

УДК 681.586.772

О.О. ЛАЗАРЄВ, Л.Б. ЛІЩИНСЬКА, М.А. ФІЛІНЬОК, Д.В. БОНДАРЬОК

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ В ГАЛУЗІ ПОБУДОВИ РАДІОЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,
Тел.: (0432) 598-028, E-mail: bondaryuk@yandex.ru*

Анотація. У роботі проведений аналіз сучасних досягнень в галузі побудови сенсорів на основі RFID-технології, також визначено найбільш перспективні технічні рішення. Визначено основні параметри такого роду сенсорів та проведено їх узагальнену класифікацію. Проведений детальний аналіз ринку виробництва сенсорів, що базуються на RFID-технології.

Анотация. В работе проведен анализ современных достижений в области построения сенсоров на основе RFID-технологии, также определены наиболее перспективные технические решения. Определены основные параметры такого рода сенсоров и проведено их обобщенную классификацию. Проведен детальний анализ рынка сенсоров, основанных на RFID-технологии.

Annotation. The work analyzes the new developments in the field of construction of sensors based on RFID-technology, also paper include the information about the most modern technical solutions. In the work determine the main parameters of the sensors based on RFID-Technology and made generalized classification of the sensors. The work include analysis of the market of sensors based on RFID-technology in detail.

Ключові слова: радіочастотний сенсор, RFID, класифікація радіочастотних сенсорів, негатроніка, негатрон.

ВСТУП

На сьогоднішній день широкого використання набула технологія радіочастотної ідентифікації або RFID-технологія (*Radio Frequency IDentification*). Вона проникла у всі сфери людської діяльності, і з кожним роком набуває все ширшого використання. RFID-технологія існує вже більше 50 років. Вперше ця технологія була застосована ще у роки Другої Світової війни. Британські військові сили розміщували радіочастотні мітки на власних літаках та літаках союзників. Хоч це і не допомагало визначити точне місце розташування, але було досить ефективним у визначенні своїх літаків. Ця система отримала назву «свій-чужий» або IFF (*Identification Friend or Foe*) [1], і була винайдена ще у 1937 році дослідницькою лабораторією ВМС США. Протягом 60-х та 70-х років, через необхідність безпечного та таємного супроводу військового персоналу лабораторій, різні держави працювали над розвитком радіочастотної технології. Наприкінці 70-х років в наукових лабораторіях в Лос Аламосі були створені дві компанії, які згодом комерціалізували цю технологію. Перші радіочастотні сенсори застосовувалися для ідентифікації температури тіла худоби. На початку 80-х років залізничні компанії стали використовувати цю технологію для ідентифікації та супроводу вагонів. В цих радіочастотних сенсорах використовувався UHF діапазон (900/1800 МГц). Протягом 80-х років деякі компанії США і Європи почали розробляти технології для роботи на інших частотах, з іншими джерелами потужності, об'ємом пам'яті і низкою інших функцій. У другій половині 80-х, коли підключилися великі компанії електронної промисловості, почався істотний технічний прогрес в зменшенні розмірів і вартості такої апаратури. Наприкінці 80-х і протягом 90-х років відбувалося активне вдосконалення апаратури на основі цієї технології, а як наслідок відбувалося зниження її розмірів та вартості, почали з'являтися нові напрямки використання RFID. Наприклад: автоматичні платіжні системи на автострадах, системи контролю безпеки і доступу, автомобільні іммобілайзери, системи контролю багажу в авіаперевезеннях, інвентаризація товарів і майна та смарт-карти [2].

Починаючи з 2004 року технологія радіочастотної ідентифікації отримала найбільше поширення та застосування. За дослідженнями компанії ID TechEX, товарообіг RFID-технології в 2004 досяг рівня 1,9 млрд. доларів, в 2008 році доля ринку перевищила 6 млрд. доларів [3].

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для подальшого розширення спектру застосувань RFID-технології необхідно забезпечити високий технічний рівень виконання, малі габарити і низьку вартість, вдосконалення рівня розробки і виробництва апаратури. У наш час виникає численна кількість компаній, що займаються інноваціями, зменшенням розмірів, ціни і підвищенням технічного рівня в цій галузі. Виникнення Інтернету і розвиток інформаційних технологій дозволяє знайти нові можливості застосування технології RFID. Однак для широкомасштабного глобального впровадження технології RFID необхідним є не тільки технічне вдосконалення апаратури, але й те, що системи різних виробників повинні бути сумісними один з одним і здатними працювати в умовах різних регламентів, як місцевих, так і міжнародних.

