

УДК 621.396

Н.И. Науменко¹, С.М. Порошин², В.Б. Бахвалов³

¹Департамент военного образования и науки МО Украины, Киев

²Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

³Военный институт при Киевском национальном университете им. Т. Шевченко, Киев

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА РУПОРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Предлагается конструкция антенной решетки с большой апертурой и сравнительно малой толщиной из небольших рупорных излучателей микроволнового диапазона. Малая толщина антенны обеспечена за счет специальной системы возбуждения рупоров на основе использования тонкого цилиндрического резонатора и скруток прямоугольных волноводов. Предложение может быть использовано в случаях, когда требуется разместить антенную решетку в виде слоя приемлемой (небольшой) толщины на поверхности летательного, космического (или иного) аппарата.

Ключевые слова: антенная решетка рупорных излучателей, скрутки прямоугольных волноводов.

Введение

Постановка задачи и анализ литературы. Антенные решетки (АР) рупорных излучателей микроволнового диапазона находят широкое применение в наземных и бортовых радиотехнических системах различного назначения [1 – 3]. При реализации подобных АР зачастую возникают значительные трудности по построению системы распределения мощности передатчика по излучающим элементам АР (или системы запитки рупорных элементов АР). В рупорной АР со сравнительно малым количеством рупоров в системе запитки обычно используют волноводные делители мощности [1]. Однако при большом количестве рупоров АР такую систему обычно не используют, так как она становится громоздкой, трудно реализуемой а ее длина становится соизмеримой с размерами апертуры АР.

В рупорных АР с большим количеством излучающих элементов обычно используют оптическую систему запитки (на проход или на отражение [2]). В таких случаях апертуру АР облучают специальным облучателем, который удален от плоскости апертуры АР на значительное расстояние, сопоставимое с размерами апертуры АР.

Обзор литературы [1 – 3] показывает, что известные технические решения пока не позволяют построить рупорную АР с большим размером апертуры и сравнительно малой толщиной антенны.

В настоящее время имеется существенная необходимость уменьшения толщины рупорной АР с большим количеством излучающих элементов. Это требуется, например, в случаях, когда рупорную АР требуется разместить в виде сравнительно тонкого слоя на поверхности летательного, космического (или иного) аппарата. Для решения задачи уменьшения толщины рупорной АР с большим количеством рупоров требуется поиск новых технических решений. Одно из таких решений предлагается ниже.

Целью статьи является разработка предложения по построению рупорной АР с большим количе-

ством излучающих элементов и сравнительно малой толщиной антенны.

Решение поставленной задачи основано на использовании специальной системы запитки рупоров АР, состоящей из тонкого цилиндрического резонатора и скруток прямоугольных волноводов.

Техническая сущность предложения поясняется рис. 1, где представлен упрощенный эскиз предлагаемой АР из пирамидальных рупоров в двух проекциях.

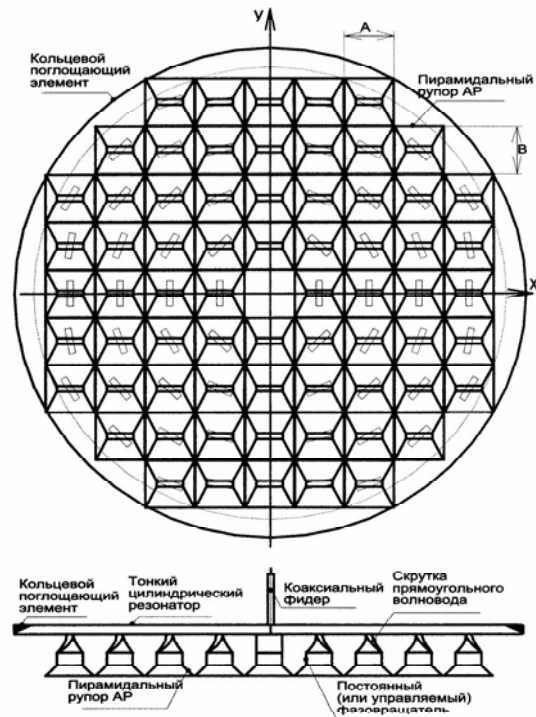


Рис. 1. Антенная решетка пирамидальных рупоров

Предлагаемая АР содержит большое количество коротких пирамидальных рупоров малой длины и малого размера апертуры рупора $A \times B$. Рупоры АР могут быть размещены на плоской (или выпуклой) поверхности и запитываются прямоугольными волноводами.

Каждый из рупоров АР имеет свой постоянный (или управляемый) фазовращатель на коротком от-

резке прямоугольного волновода, а также короткую скрутку прямоугольного волновода. Управляемые фазовращатели используются в случае, когда требуется построить фазированную антенную решетку (ФАР) с электрическим сканированием луча диаграммы направленности антенны (ДН). Нумерация излучающих элементов (рупоров) АР проводится в интервале $n = -N \dots N$ по горизонтали (ось x на рис. 1) и в интервале $m = -M \dots M$ по вертикали (ось y на рис. 1). То есть каждый излучающий элемент АР характеризуется двойным номером (m, n) с соответствующими знаками. Максимальное количество излучающих элементов АР по горизонтали равно $2N + 1$ и по вертикали равно $2M + 1$. Из состава АР исключен центральный элемент ($m=0, n=0$), а также элементы, расстояния до которых от центра апертуры АР превышает заданный радиус апертуры $(N+1/2)A$. При $A = B$ и $M = N$ АР имеет примерно круговую апертуру.

