

Широкополосная диэлектрическая стержневая антенна

И.Д. Павлов

АО «ЦКБА»

Аннотация: рассматривается электродинамическое моделирование широкополосной диэлектрической стержневой антенны. Проверялась способность такого типа антенн обеспечивать требуемый уровень коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН), коэффициента усиления (КУ), а также формирование диаграмм направленности в требуемом диапазоне частот. Полученные результаты позволяют сделать первоначальные выводы о пригодности применения данной антенны в составе пассивной системы наведения и необходимости проведения последующей оптимизации антенны

Ключевые слова: широкополосная антенна, диэлектрическая стержневая антенна, широкополосное согласование

1. Введение

Одним из способов повышения точности и надежности наведения головных частей ракет является комплексирование на одном носителе пассивных систем наведения с доводочными каналами, зачастую под общим обтекателем. Доводочные каналы могут быть активными, лазерными или тепловизионными.

Данный подход к построению головной части требует определенной компоновки. При размещении пассивной системы наведения и канала доводки под общим обтекателем основное полезное пространство под обтекателем выделяется под размещение канала доводки. Это связано с тем, что он является основным на заключительном этапе наведения. При этом антенны пассивной системы наведения выносятся на периферию, максимально освобождая центральное пространство между апертурой системы канала доводки наведения и носком обтекателя.

Для размещения антенн пассивной системы наведения остается пространство между стенкой обтекателя и элементами канала доводки.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что объем, остающийся для размещения антенн пассивной системы наведения, мал по сравнению с объемом, выделенным для канала доводки.

Важно также и то, что габаритные размеры объема, оставшегося для пассивной системы наведения, в частности, длина и высота, относятся друг к другу приблизительно как 5:1. Размещение антенных элементов пассивной системы наведения в данном объеме требует от них сходного отношения габаритных размеров.

Другим важным требованием к антеннам современных пассивных систем наведения является широкополосность. Антенны также должны обеспечивать требуемый коэффициент усиления (КУ) в рабочем диапазоне (не хуже 1 дБи).

В целом подобным требованиям удовлетворяет класс широкополосных антенн. Среди них наиболее подходящими можно считать логопериодические с конфигурацией, описанной в [1], и рупорные, например, [2]. Однако применение данных типов антенн предполагает некоторые сложности. В частности, проектирование и последующая настройка логопериодической структуры, описанной в [1], представляется достаточно трудоемкой в силу того, что необходимо определить подходящие параметры замедляющей структуры, имеющей достаточно сложную форму. Использование рупорных антенн также представляется затруднительным по

причине их высокой металлоемкости и, как следствие, высокой массы.

Еще один тип антенн, удовлетворяющих предъявленным требованиям, это диэлектрические стержневые антенны. Этот тип антенн подробно описан в работах [3]-[8]. К преимуществам данного типа антенн можно отнести относительную простоту диэлектрической замедляющей структуры, а также меньшую, по сравнению с рупорными антеннами, массу.

2. Разработка и моделирование антенны

Общий вид диэлектрической стержневой антенны представлен на рисунке 1.

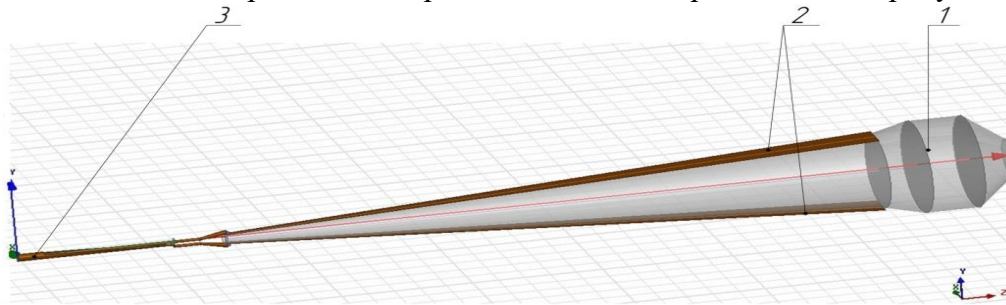


Рисунок 1. Общий вид антенны: 1 - диэлектрическая четырехсекционная структура; 2 - металлические пластины; 3 – согласующий кососрезанный трансформатор

Антенна включает в себя три части: диэлектрическая четырехсекционная структура (поз.1), металлические пластины (поз.2), возбуждающие электромагнитные колебания в диэлектрике, и согласующий коаксиальный кососрезанный трансформатор (поз.3), обеспечивающий широкополосное согласование волновых сопротивлений двухпроводной линии, гальванически соединенной с металлическими пластинами, и коаксиального входа антенны. Более подробно трансформатор представлен на рисунке 2.

