

О.А. Астафурова

ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ РЕБЕРНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Представлены конструкция антенны на основе реберно-диэлектрической линии, опытные характеристики ее излучения и их зависимости от геометрических размеров направляющей структуры. Проведены исследования частотных характеристик антенн на основе реберно-диэлектрической линии.

При проектировании антенн нередко возникает потребность проверить результаты расчета непосредственным измерением характеристик излучения спроектированного образца. Целесообразность таких измерений объясняется приближенностью методов расчета. Кроме того, не всегда и не все параметры антенн могут быть рассчитаны даже приближенно.

Реберно-диэлектрические линии (РДЛ) представляют собой класс линий передачи, в которых диэлектрический слой является волноводом, а тонкие металлические ребра, расположенные перпендикулярно к диэлектрику, способствуют концентрации энергии рабочей волны на ограниченном по ширине участке диэлектрического слоя [1]. Антенна, созданная на основе реберно-диэлектрической линии передачи, с расстоянием между ребрами постоянной величины, которые и образуют излучающий раскрыв, представлена на рис. 1, где L – длина излучателя, w – расстояние между ребрами (ширина щели), H – высота ребра, d – толщина диэлектрика, c – ширина диэлектрика.

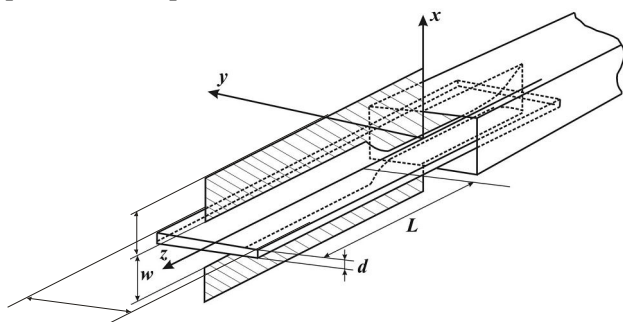


Рис. 1

Эта антенна излучает вдоль своей оси, формируя симметричный, практически одинаковый в обеих плоскостях Е и Н основной луч. Его ширина, в зависимости от длины излучателя, находится в пределах от 20 до 60 градусов. Качественно процесс излучения антенны на РДЛ можно объяснить следующим: когда расстояние ме-

жду ребрами мало по сравнению с длиной волны, поле сильно связано с направляющей структурой и излучение почти не происходит, когда же оно, расширяясь, достигает значения примерно половины длины волны, энергия начинает излучаться.

Измерение диаграммы направленности (ДН) антенны производится путем замера напряженности электрического или магнитного поля, создаваемого антенной, на больших равных расстояниях от антенны в разных направлениях. Обычно измерение диаграмм направленности ограничивается двумя плоскостями, которые определяются направлением распространения и векторами напряженности электрического и магнитного полей.

На основании теоремы взаимности диаграмму направленности можно измерять, используя исследуемую антенну в режиме передачи или приема, однако включение исследуемой антенны в измерительную схему в качестве приемной позволяет повысить точность измерений.

Внешний вид антенного устройства, выполненного на основе РДЛ, которое включает в себя излучатель и согласующий переход, представлен на рис. 2.

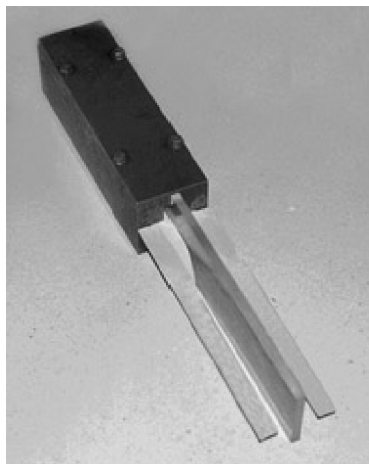


Рис. 2

Испытания антенн, рассматриваемых в статье, проводились на аппаратно-программном измерительном комплексе "Флора" в условиях безэховой камеры [2]. Измерения проводились в диапазоне частот $f = 7 - 12$ ГГц. Из графиков на рис. 3 видна тенденция к уменьшению ширины основного луча и уровня боковых лепестков (УБЛ), особенно в E -плоскости.

Опытные образцы антенн изготавливались из алюминиевой фольги толщиной $0,15$ мм, с диэлектрической пластиной толщиной $d = 5$ мм, $\epsilon_r = 2,27$.

