

**Московский Государственный Технический Университет**

**им. Н. Э. Баумана**

На правах рукописи

**Смолина Анна Сергеевна**

УДК: 621.37

**ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ МИКРОПОЛОСКОВЫЕ  
АНТЕННЫ RFID-СИСТЕМ**

**А в т о р е ф е р а т**

**Диссертации магистра по направлению 210200**

**Проектирование и технология электронных средств**

**Москва – 2012**

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете им. Н. Э. Баумана

**Научный руководитель:**

Кандидат технических наук, доцент Власов А.И.

**Ведущее предприятие:** Концерн ПВО «Алмаз-Антей»

Защита квалификационной работы магистра состоится 15 июня 2012 года на заседании Государственной аттестационной комиссии по направлению 210200: «Проектирование и технология электронных средств» в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана (ауд.278).

Ваши отзывы в двух экземплярах просьба высылать по адресу: 105005, г.Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5, стр.1., ИУ-4.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь Государственной квалификационной комиссии по направлению 210200: «Проектирование и технология электронных средств»  
доцент, кандидат технических наук Лавров А.В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность.** Стремительное развитие информационных технологий привело к формированию глобальной информационной среды. Глобальная информатизация сопровождается активной компьютеризацией и автоматизацией бизнес-процессов предприятий и учреждений. Важнейшей проблемой информатизации является обеспечение точности и безопасности информации. К основным задачам, требующим эффективного решения, относятся проблемы электронной идентификации объектов, управления доступом, защиты каналов передачи информации и трафика.

Радиочастотная идентификация является одной из наиболее заметно развивающихся современных технологий. На сегодняшний день RFID-системы находят применение в самых разнообразных случаях, где необходим точный контроль, отслеживание и учет перемещений различных объектов. Типичные области применения:

- управление производством, товарными и таможенными складами, магазинами, выдачей и перемещением товаров и материальных ценностей;
- электронный контроль доступа и перемещений персонала на территории предприятий;
- автоматический сбор на железных дорогах, платных автомобильных дорогах, станциях, терминалах;
- контроль, планирование и управление движением, интенсивностью графика и выбором оптимальных маршрутов;
- общественный транспорт: управление движением, оплата проезда и оптимизация пассажиропотоков;
- системы электронных платежей;
- обеспечение безопасности.

Для дальнейшего расширения спектра применений RFID необходимо обеспечить высокий технический уровень исполнения, малые габариты и низкую стоимость, совершенствование уровня разработки и производства аппаратуры.

Известно, что обладание информацией позволяет повысить эффективность и осуществить огромное сокращение расходов производителям, дистрибьюторам, продавцам и любым другим звеньям цепи доставки товаров потребителю. При помощи сети Интернет решается проблема только доставки информации, но не решается проблема собственно ее извлечения или получения. Современные технические решения предполагают ручной ввод информации или ее ручное сканирование при помощи штрих-кодов. Более совершенные системы обеспечивают автоматическое сканирование штрих-кодов или содержат интеллектуальные визуальные считывающие устройства. Решения с использованием ручного труда достаточно дороги, обладают невысоким быстродействием и подвержены ошибкам. Используемые в настоящее время решения, основанные на применении средств автоматизации, также могут быть дорогостоящими, сложными и часто имеют эксплуатационные ограничения, обусловленные влиянием окружающей среды. При этом использование технологии RFID является потенциальным решением проблемы преобразования информации из физической в виртуальную форму.

С точки зрения конечного пользователя стоимость должна быть минимальной. Небольшое снижение стоимости одной метки приведет к огромным сбережениям конечного пользователя. При разработке каждое звено системы должно быть оптимизировано, во-первых, для снижения стоимости и, во-вторых, для достижения необходимых характеристик – не только метки с их электронными схемами и антеннами, но также вся технология производства, сборки и использования конечной продукции. При проектировании должны творчески учитываться ограничения, наложенные на систему. Также исключительно важны размеры. Метки, как минимум, должны быть меньше маркируемого объекта. Так как уже производятся микрочипы для меток размером менее 0,5 кв. мм, антенны всегда будут ограничивающим фактором. Технические параметры, особенно дальность, зависят от размеров и формы антенн. Поэтому очень важно уделить большое внимание проектированию и разработке антенн.

Антенны, работающие в системах RFID, имеют разнообразную конструкцию, размеры и диаграммы направленности. Причем их размеры имеют тенденцию к уменьшению. Тэги становятся все более компактными. Поэтому проектирование меток выделяется в класс самостоятельных задач, тесно связанных с задачей согласования комплексных импедансов. Исходя из выше изложенного, проектирование согласующих цепей в конструкциях антенн является актуальной задачей.

Стандартными диапазонами частот для систем RFID являются 125-134 кГц (НЧ), 13.56 МГц (ВЧ), 400-960 МГц (УВЧ), and 2.45 or 5.8 GHz (СВЧ). Наибольший интерес представляют частоты 13.56 МГц и 860-960 МГц, как наиболее используемые. Каждый из диапазонов имеет свои преимущества и недостатки.

Так как размеры антенны и её рабочая частота накладывают ограничения на максимальный коэффициент усиления, дальность считывания и ширину полосы пропускания, при проектировании необходимо находить компромисс для получения требуемых характеристик. Суть работы состоит в изучении топологии антенного модуля RFID-систем, в перспективе дальнейшего развития технологии, снижения её стоимости и уменьшения размеров, а, следовательно, и расширения областей применения.

**Цель работы:** исследование конструктивно-топологической реализации антенного модуля RFID-систем, обеспечивающей миниатюризацию, технологичность и согласование комплексных импедансов антенны в конструкции пассивных меток.

**Решаемые задачи:**

1. Систематизация, обобщение и разработка классификаций RFID-систем;
2. Анализ антенных модулей, применяемых в RFID-системах, выявление требований для обеспечения миниатюризации;
3. Моделирование антенного модуля для исследования функционирования RFID систем;
4. Исследование технологических этапов изготовления микрополосковых антенн;
5. Формирование рекомендаций по проектированию и производству тонкопленочных антенных модулей RFID-систем для работы как в ближней, так и в дальней зонах.

