

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ ВЫТЕКАЮЩЕЙ ВОЛНЫ

Чередниченко В. Ф.,
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»
faleksiya@bk.ru

Аннотация. Выполнена оптимизация характеристик диэлектрической антенны вытекающей волны. Установлено значение шага решетки, обеспечивающее малый уровень максимальных боковых лепестков диаграммы направленности. Установлено, что при использовании в качестве материала диэлектрического волновода поликора наличие зазора между волноводом и решеткой не приводит к улучшению энергетических характеристик антенны.

Ключевые слова: антенна, вытекающая волна, уровень боковых лепестков, коэффициент полезного действия.

OPTIMIZATION BASED ON MATHEMATICAL MODELING CHARACTERISTICS OF DIELECTRIC LEAKY WAVE ANTENNA

Cherednychenko V. F.
Voronezh State Technical University

Abstract. The optimization of the dielectric characteristics of the leaky wave antennas. Set the lattice spacing, providing small level of maximum side-lobe. It is established that, when used as the material of the dielectric waveguide polycor a gap between the waveguide and the grating does not improve the energy characteristics of the antenna.

Key words: antenna, leaky waves, sidelobe level, efficiency.

В последние годы в системах связи находят широкое применение радиоволны миллиметрового диапазона. Эффективная работа таких систем невозможна без антенн, в том числе ортонаправленных для приемных станций [1].

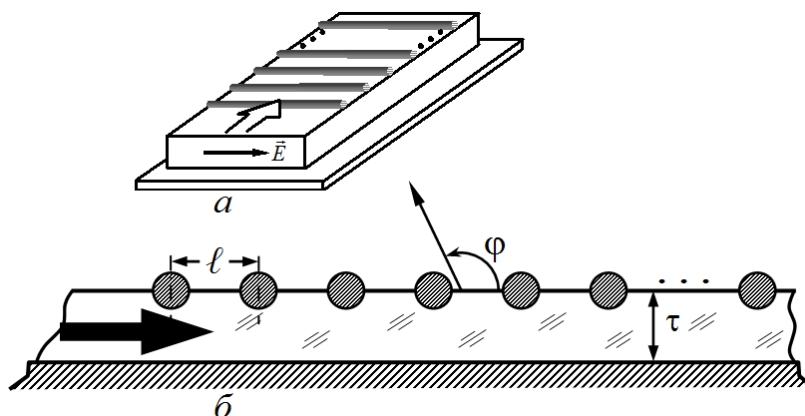
Одной из важнейших особенностей микроволновой техники миллиметрового диапазона является высокий коэффициент полезного действия (КПД) открытых излучающих линий передачи [1-3]. Это свойство открытых линий передачи позволяет создавать на их основе эффективные антенны вытекающей волны, принцип действия которых основан на преобразовании поверхностных волн линии в объемные волны на периодических решетках [4-7].

В статье рассматривается описанная в [7] антенна вытекающей волны, принцип работы которой основан на преобразовании поверхностной замед-

ленной волны планарного диэлектрического волновода в объемную волну с помощью периодической дифракционной решетки проводников (рисунок 1,а), шаг следования которых соизмерим с длиной излучаемой объемной волны. Шаг дифракционной решетки является важнейшим параметром раскрыва, определяющим излучающие свойства антенны вытекающей волны. Применительно к реализации раскрыва на основе решетки проводников исследование зависимости основных характеристик антенны от шага решетки в миллиметровом диапазоне выполнено в работе [8].

Для формализации решения дифракционной задачи использована двумерная модель, частично показанная на рисунке 1,б. Диэлектрическая пластина толщиной τ с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ размещена на проводящем основании.

Рис. 1. Излучающий раскрыв антенны (а) и его модель (б)



Непосредственно на поверхности диэлектрической пластины расположена эквидистантная решетка из N проводников в форме тонких металлических стержней малого радиуса (по сравнению с длиной волны λ в свободном пространстве), разнесенных друг относительно друга с шагом ℓ . В предположении, что на решетку проводников перпендикулярно направлению их регулярности набегают поверхностная замедленная H -волна с единственной отличной от нуля поперечной E -компонентой (рисунок 1,а), расчет рассеянного решеткой поля сводится к системе линейных алгебраических уравнений относительно комплексных амплитуд токов в проводниках. В работе [7] такая система уравнений получена с использованием двумерной интегральной модифицированной функции Грина, описывающей отраженное от диэлектрической пластины поле.

