

ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 621.396.6

**ДВУХДИАПАЗОННЫЙ СЧИТЫВАТЕЛЬ С ОБРАБОТКОЙ
ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ОТВЕТНОЙ ВОЛНЫ
РАДИОИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ МЕТКИ**

А.А. ПОПОВ, Т.Н. ПАРФЕНОВИЧ, В.Б. КИРИЛЬЧУК, Д.В. ГОЛОЛОБОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 19 апреля 2012*

На основе анализа частотной и поляризационной структуры электромагнитного поля, вариантов построения конверторов систем радиочастотной идентификации предложена структурная схема двухдиапазонного приемопередающего считывателя с использованием поляризационной обработки. Показаны преимущества технического решения, обеспечивающие возможности идентификации широкого класса радиочастотных меток.

Ключевые слова: радиочастотная идентификация, считыватель (ридер), метка, поляризационные преобразования, распространение радиоволн.

Введение

Современные технологии радиочастотной идентификации (RFID – Radio Frequency Identification) характеризуются широким набором функций и технических характеристик, что позволяет создавать системы различного назначения и уровня сложности. Наиболее перспективными являются RFID-технологии, работающие в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ) 860...960 МГц, 2,45 ГГц и выше. Системы этого частотного диапазона обладают рядом важных функциональных возможностей и технических преимуществ по сравнению с низкочастотными стандартами RFID, основными из которых являются возможность многократной перезаписи данных, большой объем памяти, миниатюрные размеры антенны метки и пр.

При решении отдельных задач с применением RFID-технологий в радиоканале могут присутствовать метки двух стандартов. В этом случае целесообразно использовать считывающее устройство, обеспечивающее работу в обоих частотных диапазонах для поддержки различных стандартов. Для этого необходимо, чтобы считывающее устройство кроме переноса информационного спектра в другой частотный диапазон, обеспечивало совместимость стандартов на уровне цифровой обработки сигнала.

В статье на основе анализа международных стандартов ISO/IEC 18000-4 и ISO/IEC 18000-6 сформулированы общие требования к параметрам сигналов и режимам работы радиочастотных «считыватель-метка» и «метка-считыватель», выявлены общие компоненты схемотехнических решений и конструкций считывателей диапазона частот 2,45 ГГц и 860...960 МГц. Показано, что возможно создание считывающего устройства, обеспечивающего работу не только в двух частотных диапазонах, но и совместимость двух стандартов систем RFID.

Сравнительный анализ стандартов ISO 18000-6 и ISO 18000-4

Все параметры функционирования RFID-систем строго регламентированы международными нормативными документами ISO 18000-6 и ISO 18000-4 [1, 2]. Существуют разные

режимы работы считывающего устройства: один считыватель – одна метка; один считыватель – много меток; несколько считывателей – несколько меток (режим плотного считывания). Поскольку в диапазоне 860...960 МГц для информационного обмена между меткой и считывателем требуется полоса частот 200 кГц, а в диапазоне 2,45 ГГц – 500 кГц, то полоса частот, отведенная для функционирования систем, разделена на частотные поддиапазоны. В процессе работы считыватель выбирает свободный частотный поддиапазон и ведет в нем информационный обмен с меткой. В зоне действия считывающего устройства может находиться несколько меток обоих частотных планов одновременно (рис. 1, а). Поскольку протоколы обмена информацией в обоих частотных планах схожи, то становится возможным создание универсального считывающего устройства (рис. 1, б), которое позволяет производить считывание информации в обоих частотных диапазонах.