Метою роботи є проведення аналізу сучасних досягнень в галузі побудови радіочастотних сенсорів (РЧС) на основі RFID-технології та визначення найбільш перспективних технічних рішень.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

1. Класифікація радіочастотних сенсорів, в основі роботи яких лежить *RFID-технологія*;
2. Обґрунтування основних параметрів радіочастотних сенсорів;
3. Аналіз сучасного ринку радіочастотних сенсорів та RFID-систем;
4. Аналіз радіочастотних сенсорів провідних фірм виробників.

КЛАСИФІКАЦІЯ РАДІОЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ, В ОСНОВІ РОБОТИ ЯКИХ ЛЕЖИТЬ RFID-ТЕХНОЛОГІЯ

В основу класифікації покладено огляд радіочастотних сенсорів, що використовуються не лише в якості мітки, а й що мають відповідні сенсори для визначення зовнішніх та інших параметрів об'єктів.

Радіочастотні сенсори в основі яких лежить RFID-технологія можна розрізняти за видом вхідної величини, за типом джерела живлення, за робочою частотою, за дальністю дії, за елементною базою, за інформаційним базисом, за видом сигналу, за елементом пам'яті та за видом модуляції. На рисунку 1 наведено запропоновану класифікацію радіочастотних сенсорів, в основі яких лежить *RFID-технологія*.

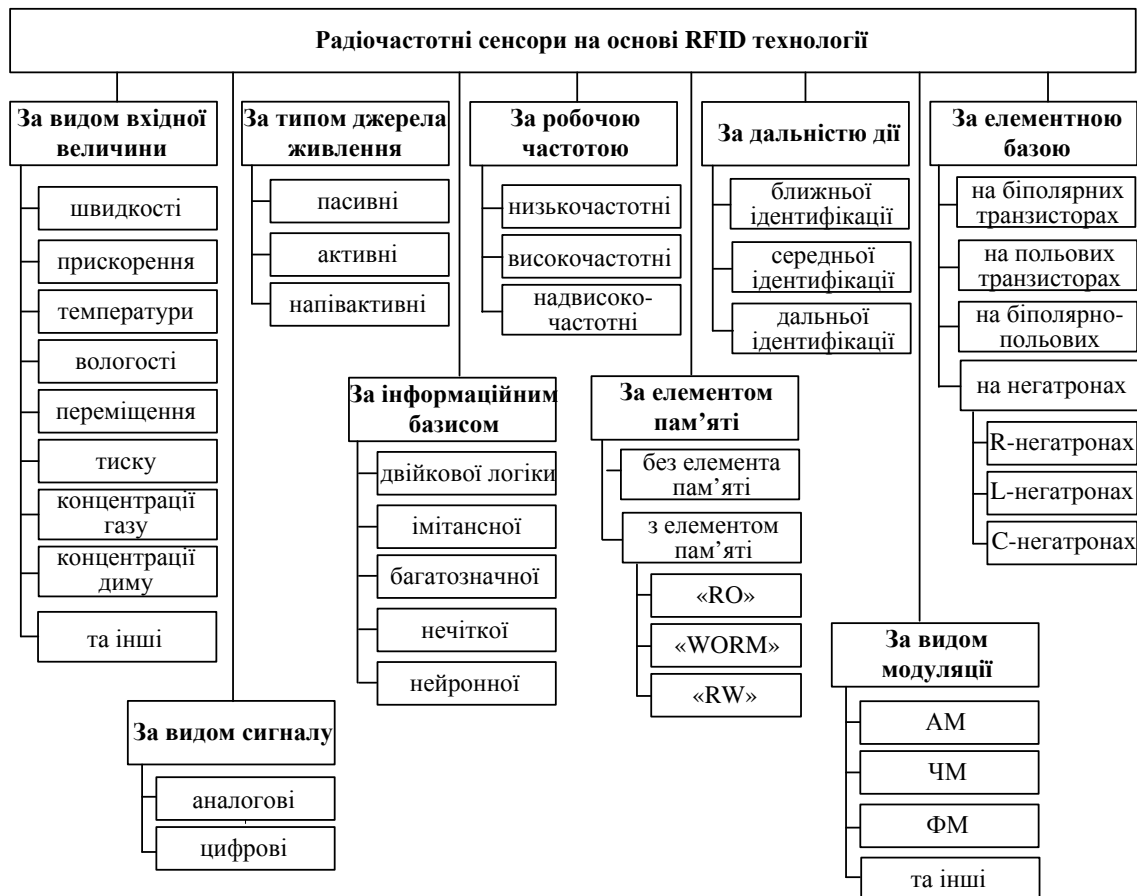


Рис. 1. Класифікація радіочастотних сенсорів, в основі роботи яких лежить *RFID-технологія*

Залежно від виду вхідної (вимірюваної) величини розрізняють: сенсори швидкості, прискорення, температури, вологості, переміщення, тиску, концентрації газу, концентрації диму та інші.

