

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены вопросы моделирования и измерения характеристик сверхширокополосных микрополосковых антенн для медицинских приложений. Исследованы различные способы реализации питания питающей линии антенны а также проанализированы основные характеристики антенны, такие как частотные зависимости коэффициента отражения, КСВ, коэффициента усиления, диаграммы направленности в полосе частот от 3 ГГц до 20 ГГц. Для моделирования и верификации полученных результатов использованы САПР программы Altair FEKO и CST Studio Suite.

Сверхширокополосная антенна, монополярная антенна, беспроводные системы связи.

Moiseenko Ivan Evgenievich, Kisel' Natal'ya Nikolaevna

STUDYING THE CHARACTERISTICS OF AN ULTRA-WIDEBAND ANTENNA FOR MEDICAL APPLICATIONS

The issues of modeling and measuring the characteristics of ultra-wideband microstrip antennas for medical applications are considered. Various methods for implementing antenna feed lines have been studied, and the main characteristics of an-

tennas have been analyzed, such as frequency depending on the reflection coefficient, SWR, gain, radiation pattern in the frequency band from 3 GHz to 20 GHz. CAD programs Altair FEKO and CST Studio Suite were used to simulate and verify the results obtained. The developed physical antenna sample was examined and the results were compared with the results of mathematical modeling.

Ultra-wideband antenna, monopole antenna, wireless communication systems.

Введение

В настоящее время носимые беспроводные системы связи используются для различных приложений, например медицинских, обеспечивая постоянный мониторинг параметров человека с последующей обработкой результатов с помощью искусственного интеллекта. Такой подход – это не только развитие дистанционных направлений медицины, но и снижение вероятности возможных ошибок при установке диагноза, динамике изменения параметров пациентов и подбор необходимых лекарств для корректировки лечения. Эффективность работы таких персональных беспроводных систем, целью которых служит сбор и передача информации напрямую зависит от антенн, используемых в этих системах. В качестве выбора антенн для данных приложений являются микрополосковые антенны, которые относятся к низкопрофильным, они имеют небольшие габариты и при этом можно обеспечить широкую полосу частот их работы. Еще важное требование для таких антенн – это сохранение поляризационных свойств антенны, формы диаграммы направленности и коэффициента усиления при возможной деформации (искривления антенны).

В работе исследованы вопросы чувствительности характеристик антенны к изменению конфигурации питающей линии, выполнена оптимизация геометрических параметров микрополосковой линии питания. Проведено сравнение характеристики антенны для различных вариантов реализации схемы питания, а также выполнена верификация результатов, полученных с использованием специализированного САПР Altair FEKO и CST Studio Suite.

Основная часть

В работе рассмотрена СШП-антенны микрополосковая монополярная антенна в частотном диапазоне от 3 до 19 ГГц. Излучатель круглой формы имеет радиус $R=10,6$ мм. Антенна выполнена на диэлектрической подложке с размерами $W=42$ мм, $L=50$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью 4,5, тангенсом потерь 0.001 и высотой $h=1,5$ мм. С обратной

стороны подложки расположен экран прямоугольной формы с размерами 42 мм X 15,6 мм. Питание реализовано в виде микрополосковой линии конической формы с трезубцем в месте соединения линии с излучателем. Сужение помогает выполнить согласование входного импеданса по частоте, а трезубец выполняет дополнительное согласование для определенных частотных зон. На рис. 1 представлена геометрия данной антенны.

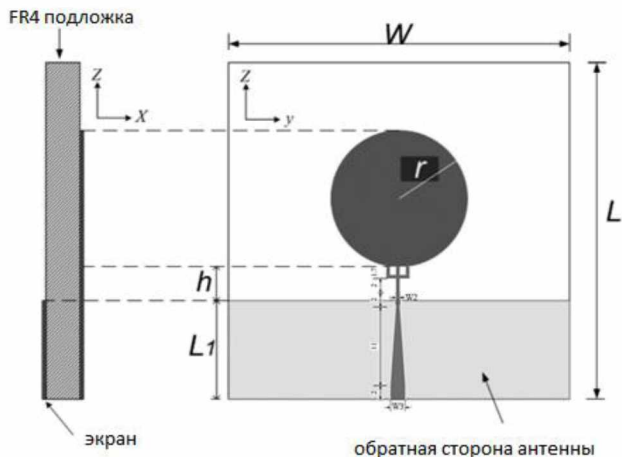


Рис. 1. Геометрия круглой СШП-антенны с трезубцем

Толщина микрополосковой линии питания меняется от $W_3=2,1$ мм до $W_2=0,58$ мм. Щель между излучателем и кромки заземляющей поверхности составляет $h=3$ мм. Высота трезубца равна 1,8 мм, а расстояние между микрополосковыми линиями трезубца равно 0,7 мм.