Для запитки рупорных элементов АР через нижние концы волноводных скруток предлагается использовать тонкий цилиндрический резонатор в виде двух параллельных металлических пластин. Расстояние между этими пластинами сравнительно мало и не должно превышать половину длины волны $\lambda/2$. Нижние концы волноводных скруток подключены к резонатору через щели, геометрия которых совпадает с геометрией нижнего конца соответствующих волноводных скруток. Щели прорезаны в верхней пластине резонатора и перпендикулярны радиусу из центра системы до соответствующей щели. Цилиндрический резонатор запитывается в центре коаксиальным фидером. При такой запитке в резонаторе возбуждается цилиндрическая бегущая волна типа ТЕМ. Указанное расположение щелей в верхней стенке резонатора требуется для того, чтобы они возбуждались цилиндрической волной типа ТЕМ. Для ослабления отражения радиоволн от боковой стенки резонатора эта стенка выполнена в виде кольцевого поглощающего элемента из материала, хорошо поглощающего радиоволны. Следует отметить, что энергия передатчика в основном уходит через щели к излучающим элементам АР и почти не попадает на боковую стенку резонатора. Поэтому предложенная система запитки будет работоспособна даже при отсутствии боковой стенки резонатора и кольцевого поглощающего элемента. Однако использование такого элемента желательно для ослабления дальнего бокового излучения АР.

Скрутки прямоугольных волноводов в каждом элементе АР необходимы для обеспечения заданного требуемого расположения щелей в верхней стенке резонатора. Угол волноводной скрутки α_{mn} зависит от номера (m, n) элемента и определяется по формуле

$$\alpha_{mn} = \arctg \frac{nA}{mB}, \quad (1)$$

где (m, n) – номер излучающего элемента АР; A, B – размеры апертуры рупора.

Следует отметить, что угол скрутки может быть положительный и отрицательный. При этом положительный угол соответствует повороту нижней апертуры волновода скрутки относительно верхней апертуры по часовой стрелке, а отрицательный – против часовой стрелки. Углы скруток находятся в интервале $0^\circ \pm 90^\circ$. Для вертикального центрального ряда рупоров скручивать волновод вообще не требуется, а для горизонтального центрального ряда рупоров угол скрутки равен $\pm 90^\circ$. Длина волноводной скрутки обычно не превышает двух длин волн 2λ . Необходимо обеспечить синфазную запитку всех рупоров АР. Для этого используются постоянные фазовращатели (в ФАР – управляемые фазовращатели). Синфазность запитки будет обеспечена при сдвигах фаз $\Delta\varphi_{mn}$, равных

$$\Delta\varphi_{mn} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{n^2 A^2 + m^2 B^2} \pm \frac{1 - \text{sign}n}{2} \pi, \quad (2)$$

где sign – знак числа, а другие обозначения были пояснены выше.

Целое число 2π в формуле (2) можно отбросить. Возможные конструкции постоянных (и управляемых) волноводных фазовращателей известны, описаны в литературе [2] и здесь не обсуждаются. Длина такого фазовращателя обычно не превышает длины волны λ .

Пространственная ДН предложенной рупорной АР $F(\varepsilon, \beta)$ определяется следующей формулой

$$F(\varepsilon, \beta) = F_e(\varepsilon, \beta) \times \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N \frac{\exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} (nA \cos \varepsilon \sin \beta + mB \sin \varepsilon)\right\}}{\sqrt{n^2 A^2 + m^2 B^2}}, \quad (3)$$

где ε, β – угол места и азимутальный угол, отсчитываемые от оси АР;

$F_e(\varepsilon, \beta)$ – пространственная ДН пирамидального рупора, а другие обозначения были пояснены выше. В формуле (3) из суммирования исключен центральный элемент с номером (m, n) , а также элементы, для которых $\sqrt{n^2 A^2 + m^2 B^2} > (N + 1/2)A$, так как последние выходят за пределы апертуры заданного радиуса $> (N + 1/2)A$.

Формула для пространственной ДН пирамидального рупора $F_e(\varepsilon, \beta)$ известна, описана в литературе [4] и здесь не приводится.

Пример расчета ДН предложенной АР в вертикальной плоскости E представлен на рис. 2.

Расчеты проведены для следующих значений исходных параметров АР.

Длина волны $\lambda = 0,03$ м.

Размер апертуры пирамидального рупора $A = B = 0,7\lambda = 0,021$ м.

Количество пирамидальных рупоров в горизонтальном ряду АР $2N + 1 = 101$.

Кількість пірамідальних рупорів в вертикальному ряду $AP\ 2M+1=101$. Суммарне кількість рупорів в $AP\ 7836$. Діаметр апертури $AP\ (2N+1)A = 2,121\ м$. Товщина AP порядку $(4 \div 5)\lambda = 0,12 \div 0,15\ м$.

