

Широкополосная логоспиральная антенна с круговой поляризацией

Пётр Вьюгин, Александр Курушин (Москва)

В статье рассматриваются вопросы проектирования широкополосной антенны, излучающей и принимающей сигналы глобальных навигационных спутниковых систем. В качестве широкополосной антенны выбрана спиральная логарифмическая антенна. Расчёт, моделирование и исследование антенны выполнены в программе электродинамического моделирования HFSS.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня является актуальным создание аппаратно-программных комплексов (АПК) для оценки характеристик навигационных модулей и навигационной аппаратуры, работающих по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Также современной задачей является повышение эффективности средств навигационного обеспечения и достоверности результатов оценки их характеристик. Под эффективностью антенны понимается совокупность свойств системы, характеризующих её рабочие качества.

Важным узлом таких АПК, определяющим его навигационные возможности, является широкополосная антенна, излучающая и принимающая сигналы ГНСС в гигагерцовом диапазоне частот. В качестве широкополосной антенны для АПК можно выбрать спиральную логарифмическую (логоспиральную) антенну, работающую в диапазоне частот от сотен мегагерц до десятков гигагерц (см. рис. 1). Логоспиральная антенна состоит из двухзаходной спирали и согласующего трансформатора. Антенна представляет собой две металлические полоски, намотанные и закреплённые на диэлектрическом конусе ($\epsilon = 1...3$). Ширины вибраторов увели-

чиваются в экспоненциальной зависимости к основанию конуса. Такая форма плоских спиральных вибраторов обеспечивает широкую полосу, а также широкий угол однонаправленного излучения с круговой поляризацией в направлении вершины конуса.

Логарифмическая двухвibratorная антенна с постоянным углом раскрытия в виде планарной спирали, обёрнутой вокруг диэлектрического конуса, была создана американским учёным Д. Дайсоном (Dyson) в 1958 году [1]. Особенностью логоспиральной антенны является то, что ширина каждого плеча увеличивается, начиная от точки питания, в логарифмической зависимости. Диаграмма направленности (ДН) логоспиральной антенны зависит от величины угла при вершине конуса и угла намотки спирали.

Три модели таких антенн (3101, 3102 и 3103) выпускает компания Electro-Mechanics Company (EMCO) [2]. Компания EMCO входит в корпорацию ETS-Lindgren (ETS-Lindgren производит оборудование и специальные материалы для радиоизмерений и испытаний на электромагнитную совместимость, имеет более 60 представительств в различных городах мира, в том числе в Москве), поэтому в статьях и ката-

логах антенн можно встретить обозначение, например, и EMCO-3101, и ETS-Lindgren-3101, но речь при этом идёт об одной и той же модели. На рисунке 1в показана логоспиральная антенна модели 3101. Диапазон рабочих частот этой антенны составляет 0,2...1 ГГц. Другие модели аналогичны по конструкции, но предназначены они для работы в других диапазонах частот и отличаются от модели 3101 геометрическими размерами. Диапазоны рабочих частот и другие характеристики логоспиральных антенн представлены в таблице.

В данной работе приведены результаты моделирования логоспиральной антенны в системе HFSS ANSYS [3] для диапазона частот 1...20 ГГц и показаны результаты её макетирования.

СПОСОБ ПИТАНИЯ ЛОГОСПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Существует несколько способов подачи питания на широкополосную логоспиральную антенну. Часто питание конической логоспиральной антенны выполняется с помощью коаксиальной линии или коаксиального кабеля, накладываемых на поверхности спиралей. Для этого также можно использовать двухпроводную линию.

Используется широкополосный преобразователь, выполненный в виде скошенной коаксиальной линии (см. рис. 2), имеющей плавно-изменяющийся характеристический импеданс [4]. Это достигается тем, что в различных сечениях структура линий плавно изменяется. От круглой коаксиальной линии (сечение А-А) она перехо-