**Методы исследования:** При решении поставленных задач использованы численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных, метод моментов, законы электротехники.

### **Научная новизна работы:**

1. На основе проведенного анализа существующих RFID систем предложена классификация RFID-систем по трем основным параметрам: источнику питания, типу используемой памяти и диапазону частот.
2. Предложены модели микрополосковых антенн различной рабочей частоты и геометрии, которые обеспечивают успешную считываемость меток в заданных диапазонах частот.
3. Разработана методика проектирования антенного модуля RFID-систем с учетом согласования импедансов антенны и чипа, обеспечивающая функционирование системы в требуемом диапазоне частот.

**Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций диссертационной** работы подтверждена компьютерным моделированием исследуемых антенн транспондеров при взаимодействии со считывателями, параметры которых соответствуют параметрам реальных ридеров. Полученные в работе результаты подтверждают работоспособность предложенной методики проектирования антенных модулей, а также наглядно демонстрируют эффективность использования разработанных вариантов реализации транспондеров в различных областях.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Микрополосковые антенны являются предпочтительными для использования в RFID технологиях в виду низкой стоимости и способности обеспечить требуемые характеристики.
2. Микрополосковые антенны дипольного типа способны обеспечить успешную считываемость меток систем RFID на расстоянии 3 метра и более.

**Практическая ценность работы** состоит в том, что разработанный алгоритм проектирования антенного модуля, а также топологические решения, рассмотренные в работе, позволяют реализовать транспондеры, имеющие низкие массогабаритные и стоимостные характеристики, для маркировки предметов в различных отраслях промышленности.

**Апробация работы.** Результаты работы были представлены на 12-й Международной молодежной научно-технической конференции «Научоемкие технологии и интеллектуальные системы», г. Москва, 2010г.

Работа отмечена медалью «Всероссийского конкурса НИР студентов в области нанотехнологий и наноматериалов» (2010 г) и дипломом победителя конкурса НИР студентов, аспирантов и молодых ученых в V Всероссийском интеллектуальном форуме-олимпиаде «Нанотехнологии – прорыв в будущее» (МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011).

**Публикации.** По материалам и основному содержанию работы опубликованы 2 печатные работы.

**Структура и объем работы.** Диссертация магистра состоит из введения, четырех глав, заключения. Общий объем работы 70 страниц, 41 рисунка, список использованных источников из 27 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решения задач проектирования антенных модулей систем радиочастотной идентификации, формулируется цель и задачи исследования, изложена структура диссертации.

В первой главе изучается принцип работы RFID-системы, проводится обзор классификаций RFID-систем, рассматриваются достоинства и недостатки технологии.

RFID-система состоит из трех основных компонентов: считывателя, метки и компьютерной системы обработки данных (см. рисунок 1).

Считыватель имеет:

- антенну;
- приемо-передающее устройство, которое посылает сигнал к метке и принимает ответный сигнал;
- микропроцессор, который проверяет и декодирует данные; память, которая сохраняет данные для последующей передачи.

Основные компоненты метки – интегральная схема, управляющая связью со считывателем, и антенна. Метка обнаруживает сигнал от считывателя и начинает передавать данные, сохраненные в памяти чипа, обратно в считыватель.

На рисунке 1 представлена классификация RFID-меток в зависимости от трех параметров: источника питания, типа используемой памяти и диапазона частоты.



Рисунок 1 - Классификация RFID-меток (НЧ – низкие частоты, ВЧ – высокие частоты, УВЧ – ультравысокие частоты, СВЧ – сверхвысокие частоты)

С учетом тенденции микроминиатюризации для дальнейшего изучения выбраны RFID-метки со следующими характеристиками:

- диапазон частот - ультра- и сверхвысокочастотный;
- типы меток – пассивные;
- типы памяти – Read Only и Write Once Read Many.

Пассивные метки за пределами зоны действия считывающего устройства отличаются тем, что транспондер не проявляет никакой активности, поскольку не содержит собственного источника питания. Однако при перемещении в зону действия системы транспондер активизируется, получая необходимую энергию с помощью

элемента связи, который так же отвечает за передачу сигналов синхронизации данных. Пассивные метки могут содержать перезаписываемую энергонезависимую память EEPROM -типа. Дальность действия меток составляет 1—200 см (ВЧ-метки) и 1-10 метров (УВЧ и СВЧ-метки).

Типы памяти:

- RO (*Read Only*) — данные записываются только один раз, сразу при изготовлении. Такие метки пригодны только для идентификации. Никакую новую информацию в них записать нельзя, и их практически невозможно подделать.
- WORM (*Write Once Read Many*) — кроме уникального идентификатора такие метки содержат блок однократно записываемой памяти, которую в дальнейшем можно многократно читать.

**УВЧ** находятся в диапазоне от 300 МГц до 3ГГц. Типичная RFID-система работает на частотах 868 МГц, 915 МГц и 2,45 ГГц. Данные между меткой и ридером передаются с высокой скоростью, но не обеспечиваются высокие характеристики в присутствии металлов и жидкостей. УВЧ-диапазон представляет большой интерес ввиду того, что при существующих нормах на уровень мощности излучения в данном диапазоне на пассивных идентификаторах достигаются дальности до 4..8 м, что очень важно, например, для складских приложений. В этом диапазоне доминируют два стандарта ISO 18000 и EPC.

**СВЧ** находятся в диапазоне от 3ГГц. Данные между меткой и ридером передаются с самой высокой скоростью. Вследствие того, что длина антенны обратно пропорциональна частоте, антенна пассивной метки, работающей в СВЧ диапазоне, имеет самую малую длину. В СВЧ RFID-системах по сравнению с НЧ и ВЧ ниже стоимость меток, при этом выше стоимость прочего оборудования.

В настоящее время в качестве международного стандарта в области RFID выступает ISO 15693. Данный стандарт описывает принцип передачи информации, временные параметры передачи сигналов в RFID-системах и т. д.

**Во второй главе** проводится сравнительный анализ различных типов антенн, а также рассматриваются основные параметры антенн.

