УДК: 6.537.876.4

Бирюков В.Н., Губин С.И., Федоренко О.В.
Производственное Объединение «Октябрь»

Проектирование отражательной антенной диапазона 94ГГц, состоящей из решетки планарных отражателей

Представлены результаты работ по моделированию, проектированию и изготовлению отражательной антенны, состоящей из решетки планарных отражателей.

Ключевые слова: антенная решетка, планарные отражатели

Целью работы являлся этап разработки малогабаритного локатора предупреждения столкновений летательных аппаратов на малых высотах. При использовании летательных аппаратов на малых высотах существует опасность столкновения с проводами линий связи или электропередач, которые могут не обнаруживаться визуально или другими средствами контроля.

В последние годы в антенной технике развивается направление, связанное с заменых параболических зеркал плоскими отражательными решетками, которые обладают малыми весом и габаритами, а также технологичны при изготовлении [1]. С целью разработки методики проектирования таких решеток и определения предельных размеров отражательных элементов, изготовление которых возможно технологически, проведены опытные работы по расчету, моделированию и изготовлению антенной решетки по схеме, описанной в [2].

Отражательные элементы в решетке могут иметь разную форму: прямоугольник, диск, кольцо, в виде мальтийского креста и так далее. В решетке, описанной в [2], применены отражательные элементы в виде дисков, колец и диска в кольце. Такая форма отражателей позволяет применять круговую поляризацию, что необходимо для обнаружения предметов, находящихся под любым углом к горизонту. Спроектированная отражательная решетка симметрична относительно оси, то есть облучатель должен находиться на оси решетки, так же, как и у симметричной параболы. При этом, происходит затенение отраженной волны облучателем. Облучатель может быть вынесен из зоны отражения от решетки, при этом топология решетки пересчитана с учетом положения облучателя.

Для разрабатываемого отражателя с требуемой круговой поляризацией расположение отражателей симметрично. Элементы решетки одинакового типа образуют кольца, что характерно для колец Ньютона, см.рис.1. Определено, что достаточно рассчитать топологию в секторе углов от 0 до 45^0 и далее, путем зеркальной симметрии, построить топологию всей решетки. Такой подход значительно уменьшает объем расчетных данных. В предлагаемом проекте погрешность отражения фазы значительно меньше, чем в аналоге [1] за счет расчета отражения в каждой отражательной ячейке, а не только в зонах Френеля. На Рис.2 приведена топология центральной части отражательной решетки. Границы ячеек, на которые условно разбита площадь отражательной решетки не показаны. Ячейки имеют размер 1.8×1.8 мм. В центрах ячеек расположены отражательные элементы следующих типов: - диск; - кольцо;- диск внутри кольца,- отсутствие отражателя в ячейке.

Решетка спроектирована следующим образом:

а) определены элементы отражательной решетки в секторе углов от 0 до 45^0 (Рис.1);

б) Зеркально формируется топология в секторе углов от 45^0 до 90^0 (Рис.2).

в) Зеркально формируется топология в секторе углов от 90^0 до 180^0

г) Зеркально формируется топология в секторе углов от 180^0 до 360^0 (Рис.3).