В залежності від типу джерела живлення розрізняють:

– пасивні радіочастотні сенсори, які не мають вбудованого джерела живлення та використовують модуляцію віддзеркаленого сигналу. Внутрішня будова такого роду сенсорів складається лише із пластини, будь які активні електронні компоненти відсутні;

– активні радіочастотні сенсори володіють власним джерелом живлення і не залежать від енергії зчитувача, внаслідок чого вони зчитуються на великій відстані, мають великі розміри і оснащені додатковою електронікою. Однак, такі сенсори (мітки) найбільш вартісні, а у батарей живлення обмежений час роботи. Активні мітки в більшості випадків більш надійні і забезпечують кращу точність зчитування на максимальній відстані. Активні мітки, володіючи вбудованим джерелом живлення, також можуть генерувати вихідний сигнал більшого рівня, ніж пасивні, дозволяючи застосовувати їх у більш агресивних для радіочастотного сигналу середовищах: воді (включаючи людей і тварин, які в основному складаються з води), металах (корабельні контейнери, автомобілі), для великих відстаней у повітрі. Більшість активних сенсорів дозволяє передати сигнал на відстані в сотні метрів за нормального функціонування батареї живлення до 10 років.

Напівактивні радіочастотні сенсори, також досить часто називають напівпасивними, вони отримують живлення від енергії, яка наводиться на радіочастотний сенсор зчитувачем (рідером).

За робочою частотою розрізняють:

Низькочастотні (LF) з робочою частотою 100-150 кГц з антенами. Низькочастотні системи застосовуються для контролю доступу, логістики, маркування. В силу фізики поширення радіохвиль у цьому діапазоні (100-150 кГц), LF можна застосовувати для маркування об'єктів, що містять рідини і металеві поверхні. Такі системи застосовують для маркування газових балонів, маркування тварин. Для таких систем характерно так зване VISINITY-відстань яка становить приблизно до 1,5 м. Для маркування тварин був створений міжнародний стандарт ISO 11784 /85.

Високочастотні (HF) з робочою частотою 13,56 МГц. Високочастотні системи застосовуються для контролю доступу, в якості електронних паспортів, маркування виробів, банківських карт, проїзних квитків, систем сортування, контролю технологічних процесів. У цьому діапазоні частот так само існують міжнародні стандарти – ISO 14443, ISO 15693, ISO 18000, EPC. Для ID документів, банківських і транспортних систем використовують стандарт ISO 14443. Для них характерна висока швидкість передачі даних. Як правило, це системи з відстанню взаємодії до 10 см. Сумісні з стандартами ISO 15683 та ISO 18000 це VISINITY системи, які застосовуються для маркування та обліку виробів на підприємстві, в супермаркеті, для маркування і сортування багажу, і поштових посилок і листів.

Надвисокочастотні (UHF) з робочою частотою 860–960 МГц; 2,45 ГГц; 5,8 ГГц. Системи, що працюють в НВЧ діапазоні, характеризуються більшою дальністю зчитування та запису (як правило, до 7 метрів). Застосовуються в логістиці і складських господарствах, в системах управління парковками та маркування контейнерів. Сенсори діапазону UHF можливо використовувати на металевих поверхнях [4].

За дальністю дії радіочастотні сенсори розрізняють:

- ближньої ідентифікації (зчитування проводиться на відстані до 20 см);
- ідентифікації середньої дальності (від 20 см до 5 м);
- дальньої ідентифікації (від 5 м до 100 м) [5].

За елементом пам'яті радіочастотні сенсори поділяються:

– «RO» (Read Only) – дані записуються лише один раз відразу при виготовленні і використовуються, наприклад, для ідентифікації датчика або для виконання функції жорсткої корекції; ніяку нову інформацію в них записати у процесі експлуатації неможливо;

– «WORM» (Write Once Read Many) – дозволяє проводити однократний запис вже після виготовлення і здійснювати багатократне зчитування інформації;

– «RW» (Read and Write) – дозволяє багатократний запис і зчитування інформації. Введення такого елемента пам'яті, окрім ідентифікації РЧС, дозволяє виконувати режимну, часову і функціональну корекцію. Але при цьому вартість таких сенсорів зростає [6].

За елементною базою радіочастотні сенсори поділяють: на біполярних транзисторах, на польових транзисторах, на біполярно-польових транзисторах та на R-, L-, C-негатронах.

