

Моделирование и изготовление конической спиральной антенны

Д.А. Литовский, М.С. Манахова, А.А. Трушанин

ООО НПП «ПРИМА»

Аннотация: в данной работе представлены результаты электромагнитного моделирования конической однозаходной спиральной антенны над рефлектором. Разработана конструкция и технология изготовления антенны. Приведены измеренные электродинамические характеристики опытного образца.

Ключевые слова: спиральная антенна, электромагнитное моделирование, диаграмма направленности.

1. Введение

Актуальной задачей, в последние несколько лет, является создание широкополосной аппаратуры радиосвязи для передачи большого объема данных на высоких скоростях [1, 2]. Данные системы связи высоко востребованы для использования на бортах пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Антенная часть зачастую задает облик всего устройства радиосвязи и нуждается в тщательной проработке. Перспективным решением указанных задач, с точки зрения антенн, является использование объемных спиральных излучателей. Известны многочисленные вариации антенн данного типа [3], которые с разным успехом применяются на практике.

По результатам предварительного анализа электромагнитных и массогабаритных характеристик среди различных вариантов исполнения была выбрана спиральная антенна в виде обратного конуса, встречающаяся достаточно редко [4].

2. Результаты электромагнитного моделирования

Модель спиральной антенны в виде обратного конуса представлена на рисунке 1. Антенна представляет собой правозакрученную спираль, намотанную на конус и расположенную над металлической поверхностью. Вся спиральная антенна помещена во фторопластовый цилиндр. Возбуждение антенны осуществляется коаксиальным кабелем.

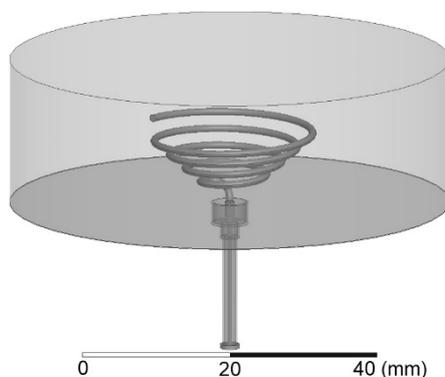


Рисунок 1. Внешний вид спиральной антенны.

Электромагнитное моделирование данной конструкции антенны было проведено

в программном пакете ANSYS Electronics Desktop. На рисунке 2 представлена зависимость параметра S_{11} от частоты. Ширина рабочего диапазона частот данной антенны составляет 1.42ГГц по уровню -10дБ – от 2.82ГГц до 4.24ГГц. В процентном соотношении ширина полосы составляет около 40%.

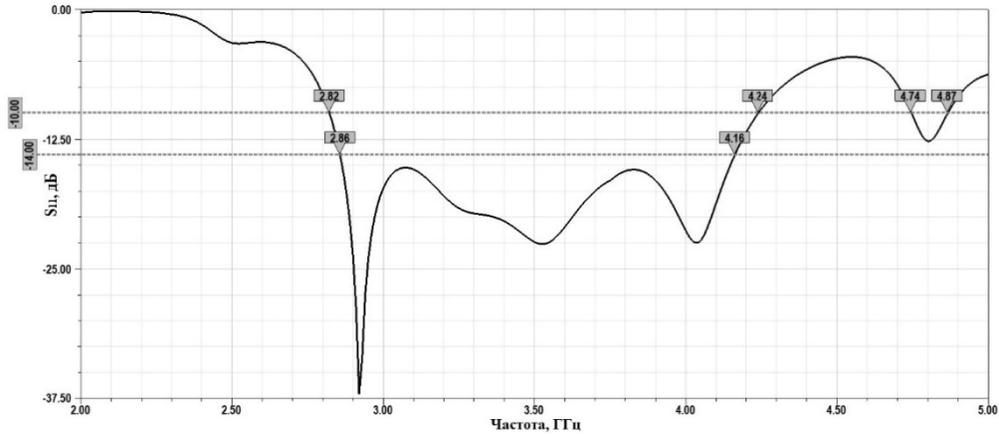


Рисунок 2. Зависимость параметра S_{11} спиральной антенны от частоты.

