

09

Напряженность магнитного поля в ближней зоне рамочной антенны для систем радиочастотной идентификации

© А.Л. Попов, О.Г. Вендик, Н.А. Зубова

RFID департамент, ООО Систематика, Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
„ЛЭТИ“, Санкт-Петербург
E-mail: a-popov@systematic.ru

Поступило в Редакцию 15 апреля 2010 г.

Рассмотрена структура рамочной антенны электрически большого диаметра с разбисением периметра рамки конденсаторами, выполненными в виде двухпроводных планарных линий. Проведены расчеты характеристик антенны при одно- и двухстороннем расположении планарных линий относительно основного контура рамки и сопоставление полученных данных с результатами измерений. Показано существенное влияние расположения планарных линий на распределение тока по периметру рамки.

Радиочастотная идентификация (общепринятое сокращение RFID — Radio Frequency IDentification) — технология будущего, активно развивающаяся и проникающая во многие сферы нашей жизни уже сегодня [1–3].

Одним из ключевых факторов столь стремительного развития FRID-систем является возможность бесконтактного обмена данными между радиочастотной меткой (транспондером, тегом), которой маркируется объект, и считывателем (ридером) — устройством, считывающим информацию об объекте из памяти радиочастотной метки. Становится очевидным, что при таком способе передачи информации немаловажную роль играют антенны, являющиеся ключевым звеном в соединении считыватель–метка.

В данной работе проводится исследование структуры рамочной антенны считывателя для систем европейского УВЧ RFID-диапазона (865–870 МГц) с целью выявления конструкции, обеспечивающей максимальную напряженность магнитного поля в ближней зоне.

Дистанцию, на которой осуществляется взаимодействие между антенной ридера и тегом, можно условно разделить на две зоны, определяемые относительно антенны считывателя: ближнюю (реактивное поле) и дальнюю (поле излучения) [4]. Границы этих зон зависят от размеров антенны и рабочей частоты [5]. RFID-системы УВЧ-диапазона, использующие индуктивную связь в ближней зоне между антеннами считывателя и метки, в последнее время получили широкое распространение благодаря более эффективному функционированию в условиях плотного размещения меток и при маркировке объектов, состоящих из материалов с высокой диэлектрической проницаемостью.

Ключевой характеристикой антенны считывателя при индуктивном взаимодействии является напряженность магнитного поля в ближней зоне, а также размеры этой зоны, ограниченные областью, где напряженность магнитного поля, связанного с излучателем (реактивное поле), превышает напряженность магнитного поля в формируемой излучателем электромагнитной волне.

Поскольку наибольшую напряженность магнитного поля в ближней зоне обеспечивает рамочная антенна, то ее структура была взята за основу при формировании конструкции, начальный диаметр которой (равный 160 mm, для центральной частоты 866 MHz) был рассчитан исходя из требуемых размеров ближней зоны.

Фаза тока при его распределении по периметру рамки указанного диаметра значительно изменяется. В результате этого суммарное магнитное поле может существенно уменьшаться из-за сложений полей, источниками которых являются противофазные поверхностные токи. Чтобы избежать этого, необходимо обеспечить квазистационарное распределение тока по периметру антенны. Добиться выполнения данного условия можно включением разделительных конденсаторов в структуру антенны [6]. Оптимальным является разбиение структуры на сегменты, не превышающие десятой части длины волны (λ). При этом могут быть использованы сосредоточенные элементы, либо конденсаторы, реализованные в виде дополнительных линий, параллельных основному проводнику. Более интересным с точки зрения изучения и практичным с точки зрения физической реализации структуры является последний вариант, взятый за основу для создания модели рамочной антенны (рис. 1). Однако из-за значительной длины дополнительных линий, обеспечивающих нужную емкость, длина отрезков основного контура рамки составила приблизительно 0.17λ .