Ниже приведены результаты моделирования основных характеристик антенны в режиме излучения: коэффициент стоячей волны (КСВ), диаграмма направленности (ДН) и коэффициент усиления (КУ), выполненные в САПР CST Studio Suite.

Диаграмма направленности антенны на разных частотах представлена на рис. 2.

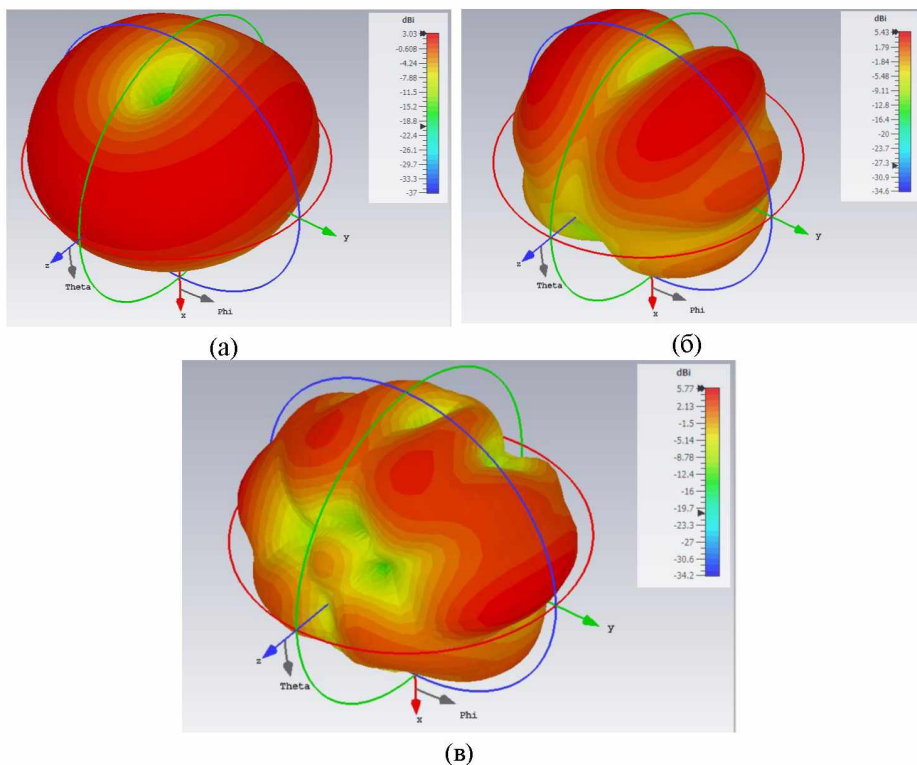


Рис. 2. ДН антенны на 5 ГГц (а), на 10 ГГц (б) и на 15 ГГц (в)

Как видно из рис. 2, форма ДН антенны относится к ненаправленным. С увеличением частоты в ДН появляются провалы, но ДН по-прежнему остается всенаправленной.

На рис. 3 представлена частотная зависимость КСВН антенны после выполнения оптимизации ее линии питания. В диапазоне от 2 до 20 ГГц КСВН лежит в пределах от 1 до 2, что соответствует коэффициенту отражения ниже -10 дБ.

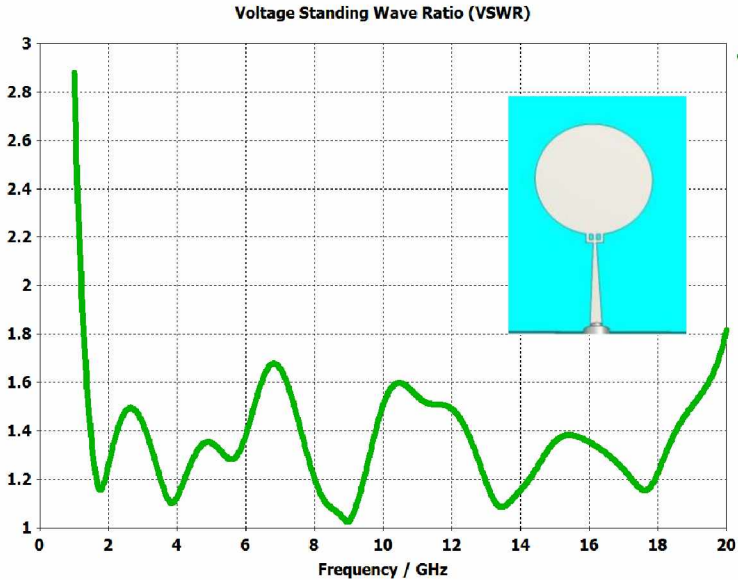


Рис. 3. Частотная характеристика КСВН антенны

На рис. 4 представлена частотная характеристика КСВ для двух вариантов антенн, которые различаются способом реализации линии питания.

