

электролита и электроэкстракцию с получением компактного цинка. Сквозное извлечение цинка через все этапы технологии составляет 80,26 %.

#### Список литературы

- 1 Тарасов А.В. Металлургическая переработка вторичного цинкового сырья [Текст] / А.В. Тарасов, А.Д. Бессер, В.И. Мальцев. – Москва: Гинцветмет, 2004. – 219 с.
- 2 Chairaksa R. Development of new EAF dust treatment process with CaO addition method [Text] : dissertation of Doctor PHD / R. Chairaksa. – Sendai, 2012. –153 с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ ЛЮНЕБЕРГА

*Коротков А. Н., Мительман Ю. Е.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

[diz.tauren@mail.ru](mailto:diz.tauren@mail.ru), [y.e.mitelman@urfu.ru](mailto:y.e.mitelman@urfu.ru)

**Аннотация.** В работе рассматривается вопрос моделирования и проектирования цилиндрической линзы Люнеберга из однородного диэлектрика с постоянным значением диэлектрической проницаемости. Получены конструкции имитирующие шестислойную структуру линзы. Получена аппроксимирующая функция, позволяющая получить плавное изменение эффективной диэлектрической проницаемости, за счет частичного заполнения пространства между экранами диэлектриком.

**Ключевые слова:** цилиндрическая линза Люнеберга, частичное заполнение диэлектриком, аппроксимирующий закон, моделирование.

## DESIGNING LUNEBERG CYLINDRICAL LENS

*Korotkov A., Mitelman Y.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

**Abstract.** In the paper, the problem of modeling and designing a cylindrical Luneberg lens from a homogeneous dielectric with a constant value of the dielectric constant is considered. The constructions imitating the six-layered structure of the lens

are obtained. An approximating function has been obtained that makes it possible to obtain a smooth change in the effective permittivity due to the partial filling of the space between the dielectric screens.

**Key words:** cylindrical Luneberg lens, partial filling with dielectric, approximating law, modeling.

В настоящее время в радиолокационных и телекоммуникационных комплексах все чаще применяются многолучевые и сканирующие антенные системы, позволяющие расширить возможности существующих систем и являются важной частью разрабатываемых телекоммуникационных систем нового поколения. В качестве такой антенной системы, имеющей простую схему управления лучами, можно использовать линзу Лüneберга [1, 2].

Тип диаграммы направленности, получаемый при использовании линзы Лüneберга, зависит от ее геометрии: у сферической линзы это игольчатая ДН, у цилиндрической – веерная. Эффект концентрации поля линзой Лüneберга наблюдается при определенном законе изменения коэффициента преломления в радиальном направлении, который в свою очередь связан с диэлектрической проницаемостью материала. Данный закон был описан математиком Рудольфом Карлом Лüneбергом еще в 1944 году [3].

Как отмечалось ранее Карл Лüneберг предложил закон, описывающий линзу Лüneберга еще в 1944 году [3]. Предложенная им конструкция за счет радиально-неоднородной среды позволяет сконцентрировать поле, излучаемое от слабонаправленного источника в требуемом направлении. Показатель преломления в этой линзе изменяется от  $\sqrt{2}$  в центре, до единицы на краю, по закону:

$$n(r) = \sqrt{\varepsilon'(r)} = \sqrt{2 - (r/a)^2}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon'$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала линзы;  $r$  – радиальная координата в сферической или цилиндрической системе координат;  $a$  – внешний радиус линзы.

Создать диэлектрик, у которого бы плавно изменялось значение диэлектрической проницаемости согласно закону (1) достаточно проблематично. По этой причине, с целью удешевления производства и упрощения конструкции, непрерывный закон заменяют ступенчатым, разбивая структуру линзы на слои с заданным значением диэлектрической проницаемости.

В данной работе было решено использовать разбиение линзы на шесть слоев с равным шагом по диэлектрической проницаемости ее параметры в

таблице

Таблица 1 – Параметры слоев

Параметры	Номер слоя					
	1	2	3	4	5	6
Радиус слоя относительный	0,41	0,58	0,71	0,82	0,91	1
Относительная диэлектрическая проницаемость слоя, $\epsilon$	1,96	1,76	1,59	1,42	1,26	1,09

С целью замены многослойной линзы на линзу из однородного материала с имитацией такого же количества слоев было рассмотрено частичное заполнение слоя диэлектрика. То есть в слое из однородного диэлектрика делаются отверстия, канавки или усечение (высота диэлектрика с одного края выше, чем с противоположного) с целью получения эффективной диэлектрической проницаемости данного слоя близкой к требуемой. Кроме того, цилиндрическая линза с торцов ограничена проводящими экранами. От модели к модели неизменными остаются высота и радиус линзы Лüneберга, а также центральная частота. Средой для электромагнитного моделирования был выбран пакет ANSYS Electronics Desktop.