За інформаційним базисом радіочастотні сенсори поділяють на: двійкової, імітансної, багатозначної, нечіткої та нейронної логіки.

За видом сигналу поділяють на аналогові та цифрові.

За видом модуляції: амплітудної модуляції, частотної модуляції та фазо-частотної модуляції, тощо.

ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ

Основними параметрами РЧС можна вважати: радіочастотна чутливість, робоча частота, режим роботи, вихідна потужність інформаційного сигналу, дальність зчитування, робоча напруга, обсяг пам'яті, режим доступу до пам'яті, робочий діапазон фізичної величини, чутливість за робочою фізичною величиною, точність за робочою фізичною величиною, відповідність стандартам ISO та EPC, габаритні розміри.

1) *Радіочастотна чутливість*. Визначає мінімально необхідну потужність вхідного сигналу, або напруженості електричного поля, необхідної для нормальної роботи радіочастотного сенсора. Вимірюється в dBm або В/м, і для існуючих сенсорів становить 0 dBm або 1,75 В/м для напівактивних, – 13 dBm для активних.

2) *Робоча частота*. Визначені наступні діапазони частот роботи РЧС, в основі яких лежить RFID-технологія: низькочастотні 125-134,2 кГц, 140–148,5 кГц; високочастотні 13,56 МГц; надвисокочастотні 860–960 МГц; 2,45 ГГц; 5,8 ГГц. Частота передачі енергії живлення може відрізнитися від частоти передачі інформаційного сигналу, в цьому випадку можна розрізнити два параметри робочої частоти: *робочу частоту передачі енергії живлення, робочу частоту передачі інформаційного сигналу*.

3) *Режим роботи*. Радіочастотні сенсори можуть працювати в наступних режимах: активному, пасивному, напівактивному (напівпасивному).

4) *Вихідна потужність інформаційного сигналу*. Визначає максимальну потужність радіосигналу, що може передати сенсор. Для існуючих сенсорів значення становить максимум 1 мВт, 0 dBm.

5) *Дальність зчитування*. Це відстань, на якій відбувається зчитування інформації з радіочастотного сенсора рідером. Дальність зчитування залежить від режиму роботи сенсора та частотного діапазону. Наприклад дальність зчитування для напівактивних сенсорів складає [7] для діапазону частот (125-134,2 кГц, 140–148,5 кГц) – декілька сантиметрів; для частоти 13,56 МГц – 1 метр; для діапазону частоти (860–960 МГц) – до 3 метрів; для діапазону частот (2,45 ГГц; 5,8 ГГц) – 10 метрів.

Для пасивних сенсорів дальність зчитування є меншою, так як вони працюють за рахунок відбиття сигналу рідера але вони мають найменшу вартість. Активні сенсори, за рахунок внутрішнього джерела енергії, мають найбільшу дальність зчитування (дальність зчитування для активних сенсорів, що працюють в діапазоні НВЧ становить до 30 м), але мають найбільшу вартість та менший термін роботи, що обмежується елементом живлення.

6) *Робоча напруга*. Цей параметр стосується лише активних радіочастотних сенсорів, і для більшості типових активних сенсорів складає 3В.

7) *Обсяг пам'яті*. Цей параметр стосується лише активних та напівактивних радіочастотних сенсорів та становить 128–1024 біт для напівактивних та до 2 Мбіт для активних сенсорів.

8) *Режим доступу до пам'яті*. В пасивних радіочастотних сенсорах можливий тільки режим зчитування («RO»), а в активних та напівактивних можливий, як однократний запис з багатократним зчитування («WORM»), так і багатократний запис і зчитування інформації («RW»).

9) *Робочий діапазон фізичної величини*. Фізична величина, за зміною якої відбувається зчитування, наприклад: температура, тиск, вологість, прискорення, швидкість і т.д. Для типового сенсора температури від –40°C до +85°C.

10) *Чутливість за робочою фізичною величиною*. Мінімальне значення зміни робочої фізичної величини, на яку реагує радіочастотний сенсор.

11) *Точність за робочою фізичною величиною*. Це різниця між виміряними значеннями та дійсним. Визначає похибку вимірювання.

12) *Відповідність стандартам ISO та EPC*. При створенні радіочастотних сенсорів доцільно використовувати ті ж частотні діапазони, які визначені міжнародними стандартами ISO для параметрів інтерфейсу зв'язку елементів радіочастотної ідентифікації і для яких в більшості країн дозволено вести комерційні розробки. Стандарти ISO за частотним діапазоном наведені в таблиці 1.