К основным параметрам, характеризующих работу антенны, относят:

- **входное сопротивление (входной импеданс)** антенны  $Z_A$ , которое определяется как отношение напряжения к току на зажимах антенны. Модуль полного входного сопротивления антенны:

$$Z_A = \sqrt{R_{BK}^2 + X_A^2},$$

где  $R_{BK}$  – резистивная составляющая,  $X_A$  - реактивная составляющая;

- **коэффициент усиления антенны**, который характеризует выигрыш по мощности в нагрузке благодаря направленным свойствам антенны и представляет собой отношение мощности, развиваемой на нагрузке воображаемым ненаправленным (изотропным) излучателем, к мощности, которую развивает антенна на той же нагрузке, при одной и той же напряженности электромагнитного поля в точке приема:

$$G(\theta, \phi) = [E_A^2(\theta, \phi) / P_A] / (E^2 / P),$$

где  $E_A$  и  $E$  – напряженности полей, создаваемые направленной антенной и эталонной антенной, а  $P_A$  и  $P$  – мощности, подводимые к направленной антенне и эталонной антенне;

— **дальность считывания**, которая определяется как максимально возможное значение, на котором ридер способен детектировать отражающий сигнал транспондера:

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \tau}{P_{th}}},$$

где  $P_t$  – мощность передатчика,  $G_t$  – усилением антенны передатчика,  $G_r$  – усиление антенны метки,  $P_{th}$  – минимальный порог мощности, необходимый для активации чипа метки,  $\tau$  – коэффициент передачи мощности от чипа к антенне.

В системах RFID с электромагнитной связью применяются наибольшее применение нашли антенны-вибраторы и микрополосковые антенны.

Сравнительно простыми антеннами для приема передач в УВЧ диапазоне являются полуволновые симметричные *антенны-вибраторы*. В простейшем виде антенна-вибратор представляет собой прямой проводник определенной длины.

На характеристические свойства, особенно на входное сопротивление, сопротивление излучения и полосу пропускания, можно влиять приданием антенне соответствующей формы.

Однако с учетом дальнейшего расширения областей применения RFID-технологий целесообразнее выбрать *микрополосковые антенны*. Их можно найти во многих современных коммуникационных устройствах. Например, они используются в самых последних поколениях GPS-приемников и мобильных телефонов, которые становятся всё миниатюрнее. Благодаря особой конструктивной форме микрополосковые антенны предоставляют определенные преимущества для систем RFID.

В своём простейшем виде микрополосковая антенна строится на основе печатной платы (например, из фторопласта для более высоких частот), покрытой металлизационным слоем с обеих сторон, из которых одна сторона (нижняя) выполняет функции «земли». На верхней стороне формируется прямоугольная площадка, на которую подается СВЧ питание либо с помощью микрополосковой линии на той же стороне (рисунок 2), либо с помощью фидера через отверстие в основной плате, либо с помощью промежуточной подложки, используя емкостную связь.

Длина  $S_A$  прямоугольной площадки определяет резонансную частоту антенны. При условии  $h_{II} \leq \lambda$ :

$$S_A = \frac{\lambda}{2} - h_{II}$$

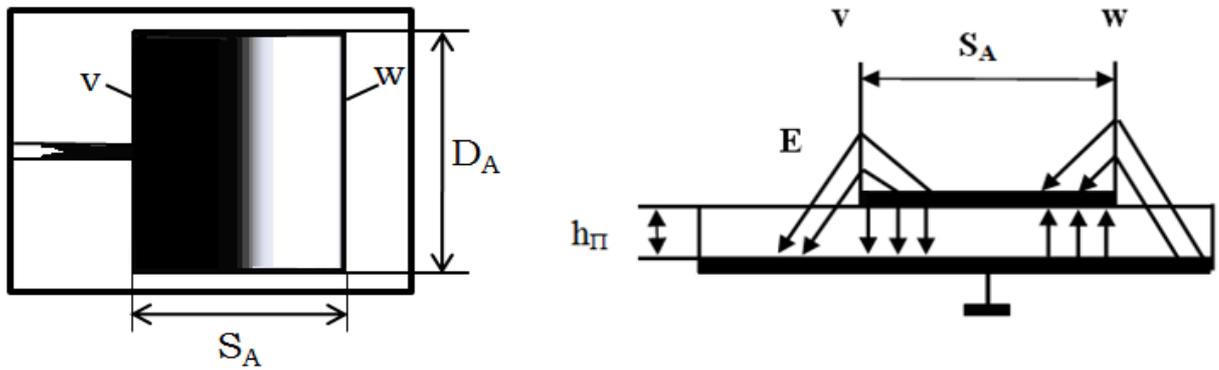


Рисунок 2 - Функциональная схема микрополосковой антенны

Обычно толщина подложки  $h_{\Pi}$  равна 1-2 % от длины волны, то есть  $h_{\Pi} \ll S_A$ . Ширина  $D_A$  слабо влияет на резонансную частоту антенны, но определяет сопротивление излучения  $R_{\Sigma}$  антенны. При  $D_A < \lambda/2$  сопротивление излучения, как ключевой параметр, отвечающий за рассеиваемую мощность определяется зависимостью (1):

$$R_{\Sigma} = \frac{90}{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + (\epsilon_r - 1) \sqrt{4 + \frac{48 \cdot h_{\Pi}}{D_A}}} \cdot \left( \frac{\lambda}{D_A} \right)^2 \quad (1)$$

При  $D_A > 3\lambda/2$ :

$$R_{\Sigma} = \frac{120}{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + (\epsilon_r - 1) \sqrt{4 + \frac{48 \cdot h_{\Pi}}{D_A}}} \cdot \frac{\lambda}{D_A}$$

Если микрополосковая антенна работает на своей резонансной частоте, разность фаз между кромками  $v$  и  $w$  прямоугольной площадки равна  $180^\circ$ . На рисунке 2 показаны траектории силовых линий электрического поля. На входной и выходной кромках этой прямоугольной площадки силовые линии поля находятся в фазе. Соответственно кромки  $v$  и  $w$  ведут себя подобно двум синфазным антеннам. Поляризация антенны линейна и параллельна продольной кромке  $S_A$ .

