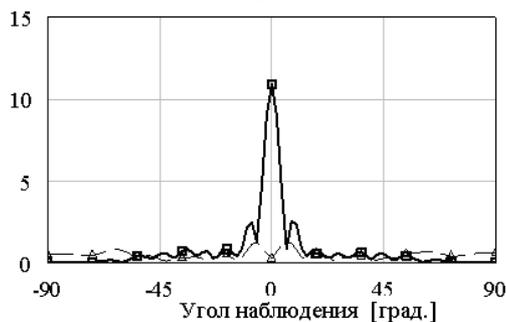


Рисунок 13

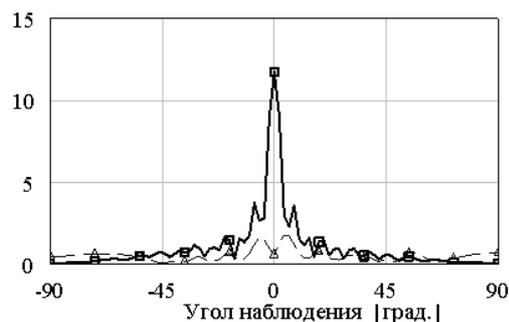


Рисунок 14

Численное моделирование рассматриваемой микрополосковой решетки с последовательным возбуждением показывает, что степень уменьшения УБЛ может быть заметно больше 4 дБ.

В докладе приводятся более подробные сведения о размерах элементов описанных выше решеток, результаты их моделирования в программе CST Microwave Studio, результаты эксперимента. Более подробно описываются полученные закономерности в зависимости электрических характеристик решеток от размеров их элементов и частоты.

#### Библиографический список

1. Handbook of Microstrip Antennas /Edited by J R James & P s Hall. Published by: Peter Peregrinus Ltd., – London, United Kingdom. –1989. –1312 P.
2. Zhi Ning Chen. Broadband Planar Antennas. Design and Applications./ Zhi Ning Chen and Michael Y. W. Chia //John Wiley & Sons. – 2006. –P.242.
3. D.G.Fang. Antenna Theory and Microstrip Antenna/ D.G.Fang //CRC Press. Taylor & Francis Group. – 2010. –296 P.
4. Марков Г.Т. Антенны /Г.Т.Марков, Д.М.Сазонов // – Москва: Энергия. – 1975. С.524
5. Айзенберг Г.З. Антенны УКВ /Г.З.Айзенберг, В.Г.Ямпольский, О.Н.Терешин // –М.: –Связь. –1977. – Ч.1. –С.380.