13) *Габаритні розміри*. Найменші габаритні розміри мають пасивні сенсори, оскільки складаються лише з пластинки, що відображає сигнал. Розміри активних сенсорів значно перевищують розміри пасивних, оскільки містять вбудоване джерело живлення. Напівактивні сенсори, в залежності від внутрішньої побудови можуть мати як великі, так і зовсім малі габаритні розміри.

Таблиця 1.

Стандарти ISO за частотним діапазоном [3]

Робоча частота	Стандарт	Пояснення
125 кГц 135 КГц	ISO 14223 ISO 11784 ISO 11785 ISO 18000-2	Розроблені для ідентифікації тварин (у тому числі домашньої худоби), але використовуються досить широко і для інших застосувань, наприклад, в автомобільних іммобілайзерах
13.56 МГц	ISO 14443 ISO 15693 ISO 10373 ISO 18000-3	Безконтактні смарт-карти для широкого кола застосувань. Безконтактні позначки для програм логістики, ідентифікації товарів, тощо. Методи тестування Proximity і Vicinity карт для діапазону 13.56 МГц
860-930 МГц	ISO 15961 ISO 15962 ISO 15963 ISO 18000-6	Безконтактні позначки для програм логістики, ідентифікації товарів з середньою дальністю
2.45 ГГц	ISO 15961 ISO 15962 ISO 15963 ISO 18000-4	Безконтактні позначки для програм логістики, ідентифікації товарів із збільшеною дальністю

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РИНКУ РАДІОЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ ТА RFID-СИСТЕМ

Згідно звітам дослідницької компанії IDTechEx «Прогнози розвитку ринку RFID, гравці і можливості 2014-2022» (RFID Forecasts, Players and Opportunities 2014-2022), загальний обсяг ринку радіочастотних сенсорів в 2013 році досяг відмітки 7,88 млрд. доларів, що порівняно з минулим роком більше майже на 1 млрд. доларів [8].

У 2014 році ринок RFID продемонструє стійке зростання до позначки 9,2 млрд. доларів. Сюди входять продажі сенсорів-міток, апаратного забезпечення, компонентів для їх виробництва, програмного забезпечення та консалтингових послуг від постачальників готових рішень у цій галузі (послуги з інтеграції). За прогнозами IDTechEx до 2024 року зростання ринку досягне 30,24 млрд. доларів (рис. 2).

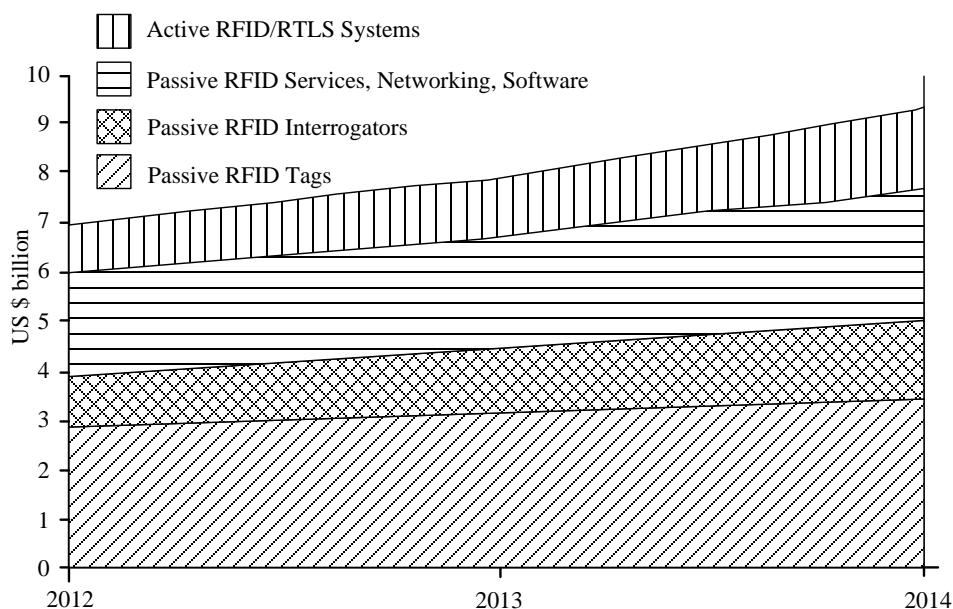


Рис. 2. Аналіз ринку радіочастотних сенсорів та систем, в млрд. доларів США [8]

У роздрібній торгівлі спостерігається стрімкий попит на RFID-етикетки для одягу. Для забезпечення роботи RFID-систем в цьому сегменті в 2013 році було потрібно більше 2,25 млрд. RFID-міток. Маркування проїзних квитків досягло 600 млн. штук. Інший напрям, що неухильно набирає обертів, – ідентифікація сільськогосподарських тварин. Це пов'язано в першу чергу з тим, що в країнах Європи, США та Австралії чіпування тварин, з метою запобігання розвитку епідемій, стає обов'язковою повсякденною практикою. Так, на чіпування тварин RFID-мітками в 2013 році було використано близько

375 млн міток.