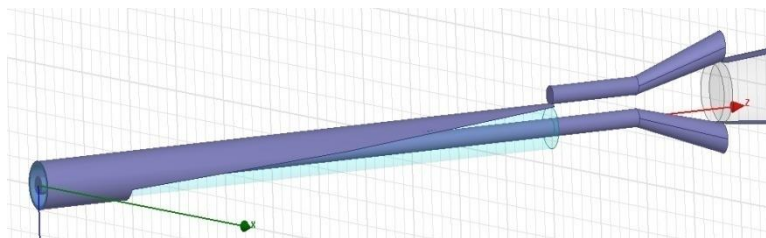


Рисунок 2. Широкополосный коаксиальный кососрезанный трансформатор

Описанные в работах [4] и [5] способы возбуждения электромагнитных колебаний в диэлектрике не подходят для рассматриваемой антенны, так как цилиндрический волновод и переход от коаксиальной линии к цилиндрическому волноводу не обеспечивают требуемого уровня согласования в широкой (8:1) полосе частот.

Заданной широкополосности (8:1) позволяет достичь способ возбуждения, описанный в [3], [6] – [8]. В указанных работах рассматриваются различные варианты направляющей структуры, состоящей из двух расширяющихся металлических пластин, размещенных на диэлектрическом основании конической или пирамидальной формы. Запитаны эти пластины двухпроводной линией, так как волновое сопротивление подобной структуры близко к волновому сопротивлению двухпроводной линии. Детальный расчет волнового сопротивления приведен в [8].

Диэлектрическая структура включает четыре секции: конус, на котором размещены металлические пластины, переходная часть между широким основанием конуса и диэлектрическим стержнем с круглым сечением, диэлектрический стержень

и диаграмм образующий конус [3].

Исходные соотношения для расчета параметров диэлектрической структуры приведены в [4].

Площадь поперечного сечения диэлектрического стержня выбирается из промежутка значений, верхняя и нижняя граница которого получаются из соотношений [4].

$$S_{\max} = \frac{\lambda_0}{4 \cdot (\epsilon_r - 1)} \quad (1)$$

$$S_{\min} = \frac{\lambda_0}{10 \cdot (\epsilon_r - 1)} \quad (2)$$

где λ_0 – длина волны на нижней частоте диапазона; ϵ_r - диэлектрическая проницаемость материала.

В [4] также указывается, что величина диэлектрической проницаемости влияет на ширину рабочего диапазона антенны. Чем больше диэлектрическая проницаемость, тем уже рабочий диапазон антенны.

В качестве материала для рассматриваемой антенны был выбран полиметилметакрилат (органическое стекло) с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 3,4$.

Моделирование и электродинамический расчет выполнялись с помощью программных средств Ansoft HFSS.

В результате проведенного моделирования были получены основные радиотехнические характеристики модели.

