

УДК 621.3.095.22

Исследование волноводно-диэлектрических излучателей фазированной антенной решетки миллиметрового диапазона длин волн

Фрейман А. Г., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

Научный руководитель: Русов Ю.С., к.т.н, доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

rl1@bmstu.ru

В настоящее время широко развиваются радиосистемы миллиметрового диапазона волн, где применяются антенны с электрическим сканированием луча, среди которых наибольшее распространение получили фазированные антенные решетки (ФАР). К таким антенным системам предъявляются все более жесткие требования по обеспечению высокоскоростного обзора широкого пространственного сектора и оперативного управления формой диаграммы направленности антенны. В связи с этим актуальны исследования и работы, направленные на создание излучателей ФАР, обеспечивающих широкоугольное электрическое сканирование луча при хорошем согласовании ФАР со свободным пространством.

Одной из основных частей, обеспечивающих необходимые характеристики ФАР, является апертурный излучатель. Он определяет изменение коэффициента усиления ФАР в секторе электрического сканирования луча.

Широкое распространение получили ФАР с волноводно-диэлектрическими излучателями. Такие излучатели хорошо себя зарекомендовали в диапазонах сантиметровых и миллиметровых длин волн [1]. Волноводно-диэлектрические излучатели (ВДИ) представляют собой диэлектрические стержни различного поперечного сечения длиной L от одной до нескольких λ (λ – рабочая длина волны в свободном пространстве), возбуждаемые отрезком круглого или прямоугольного волновода (рис. 1).

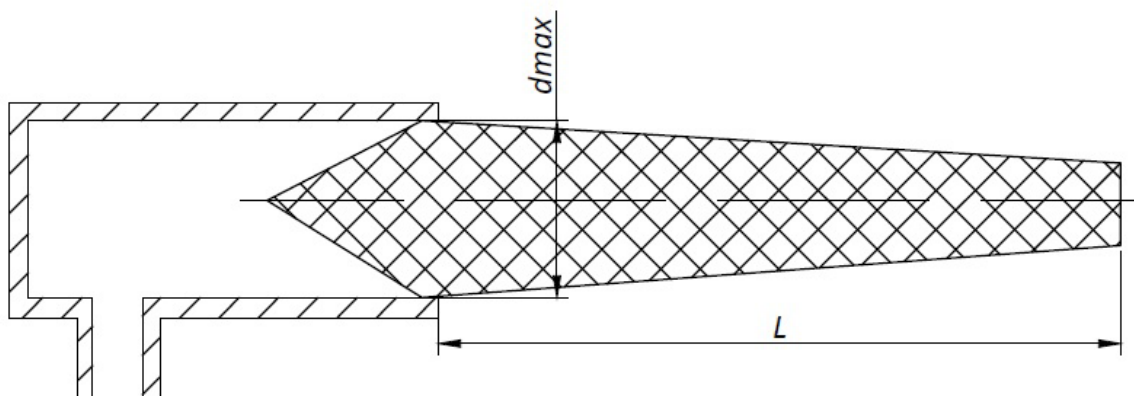


Рис. 1. Волноводно-диэлектрический излучатель с коническим стержнем

Наиболее часто используются диэлектрические стержни круглого поперечного сечения. Такие излучатели обеспечивают работу на волнах как с линейной, так и с круговой поляризацией электромагнитного поля. Выбор формы и размеров диэлектрического стержня выполняется с учетом заданного шага антенной решетки (АР) и сектора электрического сканирования луча. Диаметр стержня у основания выбирается из условия обеспечения одноволнового режима работы волновода, заполненного материалом диэлектрического стержня. Диаметр стержня на конце определяется необходимым значением коэффициента отражения электромагнитных волн от излучателей. Для обеспечения хорошего согласования ВДИ со свободным пространством требуется уменьшать поперечное сечение стержня на конце. В связи с этим широкое распространение получили излучатели с коническим диэлектрическим стержнем. Например, ВДИ с коническим стержнем применяются для ФАР с сектором сканирования $\pm 45^\circ$ [2]. Однако для ФАР с более широким сектором сканирования или с диэлектрическим стержнем из других материалов требуется проводить дополнительные исследования ВДИ с целью обеспечения согласования ФАР в секторе электрического сканирования луча.

