

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Кафедра мобільних та відеоінформаційних технологій

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ RFID НА ФУНКЦІОНУВАННЯ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ»**

Виконав: студент 6 курсу, групи РТДМ-61
спеціальності

172 Телекомунікації і радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Жук В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Руденко Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Гніденко М.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Макаренко А.О.

(прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра	Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	172 Телекомунікації і радіотехніка (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

мобільних та відеоінформаційних технологій

Н. В. Руденко

2021 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Жуку Віктору Юрійовичу

1. Тема роботи: «Дослідження впливу технології RFID на функціонування телекомунікаційного обладнання», керівник роботи Руденко Наталія Вікторівна, завідувач кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій, к.т.н., затвержені наказом вищого навчального закладу від 11.10.2021 року № 170 .

2. Строк подання студентом роботи _____ р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Науково-технічна література.
2. Наукові статті.
3. Технічні конференції.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Технологічні відомості телекомунікаційних систем сімейства RFID.
2. Електродинаміка і антени.
3. Процес встановлення зв'язку в системах RFID.
4. Проектування моделі системи телекомунікацій на основі технології RFID

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської кваліфікаційної роботи: 77 сторінок, 2 рисунки, 1 таблиця, 22 джерел.

Об'єкт дослідження – Системи RFID.

Предмет дослідження – Взаємодія з іншими системами.

Мета роботи – дослідити умови та технічні данні систем на базі технології RFID.

Методи дослідження – теорії телекомунікації, теоретичні статті стандартів телекомунікацій, наукові статті.

В роботі приведено основні технічні можливості та потенціал систем на базі технології радіочастотної ідентифікації RFID. У роботі сформульовано основні причини та завади у використанні даної технології. На основі проведених досліджень визначено актуальність та неактуальність, відповідно, технології RFID, а також висунута власна модель системи на базі даної технології.

RFID, NFC, AI, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, ПЕРЕПУСТКИ, ROM, WORM,
МОДУЛЯЦІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ВІДОМОСТІ СИСТЕМ СІМЕЙСТВА RFID.....	10
1.1 Короткий історичний екскурс в технологію RFID.....	10
1.2 Класифікація систем RFID.....	14
1.2.1 Чипові та безчипові мітки.....	15
1.2.2 Пасивні, напівактивні та активні мітки.....	16
1.2.3 ROM і WORM мітки.....	17
1.3 Характеристика апаратури.....	18
1.4 Вартість та розміри.....	21
1.5 Компоненти та функції системи.....	22
2 ЕЛЕКТРОДИНАМІКА І АНТЕНИ.....	31
2.1 Введення.....	31
2.2 Рівняння Максвелла і основи електродинаміки.....	31
2.3 Зв'язок у дальній та ближній зоні поля.....	34
2.3.1 Зв'язок у ближній зоні поля.....	34
2.3.2 Зв'язок у дальній зоні поля.....	36
2.4 Відбиття.....	39
2.5 Вплив сусідніх антен.....	41
3 ПРОЦЕС ВСТАНОВЛЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМАХ RFID.....	42
3.1. Процес зв'язку.....	42
3.2 Кодування в лінії передачі сигналу.....	44
3.3 Модуляція.....	47
3.3.1 Кодування і модуляція у прямій та зворотній лінії.....	48
3.4. Помилки та їх вірогідність.....	53
3.5 Необхідність розподілення частот.....	56
3.6 Протоколи команд.....	61
4 ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ RFID.....	66
4.1 Стандартна модель Системи контролю та управління доступом.....	66
4.2 Розробка альтернативної моделі.....	68
4.3 Поліпшення даної моделі за допомогою AI.....	69
ВИСНОВКИ.....	79
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	84

ВСТУП

Технологія Радіочастотної ідентифікації – RFID вже давно винайдена, але досі використовується у багатьох галузях торгівлі, економіки, контролю, логістики. Взаємодіє з іншими, більш сучасними технологіями, і завдяки цьому дозволяє досягнути та покрити більш широкий спектр можливостей та інтересів користувача. Система а на базі RFID може бути як зовсім простою, і досягати у вартості кілька центів, так і поєднувати в собі більш широкий функціонал, у залежності від потреби у тій чи іншій ситуації. На базі цієї технології функціонує, нині дуже важлива у використанні технологія NFC. З виникненням нових продуктів, RFID раз за разом знаходить в них пряму чи дотичну роль, але все одно залишається дуже потрібною та корисною технологією, але в той же час і, порівняно з іншими засобами телекомунікації, доволі технічно простою. Як і будь-яка інша високотехнологічна галузь людської діяльності, радіочастотна ідентифікація розвивалася з початку свого існування як технологія, застосування якої обмежене рамками фірми, яка розробляє обладнання для її застосування, або рамками фірми, на замовлення якої це обладнання розроблено. Початок історії розвитку технології радіочастотної ідентифікації, а також у багатьох високотехнологічних новацій нашої дійсності – у надрах військово-промислового комплексу.

Загалом, радіочастотна ідентифікація (RFID) є способом ідентифікації людини або об'єкту за допомогою радіочастотної передачі. Ця технологія ідентифікує, відстежує, сортує або виявляє найрізноманітніші об'єкти. Ідентифікація предметів машинами забезпечує функціонування глобального управління ланцюгом поставок, робить його більш ефективним і зменшує вартість. Крім RFID, різні інші технології, такі як штрих-коди, смарт-картки, розпізнавання голосу та біометричні технології підпадають під ту саме категорію, відому як системи автоматичної ідентифікації або автоматична ідентифікація та збір даних. З моменту першого сканування в 1974 році вони мали низьку вартість і можливість читання без контактів зробив системи штрих-коду найпопулярнішими і найбільш

широко використовуваними системами AIDC світ. Однак певні обмеження, такі як вимога до читання в прямій видимості та обмежена ємність зберігання обмежує їх використання, як системи ідентифікації кількома додатками. З іншого боку, RFID пропонує ряд переконливих переваг перед штрих-кодами, включаючи роботу без прямої видимості, мінімізуючи людське втручання та пришвидшує ідентифікацію. Багато великих роздрібних торговців, як-от Wal-Mart, і агентства, такі як департамент США оборони (DOD) почали широко використовувати RFID і з використанням однієї інтегральної схеми на мікрочіпі.

Поєднання високої продуктивності і низької вартості RFID-мітки забезпечують економічний шлях для впровадження цієї технології в зростаючу кількість застосувань.

У цій роботі будуть розглянуті основні технічні аспекти та різновиди технології RFID, матеріали, різновиди зв'язку, а також галузі її застосування. Буде запропонована та розглянута на конкретному прикладі нова модель використання. Також будуть розглянуті та висвітлені недоліки та переваги певних різновидів систем RFID.

Об'єкт дослідження – Системи RFID.

Предмет дослідження – Взаємодія з іншими системами.

Мета роботи – дослідити умови та технічні данні систем на базі технології RFID.

Методи дослідження – теорії телекомунікації, теоретичні статті стандартів телекомунікацій, наукові статті.

В роботі приведено основні технічні можливості та потенціал систем на базі технології радіочастотної ідентифікації RFID. У роботі сформульовано основні причини та завади у використанні даної технології. На основі проведених досліджень визначено актуальність та неактуальність, відповідно, технології RFID, а також висунута власна модель системи на базі даної технології.

1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ВІДОМОСТІ СИСТЕМ СІМЕЙСТВА RFID

1.1 Короткий історичний екскурс в технологію RFID

Короткий історичний огляд: RFID є простою скороченою назвою, даною сімейству технологічних датчиків, які з'явилися за останні 50 років. Перше широке використання технології RFID відбулося ще протягом Другої світової війни. Британські збройні сили на своїй авіації та авіації союзників використовували транспондери, здатні при надходженні запитуючого сигналу відповідати відповідним ідентифікаційним сигналом. Ця технологія не дозволяла реалізувати точну ідентифікацію об'єкта, але була достатньою для визначення своїх літаків. Ця технологія, названа ідентифікацією "свій - чужий" (IFF), знайшла подальший розвиток, і її наступні покоління зараз використовуються як у військовій, так і в цивільній авіації. Після початкового використання у Другій світовій війні технологія RFID набула істотного розвитку. У 60-х та 70-х роках лабораторії різних держав розробили ідентифікаційні технології, необхідні для безпечного та секретного супроводу військового персоналу та обладнання. Наприкінці 70-х років із наукових лабораторій у Лос-Аламосі виділилися дві компанії, які комерціалізували цю технологію. Перші застосування RFID були призначені для ідентифікації та визначення температури рогатої худоби. На початку 80-х років залізничні компанії стали використовувати цю технологію для ідентифікації та супроводу вагонів. У цих застосуваннях зазвичай використовувався діапазон UHF (900/1800МГц). Протягом 80-х років деякі компанії США та Європи розпочали розробляти технології для роботи на інших частотах, з іншими джерелами потужності, обсягами пам'яті та низкою інших функцій. У другій половині 80-х, коли підключилися великі компанії електронної промисловості, почався суттєвий технічний прогрес та зниження розмірів та вартості апаратури.

Наприкінці 80-х та протягом 90-х років у міру вдосконалення апаратури, зниження її розмірів та вартості, з'явилися нові напрями використання RFID. Деякі з них: автоматичні платіжні системи на автострадах, системи контролю безпеки та

доступу, автомобільні іммобілайзери. системи контролю багажу в авіаперевезеннях, інвентаризація товарів та майна та смарт-картки. Для подальшого розширення спектра застосувань RFID необхідно забезпечити високий технічний рівень виконання, малі габарити та низьку вартість, вдосконалення рівня розробки та виробництва апаратури. В даний час проводиться велика робота і виникає велика кількість компаній, що займаються інноваціями, зниженням розмірів, ціни та підвищення технічного рівня в цій галузі. Виникнення Інтернету та розвиток інформаційних технологій дозволяє знайти нові можливості застосування технології RFID. Однак для широкомасштабного глобального впровадження технології RFID необхідним є не лише технічне вдосконалення апаратури, зниження її габаритів та ціни – системи різних продавців повинні бути сумісними один з одним і здатними працювати в умовах різних адміністративних регламентів, як місцевих, так і міжнародних. В даний час продовжується робота зі створенням стандартів для різноманітних застосувань технології RFID. Стандарти, однак, з одного боку, можуть сприяти технічному прогресу, а з інший – придушувати конкуренцію, інновації та прагнення до вдосконалення апаратури.