На рисунке 3 представлены ортогональные сечения диаграмм направленности моделируемой антенны. Коэффициент усиления составляет 7,52дБ на центральной частоте. Ширина главного лепестка ДН составляет около 85°. В пределах ширины луча отношение осей эллипса поляризации принимает значения ниже 2. Коэффициент усиления антенны достаточно стабилен в рабочей полосе частот.

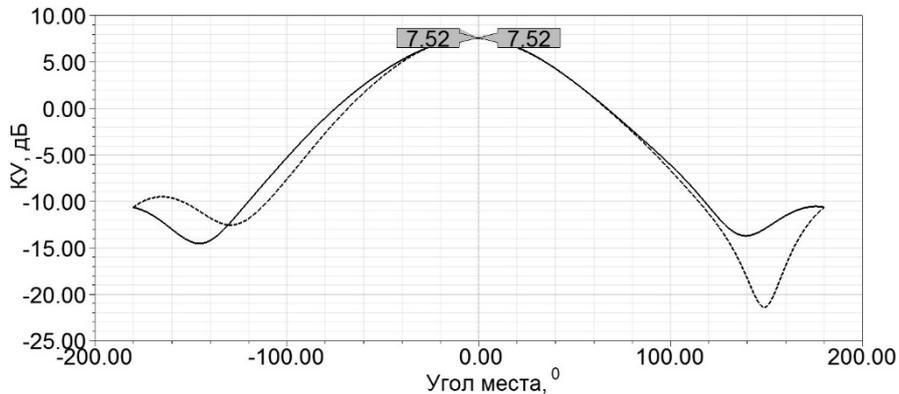
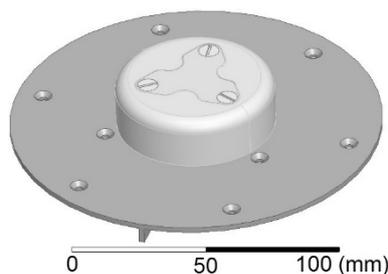
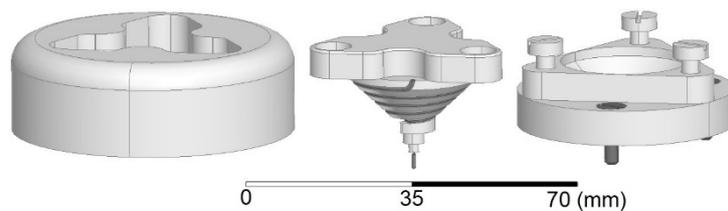


Рисунок 3. Сечения диаграммы направленности антенны на центральной частоте.

С целью учета влияния конструкции антенны на ее электрические характеристики, в САПР SolidWorks была разработана 3D модель макета (рисунок 4). Корпус антенны состоит из трех фторопластовых деталей, скрепленных нейлоновыми винтами (диэлектрическая проницаемость 4). Медная проволока укладывается в спиралевидный паз, выточенный в средней части корпуса.



а) общий вид макета



б) основные детали антенны

Рисунок 4. Модель макета спиральной антенны.

На рисунке 5 представлены зависимости параметра S_{11} модели макета (сплошная линия) и первоначальной модели антенны (пунктирная линия) от частоты.

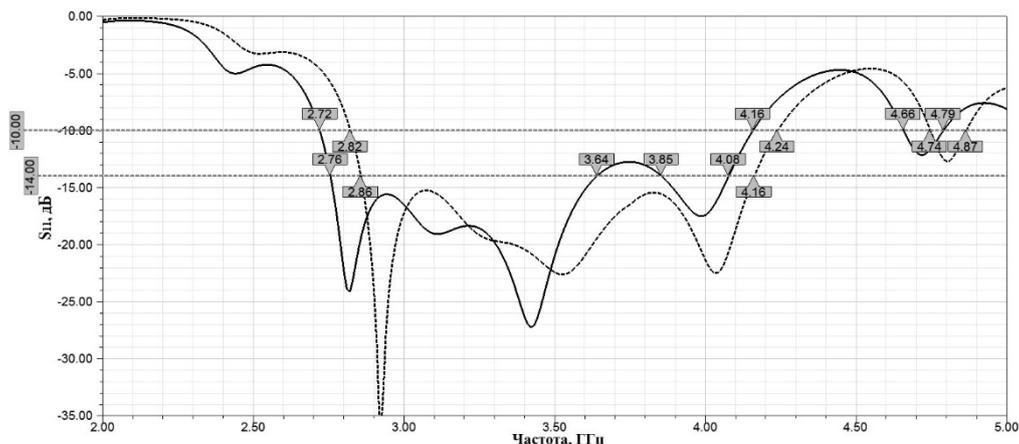


Рисунок 5. Зависимости параметра S_{11} моделей макета и антенны от частоты.

