

УДК 621.317

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИЙ СЕНСОРНЫХ ТРАНСПОНДЕРОВ RFID С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗНЕСЕНИЕМ ЗОН ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИЕМА-ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Ю.Р. ПОБУДЕЙ, И.Д. МАРТЫНЕНКО, В.Б. КИРИЛЬЧУК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)*

E-mail: misel2002urii@gmail.com

Аннотация. Приводится сравнительный анализ запатентованных сенсорных устройств с пространственным разнесением зон измерения и приема-передачи данных. Предложен способ реализации выносных датчиков для идентификационно-сенсорной платформы на базе радиочастотной идентификации с помощью трансформатора импеданса.

Abstract. A comprehensive analysis of patented sensor devices with spacial separation of measurement and transmission zones is presented. A method for implementing remote sensor for an RFID-based identification and sensor platform using an impedance transformer is proposed.

Введение

В рамках парадигмы интернета вещей (IoT) наблюдается стабильный рост потребности в недорогих беспроводных устройствах с низким энергопотреблением, что вывело RFID-технологии на передовые позиции в области сенсорики. Сенсорные RFID транспондеры (СТ) полностью соответствуют жестким критериям IoT, сочетая в себе компактность и высокую энергоэффективность. Применение инновационных материалов и технологий производства, наряду с эволюцией подходов к сбору данных, такие как туманные вычисления (Fog Computing) и краевые вычисления (Edge Computing), делает описанные датчики ключевым элементом для IoT-систем, требующих надежного сенсорного функционала [1].

Существует две конфигурации сенсорных транспондеров RFID, использующих микроэлектронный чип: электронный и электромагнитный [2]. При идентичном наборе базовых функциональных блоков принципиальное различие между ними кроется в архитектуре сенсорной части, из которых выделяются следующие пункты:

1. В электронной конфигурации измерительный элемент (сенсор) физически сопряжен с чипом. Сенсор может быть интегрирован в чип или подключен через внешний микроконтроллер. Ключевым преимуществом является разделение функций измерения и трансляции данных. Информация оцифровывается и передается в составе идентификационного кода, что защищает ее от искажений, вызванных внешней средой [3-6].

2. В электромагнитной конфигурации роль датчика выполняет сама антенна СТ. Изменения параметров окружающей среды (проводимости или диэлектрической проницаемости) напрямую влияют на характеристики антенны — входной импеданс, усиление или поляризацию. Это, в свою очередь, модулирует амплитудно-фазовые и поляризационные свойства поля обратного рассеяния в частотной/поляризационной области [7]. В зависимости от характера изменений такие датчики классифицируются как резистивные или емкостные.

Для обеих приведенных конфигураций предельная дальность считывания жестко ограничена пороговой чувствительностью СТ — минимальной мощностью облучающего сигнала, необходимой для активации транспондера. В электронных СТ для преодоления этого ограничения и расширения радиуса действия применяют полупассивную архитектуру, где цифровые блоки питаются от встроенной батареи, а передача данных активируется строго по запросу считывателя.

Серьезным вызовом для электромагнитных СТ является мониторинг сред, экранирующих или поглощающих радиоволны (металлы, жидкости и т.д.). Прямое размещение датчика в таких объектах критически снижает дальность связи или делает ее невозможной. Для решения этой проблемы необходима разработка электромагнитных СТ с пространственным разнесением: измерительная зона должна быть физически отделена от зоны приема-передачи информации.

Существующие решения разнесения зон

На данный момент существует достаточное количество интегральных исполнений СТ на коммерческой основе. Среди компаний, которые занимаются серийным выпуском подобных устройств, можно отметить ASYGN, CAEN RFID, Powercast, SMARTRAC, TagMatiks. Мы рассмотрим распространенное решение разнесения зон на примере устройства от производителя CAEN RFID, а именно CAEN RFID A927ZET UHF Semi-Passive Logger Tag. Предлагаемое устройство является беспроводным полупассивным УВЧ СТ электронной конфигурации с подключенным через микроконтроллер сенсором, а также дополнительным внешним термочувствительным элементом (рис. 1) [8].



Рис. 1. Внешний вид CAEN RFID A927ZET UHF Semi-Passive Logger Tag

Как было отмечено ранее, электронная конфигурация СТ обеспечивает разделение функций измерения и трансляции данных за счет оцифровки информации, так что исполнение выносного сенсора только расширяет возможности измерения интересующих характеристик в средах с обилием поглощающих и экранирующих объектов, а также поддерживает высокую точность измерений (разрешение $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). Основными недостатками данного решения являются малая дальность действия, высокая стоимость (при организации широкой сети датчиков), редкая периодичность снятия измерений (один замер в 40 минут) и наличие внутреннего источника питания, который требуется заменять.