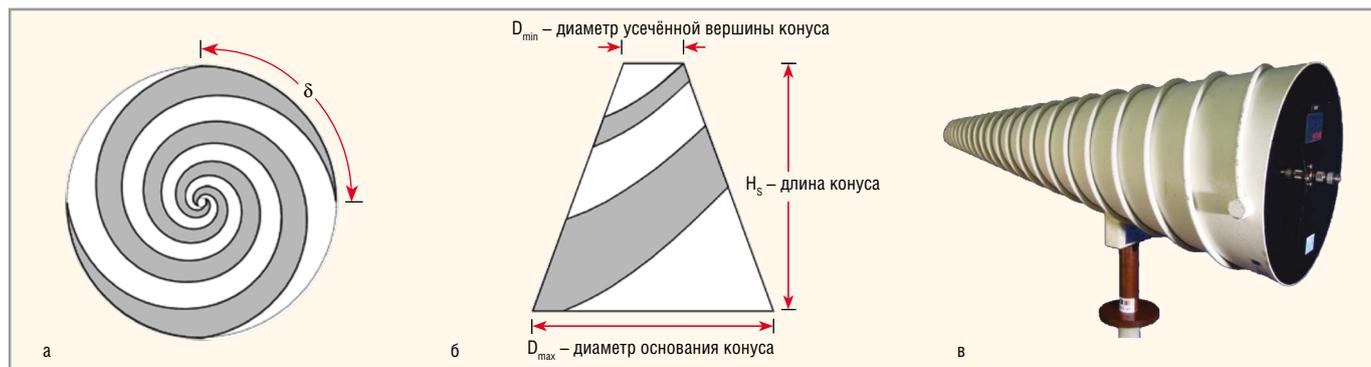


Рис. 1. Логоспиральная антенна: а – вид сверху; б – угол намотки спирали; в – вид сбоку (модель EMCO-3101)

дит в двухпроводную линию с небольшой диэлектрической прослойки (сечение В-В). Для перехода с несимметричной линии на симметричную использован коаксиальный кабель типа UT-141-SA (см. рис. 3). Диаметр его внутренней жилы составляет 0,91 мм, а диаметр внешней оплётки – 2,98 мм. Заполнение коаксиальной линии выполнено материалом с $\epsilon = 2,2$. Переход является излучающей линией. С одной стороны, создаётся несимметричный волноводный порт, а с другой – симметричный дискретный порт.

Моделирование перехода выполнено с помощью HFSS ANSYS [5] – мощной системы проектирования и трёхмерного моделирования ВЧ- и СВЧ-устройств и электромагнитных полей. Экспериментальное исследование такого перехода было выполнено с помощью анализатора цепей Agilent. Для анализа поведения электрических цепей при прохождении сигналов СВЧ используют так называемые S-параметры. Определяются они как коэффициенты отражения по входам (S11 и S22) и коэффициенты передачи со второго входа на первый (S12) и наоборот (S21) при под-

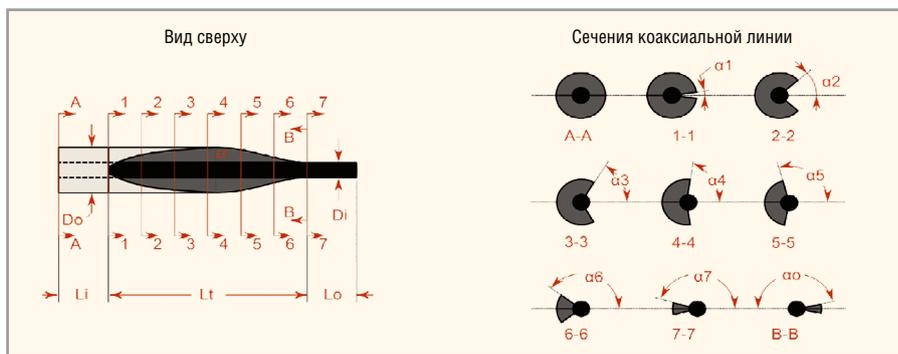


Рис. 2. Сечения скошенной коаксиальной линии

Характеристики логоспиральных антенн

Характеристика	Модель		
	1301	1302	1303
Поляризация	Круговая левая / Круговая правая		
ДН	Однонаправленная		
КНД (dBi)	10; 5 – мин.; 15 – макс.	–	–
Широкополосность	Многооктавная, зависит от геометрии плеч		
Сложность	Высокая		
Входной импеданс, Ом	150; 100 – мин.; 280 – макс.		
Диапазон частот (рабочий), ГГц	0,2...1	1...10	0,1...1
Мощность на входе, Вт, макс.	100 (150 – пик.)	50 (100 – пик.)	100 (150 – пик.)
КСВН	2,4:1	1,6:1	1,9:1
Импеданс, Ом	50		
Тип разъёма	N		
Длина (H _с), мм	813	381	1020
Диаметр (D _{max}), мм	330	127	660
Вес, кг	4,5	3,6	10,0
Диапазон рабочих температура, °C	–50...+50		



