

**Сосунов А.М.<sup>1</sup>, Платонов Р.А.<sup>1,2</sup>, Алтынников А.Г.<sup>1,2</sup>,  
Ястребов А.В.<sup>1</sup>, Медведева В.М.<sup>1</sup>, Трофимов П.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ»

<sup>2</sup>Дагестанский государственный университет народного хозяйства

## **Диэлектрическая линза с градиентным изменением эффективной диэлектрической проницаемости на основе технологии трехмерной печати**

*Представлены результаты моделирования диэлектрической линзы с плоским геометрическим профилем на основе технологии трехмерной печати. Аппроксимация электрической толщины линзы осуществлялась за счет перфорации апертуры линзы с периодом  $\sim \lambda_0/3$ . Результаты моделирования демонстрируют коэффициент направленного действия линзовой антенны  $\sim 18$  дБи.*

**Ключевые слова:** Линзовые антенны, трехмерная печать

Диэлектрические линзы являются хорошо зарекомендовавшим себя компонентом антенной техники СВЧ диапазона, позволяющим преобразовывать фазовый фронт волны для увеличения направленности излучения. Антенные системы на основе диэлектрических линз характеризуются высоким коэффициентом направленного действия, низкими потерями и широкой полосой рабочих частот. Однако основным недостатком классических диэлектрических линз являются габариты и сложный геометрический профиль, что ограничивает их применение. Последние годы ряд исследований посвящен созданию линз на основе метаповерхностей [1], поперечно-периодических структур на основе частотно-селективных поверхностей [2] и сочетании различных диэлектриков [3]. Отличительной особенностью подобных решений является плоский профиль линзоподобных устройств, что значительно упрощает антенную систему, без значительного ухудшения основных характеристик.

Широкое распространение технологии трехмерной печати, открывает новые возможности для прототипирования и проектирования объемных диэлектрических элементов сложного профиля. В данной работе показана возможность применения технологии трехмерной печати для проектирования диэлектрических линз плоского профиля. Принцип действия диэлектрических линз с плоским профилем основан на ступенчатом изменении диэлектрической проницаемости материала линзы в плоскости апертуры. На Рисунке 1а показан профиль классической диэлектрической линзы и соответствующее ей распределение электрической длины вдоль апертуры. Под электрической длиной понимается соотношение  $(2\pi t(r)/\lambda_m)$ , где  $t$  – толщина линзы,  $r$  – координата вдоль апертуры линзы,  $\lambda_m$  – длина волны в материале линзы. На Рисунке 2б показан профиль изменения электрической длины линзы с плоским профилем, ступенчатая аппроксимация возможна за счет изменения эффективной диэлектрической проницаемости линзы.

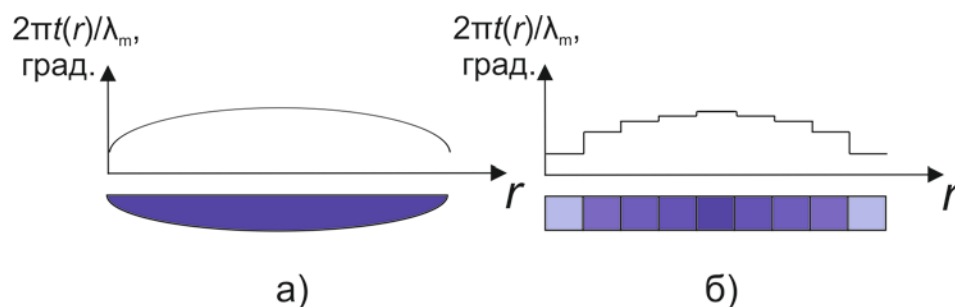


Рис. 1. Профиль электрической толщины классической диэлектрической линзы – а), линзы с плоским профилем – б).

Для расчета электрического профиля линзовой антенны на основе пластиков используемых в трехмерной печати (в частности PLA, ABS), были определены значения диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь. Из изготовленных образцов пластика были сформированы плоскопараллельные конденсаторы (см. рис.2), измерение емкости производилось на измерителе LCR E7-12 на частоте 1 МГц. Усредненные результаты измерений приведены в таблице 1.



Рис.2. Образцы плоскопараллельных конденсаторов на основе пластиков ABS и PLA.

Таблица 1. Результаты измерений конденсаторов.

	$\epsilon$	$\text{tg}\delta$
ABS	$\sim 3$	0.0074
PLA	$\sim 2.9$	0.0051

Расчет электрического профиля линзы производился по классической методике [4]. Для формирования линзы с плоским профилем изменение эффективной диэлектрической проницаемости линзы осуществлялось за счет перфорирования апертуры линзы. Для определения соотношения изменения эффективной диэлектрической проницаемости элемента линзы и коэффициента заполнения, был использован математический аппарат электромагнитного моделирования на основе метода конечных элементов. Модель представляет собой ТЕМ-волновод с фрагментом перфорированного диэлектрика с

электрофизическими характеристиками PLA пластика, при моделировании использовались периодические граничные условия Флоке (см. рис. 3а). Поперечные размеры ячейки соответствуют  $\lambda_0/3$ , где  $\lambda_0$  – центральная длина волны в свободном пространстве рабочего диапазона линзы. На основе, полученных в результате моделирования, соотношений фазы проходящей через ячейку волны в зависимости от диаметра отверстия перфорации был аппроксимирован ступенчатой функцией электрический профиль линзы (см. рис.3б). Классическая диэлектрическая линза была рассчитана на рабочей частоте 8,33 ГГц, при размере апертуры 168 мм с фокусным расстоянием  $\sim 160$  мм. На рисунке 4 представлены результаты моделирования диаграммы направленности рассчитанной перфорированной линзы с плоским профилем.

