

УДК 621.396:534

МНОГОДИАПАЗОННАЯ РАДИОЧАСТОТНАЯ МЕТКА НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ ДЛЯ АНТИКОЛЛИЗИОННЫХ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

С. Г. Сучков¹, С. А. Никитов², А. А. Пиловец¹, С. В. Комков¹, В. А. Николаевцев¹,
А.Н. Литвиненко¹, Д. С. Сучков¹

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Статья поступила в редакцию 1 декабря 2016 г.

Аннотация. Рассмотрены 2 основных способа антиколлизии защиты систем радиочастотной идентификации: корреляционный способ и способ дискретно-временного кодирования. Проведен их сравнительный анализ с целью определения ограничений. Предложена новая конструкция радиочастотной идентификационной метки на поверхностных акустических волнах, имеющая три акустических канала. Описаны преимущества использования такой конструкции меток по сравнению с известными. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований многодиапазонных антиколлизии радиочастотных идентификационных меток на поверхностных акустических волнах с дискретно-временным кодированием, позволяющих расширить возможности антиколлизии защиты систем радиочастотной идентификации до 1 миллиона кодов.

Ключевые слова: поверхностные акустические волны, антиколлизия, радиочастотная идентификация, многодиапазонная метка, дискретно-временное кодирование.

Abstract. Two basic methods of anticollision protection of the RFID systems were considered. They are the correlation coding method and discrete-time coding method. In order to determine the limits of these methods their comparative analysis was accomplished. A new design of radiofrequency identification tags on the surface

acoustic wave was proposed. Such tag has three acoustic channels. The advantages of using this design over known tags were described. The results of theoretical and experimental investigations of multiband anticollision radiofrequency identification tags on surface acoustic waves with a discrete-time coding were described. Such tags allow us to extend the possibilities of the anti-collision protection of RFID systems and to increase a number of codes up to 1 million.

Key words: surface acoustic wave, anticollision, radiofrequency identification, multiband tag, discrete-time encoding.

1. Введение

Системы радиочастотной идентификации (РЧИ) широко применяются в различных сферах деятельности для отслеживания и идентификации разнообразных объектов [1]. Они состоят из трех основных частей – массива радиочастотных идентификационных меток (РИМ), устройства считывания кодов (ридера) и персонального компьютера с базой данных объектов.

В настоящее время в производстве и других применениях доминируют системы РЧИ с РИМ на основе полупроводниковых интегральных схем (ИС). Однако в таких РИМ код может быть нарушен или уничтожен при воздействии ионизирующего излучения и мощных электромагнитных полей. Поэтому для таких условий применения используют метки на поверхностных акустических волнах (ПАВ), которые устойчивы к указанным воздействиям. Кроме этих преимуществ, системы РЧИ с РИМ на ПАВ также имеют на два-три порядка большие скорости идентификации объектов по сравнению с системами с РИМ на ИС. Поэтому системы РЧИ с РИМ на ПАВ ориентированы на особо ответственные логистические и транспортные системы, а также на эксплуатацию в условиях высокого уровня радиации и агрессивной окружающей среды.

Для большого круга применений систем РЧИ требуется наличие антиколлизийной защиты [2, 3], позволяющей одновременно распознавать множество объектов. Известны два основных способа антиколлизийной

защиты систем РЧИ с РИМ на ПАВ – корреляционный способ [2, 4] и способ дискретно-временного кодирования [2, 5].

2. Сравнительный анализ основных способов антиколлизии защиты систем радиочастотной идентификации

Корреляционный способ одновременного распознавания многих РИМ основан на использовании в качестве радиоимпульса опроса (РИО) последовательности импульсов, образующих один из искомых кодов [6]. При приеме такого РИО метка вырабатывает и переизлучает некий сигнал корреляции, который имеет максимальную амплитуду при совпадении кода метки с обратной последовательностью импульсов РИО (автокорреляционный сигнал (АКС)), или значительно меньшую амплитуду при несовпадении кодов (кросс-корреляционный сигнал (ККС)). Количество одновременно распознаваемых РИМ при корреляционной обработке зависит от превышения амплитуды АКС над амплитудой суммарного ККС ответа от всех меток [4]. В связи с возрастанием уровня суммарного ККС при увеличении количества распознаваемых меток максимальное их число не превышает 15, а при специальном отборе групп меток по минимуму ККС в области АКС реализовано одновременное распознавание 36 [7], что близко к теоретическому пределу.