Як і будь-яка інша хороша ідея, радіочастотна ідентифікація, зрештою, опинилася на ринку товарів та послуг, де, як дуже скоро з'ясувалося, її давно і з нетерпінням чекал. У недавньому минулому самоорганізація на ринку погано корелювала з рухом товарних мас. Рух товарної маси, як і будь-якої іншої маси мав надмірну інерційність. Товари повільно просувалися та тому запізнювалися до нервуючого споживача або навпаки навалювалися невідвратною лавиною, що змушувало споживача нервувати ще більше. З цієї причини ринок постійно лихоманило, траплялися кризи, пов'язані як із відсутністю товару, так і з його надмірною присутністю у певному місці на ринку. У величезній кількості людей, тобто, споживачів, у яких постійно виникали проблеми від неможливості у потрібний момент одержати потрібний товар. Проте надмірна інерційність руху товарних мас породжувалась не так нездатністю виробників товарів забезпечити їх масовий випуск, скільки величезною кількістю проблем пов'язаних із просуванням товару від виробника до споживача по ланцюгу постачання. Ці проблеми є

наслідком відірваності від товарного потоку того потоку інформації, що власне і забезпечує переміщення товару по ланцюгу постачання від конкретного виробника до конкретного споживача. Без руху інформації товар рухатися не може. Тому товарний рух супроводжується рухом паперових потоків, які переносять інформацію про те, де товар зроблено, куди спрямований, якими є його споживчі властивості, хто товар відвантажив, хто сплатив, яким видом транспорту він перевозиться, де він буде перевантажуватися, хто його одержувач, де він перетинає кордон, як він обробляється на митниці, скільки він знаходиться в дорозі, на якому терміналі він складається, скільки часу зберігається, і, нарешті, не чи зіпсувався він. А папір не дуже надійний носій інформації. В наш час інформація транспортується комп'ютерними мережами, і це значно знижує витрати, пов'язані з її переміщенням. Але щоб перевести інформацію з паперу на комп'ютер потрібен час і ручна праця. А ось часу у нас якраз і не вистачає! І в цей напружений для споживача момент на ринку товарів та послуг з'являється технологія радіочастотної ідентифікації. Що вона нам пропонує? Чому ж фахівці очікують від неї так багато? Радіочастотна ідентифікація наділяє товар інтелектом, вона надає товару можливість безпосередньо спілкуватися з комп'ютером, а через комп'ютер з будь-яким учасником процесу руху товару з ланцюга поставок, позбавляючи тим найбільш товарний потік надмірної інерційності та роблячи управління процесом руху товарних потоків повністю прозорим та оптимізованим. Радіочастотна ідентифікація поєднує товарний та інформаційні потоки в ланцюгу поставок, скорочуючи тим самим величезні витрати, пов'язані з ручною працею з обробки інформаційного потоку, що супроводжує товарний рух. До чого це призведе? Результати впровадження технології радіочастотної ідентифікації в процес управління рухом товарних потоків з ланцюга поставок грандіозні, як за економічним ефектом, так і за своїм впливом на розвиток ринку. [3]

Економічний ефект від впровадження радіочастотних систем ідентифікації досягається за рахунок комплексної дії одночасно кількох чинників, які впливають процес руху товарів. По перше, виключається ручна праця з введення інформації про конкретний товар комп'ютерну мережу, по-друге, виключається людська

участь у процесі організації руху від складу до вітрини, по-третє, ліквідуються ситуації, пов'язані з відсутністю потрібного товару на вітринах, по-четверте, виключаються ситуації, пов'язані з нестачею товару на складі, по-п'яте, багаторазово зростає поінформованість споживача про наявність товару та його властивості, по-шосте, багаторазово прискорюється процес обслуговування покупця на розрахунково-касовому вузлі, та, нарешті, стає можливим дистанційне формування кошика покупця, що призводить до скорочення торгових площ. Чи це не революція у роботі зі споживачем? Так само масштабно виглядають зміни, викликані впровадженням систем радіочастотної ідентифікації в організації процесу руху товару з ланцюга поставок від виробника до продавця. Автоматизація процесу введення поточної інформації про партію товару до комп'ютерної мережі дозволяє здійснювати управління рухом товару в автоматичному режимі, з одночасною оптимізацією всіх тимчасових та трудових витрат на кожній стадії обробки товарної партії, починаючи від її адресної формування, проведення всіх вантажно-розвантажувальних робіт та заходів щодо її супроводу та обробки на терміналах, до стадії поповнення складу чи вітрини продавця. Усі стадії процесу доставки партії товару стають прозорими. Виключаються затримки товару в шляхи, пов'язані з втратою часу під час перевантаження товарних партій, оптимізується завантаження та маршрут руху транспортних засобів, багаторазово прискорюється оборот зворотної тари, зростає плавність і передбачуваність процесу надходження товарів, що дозволяє скоротити складських площ. Радіочастотна ідентифікація перетворює розрізнені ланки ланцюга поставок в єдиний механізм добре налагодженого конвеєра для безперервного та осмисленого просування товару від виробника до споживача. Технологія радіочастотної ідентифікації істотно змінює як механізм розподілу, а й процес виробництва товарів. Використання технології радіочастотної ідентифікації для маркування деталей та продуктів виробництва, що дозволяє відстежувати в режимі реального часу всі технологічні стадії формування товару у процесі його виготовлення. Більше того, одночасно з виборчим, що здійснюється відповідно до вимог конкретного замовника, формування кінцевого продукту виробництва – конкретного товару, формується його технологічний

паспорт, який дає повне уявлення про всі технологічні деталі процесу виготовлення цього зразка товару. Не секрет, що при масовому виробництві товарів, щонайменше відхилення від заданого режиму на будь-якій стадії технологічного циклу виготовлення товару може призвести до непередбачуваної зміни споживчих властивостей товару. Усуваючи такі технологічні похибки, фірми-виробники змушені відкликати з ринку для усунення дефектів величезні маси вже товару, що надійшов в експлуатацію просто тому, що вони не мають достовірної інформації про те, при виготовленні якої конкретно партії комплектуючих допустили відхилення від встановленої технології. Це незнання характеристик технологічної карти кожної деталі кінцевого продукту веде до величезних втрат часу, праці та грошей для усунення, можливо, крихітного дефекту, спричиненого відступом від заданого технологічного режиму. Радіочастотна ідентифікація, як технологія формування технологічного паспорта конкретного товару, є гарантією якості його виробництва, особливо за сучасних величезних обсягах виробництва товарів на підприємстві в умовах використання комплектуючих деталей різних виробників. Отже, формування конкретного виробу на вимогу конкретного штучного замовника з гарантією якості в умовах масового товарного виробництва при зниженні витрат - ось додатковий найважливіший результат впровадження технології радіочастотної ідентифікації на сучасні підприємства. Іншим, не менш важливим результатом впровадження радіочастотної ідентифікації є планування завантаження виробничих потужностей при роботі на конкретного замовника, а не на склад, як це завжди було в епоху виробництва продукції до впровадження технології радіочастотної ідентифікації. [4]

1.2 Класифікація систем RFID

У розвитку технології RFID виникло кілька типів систем. Вони можуть класифікуватись декількома способами. Термін RFID включає досить широкий клас ідентифікаційних пристроїв. Всі системи RFID містять зчитувачі та мітки.

Зчитувачі витягують інформацію, яка зберігається або збирається міткою. Зчитувачі розміщуються в деякій точці простору, а мітки прикріплюються до об'єктів. Через те, що мітки встановлюються на різні об'єкти, на їх характеристики накладаються суттєві обмеження щодо виконання, розмірів та вартості. З цими показниками пов'язані різні класифікації систем RFID. Одна широко поширена класифікація поділяє мітки на "чіпові" та "безчіпові". Чіпові мітки містять інтегральну мікросхему – чіп, а безчіпові її не містять. Інша класифікація, яка підрозділяє чіпові мітки, виділяє пасивні, напівактивні та активні мітки. Пасивні мітки не містять ні елемента живлення, ні активного передавача; напівактивні мітки містять елемент живлення, але не мають активного передавача; активні мітки містять і те, й інше.

Ще одна класифікація підрозділяє мітки на тільки зчитувані (read only) та зчитувані/записуючі (read/write). Тільки зчитувані мітки мають або тільки пам'ять, що зчитується, або пам'ять, яка одноразово програмується та багаторазово зчитується. Теги, що зчитуються/записують, дозволяють одноразово записувати і багаторазово перезаписувати інформацію. Надалі основну увагу буде приділено пасивним чіповим. тільки міткам, що зчитуються. [7]

1.2.1 Чіпові та безчіпові мітки

Оскільки наша увага звертається на мітки найнижчої вартості, які забезпечують мінімум функціональних можливостей – прості тільки зчитувані пристрої з постійним унікальним ідентифікаційним кодом – може здатися, що безчіпові мітки могли б бути оптимальними. Тим не менш, надалі ми в основному розглядатимемо чіпові мітки з двох причин: 1) мітка повинна мати достатню пам'ять, щоб зберігати унікальний ідентифікаційний номер великої кількості ідентифікованих об'єктів; 2) зчитувач повинен мати можливість зчитування безлічі міток, що у його зоні дії. Для того щоб однозначно ідентифікувати безліч вироблених об'єктів, схема пам'яті повинна мати можливість зберігання достатньої

кількості унікальних кодів. У найближчому майбутньому достатньо 64 біта інформації, однак у перспективі оптимальним вважається 96 біт. Більшість безчипових міток в даний час дозволяють зберігати 24 біти або менше, хоча деякі дозволяють зберігати 64 біти. Це, однак, призводить до підвищення їхньої вартості. Через зростання числа та зниження розміру об'єктів, на які встановлюються мітки, необхідно, щоб зчитувач був здатний одночасно зчитувати безліч міток, що знаходяться в зоні його дії; причому мітки можуть розміщуватися близько одна від одної. У нині найкращим способом вирішення такого завдання – колізії сигналів – є наділення самих міток деяким інтелектом. Методи просторового виділення однієї мітки серед багатьох інших, що призводить до вирішення колізії, хоч і потенційно можливі, все ще важко реалізовані. Хоча безчипові мітки і анонсують досягнення більших обсягів пам'яті та покращення антиколізійних функцій, а їх схеми, в майбутньому, зможуть виготовлятися методом безпосереднього друку на некремнієві підкладки, у найближчому майбутньому практично тільки чіпові мітки можуть задовольнити більшість застосувань, що вимагають ідентифікації та інформаційного супроводу товарів. [3]

1.2.2 Пасивні, напівактивні та активні мітки

Відмінність між пасивними, напівактивними та активними мітками полягає в наявності джерела живлення та передавача. Пасивні мітки не містять ні джерела живлення, ні передавача. Напівактивні мітки містять джерело живлення, але не містять передавача. Активні мітки містять як джерело живлення, так і передавач. Активні позначки мають найкращі характеристики. Дальність може досягати кілометрів, а зв'язок із зчитувачем надійний і швидкий. Однак наявність джерела живлення та передавача призводить до високої вартості. Напівактивні мітки в порівнянні з пасивними мають більше високу дальність (до кількох десятків метрів) і через це можуть мати досить високі функціональні можливості. Однак це також призводить до підвищення їхньої вартості. Пасивні мітки мають дальність менше

10 метрів і більше залежні від регламентних обмежень та впливу навколишнього середовища. Тим не менше вони мають максимальний ринковий потенціал через найменшу вартість. [8]

1.2.3 ROM і WORM мітки

Будь-які чіпові мітки можуть бути тільки зчитуваними або зчитуваними/записуючими. Пасивні мітки, як правило, бувають тільки зчитуваними. Тільки мітки, що зчитуються, програмуються ідентифікаційним кодом у процесі виробництва або при встановленні на певний об'єкт. Пам'ять таких міток може бути або тільки читається пам'яттю (ROM) або одноразово програмованої та багаторазово читаної (WORM). Записати один раз, прочитати багато» (WORM) описує пристрій зберігання даних, на якому записана інформація не може бути змінена. Цей захист від запису дає впевненість у тому, що дані не можуть бути змінені після запису на пристрій. На звичайних (не WORM) пристроях зберігання даних кількість разів, коли дані можуть бути змінені, обмежується лише терміном служби пристрою, оскільки модифікація включає фізичні зміни, які можуть спричинити зношування пристрою. Аспект багато читати нічим не примітний, оскільки сучасні пристрої зберігання дозволяють необмежене читання даних після запису. Мітки, що зчитуються/записують, можуть багаторазово перепрограмуватись у процесі їх експлуатації. Зазвичай вони мають ідентифікаційний код або серійний номер, який записується в процесі виробництва. Також у них може записуватися різноманітна додаткова інформація. Такі мітки багатофункціональні, проте це призводить до зростання їхньої вартості. Завдяки низькій вартості найбільшим ринковим потенціалом володіють тільки мітки, що зчитуються, так як в сукупності з добре спроектованою розподіленою базою даних вони забезпечують практично такі ж функціональні можливості, як і мітки, що зчитуються/записують. [7]