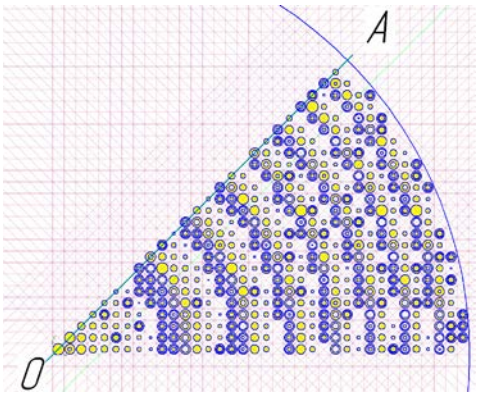


Рис.1 Сектор 45^0 отражательной решетки

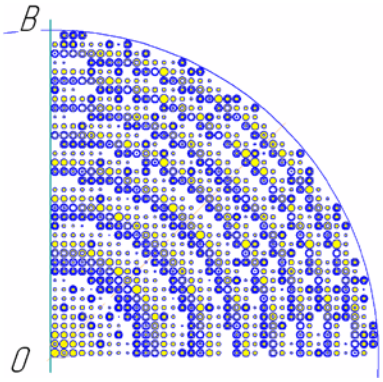


Рис.2 Сектор 90^0 отражательной решетки

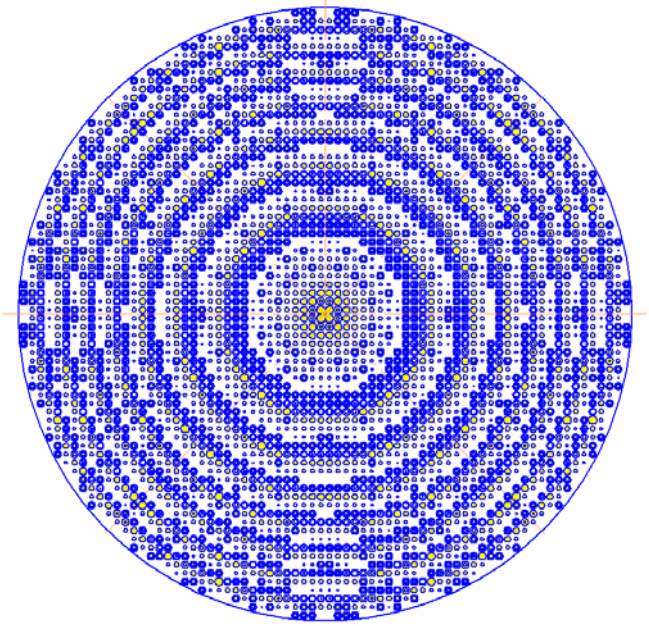


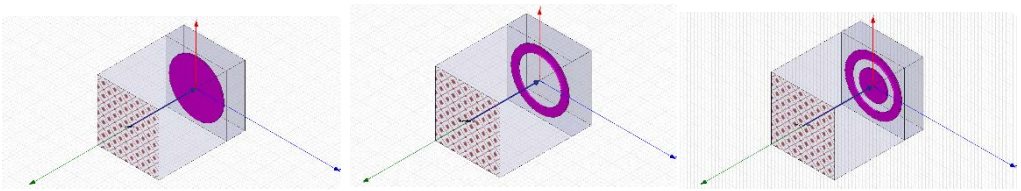
Рисунок 3. топология отражательной решетки

На рисунках приведены уже получившиеся топологии.

Решетка имеет диаметр 130 мм и фокусное расстояние 72 мм.

Расчет 1/8 сектора выполнялся следующим методом.

Предварительно были рассчитаны фазы отражения для базовых элементов ячеек с отражателем – диск, - кольцо, - диск в кольце и ячеек без металлизации при нормальном падении электрического поля на отражатель. Также определены зависимости фазы отражения от радиуса диска(внутреннего радиуса кольца, радиуса диска внутри кольца) и углом между осью параболы и направлением на точку отражения из точки фокуса. При расчете применялась ячейка Флоке, моделирующая бесконечную периодическую структуру и позволяющая учитывать угол падения плоской электромагнитной волны относительно нормали к этой структуре. На Рис.4 приведен вид основных ячеек отражения



а) б) в)

Рисунок 4 . базовые элементы ячеек с отражателями а) диск, б) кольцо, в) диск в кольце.

Далее для круглой отражательной решетки заданного диаметра плоскость распределена на ячейки с одинаковыми размерами Δx*Δy = 1.8×1.8 мм. Координаты каждой ячейки, как показано на рис.5.а) определяются по формулам

$$x_i = i \cdot \Delta x + \frac{\Delta x}{2}, \text{ где } i = 0,1,2... \quad (1)$$

$$\text{и } y_j = j \cdot \Delta y + \frac{\Delta y}{2} \text{ где } j = 0,1,2... \quad (2)$$

Координаты точки фокуса (x_F, y_F, z_F) заданы.

