

Покровский Н.А., Седышев Э.Ю.
Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Инженерный метод расчета планарной спиральной антенны СВЧ

Работа посвящена созданию инженерной методики синтеза планарных спиральных антенн СВЧ и расчету их электродинамических характеристик. Предложена конструкция масштабного макета для исследования планарной спирали с возможностью его дальнейшей интеграции в интегральную схему. Для макета также приведены результаты моделирования в электродинамическом программном пакете и проведен физический эксперимент. Сделан сравнительный анализ различных вариантов планарных спиралей для оценки эффективности их излучения.

Ключевые слова: спиральные антенны, ОИС, FEKO SE, расчет спиральной антенны, планарные антенны, микрополосковые антенны.

В современной литературе, посвященной планарным спиральным излучателям, затрагиваются проблемы связанные со способом питания многозаходных спиралей, влиянием подложки на параметры излучения, изменением усиления и направленности спиральных излучателей от частоты. А также изучается влияние формы контура спирали на электродинамические характеристики. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]

Вопрос проектирования спиральных планарных антенн остаётся не решенной задачей. Исследование зависимости между геометрическими параметрами, и электродинамическими характеристиками был представлен в [8]. В [8] были исследованы следующие геометрические параметры эквиугольной спирали:

- угол, определяющий ширину рукава спирали;
- коэффициент развертки спирали;
- количество витков спирали.

Уравнение эквиугольной спирали в полярной системе координат выглядит следующим образом (1):

$$r(\varphi) = r_0 e^{a\varphi + \omega}, \quad (1)$$

где r_0 – начальный радиус спирали; a – коэффициент развертки спирали;
 φ – угол поворота спирали; ω – угол, определяющий ширину рукава планарной спирали.

Для решения задачи проектирования эквиугольной планарной спирали в [8] был предложен следующий алгоритм проектирования конструкции планарной спиральной антенны:

- задание начальной f_1 и конечной f_2 частоты,

— вычисление начального радиуса r_0 по следующей формуле (2):

$$r_0 = \frac{c}{4f_2}, \quad (2)$$

где c – скорость света, $\frac{m}{c}$; f_2 – конечная рабочая частота, ГГц,

— расчёт коэффициента развертки a спирали по формуле ниже (3):

$$a = \frac{f_1 \cdot \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}{f_2 - f_1}, \quad (3)$$

где f_1, f_2 – начальная и конечная рабочая частота, ГГц,

— угол поворота определяется следующим соотношением для частотно-независимых антенн (4):

$$\varphi = \frac{1}{a} \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right), \quad (4)$$

где a – коэффициент развертки спирали; f_1, f_2 – начальная и конечная рабочая частота, ГГц,

— ширина рукава планарной спирали w определяется по формуле (5):

$$w = \frac{1}{\ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right)}, \quad (5)$$

где f_1, f_2 – начальная и конечная рабочая частота, ГГц.

На основе данного алгоритма была получена антенная структура, Антенная структура была рассчитана в диапазоне от 1 ГГц до 10 ГГц. Результаты моделирования представлены на рисунке 2.



Рис. 1. Конструкция антенны.

С помощью предложенной методики расчёта и проведенного электродинамического моделирования были изготовлены планарные спиральные антенны, которые были исследованы в диапазоне от 2 ГГц до 5.2 ГГц. Выбор диапазона определялся доступностью оборудования в Лаборатории синтеза СВЧ устройств СПбГУТ. Изготовленные образцы представлены на рисунке 3.

Эти образцы были выполнены согласно методике, представленной в [9] и исследованию, проведенному в [10]. На основании решений, представленных в [10] удалось уменьшить ширину рукава спирали, и сохранить излучающие характеристики антенны.

Варианты изготовленных планарных антенн отличались по способу питания. Образец представленный на рисунке 3а использует оригинальное питающее устройство, которое состоит из двух типов линий - двухпроводной и микрополосковой. Второй образец, представленный на рисунке 3б, питался с внешней части спирали, с конца "рукава" спирали. Результаты измерений представлены на рисунке 4 и рисунке 5.