1.4 Характеристика апаратури

Історія розвитку показує, що застосування RFID змінювалися відповідно до розвитку власне технологічних можливостей. Кожне із застосувань накладає свої специфічні вимоги до апаратури. Для того, щоб досить докладно розглядати особливості технології RFID як для кращого розуміння її функціональних можливостей, так і для кращого проведення розробки апаратури, необхідно оцінювати її функції на основі технічних показників. Беручи до уваги велику різноманітність застосувань технології RFID, це складне завдання. Тим не менш, існують основні характеристики, загальні всім застосувань. такими характеристиками є вартість, габарити та технічні параметри апаратури. У свою чергу основними технічними параметрами апаратури RFID є дальність зчитування, швидкодія, надійність зв'язку та сумісність систем різних постачальників з урахуванням адміністративних норм у різних регіонах світу. Найбільш жорсткими та високо вимогливими є застосування, що стосуються об'єктів низької вартості та об'єктів, що знаходяться безпосередньо у розпорядженні споживачів. Двома типовими прикладами є ідентифікація поштових відправлень та товарів, що знаходяться у роздрібному продажі. Зчитувачі мають забезпечувати швидке зчитування великої кількості міток на відстані кількох метрів у відносно складних умовах функціонування апаратури навколишньому просторі. Надзвичайно важливою характеристикою апаратури RFID є її вартість. Оскільки марковані предмети перебувають у роздрібній продажі, а кількість цих предметів величезна, зовсім невелике збільшення вартості однієї мітки призводить до дуже великого зростання сукупної ціни апаратури. Залежно від габаритів об'єкта також є надзвичайно важливими розміри мітки. Коротко розглянемо технічні параметри, ціну та габарити апаратури RFID.

Широка сфера застосування – ідентифікація об'єктів, що знаходяться в роздрібному обігу, може бути поділена на кілька практично самостійних застосувань, кожне з яких має різні конфігурації. Так, наприклад, ми можемо самостійно розглядати кожен ланку ланцюга поставок: підприємство - виробник,

дистриб'юторський центр, магазини продажу, будинки споживачів та центри утилізації відходів, і навіть транспортування з-поміж них. На підприємстві – виробники застосуваннями є складання, сортування та відвантаження товарів. На дистриб'юторських центрах застосуваннями можуть бути: прийом, сортування, підбір (picking) та відвантаження. У магазинах продажу застосуваннями можуть бути: одержання, сортування та інші операції, які потребують інвентаризації товарів. Домашні застосування можуть полягати в інвентаризації, а застосування у центрах утилізації відходів – у сортуванні. Логістичні операції вимагають інших застосувань. Цілком ймовірно, що якщо товари роздрібного продажу марковані, то повинні також бути марковані коробки для них, піддони для коробок та контейнери, в яких знаходяться піддони. Мітки для піддонів та контейнерів, ймовірно, повинні допускати повторне використання, тому цінові обмеження тут не надто суворі. Коробок за кількістю менше, ніж предметів у них, тому цінові обмеження для них менші суворі, ніж у випадку предметів, але суворіші, ніж для піддонів. Припустимо, що вміст контейнерів, піддонів та коробок, які індивідуально промарковані, має бути відомим. Ідентифікація предметів роздрібного продажу необхідна у місцях, де вони не упаковані. Така ситуація можлива на підприємствах та дистриб'юторських центрах, проте вона найімовірніша в магазинах, будинках та в центрах утилізації відходів. Особливо вимогливі застосування під час операцій перевірки у магазинах. Зчитувачі та мітки повинні справлятися з можливими впливами розташованих неподалік інших зчитувачів, з відображеннями та впливами від металевих предметів та людей, які перебувають у зоні дії апаратури. Може знадобитися точна та швидка ідентифікація великої кількості випадково розташованих предметів. Часто бажана максимальна дальність зчитування на кілька метрів. Точні технічні параметри у будь-якому випадку визначаються конкретними реальними умовами застосування. Зчитувачі можуть встановлюватися на воротах та порталах, на рухомих візках чи контейнерах, або бути позиціонованими у потрібній зоні або області. Зона дії може бути частково обмеженою, або зовсім необмеженою – може знадобитися відокремлення одного предмета від інших предметів та його індивідуальне

зчитування чи зчитування групи інших предметів, що рухаються на досить великій пішохідній швидкості. [4]

Апаратна реалізація міток винятково важлива з погляду їх характеристик та вартості. Мітка складається з антени, з'єднаної лінією передачі з електронною схемою. Антена є перетворювачем електромагнітного поля в електричну енергію та навпаки. Лінія передачі передає цю енергію в електронну схему та навпаки. Електронна схема перетворює, запасає та використовує енергію, і, нарешті, направляє її назад у лінію передачі та антену, викликаючи керований відгук. Існує два основних типи міток RFID. Одні призначені для роботи у ближній зоні, інші ж працюють у дальній зоні електромагнітного поля. Оскільки взаємодія з електромагнітними полями та хвилями у цих двох типів міток суттєво відрізняється, то й антени різні. Системи RFID у ближній зоні пов'язані або індуктивним, або ємнісним способом. Індуктивно пов'язані системи взаємодіють при допомоги магнітного, а ємнісні – електричного поля. Важливими є розміри підстроювального конденсатора для налаштування антенного контуру в резонанс. На низьких частотах потрібна велика ємність. При цьому, відповідно, площа конденсатора в інтегрованої електронної схеми також виявляється достатньо великий, що призводить до суттєвого підвищення вартості мітки. Необхідно враховувати і імпедансний елемент, який використовується для модуляції навантаження. Це може бути конденсатор або резистор, або їх комбінація. Для зниження потужності споживання та розмірів компонентів цей імпеданс має бути мінімізований за умови забезпечення достатнього рівня модульованого сигналу, що необхідно для його виявлення зчитувачем.

У дальній зоні системи RFID взаємодіють за допомогою електромагнітних хвиль. При таких розмірах антена є резонатором та має реальний вхідний імпеданс. Це забезпечує підвищення ефективності випромінювання та прийому, полегшення погодження та передачі потужності від/до електронної схеми, яка приєднана до антени. [4]

1.5 Вартість та розміри

З погляду кінцевого користувача, поза всяким сумнівом, вартість має бути мінімальною. Припустимо, що мітками марковані товари роздрібного продажу. Невелике зниження вартості однієї мітки призведе до величезних заощаджень кінцевого користувача. В даний час вартість мітки становить 5 центів і менше за дуже великих обсягів виробництва. Мінімізація вартості за таких масштабів ставить серйозні проблеми розробки. Кожна ланка системи має бути оптимізовано, по-перше, для зниження вартості і, по-друге, для досягнення необхідних характеристик – не тільки мітки з них електронними схемами та антенами, але також вся технологія виробництва, складання та використання кінцевої продукції. При проектуванні повинні творчо враховуватиметься обмеження, накладені на систему. Розміри також, звісно, винятково важливі. Мітки, як мінімум, повинні бути менше маркованого об'єкта. Тому що вже виробляються мікрочіпи для міток розміром менше 0,5 кв. мм, антени завжди будуть обмежуючим чинником. Оскільки технічні параметри, особливо дальність, залежать від розмірів та форми антени, а розміри антени істотно залежать від робочої частоти, мітки на дуже маленьких об'єктах не володітимуть такими технічними характеристиками, як мітки з великими антенами, більш відповідними робітнику діапазону частот. На 5,8 ГГц, наприклад, оптимальний розмір антени дорівнює 2,5 см, тоді як на частоті 915 МГц - 16 см. Антени з розмірами меншими від оптимального можуть мати задовільні параметри, але все-таки гірше, ніж у оптимальних антен. Просте підвищення робочої частоти який завжди є виходом, оскільки з'являються інші обмеження, такі як поширення радіохвиль, згасання та адміністративні норми. Розміри дуже великою мірою залежать від конкретного застосування та конфігурації системи. В деяких випадках можуть знадобитися дуже невеликі відстані зчитування. Тоді й розміри можуть бути дуже малі. Все вищесказане з приводу розмірів та вартості виявляється тісно пов'язаним з технічними характеристиками, такими як дальність, швидкодія та надійність зв'язку. Всі ці

параметри в комбінації з основними обмеженнями є основними вихідними даними при проектуванні систем RFID. [7]

1.6 Компоненти та функції системи

У випадку, як показано на рис.1.1, система RFID складається з чотирьох основних складових: система збору інформації (хост), рідер (зчитувач), безліч міток і канал поширення, за допомогою якого взаємодіють зчитувач та мітки.

Внутрішні функції, як мітки, так і зчитувача, включають алгоритми верхнього рівня та командні протоколи, необхідні для ідентифікації однієї або безлічі міток, що знаходяться у зоні дії зчитувача. Команди в загальному випадку засновані на алгоритми, які називаються антиколізійними алгоритмами, так як вони реалізують зниження ймовірності помилок від збігів відповідей міток, що надходять на запит зчитувача.

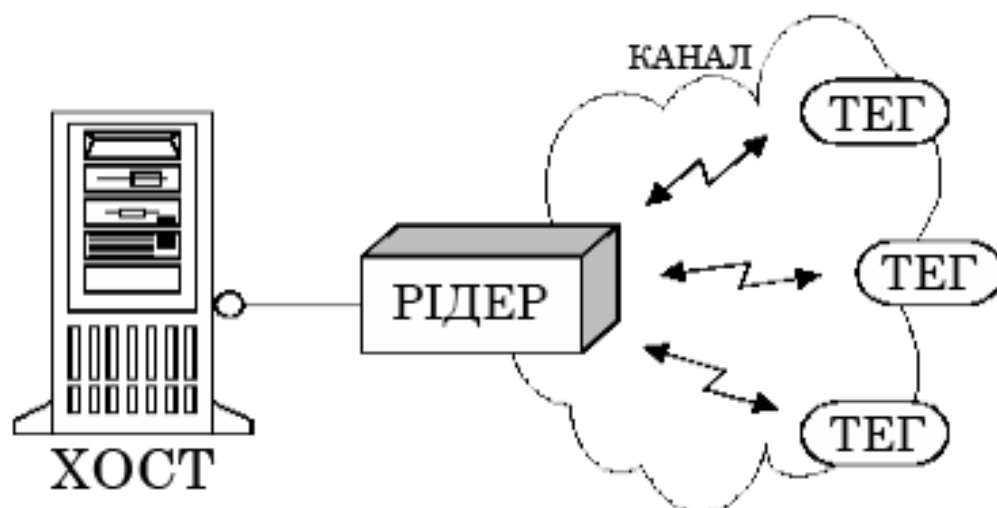


Рис. 1.1 Чотири основні компоненти системи RFID: хост, зчитувач, канал поширення та мітки.