Были созданы четыре полноразмерные модели цилиндрической линзы Лüneберга разной конструкции, высота которых была 10 мм, а радиус 237 мм. Радиусы слоев с первого до шестого составили 60, 111, 150, 183, 210, 237 мм соответственно, отсчет велся от центра линзы. В качестве облучателя использовался волновод сечением 80 на 10 мм. Анализ проводился на частоте 3 ГГц.

На рисунке 1 показаны модели цилиндрических линз Лüneберга. Рисунок 2 показывает получившиеся нормированные диаграммы направленности четырех рассмотренных конструкций в азимутальной плоскости.

Из данных таблицы 2 видно, что все рассмотренные нами конструкции обладают схожими характеристиками. Дальнейшую работу было решено продолжить с вариантом линзы Лüneберга напоминающим пирамиду, обладающим одним из наибольших коэффициентов усиления и достаточно низким уровнем боковых лепестков. Кроме того, данная конструкция проста в изготовлении с точки зрения технологии.

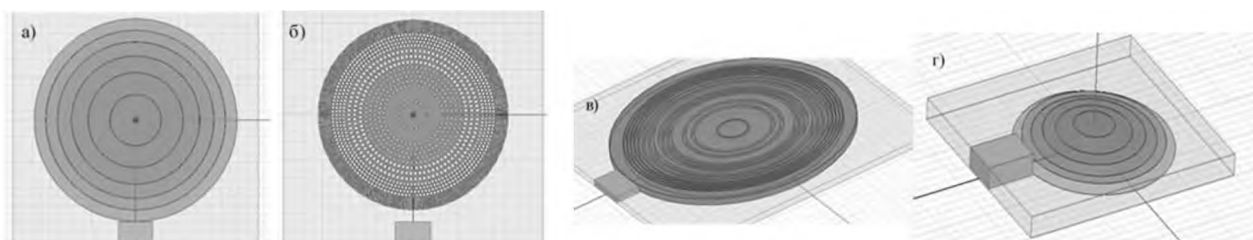


Рисунок 1 – Модели цилиндрической линзы Лунеберга (*a* – шестислойная линза, имитирующие шестислойную структуру модели из однородного диэлектрика: *б* – линза с отверстиями, *в* – линза с канавками, *г* – линза со скосами в каждом слое складывающиеся в пирамиду)

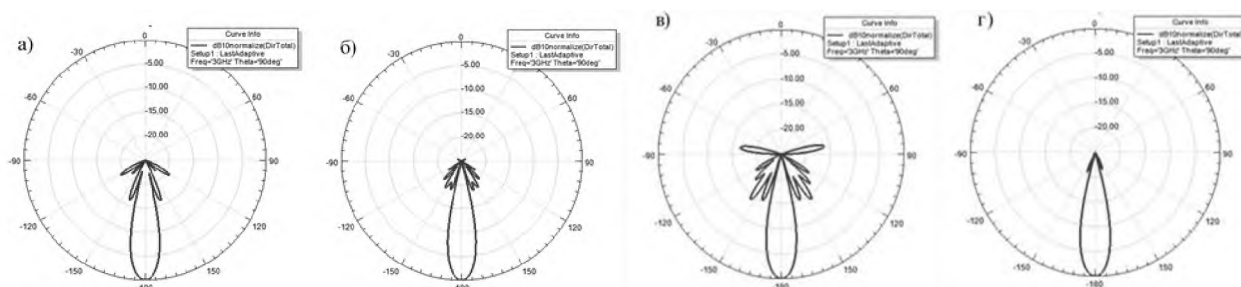


Рисунок 2 – Нормированная цилиндрической линзы Лунеберга в азимутальной плоскости (*a* – шестислойная линза, имитирующие шестислойную структуру модели из однородного диэлектрика: *б* – линза с отверстиями, *в* – линза с канавками, *г* – линза со скосами в каждом слое складывающиеся в пирамиду)

Таблица 2 – Сравнение антенных характеристик рассмотренных конструкций цилиндрической линзы Лунеберга

Конструкция линзы	Усиление, дБ	УБЛ, дБ	Ширина ДН по уровню -3 дБ, °
Шестислойная линза	7,16	-15,97	13,19
Линза цилиндрическими отверстиями	7,48	-18,38	13,36
Линза с канавками	7,46	-14,08	13,14
Пирамидальная линза	7,47	-16,08	13,21

