

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ТЕМ РУПОРА

Н. А. Богатых

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Статья получена 13 января 2015 г.

Аннотация. В статье проведено исследование и оптимизации нового (полигонального) ТЕМ рупора с целью получения максимального коэффициента использования размера (КИР). Оптимизация проведена с использованием строгого численного решения задачи методом конечных элементов. Приводятся характеристики согласования и излучения оптимизированной антенны.

Ключевые слова: сверхширокополосная антенна, нерегулярный ТЕМ рупор.

Abstract. Design of the novel polygon UWB TEM horn studied and optimized for maximize of effective dimensions in the article. Design obtained by optimizing with the help exact numerical method – Finite Element Method. Numerical modeling of the matching characteristics and radiation of the proposed design is done.

Key words: ultrawideband antenna, UWB, TEM horn, irregular horn.

Введение

В настоящее время много исследований ведется в области сверхширокополосных (СШП) антенн. Одной из наиболее популярных СШП антенн является ТЕМ рупор. Он обладает такими преимуществами, как простота изготовления и высокое усиление. Но эта конструкция не лишена и недостатков, среди которых можно указать на большую электрическую длину. Для уменьшения длины используют нерегулярные ТЕМ рупоры, которые можно разделить на три класса: криволинейные и кусочно-плоские ТЕМ рупоры (нерегулярные в E -плоскости [1-3]), линейно расширяющиеся в E -плоскости ТЕМ рупоры с криволинейной боковой кромкой (нерегулярные в H -плоскости [4-7]) и ТЕМ рупоры нерегулярные в двух плоскостях [8-9].

В данной работе рассматривается задача оптимизации формы кромок ТЕМ рупора, нерегулярного в H -плоскости (рис.1).

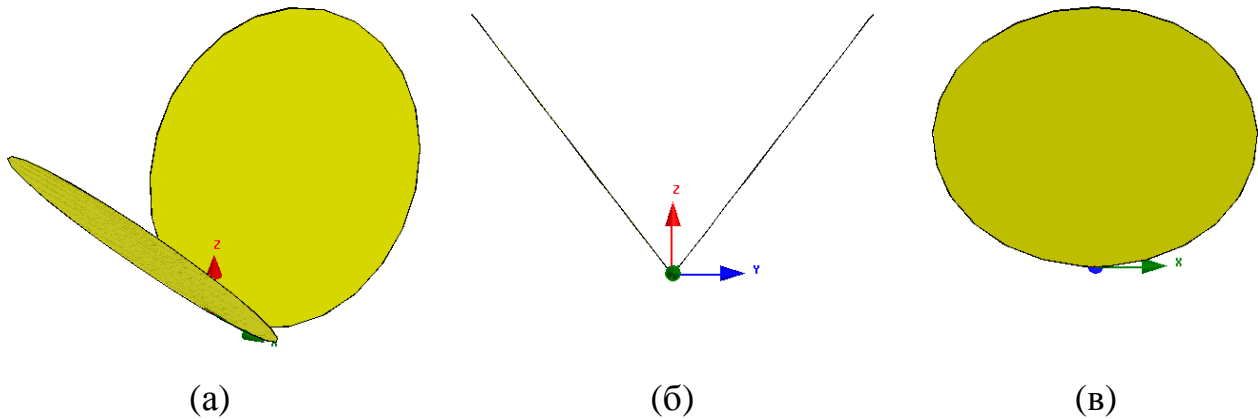


Рис. 1. Геометрия полигонального рупора

(а) изометрия, (б) вид в E -плоскости, (в) вид в H -плоскости

Оптимизация формы пластины ТЕМ рупора

Будем полагать, что угол между пластинами β остается постоянным вдоль всей длины рупора, угол между кромками α изменяется дискретно, т.е. линии боковых кромок является кусочно-ломаными. Будем называть такие антенны полигональными ТЕМ рупорами. Целью оптимизации является максимизация величины коэффициента использования размера (КИР), введенного в работе [10]. Максимизация КИРа соответствует минимизации электрического размера радиуса описанной вокруг антенны сферы (ka) на нижней границе полосы частот по уровню согласования -10 дБ (параметр ka_{low}), где k – волновое число, a – радиус описанной вокруг антенны сферы. Параметрами оптимизации являются углы между соседними отрезками кусочно-ломаной кромки. Число таких отрезков выберем равным 13, а их длины будем полагать равными. Оптимизацию проведем квазиньютоновским методом.

Разработка аналитической модели в этом случае вызывает определенные трудности, которые связаны с тем, что из-за неизвестного распределения электромагнитного поля между стенками рупора сложно оценить влияние их геометрии на коэффициент отражения. Поэтому будем использовать для

нахождения формы кромок численную оптимизацию с использованием метода конечных элементов (МКЭ) для вычисления коэффициента отражения.