Інтерфейсні операції містять команди нижнього рівня, необхідні для реалізації завдань команд верхнього рівня. Зчитувач повинен забезпечувати

випромінювання потужності та передачу інформаційних та синхронізуючих сигналів. Інформаційні сигнали необхідні забезпечення ідентифікації безлічі міток та реалізації антиколізійних алгоритмів. Синхронізація потрібна для забезпечення роботи цифрової частини електронної схеми етикетці. Залежно від несучої частоти синхросигнали генеруються безпосередньо з високочастотного сигналу або за допомогою модуляції його несучої. Мітка забезпечує прийом енергії, а також обробку інформаційних та синхронізуючих сигналів, що передаються зчитувачем. Після внутрішньої високорівневої обробки прийнятої інформації мітка може передати зчитувачу інформацію у вигляді повного ідентифікаційного коду чи його частини. У пасивних системах RFID процес передачі інформації здійснюється за рахунок модуляції сигналу зчитувача. Зчитувач, у свою чергу, має прийняти інформацію та передати її назад на внутрішній верхній рівень функціонування системи.

Мітка, яка є простим носієм інформації, виконує кілька основних функцій. Вона приймає та випрямляє вхідний високочастотний сигнал, виділяючи енергію та інформацію. Вона зберігає і забезпечує енергоживлення. Для запуску цифрових схем мітка з отриманої інформації виділяє синхронізуючий сигнал. За допомогою цифрових схем мітка обробляє інформацію та забезпечує модуляцію вхідного сигналу.

Вхідний радіочастотний ланцюг є двоспрямованим інтерфейсним елементом, який включений між антеною та іншою електронною частиною етикетці. У вхідному ланцюзі здійснюється виділення енергії та даних, а також їх передача до ланцюгів джерела живлення, зміщення, виділення синхросигналу та обробки даних. У вхідного ланцюга, крім того, реалізується захист від можливого навантаження, викликаного підвищенням рівня сигналу при зміні відстані до зчитувача. За допомогою антени з використанням модуляції по командам процесора інформація передається назад до зчитувача. Ланцюги джерела живлення, зміщення, виділення синхросигналу та обробки даних, а також пам'ять мітки реалізуються за допомогою аналогових та цифрових компонентів. У випадку

тільки міток, що читаються, це, зазвичай, тільки пам'ять, що читається (ROM) або записується один раз і пам'ять, що читається багато разів (WORM).

Компоненти, необхідні для забезпечення функцій мітки, включають аналогові та цифрові ланцюги з пасивних та активних елементів, а також пам'ять. Ці компоненти можуть бути включені в єдину інтегральну схему. Так як у процесі виготовлення цифрових елементів використовується специфічна технологія, додаткова включення аналогових елементів може бути скрутним. При цьому складністю є і те, що аналогові ланцюги схильні до зміни параметрів від температури та часу. Крім того, як ми побачимо, важливі пасивні елементи можуть займати досить велику площу та мати розкид параметрів. [4]

Для подальшого розгляду компонентів мітки, необхідно висвітлити, на основі чого вони побудовані. В їх основі лежить фізика напівпровідників. Напівпровідниками називаються матеріали, які не є добрими провідниками, ні хорошими ізоляторами. Вони виготовляються введенням контрольованої кількості атомів домішок в технологічному процесі, званому легуванням. Легуванням галузі матеріалу іншим матеріалом, що має більше валентних електронів, одержують область "n – типу". Навпаки, легуванням галузі матеріалу іншим матеріалом, що має менше валентних електронів, одержують область "p - типу". Прикладена напруга викликає рух надлишкових електронів. З різних причин для виготовлення напівпровідників найбільше широко використовується кремній. Він широко поширений та його електричні властивості відносно слабо залежать від температури через велику ширину забороненої зони. Для забезпечення швидкодії приладів іноді застосовується арсенід галію – він дозволяє вдвічі підвищити швидкодію, але, проте, дорожче звичайного кремнію і менш поширений у природі. Напівпровідникові пристрої – транзистори, створені наприкінці 40-х. Спочатку були розроблені біполярні, а потім – металооксидні (MOS) пристрої. Технологія MOS дозволила зменшити розміри та знизити енергоспоживання. Першими з'явилися прилади p-типу (PMOS), та був – n-типу (NMOS). Для подальшого зниження споживаної потужності було розроблено компліментарними (CMOS) прилади, але за рахунок збільшення розмірів. Прилади біCMOS об'єднали високу

швидкодію біполярної технології з низьким енергоспоживання технології CMOS. В даний час на ринку напівпровідникових технологій переважає CMOS технологія та найближчому майбутньому передбачається, що вона збереже суттєву цінову перевагу. Спрощено MOS пристрій можна подати у вигляді паралельного пластинчастого конденсатора. Простим прикладом є NMOS-прилад. Затвор, який зазвичай є сильно легованим полісиліконом, є однією пластиною конденсатора, яка відокремлена діелектриком від напівпровідника – іншої пластини. Затвор розташований між двома сильно легованими областями n-типу, одна з яких є виток, а інша – сток. Всі інші області в такому напівпровідниковий прилад є областями p-типу. Коли до затвора не додана напруга, пристрій не проводить струм. Коли до затвора додана напруга, створюється електричне поле, яке індукуює в напівпровіднику протилежні заряди полярності. Якщо докласти достатньої напруги, заряди відриваються від поверхні напівпровідника, а електрони витоку та стоку створюють інверсний прошарок. Під впливом електричного поля заряди рухаються, а рух електронів створює струм. Варіація геометричних розмірів та напруг дозволяє створити велику кількість різновидів MOS приладів. MOS пристрої мають як статичні, так і динамічні ефектами. Динамічні ефекти визначаються ємностями різних елементів пристрою. Виток і стік утворюють ємність із назад зміщеного переходу та підкладки. Крім того, між затвором та витком, між затвором і стоком, а також між затвором і каналом та між каналом та об'ємом матеріалу теж утворюються паралельні пластинчасті ємності. Компліментарні металооксидні (CMOS) прилади є комбінацією PMOS та NMOS приладів. При цьому забезпечується зменшення споживаної потужності. Транзистори є основним компонентом інтегральних мікросхем, оскільки вони можуть виступати як у ролі пасивних компонентів, таких як конденсатори та резистори, так і як активні компоненти. [4]

Існує кілька способів створення резисторів за допомогою CMOS технології. У сполучних ланцюгах часто використовуються такі матеріали, як полікремній, метали або інші більше спеціалізовані матеріали. Порівняно з металами полікремній має меншу провідність – він має опір приблизно 5 – 10 Ом на квадрат

із розкидом близько 35%. він також має низьку питому за площею паразитну ємність, низький середній температурний коефіцієнт та коефіцієнт напруги. Метали характеризуються опором близько 10 мОм на квадрат. Коли потрібна висока резистивність, можуть використовуватися wells - елементи. Вони мають близько 1 – 10 кОм на квадрат, проте мають високу паразитну ємність по відношенню до підкладки. Крім того, у них високий початковий розкид, що досягає 50 - 80%, великий температурний коефіцієнт та великий коефіцієнт напруги. Як малогабаритні резистори також можуть використовуватися MOS транзистори. Вони, однак, мають великий розкид і великий температурний коефіцієнт через температурну залежність від рухливості електронів. Іншим способом, який забезпечує близькі до полікремнію параметри – провідність та температурний коефіцієнт, є використання дифузії області сток-витік р-типу або n-типу. Однак істотним негативним фактором є велика паразитна ємність та підвищений коефіцієнт напруги (нелінійність).

Конденсатори можуть бути утворені у різний спосіб. Загальноприйнятим способом є використання двох паралельних пластин із проміжним матеріалом. Так як товщина проміжного діелектрика досить велика, питома площею ємність зазвичай мала (5×10^{-5} пФ/мкм). При цьому шкідливий вплив мають паразитні ємності шарів, розташованих безпосередньо над та під пластинами; вони можуть становитиме 10 – 30% від основної ємності. Для того щоб створити ємності за рахунок бічних ліній вздовж паралельних площин можна використовувати проміжні матеріали. Такий прийом може забезпечити 10-кратне збільшення ємності. Так як ємність затвора є спільною для транзистора, можуть також використовувати MOS пристрої. Залежно від товщини діелектрика можуть бути досягнуті питомі ємності 1-5 фФ/мкм. З використанням ємності р-n переходу можуть бути реалізовані інші методи. При цьому через те, що ємність переходу залежить від його зміщення, реалізується конденсатор, що підлаштовується.

За допомогою CMOS пристроїв індуктивності з низьким рівнем шуму, спотвореннями та споживаною потужністю, реалізуються важко. Найбільш широко використовуються плоскі спіралі, проте навіть для малих індуктивностей вони

вимагають великої площі, а втрати, обумовлені резистивністю та нерівномірним розподілом струму, можуть бути досить великими. Крім того, за рахунок оточуючих паразитних ємностей можуть бути небажані резонанси. За в порівнянні з іншими дискретними компонентами добротність спіральних індуктивностей виявляється замалою.

У ситуаціях, коли з'являється, необхідно підвищити напругу, застосовуються помножувачі напруги. Помножувачі напруги необхідні тоді, коли використовується пам'ять EEPROM: для запису інформації в цьому випадку потрібна підвищена напруга. Помножувачі створюються каскадним з'єднанням секцій з діодів і конденсаторів. При цьому підвищення вихідної напруги здійснюється за рахунок підсумовування напруги заряджених секцій.

У мітках RFID діоди необхідні як перетворення високочастотної енергії в енергію постійного струму – як випрямляючі елементи, так детектування сигналу. Як діоди можуть використовувати транзистори, однак вони вимагають більшого зміщення і мають найгірші частотні властивості. Найчастіше, особливо на високих частотах, переважно використання Шотки, вони виконуються у вигляді переходу металопровідника (р-типу або n-типу). Залежно від конфігурації такі діоди можуть мати майже нульове зміщення, високу частоту перемикавання, відносно низьку ємність переходу та малу споживану потужність. Вони часто використовуються у високочастотних детекторах, змішувачах, перемикальних схемах та випрямлячах. У комбінації з конденсаторами діоди Шотки використовуються у подвоювачах напруги.

Генератори, за визначенням, призначені для формування сигналів найчастіше із постійною частотою. У мітках використовують досить прості генератори, які, однак, мають погані характеристиками – нестабільною амплітудою та частотою. Залежно від необхідні характеристики в мітках RFID можуть використовуватися генератори з досить хорошими технічними параметрами, що, проте, досягається за рахунок їх підвищеної складності, збільшених розмірів та, відповідно, великої вартості.

Схеми, що реалізують фазове автопідстроювання частоти (ФАПЧ), забезпечують можливість синхронізації роботи апаратури із фазою вхідного сигналу. Ці схеми часто використовуються в системах зв'язку для виконання різних функцій. Вони можуть використовуватися для програмованої установки частоти у генераторах. Схеми ФАПЧ також застосовуються для частотної модуляції та демодуляції сигналів. У цифрові схеми вони можуть використовуватися для відновлення синхронізації та генерації синхронізуючих сигналів. У більшості випадків схема ФАПЧ містить фазовий детектор і генератор, керований напругою, які охоплені зворотним зв'язком. Схеми ФАПЧ можуть використовуватися в мітках RFID, проте через велику кількість компонентів це призводить до надмірного ускладнення, збільшення розмірів та вартості мітки.