Безперечні країни-лідери із впровадження RFID-технології у різноманітні сфери життя – Китай та Австралія. У цих країнах в 2013 році було продано в цілому 5,9 млрд. RFID-міток на противагу 4,8 млрд. в 2012 році. Велика частина зростання спостерігалася з продажів пасивних НВЧ RFID-міток. Однак в 2013 році загальні продажі НВЧ RFID-міток склали всього 11% продажів радіочастотних міток.

Найбільш перспективними сегментами з погляду впровадження RFID, є роздрібна торгівля, державний сектор, транспорт, фармацевтика і авіація. У фармацевтиці RFID-технологія затребувана для маркування лікарняних активів (прилади, каталки), ліків і зразків проб пацієнтів. Особливо гостро в цій галузі стоїть проблема підробок лікарських засобів і препаратів, яка може бути успішно вирішена за допомогою RFID-маркування. Інші ринки для впровадження RFID включають військову промисловість, архівна справа і бібліотеки, тваринництво та охорону навколишнього середовища.

В цілому, всі галузеві аналітичні агентства сходяться в єдиній думці про зростання ринку RFID-технологій протягом, як мінімум, найближчих 10-ти років. Причому, з кожним роком зростання буде все більш інтенсивним [8].

АНАЛІЗ РАДІОЧАСТОТНИХ СЕНСОРІВ ПРОВІДНИХ ФІРМ-ВИРОБНИКІВ

Фірма Farsens виробляє високоефективні *радіочастотні сенсори*, засновані на RFID технології. В 2013 р. було розпочато випуск пасивних RFID сенсорів, в яких відсутнє вбудоване джерело живлення. Сенсор призначений для визначення прискорення об'єкта, в який він вбудований, також дозволяє визначити орієнтацію цього об'єкта в просторі завдяки вмонтованому в ньому 3-х осевому акселерометру. Сенсор здатний вимірювати прискорення в діапазоні від ± 2 g до ± 16 g, з точністю ± 40 mg. Дальність зчитування такого сенсора становить 1,5 м [9]. Зовнішній вигляд радіочастотного сенсора фірми Farsens, що призначений для визначення прискорення та орієнтації об'єкта в просторі наведено на рисунку 3.



Рис. 3. Радіочастотний сенсор фірми Farsens призначений для визначення прискорення та орієнтації об'єкта в просторі

Радіочастотний сенсор розроблений фірмою Avery Dennison, заснований на використанні RFID технології, схемотехнічно виконаний та мікросхеми EM4124 і володіє високою чутливістю до опромінення зчитувачем, а також підвищеною міцністю. Такого роду сенсор використовується в якості вмонтованих етикеток в одязі, або вшитих в тканини, дозволяють слідкувати за поставкою одягу від фірми виробника до пунктів продажу. Відрізняється високою швидкістю зчитування та значною міцністю. Розміри сенсора складають 41x16 мм (рис. 4,а). Він володіє дальністю зчитування 1,2 м і має незмінний серійний номер для того, щоб попередити клонування [10].

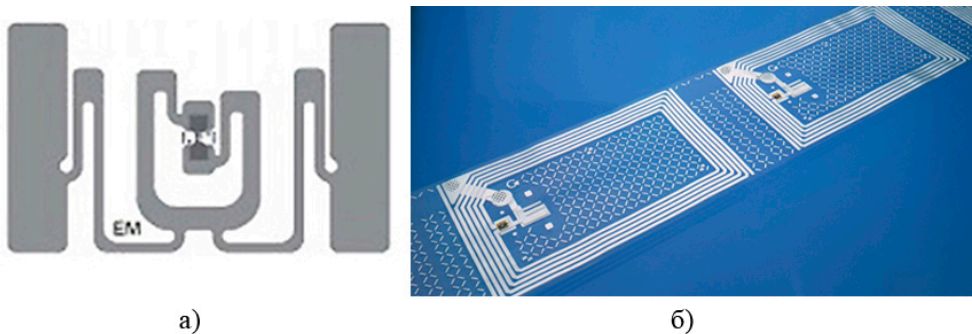


Рис. 4. Радіочастотний сенсор фірми Avery Dennison типу AD-234eM (а) та низькотемпературний радіочастотний сенсор LT40 (б) [13]