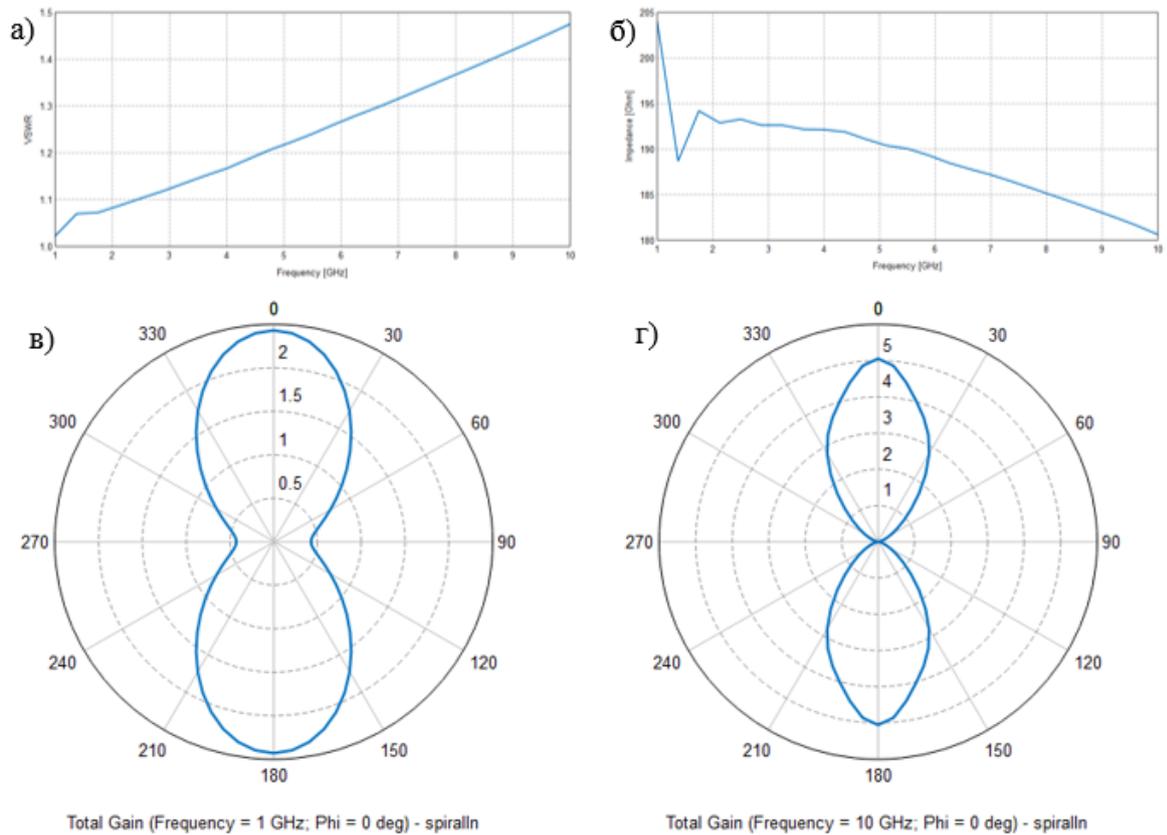


Рис. 2. Результат моделирования: а – КСВН разработанной антенны; б – импеданс разработанной антенны; в – диаграмма направленности на 1 ГГц; г – диаграмма направленности на 10 ГГц.



Рис. 3. Изготовленные макеты.

