

*Сучков С.Г., Пиловец А.А., Комков С.В.,
Литвиненко А.Н., Николаевцев В.А.
Саратовский национальный исследовательский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского*

Фрактальная малогабаритная антенна для радиочастотных идентификационных меток

Представлены результаты численных и экспериментальных исследований антенны для радиочастотных идентификационных меток в диапазоне частот 2.4-2.483 ГГц. Проектирование топологии антенны проведено с учетом экспериментально измеренного входного импеданса встречно-штыревого преобразователя метки.

Ключевые слова: фрактальная антенна, радиочастотная идентификационная метка, согласование.

В системах радиочастотной идентификации (РЧИ), широко используемых в различных областях человеческой деятельности, одним из важнейших направлений повышения их потребительских характеристик является уменьшение размеров радиочастотной идентификационной метки (РИМ). В диапазонах частот, разрешенных для использования системами РЧИ: 860-960 МГц, 2400-2483 МГц, размер РИМ, в основном, определяется размером приемо-передающей антенны. Однако уменьшение размеров антенны метки не должно снижать эффективность приема/передачи импульсных радиосигналов, а также сохранять требуемую форму диаграммы направленности, что необходимо для сохранения дальности идентификации объектов системой РЧИ.

Форма диаграммы направленности антенны РИМ в дальней зоне должна быть близкой к диаграмме направленности изотропного излучателя. В этом случае дальность идентификации объекта, помеченного РИМ, не зависит от взаимной ориентации антенны РИМ и антенной системы устройства считывания кода (ридера) системы РЧИ.

В работах [1, 2] описано использование в РИМ магнитных рамочных антенн. Такие антенны имеют достаточную эффективность при размерах, сравнимых с длиной волны радиосигнала, и имеют двухлепестковую диаграмму направленности с «проколом» в плоскости антенны. Поэтому в данной работе рассматривается фрактальная антенна [3], имеющая меньшие размеры и, вследствие наличия в её структуре перпендикулярных излучающих отрезков, близкую к сферической диаграмму направленности.

В работе [3] описана фрактальная антенна, рассчитанная на подключение нагрузки величиной 50 Ом. Такие антенны можно использовать в РИМ на интегральных схемах, но в РИМ, использующих поверхностные акустические волны (ПАВ), антенна подключается непосредственно к встречно-штыревому преобразователю (ВШП) ПАВ, имеющему входной импеданс с большой реактивностью ёмкостного типа.

В данной работе представлены результаты проектирования и экспериментального исследования малогабаритной приемо-передающей антенны для РИМ в диапазоне частот 2.4-2.483 ГГц.

ВШП ПАВ, используемый в метке для преобразования радиосигнала в сигнал ПАВ и обратно, имеет простейшую неаподизованную структуру с постоянным периодом штыревой структуры ($P = 400$ нм) и количеством электродов $N = 23$, что определяет

полосу пропускания, превышающую ширину разрешенного диапазона частот (83 МГц). Вследствие этого не происходит искажения формы импульса встречно-штыревым преобразователем при преобразовании электромагнитного сигнала в акустический и обратно.

Измерение входного импеданса ВШП ПАВ осуществлялось с помощью векторного анализатора цепей Agilent Technologies PNA-L N5230C и зондовой станции MPI TS150. Измеренная частотная зависимость элемента матрицы рассеяния S_{11} ВШП ПАВ в виде диаграммы Смита изображена на рис. 1. Из приведенной диаграммы Смита видно, что импеданс РИМ на ПАВ на центральной частоте рабочего диапазона (показана треугольным маркером) имеет ёмкостную составляющую $X_C = -17j$ Ом. Если к РИМ с таким ВШП подключить антенну [3] с импедансом 50 Ом, то эффективность передачи энергии от антенны к метке и обратно снизится с 95% до 63%, так как коэффициент матрицы рассеяния антенны по отношению к импедансу метки на центральной частоте составляет -5 дБ.

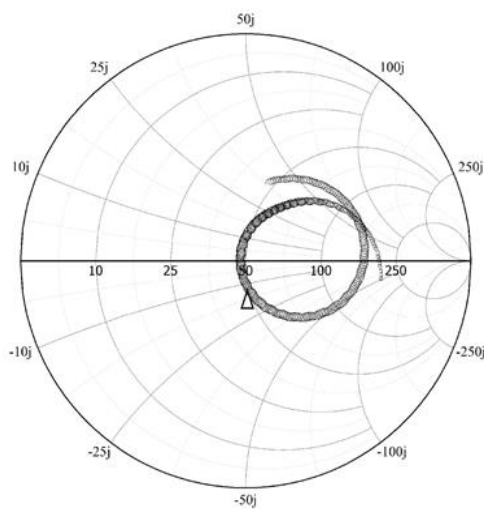


Рис. 1. Диаграмма Смита S_{11} -параметра изготовленной ПАВ метки. Треугольный маркер соответствует центральной частоте рабочего диапазона (2.44 ГГц).