Рис. 3. Переход коаксиальной линии в двухпроводную линию

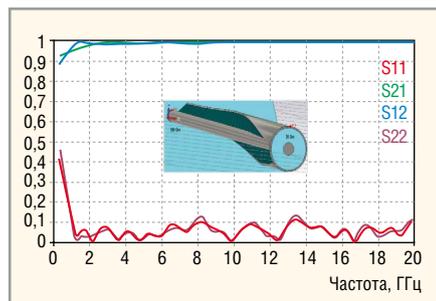


Рис. 4. Частотная характеристика линии передачи для диапазона частот 0...20 ГГц

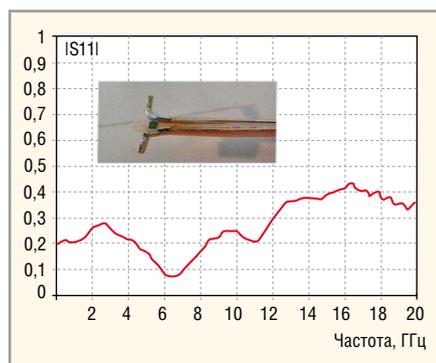


Рис. 5. Частотная характеристика S11 симметрирующего трансформатора в виде скошенной коаксиальной линии для диапазона частот 1...20 ГГц



Рис. 6. Макет логоспиральной антенны

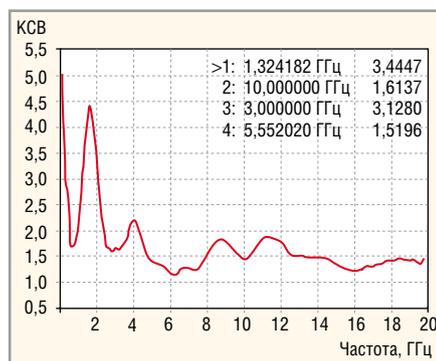


Рис. 7. Измеренная частотная характеристика КСВ логоспиральной антенны в диапазоне частот 1...20 ГГц

ключении согласованных нагрузок ко всем остальным входам.

Созданный переход имеет длину 160 мм (см. рис. 3). Для того чтобы обеспечить в линии режим бегущей волны на выходе двухпроводной линии установлено сопротивление 100 Ом

(см. рис. 4). Согласно расчётам, именно такое входное сопротивление имеет логоспиральная антенна.

Таким образом, расчёт и измеренные характеристики (см. рис. 5) показывают, что линия передачи будет выполнять согласование от несимметричной линии (коаксиальный ввод) к симметричной нагрузке (сопротивление 100 Ом) в диапазоне 1...20 ГГц с коэффициентом стоячей волны (КСВ, отношение максимального напряжения в СВЧ-тракте к минимальному) < 3.

МАКЕТ КОНИЧЕСКОЙ ЛОГОСПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Коническая логоспиральная антенна является замедляющей структурой для поверхностной волны, идущей от точки питания к вершине конуса. Но в пространстве широкой части конуса она становится ускоряющей структурой, в результате чего направление излучения и диаграмма направленности изменяются в сторону вершины конуса. Коническая логоспиральная антенна излучает в эту сторону с круговой поляризацией. Макет логоспиральной антенны показан на рисунке 6. Диаметр основания конуса составляет 43 мм, а длина – 145 мм. Точка питания логоспиральной антенны находится в вершине конуса. В этой точке к выводам логоспиральной антенны припаивается симметричный вход широкополосного перехода, показанного на рисунке 3.

Ширина полосы пропускания конической логоспиральной антенны определяется соотношением диаметра основания D_{max} (около половины длины волны на нижней частоте) к диаметру усечённой вершины D_{min} (примерно в четверть длины волны на наибольшей частоте). Согласно принципу Бабиня, для планарной логоспиральной антенны прогнозируется входное сопротивление, равное 188 Ом. Связь между спиралями на конусе уменьшает это значение до 150 Ом и менее.

Частотные характеристики логоспиральной антенны зависят от геометрии конуса и угла намотки спирали. Самая низкая рабочая частота логоспиральной антенны связана с максимальным диаметром основания конуса D_{max} , а максимальная частота связана с минимальным диаметром усечённого конуса D_{min} , на котором формируется логоспиральная антенна. Поляризация может быть изменена направлением сворачивания спирали. Усиление логоспиральной антенны растёт при увеличении

угла спирали δ , а ширина луча увеличивается при уменьшении угла спирали δ (см. рис. 1).