У 2013 році компанія Yulberg Solutions представила широкому загалу радіочастотний сенсор

нового покоління Yulberg YSens для вимірювання температури. Він є повністю автономним, адже працює без вбудованого джерела живлення. Температурна історія може бути потім зчитана з сенсора в будь-який час на відстані до 50 сантиметрів. Сенсор YSens сумісний зі стандартними RFID-сканерами, що працюють на частоті 13.56 MHz (ISO 15693). Також розроблено програмне забезпечення Yulberg Temperature Control System, яке призначено для програмування, активації, зчитування даних про зміну температури з сенсорів YSens. Програмне забезпечення має зручний, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Програмний пакет поставляється в комплекті з системою, складається з трьох взаємопов'язаних програм: YSens Activator, YSens Express Control, YSens Expert [11].

Радіочастотний браслет фірми SensMaster Helena, що містить сенсор TM803-AS0, призначений для безпечного відстеження та моніторингу ув'язнених та пацієнтів з психічними вадами. Оскільки він має вбудоване джерело живлення діапазон зчитування складає 60 м і включає в себе низку сенсорів, які фіксують спроби зняти браслет, пошкодити, завдати ударів, а також має вбудований 3-х осевий сенсор руху. Він також має вбудований температурний сенсор, що дає змогу контролювати температуру тіла та оточуючого середовища. Діапазон робочих температур -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, вихідна потужність 1мВт, значення прискорення 10 mg (в режимі малої потужності), об'єм вбудованої пам'яті складає 288 біт. Працює він у частотному діапазоні 2,4-2,45 ГГц [12].

В 2013 році компанія Laxsen випустила низькотемпературний радіочастотний сенсор LT40, розмірами 40×13 мм (рис. 4,б). Особливістю такого сенсора є те, що він має спеціальну захисну плівку і здатний коректно функціонувати і зчитуватися в низькотемпературних середовищах та в середовищах рідкого азоту при температурі -195°C . LT40 використовує RFID чіп Higgs-3 діапазону НВЧ компанії Alien Technology та забезпечує дальність зчитування до 2 метрів.

В 2014 році компанія Farsens, провідний лідер на ринку виробництва радіочастотних сенсорів, представила широкому загалу пасивний магнітометр (рис. 5, а). Такого роду сенсор здатний вимірювати напруженість магнітного поля і передавати отримані дані будь-якому зчитувачу. Він сумісний із стандартом EPC Gen 2. Діапазон вимірювання напруженості магнітного поля варіюється в межах від ± 4 Гс до 16 Гс, з чутливістю 146 мкГс. Радіочастотний магнітометр використовується: для автоматизації промислових процесів; для моніторингу іржі в трубопроводах; в різного роду систем безпеки. Магнітометр оптимізований для роботи в діапазоні частот 865-868 МГц з дальністю зчитування 1,5 метрів.



Рис. 5. Пасивний магнітометр фірми Farsens (а) [9] та напівпасивний радіочастотний сенсор A927ZET для вимірювання температури (б)

В 2012 році компанія CAEN RFID представила напівпасивний радіочастотний сенсор A927ZET для вимірювання температури (рис. 5,б). Сенсор працює в діапазоні частот 860 МГц–928 МГц і, порівняно з подібними аналогами, має низьку вартість. Особливістю цього виду сенсору є те, що він має додатковий зовнішній сенсор, щоб проводити моніторинг температур як і в середині контейнерів, так і зовні. Використовує RFID інтерфейс типу UHF EPC Class 1 Gen2/ISO 18000-6C. Об'єм пам'яті складає 16 МБайт, що дозволяє зберігати до 4000 значень температур на сенсорі, які він фіксував в відповідні періоди часу. Дальність зчитування в повітрі складає до 10 м, а через металеві поверхні до 2 метрів. Діапазон температури, які здатен виміряти сенсор, лежить в діапазоні від -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ [14].

ВИСНОВКИ

1. Аналіз ринку виробництва радіочастотних сенсорів, в основі яких лежить RFID-технологія, показав, що обсяг виробництва радіочастотних сенсорів в 2013 році досяг відмітки 7,88 млрд. доларів, що порівняно з минулим роком більше майже на 1 млрд. доларів. За прогнозами IDTechEx до 2024 року зростання ринку досягне 30,24 млрд. доларів, це свідчить про те, що ця технологія користується попитом та активно розвивається, тому її розвиток у наш час є перспективним.