Значительно большее количество РИМ можно одновременно идентифицировать при дискретно-временном кодировании, для которого используется конструкция РИМ в виде отражательной линии задержки на ПАВ с одним отражателем (моноимпульсное кодирование) [8]. Положение отражателя ПАВ на кристаллической подложке определяет код РИМ по времени задержки отраженного импульса. Однако количество кодов при использовании такого способа антиколлизии защиты ограничено количеством используемых кодовых позиций, не превышающим 1000.

3. Проектирование и исследование трехдиапазонной РИМ на ПАВ

Существенного увеличения количества используемых кодов в антиколлизийной системе РЧИ с РИМ на ПАВ можно добиться применением нескольких частотных поддиапазонов в метках. Принцип действия таких меток основан на использовании нескольких независимых акустических каналов с неперекрывающимися рабочими диапазонами частот. Каждый из каналов состоит из встречно-штыревого преобразователя (ВШП) и отражателя. Причем все ВШП акустических каналов соединены последовательно и образуют единую микрополосковую линию передачи, подключаемую к приемопередающей антенне.

Такая конструкция вследствие наличия в одной РИМ нескольких акустических каналов обеспечивает возможность значительного увеличения общего количества кодов, определяемого мультипликативным законом

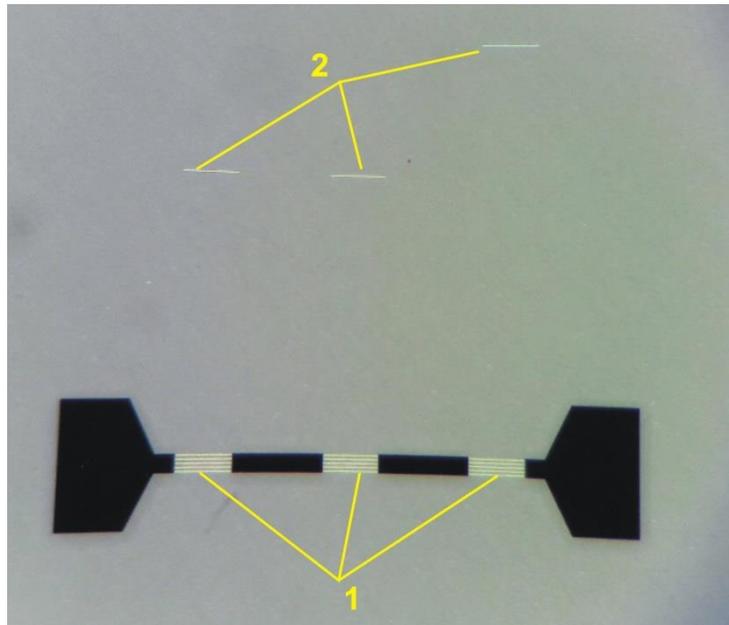
$$Q_M = \prod_{i=1}^N M_i, \quad (1)$$

где N – количество акустических каналов (частотных поддиапазонов) РИМ, M_i – число кодовых позиций в i -м акустическом канале.

В данной работе исследована трехдиапазонная антиколлизийная радиочастотная идентификационная метка (рис.1), позволяющая осуществить антиколлизийную защиту одного миллиона кодов.

Проектирование конструкции трехдиапазонной РИМ на ПАВ для диапазона частот 860–960 МГц, разрешенного для радиочастотной идентификации, осуществлялось с помощью модифицированного квазиполевого метода [9]. Метка имеет три акустических канала, каждый из которых настроен на одну из неперекрывающихся полос пропускания (поддиапазон) в пределах всего разрешенного частотного диапазона. В данном случае используются поддиапазоны 860-890 МГц, 890-920 МГц и 920-950 МГц. ВШП каждого из трех каналов РИМ выполнен секционированным, содержащим 5 секций по 4 штыря. Полоса пропускания каждого ВШП около 30 МГц, а отражатель состоит из 3 свободных «плавающих» электродов. Выбор

такой конструкции преобразователя обусловлен необходимостью получения максимальной эффективности преобразования при обеспечении необходимой полосы пропускания, минимального уровня переотражений в ВШП и перекрестных сигналов от других поддиапазонов. Количество электродов отражательной структуры и ее коэффициент металлизации являются оптимальными для обеспечения требуемого соотношения уровня полезного задержанного сигнала и паразитных сигналов многократного прохождения (-20 дБ).



Светлые полосы – ВШП (1) и отражатели (2) в соответствующих акустических каналах.

Рис.1. Фотография трехдиапазонной РИМ под микроскопом (увеличение 10х).

Металлизированные структуры экспериментальных образцов трехдиапазонных антиколлизийных РИМ созданы с использованием оптической фотолитографии уровня 0.8 мкм.