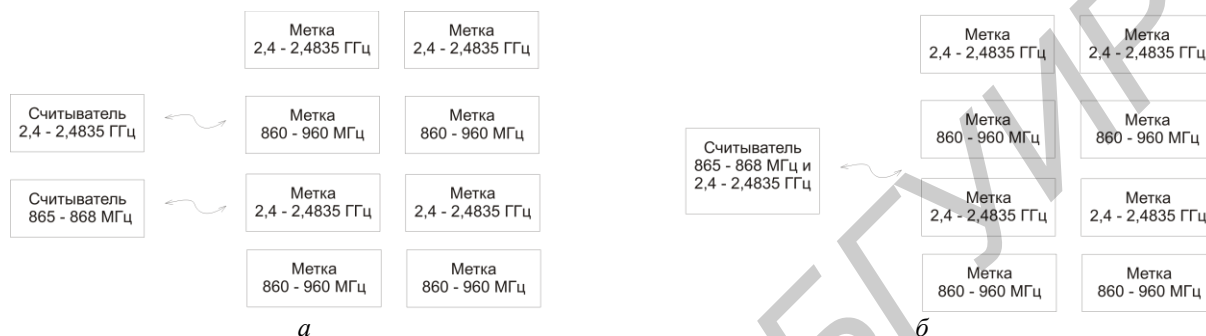


Рис. 1. Варианты работы RFID-систем

В соответствии со стандартом ISO 18000-6 в диапазоне 860...960 МГц существуют два типа RFID-систем, работающих в режиме «А» и режиме «В», а согласно стандарту ISO 18000-4 в диапазоне 2,4...2,483 ГГц: режим 1 и режим 2. Режим 1 по сути аналогичен режиму «В» в диапазоне 860-960 МГц, но имеет следующие особенности:

- диапазон рабочих частот 2400...2483,5 МГц (частота по умолчанию 2450 МГц);
- максимальная ширина канала связи 0,5 МГц;
- битовая скорость передачи данных равна 30 или 40 кбит/с,
- в линии связи «считыватель-метка» используется Манчестеровское кодирование данных и ASK-модуляция несущей с индексом модуляции 99%;
- в канале связи «метка-считыватель» применяется кодирование данных типа FM0;
- отсутствуют некоторые специфические команды и специальный алгоритм коллизий;
- в формате кадра отсутствуют следующие команды: FAIL_O, SUCCESS_O, DATA_READ_O, RESEND_O, READ_FLAGS, READ_PORT, READ_VARIABLE, READ_UNNADDRESSED;
- применяется вероятностный алгоритм антиколлизий, обеспечивающий опрос не менее 250 меток при их размещении в зоне чтения считывателя.

В частотном диапазоне 2,4...2,4835 ГГц появляется возможность использовать дополнительные функции в метках, такие как больший объем памяти, шифрование, перезапись данных и др. Следует отметить, что использование этого диапазона частот является перспективным т.к. позволяет уменьшить геометрические размеры антенн как метки, так и считывателя; повысить пропускную способность канала связи.

В силу схожести этих режимов возможно создание приемопередающего двухдиапазонного считывающего устройства в виде базового устройства считывателя системы RFID диапазона 860...960 МГц и конвертора для диапазона 2,4...2,483 ГГц.

Режим 2 для диапазона 2,45 ГГц является специфическим и предназначен для высокоскоростных RFID-систем большой дальности действия, которая должна обеспечить информационный обмен данными как с обычными, так и со специальными типами меток. Рассмотрим основные особенности данного режима. Для организации режима 2 в частотном плане стандарта ISO/IEC 18000-4 регламентируется использование $m_{\max} = 100$ ($0 < m_i < 99$) сдвоенных частотных каналов (СЧК) с разносом несущих частот на $f_{ch} = 819,2$ кГц. Полоса частот, отводимая на один канал, составляет 1 МГц. СЧК линии связи «считыватель-метка» представляет собой сумму колебаний двух несущих частот: опорной несущей (КОН) с сеткой частот

$f_{\text{КОН}} = (2931 + m_i) \cdot f_{ch}$ и коммуникационной несущей (ККН) с сеткой частот $f_{\text{ККН}} = (2944 + n_i) \cdot f_{ch}$, где $-13 < n_i < 86$ с фиксированным частотным разносом между ними $f_{dif} = 13 \cdot f_{ch} = 10,6496$ МГц (рис. 2, б). На рис. 2, а приведен спектр сигнала в режиме 1, а на рис. 2, б – в режиме 2.

Разделение направлений информационного обмена между считывателем и меткой обеспечивается посредством временного дуплекса (время переключения режимов работы прием/передача и обратно составляет 520,8 мкс) и организацией связи по трем специальным каналам.