Видно, что использование микрополосковой линии конической формы с трезубцем в месте соединения линии с излучателем дает более равномерную характеристику в исследуемом диапазоне, не превышающем 1,75. Кроме того, такая схема питания обеспечивает расширение рабочего диапазона частот. КСВ ниже 2 уже достигается при частотах 1,25 ГГц, в то время как при однородной линии питания КСВ ниже двух наблюдается только начиная с 2,5 ГГц.

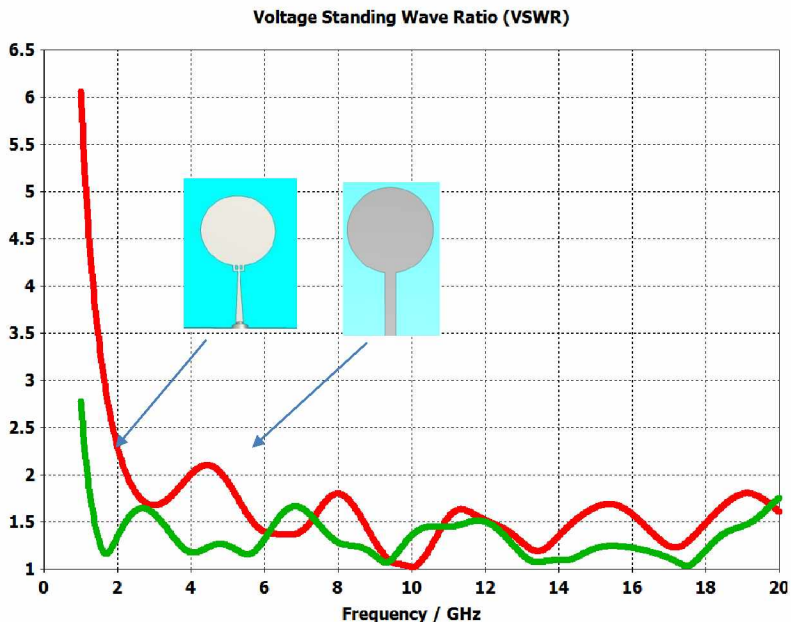
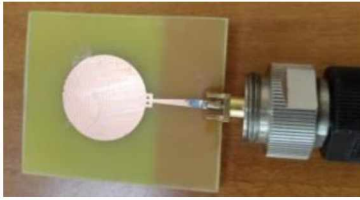


Рис. 4. Частотная характеристика КСВН антенн: с однородной микрополосковой линией питания (красная кривая), с микрополосковой линией конической формы с трезубцем в месте соединения с излучателем (зеленая кривая)

Модель исследуемой антенны был изготовлен методом лазерно-утюжной технологии (ЛЮТ) и исследован с помощью векторного анализатора цепей. Для изготовления макета был использован материал диэлектрической подложки FR-4 с толщиной 1.5 мм, диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4.5$ и слоем медного покрытия толщиной 35 мкм. Изготовленный макет антенны и экспериментальные результаты коэффициента отражения представлены на рис.5.



а)



б)

Рис. 5 Физическая модель разработанной антенны (а) и результаты измерений коэффициента отражения (б)

На рис. 6 приведены в сравнении частотные результаты, рассчитанные в программе CST Studio Suite и экспериментальные результаты.

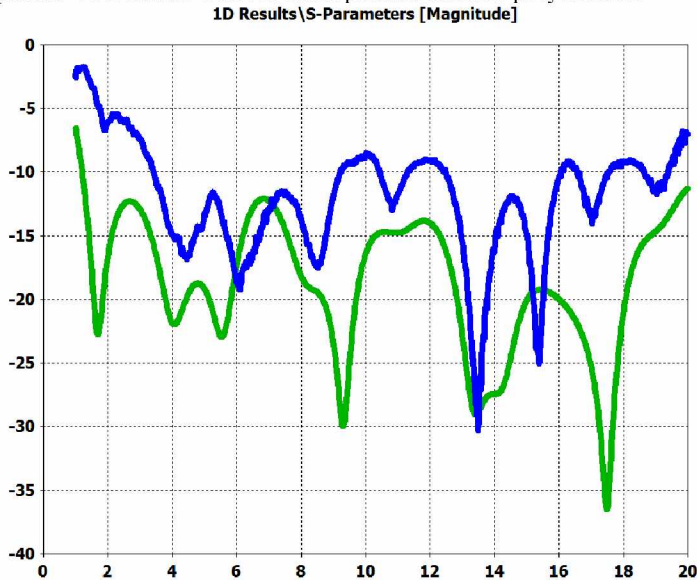


Рис. 6 Частотная зависимость коэффициента отражения: результаты численного моделирования (зеленая кривая) и экспериментальные данные (синяя кривая)