Таким образом, фрактальная антенна должна иметь импеданс Z_a , комплексно сопряженный к входному импедансу ВШП, то есть $Z_a = 50 + 17j$ Ом. При проектировании антенны для уменьшения её размеров использовалась техника складывания ее плеч в меандр или фрактал Гильберта. Математическое моделирование электромагнитных полей и токов в фрактальной антенне проводилось в программном комплексе Advanced Design System. В качестве подложки при проектировании был выбран поликор толщиной 0.5 мм, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 9.8$.

Для согласования с емкостным импедансом ВШП требуется повысить индуктивность антенны по сравнению с описанной в работе [3]. Для этого рассмотрен дополнительный полосковый элемент, подключенный к фрактальным плечам антенны и создающий дополнительный индуктивный контур, а также несколько более узких индуктивных полосков, соединяющих меандровые линии фрактала (Рис. 2).

Ширина и длина дополнительного полоскового элемента модифицированной антенны оптимизировалась для обеспечения наилучшего согласования антенны с ВШП в рабочем диапазоне частот, минимально возможного омического сопротивления и расположения полоскового элемента в пределах антенной платы.

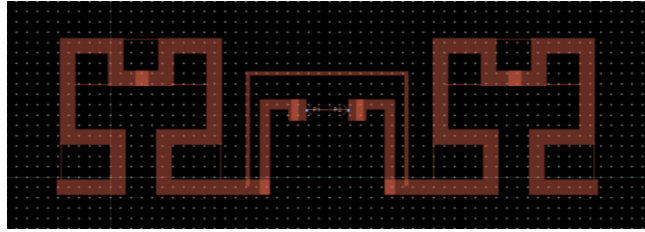


Рис. 2. Топология антенны, согласованной с ёмкостным импедансом РИМ.

Распределение электрического поля в антенне на резонансной частоте 2.445 ГГц представлено на рисунке 3 а. Синий цвет соответствует минимальному, а красный максимальному значению напряженности электрического поля. Видно, что дополнительный полосковый элемент существенно не искажает картину поля в области основных (фрактальных) антенных электродов.

Пространственное распределение поля излучения фрактальной антенны в дальней зоне (диаграмма направленности) представлено на рисунке 3 б. Форма диаграммы направленности фрактальной антенны похожа на диаграмму направленности простейшей дипольной антенны с «проколом» в направлении вибраторов, однако глубина «прокола» составляет -23 дБ, вместо сквозного у классического вибратора.

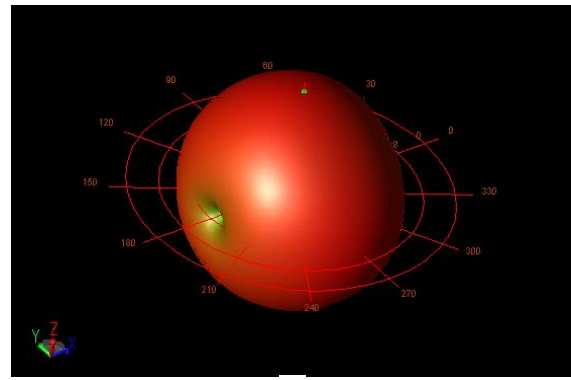
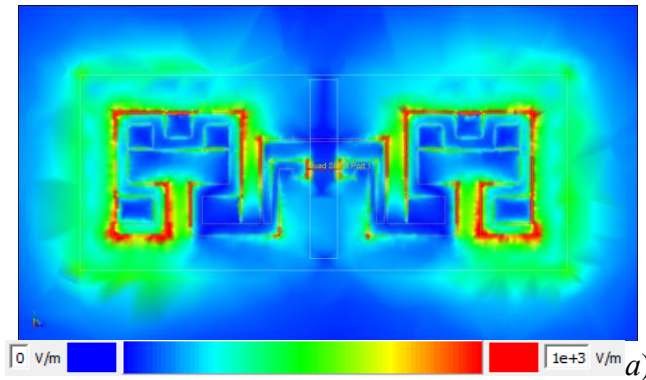


Рис. 3. Распределение полей в модифицированной фрактальной антенне: а) распределение электрического поля; б) диаграмма направленности.