Смещение полосы частот и ухудшение согласования в диапазоне частот 3,64 – 3,85 ГГц вероятно вызвано использованием нейлоновых винтов, расположенных близко к спирали, что приводит к изменению импеданса вдоль линии. Влияние конструкции на ДН спиральной антенны несущественно.

3. Изготовление и результаты измерений электромагнитных характеристик макета

В соответствии с 3D моделью был изготовлен макет спиральной антенны. Использование станка с ЧПУ позволило обеспечить высокую точность исполнения необходимых размеров и удобство сборки антенного модуля. На рисунке 6 слева изображена спиральная антенна в сборе, а справа – ее составные детали. Питание антенны осуществляется через коаксиальный SMP-разъем.

Измерение параметра S_{11} макета проведено с использованием векторного анализатора цепей Keysight PNA N5222A. На рисунке 7 приведены моделируемая (пунктирная) и измеренная (сплошная) зависимости параметра S_{11} макета от частоты. Сравнение графиков демонстрирует высокое совпадение результатов. Небольшой сдвиг по частоте (около 0.9%) вероятно вызван чуть меньшим значением величины диэлектрической проницаемости реального фторопласта от моделируемого.

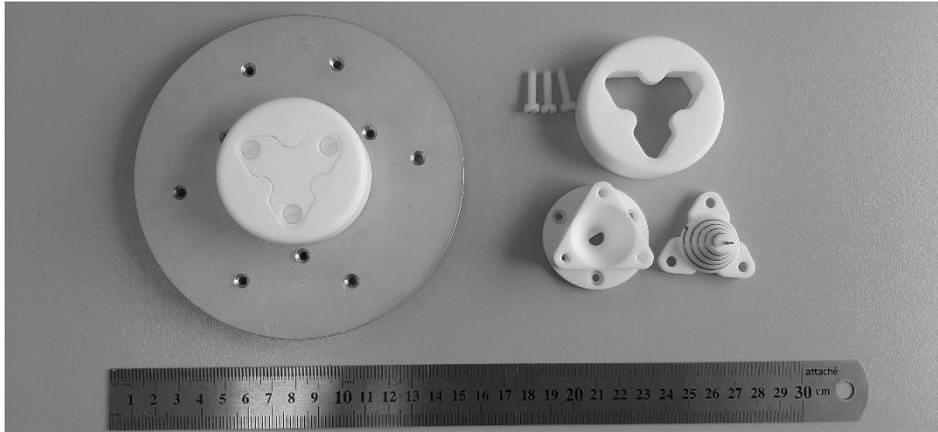


Рисунок 6. Спиральная антенна в сборе (слева) и составные детали (справа).

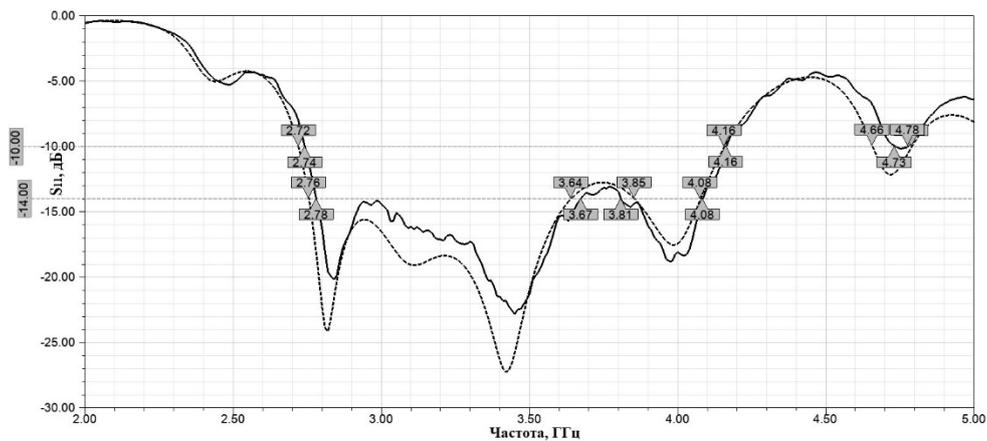


Рисунок 7. Зависимости S_{11} моделируемой и изготовленной спиральных антенн от частоты.