Различают микрополосковые антенны (рис. 3): вибраторного (дипольного) типа, дискового типа, спирального типа, прямоугольного типа.

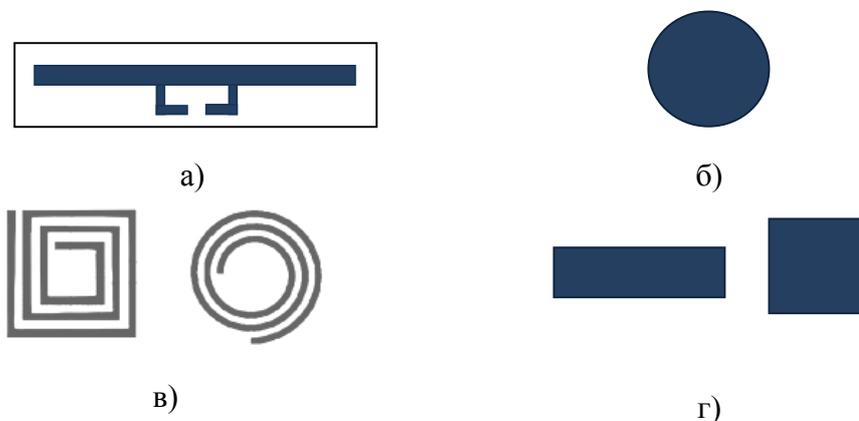


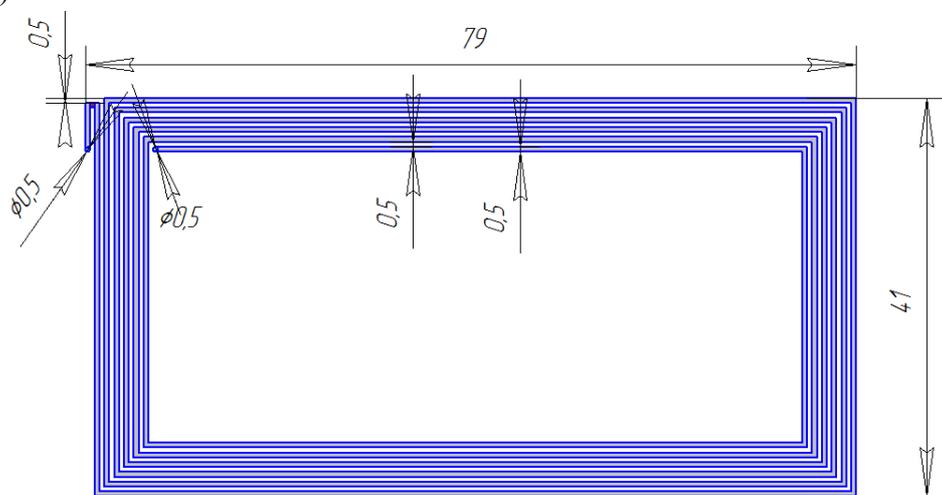
Рисунок 3 – Виды микрополосковых антенн: а) вибраторного, б) дискового, в) спирального, г) прямоугольного типов

Микрополосковые антенны универсальны, они разрабатываются как отдельный автономный элемент, обычно на входное сопротивление 50 Ом, и это позволяет выбрать подходящую антенну из широкого набора разработанных антенн только по частотным характеристикам.

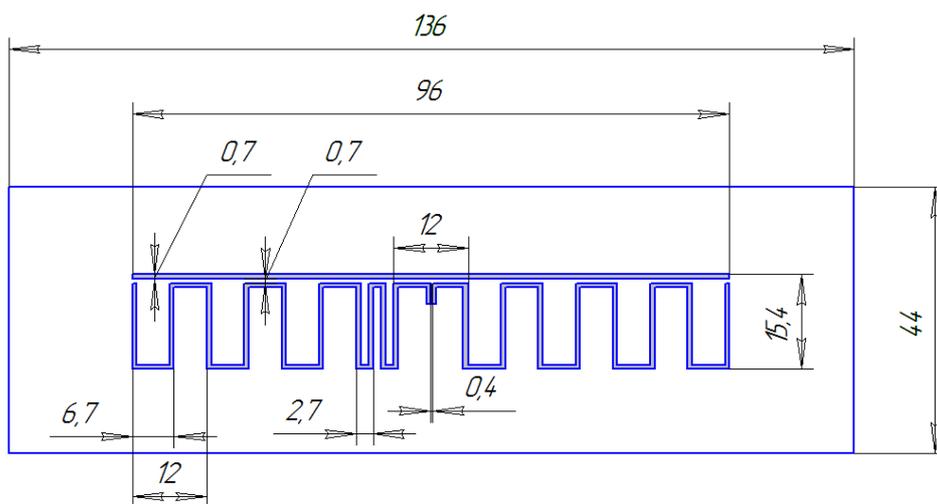
В качестве объекта исследования выбраны микрополосковые антенны спирального типа для работы в ближней зоне и вибраторного типа для работы в дальней зоне.

В третьей главе исследуются физические явления, лежащие в основе процессов создания тонких металлических пленок, проводится анализ влияния параметров технологических процессов получения тонких пленок на их структуру, проводится обзор методов изготовления тонких пленок, исследуются основные технологические этапы и разрабатывается маршрут изготовления микрополосковых антенн.

Для дальнейшего исследования разрабатываются топологии микрополосковых антенн (рис.4).



а)



б)

Рисунок 4 – Топологии микрополосковых антенн:  
а) спирального типа, б) дипольного типа

Методы получения тонких пленок разнообразны и в основном основаны на процессах химического синтеза из жидкой или газовой фазы, термического испарения или ионного распыления компонентов, входящих в состав пленок.

Наилучшим методом для решения поставленной задачи является метод магнетронного напыления. Это наиболее подходящий метод для получения тонких пленок. Он позволяет получать пленки, по характеристикам не уступающие выращенным методом лазерного испарения и при этом имеющие более однородную толщину и более гладкую поверхность. При магнетронном распылении состав пленок, как правило, соответствует составу мишеней, но при использовании оксидных мишеней для предотвращения дефицита кислорода в растущей пленке в рабочую камеру подают кислород.