2. Порівняно із звичайними сенсорами, сенсори, що базуються на RFID-технології, мають такі переваги: мають змогу працювати, як з вбудованим джерелом живлення (активні), так і без джерела живлення (пасивні та напівактивні); що дозволяє зчитувати інформацію з сенсора, який може бути

розташований в упаковці, землі, бетонній стіні; зчитування даних з мітки-сенсора при будь-якому її розташуванні; володіє стійкістю до дії факторів оточуючого середовища, що дозволяє міткам-сенсорам розташовуватися в місцях підвищеної вологості чи бруду.

3. Недоліками розглянутих радіочастотних сенсорів є складність схемотехнічної реалізації, досить низька надійність, недостатня енергоефективність, незадовільна завадостійкість та низька швидкодія, подолання яких можливе за рахунок створення RFID-сенсорів на новій елементній базі, зокрема на базі RLC-нетатронів, та використання нового інформаційного базису нечіткого іммітансу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Austin Lloyd J. Joint Publication (JP) 3-09 Joint Fire Support / Lloyd J. Austin. – United States of America, 2010. – III-20 p.
2. Шарфельд Т. Системы RFID низкой стоимости / Т. Шарфельд. – М., 2006. – 197 с.
3. Стандарты и тенденции развития RFID-технологий [Електронний ресурс] // Компоненты и технологии. – 2008. – №1. – Режим доступа до журн.: http://www.kite.ru/assets/files/pdf/2006_01_108.pdf – Назва з екрану.
4. Hunt Daniel. A guide to radio frequency identification / Daniel Hunt, Mike Puglia, Albert Puglia. – WILEY-INTERSCIENCE. – 2007. – С. 11-12
5. Обзор систем компонентов радиочастотной идентификации и их применение [Електронний ресурс] // Chip News Украина. – 2005. – №1(41). – С.76–87. – Режим доступа до журн.: http://www.symmetron.ua/files/Symmetron_ChipNews_01.pdf – Назва з екрану.
6. Ліщинська Л. Б. Інформаційні пристрої на основі багатопараметричних узагальнених перетворювачів іммітансу: монографія / Л.Б. Ліщинська – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 219 с.
7. 7. Research Trends in RFID Technology [Електронний ресурс] // Interdisciplinary Journal. – 2007. – №1. – С.68–82. – Режим доступа до журн.: <http://www.lonworks.org.cn/en/RFID/RFIDResearchTrends.pdf>.
8. Рынок RFID демонстрирует непрерывный рост [Електронний ресурс] // РСТ-Инвент. – 2013. – С. 1–2 – Режим доступа до журн.: <http://www.rst-invent.ru/rfid-news/news/60/> – Назва з екрану.
9. Кадамиро М. Семейство пассивных RFID датчиков [Електронний ресурс] // The rfid tags database veryfields: [сайт] / М. Кадамиро – Режим доступа: <http://www.veryfields.net/passive-rfid-sensor-tags-accelerometer.> (2.10.2013) – Загл. с экрана.
10. Деннисон А. Высокопроизводительный RFID датчик [Електронний ресурс] // The rfid tags database veryfields: [сайт] / А. Деннисон – Режим доступа: <http://www.veryfields.net/avery-dennison-rfid-inlays-with-em4124-chip.> (16.09.2013)– Загл. с экрана.
11. Подробности о Yulberg Temperature Control [Електронний ресурс] // Yulberg Solutions. – 2013. –№1. – С.1–2. – Режим доступа до журн.: http://yulberg.com/index.php?option=com_content&task=view&id=3&Itemid=5. (22.12.2013)– Загл. с экрана.
12. Кадамиро М. Активные метки для мониторинга людей SensMaster [Електронний ресурс] // The rfid tags database veryfields: [сайт] / М. Кадамиро – Режим доступа: <http://www.veryfields.net/active-rfid-wristband-active-tags-for-people-safety-tagmaster-edam-tagmaster-helena.> (8.02.2012)– Загл. с экрана.
13. Low Temperature Label: LT40 // [Электронний ресурс] / Сайт фирмы Laxcen. – Режим доступа: [http://www.laxcen.com/low-temperature-label-lt40/.](http://www.laxcen.com/low-temperature-label-lt40/) (31.05.2013)– Загл. с экрана.
14. Temperature Logger UHF Semi-Passive Tag with External Probe // [Электронний ресурс] / CaenRfid. – Режим доступа: <http://www.caenrfid.it/en/CaenProd.jsp?mypage=2&parent=78&idmod=782.>

Надійшла до редакції 28.04.2014р.

ЛАЗАРЄВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ЛІЩИНЬСКА ЛЮДМИЛА БРОНІСЛАВІВНА – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ФЛІНІЮК МИКОЛА АНТОНОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

БОНДАРЮК ДЕНИС ВОЛОДИМИРОВИЧ – аспірант кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.