В случаях, когда требуется удешевить стоимость разрабатываемого устройства, требования к точности измерений невысокие прибегают к применению электромагнитной конфигурации. Такие подходы особенно предпочтительны при большой масштабируемости сети датчиков. Наглядным примером реализации СТ электромагнитной конфигурации с пространственным разделением зон измерения и приема-передачи является запатентованное изобретение (рис. 2) [9-10].

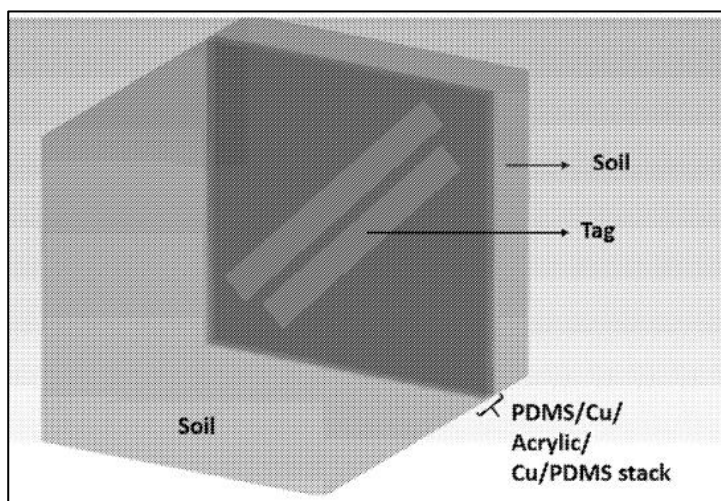


Рис. 2. Схематичная визуализация изобретения

СТ работает на основе технологии обратного рассеяния для беспроводного измерения объемного влагосодержания (VWC) почвы. СТ состоит из короткозамкнутых дипольных резонаторов, резонансные частоты которых зависят от эффективной диэлектрической проницаемости окружающего грунта (определяемой его влажностью). Резонансная частота сенсорной метки измеряется с помощью антенны считывателя с ортогональной поляризацией, которая фиксирует пик в спектре обратного рассеяния. Изменение характеристик измеряемой среды через выносной сенсор изменять импеданс антенны RFID-метки, тем самым изменяя её пороговую чувствительность. Недостатками изобретения является то, что для достижения необходимой чувствительности к измерению выбранного параметра ширина используемого частотного диапазона в два раза превышает заданный стандартом ISO/IEC 18000-6:2013 (рис. 3), а также рабочая дальность изобретения всего составляет 40 см [10, 11].

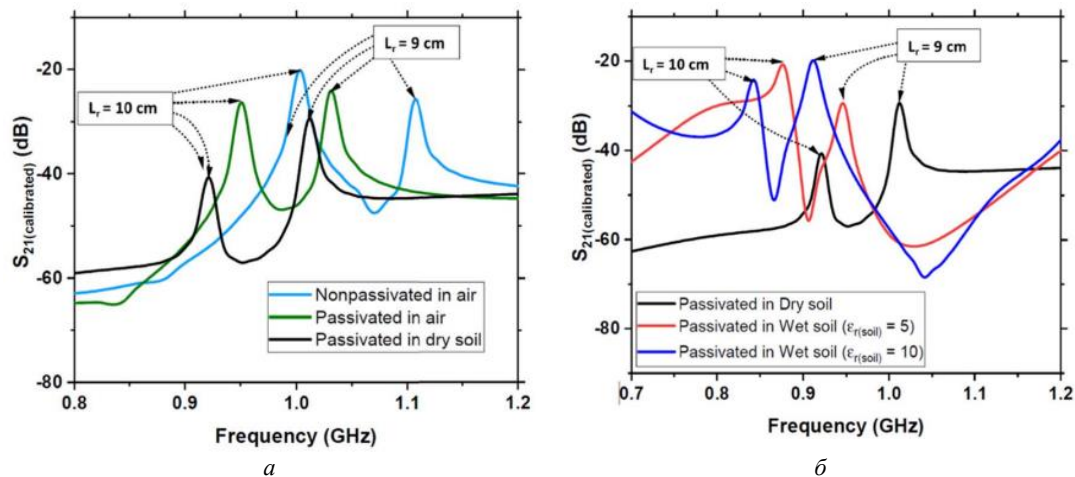


Рис. 3. Графики пороговой чувствительности: *a* – в сухой почве; *б* – в почве разной степени влажности

Разработанная сенсорная платформа

Упрощенная схема СТ с пространственным разделением функций измерения и приема-передачи данных представлена на рисунке. Конструктивно транспондер объединяет приемопередающую антенну и RFID-метку ближнего поля (МБП), размещенную в зоне максимальной концентрации ее магнитного поля. Назначением МБП является генерация и трансляция идентификационного кода на считыватель за счет механизма модуляции обратного рассеяния. В зону максимальной концентрации электрического поля антенны СТ посредством отрезка коаксиального кабеля, выступающего в роли трансформатора импеданса (ТИ), подключен выносной датчик контролируемого параметра. Совокупность датчика и ТИ формирует измерительный зонд. Внешний вид макета, реализующего данное техническое решение, представлен на рис. 4 [12].