Достоинства высокочастотного магнетронного распыления: применимость для распыления диэлектриков (из-за переменного напряжения в течение одной полуволны ионы выбивают атомы, в течение другой - в плазму вытягиваются электроны).

Технологический стенд, демонстрирующий наглядность разработанного маршрута изготовления тонкопленочных микрополосковых антенн, представлен на рисунке 5. Для изготовления тонкопленочной плоской антенны можно использовать модульную систему осаждения Qprep500 фирмы MantisDeposition, которая применяется для исследования тонких плёнок в ультрачистых условиях.



Рисунок 5 – Технологический стенд изготовления тонкопленочной антенны

Прототипы микрополосковых антенн могут быть изготовлены без напыления - методом фрезерования. Основные преимущества механического метода - высокая оперативность, простота реализации и низкая стоимость.

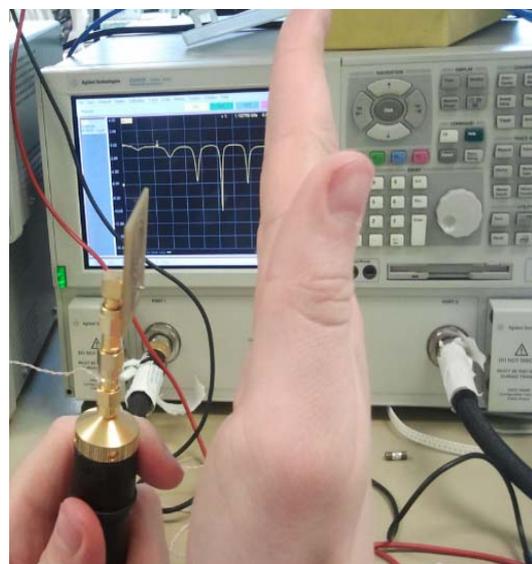
Для снижения стоимостных затрат на основе разработанного маршрута изготовления микрополосковых антенн методом фрезерования на фрезеровальной системе CAM 100 Classic были изготовлены пробные образцы антенн.

**В четвертой главе** выбирается программная среда и проводится моделирование антенных модулей RFID-систем.

Для решения модельной задачи проводится измерение характеристик физической модели круглой микрополосковой спиральной антенны с радиусом 10 мм, толщиной проводника 1 мм и шагом 1 мм (рис 6а). Измерение коэффициента отражения  $s_{11}$  проводится в диапазоне частот от 10 до 5000 МГц при использовании в качестве ближайшего объекта ладони руки, расположенной на расстоянии 5 см и 1 см соответственно (рис. 6б).



а)



б)

Рисунок 6 – Экспериментальные исследования: а – внешний вид антенны, б – измерение коэффициента отражения антенны

Компьютерное моделирование выполняется в программной среде Sonnet Software, предназначенной для электромагнитного моделирования планарных СВЧ структур. Sonnet Software выполняет анализ на основе метода моментов (MoM) и учитывает все возможные физические эффекты, такие как, паразитные связи, резонансы и присутствие корпуса.

Для сравнения в Sonnet Software была построена подобная модель микрополосковой антенны с теми же параметрами (рис.7).

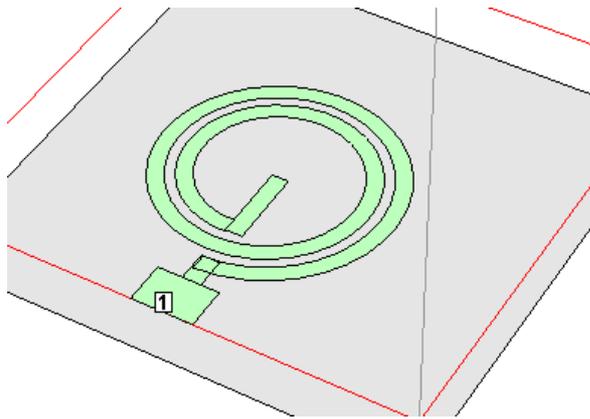
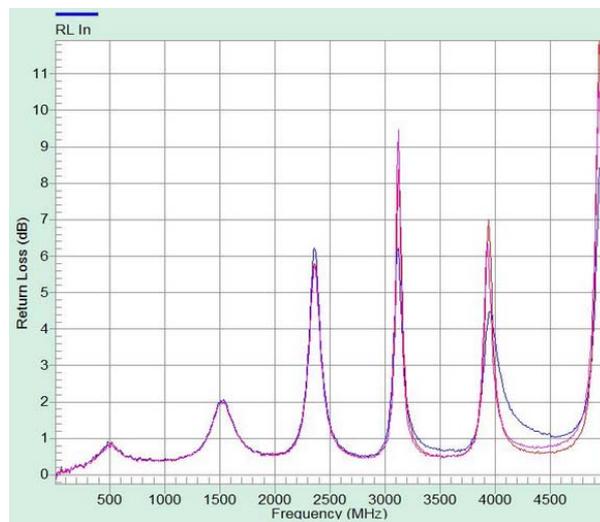
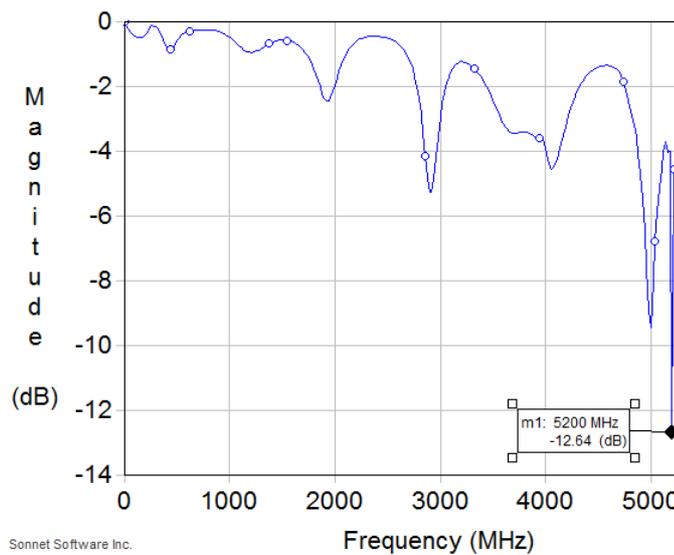


Рисунок 7 – Модель экспериментального образца в среде Sonnet Software

Результаты экспериментального исследования и компьютерного моделирования представлены на рис. 8.