Исследование характеристик антенны в миллиметровом диапазоне при $\lambda = 7.14$ мм, показывает, что для реализации малого уровня бокового излучения шаг решетки следует взять из интервала 3...3.3 мм. Численная оптимизация методом последовательного поиска позволила выявить шаг $\ell = 3.12$ мм, при котором обеспечивается наименьший уровень бокового излучения – "минус" 17.5 дБ. На рисунках 2,а и б приведена в декартовой и полярной системе координат диаграмма направленности (ДН) антенны, полученная для шага решетки $\ell = 3.12$ мм (длина решетки составляет 156 мм), $\epsilon = 9.8$ (поликор), $\tau = 1.43$ мм (по-

ловина длины волны в волноводе с учетом его диэлектрической проницаемости). Направление максимума ДН – 84.2 градусов (отклонение от нормали 5.8 градусов), ширина основного лепестка ДН по уровню "минус" 3 дБ – 3.4 градуса, коэффициент стоячей волны – 1.80, КПД антенны – 91.2%, коэффициент использования поверхности (КИП) раскрыва – 53.5%, полная эффективность антенны (произведение КПД на КИП [9]) – 48.8%.

Одним из важных геометрических параметров антенного полотна, показанного в разрезе на рисунке 1,б, является расстояние (зазор) между решеткой и диэлектрической пластиной d . В работах [7,8] этот параметр полагался равным нулю. Нулевой зазор между решеткой и диэлектрическим волноводом как бы предпочтителен с технологической точки зрения. Действительно, гораздо удобнее размещать элементы решетки непосредственно на поверхности диэлектрика, нежели на некотором расстоянии. Однако если решетку проводников реализовывать как решетку широких щелей в металлическом экране, обладающем определенной механической прочностью, то технологически несложно обеспечить зазор требуемой величины между решеткой и диэлектрическим волноводом, причем, в общем случае, неравномерный – для обеспечения оптимального амплитудного распределения в раскрыве.

Пусть величина зазора отлична от нуля. Исследование влияния величины зазора на характеристики излучения антенны проводилось для шага