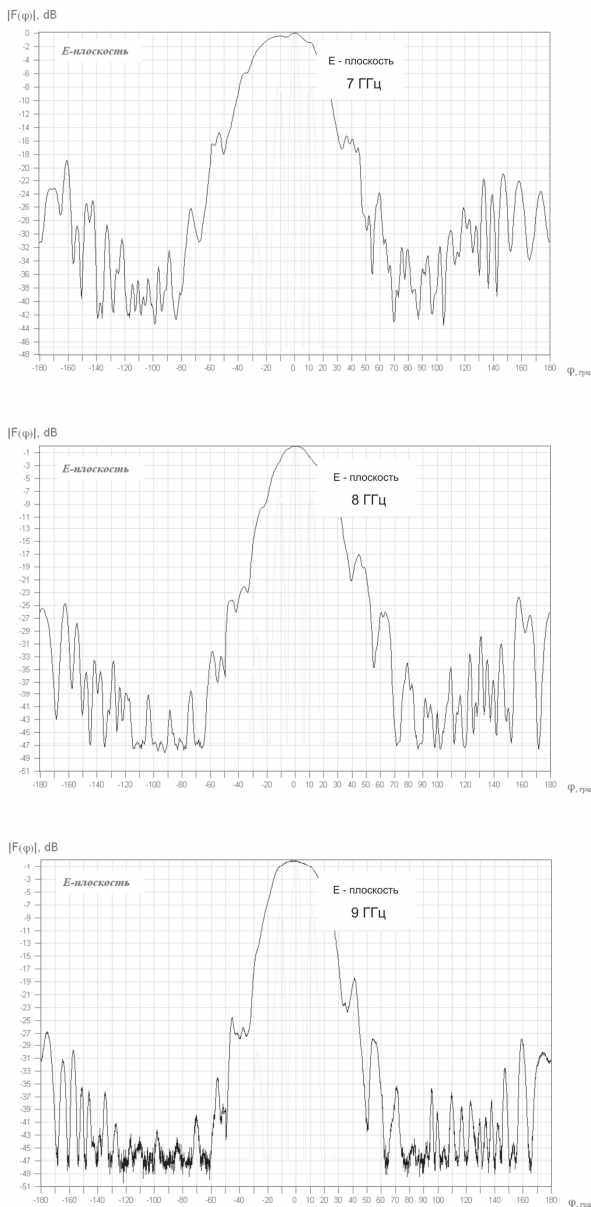


Рис. 3

Зависимости уровня боковых лепестков и ширины основного луча диаграммы направленности исследуемой антенны от геометрических размеров излучателя, отнесенных к длине волны,

показывают, что в E -плоскости с увеличением расстояния между ребрами w значения УБЛ и ширина основного луча ДН уменьшаются (рис. 4, 5).

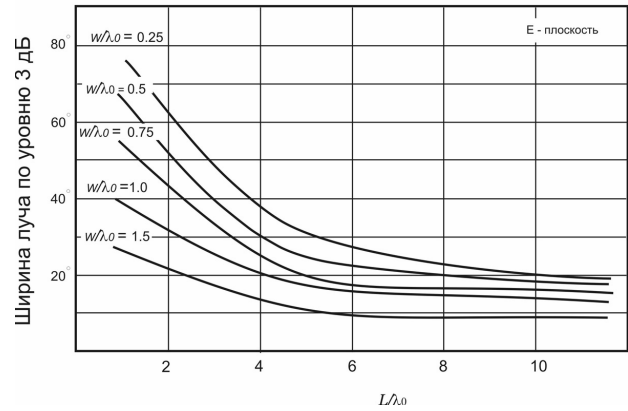


Рис. 4

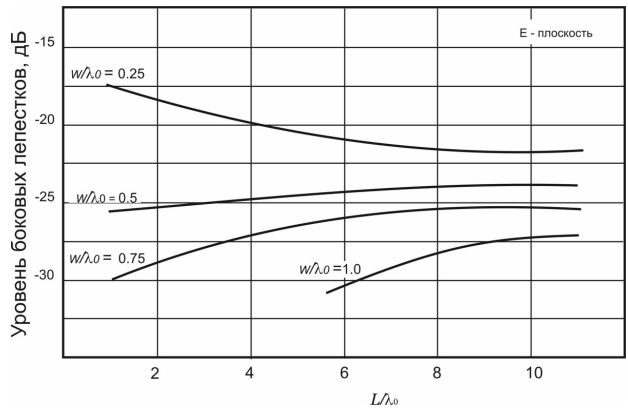


Рис. 5

Конструкция антенны на основе РДЛ напоминает две хорошо известные антенны бегущей волны – диэлектрическую стержневую антенну (ДСА) и антенну на основе симметричной щелевой линии передачи со щелью постоянной ширины (ПШЩА) [4-6]. Поэтому было бы логичным предположить, что основные (первичные) параметры исследуемой антенны будут схожими с параметрами упомянутых антенн. В то же время процессы излучения этих антенн не совсем одинаковы. Излучение ДСА может рассматриваться как излучение линейного источника тока, а у ПШЩА значительный вклад в излучение дает дифракция ЭМВ на металлических ребрах излучающего края антенны.