В результате оптимизации было получено, что форма кромки стенок рупора имеет форму, близкую к многоугольнику, вписанному в круг (см. рис. 1). При этом оптимальная величина угла β между пластинами рупора оказалось равна 75° .

Характеристики оптимизированного рупора

Для оптимизированной антенны с $a = 15$ см вычислим характеристики согласования и излучения с использованием МКЭ.

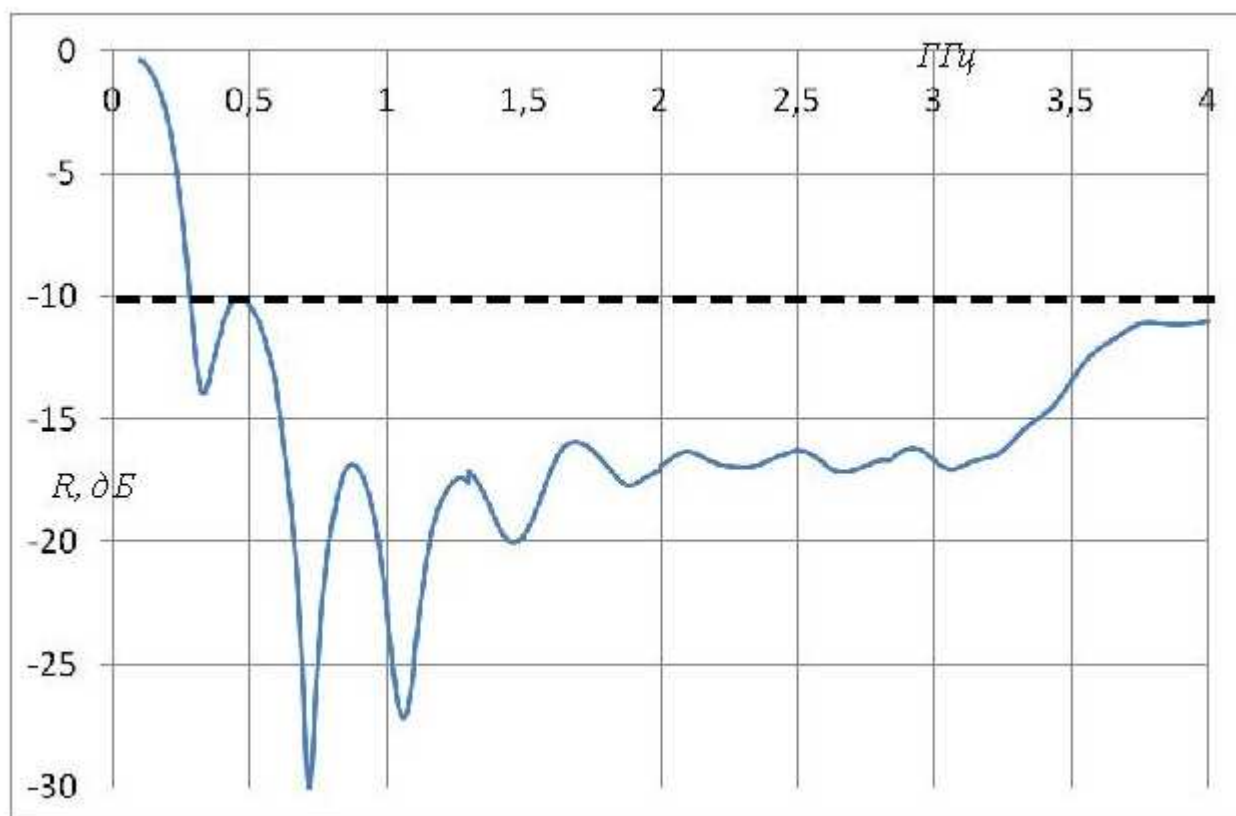


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента отражения
полигонального рупора

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента отражения от частоты. Сплошная линия обозначает график этой зависимости, прямой штриховой линией отмечен уровень согласования -10 дБ.

Из графика, представленного на рис. 2, можно видеть, что нижняя

граница полосы согласования по уровню -10 дБ равна 0.282 ГГц. При этом параметр ka_{low} равен 0.8 , а параметр КИР, соответственно, имеет значение 0.67 . Верхняя граница полосы согласования по уровню -10 дБ составляет более 4 ГГц, т.е. ширина полосы согласования составляет более $1:15$.

На рис. 3 и 4 представлены диаграммы направленности для полигональной рупорной антенны на различных частотах.