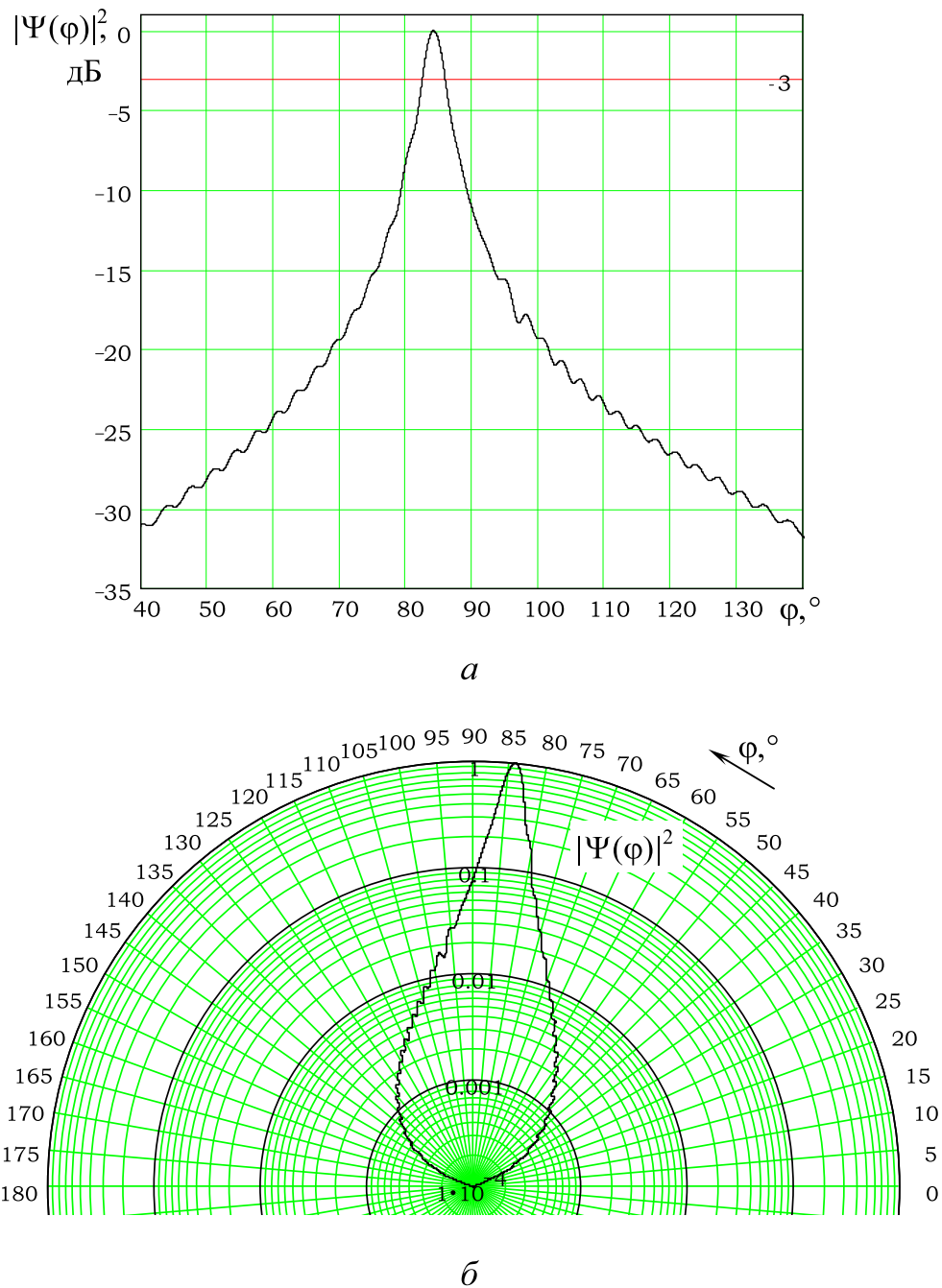


Рис. 2. ДН антенны с малым уровнем бокового излучения

решетки, равного 2.79 мм. Методом последовательного поиска установлено, что с увеличением величины зазора наблюдается рост КИП раскрыва, однако, КПД антенны при этом существенно снижается. Так,

при увеличении зазора до 0.25 мм КИП раскрыва возрастает от 83.2% до 94.4%, а КПД антенны снижается от 93.7% до 82.1%. Если увеличить величину зазора до 0.5 мм, то КИП возрастает до 99.2%, а КПД

снижается до 58.6%. Существенное падение КПД при увеличении величины зазора объясняется, видимо, тем, что интенсивность поля поверхностной волны вследствие достаточно большой диэлектрической проницаемости материала волновода резко уменьшается при удалении от поверхности волновода.

На рисунках 3,а и б приведена в декартовой и соответственно полярной системе координат ДН антенны, полученная для зазора $d = 0.25$ мм при шаге решетки $\ell = 2.79$ мм. Направление максимума ДН – 96.5 градусов (отклонение от нормали 6.5 градусов), ширина основного лепестка ДН по уровню “минус” 3

