

*Антонов Ю.Г., Балландович С.В., Костиков Г.А.,
Кузиков А.А., Любина Л.М., Сугак М.И.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»*

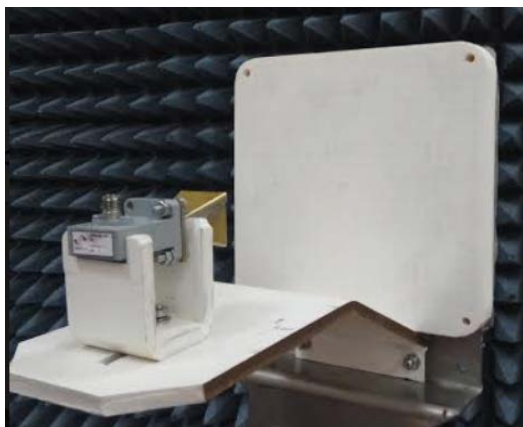
Отражательная антенная решетка мм-диапазона, выполненная с применением технологии 3D печати

Представлены результаты расчета характеристик и экспериментального исследования отражательной антенной решетки (ОАР) мм-диапазона, выполненной с применением технологии 3D печати. Рассмотрены технологические аспекты выполнения такого рода антенн.

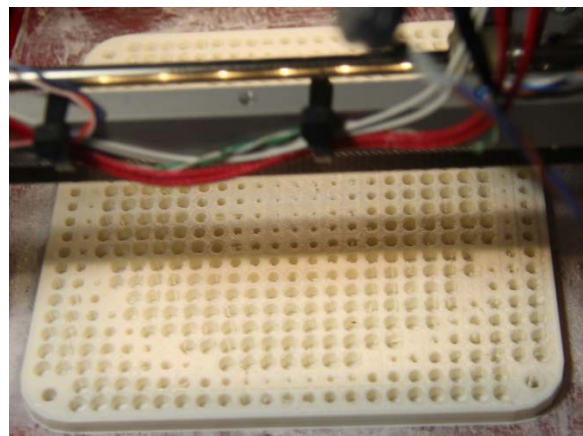
Ключевые слова: отражательная антенная решетка, искусственный диэлектрик, мм-диапазон, 3D печать.

Отражательные антенные решетки (ОАР) в настоящее время широко применяются в системах связи мм-диапазона. Наиболее распространенным способом их практической реализации является печатная технология, вместе с тем разработчики всё чаще используют такие перспективные методы их изготовления как лазерная резка [2], фрезерование [3] или 3D печать [4-5].

В данной работе представлены результаты разработки и экспериментального исследования макета плоской отражательной антенной решетки мм-диапазона, выполненной с применением технологии 3D печати (рис.1а, б).



а



б

Рис.1. Диэлектрическая ОАР а) экспериментальная установка, б) излучающий раскрыв ОАР на рабочем столе 3D принтера.

К преимуществам такого исполнения ОАР можно отнести: оперативность и низкую стоимость изготовления, возможность выполнения излучающего раскрыва с защитным

обтекателем зацело. К недостаткам в настоящее время следует отнести ограниченный ассортимент применяемых материалов и сравнительно невысокое качество их электрических характеристик.

В качестве рабочего материала для изготовления, излучающего раскрыва в исследуемом макете использовался материал ABS, измерения показали, что его диэлектрическая проницаемость на рабочих частотах составила 2.2, а тангенс угла потерь около 0.003.

Для реализации рассматривались несколько типов базовых излучающих элементов – как «открытых» (рис.2а), так и «закрытых» полостей в сплошном диэлектрике (рис.2 б-в), что представляет интерес для выполнения, излучающего раскрыва ОАР и обтекателя как единого целого. В итоге, исходя из особенностей технологии печати, выбор был сделан в пользу варианта, представленного на рис.2а, обладающего «закрытой» структурой и достаточным диапазоном перестройки фазы. Конусообразная структура (рис.2б) из-за избыточного количества диэлектрика не позволила осуществить достаточную перестройку по фазе. Обратная ситуация наблюдалась с элементом, представленным на рис.2в, где максимальный диапазон перестройки достигается в «открытой» структуре.

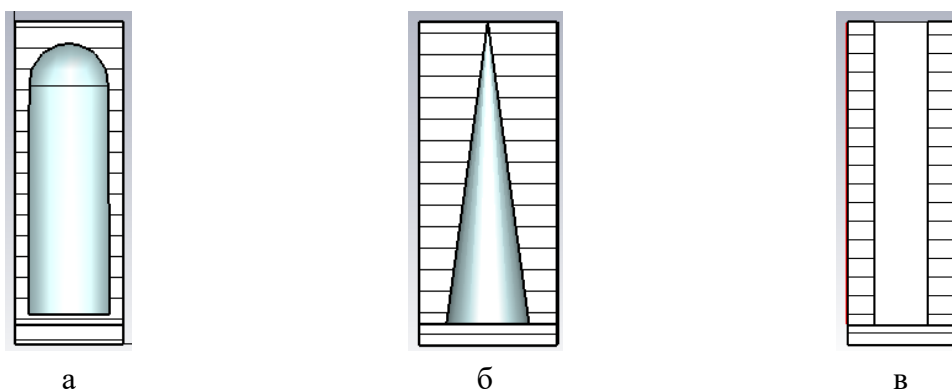


Рис. 2. Сечения различных одиночных элементов ОАР.