$$x_F = 0,\ y_F = -(H + D/2),\ z_F = F \quad (3)$$

Расстояние от фокуса до центра системы координат вычисляется по формуле

$$\rho_0 = \sqrt{(y_F)^2 + F^2} \quad (4)$$

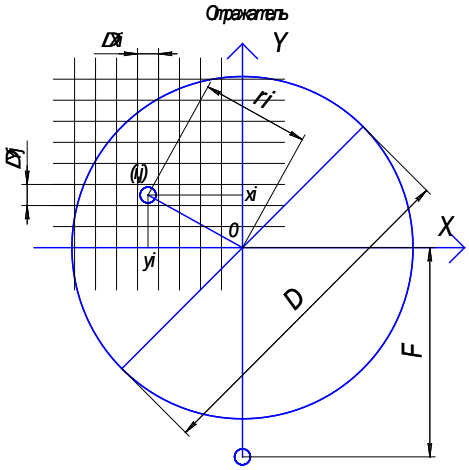


Рисунок 5 а)

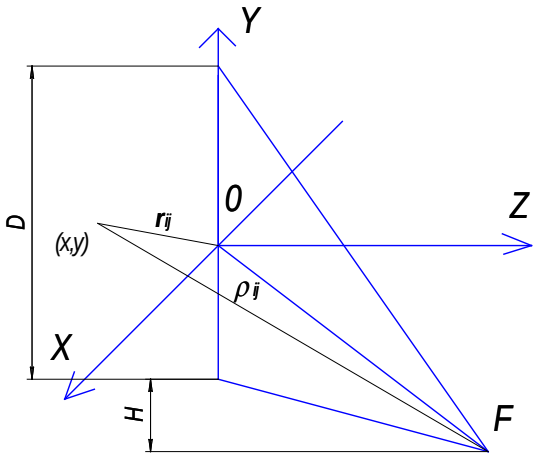


рисунок 5 б)

Расстояние от точки фокуса до точки (i, j) (рис.5 б) вычисляется по формуле:

$$\rho_{ij} = \sqrt{(x_i - x_F)^2 + (y_j - y_F)^2 + (F)^2} \quad (5)$$

Разность фаз:

$$\Delta\varphi_{i,j} = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (\rho_{ij} - \rho_0) \quad (6)$$

По формуле (6) вычисляется значение разности фаз между лучом от фокуса до центра решетки и лучом от фокуса до центра ячейки (i, j). С учетом периодичности 360^0 формулу (6) перепишем в виде:

$$\Delta\psi_{i,j} = \Delta\varphi_{i,j} - 360 \cdot trunc\left(\frac{\Delta\varphi_{i,j}}{360}\right) \quad (7)$$

Фаза поля распространяющейся электромагнитной волны записывается в виде $e^{-i\cdot\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot\vec{s}}$.

Для создания синфазного отражения от решетки, необходимо, чтобы фаза отражения от каждой ячейки с индексами (i, j) удовлетворяла условию:

$$e^{-i\cdot\Delta\psi_{i,j}}\cdot e^{i\cdot\phi_{i,j}} = e^{i\cdot\phi_{0,0}} = e^{-i\cdot\pi} \quad (8),$$

где первый сомножитель относится к распространяющейся электромагнитной волне для ячейки с индексами (i, j), а второй показывает фазу отражения электромагнитной волны $\phi_{i,j}$ от ячейки с индексами (i, j).

Для выполнения требования (8) получаем:

$$\phi_{i,j} = \Delta\psi_{i,j} - 180^0 \quad (9).$$

Далее определив $\Delta\psi_{i,j}$ и имея рассчитанные фазы отражения $\phi_{i,j}$ от параметров отражателя в ячейке и угла падения электромагнитной волны на решетку определяем для каждой I,j ячейки тип и размеры отражателя такие, чтобы

$$\Delta\varphi = \left|\phi_{i,j} - \left(\Delta\psi_{i,j} - 180^0\right)\right| \quad (10)$$

были минимальной.

Для 1/8 сектора выполняется таблица с координатами i,j ячеек и подбором для каждой ячейки типа отражателя и его геометрических значений. Получаем фрагмент решетки показанный на рис.1.