Основним елементом побудови вентилів є CMOS інвертор, який складається з комбінації p-MOS та n-MOS транзисторів. З цієї пари транзисторів конструюється широке розмаїття логічних схем, включаючи такі, як тригери, регістри, мультівібратори, зсувні регістри. Тригери є логічними елементами, що запам'ятовують один біт бінарної інформації. За допомогою таких схем можуть створюватися лічильники та інші складніші пристрої. Спільно з регістрами вони часто використовуються для контролю обчислень у синхронних системах. У цьому випадку тригер може встановити значення свого вихідного сигналу рівним значенню вхідного сигналу синхронізуючого ланцюга. У Найпростішому випадку тригер містить два вентиля, кожен з яких зазвичай складається з чотирьох транзисторів (дві компліментарні пари pMOS та n-MOS транзисторів). Реєстром зазвичай називають пристрої для зберігання певного кількості біт. Коли регістр перебуває в активному стані, вихідний сигнал повторює вхідний, а коли пасивному – він фіксує останнє значення сигналу. Регістр може бути активним під час одного такту та пасивним – під час іншого такту, коли він використовується для контролю функціонування синхронних систем. Зсувний регістр утворюється послідовним з'єднанням тригерів таким чином, що вихід одного з'єднаний із входом іншого, а всі їх настановні входи об'єднані. При подачі синхроімпульсів дані зрушуються в один бік, тоді як дані надходять на нього вхід з іншого боку. Зсувні регістри зручні

для перетворення паралельних даних у послідовні дані, і навпаки. Вони також можуть використовуватись для тимчасового зберігання даних. Мультивібратори є різновидом тригерів, у яких вихід одного з вентилів з'єднаний з входом іншого вентиля через конденсатор. Ці пристрої залишаються в одному стані доти, доки під впливом імпульсу де вони переходять у інший стан. Після деякої затримки, час якої визначається параметрами схеми, мультивібратори повертаються до попереднього стану. Вони змінюють свій стан фронтом або спадом імпульсу і часто використовуються для генерації імпульсів змінної тривалості. Через те що мультивібратори будуються на основі аналогових та цифрових елементів, вони нестабільні й у більшості випадків вимагають дублювання. Схеми пам'яті в інтегральному вигляді можуть реалізовуватись у різний спосіб. Для застосування в системах RFID низькою вартості, коли мітка просто зберігає унікальний ідентифікаційний номер (Unique IDentification number – UID), вимоги до схем пам'яті невисокі. Практично єдиною вимогою є мінімальна зайнята площа. Коротко розглянемо деякі з основних типів схем пам'яті, призначених для зберігання UID: ROM, WORM, EEPROM та FRAM. Дані в пам'ять, що тільки читається (Read Only Memory – ROM) зазвичай вводять у процесі виробництва за допомогою лазера або безпосередньо - маскою. Пам'ять, що одного разу записується і багаторазово читається (Write Only Read Many – WORM) дозволяє користувачеві один раз записувати дані в схему пам'яті. Електрично перепрограмована пам'ять (Electrically Erasable Read Only Memory – EEPROM) дозволяє багаторазово як записувати, так і зчитувати інформацію, проте вона вимагає високої напруги і має відносно велику споживану потужність. У порівнянні з іншими типами така пам'ять має велику площу та час запису. Подальшим розвитком EEPROM пам'яті є фероелектрична пам'ять із випадковим доступом – FRAM. Так ж, як EEPROM, така пам'ять може зберігати дані протягом тривалого часу, але процес запису не вимагає високої напруги та має значно меншу потужність споживання. Принцип роботи EEPROM заснований на зміні та реєстрації електричного заряду в ізолюваній області (кишені) напівпровідникової структури. [3]

Зміна заряду («запис» і «стирання») здійснюється додатком між затвором та витокком великого потенціалу, щоб напруженість електричного поля в тонкому діелектрику між каналом транзистора та кишенею виявилася достатньою для виникнення тунельного ефекту. Для посилення ефекту тунелювання електронів у кишенею під час запису застосовується невелике прискорення електронів шляхом пропускання струму через канал польового транзистора (явище інжекції гарячих носіїв). Читання виконується польовим транзистором, котрого кишеня виконує функцію затвора. Потенціал плаваючого затвора змінює порогові характеристики транзистора, що реєструється ланцюгами читання.

Основна особливість класичного осередку EEPROM - наявність другого транзистора, який допомагає керувати режимами запису та стирання. Деякі реалізації виконувались у вигляді одного тризатворного польового транзистора (один затвор плаваючий і два звичайні). Ця конструкція забезпечується елементами, які дозволяють їй працювати у великому масиві таких самих осередків. З'єднання виконується у вигляді двомірної матриці, в якій на перетині стовпців і рядків знаходиться один осередок. Оскільки осередок EEPROM має третій затвор, то, крім підкладки, до кожного осередку підходять 3 провідники (один провідник стовпців і 2 провідники рядків). [5]

2 ЕЛЕКТОРДИНАМІКА І АНТЕНИ

2.1 Введення

У системах RFID зчитувачі взаємодіють із мітками за допомогою електромагнітних полів і хвиль, що поширюються в просторі. Для щоб пояснити роботу і грамотно проектувати ці системи, необхідно зрозуміти, як створюються ці поля та хвилі, як вони модулюються та приймаються. Необхідно зрозуміти:

- як створюються поля, яка їх довжина, доступна потужність, їх зміна з відстанню, кутами, орієнтацією та поляризацією, а також як вони випромінюються та приймаються;

– яким чином типи антен, їх розміри та форма впливають на властивості поля;

– які можливості максимізації прийнятої потужності та інформації, застосовуючи налаштування та узгодження;

– як змінюються реактивні та випромінюючі властивості лінії зв'язку між зчитувачем та міткою в залежності від властивостей каналу розповсюдження сигналу та його навколишнього середовища.

Все це допоможе зрозуміти фізичні обмеження систем RFID та основи керування її функціями. Крім того, це допоможе зрозуміти інші фундаментальні обмеження, включаючи теорію зв'язку та адміністративні регламенти.

2.2 Рівняння Максвелла і основи електродинаміки

Коли статична електрична лінія поля, створюваного електричним зарядом, що поширюється в деякому напрямку, випромінюється електричне поле. Коли цей електричний заряд осцилюється, він випромінює осцилююче електричне поле. Варіація електричного поля у просторі та часі викликає пов'язане з ним магнітне поле. Рівняння Максвелла описують поведінку електромагнітних хвиль у будь-якій

точці простору та у будь-який момент часу щодо розташування та руху заряджених частинок. Ми можемо уявити ці рівняння в гармонійній (синусоїдальній) формі з частотою у вигляді співвідношення $\partial/\partial t = -j\omega t$:

$$\nabla \times E = j\omega B, \quad (2.1)$$

$$\nabla \times H = J - j\omega D \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.4)$$

де E – напруженість електричного поля (В/м), H – напруженість магнітного поля (А/м), B - магнітна індукція (Т), D – електрична індукція (К/м), J – густина електричного струму (А/м), ρ – щільність електричного заряду (К/м).

Рівняння нерозривності електричного заряду та струму записується наступним чином:

$$j\omega\rho + \nabla \cdot J = 0 \quad (2.5)$$

Сукупність рівнянь Максвелла (2.1) - (2.4) з рівнянням (2.5) є фундаментальними рівняннями електродинаміки. Усереднена за часом потужність, що переноситься електричним і магнітним полями через одиницю поверхні, що визначається вектором Пойнтінга:

$$S = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{E \times H^*\} \quad (2.6)$$

де H^* – вектор, комплексно пов'язаний з вектором H , а S – щільність потоку потужності, що має розмірність Вт/м. В області простору, що не має зарядів та джерел струму, пов'язане з магнітним полем та ортогональне йому електричне поле, поширюється у навколишньому середовищі у напрямку, перпендикулярному обом полям. Це і є електромагнітна хвиля. Антена є пристроєм, призначеним для випромінювання електромагнітних полів та хвиль.

Надалі, для опису полів та хвиль будуть використані кілька параметрів. Ці параметри можуть бути задані у загальній формі для опису взаємодії з будь-якими матеріалами.

Хвильове число в вільному просторі:

$$k_0 = \omega (\mu_0 \epsilon_0)^{1/2} = \omega / c = 2\pi / \lambda_0 = \beta \quad (2.7)$$

де c – швидкість світла $\approx 3 \times 10^8$ (м/с), ϵ_0 – діелектрична проникність вільного простору $= 8,8542 \times 10^{-12}$ (ф/м), μ_0 – магнітна проникність вільного простору, що дорівнює $4\pi \times 10^{-7}$ (Гн/м). Діелектрична проникність пов'язує напруженість електричного поля E та електричну індукцію D співвідношенням $D = \epsilon_0 E$. Магнітна проникність пов'язує напруженість магнітного поля H та магнітну індукцію B співвідношенням $B = \mu_0 H$. Інший корисний параметр - опір вільного простору:

$$\eta_0 = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2}. \quad (2.8)$$

Використовуючи фундаментальні рівняння електромагнетизму та введені параметри, можливо зрозуміти, як створюються електромагнітні поля та хвилі.

На додаток, щоб зрозуміти співвідношення між електромагнітними полями та хвилями, ми повинні також враховувати, що електромагнітні поля поведуться зовсім по-різному в ближній та дальній зонах. У ближній зоні поля є реактивними та квазістатичними, тоді як у дальній зоні вони являють собою хвилі, що поширюються. Це особливо важливо стосовно систем RFID. Ті системи, які функціонують на низьких частотах і де навколишній простір є ближнім полем, взаємодія здійснюється за допомогою квазістатичних хвиль. Системи RFID, що функціонують на високих частотах, які зазвичай працюють у дальній зоні; при цьому взаємодія здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль. Необхідно відзначити, що насправді кордон між ближньої та далекої зонами залежить від геометрії антени. Невеликі антени в порівнянні з довжиною хвилі розмірів мають малу резистивну компоненту випромінювання та велику реактивну компоненту. Таке співвідношення компонентів призводить до неефективності випромінювання.

Якщо розміри антени збільшуються в порівнянні з довжиною хвилі, резистивна компонента зростає, а реактивна – зменшується. При довжині або периметрі антени, що дорівнює половині довжини хвилі, реактивна компонента прагне нуля, а резистивна - досягає максимуму. При таких розмірах антена є резонатором та випромінює ефективно. Резонансні антени зазвичай використовуються в системах, які працюють у дальній зоні. Подальше збільшення розмірів призводить до збільшення реактивної компоненти та зменшення

резистивної; при розмірах, рівних довжині хвилі, імпеданс близький до імпедансу антени з нескінченними розмірами. Такий цикл повторюється із періодом у довжину хвилі. Фідерні лінії та ланцюги також характеризуються імпедансами. З теорії ланцюгів відомо, що для досягнення максимуму передачі потужності імпеданси генератора та навантаження повинні бути комплексно сполученими. При цьому реальні компоненти цих імпедансів мають бути рівними, а реактивні – рівними та протилежними. [1]

2.3 Зв'язок у дальній та ближній зоні поля

Тепер ми розглянемо антени та основні принципових співвідношень, необхідних для інформаційної та енергетичного взаємозв'язку зчитувача та мітки в дальній та ближній зонах поля. Завдяки відмінностям поведінки електромагнітного поля у кожній зоні, підходи суттєво різні. У ближній зоні зв'язок у системі RFID здійснюється між витокком і стоком енергії, тоді як у дальній зоні - між передавачем та приймачем.