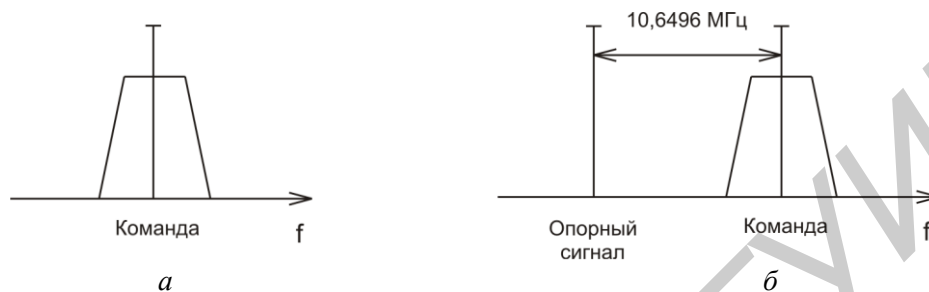


Рис. 2. Спектр сигнала считывателя в режиме 1 (а) и 2 (б)

Кодирование и модуляция данных в канале связи зависит от направления передачи данных. В линии связи «метка-считыватель» (обратный канал) обработка сигнала бит источника зависит от типа метки. В основе организации обмена данными лежит кадр, который может содержать 1...64 подкадра. Каждый подкадр содержит 14 слотов. Каждый слот состоит из 200 бит (скорость 384 кбит/с) или 40 бит (скорость 76,8 кбит/с).

Таким образом, основываясь на сравнительном анализе режимов функционирования RFID-систем различных стандартов, можно сделать вывод, что режим 2 частотного диапазона 2,45 ГГц является достаточно специфическим и, в силу этого, малосовместимым со стандартами частотного диапазона 860...960 МГц. Более целесообразно создать двухдиапазонное считывающее устройство, работающее в режиме «В» диапазона 860...960 МГц и режиме 1 диапазона 2,45 ГГц, которые являются совместимыми и широко распространенными.

Обработки волн в полном поляризационном базисе

Применение двухдиапазонного считывателя позволяет существенно расширить сервисные возможности систем идентификации объектов за счет расширения идентифицируемых групп предметов с метками, имеющими различные частоты и поляризации ответных сигналов. В этой связи конвертор системы радиочастотной идентификации должен обеспечить работу считывателя в двух диапазонах частот и иметь антенны с круговой поляризацией. При этом несущая частота радиосигнала УВЧ должна находиться в пределах 2400...2483,5 МГц, а промежуточная частота сигнала в диапазоне 860...960 МГц. Согласно [1, 2] эквивалентная изотропная излучаемая мощность (ЭИИМ или EIRP) передатчика считывателя не должна превышать 4 Вт, а расстояние, обеспечивающее уверенное считывание информации метки, составлять не более 10 м. В странах ЕС для функционирования систем радиочастотной идентификации отведена полоса частот 865-868 МГц, а ЭИИМ не должна превышать 2 Вт. При этом для реализации системы используется модуляция обратного рассеяния, поэтому временное разделение каналов осуществляется полудуплексным методом обмена информацией.

Использование линейной поляризации накладывает ряд ограничений на условия эксплуатации системы с пассивными метками. Метка, имеющая антенну с линейной поляризацией, может быть не идентифицирована вследствие поляризационного рассогласования между собственной антенной и антенной считывателя. Помимо этого такие системы в большей степени подвержены влиянию интерференции, обусловленной многолучевым распространением радиоволн. Результаты численных и экспериментальных исследований [3] показывают, что при линейных видах поляризации сигналов структура поля характеризуется наличием глубоких минимумов, связанных с интерференцией прямой и отраженной ЭМВ от подстилающей по-

верхности, даже в случае идеального поляризационного согласования антенн считывателя и метки. Наличие глубоких замираний (до 25...30 дБ) сигналов может значительно снизить достоверность обмена информационными потоками между считывателем и меткой.

Основное применение систем радиочастотной идентификации – складская логистика и учет. Становится необходимым обеспечить стабильное чтение метки в большом потоке товаров, где, в общем случае, антенны метки произвольно ориентированы относительно антенн считывателя. В данном случае могут возникать ситуации, когда объекты не будут идентифицированы в силу не согласованности расположения плоскостей линейной поляризации антенны меток и считывателя друг относительно друга.

Применение круговой поляризации позволяет решить данную проблему. В случае применения сигналов круговой поляризации дистанция считывания сократится из-за потерь мощности сигнала в общем случае на 3 дБ, но при этом положение меток в пространстве будет инвариантно положению антенн считывателя.

Анализ современных систем радиочастотной идентификации (RFID) показывает, что в большинстве случаев используется правая круговая поляризация электромагнитных волн (ЭМВ). Целесообразным является излучение сигналов с круговой поляризацией, разделение их на приемной стороне по поляризационному признаку и обработка каждой компоненты отдельно. В результате глубина интерференционных минимумов резко уменьшается и структура поля по своему характеру приближается к однолучевому процессу распространения радиоволн (РРВ).

