

*Сучков С.Г., Комков С.В., Пиловец А.А.,  
Янкин С.С., Шатрова Ю.А.*

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского*

## **Влияние задержки СВЧ сигнала на достоверность считывания кодов в антиколлизийной радиочастотной системе идентификации на поверхностных акустических волнах**

*Исследовано распознавание антиколлизийных радиочастотных идентификационных меток на поверхностных акустических волнах и влияние на него различий во временных задержках по электромагнитному каналу в идентифицируемой группе существенно удаленных друг от друга объектов. Предложено введение расширенной кодовой зоны, позволяющей при ограничении области локализации меток обеспечить достоверную идентификацию до 100 кодов.*

**Ключевые слова:** Поверхностные акустические волны, радиочастотная идентификация, антиколлизия, дискретно-временное кодирование.

В настоящее время явление коллизии сигналов при радиочастотной идентификации (РЧИ) многих объектов является одной из главных проблем в развитии систем РЧИ [1, 2]. Известны различные способы преодоления проблемы коллизии для систем РЧИ на основе радиочастотных идентификационных меток (РИМ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [3, 4]. Во всех этих методах решается задача об установлении факта присутствия одновременно некоторого множества объектов, помеченных РИМ с конкретными кодами, из большого массива возможных кодов.

В системах РЧИ с РИМ на ПАВ для антиколлизийной защиты используют корреляционный способ [5-7] и способ дискретно-временного кодирования [8, 9], которые реализуются при распознавании близко расположенных объектов. Но при большом числе объектов, распределённых в значительных пространственных объёмах, возникают существенные отличия в расстояниях от различных РИМ до антенны приёмника системы РЧИ (ридера), что приводит к различию во времени поступления кодовых сигналов. Такие дополнительные задержки сигнала по электромагнитному каналу системы РЧИ снижают превышение автокорреляционного сигнала (АКС) над суммарным кросс-корреляционным сигналом (ККС) в корреляционном способе антиколлизийной защиты или приводят к нарушению временных позиций кодового сигнала при дискретно-временном кодировании.

В данной работе проведен анализ влияния на распознавание антиколлизийных РИМ на ПАВ различий во временных задержках по электромагнитному каналу в идентифицируемой группе существенно удаленных друг от друга РИМ.

В системах РЧИ, где идентифицируемые объекты имеют размеры, превышающие несколько длин электромагнитных волн, ответные сигналы их РИМ приходят в приёмник ридера со значительно различающимися задержками. Так, при расстоянии между РИМ 3 метра время приёма ответного сигнала от них различается на 20 нс. Различие в электромагнитных задержках сигнала от существенно удаленных друг от друга РИМ не позволяет получить малые значения суммарного кросс-корреляционного сигнала в окрестности автокорреляционного пика. Поэтому упомянутый корреляционный способ антиколлизийной защиты может быть реализован для относительно небольшого

количества (~10) одновременно идентифицируемых РИМ, которое зависит от их пространственной локализации.

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. Следовательно, минимальная длина кодовой позиции отражателя  $l_k$  определяется длительностью импульса  $\tau$  очевидным соотношением

$$\min l_k = \frac{1}{2} \tau V_s, \quad (1)$$

где  $V_s$  – скорость ПАВ. В этом случае одновременное распознавание сигнала многих РИМ легко осуществляется по временам задержки принятых ридером импульсов.

Однако, как отмечалось, при значительных размерах области локализации идентифицируемых объектов время поступления кодовых импульсов в приёмник ридера может отличаться на десятки наносекунд. При этом кодовые импульсы могут сместиться в следующие по времени кодовые позиции. Эта ситуация демонстрируется на рис. 1, где представлены временные характеристики группы из трёх РИМ с дискретно-временным кодированием в виде отражательной линии задержки в ISM-диапазоне (2400...2483 МГц) на подложке из ниобата лития Y+128°-среза с длиной кодовой позиции  $l_k = 25$  мкм и кодовым интервалом времени  $T_k = 12.5$  нс. На рис. 1а представлена временная характеристика ответных кодовых сигналов трёх меток с разными кодами (отражатели в кодовых позициях № 5, 9 и 11), находящихся на одинаковом расстоянии от ридера, равном 6 м. Видно, что все три кодовых импульса одновременно идентифицируются. На рис. 1б представлена временная характеристика ответа системы из тех же трех РИМ, когда метка с кодом № 9 перемещена на 3 метра дальше от ридера.

При таком расположении меток из-за дополнительной задержки электромагнитного сигнала отклики двух меток с кодами № 9 и № 11 оказываются разнесенными всего на 4 нс, что приводит к их интерференции и образованию более широкого импульса (центр полученного импульса смещен на 2 нс относительно центра импульса от метки № 11 на рис. 1а), тем самым делая невозможной идентификацию объекта № 9.