2.3.1 Зв'язок у ближній зоні поля

Електромагнітні поля у ближній зоні є за своєю суттю реактивними та квазістатичними. Електричні поля не пов'язані з магнітними полями і, залежно від типу використовуваної антени, одні можуть переважати з інших. В разі ідеального диполя переважають електричні поля, тоді як у випадку малій рамки домінує магнітне поле. Зв'язок між міткою та зчитувачем може бути ємнісним, при використанні електричного поля або індуктивної – при використанні магнітного поля. Серед систем RFID ближнього поля індуктивно пов'язані системи знаходять ширше поширення, ніж ємнісні.

В антенах індуктивних систем передбачається взаємодія за допомогою квазістатичного магнітного поля. Ці системи по суті являють собою трансформатор, в якому струм, що протікає за ним первинної обмотки, індукуює магнітне поле, яке, своєю чергою, індукуює струм та напруга у вторинній обмотці. В разі RFID первинна обмотка розміщена у зчитувачі, а вторинна – у мітці. Невелика рамкова антена краще дипольної антени, так як у ближній зоні магнітне поле рамкової антени значно перевищує магнітне поле дипольної антени. Периметр малої рамки менше чверті довжини хвилі. Ближнє поле та випромінювання в дальній зоні великої та малої рамок суттєво різні. Розподіл струму по периметру у великій рамці дуже нерівномірно, тоді як у малій рамці воно приблизно поступово. Крім того, в рівняннях поля малої рамки вважається, що відстань від мітки до рамки істотно більша за її розміру, що може не завжди виконуватись.

У системах з ємнісним зв'язком антени зчитувача та мітки створюють та взаємодіють за допомогою квазістатичного електричного поля. У таких системах напруженість поля визначається не струмами, а розподілом зарядів, що визначає інтенсивність взаємодії. Оскільки інтенсивність взаємодії залежить не від струму, як від накопиченого заряду, провідність у цьому випадку грає менш важливу роль, ніж у індуктивних системах. Ємнісні системи, однак, більш схильні до впливу навколишніх факторів. Для систем з ємнісним зв'язком через переважання електричного поля найбільш підходящою антеною є провідник або плоский диполь. У тому випадку, коли як і первинна, і вторинна антена використовується диполь, може бути знайдено грубе наближення електричне поле з використанням моделі ідеального диполя. Причому це може бути зроблено тільки в припущенні, що відстань між первинної та вторинної антенами набагато більше їх розмірів.

У системах з ємнісним зв'язком, як і в системах з індуктивним зв'язком, для забезпечення максимального зв'язку необхідні резонансні ланцюги. Так як антена має власну ємність, індуктивність включається паралельно до мітки і послідовно в зчитувачі. Аналогічно системам з індуктивним зв'язком мітка взаємодіє зі зчитувачем за допомогою варіації свого імпедансу. З метою забезпечення взаємодії та передачі енергії мітці від зчитувача в ємнісних системах, також як і індуктивних,

бажано максимізувати зв'язок. При використанні електромагнітних хвиль, мета та сама, але механізми забезпечення взаємодії абсолютно різні. [5]

2.3.2 Зв'язок у дальній зоні поля

У бездротових комунікаційних системах, що працюють у дальній зоні поля, взаємодія між елементами цих систем досягається за рахунок передачі, поширення та прийому електромагнітних хвиль.

Елементарний електричний диполь та рамкова антена характеризуються високим реактивним опором (або індуктивним, або ємнісним), неефективними випромінюючими властивостями та складністю узгодження. Будучи зручними для роботи в ближній зоні, вони практично не підходять для роботи в дальній зоні, де передача і особливо прийом енергії повинні бути ефективними. З цієї причини у дальній зоні найчастіше використовуються резонансні антени, характерні розміри яких можна порівняти з довжиною хвилі випромінюваного сигналу. Резонансні антени мають більш ефективні випромінюючі властивості та низький реактивний складовий імпеданс. Найчастіше у системах RFID використовуються напівхвильові диполі та патчеві (мікрополоскові) антени. Електромагнітні хвилі, що випромінюються антенами, представляють собою суперпозицію взаємопов'язаних електричного та магнітного полів. Інтенсивність електромагнітних хвиль залежить від типу антени та вихідної потужності генератора і зменшується зі збільшенням відстані від джерела. Кутовий розподіл хвиль визначається лише антеною.

Слід зазначити, що використання напівхвильової антени в системах, що функціонують у дальній зоні, не є обов'язковим. Можуть використовуватись антени менших розмірів, проте при цьому реактивна частина імпедансу збільшиться, а активна зменшиться. Це може спричинити складнощі відповідно до антени з навантаженням. У в результаті зменшиться ефективність передачі потужності сигналу, що, свою чергу, зменшить доступну потужність мітки та знизить дальність дії системи загалом. Існує кілька типів резонансних антен. Зазвичай

використовуються фольговані напівхвильові диполі та мікросмужкові. (патчові) антени різних конфігурацій. Дипольні антени бувають дротяного типу чи друкованого типу – на підкладці. Найчастіше патчові антени друкуються на діелектриці, у вигляді друкованої схеми на матеріалі з провідною поверхнею знизу.

Зазвичай через виробничі особливості дротяні диполі коштують дорожче, ніж друковані антени, тому у застосуваннях, що вимагають більших кількостей, друковані антени краще. Якщо в антені найбільш важливі омичні втрати, ширина диполя має бути достатньо великий. При цьому слід використовувати матеріали високої якості з малим опором. Через необхідність забезпечення високої ефективності за рахунок резонансу напівхвильові диполі можуть мати відносно невелику смугу пропускання. Смуга пропускання диполя може бути збільшена за рахунок збільшення ширини чи ефективного діаметра вібраторів.

Мікросмужкові або патчеві антени є планарними антенами, які, як правило, наносяться друкованим чином діелектрична основа. Вони складаються із трьох шарів: зверху – провідна пластина (патч), знизу – провідна металева основа та діелектричний шар між ними. Пластина, як правило, за розмірами порядку кількох часток довжини хвилі, а основа має кілька великі розміри. Як діелектрик використовуються широко поширені матеріали, які застосовуються для високочастотних друкованих плат, наприклад, PTFE чи інші. Діаграма випромінювання мікросмужкових антен в основному формується областю поверхні над основою. Пластина може мати різні форми. Зазвичай використовується кругла, еліптична чи прямокутна форма. Різні форми пластин використовуються для того, щоб забезпечити варіацію різних параметрів, включаючи вхідний імпеданс, ефективність випромінювання та поляризацію. Підведення енергії до пластини здійснюється трьома способами: за допомогою коротких ліній передачі, безпосередньо електромагнітної зв'язком або апертурним способом. Кожен спосіб запитання має свої особливості, але, як і у випадку форми пластини, основними параметрами, на які впливає запитка, залишаються вхідний імпеданс, ефективність випромінювання та поляризація. Вибір діелектрика важливий не лише з погляду ширини смуги пропускання, але також важливий

інших характеристик антени. Так для забезпечення її добрих експлуатаційних характеристик діелектрики повинні мати мінімальні втрати, високу температурну стабільність та стабільність геометричних розмірів, а також малі неоднорідності. Мікросмушкові антени можуть мати більшу вартість, ніж вартість друкованих дипольних антен, оскільки необхідні металеве основу та діелектрик. Друкарські диполі також розташовані на підставі, але властивості їх підкладки значно менше впливають на характеристики антени, ніж у разі основи патчової антени. У загальному випадку параметри патчових та друкованих дипольних антен порівнянні, які використання у багатьох випадках визначається конкретним застосуванням, діапазоном частот, вартістю матеріалів та виробничими можливостями.

Антени здатні концентрувати поля у вузьких пучках випромінювання. При цьому збільшується щільність потоку потужності та дальність передачі. Для опису того, як антена концентрує енергію в одному напрямку в порівнянні з будь-якими іншими напрямками використовується термін спрямованість. Спрямовані властивості випромінювання визначається лише діаграмою спрямованості антени. Часто корисно, проте, описувати не лише спрямовані властивості антени, а й ефективність її перетворення вхідної потужності у випромінювану вихідну потужність. Для цього використовується термін посилення. Іноді посилення визначається як відношення інтенсивності випромінювання в даному напрямку до потужності, яка підводиться до антени. Точніше коефіцієнтом посилення називається відношення потужності, що підводиться до еталонної антени, до потужності, підводиться до спрямованої антени за умови отримання однакової напруженості поля у точці прийому. Частина цієї потужності, необхідну для забезпечення власних енергетичних потреб та виявлення інформації, мітка поглинає. Іншу частину потужності, необхідну передачі інформації зчитувачу, вона відбиває. Частина цієї потужності, необхідну для забезпечення власних енергетичних потреб та виявлення інформації, мітка поглинає. Іншу частину потужності, необхідну передачі інформації зчитувачу, вона відбиває. [4]

2.4 Відбиття

Більшість пасивних міток RFID, що використовують енергію поля та в ближньої, і в дальній зоні, досягають взаємодії зі зчитувачем за рахунок варіації імпедансу навантаження. При цьому у дальній зоні варіація імпедансу навантаження досягається керованим розладом імпедансів навантаження та антени. Це призводить до того, що частина потужності відбивається назад через антену і розсіюється приблизно так само, як антена випромінює власний сигнал. Відбитий назад сигнал виявляється та декодується зчитувачем. Така форма взаємодії називається модуляцією відбитого сигналу (backscattering modulation). Коли електромагнітна хвиля поширюється серед і потрапляє на неоднорідність, вона розсіюється. Це називається відбитком. У радіоелектронних системах, які містять приймач, таких, наприклад, як РЛС або RFID, передавач випромінює електромагнітну хвилю радіодіапазону, а приймач виявляє відображення від об'єкта. Коли приймач поєднаний з передавачем, відображення називається моностатичним чи зворотним відображенням. Системи RFID досягають взаємодії з об'єктом за рахунок керованої зміни зворотного відображення етикетці. Корисною характеристикою моностатичного відображення об'єктів є діаметр зворотного розсіювання або ефективна поверхня розсіювання (ЕПР). Організація IEEE визначає процес відображення при поширенні радіохвиль як "процес, при якому енергія хвилі, що поширюється, розсіюється в результаті взаємодії з неоднорідностями в середовищі". Це відбувається внаслідок того, що електромагнітні хвилі падають на об'єкт та індукують осцилюючі заряди та струми всередині та на поверхні об'єкта, а це, у свою чергу, призводить до появи вторинної електромагнітної хвилі. Ефективна поверхня розсіювання (ЕПР, англ. RSC – radar cross section) визначається як міра потужності, відображеної у визначеному напрямку. Розглядаються три випадки: моностатична або ЕПР зворотного відображення, коли напрямки падаючої та відбитої хвиль збігаються, але протилежні у напрямку, ЕПР прямого розсіювання, коли ці хвилі мають однаковий напрямок, а також бістатична ЕПР, коли обидва напрями поширення хвиль різні.

При аналізі модульованих сигналів від міток в основному необхідно звертатися до характеристик антен міток, що відбивають. Так як антени призначені для прийому та передачі випромінювання, зазвичай розглядають два різновиди відбитків.