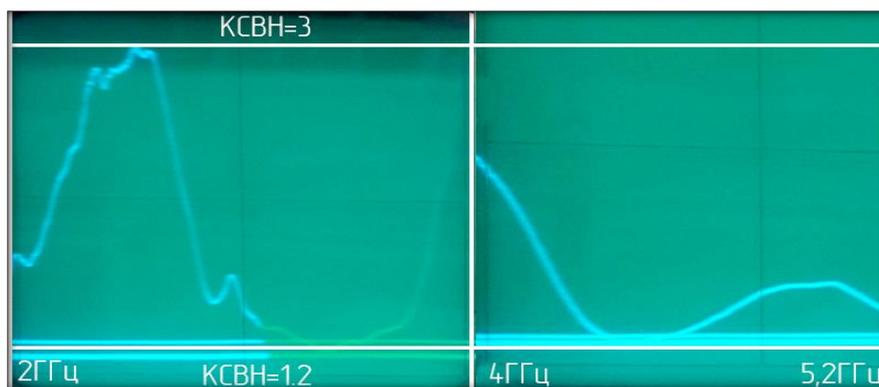


Рис. 4. Осциллограмма образца *а*.

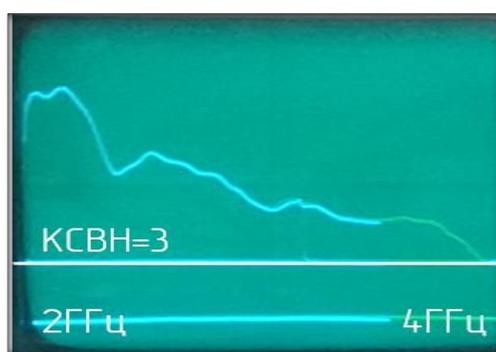


Рис. 5. Осциллограмма образца *б*.

Первый образец лучше второго и имеет КСВН меньше во всей полосе частот, это объясняется хорошим согласованием тракта первого образца. Различия рассчитанных и экспериментальных значений КСВН объясняется погрешностью геометрии реальных макетов (неточность изготовления). В работе [10] описываются результаты исследования контурных спиральных антенн, которые показывают значение точности изготовления краев структуры и её определяющую роль при достижении заданных характеристик.

Предложенная методика позволяет рассчитывать геометрические размеры планарных спиральных излучателей СВЧ, используя лишь рабочий диапазон частот. Она создана для проектирования планарных спиралей на первоначальных этапах разработки. Методика была проверена в электродинамической программе Feko SE, где был создан по произвольному ТЗ макет спирального излучателя. Макет также был изготовлен и проведен реальный эксперимент, который подтвердил эффективность данной методики.

Библиографический список

1. Юрцев О. А., Рунов А. В., Казарин А. Н. Спиральные антенны М.: Советское радио, 1974. — 224 с.
2. Balanis C. A. Antenna Theory: Analysis and Design Wiley, 2016. — 1096 p.
3. Volakis John L. Antenna Engineering Handbook McGraw-Hill, 2007. — 1755 p.
4. Fujimoto Kyohei, Morishita Hisashi. Modern Small Antennas Cambridge University Press, 2013. — 488 p.
5. Steven (Shichang) Gao, Qi Luo, Fuguo Zhu. Circularly Polarized Antennas Wiley-IEEE Press, 2014. — 322 p.
6. Michael McFadden, Waymond R. Scott Jr. Analysis of the Equiangular Spiral Antenna on a Dielectric Substrate // IEEE Transactions on antennas and propagation. 2007, vol. 55, no. 11. 3163-3171.
7. Dyson, John D. The equiangular spiral antenna, University of Illinois, 1957. — 322 p.
8. Покровский Н. А., Седышев Э. Ю. Исследование планарной спирали в ОИС СВЧ. Материалы международную научно-техническую и научно-методическую конференцию АПИНО. Санкт-Петербург, 2017.
9. Седышев Э. Ю. Масштабное макетирование объемных интегральных схем СВЧ-диапазона [Текст] / Федер. агентство связи, ФГБОУВПО "СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича" // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : Международная научно-техническая и научно-методическая конференция, №64 (20-24 февр. 2012 г.) : материалы. - СПб. : СПбГУТ, 2012. -С. 379-382.
10. Ахметов Р.Р., Седышев Э.Ю. Широкополосные контурные антенны для объемных интегральных схем СВЧ. Материалы международную научно-техническую и научно-методическую конференцию АПИНО. Санкт-Петербург, 2017.