Для устранения возможных ошибок при идентификации одновременно большого числа объектов предлагается расширить кодовые позиции по времени и, следовательно, установить ограничения на область расположения идентифицируемых объектов. Причем размер расширенной кодовой позиции  $l'_k$  определяется, главным образом, допустимым размером области локализации РИМ  $\Delta R$

$$l'_k = \frac{1}{2} \Delta t V_s = \frac{V_s}{2} \left( \frac{2\Delta R}{c} + \tau \right), \quad (2)$$

который зависит от условий конкретного применения антиколлизонной системы РЧИ.

В этом случае, при смещении РИМ в пределах установленной области локализации считывание кода не нарушается, то есть становится возможной достоверная идентификация всех объектов, помеченных РИМ, расположенных в пределах данной зоны.

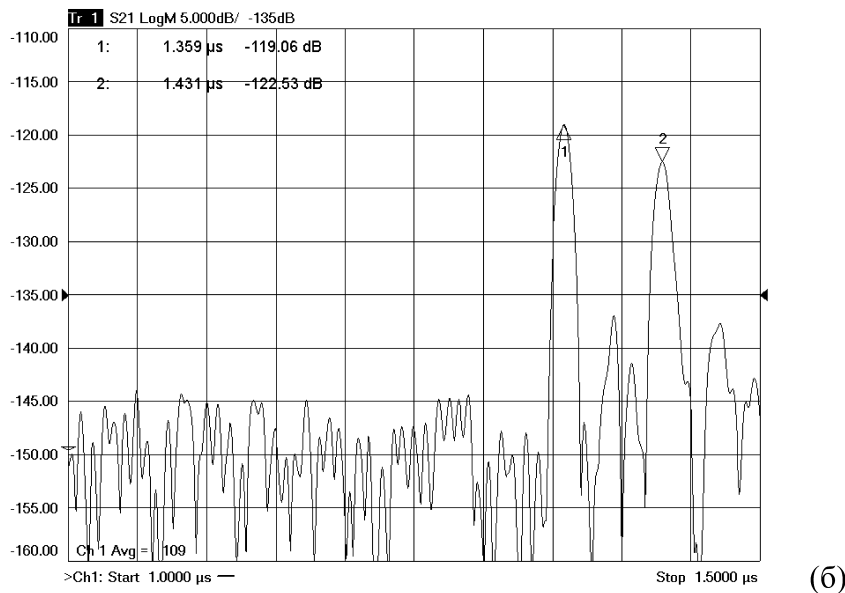
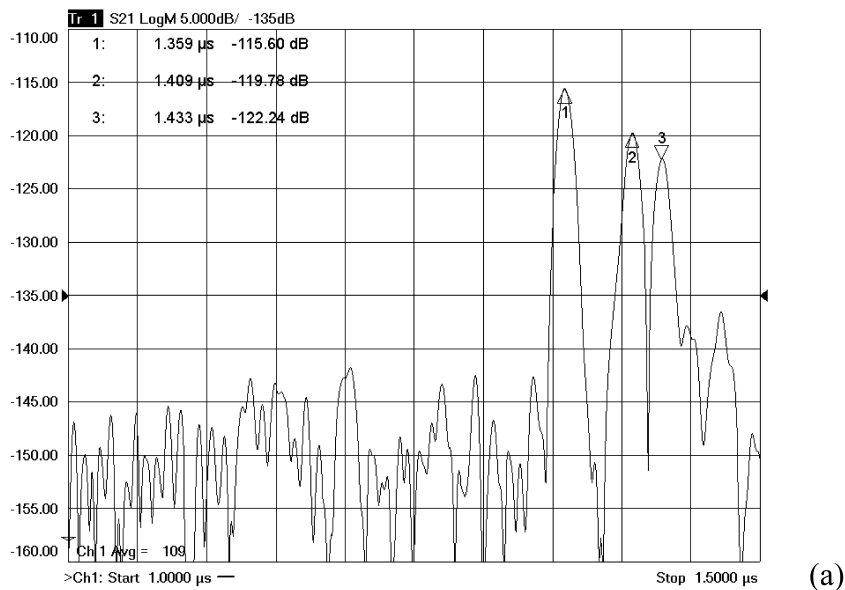


Рис. 1. Временная характеристика трех антиколлизийных РИМ: (а) с кодами № 5 (маркер 1), № 11 (2) и № 9 (3) на расстоянии 6 м от ридера; (б) то же при удалении метки № 9 на 9 м от ридера.

Возьмем для оценки практически значимую величину  $\Delta R=3$  м, тогда  $2\Delta R/c = 20$  нс. Получим оценки длины расширенной кодовой позиции  $l'_k$ , кодовой зоны  $L'_k$  для 100 кодовых позиций и максимальных полных потерь  $\Pi_k$  кодового сигнала в РИМ с расширенной кодовой зоной. Для длительности РИО  $\tau = 12$  нс на основании (2) имеем  $l'_k = 64$  мкм и  $L'_k = 100l'_k = 6.4$  мм.