Входное сопротивление увеличивается при уменьшении угла расхождения плеч антенны. Экспериментальная частотная характеристика КСВ исследуемой антенны, измеренная с помощью анализатора цепей Agilent, показана на рисунке 7.

Выполним расчёт логоспиральной антенны методом IE (метод интегральных уравнений, который не требует охвата антенны боксом поглощения) программы электродинамического моделирования HFSS. Время расчёта такой антенны, размер которой можно считать более 10 длин волн на самой высокой частоте 20 ГГц, составляет две минуты на одной частотной точке (компьютер 2 ГГц, 2 ГГБ). Программа HFSS рассчитывает импедансные частотные характеристики и характеристики излучения в каждой частотной точке. Перерасчёт коэффициента отражения S11 и КСВ выполняется по формуле: $S11 = (КСВ - 1) / (КСВ + 1)$. Результаты расчёта и измерения параметра $|S11|$ показаны на рисунке 8.

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ДАЛЬНОГО ПОЛЯ ЛОГОСПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Комплекс HFSS ANSYS в настоящее время обладает возможностями решения мультифизических задач. Добавлена также возможность решить одну задачу различными методами (например, методом конечных элементов и методом интегральных уравнений). Для расчёта характеристик дальнего поля логоспиральной антенны выберем метод интегральных уравнений, поскольку для этого метода требуется меньше компьютерных ресурсов.

Частотные свойства широкополосной антенны оцениваются, в основном, её согласованием в широком диапазоне частот и стабильностью характеристик дальнего поля (коэффициента направленного действия, осевого отношения, фазового центра и др.). Частотные характеристики дальнего поля, рассчитанные в каждой частотной точке, показаны на рисунке 9 (осевое отношение, AR) и рисунке 10 (коэффициент направленного действия, КНД). Из рисунка 9 видно, что в диапазоне 1...14 ГГц осевое отношение, оценивающее круговую поляризацию логоспиральной антенны, < 3. Это хороший результат. Частотные зависимости КНД в направлении оси излуче-

ния показаны на рисунке 10, а в трёхмерном представлении для частот от 1 до 10 ГГц – на рисунке 11, на котором видно, что излучение в направлении оси Z меняется мало, но форма трёхмерной ДН претерпевает значительную деформацию. Исследование характеристик дальнего поля логоспиральной антенны выполнено в безэховой камере. Крестиками на рисунках отмечены результаты измерений параметров в отдельных точках частотного диапазона.

Выводы

Характеристики логоспиральной антенны позволяют использовать её в навигации. В широком диапазоне углов излучения и рабочих частот логоспиральная антенна имеет круговую поляризацию. Моделирование такой сложной широкополосной антенны, размеры которой превышают длины волн рабочего (сантиметрового) диапазона, выполненное с помощью комплекса HFSS ANSYS, показало качественное и количественное совпадение расчётных и измеренных характеристик антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dyson J.D.* The Unidirectional Equiangular Spiral Antenna. University of Illinois. Antenna Lab. Tech. Rep. № 33. Ohio. July 10. 1958.
2. www.ets-lindgren.com. Производитель конических логоспиральных антенн.
3. www.ansys.com. Разработчик системы HFSS ANSYS.
4. *Zhen-Yu Zhang, Yong-Xin Guo, L.C. Ong, M.Y.W. Chia.* A New Planar Marchand Balun. IEEE Transactions. On MTT-53. № 4. 2005.
5. *Банков С.Е., Гутцайт Э.М., Курушин А.А.* Решение оптических и СВЧ-задач с помощью HFSS. М. «Оркада». 2012. 240 с. ©