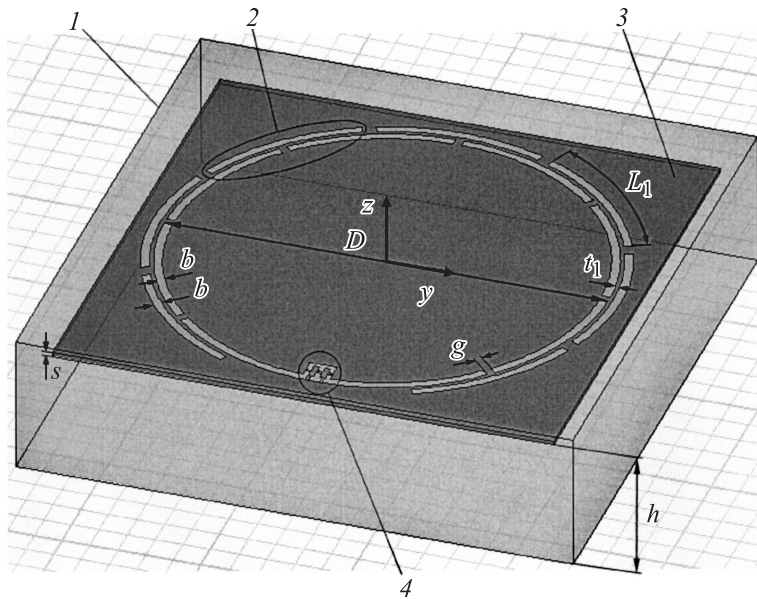


Рис. 1. Конструкция антенны, используемая в эксперименте и для численного моделирования: 1 — модель корпуса антенны, 2 — планарный конденсатор, 3 — подложка, 4 — симметрирующий трансформатор и точка питания. Основные размеры: $D = 159$ mm, $L_1 = 61$ mm, $b = 3$ mm, $t_1 = 1.5$ mm, $g = 3$ mm, $s = 3$ mm, $h = 40$ mm.

Для исключения паразитного излучения антенны в сторону, противоположную основной зоне регистрации меток, в конструкцию был добавлен экран.

Модель антенны была выполнена в виде структуры печатных проводников на подложке из фольгированного стеклотекстолита (относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = 4.7$; тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta = 0.025$), расположенной на расстоянии $h = 40$ mm над экраном. Подстройка реактивной части входного сопротивления антенны производилась в процессе моделирования варьированием диаметра антенны D , длины дополнительных L_1 , образующих конденсатор, и расстояния между дополнительными линиями и основным контуром антенны t_1 . Изменением данных физических

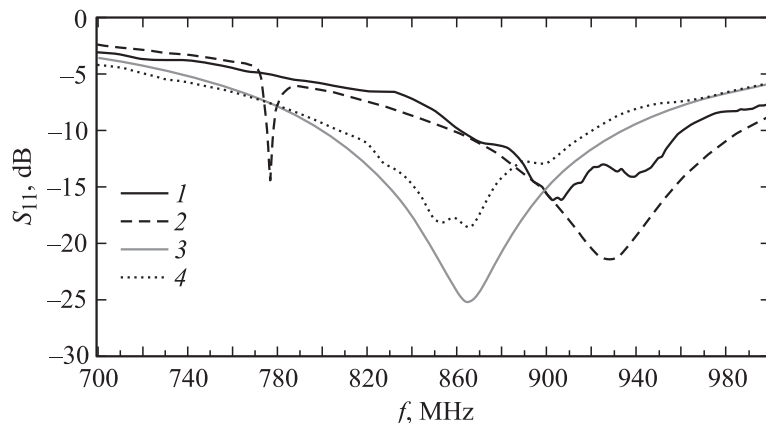


Рис. 2. Потери на отражение на входе антенны: 1 — измерения (образец 1); 2 — моделирование ($s = 1.5$ mm); 3 — моделирование ($s = 3$ mm); 4 — измерения (образец 2).

параметров производилась подстройка планарных конденсаторов, образующих вместе с индуктивностью проводников антенны последовательный колебательный контур. Для согласования симметричного входа антенны с несимметричным 50- Ω коаксиальным кабелем использовался LC-симметрирующий трансформатор [7]. Моделирование и оптимизация характеристик конструкции были проведены с использованием метода конечных элементов.

На основании результатов моделирования был изготовлен тестовый образец антенны и проведены его измерения. При изготовлении тестового образца использовалась подложка толщиной 1.5 mm. Согласно результатам измерений, частота оптимального согласования оказалась приблизительно на 50 МГц выше относительно заданного диапазона (рис. 2, 1 и 3). Однако моделирование структуры с толщиной подложки 1.5 mm показало хорошее совпадение результатов численных расчетов и экспериментальных данных (рис. 2, 1 и 2). Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии толщины подложки на характеристики антенны.

Для подстройки тестового образца потребовалось увеличить суммарную емкость включенных в цепь конденсаторов. Подстройка рассматриваемых вариантов планарных конденсаторов могла быть выполнена несколькими путями: увеличением длины конденсаторных линий,