Другими словами, использование обработки в полном поляризационном базисе позволяет повысить достоверность чтения метки за счет уменьшения провалов сигнала в условиях многолучевого распространения [4]. Под понятием обработки в полном поляризационном базисе понимается следующее: при падении ЭМВ с круговой поляризацией правого вращения на отражающую поверхность (рис. 3) под углом θ отраженный луч в силу деполяризации сигнала, обусловленного изменением фазы и амплитуды поля ЭМВ, приобретет эллиптическую поляризацию и в круговом базисе может быть представлен в виде суммы двух ортогональных составляющих: «правого» «R» и «левого» «L» направлений вращения вектора \vec{E} с соответствующими значениями коэффициентов отражения [4]. В точке приема одна компонента является согласной, другая кроссполяризационной по отношению к ЭМВ прямого луча (рис. 3). Эти компоненты разделяются с помощью поляризационно-селективного антенно-фидерного тракта.

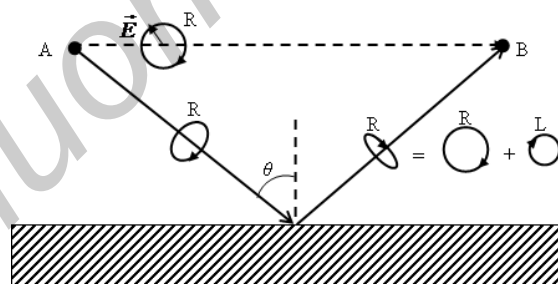


Рис. 3. Принцип поляризационного разделения сигнала

Анализ вариантов частотных конверторов для реализации двухдиапазонного ридера

Интегрированный в стандартный считыватель частотный конвертор позволяет осуществлять перенос спектра сигнала из одной частотной области в другую и расширять функциональные возможности однодиапазонного считывателя – обеспечить работу в двух частотных диапазонах.

В зависимости от типа частотного преобразования конверторы можно разделить на следующие типы.

1. *Приемный конвертор*, который осуществляет перенос спектра входного радиосигнала на промежуточную частоту (преобразование «вниз»). После преобразования спектра информационного сигнала $a(t)$ (рис. 4) за счет применения сигнала от вспомогательного генератора

$b(t)$ необходимо обеспечить высококачественную фильтрацию преобразованного спектра сигнала $c(t)$.

Низкий коэффициент шума в современных конверторах достигнут за счет применения в первых его каскадах малошумящих GaAs-транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT-транзисторов). Адаптация конверторов к цифровому формату вещания реализуется за счет улучшения линейности их амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик, снижения уровня фазовых шумов и обеспечения согласования с линиями передачи.

Минимизация уровня фазовых шумов в конверторе связана с возможным ростом числа ошибок из-за добавления в конвертируемый сигнал со сложной модуляцией дополнительного фазового сдвига. Оценка уровней фазовых шумов обычно производится относительно уровня несущей частоты гетеродина при заданной величине отстройки по частоте от номинального значения несущей [5]. Для радикального снижения уровня фазовых шумов гетеродина и повышения стабильности частоты некоторые модели конверторов оснащаются системой фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ).

2. *Передающий конвертор*, который осуществляет перенос спектра входного сигнала промежуточной частоты на значение более высокой частоты (преобразование «вверх»). Структура такого конвертора аналогична системе первого типа. Данные системы широко применяются в различных системах передачи данных – сети кабельного телевидения, системы MMDS, различные сети вещания и т.д.

3. *Приемо-передающий конвертор* представляет собой комбинацию приемного и передающего типов.

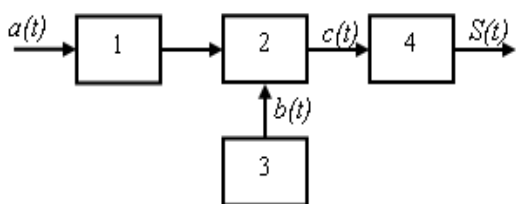


Рис. 4. Обобщенная схема преобразования спектра сигнала:

1 – каскад предварительной обработки сигнала;
2 – смеситель; 3 – генератор; 4 – фильтр

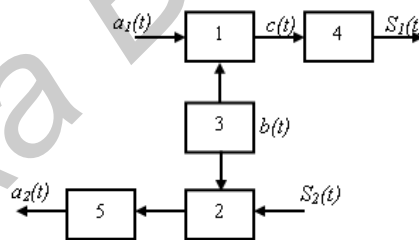


Рис. 5. Обобщенная структурная схема приемо-передающего конвертора:

1, 2 – смеситель; 3 – генератор;
4, 5 – селективные блоки

Поляризационная селекция сигналов в канале RFID

Обработка электродинамических сигналов со сложной поляризационной структурой осуществляется в антенно-фидерном тракте (см. рис. 6). В общем случае в канале связи метка-считыватель волны имеет объемную структуру, характеризуемую эллиптичностью, направлением вращения и наклоном волнового фронта напряженности электрического поля. Поэтому выход структурного блока 1 на рис. 6 имеет в общем случае три выхода, отвечающие за информацию о структуре ответной ЭМВ.