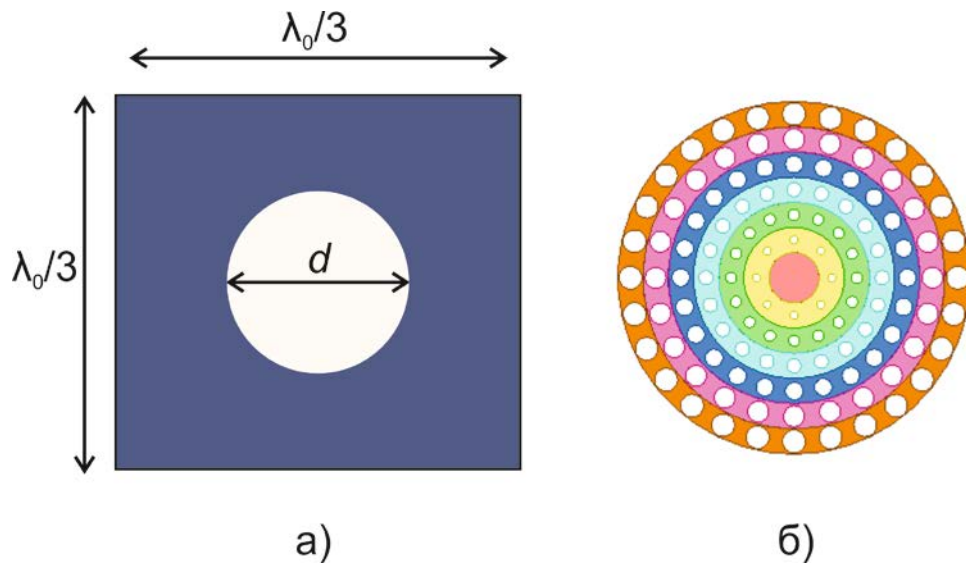


Рис. 3. Модель ячейки Флоке для определения эффективной диэлектрической проницаемости – а) и модель перфорированной линзы с плоским профилем – б).

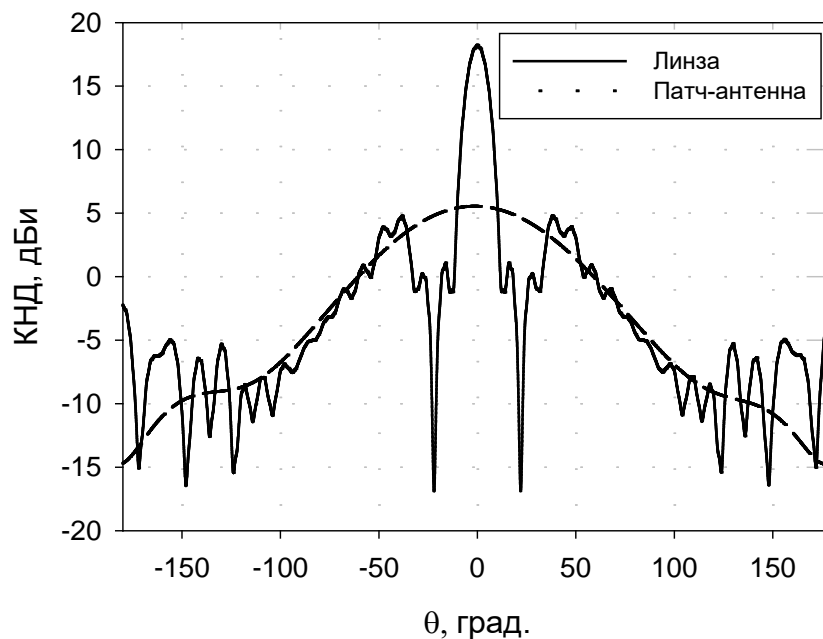


Рис. 4. Результаты моделирования коэффициента направленного действия перфорированной линзы с плоским профилем.

В качестве первичного излучателя использовалась патч-антенна. Уровень боковых лепестков обусловлен «переливом» и может быть снижен за счет оптимизации фокусного расстояния и параметров первичного излучателя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.608.21.0002 от 27.10.2015 (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60815X0002).

#### Библиографический список

1. Chen H. T., Taylor A. J., Yu N. A review of metasurfaces: physics and applications //Reports on Progress in Physics. – 2016. – Т. 79. – №. 7. – С. 076401.
2. Abdelrahman A. H., Elsherbeni A. Z., Yang F. Transmission phase limit of multilayer frequency-selective surfaces for transmitarray designs //IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2014. – Т. 62. – №. 2. – С. 690-697.
3. Zhang Y., Hong W., Zhang Y. A beam steerable plane dielectric lens antenna //Antennas & Propagation (ISAP), 2013 Proceedings of the International Symposium on. – IEEE, 2013. – Т. 1. – С. 476-479.
4. Зелкин Е. Г., Петрова Р. А. Линзовые антенны. – Сов. радио, 1974.