Частотная характеристика $S_{11}(f)$ спроектированной антенны с учетом экспериментальных характеристик метки представлена на рис. 4, а ее основные параметры приведены в таблице 1. Эффективность такой антенны весьма велика и составляет 95%.

Таблица 1. – Параметры модифицированной фрактальной антенны.

Резонансная частота, ГГц	2.445
Направленность, дБ	2.44
Коэффициент усиления, дБ	2.2
Эффективность излучения, %	95

Спроектированная фрактальная антенна была изготовлена с помощью фотолитографического процесса на поликоровой подложке с медной металлизацией (Рис. 5). Габаритные размеры изготовленной антенны составляют $12 \times 30 \text{ мм}^2$, что существенно меньше, чем у магнитных рамочных антенн.

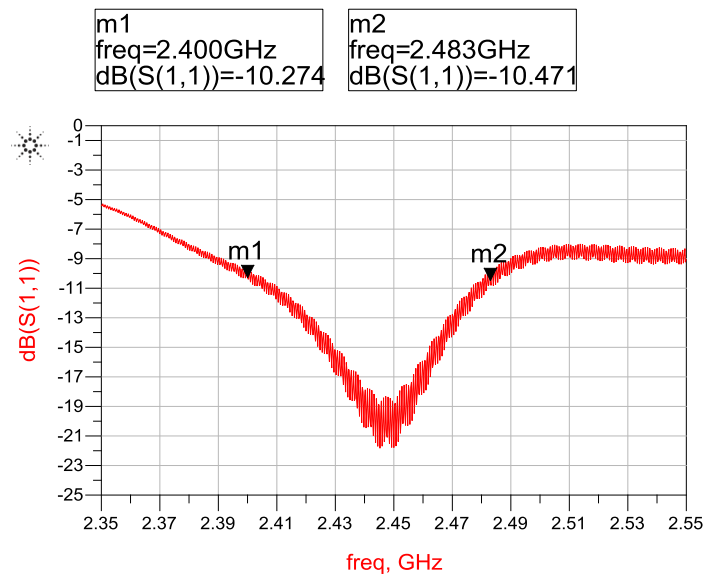


Рис. 4. Частотная зависимость S_{11} -параметра модифицированной фрактальной антенны с учетом импеданса метки.

Маркеры m1 и m2 соответствуют нижней (2.4 ГГц) и верхней (2.483 ГГц) границам разрешенного для использования системами РЧИ диапазона частот.

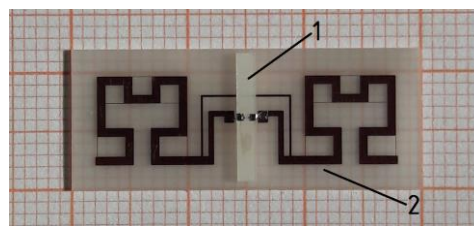


Рис. 5. РИМ с модифицированной фрактальной антенной и кристаллическим чипом.
1 – кристаллический чип, 2 – антенна.

Представленная фрактальная антенна имеет значительно меньшие габариты по сравнению с используемыми рамочными антеннами, обладает достаточно высокой эффективностью излучения и близкой к сферической форме диаграммой направленности. Индуктивный характер ее импеданса позволяет согласовать антенну с ВШП РИМ в рабочей полосе частот. Таким образом, использование фрактальных антенн в системах РЧИ с РИМ на ПАВ позволит повысить интерес к таким системам и расширить спектр их применения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 16-32-00046 мол_а.

Библиографический список

1. D.A. Abd El-Aziz, T.G. Abouelnaga, E.A. Abdallah, M. El-Said, Yaser S.E. Abdo. Analysis and Design of UHF Bow-Tie RFID Tag Antenna Input Impedance // Open Journal of Antennas and Propagation. 2016. № 4. Pp. 85-107.
2. Jiang-Tao Sun, Xue-Xia Yang, Toshihiko Yoshimasu, Xiao-Meng Sun. Bow-tie loop printed antenna with high gain and broad beam width for 5.8 GHz rectenna application // 4th IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications, 2008 (ICCSC 2008). Pp. 312-314.
3. Yanzhong Yu, Zhongyi Huang, Caiqiang Zheng, and Yongxing Wu. A Miniature Antenna for 2.45 GHz RFID Tag // Journal of Computers. V. 9. № 2, february 2014. Pp. 404-411.