а)



б)

Рисунок 8 - Результаты измерения коэффициента отражения:

а) с помощью измерительного стенда, б) с помощью компьютерного моделирования

Как видно из рисунка 8, результаты экспериментального исследования и компьютерного моделирования микрополосковой антенны сопоставимы. Относительная погрешность моделирования относительно экспериментальных данных составляет:

$$\delta_f = \frac{\Delta f}{f_{\text{эксп}}} = 5\%.$$

Следовательно, результаты Sonnet Software можно считать достоверными, и использование данного ПО будет оправданным.

Далее в выбранной программной среде было проведено компьютерное моделирование микрополосковой антенны спирального типа для работы на частоте 13.56 МГц (рис. 9).

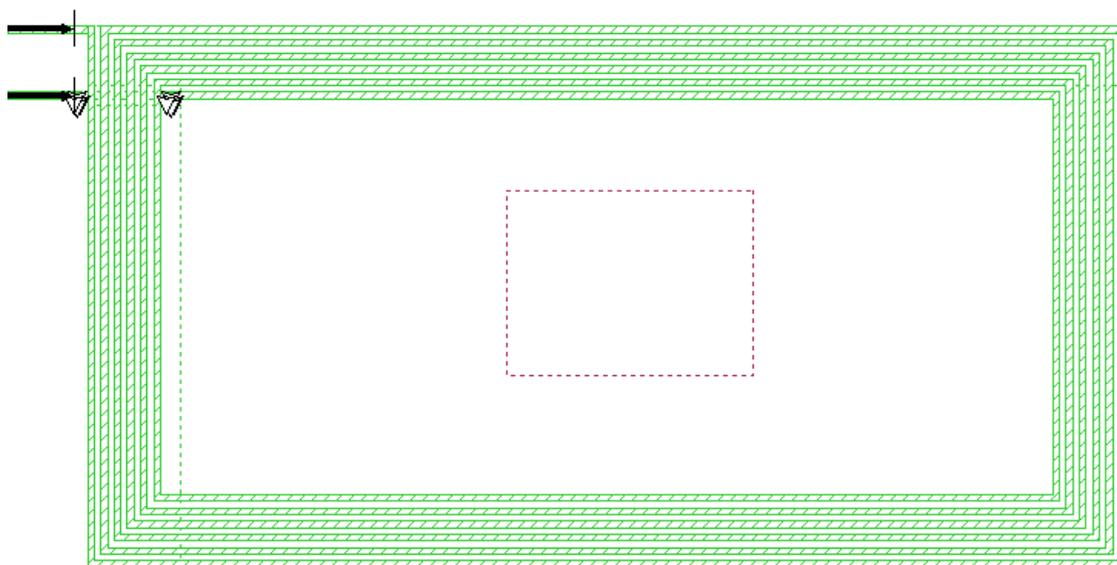


Рисунок 9 – Моделируемая микрополосковая антенн спирального типа прямоугольной формы

Для согласования импедансов антенны и чипа Результат согласования импедансов антенны и чипа представлен на рис. 10.

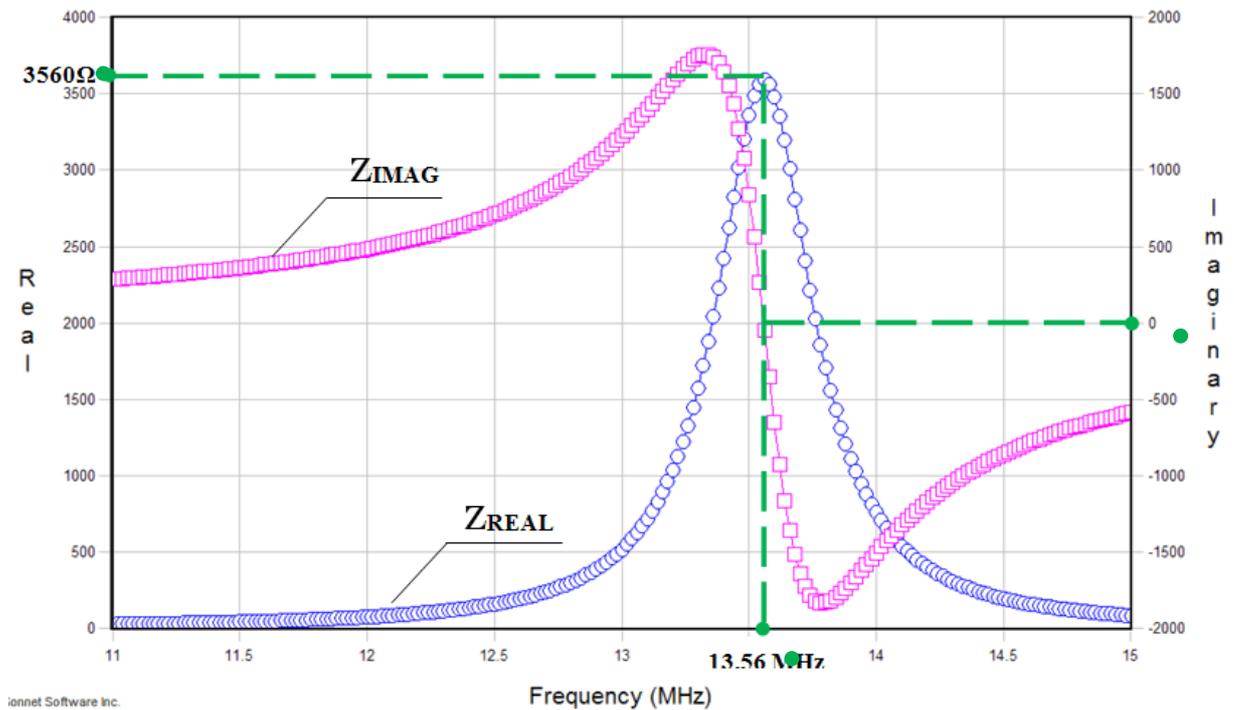


Рисунок 10 – Входной импеданс (активная  $Z_{REAL}$  и резистивная  $Z_{IMAG}$  составляющие) микрополосковой антенны-метки спирального типа после согласования с чипом

Также было рассмотрено влияние других антенн на активное сопротивление метки, а именно взаимодействие ридера и метки (рис. 11).