Перший вид відображень, структурний, визначається тим, що антена має певну конфігурацію, розміри та матеріал, з якого вона виготовлена. Другий вид - власне антенний, визначається тим, що антена призначена для передачі радіочастотної енергії та має специфічну діаграму спрямованості. Варто зазначити, що відсутня точне формальне визначення цих видів відображень, та є їх різні визначення.

На практиці, однак, докільця не відповідає моделі вільного простору. Властивості каналу розповсюдження сигналів залежать від таких параметрів, як вологість та температура середовища, а також визначаються взаємодією з різними навколишніми предметами.

Індуктивні системи оперують магнітними полями, які чутливі до струмів. Коли досить великі провідні предмети піддаються впливу магнітних полів, що змінюються в часі, них індукуються струми. Ці струми, звані вихровими струмами, протидіють магнітному полю, яке індукувало їх, а також призводять до омичних втрат. Вихрові струми послаблюють магнітні поля та у разі систем RFID можуть засмучувати антени та зменшувати дальність дії. Особливо чутливими є системи із високою добротністю. Щоб запобігти вихровим струмам для екранування великих провідників використовуються мідно-порошкові матеріали або ферити. Ферити (оксифери) - сполуки оксиду заліза Fe_2O_3 з більш основними оксидами інших металів, які є феримагнетиками. Широко застосовуються як магнітні матеріали в радіоелектроніці, радіотехніці та обчислювальній техніці, оскільки поєднують високу магнітну сприйнятливість з напівпровідниковими або діелектричними властивостями. У трансформаторах для зниження вихрових струмів та омичних втрат зазвичай застосовують ферити, що мають низьку електропровідність. Системи з ємнісним зв'язком також дуже чутливі до навколишніх предметів. Оскільки ємнісні системи здійснюють взаємозв'язок за

допомогою електричного поля, їх проблеми зумовлені спотворення різниці потенціалів. Будь-які заземлені об'єкти притягують лінії електричного поля антени та суттєво змінюють конфігурацію зони взаємодії зчитувача та мітки. [4]

2.5 Вплив сусідніх антен

Коли безліч міток знаходиться на близькій відстані один від другої, зв'язок між їх антенами може шкідливо впливати на прийом та передачу сигналів.

У ближній зоні близько розташовані мітки можуть викликати розлад сусідніх антен. Особливо чутливими є мітки з високою добротністю. Один із способів вирішення цієї проблеми в системах ближнього поля полягає в тому, що антени міток, які передбачається експлуатувати близько один до одного, слід налаштовувати більш високу частоту. У системах RFID дальньої зони діаграми спрямованості антен міток також можуть суттєво спотворюватися при їх близькому взаємному розташування та, відповідно, ефективність передачі потужності та сигналів знижуватиметься.

Зміни температури навколишнього середовища викликають зміни параметрів узгоджувальних ланцюгів і, отже, можуть призводити до неефективної передачі потужності. При цьому системи з високою добротністю через зсув резонансної частоти можуть піддаватися серйозного розладу. Тому максимально по можливості повинні застосовувати компоненти з низьким температурним коефіцієнтом. Вологість може призводити до деградації характеристик. У загальному випадку ці ефекти найбільш шкідливі на високих частотах. [6]

3 ПРОЦЕС ВСТАНОВЛЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМАХ RFID

3.1 Процес зв'язку

Зв'язок між зчитувачем та міткою є невід'ємною частиною технології RFID. Процес зв'язку складається з передачі та прийому інформації. Для передачі каналом зв'язку з перешкодами інформація перетворюється, накладається на сигнал і передається. Після прийому сигналу з перешкодами, суміш демодулюється та обробляється для виділення початкової інформації. У технології RFID інформація включає команди управління та дані у двійковому вигляді. Зазвичай команди виділяються окремими рядками двійкових даних, але в деяких випадках вони представляють є деякою унікальною сигнатурою модуляції. В таких випадках потрібна певна обробка сигналу. Щодо даних, для них виявляється зручним використовувати пристрої для кодування. Після того, як дані закодовані, вони накладаються на несучий сигнал. Такий процес називається модуляцією. Модуляція необхідна як для передачі даних за допомогою каналу розповсюдження сигналу, так і для узгодження спектра частот з адміністративними регламентними обмеженнями. [7]

Кожен сигнал може бути представлений у вигляді діапазону частот. Ці частоти дозволяє визначити перетворення Фур'є. Таке визначення корисно не тільки для узгодження з регламентами, а й для узгодження частотних характеристик компонентів системи Антени, наприклад, мають певні частотні (спектральні) характеристики, відповідно до яких вони можуть ефективно випромінювати або приймати сигнали. Передача або прийом компонентів частоти сигналу поза цією спектральною характеристикою, будуть неможливі. Найчастіше антени використовуються як елементи фільтрації. У цьому розділі ми коротко розглянемо принципи та терміни, які використовуються для опису сигналів та спектрів частот, пов'язаних з ними.

Іншим дуже важливим принципом оцінки систем зв'язку є принцип лінійної інваріантності. Лінійно-інваріантні системи (ЛІС) – це системи, які є лінійними,

тобто підкоряються принципу суперпозиції, та інваріантними в часі, яких тимчасова затримка вхідного сигналу відповідає такій тимчасовій затримці вихідного сигналу. За допомогою цих властивостей ми можемо оцінювати складніші сигнали, включаючи ефекти фільтрації, а також сучасні методи модуляції.

Уявлення про ширину спектра є особливо важливим з точки зору швидкості передачі даних, співвідношення потужності сигналу до потужності шуму та задоволення норм регламентів. Взагалі, ширина спектра - це область позитивних частот, які займає сигнал, проте однозначного визначення немає. Абсолютна ширина спектра – діапазон частот, поза яким рівень спектральних складових дорівнює нулю. Ширина спектра за рівнем n дБ, де n – деяке значення, зазвичай рівне 3, 20, або 60 дБ - це діапазон частот, де рівень спектральних складових не опускається нижче за максимальне значення, що дорівнює n дБ.

Ширина спектру по перших нулях для систем обмеженою смугою пропускання – діапазон частот між першими нулями вище та нижче центральної частоти.

При розгляді параметрів сигналу у відносних одиницях можна вказувати визначення ширини спектра. Однак при розгляді сигналів в абсолютних одиницях має бути дано конкретне визначення ширини діапазону.

Одним із основних параметрів систем RFID є дальність дії. В індуктивних або ємнісних системах, що функціонують у ближній зоні поля, дальність дії невисока - вона досягає одиниць - десятків сантиметрів. Причиною цього є різке спадання напруженості електричного (зворотна кубічна залежність) та магнітного (зворотна квадратична залежність) полів з відстанню в сукупності з необхідністю дотримання суворих вимог щодо електромагнітної сумісності (регламентів) та санітарних норм. При цьому можливості збільшення дальності таких систем практично вже вичерпані. Дальність дії систем RFID, що функціонують у дальній зоні електромагнітного поля залежно від типу мітки – чипова або безчипова, пасивна чи напівактивна – може становити від одиниць до десятків метрів. Порівняно із системами ближньої зони дальність збільшується за рахунок менш

різкого (лінійного) зменшення напруги електромагнітного поля. Крім позитивного ефекту, збільшення дальності дії може призводити до небажаних наслідків. Так, зокрема, збільшення дальності дії призводить до розширення зони зчитування апаратури і може знижувати її швидкодію через необхідність дозволу колізій сигналів від великої кількості міток. Крім того, можуть виникнути проблеми електромагнітної сумісності з іншим радіоелектронним обладнанням, наприклад, з близько розташованими зчитувачами інших систем RFID. Отже грамотний вибір параметрів, що впливають на дальність дії, може підвищити ефективність функціонування систем RFID загалом. [8]

3.2 Кодування в лінії передачі сигналу

У цифрових системах зв'язку символи двійкових даних мають бути перетворені на форму, яка була б зручною при їх передачі. Зазвичай це робиться за допомогою передачі послідовності імпульсів, які форматовано для представлення символів даних. Таке імпульсне Форматування часто називається лінійним кодуванням.

Лінійне кодування виникло у телефонії, де передача здійснювалася лініями з мідних проводів. Однак таке кодування знаходить широке застосування та в бездротовій передачі даних. На рис.3.1. показані методи кодування, що зазвичай використовуються. Залежно від виконання вони можуть бути двох або трьох рівнів – позитивний і нульовий рівень, або позитивний, негативний і нульовий рівні. Ті сигнали, які використовують позитивний і негативні рівні, називають біполярними або полярними, а сигнали, які використовують тільки позитивний та нульовий рівні, відносяться до уніполярних. Оскільки лінійне кодування використовується в провідній, вузькосмугової передачі даних, вибір рівнів має суттєве значення. Так як в системах RFID передаються вузькосмугові сигнали, закодована послідовність імпульсів модулює несучу частоту. Залежно від використовуваної схеми модуляції може бути необхідним перетворення біполярного до уніполярного сигналу, як,

наприклад, у разі амплітудної маніпуляції. Ми не будемо докладно аналізувати кодування доти, доки не розглянемо процес модуляції, оскільки і кодування та модуляція спільно визначають смугу пропускання, ймовірність помилки та складність приймача.

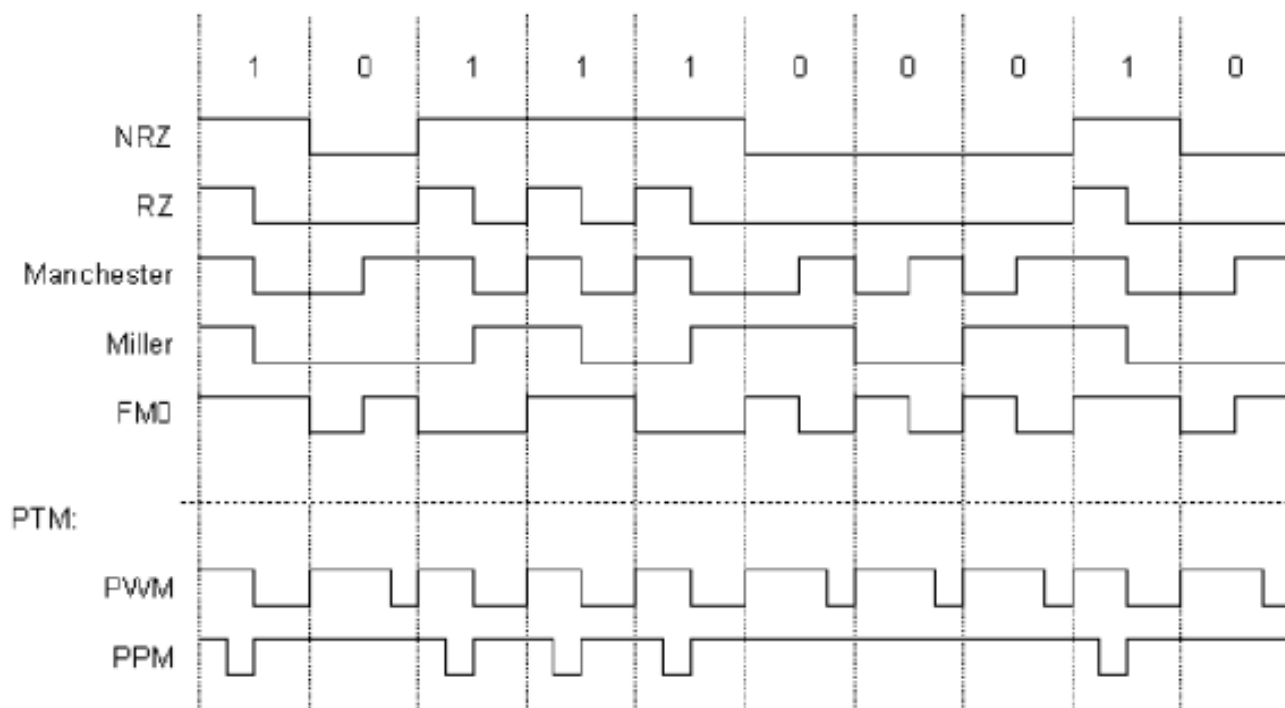


Рис. 3.1 Способи кодування, які використовуються у системах RFID.