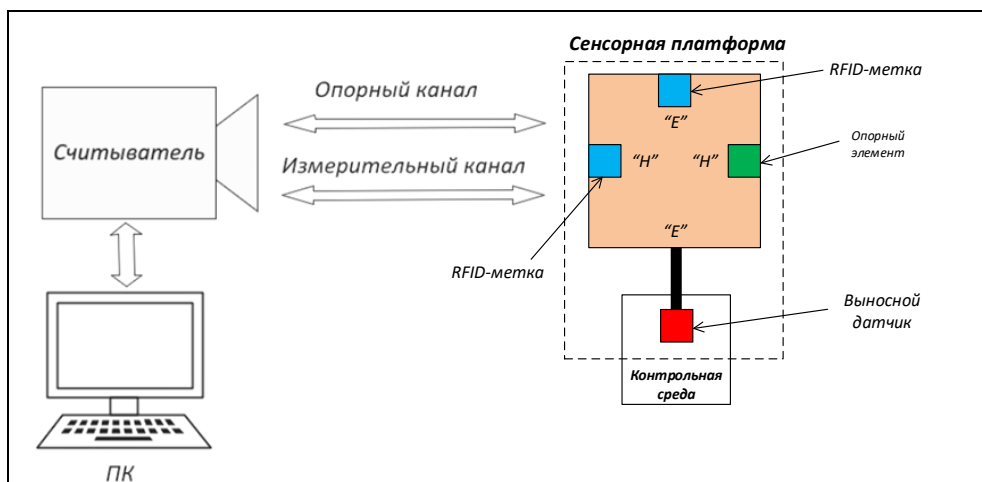


Рис. 4. Схематичная визуализация работы и конфигурации системы
Секция 1 «Радиотехника, антенны и устройства СВЧ»

Разрабатываемая УВЧ беспроводная идентификационно-сенсорная платформа контроля локальных значений среды исправляет недостатки вышеупомянутых устройств. Она представляет собой систему из пассивной RFID-метки, настроенной на рабочий диапазон 860-960 МГц патч-антенны с круговой поляризацией и симметричными опорным и измерительным каналами, выносного температурного датчика и, непосредственно, программного обеспечения для управления считывателем и контроля полученных данных. Принцип работы данного экспериментального макета основан на изменении импеданса антенны за счёт изменения комплексного сопротивления температурного датчика. Изменяя несущую частоту считывателя в заданном частотном диапазоне, программное обеспечение фиксирует значения пороговой чувствительности WISP-устройства на резонансной частоте. Эти данные сопоставляются с калибровочной характеристикой и, с помощью алгоритма пересчёта с заданной точностью вычисляется температура окружающей среды [13].

Использование антенны с круговой поляризацией позволяет использовать дифференциальный метод измерения. Идея использования дифференциального метода заключается в использовании опорного канала, относительного которого производится измерение локальных физических параметров среды. Опорный элемент не подвержен изменению своих характеристик в зависимости от измеряемого параметра окружающей среды, что позволяет использовать разность значений с двух каналов для измерения.

Для снижения ориентационной зависимости пороговой чувствительности от направления транспондера в пространстве обычно используют считыватель, излучающий поле круговой поляризации. При этом возникают неизбежные потери на поляризационное рассогласование антенны считывателя и антенны транспондера. Несогласованность поляризационных базисов антенн считывателя и меток обуславливает дополнительные поляризационные потери, которые в среднем составляют 3 дБ. Также данный способ позволяет стабильно работать только в свободном от местных предметов (источников переотражения) канале связи.

Было предложено использовать линейно-поляризованный облучающий сигнал считывателя, который представляется как сумма круговых поляризаций правого и левого вращений для повышения помехоустойчивости СТ в ограниченном пространстве, наполненном большим количеством отражающих поверхностей [14].

В ходе экспериментальных исследований выполнено измерение комплексного сопротивления термодатчика, конструктивно выполненного в виде полуволнового отрезка коаксиальной линии с термистором на конце. Снятие показаний осуществлялось с помощью векторного анализатора цепей при нагреве датчика в заданном температурном диапазоне с шагом 5°C. Результаты измерений подтвердили зависимость КСВ и импеданса антенны от температуры нагрева датчика. Полученные экспериментальные данные аппроксимированы в виде частотно-температурной зависимости модуля импеданса, представленной на рисунке 5.