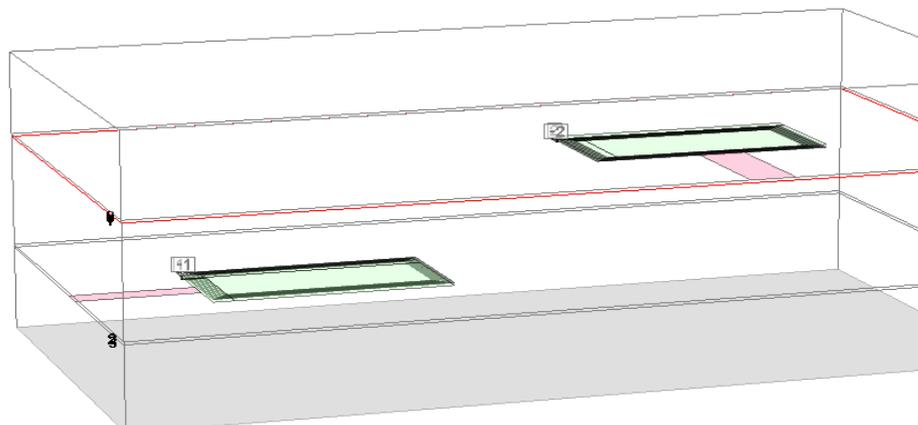


Рисунок 11 – Моделирование взаимодействия двух микрополосковых антенн спирального типа на частоте 13.56 МГц:

Как видно из рис. 11, метка считывается лишь при полном перекрытии её антенной считывателя.

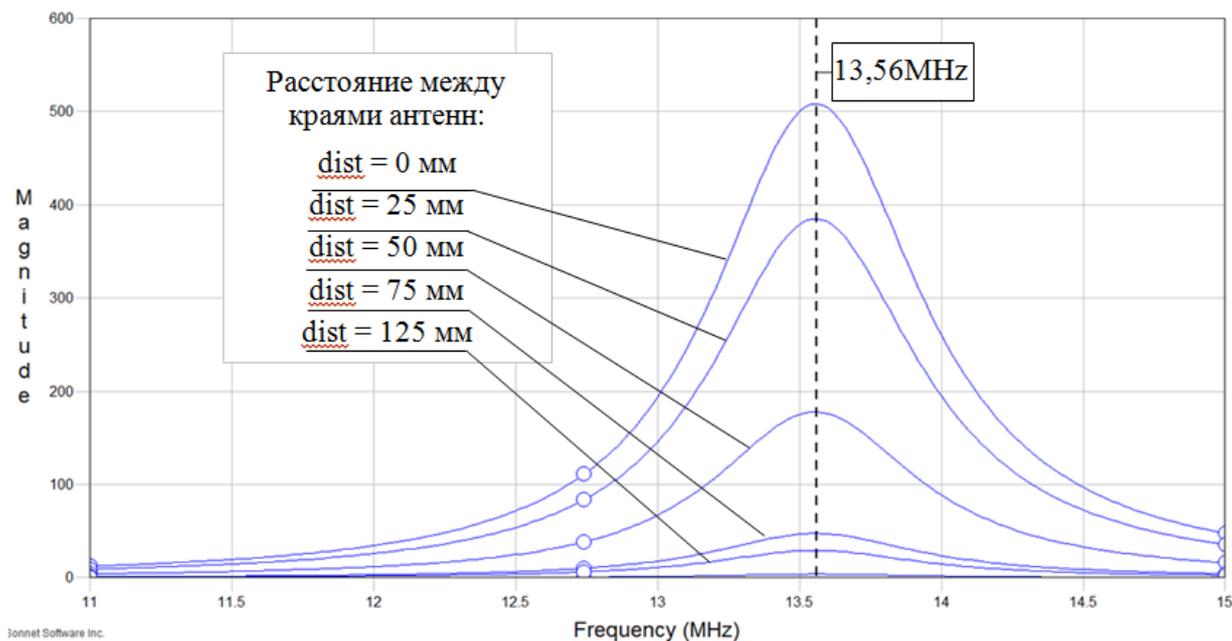


Рисунок 12 – Сопроотивление излучения при изменении расстояния между краями антенн при моделировании взаимодействия двух микрополосковых антенн спирального типа на частоте 13.56 МГц:

Также было проведено моделирование микрополосковой антенны дипольного типа (рис. 13).

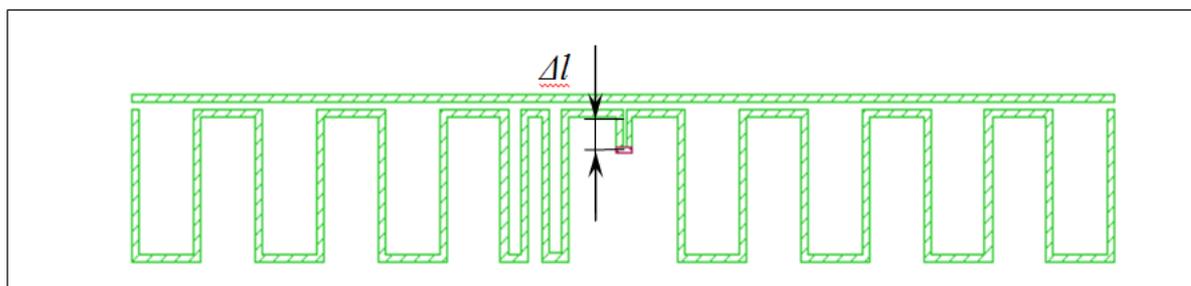


Рисунок 13 – Моделирование антенны дипольного типа

Антенна настроена на работу 868 МГц, однако при креплении метки на поверхности из разных материалов, рабочая частота антенны может меняться. На рис. 14 продемонстрирована настройка рабочей частоты антенны при изменении параметра  $\Delta l$  в геометрии антенны.