Существуют следующие возможные варианты подключения приемо-передающего конвертора к антенне.

1. Использование двух антенн позволяет добиться значительной развязки между приемо-передающими трактами, но в этом случае считыватель обладает значительными габаритами, что оказывается неприемлемым для портативного устройства.

2. Применение одной общей антенны с блоками разделения и объединения на основе ответвителей, циркуляторов и других устройств позволяет разделить приемо-передающие тракты и обеспечить конечную величину развязки до 60 дБ, но их стоимость прямо пропорциональна величине обеспечиваемого коэффициента развязки трактов приема и передачи, и обратно пропорциональна их габаритным размерам.

3. Использование антенны с поляризационным расщепителем в прямом и обратном каналах ЭМВ с ортогональной поляризацией позволяет избавиться от дорогостоящего и габаритного циркулятора, а также обеспечить достаточно высокую величину поляризационной (до

15 дБ) и мощностной (до 50 дБ) развязки между приемным и передающим трактами. Этот вариант позволяет сгладить интерференционную картину ЭМП в условиях многолучевого распространения ЭМВ и повысить стабильность чтения метки считывателем при ее произвольной ориентации в пространстве.

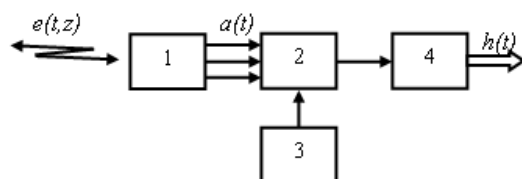


Рис. 6. Обобщенная схема антенного преобразования сигнала:
1 – антенна; 2 – приемопередающее устройство; 3 – опорный генератор;
4 – аналогово-цифровой преобразователь

Структура двухдиапазонного считывателя УВЧ диапазона с обработкой ответной ЭМВ произвольной поляризации

Анализ вариантов конверторов и использование антенн-считывателей показывает необходимость применения преобразования частоты на основе использования приемно-передающего конвертора и антенно-фидерного тракта, позволяющего осуществлять обработку ЭМВ в круговом поляризационном базисе.

Для обеспечения возможности чтения данных двухчастотных меток радиочастотный тракт считывателя может быть реализован в виде конвертора частоты с последующей обработкой на первой промежуточной частоте 860...960 МГц. Для обеспечения возможности поляризационной обработки сигналов конвертор частоты необходимо строить по двухканальной схеме.

Структурная схема считывателя, позволяющая реализовать работу систем идентификации в обоих частотных диапазонах, приведена на рис. 7.

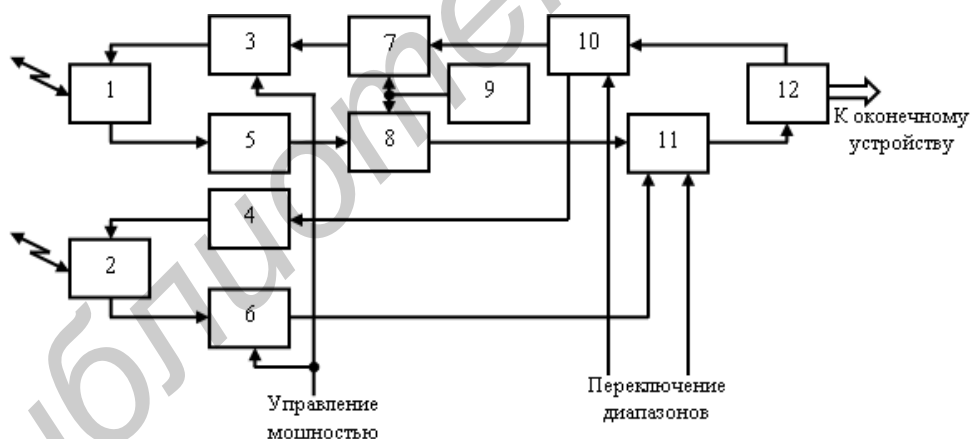


Рис. 7. Структурная схема двухдиапазонного считывателя:
1 – антенна диапазона частот 2,4...2,483 ГГц; 2 – антенна диапазона 860...960 МГц;
3, 4 – схемы усиления и фильтрации; 5, 6 – маломощные усилители диапазонов;
7 – преобразователь частоты; 8 – смеситель; 9 – генератор сдвига; 10, 11 – коммутаторы;
12 – приемно-передающее устройство диапазона 860...960 МГц