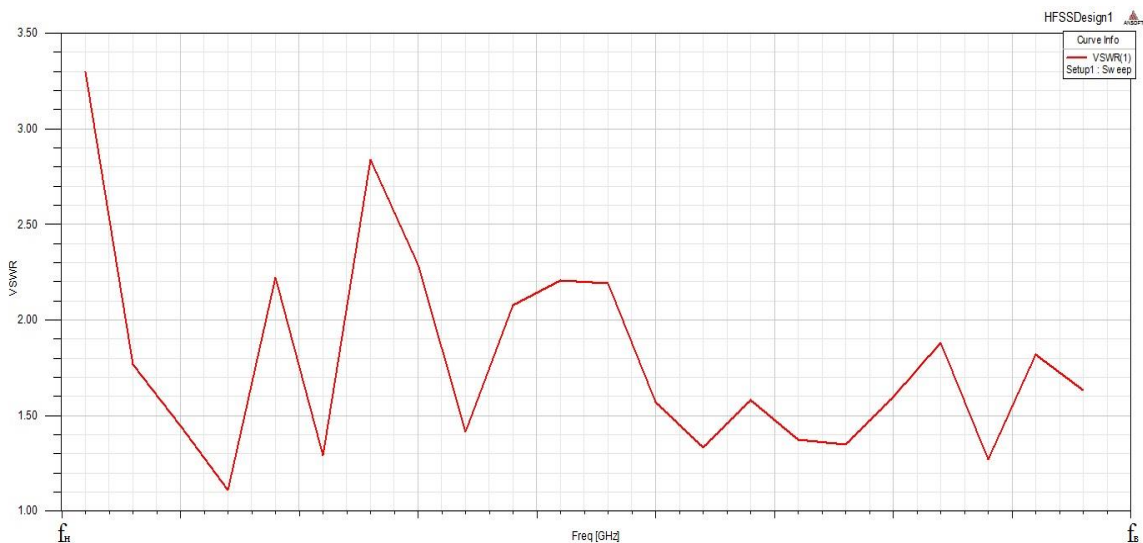


Рисунок 3. Зависимость КСВН модели от частоты

Из графика зависимости КСВН от частоты, представленного на рисунке 3, видно, что максимальное значение КСВН не превышает 2,5 за исключением двух точек, в которых значение КСВН находятся вблизи 3. Учитывая широкий рабочий диапазон (8:1), такой результат можно считать удовлетворительным.

Как видно из графика, представленного на рисунке 4, коэффициент усиления в диапазоне частот изменяется от 2,4 до 14 дБ.

Причем значения коэффициента усиления меньше среднего уровня 8 дБ наблюдаются только в двух частотных точках. В целом коэффициент усиления соответствует предъявляемым требованиям во всем диапазоне и в большей его части существенно превосходит их.