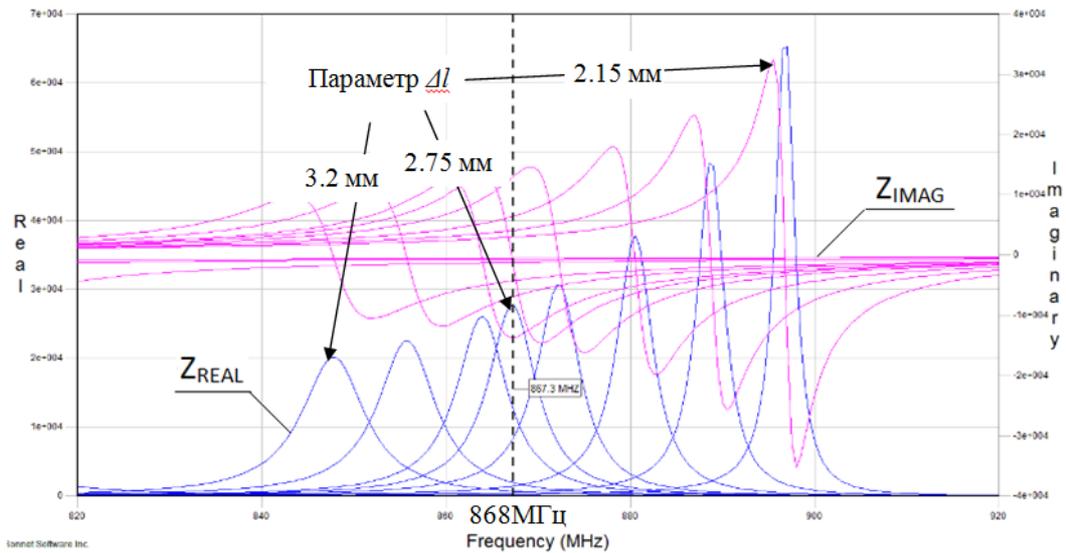


Рисунок 14 – Входной импеданс антенны дипольного типа при настройке рабочей частоты с изменением параметра  $\Delta l$  антенны

Продемонстрированная подстройка рабочей частоты позволяет снизить временные затраты на ранних этапах проектирования.

На рис. 15 представлена диаграмма направленности микрополосковой антенны дипольного типа, которая позволила посчитать, что коэффициент усиления антенны равен 11.5 дБ.

Это позволило рассчитать дальность считывания рассматриваемой метки. Для выбранного считывателя Samsys MP9311 UHF Reader Module дальность считывания метки составила 12 метров.

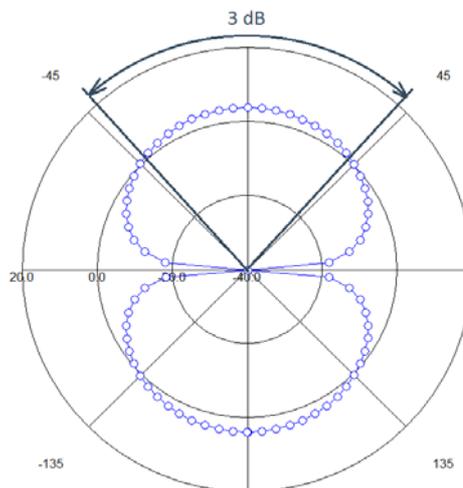


Рисунок 15 – Диаграмма направленности антенны дипольного типа (при  $\theta = 0$ )

Таким образом, предложенная модель антенны обеспечивает считываемость транспондера на расстоянии 12 метров, что говорит о возможности применения при маркировке предметов в различных отраслях промышленности.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

На основе анализа существующих решений, предложена классификация RFID систем, исследованы стандарты технологии. Исследованы преимущества и недостатки технологии для выявления технических противоречий, возникающих при проектировании антенн транспондеров, а именно зависимости размеров тэга от дальности считывания. Это позволило сформулировать требования и наложить ограничения на проектируемый антенный модуль по диапазону частот (ВЧ и УВЧ), по типу меток (пассивные, для многократного чтения).

Проведен сравнительный анализ видов антенн, применяемых в RFID-системах, в результате чего в качестве объекта исследования выбраны микрополосковые антенны для повышения технологичности и компактности меток.

Исследованы технологические этапы изготовления антенны на основе метода магнетронного напыления и метода фрезерования, разработан маршрут изготовления микрополосковых антенн, а также топологии рассматриваемых в работе антенн.

Проведено компьютерное моделирование антенного модуля RFID-системы, а именно микрополосковых антенн спирального и дипольного типа, что позволило сформулировать рекомендации по проектированию антенного модуля систем радиочастотной идентификации. Для применения в складских приложениях необходимо придерживаться дипольной формы антенн с целью повышения дальности считывания. Для применения в платежных системах для работы в ближней зоне достаточно использовать метки с антеннами спиральной прямоугольной формы.

Спроектированная метка дипольного типа имеет коэффициент отражения, равный 5.7 дБ, дальность считывания – 12 м. Входной импеданс микрополосковой антенны составил 3.6 кОм, что обеспечивает на расстоянии 30 мм считываемость метки лишь при полном перекрытии ее считывателем.

Также на примере микрополосковых антенн спирального типа был сформулирован алгоритм согласования импедансов антенны и чипа, на примере микрополосковых антенн дипольного типа наглядно продемонстрирована возможность подстройки рабочей частоты при изменении геометрии антенны. Все это позволяет снизить стоимостные и временные затраты при проектировании транспондеров систем RFID.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ**

1. Смолина А.С. Исследование антенных модулей RFID систем // Сборник докладов 12 международной научно-технической конференции "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2010". - М: МГТУ им. Баумана, 28 апреля 2010. - С.176-180.
2. Смолина А.С. Исследование тонкопленочных плоских антенн RFID-систем// Сборник научных работ лауреатов конкурса на лучшую научную работу студентов вузов РФ в области нанотехнологий и наноматериалов. - М.: МИФИ. 2010. - С.223-233.