Измерение характеристик излучения макета проводилось с использованием системы измерения параметров антенн TS8991 от Rohde&Schwarz. Для удобства сравнения, результаты измерений воспроизведены в среде ANSYS Electronics Desktop. На рисунке 8 приведены сечения моделируемой (пунктирная) и измеренной (сплошная) диаграммы направленности макета на центральной частоте диапазона.

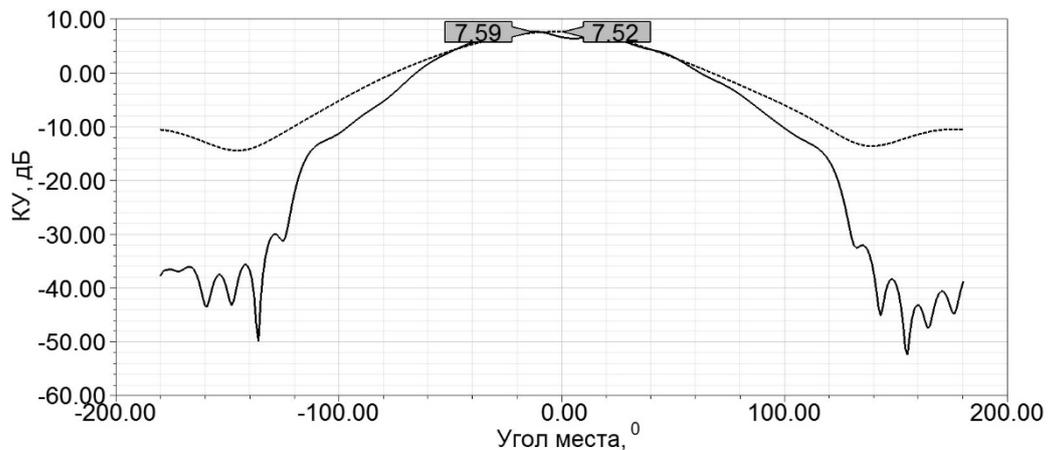


Рисунок 8. Сечения диаграммы направленности моделируемой (пунктирная) и измеренной (сплошная) спиральных антенн.

В диапазоне углов места от -60° до $+60^\circ$ результаты моделирования и измерений практически полностью совпадают. Вне данного диапазона расхождение, вероятно,

вызвано влиянием измерительной оснастки. В диапазонах от -180° до -120° и от 120° до 180° сплошная кривая является результатом аппроксимации, проводимой системой TS8991. Ширина главного лепестка ДН составляет 82° .

4. Заключение

Проведено электромагнитное моделирование спиральной антенны в виде обратного конуса над рефлектором. Разработана 3D модель макета спиральной антенны, рассмотрено влияние элементов конструкции на ее электродинамические характеристики. В соответствии с 3D моделью изготовлен макет спиральной антенны. Благодаря применению современных технологий производства удалось достичь высокой точности изготовления и обеспечить удобство сборки антенного модуля.

Проведены измерения электрических характеристик макета с использованием системы TS8991 от Rohde&Schwarz. Данные измерений с высокой точностью повторяют результаты моделирования. Антенные элементы, изготовленные в соответствии с макетом, используются в настоящее время в составе бортовых антенных решеток пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, а также на наземных пунктах управления и связи.

Список литературы

1. Флакман А.Г., Ермолаев В.Т. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи. Н. Новгород: ННГУ, 2011. 368 с.
2. Нестеров А.В., Лелюх А.А., Гавриков Н.С., Куликов Г.В. Оценка энергетических характеристик радиолиний перспективных систем спутникового широкополосного доступа для аэромобильных абонентов. Журнал радиоэлектроники, 2019.
3. Фрадин А.З. Антенны сверхвысоких частот. М.: Сов. Радио, 1957. 652с.
4. Юрцев О.А., Рунов А.В., Казарин А.Н. Спиральные антенны. М.: Сов. Радио, 1974, 224с.