При синтезе геометрии конечной ОАР производился учёт углов падения поля облучателя в различные точки раскрыва по методике, описанной в [6]. Соответствующие частотные зависимости фазы отражённого поля приведены на рис.3, здесь параметром является угол падения поля облучателя в диапазоне 0° - 26.5° . Размеры ячейки составили $0.4\lambda \times 0.4\lambda$, толщина диэлектрика – около длины волны в воздухе на частоте проектирования, сетка ОАР – квадратная.

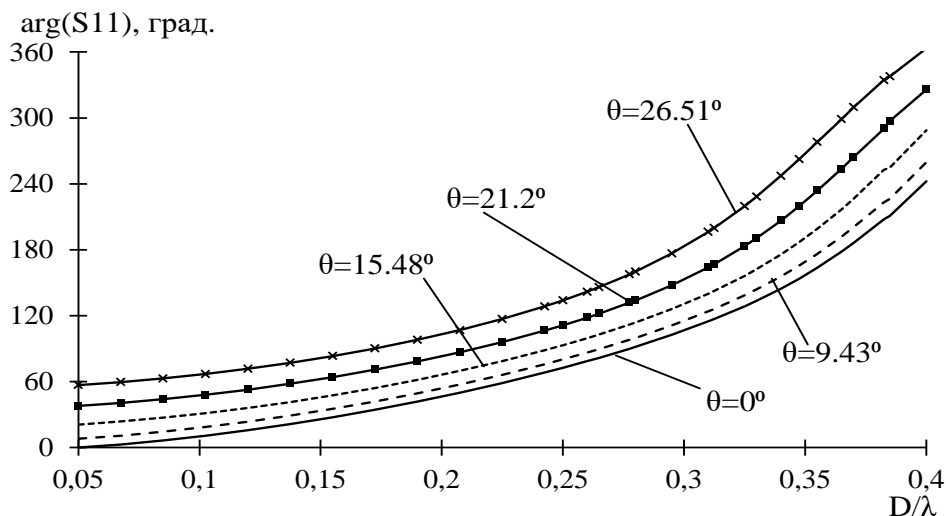


Рис.3. Частотные зависимости фазы отражённого поля, где D – диаметр отверстия.

Вид электродинамической модели, спроектированной прямофокусной диэлектрической ОАР с проводящим экраном приведён на рис.4а, сечение по уровню 0.5λ – на рис.4б. Диаграммы направленности в рабочей полосе частот и экспериментальная частотная зависимость коэффициента усиления (КУ) приведены на рисунках 5, 6.

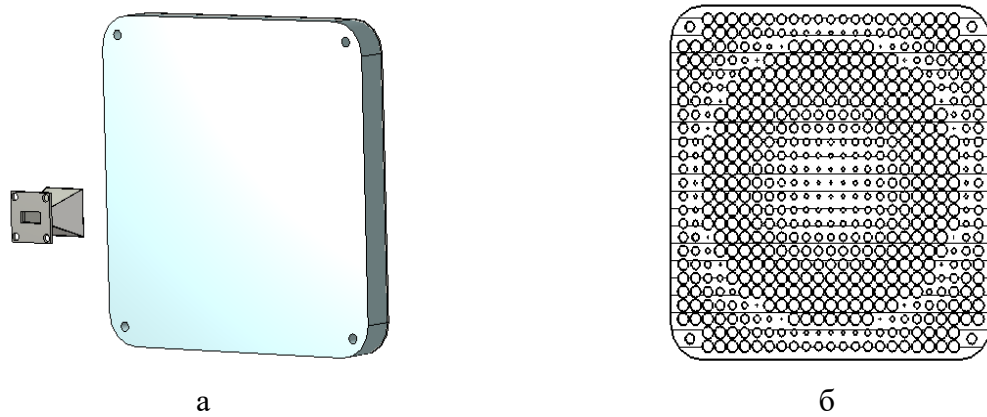


Рис.4. Конечная диэлектрическая ОАР а) вид модели, б) сечение по уровню 0.5λ .

