

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ АНТЕННА ДЛЯ РАДИОМОНИТОРИНГА

Воргуль А.В., Лучанинов А.И., Лихограй В.Г.,
Назаренко В.А., Щербина А.А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
кафедра компьютерной радиоинженерии и
СТЗИ, лаборатория антенн, Украина.

e-mail: vasil.lykhograi@nure.ua

Abstract

A design of an axial symmetric UWB antenna in the form of a rotation body with a generatrix of complex shape in the frequency range of 1–7 GHz are considered for radio monitoring tasks. Using the FEKO software, a search of optimal generatrix shape of the UWB antenna to provide the required broadband was made. A genetic algorithm is used for the optimization process. It is shown that the choice of optimization criterion allows to design an UWB antenna which is being meeting the specified requirements in the operating frequency band.

Биконические и конические антенные структуры являются одними из наиболее популярных на сегодняшний день прототипами антенн, которые можно взять за основу при проектировании плоскостных или объемных (3D) антенн для систем радиочастотной связи и передачи данных или задач радиомониторинга, когда требуется антенна с всенаправленной в горизонтальной плоскости диаграммой направленности (ДН) и широкополосными характеристиками.

Идеальная биконическая геометрия имеет частотно-независимые свойства (импеданс) и является нереализуемой структурой, так как в осевом направлении должна иметь бесконечные размеры. Однако на практике размеры биконических антенн имеют конечные размеры, что позволяет получить необходимую широкополосность, не обеспечивая при этом в полной мере частотно-независимые свойства [1–3].

Усеченные версии биконической и конической антенн были исследованы в 40-х годах XX века Schelkunoff [1], Smith [2] Papas и King [3], в результате чего были найдены аналитические решения для частотных характеристик входного импеданса и даны соотношения для их геометрии (высота конуса и его угол раствора). Биконическая объемная антенная структура (или дисконическая в несимметричном варианте) реализуется либо в виде сплошной металлической поверхности, либо в виде проволочной сетки [1–3].

Следующим шагом в развитии концепции 3D сверхширокополосных (СШП) антенн стала дипольная асимптотическая коническая структура (Asymptotic Conical Dipole – ACD) [4] с различными вариантами формы образующей плеч антенны: сфера, конус, усеченный конус, «Bishop's Hat» и другие [5,6]. В частности, в работе [6], форма образующей плеч антенны определена как эквипотенциальная поверхность для диполя в виде линейного заряда; при этом, изменяя плотность заряда линейного диполя и напряжение, можно получить различные эквипотенциальные поверхности.

Разработка широкополосных антенн в виде дипольных асимптотических конических структур (ACD) актуальна и в наши дни. Но при проектировании таких антенн возникают вопросы: Как на начальном этапе проектирования выбрать геометрию СШП антенны? Как одновременно обеспечить компактность конструкции и реализовать СШП свойства в заданной полосе радиочастот? Информацию по проектированию СШП ACD антенн можно найти, например, в [5–7], хотя приведенных данных явно недостаточно, особенно когда речь идет об обеспечении сверхширокополосности при компактной геометрии антенны.

Так, в работе [6] даны рекомендации по проектированию прототипа антенны ACD в среде САД FEKO. Представлены также результаты измерений параметров антенны с результатами моделирования прототипа, что подтверждает достоверность выбранного подхода.

В работе [7] рассмотрен графо-аналитический подход при проектировании конических и биконических антенн с целью обеспечения необходимой широкополосности. Исследуемые расчетные

диаграммы устанавливают границы, в которые должны попасть основные геометрические параметры, чтобы антенна могла соответствовать заданным требованиям по широкополосности. Этот метод применим к коническим и биконическим антеннам, при условии, что есть оценки импеданса в необходимой полосе частот для нескольких значениях угла раствора конуса. Такие оценки могут быть получены аналитически, например, когда доступны уравнения замкнутой формы, как в случае конической антенны с крышкой в виде сферы [7], путем измерений или моделирования с помощью CADs (CST MW Studio, FEKO, HFSS и т.д.), как, например, для открытой конической антенны.