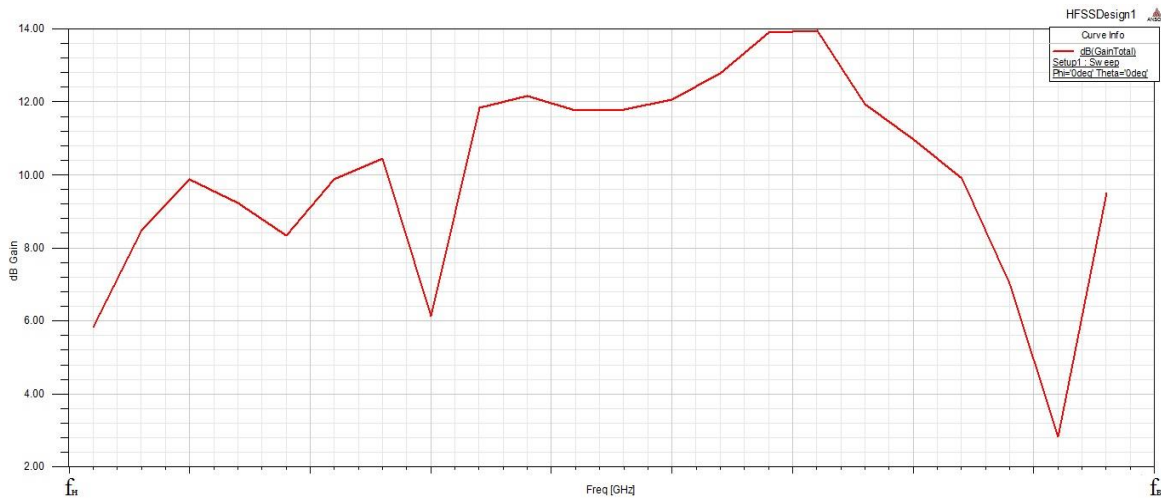


Рисунок 4. Зависимость коэффициента усиления от частоты

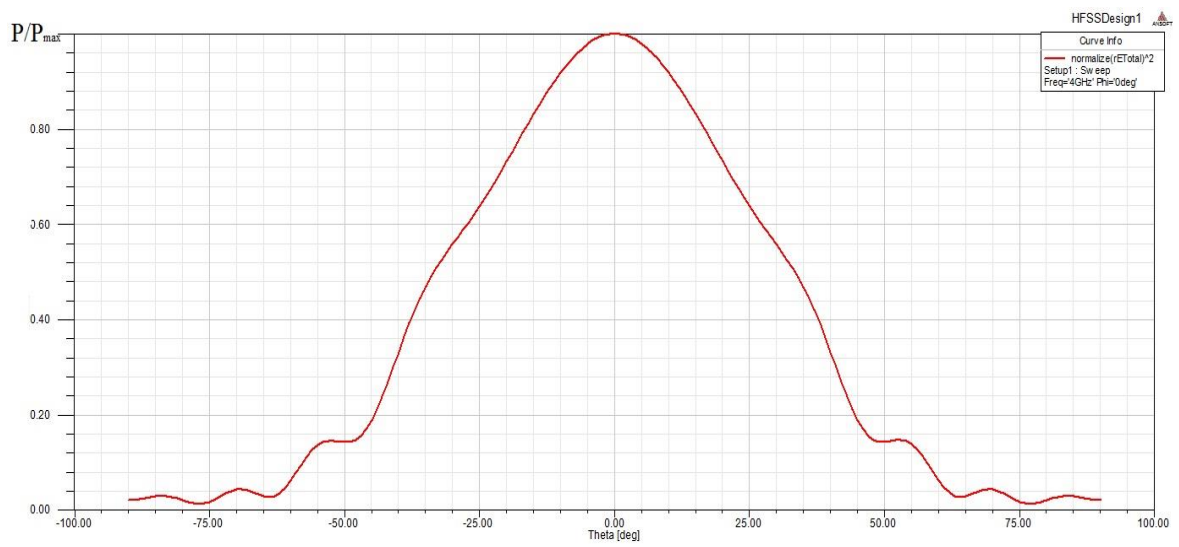


Рисунок 5. Диаграмма направленности на нижней частоте (f_H)

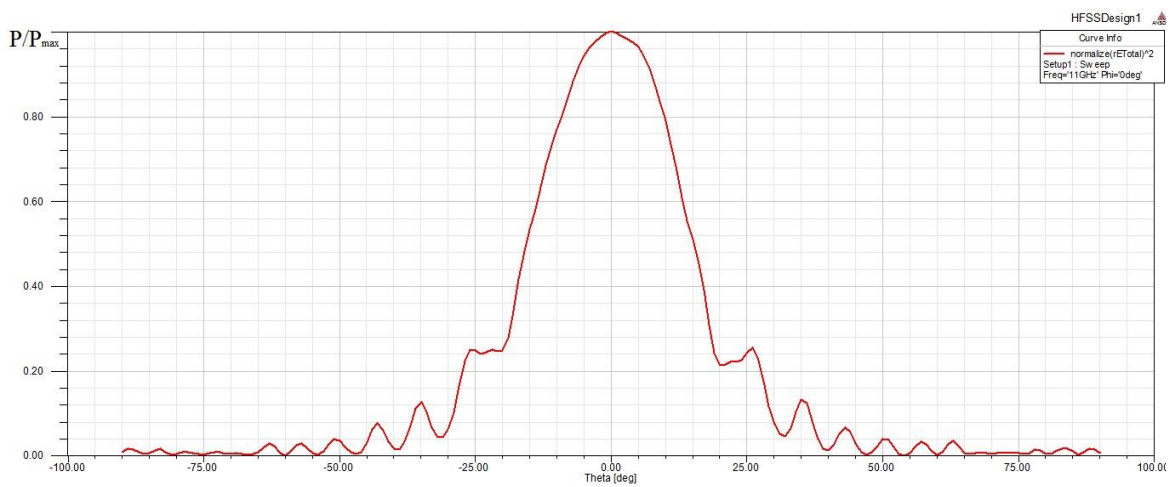


Рисунок 6. Диаграмма направленности на средней частоте (f_{cp})