Измерение электрических характеристик трехдиапазонных РИМ проводилось с использованием зондовой станции MPI TS150 и векторного анализатора цепей Agilent Technologies PNA-L N5230C.

На рис. 2 представлены экспериментальные временные характеристики трехдиапазонной антиколлизийной РИМ с дискретно-временным кодированием в одном из акустических каналов.

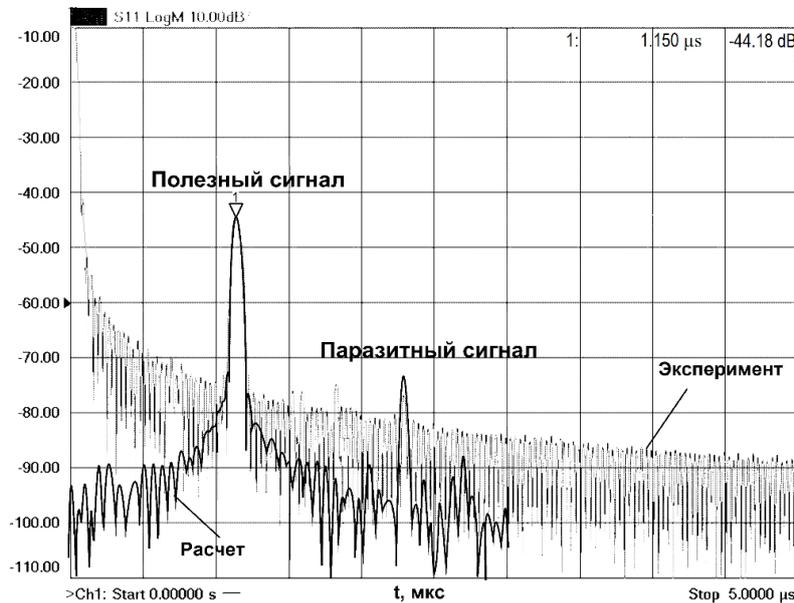


Рис. 2. Экспериментальная и расчетная временные характеристики отклика трехдиапазонной РИМ в первом акустическом канале.

Маркер 1 на рис. 2 соответствует кодовому (основному задержанному) сигналу. Потери кодового сигнала в РИМ составляют 44.18 дБ, задержка сигнала 1.15 мкс, что соответствует первой кодовой позиции в акустическом канале трехдиапазонной РИМ. На экспериментальных и расчетных характеристиках также виден паразитный импульс, соответствующий двукратному прохождению сигнала в структуре РИМ. Его амплитуда значительно (на 30 дБ) ниже, чем у полезного сигнала.

Важное значение для практического применения многодиапазонных РИМ имеет уровень отклика на сигнал опроса соседнего диапазона (перекрестные отклики). Результаты измерений перекрестных откликов в первом акустическом канале представлены на рис. 3.

Уровень перекрестного отклика в первом поддиапазоне от сигнала второго поддиапазона составляет -36 дБ относительно основного кодового сигнала

(второй импульс на рис. 3), а от сигнала третьего поддиапазона (третий импульс на рис. 3) -40 дБ.

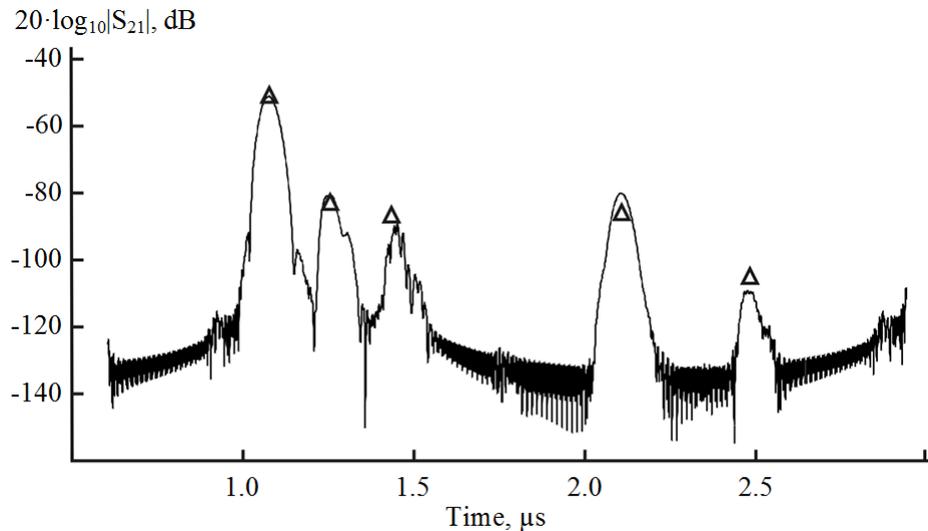


Рис. 3. Расчетная временная характеристика откликов в первом акустическом канале. Треугольниками показаны экспериментальные значения максимумов.