Для расчета характеристик ВДИ с учетом взаимного влияния элементов в АР может использоваться как модель АР с конечным числом элементов, так и модель ячейки бесконечной АР [3, 4]. Модель бесконечной АР позволяет рассчитывать характеристики только для одной элементарной ячейки и, таким образом, повысить скорость расчета. Результат, полученный для такой модели, может применяться к излучателям ФАР с числом элементов от нескольких десятков и более. В этом случае элементы ФАР на краях раскрытия, для которых условия размещения в АР отличаются от условий бесконечной АР,

не внесут существенного вклада в характеристики всей ФАР. На рис. 2 изображена модель ячейки бесконечной АР с апертурным волноводно-диэлектрическим излучателем.

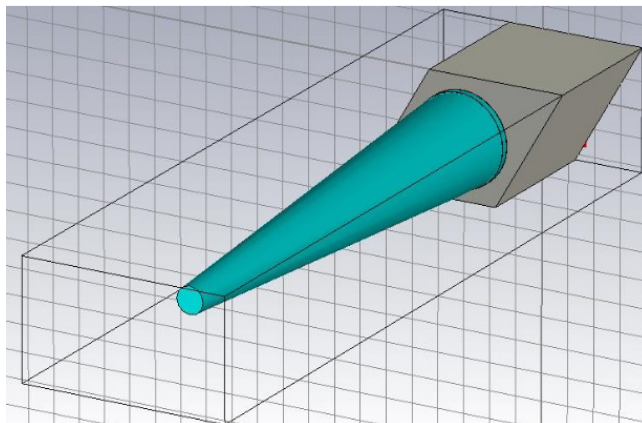


Рис. 2. Модель ячейки бесконечной АР

На рис. 3 представлены результаты расчета диаграммы направленности (ДН) апертурного излучателя в АР с гексагональным расположением элементов с шагом $0,68\lambda$, обеспечивающей широкоугольное сканирование луча с отклонением от нормали к раскрытию ФАР до 45° [3]. ДН рассчитаны в пакете прикладных программ с использованием ячейки бесконечной АР в двух ортогональных плоскостях расположения излучателей.

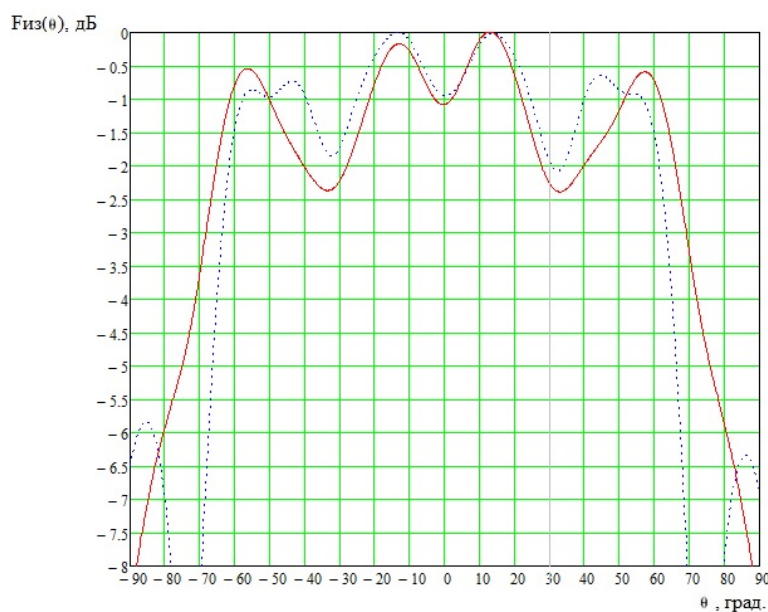


Рис. 3. Диаграмма направленности волноводно-диэлектрического излучателя в бесконечной антенной решетке

На рис. 4 приведен пример модели линейной ФАР с ВДИ. На рис. 5 показана ее диаграмма направленности при неотклоненном луче, а на рис. 6 показана диаграмма направленности при отклонении луча на 45° .

