УДК 621.396.677.73

П.Д. Куроптев, В.В. Левяков, А.В. Фатеев

Широкополосная рупорная антенна диапазона 0,8–30 ГГц

Предложены варианты коаксиально-волнового перехода, профиля согласующих рёбер и рупорного излучателя. Приведены характеристики существующих аналогов и их сравнение с разработанной моделью антенны. **Ключевые слова:** широкополосная рупорная антенна, коаксиально-волноводный переход, согласующее ребро, рупорный излучатель, кривая Безье, диаграмма направленности, коэффициент стоячей волны, коэффициент усиления.

doi: 10.21293/1818-0442-2016-19-2-23-27

В настоящее время в линиях радиосвязи применяются системы, использующие широкополосные сигналы. Одним из основных элементов таких систем являются антенны. Наиболее простыми широкополосными антеннами являются рупорные. Высокий коэффициент усиления (КУ), низкий уровень боковых лепестков, простая схема возбуждения позволяют применять их в различных областях техники. Особенно актуально использование рупоров в технике измерений параметров антенно-фидерной системы. В этом случае они применяются в качестве эталонных при измерениях параметров антенн в дальней зоне или в качестве зондовых при измерениях амплитудно-фазовых характеристик антенн в ближней зоне [1–3].

Построение модели широкополосной рупорной антенны

Несмотря на большое число положительных качеств рупорных антенн, в литературе, вплоть до настоящего момента, недостаточно внимания уделено вопросам их моделирования и параметрического синтеза, а также исследованию других возможностей улучшения их характеристик к увеличению области практического использования [4].

Опираясь на существующие модели и зарубежные научные работы, было установлено, что расчёт модели состоит из нескольких частей:

1. Расчёт коаксиально-волноводного перехода (КВП).

3. Расчет рупорного излучателя (рис. 1).

2. Расчёт согласующих рёбер.



Рис. 1. Модель широкополосной рупорной антенны

Расчёт рупорных антенн основан на результатах их анализа, т.е. задаются геометрические размеры антенны, а затем определяют её электрические параметры. Если размеры выбраны неудачно, то расчёт повторяется снова [5]. Основными исследуемыми параметрами рупоров являются КУ, коэффициент стоячей волны (КСВ) и диаграмма направленности (ДН).

Учитывая преимущества и недостатки существующих моделей, была спроектирована широкополосная рупорная антенна.

Для достижения широкого частотного диапазона и лучших характеристик важно поддерживать механическую точность сужения рёбер внутри КВП. Небольшое расстояние между рёбрами определяет наименьшую частоту для заданной геометрии – меньшее расстояние между рёбрами позволяет достичь более широкой полосы пропускания [6]. Учитывая это, расстояние между рёбрами внутри КВП было уменьшено до 1 мм.

Для кривизны согласующего ребра в рупорных антеннах исторически использовали короткий прямой участок с последующим экспоненциальным профилем. Экспериментально было установлено, что этот профиль подавляет нежелательные моды и обеспечивает согласование рупора [7], и показано, что изменение профиля ребра рупора может улучшить КСВ [8–10]. Поэтому при построении модели была выбрана кубическая кривая Безье с укороченным прямым участком длиной 3 мм для описания закона изменения ребра (рис. 2).





Уравнения кубической кривой для осей у и *z* имеют вид

$z(t) = z_{p0} (1-t)^3 + 3z_{p1} (1-t)^2 t + 3z_{p2} (1-t) t^2 + z_{p3} t^3,$	(1)
где $z_{p0} - z_{p3}$ – контрольные точки по оси <i>z</i> .	

Доклады ТУСУРа, том 19, № 2, 2016

 $y(t) = y_{p0}(1-t)^3 + 3y_{p1}(1-t)^2 t + 3y_{p2}(1-t)t^2 + y_{p3}t^3$, (2) где $y_{p0} - y_{p3}$ – контрольные точки по оси y

Было проведено параметрическое исследование с целью нахождения контрольных точек, которые обеспечивают лучшее КСВ. На рис. 3 показаны согласующее ребро рупора и отверстие для коаксиальной линии.