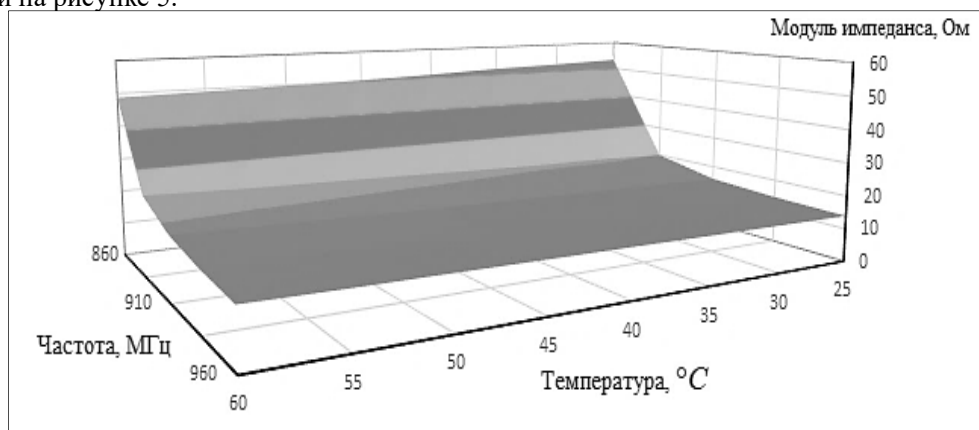


Рис. 5. Схематичная визуализация работы и конфигурации системы

Было экспериментально установлено, что зависимость комплексного сопротивления температурного датчика от температуры окружающей среды действительно отражается на импедансе антенны. Данное свойство можно в дальнейшем использовать для замера пороговой чувствительности СТ с помощью считывателя, тем самым определяя интересующий физический параметр объекта или среды в режиме реального времени по показаниям пассивной системы СТ с допустимой точностью в заданном стандартом диапазоне частот технологии RFID.

Заключение

Использование способа трансформации импеданса датчика позволяет реализовать СТ с пространственным разнесением зон измерения физических параметров среды и приема-передачи информации, при этом достигая точности вышеприведенных запатентованных решений электромагнитной конфигурации, а также значительно дешевле и проще в реализации чем электрической конфигурации.

Список использованных источников

1. K. Sohraby, D. Minoli, T. Znati «Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications», Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007, 328 p.
2. Abubakar Sharif, Jun Ouyang, Kamran Arshad, Muhammad Ali Imran, and Qammer H. Abbasi. Passive UHF RFID Tag Antennas-Based Sensing for Internet of Things Paradigm Backscattering and RF Sensing for Future Wireless Communication, First Edition. Edited by Qammer H. Abbasi, Hasan T. Abbas, Akram Alomainy, and Muhammad Ali Imran. 2021 John Wiley & Sons Ltd. Published 2021 by John Wiley & Sons Ltd. pp.133-155.
3. Патент США US 2016/0267769 A1, МПК G08B 21/20 (2013.01).
4. Патент Франции WO 2012/054474 A1, МПК G06K 19/07 (2006.01).
5. Powercast High-Function RFID Sensor Tag PCT100 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.powercastco.com/wp-content/uploads/2021/06/PCT100-Datasheet-Rev-6.pdf>.
6. Tagmatiks Dual Frequency RAIN/NFC Data Logger Tag TAG-S-I Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://rfid4ustore.com/content/data_sheet/TAG-S-I.pdf.
7. Cui, L.; Zhang, Z.; Gao, N.; Meng, Z.; Li, Z. Radio Frequency Identification and Sensing Techniques and Their Applications—A Review of the State-of-the-Art. Sensors 2019, 19, 4012. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed][Green Version].
8. CAEN RFID A927Z Technical Information Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://rfid4ustore.com/content/data_sheet.
9. Патент США US 12,117,413 B2; МПК G01N 27/223; G01N 33/246; G01N 2033/245; 2024.
10. Sarath Gopalakrishnan, Jose Waimin. Battery-Less Wireless Chipless Sensor Tag for Subsoil Moisture Monitoring. IEEE Sensors Council, 2020, pp. 1558-1748.
11. ISO/IEC 18000-6:2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://internet-law.ru/gosts/gost/56994>.
12. Электромагнитный сенсорный RFID транспондер с пространственным разнесением зон измерения и приема-передачи данных / Побудей Ю.Р., Маритыненко И.Д., Кирильчук В.Б. // Информационные радиосистемы и радиотехнологии, 2024 – с. 101-103.
13. Электромагнитный сенсорный RFID транспондер с дифференциальной схемой измерением физических параметров среды / Побудей Ю.Р., Маритыненко И.Д., Кирильчук В.Б. // Информационные радиосистемы и радиотехнологии, 2024 – с. 104-106.
14. Применение поляризационной обработки сигналов для повышения помехоустойчивости пассивной сенсорной RFID системы / Побудей Ю.Р., Маритыненко И.Д., Кирильчук В.Б. // 62-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, 2026.