Анализ конструктивных особенностей дисконусных антенн показывает, что они отличаются асимметрией верхнего и нижнего плеч [1–3]. В дисконусной антенне верхнее плечо обычно выполняется в виде диска, а нижнее – в виде конуса. Именно такая асимметрия может быть причиной частотной неравномерности формы ДН (особенно относительно плоскости $z=0$ в угломестной плоскости), а также коэффициента отражения $\dot{S}_{11}$ или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН). Таким образом, оправданным является выбор в качестве прототипа симметричной дипольной структуры с плечами в виде конусов или АСД. Симметрия дипольной структуры обеспечивает симметрию ДН в угломестной плоскости относительно плоскости $z=0$.

Размеры СШП антенны могут быть выбраны из таких соображений. Поскольку прообразом биконических или АСД антенн служит симметричная система – $\lambda/2$ диполь, размеры СШП антенн также должны быть соизмеримы с величиной $\lambda/2$, что соответствует частоте нижнего диапазона рабочих радиочастот (хотя возможна коррекция длины с учетом оптимизационных процедур CADs).

Верхние частоты СШП антенны во многом зависят от точности реализации питающего узла. Так, например, питание биконической и дисконусной антенн осуществляется коаксиальным кабелем, центральный провод которого соединен с вершиной верхнего конуса (диска), а его оплетка подключена к верхней части нижнего конуса. Подключенный к антенне коаксиальный кабель вместе с вершиной верхнего конуса (диском) и нижними конусами образуют область возбуждения антенны, от точности изготовления, размеров и формы которой существенно зависят СШП характеристики антенн.

Изначально в качестве прототипа СШП антенны диапазона 1–7 ГГц выбрана дипольная асимптотическая структура (АСД) с *параболической формой образующей* по следующим причинам. Во-первых, парабола очень популярна в антенной технике. Во-вторых, при малых значениях аргумента, параболическая кривая в области точки питания представляет собой аксиально-симметричную структуру типа ТЕМ рупор или антенна Вивальди, которые известны своими СШП свойствами, что позволяет продвинуться к мм длинам волн рабочего диапазона. В-третьих, при больших значениях аргумента парабола обеспечивает значительный рост функции, а это позволяет получить утолщенный к краям $\lambda/2$ диполь. Таким образом, параболическая форма образующей СШП АСД антенны позволяет получить: а) аксиально-симметричный ТЕМ рупор в области точки питания, который работает на сверхвысоких частотах; б) в целом – утолщенный к краям близкий к $\lambda/2$ диполь, длина которого определяет нижнюю область рабочих частот (рис. 1, а).

Целью настоящей работы является разработка параметров объемной СШП АСД антенны с оптимальной формой образующей диапазона 1–7 ГГц для задач радиомониторинга.

Результаты моделирования геометрии АСД структуры с параболической формой образующей получены с использованием ПО FEKO [7], для чего построены частотные зависимости КСВН и общего коэффициента усиления (total gain), учитывающего как рассогласование, так и направленные свойства антенны и который определяется как

$$G_{total} = (1 - |S_{11}|^2) G,$$

где $|S_{11}|^2$ – модуль коэффициента отражения, а G – коэффициент усиления (КУ) антенны.

К проектируемой СШП антенне с параболической формой образующей выдвинуты следующие основные требования: КСВН ≤ 2 в полосе рабочих частот; ДН с минимальным отклонением от круговой в азимутальной плоскости и симметрия в угломестной плоскости.

На рис. 2 приведены частотные зависимости КСВН (а) и коэффициента усиления G_{total} (б) АСД с параболической формой образующей. Как видно из рис. 2, выбранная параболическая форма антенны обеспечивает согласование по КСВН ≤ 2 в рабочей полосе, при этом G_{total} в полосе 1–4 ГГц равен около 2 дБ, что близко к КУ полуволнового диполя, а в полосе 4–7 ГГц имеет перепад в 2 дБ, что, впрочем, некритично, поскольку здесь КУ соответствует изотропной системе. Длина антенны с параболической образующей – 90 мм, а максимальный диаметр – 50 мм.