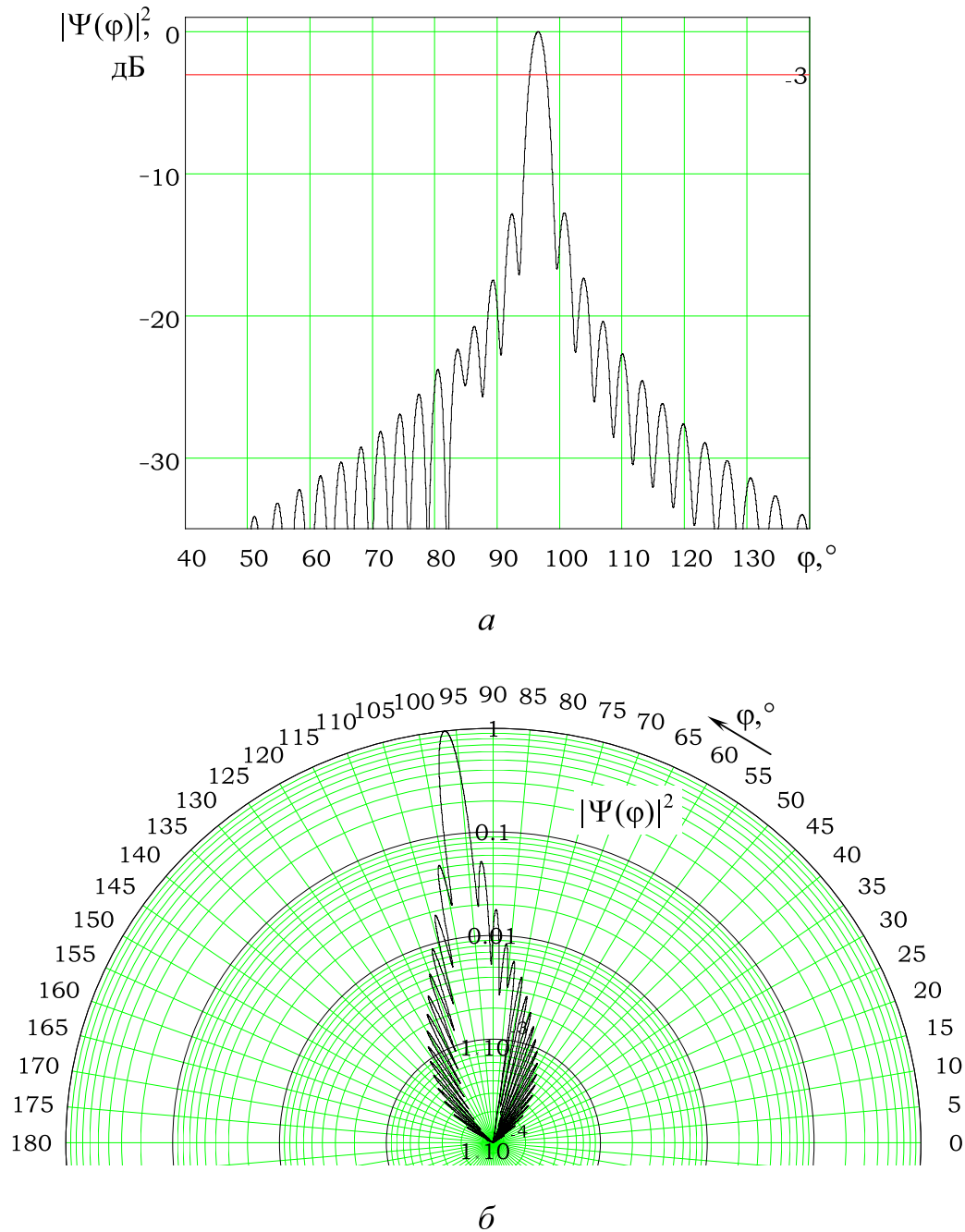


Рис. 3. ДН антенны с ненулевым зазором

дБ – 2.7 градуса, максимальный уровень боковых лепестков ДН – “минус” 12.8 дБ, коэффициент стоячей волны – 1.19, КПД антенны – 82.1%, КИП раскрыва – 94.4%, полная эффективность антенны – 77.5%.

Таким образом, в результате исследований характеристик излучения диэлектрической антенны вытекающей волны установлено оптимальное значение шага решетки, обеспечивающее относительно малый уровень максимальных боковых лепестков ДН. Так, для реализации уровня бокового излучения “минус” 17.5 дБ шаг решетки следует взять равным

$\ell \approx 0.437\lambda$, однако, при этом полная эффективность антенны не превышает 48.8%. Установлено, что при использовании в качестве материала диэлектрического волновода поликора наличие зазора между волноводом и решеткой не приводит к улучшению энергетических характеристик, а поэтому нежелательно. Рекомендуемое значение зазора – нулевое, что весьма предпочтительно с технологической точки зрения, а обеспечивать оптимальное амплитудное распределение по длине раскрыва следует за счет изменения ширины щелей (проводников в виде лент) или шага решетки [10].

Список литературы

1. Сборник докладов по тематике “Электродинамика, распространение радиоволн, антенны. Техника СВЧ” [Электронный ресурс]: международная научно-техническая конференция “Радиолокация, навигация, связь”: за период 2002 г. - 2013 г. Воронеж, 2014.
2. Шестопапов, В. П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т. 1. Открытые структуры / В. П. Шестопапов. - Киев: Наукова думка, 1985. - 216 с.
3. Угло-частотная фильтрация линейно поляризованного излучения при приеме СВЧ сигнала / А. И. Климов, А. В. Останков, Ю. Г. Пастернак, В. И. Юдин // Радиотехника. - 1998. - №6. - С. 70-72.
4. Евдокимов, А. П. Антенны дифракционного излучения / А. П. Евдокимов // Физические основы приборостроения. - 2013. - Т. 2. - №1. - С. 108-124.
5. Останков, А. В. Ретроспективный анализ возможностей, конструкций и основных характеристик дифракционных антенн вытекающей волны / А. В. Останков // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2010. - Т. 6. - №8. - С. 75-81.
6. Плоские дифракционные СВЧ-антенны с фиксированной ориентацией линейной поляризации / А. И. Климов, К. Б. Меркулов, А. В. Останков и др. // Приборы и техника эксперимента. - 1999. - №6. - С. 136.
7. Калиничев, В. И. Дифракция поверхностных волн на решетке металлических стержней и анализ диэлектрической антенны вытекающей волны / В. И. Калиничев, Ю. В. Куранов // Радиотехника и электроника. - 1991. - Т. 36. - №10. - С. 1902-1909.
8. Чередниченко, В. Ф. Расчет оптимального шага дифракционной решетки в составе излучающего раскрыва антенны вытекающей волны миллиметрового диапазона / В. Ф. Чередниченко // Современные научные исследования и инновации. - Июль 2014. - №7 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/07/36583> (дата обращения: 04.11.2014).
9. Останков, А. В. Электродинамические модели резонансных гребенчатых структур для анализа и синтеза высокоэффективных дифракционных антенн: дисс. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук / А. В. Останков. - Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГТУ, 2011. - 415 с.
10. Останков, А. В. Оптимизация направленных свойств линейных неэквидистантных антенных решеток / А. В. Останков, И. А. Кирпичева // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - №4. - С. 8-11.