Для реализации системы РЧИ с антиколлизией защиты миллиона кодов при использовании трехдиапазонных РИМ необходимо, чтобы каждый акустический канал имел 100 кодовых позиций. При использовании расширенной временной кодовой позиции [3] величиной 100 нс, обеспечивающей надежную идентификацию объектов, расположенных в пределах области локализации размером 5 м, геометрические размеры кристаллического чипа РИМ из ниобата лития составляют $7 \times 45 \text{ мм}^2$.

4. Заключение

Для таких РИМ, смонтированных в корпус и имеющих внешнюю антенну, полученные экспериментальные значения по максимальной дальности идентификации [3] соответствуют расчетным, то есть при уровне чувствительности приёмника ридера -140 дБ/мВт и предельно допустимом потоке мощности электромагнитной волны у антенны ридера (1 мВт/см^2) она составляет не менее 20 м для РИМ с максимальным кодом в каждом поддиапазоне, равным 100. Таким образом, в трехдиапазонной РИМ возможна антиколлизия идентификация на таких расстояниях до 1 миллиона меток.

При смещении меток в пределах области локализации до 5 м не наблюдается нарушение кодов вследствие применения расширенной кодовой позиции [3].

Таким образом, предложенные трехдиапазонные РИМ обеспечивают одновременное распознавание до 100 меток в каждом поддиапазоне при фиксированных кодах в двух других поддиапазонах. Для того, чтобы обеспечить распознавание меток с произвольными комбинациями кодов в любых поддиапазонах система РЧИ должна иметь возможность определения координат излучающих меток, что может быть реализовано известным методом трилатераций [10] с применением многоантенной системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014...2020 годы» (контракт № 14.574.21.0061, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57414X0061).

Литература

1. Han Tao, Shui Yongan. Application and Design of Surface Acoustic Wave Based Radio Frequency Identification Tags // Service Science and Logistics Informatics: Innovative Perspectives, Chapter 5, pp. 98–113, 2010.
2. C. Hartmann, P. Hartmann, P. Brown, J. Bellamy, L. Claiborne, W. Bonner. Anti-Collision Methods for Global SAW RFID Tag Systems // Proc. IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 805-808, 2004.
3. Сучков С.Г., Никитов С.А., Янкин С.С., Николаевцев В.А., Комков С.В., Пиловец А.А., Сучков Д.С., Шатрова Ю.А. К вопросу об антиколлизийной защите пространственно удаленных радиочастотных идентификационных меток на поверхностных акустических волнах // Радиотехника и электроника. 2016. Т. 61. № 8. С. 806-810.

4. Дмитриев В.Ф., Койгеров А.С. Исследование радиоидентификаторов на поверхностных акустических волнах с заданными корреляционными свойствами // Радиотехника и Электроника, 2011. Т. 56. № 10. С. 1268-1278.
5. Reindl L., Scholl G., Ostertag T. et al. Theory and Application of Passive SAW Radio Transponders as Sensors // Proc. 1998 IEEE Int. Workshop on Commercial Radio Sensor and Communication Techniques. Munich 15-17 Sept. 1998, Germany: IEEE, 1998. P. 83.
6. Ostermayer G. Correlative signal processing in wireless SAW sensor applications to provide multiple-access capability // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2001. V. 49. № 4. Pp. 809-816.
7. P. Brown, P. Hartmann, A. Schellhase, A. Powers et al. Asset Tracking on the International Space Station Using Global SAW Tag RFID Technology // Proc. 2007 IEEE Ultrasonics Symposium, New York, 28-31 Oct. 2007. P. 72.
8. Багдасарян С.А., Багдасарян А.С., Карапетьян Г.Я., Нефедова Н.А. Система радиочастотной идентификации на поверхностных акустических волнах. Патент РФ на изобретение № 2344437 // Бюлл. изобр. 2009. № 2.
9. Сучков С.Г., Никитов С.А., Николаевцев В.А., Янкин С.С., Сучков Д.С., Комков С.В., Пиловец А.А., Шатрова Ю.А. Квазиполевого метод расчета характеристик радиочастотных идентификационных меток на поверхностных акустических волнах // Радиотехника и Электроника, 2015. Т. 60. № 12. С. 1333-1337.
10. T.F. Bechteler, H. Yenigün. 2-D Localization and Identification Based on SAW ID-Tags at 2.5 GHz // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2003. V. 51. № 5, pp. 1584-1590.