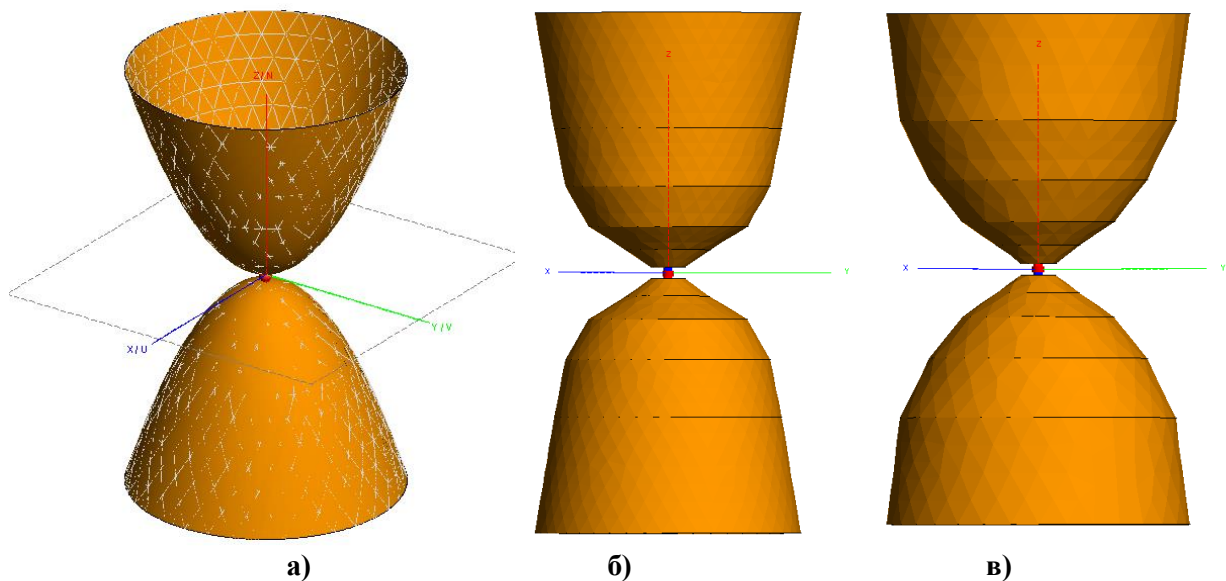


Рис. 1. Общий вид АСД с параболической а) и двумя вариантами оптимизации кусочно-линейной аппроксимации параболической формы образующих (б-в)

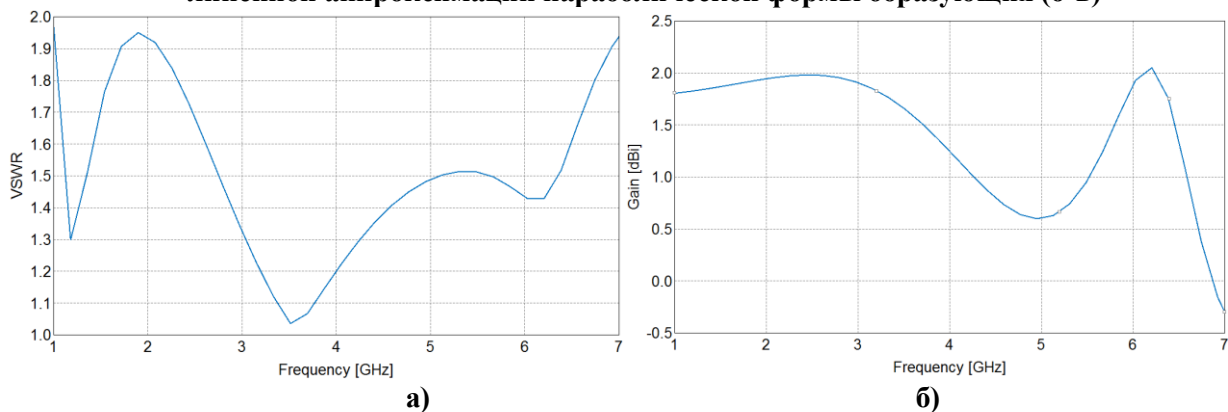


Рис. 2. Частотные зависимости КСВН (а) и коэффициента усиления G_{total} (б) АСД с параболической формой образующей