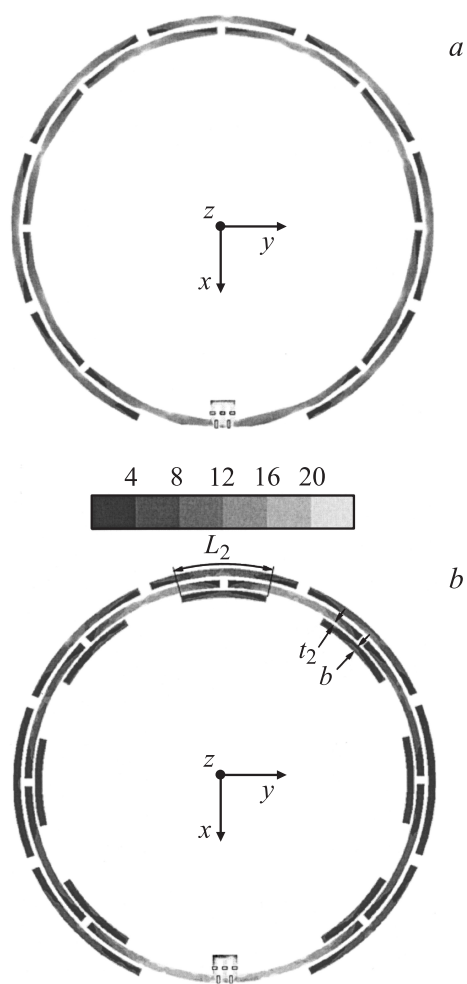


Рис. 3. Сопоставление конструкции антенны до (a) и после (b) добавления дополнительных конденсаторных линий. Градацией серого показано изменение амплитуды поверхностного тока в проводниках рамки (модуль комплексной амплитуды, A/m).

уменьшением расстояния между этими линиями и основным проводником антенны и добавлением дополнительных линий с внутренней стороны контура антенны. Поскольку доработка тестового образца допускала лишь последнюю модификацию, то подстройка была реализована данным способом (рис. 3, *b*). В результате был достигнут приемлемый уровень согласования в нужном диапазоне частот (рис. 2, 4).

При анализе распределения тока по поверхности рамки для двух рассмотренных образцов антенны (рис. 3) было установлено, что добавление дополнительных конденсаторных линий в структуру антенны приводит к значительной неравномерности в распределении тока по ее периметру и существенному уменьшению его амплитуды в отдельных зонах антенны. Особенно отчетливо неравномерность наблюдается в районе точки питания.

Были проведены измерения дистанции регистрации ближнеполюсных меток (метка, в которой используется рамочная антенна) с использованием двух рассмотренных выше образцов, выявившие значительное уменьшение напряженности магнитного поля в ближней зоне второго образца антенны. Об этом косвенно свидетельствовало уменьшение более чем в два раза дистанции регистрации ближнеполюсных меток при использовании второго образца антенны по сравнению с первым.

Поскольку конструкция второго образца антенны не обеспечивала оптимальных характеристик с точки зрения формируемого магнитного поля, для подстройки входного сопротивления был использован другой способ: вблизи точки питания в разрыв основного проводника был добавлен чип-конденсатор емкостью 0.82 pF, а расстояние между подложкой и экраном уменьшено до 25 mm. Согласно измерениям, потери на отражение на входе антенны в рабочем диапазоне частот (865–870 MHz) при этом не превышают –20 dB. Помимо этого наблюдается небольшое увеличение дистанции регистрации, что объясняется улучшением согласования антенны с линией питания.

Итак, в ходе работы была рассмотрена конструкция антенны, которая при электрически больших размерах обеспечивает квазистационарное распределение поверхностного тока по ее структуре. Из полученных результатов следует, что разделительные конденсаторы, которые используются для разбиения периметра рамки на электрически малые отрезки, могут быть замещены планарными проводниками, реализующими необходимую емкость. Однако расположение линий, образующих конденсатор, с обеих сторон основного проводника антенны

приводит к значительной неравномерности в распределение тока по периметру антенны и, как следствие, к уменьшению напряженности магнитного поля над структурой. Следует отметить необходимость более детального изучения данного момента на предмет зависимости характеристик структуры от взаимных размеров дополнительных конденсаторных линий и величины зазора между ними и основным проводником антенны.

В целом, авторы полагают, что рассмотренная конструкция может использоваться для работы в составе систем радиочастотной идентификации.

Список литературы

- [1] *Финкенцеллер К.* // Справочник по RFID. Теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоустройств, транспондеров и бесконтактных чип-карт. М.: Додэка-XXI, 2008. С. 389–449. (Klaus Finkenzeller // RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. Auflage, Carl Hanser Verlag, 2002).
- [2] *Lahiri S.* // RFID Sourcebook. IBM Press, 2005. P. 63–100.
- [3] *Vipul Chawla and Dong Sam* // An Overview of Passive RFID. IEEE Application & Practice. Sept. 2007. P. 11–17.
- [4] *Nikitin P.V., Rao K.V.S., Lazar S.* // An overview of near field UHF RFID. IEEE RFID 2007 Conference. Grapevine, March 2007.
- [5] *Balanis C.A.* // Antenna theory: analysis and design. / 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1997. P. 32.
- [6] *Dobkin D.M., Weigand S.M.* // Microwave Journal. 2007. V. 50. N 6.
- [7] *AVR2004: LC-Balun for AT86RF230.* Atmel Application Note. July 2004.