Рис. 3. Согласующее ребро рупора и отверстие для ввода коаксиальной линии

Расчёт КВП решил две задачи. Первая заключалась в улучшении параметров модели на высоких частотах рабочего диапазона. Вторая – в уменьшении количества составляющих в сборке, тем самым устраняя возможные источники образования зазоров. В [11] было установлено, что КВП является основным источником мод, которые вызывают ухудшение параметров всей модели. На рис. 4 показано усовершенствование КВП от широко распространённой конструкции до новой, в которой минимизировано количество элементов.



Рис. 4. Модели КВП: широко распространённая – *a*, модифицированная – *б*, новая – *в*

На рис. 4, *а* приведена традиционная модель, которая используется в большинстве современных рупоров. Уменьшая количество составляющих в КВП, была получена модифицированная модель, приведённая на рис. 4, *б*. В ходе параметрического синтеза была получена новая модель, приведённая на рис. 4, *в*.

Одной из главных проблем конструирования рупорных антенн являются ухудшения характеристик при неправильной сборке и погрешности при производстве, вызванные щелями между отдельными частями. В работе [11] было показано, что щели порядка 0,5–0,05 мм между различными составляющими в основании КВП приводят к резонансным эффектам в характеристиках КУ и КСВ.

Следующим этапом является построение рупорного излучателя. Было решено использовать излучатель с металлическими боковыми стенками, так как их наличие улучшает характеристики на нижних частотах. Стоит отметить, что данный выбор привёл к незначительному ухудшению параметров КУ и КСВ на высоких частотах.

Анализ и сравнение характеристик

Характеристики новой модели рупорной антенны с двумя согласующими рёбрами будут оцениваться в зависимости от измеренных характеристик существующих антенн в диапазоне 1–18 ГГц, которые изображены на рис. 5.



Рис. 5. Исследуемые рупорные антенны: Spectrum Technologies DRGH-0118 – *a*; ETS-Lindgren 3115 – *б*; ETS-Lindgren 3117 – *в*

Антенна на рис. 5, a – модель DRGH-0118 компании Spectrum Technologies – традиционная рупорная антенна с двумя согласующими рёбрами и с протравленной диэлектрической решёткой на боковых стенках. На рис. 5, δ – антенна 3115 компании ETS-Lindgren – модель с металлической решёткой на боковых стенках. На рис. 5, e – антенна 3117 от ETS-Lindgren – это антенна новой конструкции без боковых стенок.

Измеренные характеристики КУ антенн сравниваются на рис. 6.



На частотах ниже 3 ГГц КУ модели без боковых стенок гораздо меньше, чем у широко распространённых конструкций. Модели имеют падение усиления в диапазоне 14–18 ГГц, а также виден пик на частоте 16 ГГц. Это свидетельствует о влиянии мод высшего порядка в рупоре. Эффект менее виден для рупора с металлической решёткой и отсутствует в модели без боковых стенок.



На частотах до 3 ГГц все антенны имеют большие значения КСВ, особенно модель без боковых стенок, которая имеет КСВ, равный 4 на частоте 1,3 ГГц. КСВ модели с металлической сеткой имеет несколько всплесков: на нижних частотах диапазона, от 5 до 8 ГГц и от 15 до 17 ГГц. Кроме того, значения КСВ у остальных моделей на верхних частотах диапазона также велики.

На рис. 8–10 приведены ДН исследуемых антенн в трёх плоскостях на начальной и конечной частотах рабочего диапазона.





9. ДН антенны ETS-Lindgren 3115 на частота 1 $\Gamma\Gamma\Pi - a$; 18 $\Gamma\Gamma\Pi - b$



Исходя из полученных данных, можно заметить, что на частоте 1 ГГц ДН антенн схожи, однако на частоте 18 ГГц модели с широко распространённой моделью КВП имеют провал характеристики, а модель без боковых стенок такого провала не имеет.

На рис. 11 приведены КУ и КСВ спроектированной модели.



Рис. 11. Характеристики спроектированной модели: КУ – а; КСВ – б

Можно заметить, что КСВ модели значительно меньше, чем у существующих аналогов. Кроме того, характеристика значительно улучшена на низких частотах. Изменения, внесённые в рупор, обеспечили КСВ по всему диапазону от 0,8 до 30 ГГц ниже 1,5, чего не было у существующих аналогов.

ДН на частотах 0,8, 18 и 30 ГГц полученной конструкции показаны на рис. 12.