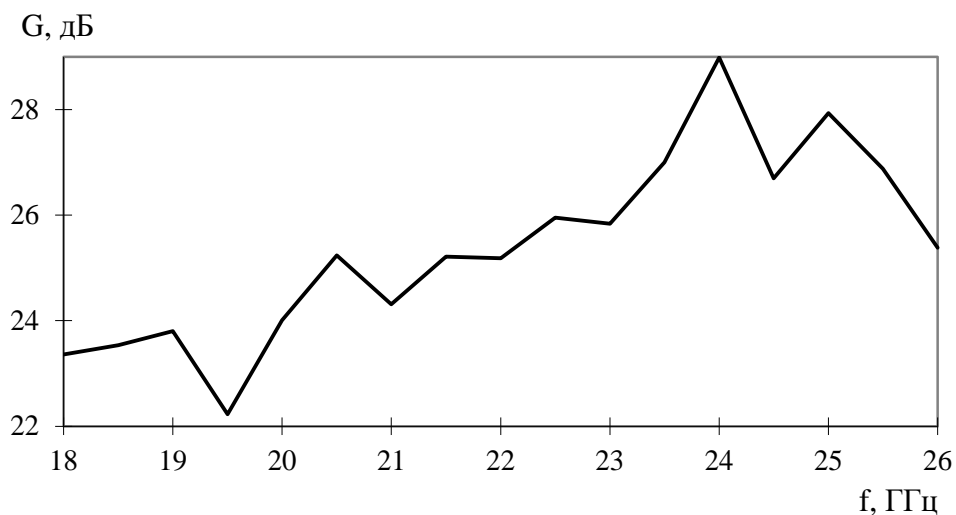


Рис.5 Частотная зависимость коэффициента усиления.

Печать осуществлялась принтером, имеющим рабочую область $190 \times 190 \times 170$ мм с системой подачи нити типа боуден, соплом 0.4 мм. Принтер собран на базе платы RepRap 1.4 под управлением «Arduino mega 2560» с прошивкой «Marlin».

Расчеты показывают, что характеристики такой ОАР удастся заметно улучшить, если перейти к гексагональной сетке расположения элементов с тем же шагом и материалу типа «HIPS», при этом удалось поднять максимальное значение КУ на 1.8 дБ.

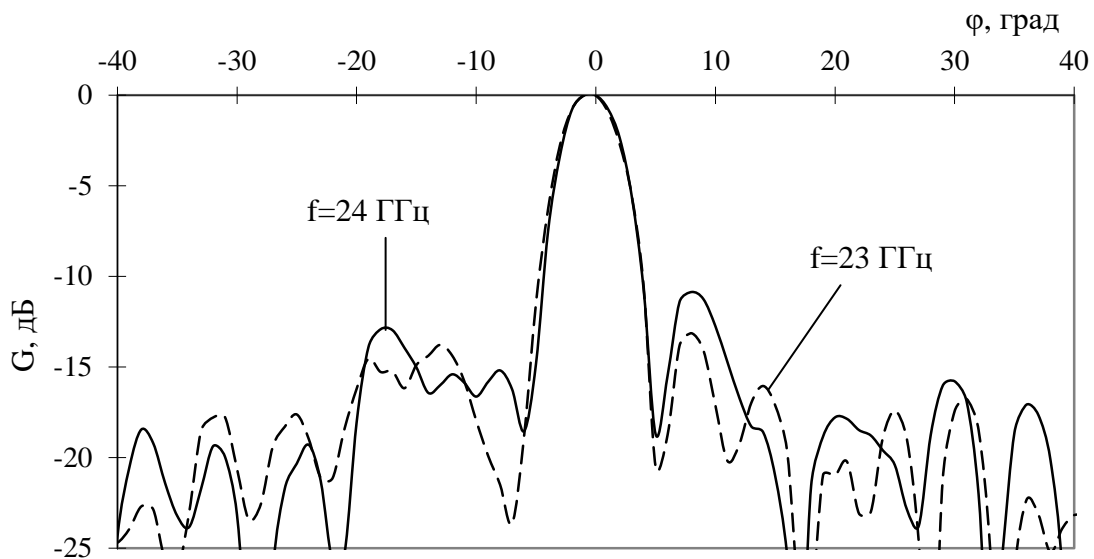


Рис.6. Диаграмма направленности отражательной решетки.

Наблюдается некоторое расхождение результатов численного моделирования и экспериментальных данных, прежде всего в уровне боковых лепестков, что обусловлено «загрязнением» внутренних полостей рабочего раскрыва ОАР каплевыми фрагментами пластика в процессе её изготовления. Как выяснилось в результате приобретенного опыта, эта проблема решается тщательным выбором режима печати.

Библиографический список

1. Payam Nayeri Fan Yang Atef Z. Elsherbeni Reflectarray Antennas: Theory, Designs, and Applications. Wiley. 2018.
2. M. I. Sugak, S. V. Ballandovich, G. A. Kostikov, Y. G. Antonov and L. M. Liubina, "K-band slot reflectarray antennas," 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), Moscow, 2018, pp. 516-520.
3. Антонов Ю. Г., Балландович С. В., Костиков Г. А., Сугак, М. И. Характеристики плоских отражательных антенных решеток, выполненных на основе фрезерованных композитных панелей //Антенны. №10. 2010. С.5-10.
4. H. Yi, S. W. Qu, K. B. Ng, C. H. Chan and X. Bai, "3-D Printed Millimeter-Wave and Terahertz Lenses with Fixed and Frequency Scanned Beam," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 64, no. 2, pp. 442-449, Feb. 2016.
5. W. Lee and Y. J. Yoon, "A Broadband Dual-Metallic-Reflectarray Antenna for Millimeter-Wave Applications," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 856-859, 2017.
6. Ксенич Э.А., Любина Л.М., Сугак М.И. // Сборник трудов 73-й научно-технической конференции НТОРЭС им. Попова, посвященной дню радио. СПб: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2018. (в печати).