Тем не менее, нами поставлена задача дальнейшего улучшения условий согласования антенны в рабочем диапазоне 1–7 ГГц. Для ее решения была изменена форма АСД антенны с параболической образующей на кусочно-линейную аппроксимацию параболической образующей с формированием 5 фиксированных областей (рис.1, б–в). Высота каждой области выбиралась с учетом максимального совпадения кусочно-линейной аппроксимации с параболической образующей. Первая область, включая точку питания антенны, имеет минимальную высоту, а последняя, 5 область, образованная слабо расширяющейся ветвью параболы, имеет максимальную высоту. Такая кусочно-линейная аппроксимацией параболической образующей дает возможность провести оптимизацию ее формы, варьируя радиусами сегментов.

Средствами ПО FEKO [7] проведена оптимизация размеров (радиусов) сегментов образующей с использованием генетического алгоритма, в результате получено два варианта оптимальной формы образующей: 1) по критерию КСВН=1.5 (рис.1, б); 2) по критерию КСВН≤1.5 (рис.1, в). Результаты моделирования с оптимальной формой образующей по критерию КСВН=1.5 приведены на рис. 3, откуда видно, что данная форма антенны обеспечивает средний уровень КСВН=1.5 в рабочей полосе с максимумом КСВН=1.9 на нижней частоте 1 ГГц (рис.3, а). Что касается G_{total} , то здесь перепад его значений больше и составляет 5 дБ (рис.3, б). Общая длина антенны – 90мм, а максимальный диаметр – 47мм.

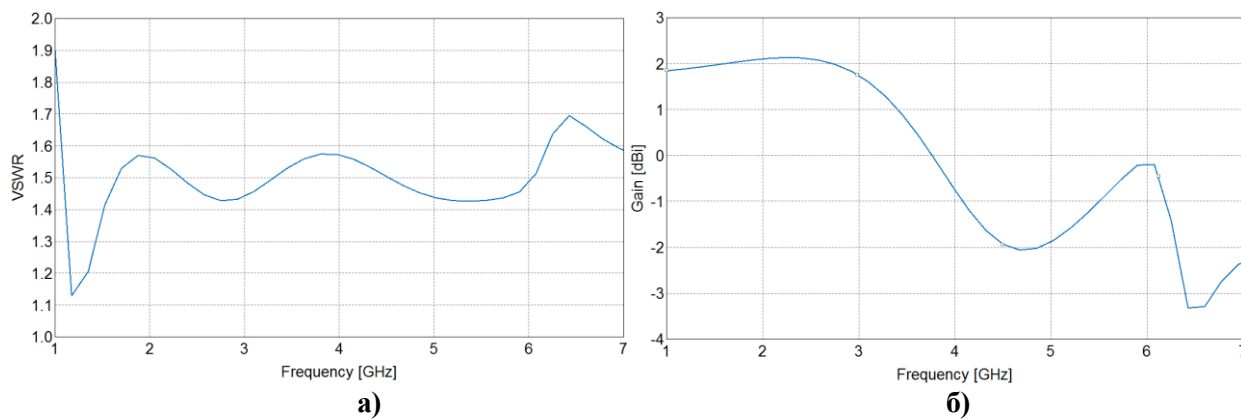


Рис. 3. Частотные зависимости КСВН (а) и коэффициента усиления G_{total} (б) АСД с кусочно-линейной оптимизацией по критерию КСВН=1.5 (вариант оптимизации 1)