Качественно характеристика повторяет расчетную, однако имеющиеся отличия в абсолютных значениях в наибольшей степени отличаются в частотном диапазоне с 2 ГГц до 4 ГГц. Такие отличия можно объяснить тем, что не учитываются частотная дисперсия параметров подложки и заданные по техническим характеристикам параметры также могут отличаться в больших пределах ($\pm 15\%$) и возможные потери в SMA коннекторе, которые не учтены в математической модели. Кроме того, при изготовлении модели антенны наблюдался эффект подтравки и имелись некоторые погрешности переноса рисунка на диэлектрик методом ЛУТ. За счет толщины антенны SMA коннектор имел значительную щель с подложкой, что устранялось доработкой макета антенны и также сказалась на результатах исследования.

Выводы

Таким образом показано, что форма питающей линии антенны оказывает значительное влияние на коэффициент отражения антенны, наблюдается расширение рабочей полосы в сторону нижних частот по сравнению со стандартным способом реализации линии питания. Следует отметить, что модификация линии питания не оказывает существенного влияния на ДН антенны. Экспериментальные исследования подтвердили результаты численного моделирования. В дальнейшем предполагается рассмотреть возможность реализации данной антенны на полиамидной пленке или текстильной основе и учесть влияние на характеристики изгибов (деформации) антенны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Y. Duroc, A.I. Najam* "UWB Antennas: Design and Modeling," Ultra-Wideband, pp. 371-398, August 2010.
2. *Akdagli, A.; Ozdemir, C.; Yamacli, S.* (2008). A Review of Recent Patents on Ultra-Wide Band (UWB) Antennas. Recents Patents on Electrical Engineering, 2008. Vol. 1, No. 1, p.68–75
3. *Bao, X.L. & Amman, M.J.* (2007). Printed Band-Rejection UWB Antenna with H-Shaped Slot, Proceedings of International Workshop on Antenna Technology: Small and Smart Antennas Metamaterials and Applications, pp. 319-322, ISBN: 1-4244-1088-6, Cambridge, UK, March 2007.
4. *L. R. Arnaut* "Adaptive control and optimization of electromagnetic radiation, attenuation, and scattering using self-adaptive material systems," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 7, pp. 1530-1548, July 2003.

5. Жамаладин Ж.Т., Кисель Н.Н. Исследование влияния CSRR-резонатора на рабочую полосу сверхширокополосной микрополосковой антенны// В сборнике: Проблемы современной системотехники. Сборник научных статей. Таганрог, 2023. С. 100-105

6. Жамаладин Ж.Т., Кисель Н.Н. Моделирование характеристик СПП-антенны с CSRR-Резонатором// В сборнике: Инженер настоящего и будущего: практика и перспективы развития партнерства в высшем техническом образовании. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Донецк, 2023. С. 186-188.

7. Гузъ Е.Э., Кисель Н.Н. Экспериментальное и численное моделирование микрополосковой антенны для БПЛА// В сборнике: Проблемы современной системотехники. Сборник научных статей. Таганрог, 2023. С. 91-95.

8. Дзуцев Р.К., Кисель Н.Н. Сравнительный анализ результатов численного моделирования и экспериментального исследования характеристик сверхширокополосной антенны для беспроводных систем связи// В сборнике: Проблемы современной системотехники. Сборник научных статей. Таганрог, 2023. С. 95-100

9. Дзуцев Р.К., Кисель Н.Н. Исследование характеристик сверхширокополосной антенны для беспроводных систем связи// В сборнике: Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении КомТех-2023. Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко в двух томах. 2023. С. 161-168.

10. Кисель Н.Н. Основы компьютерного проектирования РЭС САПР СВЧ//учебное пособие. Таганрог, 2016.

Моисеенко Иван Евгеньевич, магистрант Института радиотехнических систем и управления, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский 44, 347900, телефон: +7(964)-910-84-79, e-mail: ivmoiseenko@sfnu.ru

Кисель Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, e-mail: nmkisel@sfnu.ru.

Moiseenko Ivan Evgenievich, magistant Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (964) 910-84-79, e-mail: ivmoiseenko@sfnu.ru.

Kisel Natalya Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Antennas and Radio Transmitting Devices of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: mkisel@sfedu.ru.