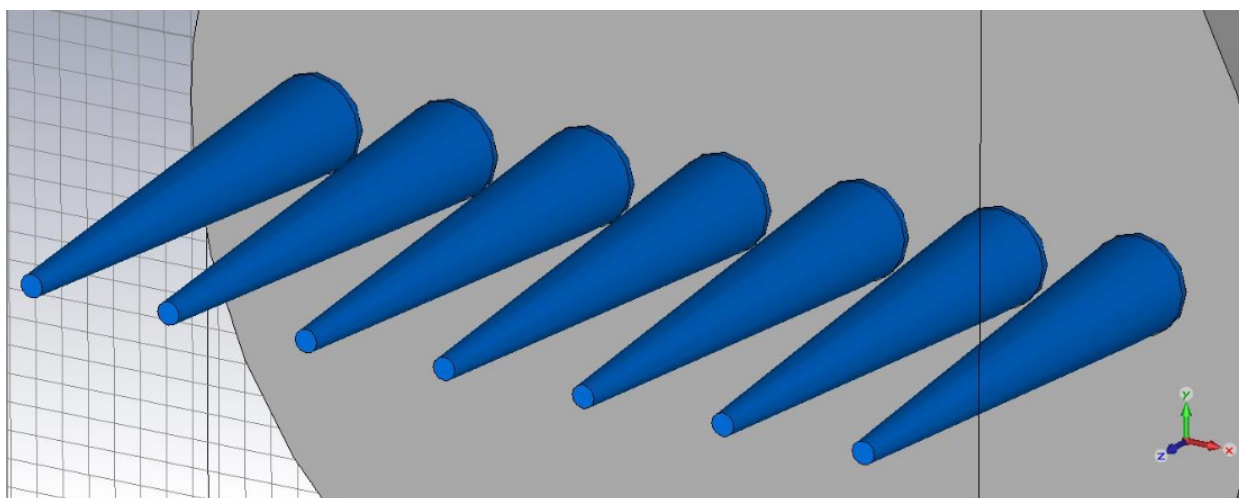


Рис. 4. Линейная антенная решетка диэлектрических излучателей

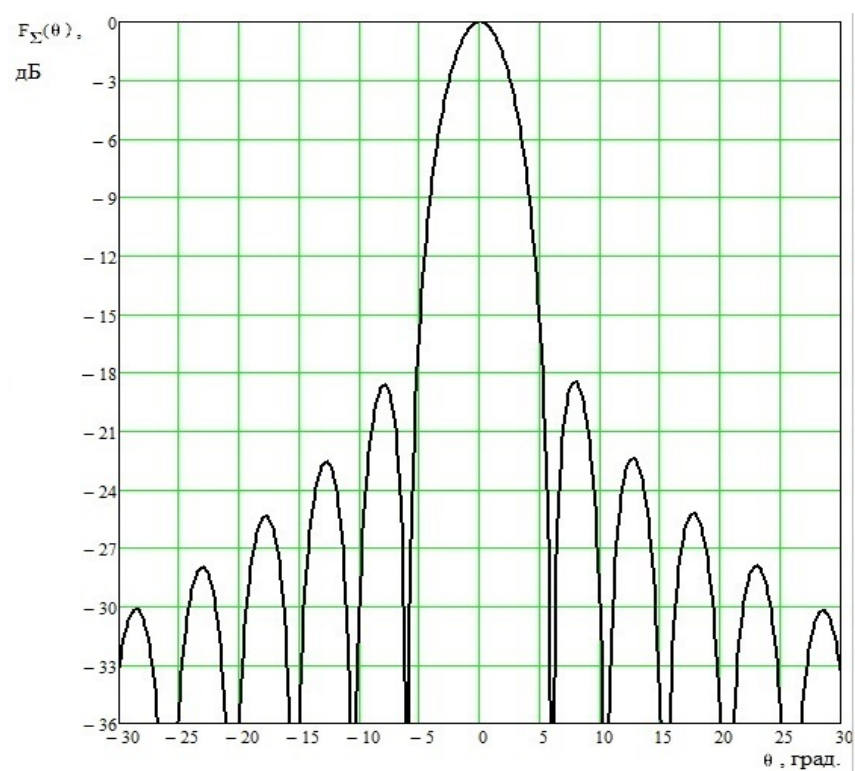


Рис. 5. Диаграмма направленности линейной АР при неотклоненном луче

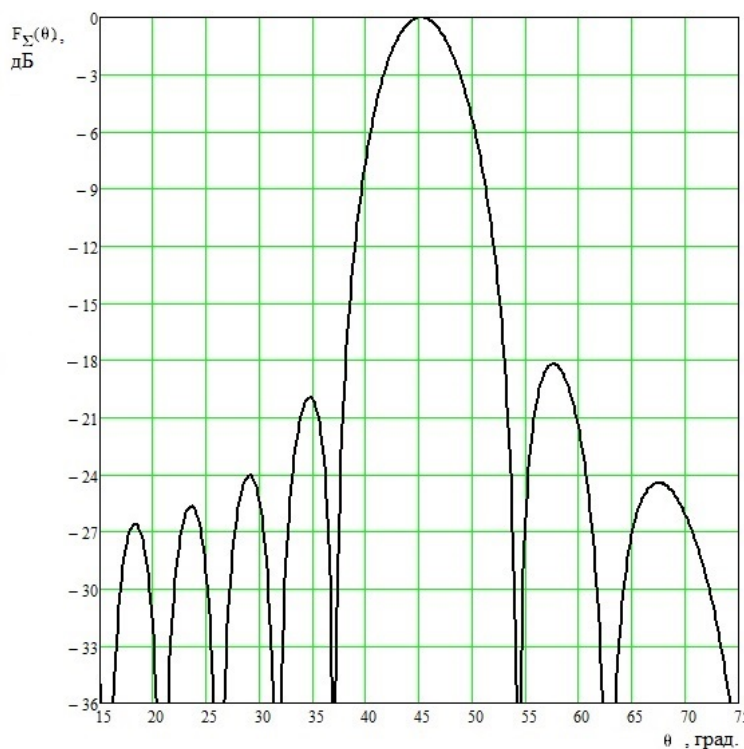


Рис. 6. Диаграмма направленности линейной АР при луче, отклоненном на 45°

Использование модели бесконечной АР позволяет эффективно рассчитывать ДН излучателей многоэлементной ФАР. Для получения точных характеристик разрабатываемой ФАР целесообразно проводить расчеты диаграммы направленности АР с использованием ДН излучателя, полученной при учете взаимного влияния элементов в АР. Современные подходы к моделированию ВДИ позволяют эффективно оптимизировать форму диэлектрического стержня для ФАР с заданными геометрией и сектором электрического сканирования луча.

Список литературы

1. Хандамиров В.Л., Крехтунов В.М., Русов Ю.С. Диэлектрические стержневые излучатели ФАР // Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. М.: Радиотехника, 2012. С. 345–349.
2. Русов Ю.С., Будкин А.А., Крехтунов В.М., Шевцов О.Ю., Артющев А.В. Модернизация элементов фазированной антенной решетки миллиметрового диапазона волн // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2012. Спец. вып. № 7 «Радиооптические технологии в приборостроении». С. 172–181.
3. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток. М.: Мир, 1974. 457 с.

4. Русов Ю.С. Дифракция электромагнитных волн на периодической решетке волноводно-диэлектрических излучателей с закороченными коаксиальными волноводами // Антенны. 2014. № 7. С. 4–10.