Затем, как было определено, зеркально формируется топология для 1/4, 1/2 и целой отражательной решетки. Топология решетки показана на рисунке 3.

Отражательная решетка рассчитывалась и выполнялась на материале Duroid(tm) $\varepsilon = 2.2$ толщина 0.508 мм. Диаметр решетки 130 мм. Частота 94 ГГц.

Для обеспечения механической прочности плата решетки припаивается на металлическое основание.

Фотографии изготовленной решетки показаны на рисунке 6 а), б), в).

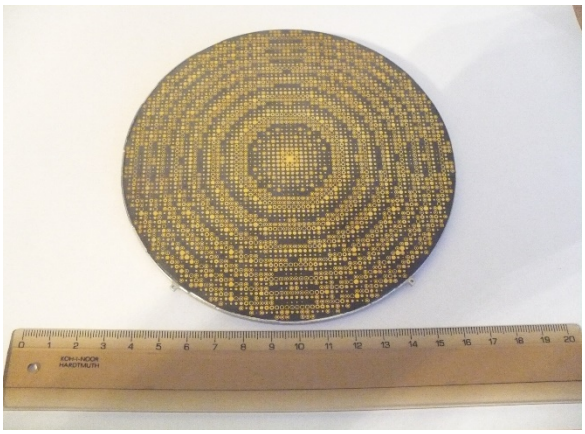


Рисунок 6 а)
антенная решетка

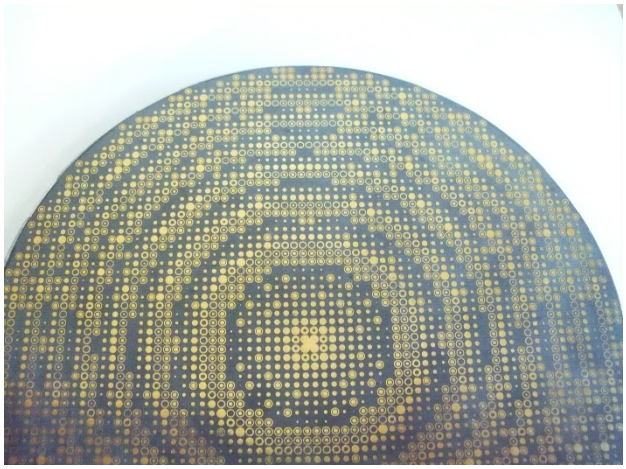


рисунок 6 б)
фрагмент антенной решетки

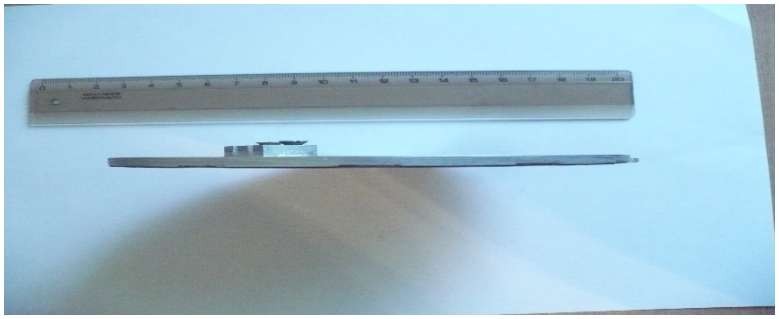


Рисунок 6 в)
профиль антенной решетки

Определение фактических параметров антенны как сборочной единицы из антенной решетки и облучателя на настоящий момент не проведены, в связи с отсутствием необходимого оборудования.

Библиографический список

1. О.Верник, М.Парнес, В.Корольков, Р.Шифман. Плоская отражательная печатная антенна или параболическая антенна – что технологичнее// Беспроводные технологии Вып.4.2006г
2. B.D. Nguyen, C. Migliaccio, C. Pichot
Laboratoire d'Electronique, Antennes et Telecommunications (LEAT), Universite de Nice- Sophia Antipolis, CNRS-UMR 6071, 250 rue A.Einstein, 06560 Valbonne, France.