Учтем, что потери на распространение ПАВ на частоте 2.45 ГГц в ниобате лития Y+128°-срезы вдоль оси X составляют 4.2 дБ/мкс [10]. Временная длина кодовой зоны для 100 кодовых позиций (с учетом распространения ПАВ до отражателя и обратно)  $T_k = 3.2$  мкс. Потери на распространение в кодовой зоне составляют  $\Pi_{кз} = 13.44$  дБ. С учетом потерь на начальную задержку  $T_d = 1$  мкс максимальные потери на распространение

(к позиции № 100) составят около  $P_p = 22$  дБ, а с учетом потерь преобразования в ВШП и на отражение от рефлектора максимальные полные потери сигнала в метке могут быть оценены величиной  $P_c \approx 47-50$  дБ, что позволяет при используемой в эксперименте антенной системе (площадь антенны ридера  $100 \text{ см}^2$ , антенны метки –  $4 \text{ см}^2$ ) и допустимом потоке СВЧ мощности у антенны ридера  $1 \text{ мВт/см}^2$  достичь дальности идентификации  $10 \text{ м}$  с размером области локализации  $3 \text{ м}$  при чувствительности приёмника ридера  $-140 \text{ дБ/мВт}$ .

Аналогичная концепция антиколлизийной защиты может быть использована при построении системы РЧИ с РИМ на ПАВ и в других разрешенных диапазонах частот:  $860...960 \text{ МГц}$  [11] и  $5.650...6.425 \text{ ГГц}$  [2, 12, 13]. Оценки показывают, что в первом диапазоне можно одновременно распознать до  $1000$  РИМ на расстоянии до  $20 \text{ м}$  с областью локализации до  $5 \text{ м}$ , а в высокочастотном диапазоне значительный рост потерь на распространение ПАВ ограничивает возможности антиколлизийной защиты и позволяет одновременно распознать не более  $20$  РИМ на расстоянии до  $5 \text{ м}$  с областью локализации  $2 \text{ м}$ .

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).

#### Библиографический список

1. Finkenzeller K. RFID Handbook. New York: John Wiley and Sons, 2003.
2. Гуляев Ю.В., Сучков С.Г., Янкин С.С. и др. Радиочастотная идентификационная метка на поверхностных акустических волнах в диапазоне частот  $6 \text{ ГГц}$  // РЭ. 2015. Т. 60. № 4. С. 429.
3. Plessky V., Reindl L. Review on SAW RFID tags // IEEE Trans. 2010. V. UFFC-57 №. 3. P. 654.
4. Reindl L., Scholl G., Ostertag T. et al. Theory and application of passive SAW radio transponders as sensors // IEEE Trans. 1998. V. UFFC-45. № 5. P. 1281.
5. Hartmann C., Hartmann P., Brown P. et al. Anti-collision methods for global SAW RFID tag systems // Proc. 2004 IEEE Int. Ultrasonics Symp. Montreal 23-27 Aug. 2004. N.Y.: IEEE, 2004. P. 805.
6. Дмитриев В.Ф., Койгеров А.С. Исследование радиоиентификаторов на поверхностных акустических волнах созданными корреляционными свойствами // РЭ, 2011. Т. 56. № 10, С. 1268.
7. Hines J., Solie L., Tucker D., Hines A. Individually identifiable surface acoustic wave sensors, tags and systems. Заявка США на изобретение № 20130181573, опубли. 18.06.13.
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. Reindl L., Scholl G., Ostertag T. et al. Wireless remote identification and sensing with SAW devices // Proc. 1998 IEEE Int. Workshop on Commercial Radio Sensor and Communication Techniques. Munich 15-17 Sept. 1998, Germany: IEEE, 1998. P. 83.
10. Блистанов А., Бондаренко В., Переломова Н. и др. Акустические кристаллы. Справочник. М.: Наука, 1982.
11. ISO/IEC, Information Technology - Radio Frequency Identification for Item Management - Part 6: Parameters for air interface communications at  $860 \text{ MHz}$  to  $960 \text{ MHz}$ . (ISO/IEC, 18000-6, 2004).
12. Об использовании полос радиочастот  $5150-5350 \text{ МГц}$  и  $5650-6425 \text{ МГц}$  радиоэлектронными средствами фиксированного беспроводного доступа [Электронный ресурс]: решение Государственной комиссии по радиочастотам № 100702 от 15 июля 2010 г. – Режим доступа: [www.minsvyaz.ru/uploaded/files/reshen\\_grch.pdf](http://www.minsvyaz.ru/uploaded/files/reshen_grch.pdf) (дата обращения: 01.12.2014).
13. Plessky V., Lamothe M., Davis Z., Suchkov S. SAW tags for the 6-GHz range // IEEE Trans. 2014. V. UFFC-61. № 12. P. 2149.