Сравнительный анализ ДН и зависимостей ширины луча по уровню -3 дБ от длины направляющей структуры антенн на реберно-диэлектрической и симметричной щелевой линии, а также диэлектрической стержневой антенны (рис. 6, 7) говорит о схожести поведения кривых – типичного для класса антенн бегущей

волны. Чем длиннее излучатель антенны, тем уже ее основной луч, при этом наиболее узкий луч, а соответственно и наибольший КНД, показывает антенна на основе РДЛ. Это связано с тем, что вклад в излучение этой антенны вносит как непосредственно продольный магнитный ток в диэлектрической пластине (линейный непрерывный источник), так и краевые токи металлических ребер (явление дифракции).

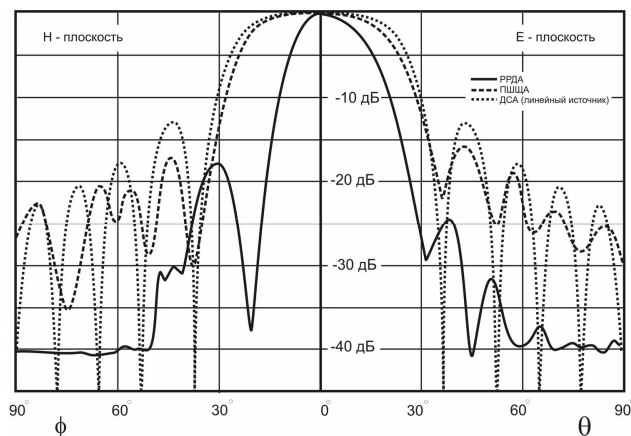


Рис. 6

зало принципиальную схожесть результатов. Прежде всего, модель предсказывает осевое излучение, причем с точностью в 5-10 % описывает основной луч и менее точно (20-30 %) уровень боковых лепестков (рис. 8). Неточность в описании положения и уровня боковых лепестков диаграммы направленности связана с тем, что модель не учитывает конечную высоту металлических ребер H , а также конечную ширину диэлектрической пластины s .

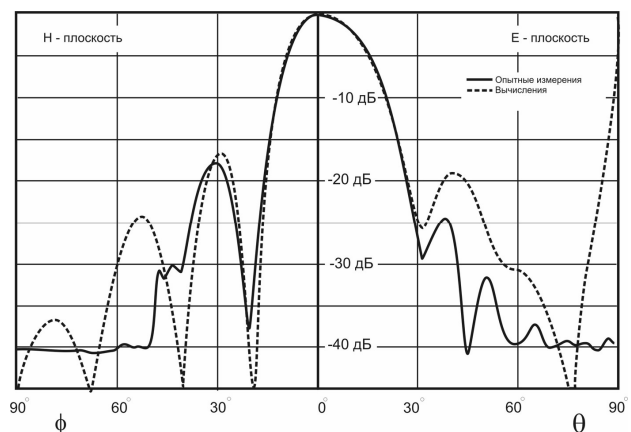


Рис. 8

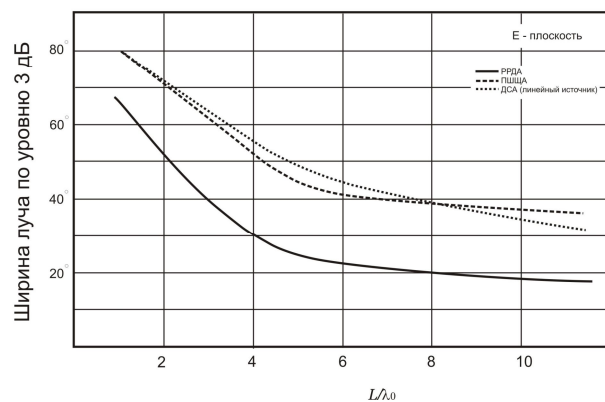
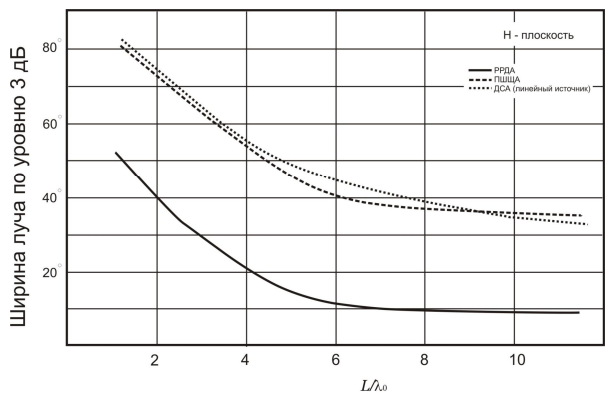