На частотах 0,8 и 18 ГГц основной лепесток широкий и хорошо определим, а также направлен вдоль нормали, что указывает на отсутствие высших мод. Боковые лепестки незначительны. Ухудшения заметны на частоте 30 ГГц, что приводит к необходимости доработки модели.

Рупор имеет хорошее усиление по всему диапазону при сохранении той же ширины ДН, в особенности на нижних и высоких частотах. КУ данной конструкции значительно лучше, чем у аналогов.

Ухудшение ДН на высоких частотах диапазона можно устранить при помощи гофрирования рупорного излучателя.

Заключение

В результате можно сделать следующие выводы.

1. Рабочий диапазон частот расширен до 30 ГГц.

2. КВП имеет новую и упрощенную структуру, в которой минимизировано возникновение зазоров, которые ухудшают параметры рупоров при производстве.

3. В качестве профиля согласующего ребра была использована кривая Безье с укороченным прямым участком, что отличается от широко распространённого конструирования рупорных антенн.

Авторы выражают искреннюю благодарность профессору кафедры СВЧиКР Гошину Геннадию Георгиевичу за помощь в работе и полезные советы.

Литература

1. Bruns C. Comprehensive analysis and simulation of a 1–18 GHz broadband parabolic reflector horn antenna system / C. Bruns, P. Leuchtmann, R. Vahldieck // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2003. – Vol. 51, No. 6. – P. 1418–1422.

2. Kerr J.L. Short axial length broadband horns. // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1973. – Vol. 21, No. 5. – P. 710–714.

3. Bruns C. Analysis and simulation of a 1–18 GHz broadband double-ridged horn antenna / C. Bruns, P. Leuchtmann, R. Vahldieck // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2003. – Vol. 45, No. 1. – P. 55–60.

4. Ашихмин А.В. Исследование и разработка сверхширокополосных антенн комплексов радиоконтроля: дис. ...д-ра техн. наук: 05.12.07 / А.В. Ашихмин. – М., 2006. – 234 с.

5. Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ. Расчёт и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов: учеб. пособие / Д.И. Воскресенский, Р.А. Грановская, В.Л. Гостюхин, В.С. Филиппов. – М.: Сов. радио, 1972. – 320 с.

6. Volakis J.L. Antenna Engineering Handbook: 4-th Edition / J.L. Volakis, T.S. Bird, A.W. Love. – New York: McGraw Hill, 2007. – P. 437–509.

7. Walton K.L. Broadband ridged horn design / K.L. Walton, V.C. Sundberg // Microwave Journal. – 1964. – No. 5. – P. 96–101.

8. Rodriguez V. New broadband EMC double-ridged guide horn antenna // RF Design. – 2004. – No. 5. – P. 44–47.

9. Abbas-Azimi M. Design and optimization of a new 1–18 GHz double-ridged guide horn antenna / M. Abbas-Azimi, F. Arazm, J. Rashed-Mohassel, R. Faraji-Dana // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 2007. – Vol. 21, No. 4. – P. 501–516.

10. Baker D. A compact, broadband, balanced transmission line antenna derived from double-ridged waveguide / D. Baker, C. Van Der Neut // Antennas and Propagation Society International Symposium. – 1982. – Vol. 20. – P. 568–571.

11. Jacobs B. The effect of manufacturing and assembling tolerances on the performance of double-ridged horn antennas. B. Jacobs, J.W. Odendaal, J. Joubert // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 2010. – Vol. 24, No. 10. – P. 1279–1290.

Куроптев Павел Дмитриевич

Аспирант каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР) ТУСУРа Тел.: +7-913-854-13-24 Эл. почта: kuroptevpasha@mail.ru

Левяков Владимир Владиславович Студент каф. СВЧиКР ТУСУРа

Тел.: +7-913-802-30-35 Эл. почта: levyakovv@mail.ru Фатеев Алексей Викторович

Канд. техн. наук, доцент каф. СВЧиКР ТУСУРа Тел.: +7-906-199-98-88 Эл. почта: fateev.alexey.v@gmail.com

Kuroptev P.D., Levyakov V.V., Fateev A.V. Broadband horn antenna 0,8–30 GHz range

Several solutions for coaxial-wave transitions, ridges and the aperture of the horn flare are offered. The characteristics of the existing analogues and their comparison with designed antenna model are shown.

Keywords: broadband horn antenna, coaxial-waveguide transition, a ridge, Bezier curve, directional pattern, standing wave ratio, the gain.