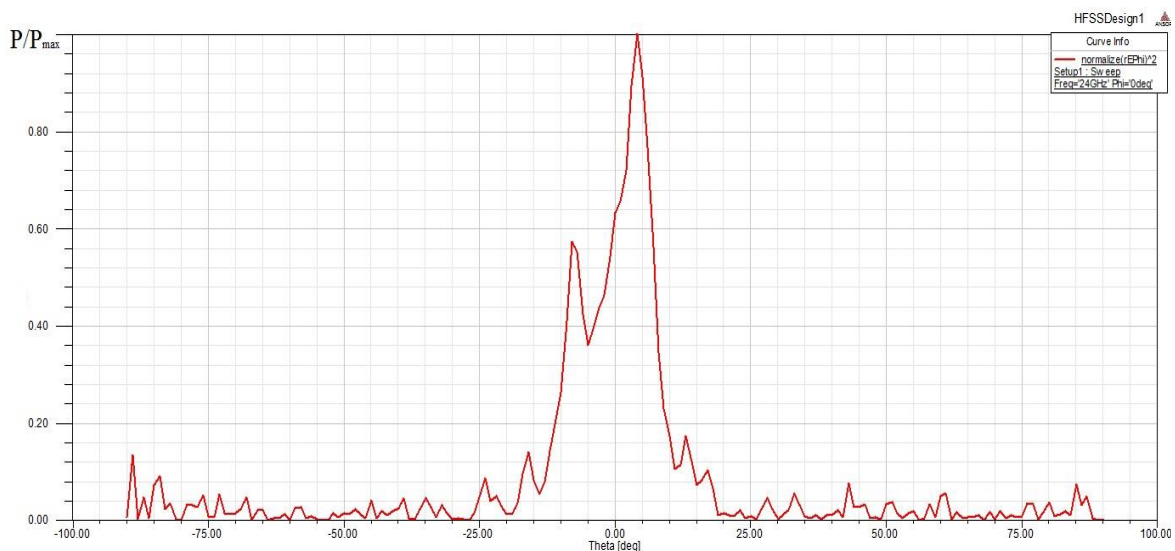


Рисунок 7. Диаграмма направленности на верхней частоте (f_v)

Приведенные на рисунках 5-7 диаграммы направленности в основном удовлетворительны, осесимметричны, уровень боковых лепестков не превышает 15%. На частоте f_v диаграмма направленности искажена, что характерно для диэлектрических стержневых антенн в верхней части диапазона [3].

3. Заключение

Результаты проведенного электродинамического моделирования можно кратко обобщить следующим образом:

1. Диаграммы направленности в целом удовлетворительные, осесимметричные с уровнем боковых лепестков не более 15%, на верхней частоте диапазона присутствует дополнительный максимум.
2. КСВН не более 3,3 в требуемом диапазоне частот.
3. КУ изменяется от 2,2 дБ до 14 дБ, возрастая в середине частотного диапазона.

Результаты проведенного моделирования позволяют сделать первоначальный вывод о пригодности применения диэлектрической стержневой антенны как антенны пассивной системы наведения, размещенной с активной системой наведения под общим обтекателем, и необходимости проведения последующей оптимизации и отработки их совместного размещения под радиопрозрачным обтекателем.

Список литературы

1. Raymond H. DuHamel, Frequency independent antennas / Raymond H. DuHamel // Antenna Engineering Handbook, New York, McGraw-Hill. – 1993 – Ch.14.
2. Пат. 2427060, МПК H01Q13/02. Сверхширокополосная рупорная антенна /Коробейников Герман Васильевич (РФ), Кохнюк Данил Данилович (РФ), Григорьев Анатолий Ростиславович (РФ); патентообладатель ОАО «ЦКБА»; № 2010100765/07, заявлено 11.01.2010, опубликовано 20.08.2011. Бюл. №23.
3. Anas J. Abumushar, Bandwidth Dielectric Rod Antenna using a Novel Feed Structure / Anas J. Abumushar, Kubilay Sertel// IEEE Transactions on Antennas and Propagation – 2017 – Vol. 65 – Iss.5 – P. 2208-2214.
4. V. Senthil Kumar, Design of Dielectric Rod Antenna for Ground Station Applications / Dhanesh G. Kurup// International Conference on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM) – 2017.
5. Qiu Jing-hui, Optimized Dielectric Rod Antenna for Millimeter Wave FPA Imaging System/ Wang Nanan// 2009 IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques – 2009.

6. A.G. Yarovoy, The Dielectric Wedge Antenna/ A.D. Schain; I.V. Kaplan; L.P. Lighthart// IEEE Transactions on Antennas and Propagation – 2002 – Vol. 50 – 10 – P. 1460-1472.
7. J.-Y. Chung, Ultra – wideband dielectric loaded horn antenna with dual – linear polarization capability/ J.-Y. Chung // Progress In Electromagnetics Research – 2010 – P. 397-411.
8. N.V. Venkatarayalu, Numerical Modeling of Ultrawide-Band DielectricHorn Antennas Using FDTD/ Chi-Chih Chen; F.L. Teixeira; R. Lee // IEEE Transactions on Antennas and Propagation – 2004 – Vol. 52 – 5 – P. 1318-1323.