Рис. 7

Сравнение диаграмм направленности, рассчитанных с помощью математической модели, описанной в [3], с результатами измерений пока-

Математическая модель рассматривает в качестве ребер бесконечные металлические полуплоскости. Опытными измерениями было установлено, что увеличение высоты ребер H и ширины диэлектрической пластины s более $3\lambda_0$ не влияет на характеристики излучения антенны. Уменьшение параметра H менее $1,5-2\lambda_0$ приводит к излому основного луча или его исчезновению (рис. 9), а уменьшение s приводит к увеличению ширины основного луча ДН (при $s = 0$ ДН превращается в ДН ПШЩА).

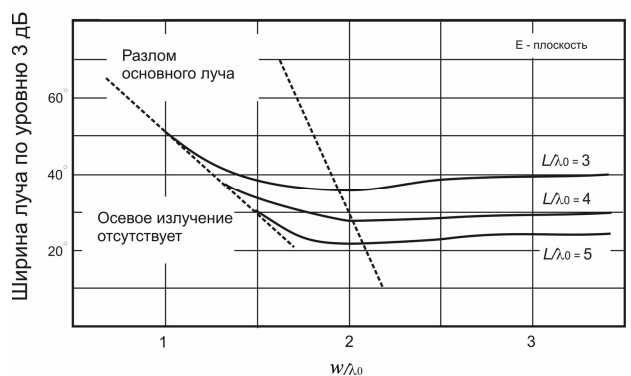


Рис. 9

Классифицируя излучатель на РДЛ как антенну бегущей волны осевого излучения, можно полагать, что ее оптимизация по максимальному КНД соответствует условию Вудьярда-Хансена.

$$\frac{c}{v_{\phi}} = 1 + \frac{1.47}{\pi L / \lambda_0}$$

Однако условие распространения медленных электромагнитных волн в направляющей структуре излучателя накладывает на диэлектрическую пластину определенные ограничения, связанные с возникновением в структуре высших типов волн, которые негативно влияют на характеристики излучения (разлом основного луча, высокий уровень боковых лепестков):

$$0,07 \leq \frac{(\sqrt{\epsilon_r} - 1) \cdot d}{\lambda_0} \leq 0,2$$

На основании теоретических исследований и опытных измерений характеристик излучения антенн на РДЛ можно сделать следующие выводы.

1. Исследуемый излучатель может быть отнесен к антеннам бегущей волны и классифицирован как антенна медленных (поверхностных) волн осевого излучения.

2. Для оптимизации выбора длины антенны L и коэффициента замедления волны необходимо исключить возможность возникновения высших типов волн в направляющей структуре излучателя путем подбора параметров диэлектрической пластины.

3. Применение антенны на основе РДЛ может быть рекомендовано в различных радиотехнических устройствах, выполненных по технологии объемных интегральных схем. Наиболее оправданным такой выбор будет в случае, когда в качестве выходной линии передачи используется РДЛ, что избавляет конструкцию от дополнительных устройств согласования.

Библиографический список

1. Гридин В.Н., Нефёдов Е.И., Черникова Т.Ю. Электродинамика структур крайне высоких частот. – М.: Наука, 2002. – 359 с.
2. Гирич С.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения диаграмм направленности антенн // Электродинамика и техника СВЧ и КВЧ, 1999. - Т.7. - №4 (26). – С. 12-15.
3. Астафурова О.А., Фролов А.А. Антенны бегущей волны на основе реберно-диэлектрической линии передачи // Электродинамика и техника СВЧ и КВЧ, 2005. – №2. – С. 5-7.
4. Айзенберг Г.З. Антенны ультракоротких волн. – М.: Связьиздат., 1957. – 698 с.
5. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
6. Гирич С.В., Пономарев И.Н. О широкополосных свойствах антенн на основе щелевых линий передачи // Электродинамика и техника СВЧ и КВЧ, 1993. – № 3. – С. 19–23.