Проведенный анализ показал, что для повышения достоверности обмена информационными потоками между считывателем и меткой в блоке радиочастотного интерфейса наряду с поляризационной обработкой сигналов необходимо использовать ультралинейный усилитель мощности, а также блок компенсации радиочастотного сигнала передатчика, проникающего на вход радиоприемного тракта за счет конечной развязки между входами устройства развязки трактов и рассогласования антенны с входной цепью приемопередатчика.

Для обеспечения возможности выбора частотного канала и повышения отношения сигнал/шум в радиочастотном тракте RFID-систем генераторное оборудование необходимо вы-

полнять на основе синтезаторов частоты. Для диапазона 2,4...2,483 ГГц генераторное оборудование должно содержать: генератор управляемый напряжением, и синтезатор частоты. Для снижения стоимости генераторного оборудования можно использовать синтезаторы частоты ОВЧ диапазона совместно с устройством предварительного деления частоты сигнала, либо синтезатором частоты.

Результаты и их обсуждение

Преимуществом разработанного считывателя является расширение возможностей по идентификации широкого класса радиочастотных меток с произвольной поляризацией в двух частотных диапазонах международных стандартов.

Использование меток с антеннами линейной поляризации приводит к потере мощности из-за поляризационного рассогласования, однако позволяет обеспечить стабильное чтение метки при произвольном положении ее антенны относительно антенны считывателя. Использование меток с антеннами круговой поляризации и обработкой сигнала, с учетом его поляризации приведет к удорожанию метки, но позволяет значительно увеличить расстояние дистанционного чтения в сложных условиях приема (наличие большого числа отражающих поверхностей и, следовательно, большого числа переотражений). Исследования этого вопроса показывают, что пассивная система RFID является невзаимной [6]: дистанция активации метки составляет 4,1 м, в то время как считыватель может декодировать ответ метки при расстоянии 8,3 м. Таким образом, существует проблема, связанная с обеспечением надлежащего энергетического питания метки для ее активации. Поскольку величина электромагнитного излучения ограничена, то единственно возможным способом повышения уровня энергии поля ЭМВ в точке расположения метки является сбор полной энергии поля волн, отраженных от поверхностей ограниченного объема радиоканала. Предварительное математическое моделирование и экспериментальные исследования подтверждают эффективность данного технического решения.

DUAL-BAND READER WITH POLARIZATION PROCESSING SIGNALS OF THE BACKSCATTERING WAVES OF THE RADIO IDENTIFICATION TAG

A.A. POPOV, T.N. PARFENOVICH, V.B. KIRILCHYK, D.V. GOLOLOBOV

Abstract

Based on frequency and polarization structure analysis of electromagnetic field and variants of RFID converters design the structure scheme of two bands reader with polarization processing is proposed. Advantages of technical model with opportunity of identification of many classes RFID tags are shown.

Список литературы

1. ISO/IEC 18000-6. Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 6: Parameters for air interface communication at 860 to 960 MHz. Switzerland, 2004.
2. ISO/IEC 18000-4. Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 4: Parameters for air interface communication at 2,45 GHz. Switzerland, 2004.
3. Кирильчук В.Б., Гололобов Д.В., Попов А.А. // Тез. докл. Межд. науч.-техн. конф., посвященной 45-летию МРТИ-БГУИР. 2009. С. 25.
4. Патент РФ №14992, МПК Н 04В 7/015, Н 04В 1/10. Способ уменьшения интерференционных замираний сигнала при распространении радиоволн и устройство для его осуществления / В.Б. Кирильчук, Д.В. Лихачевский, А.А. Попов, Б.Н. Чернуха.
5. Уткин Г.М. Проектирование радиопередающих устройств СВЧ. М., 1979.
6. Riki Banerjee S, Jemes R., Sainati R.A. // Int. Conf. on RFID 2007, IEEE. 2007. P. 258.