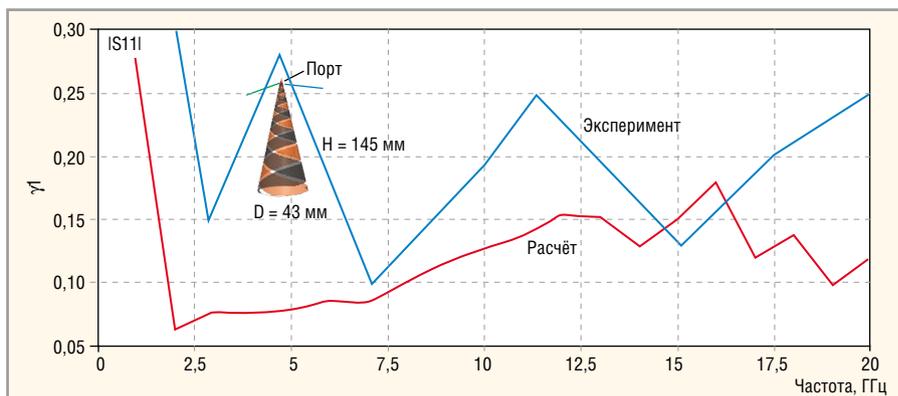


Рис. 8. Частотная характеристика IS111 логоспиральной антенны



Рис. 9. Осевое отношение логоспиральной антенны в диапазоне частот 1...20 ГГц

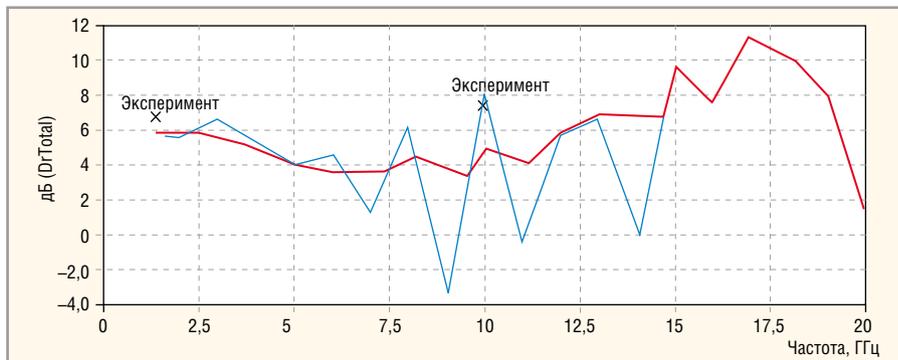


Рис. 10. Коэффициент направленного действия логоспиральной антенны в направлении главного максимума ДН в диапазоне частот 1...20 ГГц

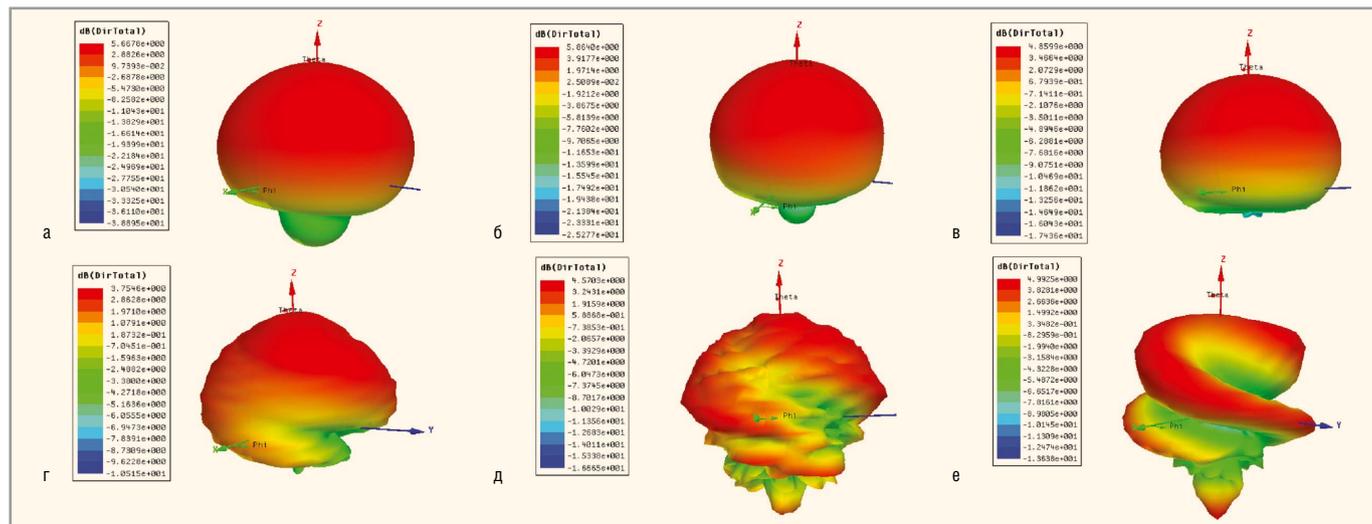


Рис. 11. Изменение формы 3D-диаграммы направленности логоспиральной антенны в диапазоне частот 1...10 ГГц: а – 1 ГГц; б – 2 ГГц; в – 4 ГГц; г – 6 ГГц; д – 8 ГГц; е – 10 ГГц.