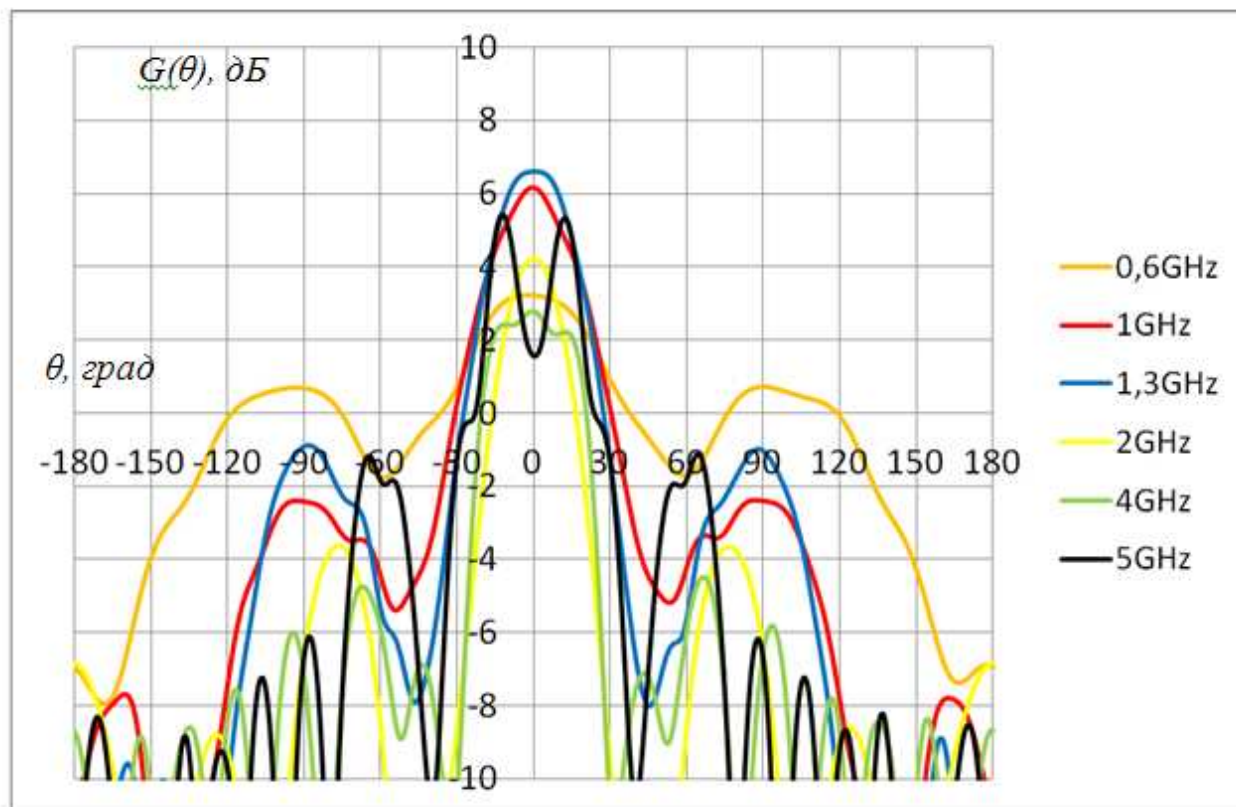


Рис. 3. Диаграммы направленности полигональной рупорной антенны в E -плоскости

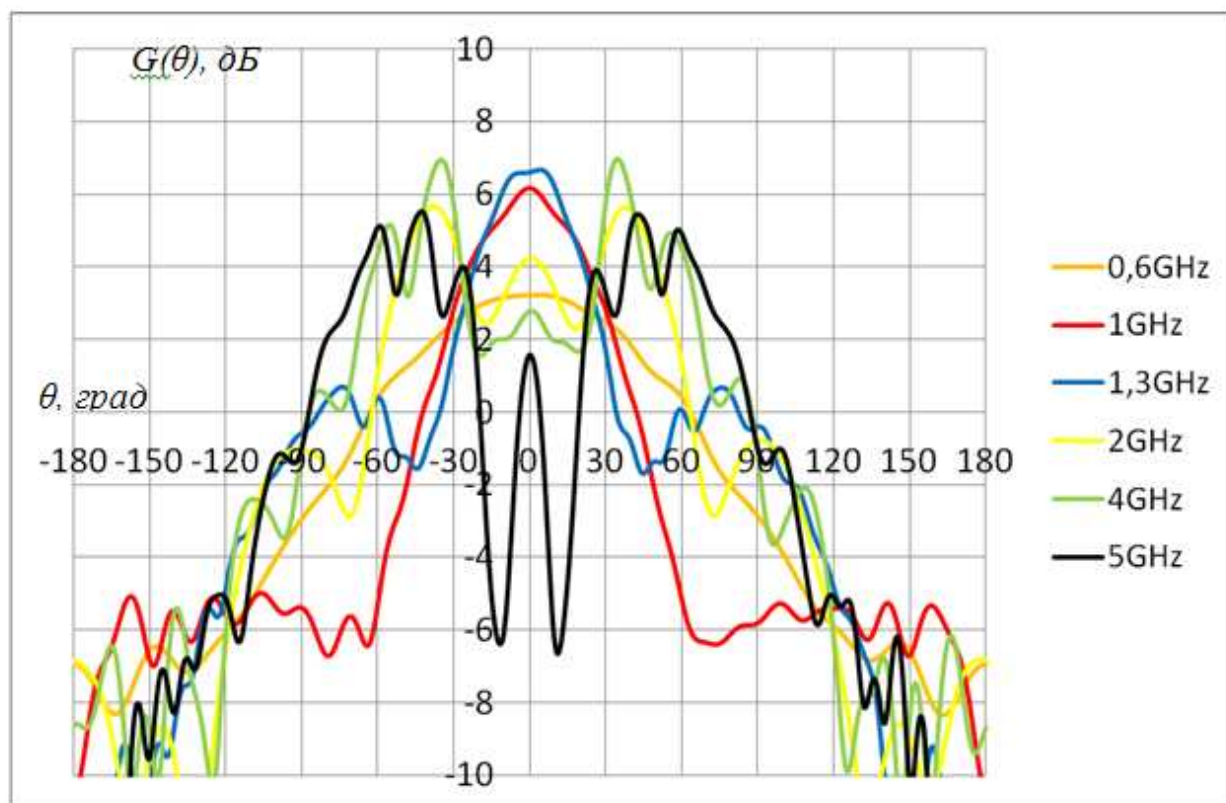


Рис. 4. Диаграммы направленности полигональной рупорной антенны в H -плоскости

На рис. 3 и 4 можно видеть, что диаграмма направленности рупора даже на низких частотах отличается изрезанностью, в том числе, в области главного лепестка.

Заключение

В работе предложена и численно оптимизирована СШП антенна на основе полигонального ТЕМ рупора. Предлагаемая конструкция проста в изготовлении, обладает очень высокой величиной КИРа и полосой рабочих частот более 1:15. К недостаткам антенны следует отнести высокий уровень изрезанности диаграммы направленности, особенно на высоких частотах.

Благодарности

Автор благодарит В.А. Калошина за постановку задачи и полезные замечания в процессе работы над статьей.

Литература

1. Ефимова Н.А., Калошин В.А. О согласовании симметричных ТЕМ-рупоров // «Радиотехника и электроника». – 2014. – № 1. – т. 59. – С. 60-66.
2. Efimova N.A., Kaloshin V.A. Matching of a Piece-Wise Linear TEM Horn [Электронный ресурс]: 25.10.2014. // 31st URSI General Assembly and Scientific Symposium, (Китай, Пекин, 16-22 августа 2014) http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6929163&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6929163 (08.11.2014).
3. Н.А. Ефимова Исследование и оптимизация ТЕМ рупоров в сверхширокой полосе частот // 2-ая Всероссийская микроволновая конференция. Доклады (Москва, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 24-28 ноября 2014) С. 474-478.