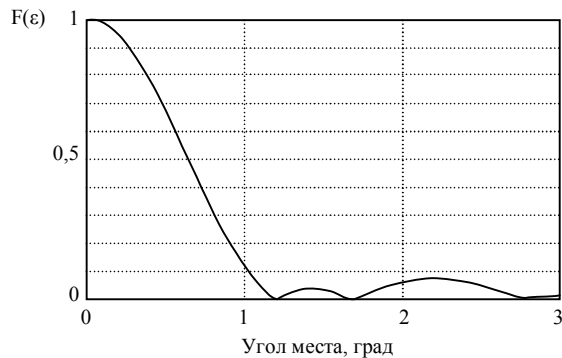


Рис. 2. Диаграмма направленности антенной решётки

Проведенные расчеты показывают, что при выбранных параметрах апертура AP почти круговая, ширина ДН AP на уровне половинной мощности равна $2\Delta\varepsilon = 0,92$, а уровень бокового излучения не выше $-22\ дБ$. ДН такой AP можно считать осесимметричной, поэтому ДН AP в горизонтальной плоскости H будет примерно такой же, как и в вертикальной плоскости E (рис. 2). Это объясняется тем, что ДН рупорного элемента значительно шире ДН AP , а последняя определяется в основном множителем системы, который одинаков в плоскостях E и H .

Общее количество пирамидальных рупорів в AP довольно велико. Однако уменьшать количество рупорных элементов за счет увеличения размера апертуры рупора $A > \lambda$, не рекомендуется, так как это увеличит длину рупора и уровень дальнего бокового излучения в плоскости H . Следует отметить, что тонкий цилиндрический резонатор (помимо его основного назначения) выполняет также вспомогательную роль экрана, который снижает заднее излучение AP . Предложенная система запитки рупорных облучателей AP на основе использования тонкого цилиндрического резонатора и волноводных скруток представляет нечто промежуточное по

сравнению с известными системами оптической запитки рупорів и системой волноводной запитки рупорів с помощью делителей мощности. Предложение позволяет значительно уменьшить толщину антенны по сравнению с большой апертурой AP . Антенна может быть реализована в сантиметровом и миллиметровом диапазонах радиоволн. Недостатком предложения является то, что во всех элементах AP требуется использовать скрутки прямоугольных волноводов, которые отличаются друг от друга углом скрутки и конструкцией. Это может затруднить изготовление и настройку антенны.

Выводы

Проведенные оценки показали, что предложенная AP с большим количеством рупорных излучателей и большой апертурой AP может быть изготовлена со сравнительно малой толщиной антенны порядка $(4 \div 5)\lambda$. Это значительно меньше, чем толщина других известных рупорных AP с оптической или волноводной запиткой. Предложение позволяет разместить рупорную AP в виде слоя приемлемой, сравнительно небольшой толщины на поверхности летательного, космического (или иного) аппарата почти без выступающих частей над поверхностью аппарата.

Список литературы

1. Амтей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток / Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 132 с.
2. Антенны и устройства СВЧ. (Проектирование фазированных антенных решеток): Учебн. пособие для вузов. Д.И. Воскресенский, Р.А. Грановская, Н.С. Давыдов и др / Под ред. Д.И. Воскресенского. – М.: Радио и связь, 1981. – 256 с.
3. Сканирующие антенные системы СВЧ. Часть 1, 2, 3 / Пер. с англ. под ред. Г.Т. Маркова и А.Ф. Чаплина. – М.: Сов. радио, 1966, 1969, 1971.
4. Айзенберг Г.З. Антенны ультракоротких волн. – М.: Связьиздат, 1957.

Поступила в редколлегию 2.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Стрелков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

АНТЕННИ РЕШІТКИ РУПОРНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ

М.І. Науменко, С.М. Порошин, В.Б. Бахвалов

Пропонується конструкція антенних решіток з великою апертурою і порівняно малою товщиною з невеликих рупорних випромінювачів мікрохвильового діапазону. Мала товщина антени забезпечена за рахунок спеціальної системи збудження рупорів на основі використання тонкого циліндрового резонатора і скручувань прямокутних хвилеводів. Пропозиція може бути використана у випадках, коли потрібно розмістити антенні ґрати у вигляді шару прийнятної (невеликий) товщини на поверхні літального, космічного (або іншого) апарату.

Ключові слова: антенні ґрати рупорних випромінювачів, скручування прямокутних хвилеводів.

ARRAY OF MEGAPHONE EMITTERS

N.I. Naumenko, S.M. Poroshin, V.B. Bakhvalov

The construction of array is offered with a large aperture and comparatively small thickness from the small megaphone emitters of microwave range. The small thickness of aerial is well-to-do due to the special system of excitation of megaphones on the basis of the use of thin cylindrical resonator and скруток of rectangular waveguides. Suggestion can be utilized in the cases when it is required to place an array as a layer of acceptable (small) thickness on the surface of flying, space (or other) vehicle.

Keywords: array of megaphone emitters, скрутку of rectangular waveguides.