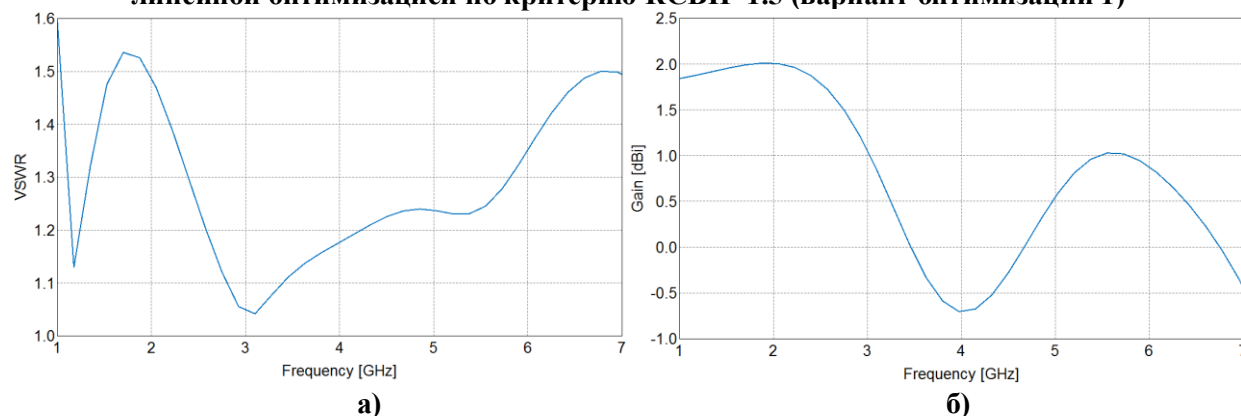


Рис. 4. Частотные зависимости КСВН (а) и коэффициента усиления G_{total} (б) АСД с кусочно-линейной оптимизацией по критерию КСВН≤1.5 (вариант оптимизации 2)

Результаты моделирования СШП антенны с оптимальной формой образующей по критерию КСВН≤1.5 (рис.1, в) приведены на рис. 4. Здесь оптимальная форма образующей антенны обеспечивает средний уровень КСВН≤1.5 в рабочей полосе с максимумом КСВН=1.6 на нижней частоте 1 ГГц (рис.4, а). Перепад значений G_{total} составляет 2.5 дБ (рис.4, б). Общая длина антенны – 90мм, а максимальный диаметр – 51мм.

Таким образом, оптимизация образующей антенны путем варьирования параметров сегментов позволяет выбрать ее форму. Правильный выбор критерия оптимизации влияет на конечный результат минимизации КСВН, что в конечном итоге приводит к обеспечению необходимых условий широкополосности.

Література:

1. Schelkunoff S.A., Ultrashort electromagnetic waves IV— guided propagation, Electrical Engineering, vol. 62, no. 6, pp. 235–246, 1943.
2. Smith P. D. P., The conical dipole of wide angle, Journal of Applied Physics, vol.19, no.1, pp. 11–23, 1948.
3. Papas C. H., King R., Radiation from wide-angle conical antennas fed by a coaxial line, Proceedings of the IRE, vol. 39, no. 1, pp. 49–51, 1951.
4. Schelkunoff S.A., Friis H.T. Antennas, Theory and Practice, John Wiley & Sons, New York, 1952.
5. Ammann, M. J. Wideband Monopole Antennas for Multi-Band Wireless Systems [Текст] / M.J. Ammann, Z.N. Chen // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2003. – Vol. 45. – No.2. – P. 146-150.
6. Jacobs O.B., Odendaal J.W., Joubert J., Analysis and design of a wide band omni directional antenna
7. Pereira F.E.S., Dias M.H.C., On the Design of Conical Antennas for Broadband Impedance Matching Performance, Hindawi International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2017, Article ID 1691580, 13 p.
8. EM Software & Systems, FEKO User's Manual, 2008.