4. Kao Ch.-P., Li J., Liu R. Design and Analysis of UWB TEM Horn Antenna for Ground Penetrating Radar Applications // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, July 6-11 2008, Boston, USA, pp. 569-572.
5. Бобрешов А.М., Мещеряков И.И., Усков Г.К. Оптимизация геометрических параметров ТЕМ-рупора для излучения сверхкоротких импульсов в составе антенной решетки с управляемым положением главного лепестка // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58, № 3. С. 233-237.
6. Jinjin Sh., Guochang L., Yicai J., Guangyou F., Hejun Y. UWB TEM horn antenna for the asphalt pavement investigation // Journal of Electronics (China), Vol. 31 N. 1, Feb. 2014, pp. 1–5.
7. Tan A.E.-Ch., Jhamb K., Rambabu K. Design of Transverse Electromagnetic Horn for Concrete Penetrating Ultra-Wideband Radar // Antennas and Propagation, IEEE Transactions Vol. 60, Is. 4, pp. 1736-1743.
8. Jinjin Sh., Yicai J., Guangyou F., Hejun Y. Optimization and experiment of UWB TEM horn antenna // High Power Laser And Particle Beams Vol. 26, № 1 Jan., 2014, p. 1-5.

9. Jinjin Sh., Guochang L., Yicai J., Guangyou F., Hejun Y. UWB TEM horn antenna for the asphalt pavement investigation // Journal of Electronics (China), Vol. 31 N. 1, Feb. 2014, pp. 1–5.
10. Ефимова Н.А., Калошин В.А. Сверхширокополосные излучатели для кольцевых антенных решеток // VI Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» (Москва, ИРЭ, 2012).