Рассмотренный в первом разделе закон изменения коэффициента преломления (1), является классическим. Для данного закона точка фокуса (точка источника) должна находится на поверхности линзы, иначе теряются ее фокусирующие свойства. Тем не менее данный закон можно модернизировать, включив в него положение точки фокуса облучателя, что даст нам возможность передвигая ее менять значение диэлектрической проницаемости в центре линзы:

$$n(r) = \sqrt{\varepsilon'(r)} = \frac{1}{f} \sqrt{1 + f^2 - (r/a)^2}, \quad (2)$$

где  $f$  – нормированная точка фокуса получаема из выражения  $f = \frac{f_p}{a}$ ;  $f_p$  – это расстояние от центра линзы до точки источника.

Используя закон (2) и знание того, что диэлектрическая проницаемость пластиков, используемых в 3-D печати, находится в пределах от 2,5–2,7. Можно задать, что в центре такой линзы диэлектрическая проницаемость равняется 2,7 и получить, что точка фокуса облучателя сместится с поверхности внутрь линзы и ее положение будет равно  $0,77a$ . Была посчитана шестислойная структура линзы, у которой значения относительного радиуса остались прежними, а изменилась лишь значение диэлектрической проницаемости слоев от центра к краю 2,62; 2,29; 2,00; 1,71; 1,43; 1,15.

Задача, вставшая перед нами получить такую конструкцию, которая бы позволяла плавно изменять эффективную диэлектрическую проницаемость вдоль радиальной координаты линзы согласно закону (2).

Для решения поставленной задачи необходимо получить аппроксимирующую функцию, позволяющую описать взаимосвязь эффективной диэлектрической проницаемости в каком-то конкретном сечении линзы и высоту диэлектрика, заполняющего часть пространства между экранами. Подобрал аппроксимирующую функцию этой взаимосвязи можно создать модель линзы, чья поверхность будет повторять этот закон. Нами была получена следующая аппроксимирующая функция:

$$f(x) = -2,77 \cdot x^7 + 2,04 \cdot x^6 + 1,82 \cdot x^5 + 0,75 \cdot x^4 - 2,4 \cdot x^3 - 0,11 \cdot x^2 + 0,08 \cdot x + 0,6 + 0,25 \cdot \arctg(0,002 \cdot x^{-5,16}) \quad (3)$$

По полученной функции была задана кривая, а потом получена поверхность, из которой в дальнейшем и объемный объект. У данного объекта была задана диэлектрическая проницаемость 2,7, сверху и снизу заданы экраны. В таблице 3 представлены результаты моделирования шестислойной цилиндрической линзы Люнеберга с смещенной точкой фокуса внутрь и результаты для линзы полученной по аппроксимирующей функции.

Таблица 3 – Результаты моделирования (на частоте 5,5 ГГц)

Конструкция	КНД, дБ	Ширина главного лепестка по - 3 дБ, °	УБЛ, дБ	КСВ
Шестислойная линз сплошные слои	14,85	4,23	-12,6	2
Аппроксимированная линза	14,70	9,39	-10,67	1,5

В ходе проделанной работы:

а) было исследовано несколько способов имитации структуры линзы Люнеберга. Показана работоспособность моделей таких линзовых антенн;

б) было рассмотрено два закона изменения коэффициента преломления (1) и (2), а также получены радиальные структуры линз из шести слоев для каждого из рассмотренных законов;

в) получена универсальная аппроксимирующая функция, позволившая получить плавный закон изменения эффективной диэлектрической проницаемости.

#### Список литературы

1. Конструкции антенн на основе линзы Люнебурга [Офиц. сайт] URL: <http://farragsat.meximas.com/homearab.html> (дата обращения: 25.05.2018)
2. Volakis J.L. Antenna engineering handbook / Volakis J.L. – McGraw Hill, 2007. – 1755 p.
3. Luneburg R.K. The mathematical theory of optics / Luneburg R.K. – Providence, RI: Brown Univ. Press., 1944. – 478 p.

## СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПОИСКА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРОННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ КАРТЕ ДЛЯ ПОМОЩИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ ВРАЧОМ

*Хрушков А.Е.*

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

[Deagle1@mail.ru](mailto:Deagle1@mail.ru)

**Аннотация.** Данная статья посвящена проблеме работы с электронными медицинскими картами. Так же предложен путь решения данной проблемы, путем реализации программного продукта для работы с данными и дальнейшей визуализации.