Існує два основних класи лінійних кодів: рівневі коди та перехідні коди. Рівень коду містить інформацію в рівні сигналу та дані зазвичай декодуються миттєво, незалежно від попередніх даних. Прикладами подібних рівневих кодів є код без повернення до нуля (Non Return to Zero – NRZ) та з поверненням до нуля (Return to Zero – RZ). Перехідні коди з іншого боку містять інформацію у переходах сигналу. Самі переходи можуть бути миттєвими, але вони визначаються на основі даних пам'яті, яка фіксує закодовані дані. Зазвичай у технології RFID використовуються такі коди, як Манчестерський код (код із переходом фази) – Manchester, код Міллера (код із модуляцією затримки) – Miller, та код FM0 (двофазово-просторовий код) – це все лінійні коди. Коди Міллера та FM0 використовують пам'ять про попередній стан коду, а Манчестерський код – не використовує. Час-імпульсна модуляція (BIM, англ. PTM – Pulse Time Modulation)

для передачі інформації варіює тривалість імпульсу та підрозділяється на широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ, англ. PWM – Pulse Width Modulation) та фазоімпульсну модуляцію (ФІМ, англ. PPM – Pulse Position Modulation). Це не лінійні коди і такі способи кодування також використовуються при кодування вузькосмугових сигналів. Спосіб Манчестерського кодування, відомий також як розщеплено-фазове кодування або цифровий двофазний код, є миттєвим перехідним кодом. Назва двофазний походить через того, що по суті прямокутна хвиля зі зсувом фази 0 градусів відповідає 1, а прямокутна хвиля зі зсувом фази 180 градусів відповідає 0. Така ситуація може викликати складності при прийомі та, крім того, цей код у порівнянні з іншими кодами має ширший спектр і здатний виявляти помилки. Проте Манчестерський код широко використовується у локальних мережах Ethernet. Він зручний тому, що, попри біполярну форму, немає постійної складової. Кодування Міллера – інший перехідний код, який, на відміну від Манчестерського коду, вимагає наявності пам'яті про попередню інформації. Він забезпечує гарний тимчасовий розподіл, причому, проти Манчестерським кодом, без розширення спектра. Крім того код Міллера більш зручний для модуляції, тому що в цьому випадку відсутні складнощі з переходом фази. Кодування FM0, також відоме як двофазове - просторовий код є ще одним перехідним кодом, який потребує наявності пам'яті інформації. Кодування FM0 схоже кодуванню Міллера, проте в цьому випадку перехід відбувається точно в початку кожного бітового періоду. Це призводить до легшого забезпеченню синхронізації при прийомі, однак, за рахунок розширення спектра. [9]

Час-імпульсна модуляція (ВІМ) – це такий клас способів кодування, який зазвичай використовується для кодування аналогового сигналу в цифровій на часовій шкалі. ВІМ включає широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) та фазо-імпульсну модуляцію (ФІМ). Така модуляція часто використовується в системах RFID для кодування цифрових сигналів під час тимчасової передачі даних. У кодуванні ФІМ наявність модуляції на деякому інтервалі (фреймі) відповідає 1, а відсутність модуляції відповідає 0. У широтно-імпульсній – ШІМ модуляції, двійкові одиниці та нулі можуть бути представлені різними тривалостями імпульсу

за певний проміжок часу. Такі способи кодування даних можуть бути вигідними з погляду забезпечення заданої смуги пропускання, покращення синхронізації та зниження ймовірності помилок. Розглянуті коди, які зазвичай використовуються в системах RFID – це тільки деяка частина кодів, більшість з яких були розроблені для провідних систем. Так як у провідних та бездротових системах процеси передачі та прийому даних, а також канали поширення сигналів суттєво різні, то для конкретної сфери застосування необхідно визначити конкретний спосіб кодування. При цьому коди ВІМ забезпечують необхідну гнучкість вибору.

Хоча переносником інформації у бездротовому зв'язку є модульований несучий сигнал, для дослідження його спектральних характеристик значно зручніший власне модулюючий кодовий сигнал. Залежно від типу модуляції, що використовується, спектральні характеристики, ймовірно, залишаться тими самими, а спектр буде зосереджений біля несучої частоти і зменшений за величиною. [10]

3.3 Модуляція

Передача інформації на несучій частоті f_c за допомогою змін амплітуди, частоти або фази, або всіх параметрів одночасно, називається модуляцією. У системах RFID інформація передається по бездротовому каналу. Існує безліч аналогових та цифрових методів модуляції, але всі вони різними способами змінюють амплітуду, частоту або фазу коливання. Далі ми розглядатимемо тільки двійкову цифрову модуляцію, яка називається маніпуляцією. Існує три основні методи маніпуляції:

- Амплітудна маніпуляція (ASK),
- Двійкова фазова маніпуляція (BPSK),
- Частотна маніпуляція (FSK).

У всіх трьох методах амплітуда, фаза або частота змінюється відповідно до інформації, яку несе уніполярний двійковий сигнал, що представляє цифрові дані

відповідно до обраного способом кодування. При амплітудній маніпуляції сигнал модулюється двома амплітудами. При двійковій фазовій маніпуляції (BPSK) несучий сигнал може мати фазу 0 та 180 градусів. При частотній маніпуляції (FSK) сигнал може мати дві несучі частоти. У системі RFID інформація передається від зчитувача до мітки та від мітки до зчитувача. Оскільки фізичні обмеження у системі різні, у цих двох випадках використовуються різні методи модуляції. Зчитувач повинен генерувати такий сигнал, який домінував би над шумом і міг забезпечити функціонування мітки. Оскільки мітка різко обмежена вартістю та розмірами (вона містить найпростіший приймач), сигнал, що модулюється зчитувачем, має бути простим. Тому при передачі сигналу від зчитувача до мітки використовується модуляція ASK, так як вона передбачає відносно просте виявлення. Виявлення може бути когерентним, коли враховується фаза несучого сигналу, або некогерентним, коли фаза сигналу не враховується. Некогерентне виявлення реалізується простіше та дешевше. Детектування огибаючої – різновид некогерентного виявлення, коли детектується загальна амплітуди модульованого сигналу. Технічні характеристики мітки суттєво відрізняються від показників зчитувача. Оскільки пасивна мітка не має передавача, вона передає свою інформацію за допомогою варіації навантаження та модуляції зворотного розсіювання. З огляду на те що в порівнянні з сигналом зчитувача потужність модульованого міткою сигналу мала, часто виділення цього сигналу застосовують перенесення спектра убік від центральної частоти за допомогою піднесучої частоти. Модуляція навантаження та зворотного розсіювання з використанням піднесучою дозволяють здійснити способи модуляції FSK та BPSK. [11]

3.3.1 Кодування і модуляція у прямій та зворотній лінії

У лінії зв'язку від зчитувача до мітки (її часто називають прямою лінією зв'язку) повинні бути виконані такі умови:

- Мітка повинна отримувати достатню для чіпа енергію,

- мітка повинна виявляти сигнал,
- сигнал мітки повинен задовольняти обмежень щодо напруженості поля та смузі пропускання.

Перша умова очевидна. У пасивній системі RFID мітка повинна отримувати від зчитувача необхідну енергію, тому що якщо схеми кодування та модуляції не матимуть достатнього енергоживлення, то мітка не зможе функціонувати. Велике значення має виявлення сигналу. Приймач мітки повинен бути максимально простим і тому він має низьку чутливість. Складні приймачі більш чутливі, але мають вищу вартість. Крім того, мітка має забезпечувати синхронізацію сигналу. Схеми кодування передбачають синхронізацію, або заднім фронтом – для ШІМ сигналу, чи переходом – для сигналу, кодованого Манчестерським кодом. Нарешті, ймовірність передачі помилки має бути мінімізована. Якщо достовірність даних не висока, зв'язок у системі не буде забезпечено незалежно від оптимізації швидкості передачі даних. Для задоволення регламентних обмежень крім схем кодування та модуляції повинні бути присутніми схеми формування та фільтрації сигналу.

У системах RFID найнижчої вартості найчастіше застосовують амплітудну маніпуляцію, а в мітках застосовують найпростіші та дешеві приймачі. При двійковій амплітудній модуляції ASK уніполярна інформація передається двома амплітудами несучого сигналу. Якщо менша з двох амплітуд дорівнює нулю, то цей випадок називається перемикальною модуляцією OOK (On-Off shift Keying). У системах RFID, особливо в частотних діапазонах з найбільш строгими обмеженнями на смугу пропускання, зазвичай використовується індекс модуляції менше одиниці. Негативними наслідками цього є зменшення різниці між високими та низькими рівнями сигналу та збільшення ймовірності помилки.

Детектування огинаючої радіосигналу – це вид детектування, часто використовується для виявлення амплітудно-модульованих сигналів. По суті, виділяється та обробляється позитивна частина огинаючої реальної складової вхідного сигналу. Резистор та конденсатор утворюють фільтр низьких частот, постійна часу якого RC обрано таким чином, що вихідний сигнал відстежує огинає вхідний сигнал. Верхня межа смуги пропускання низькочастотного фільтра має

бути набагато менше частоти несучого сигналу, але набагато більше ширини смуги вхідного модульованого сигналу.

Умови та вимоги до лінії зв'язку від мітки до зчитувача (її часто називають зворотною лінією зв'язку) відрізняються від умов і вимог до пряма лінія зв'язку. Зв'язок від мітки до зчитувача здійснюється за допомоги варіації навантаження та зворотного розсіювання. Залежно від варіанти реалізації зв'язку модулюється і амплітуда, і фаза сигналу мітки, або тільки амплітуда. При цьому схеми кодування та модуляції в мітці повинні мати мінімальне енергоспоживання та ширину спектру сигналу. Так як рівні сигналу у відповідь мітки невеликі, вони регламентуються не так суворо, як сигнали великого рівня потужності зчитувача. Однак наслідком малого рівня сигналу є складність його прийому зчитувачем. Найчастіше випромінюваний сигнал, який надходить на вхід приймача зчитувача, значно перевищує сигнал, що приходить з мітки, тому його виявлення пов'язане зі значними труднощами. Як правило, цю проблему вирішують зрушенням сигналу на частоту, що піднесе. У разі застосування BPSK або FSK модуляції піднесуча легко реалізується за допомогою АМ та ФМ, які використовуються при модуляції навантаження та зворотньому розсіюванні. [12]

Метод піднесучої частоти реалізується за допомогою модуляції навантаження або модуляції зворотного розсіювання на більш високих частотах, ніж швидкість передачі. Зміна фази або частоти при модуляції піднесе здійснюється відповідно BPSK або FSK. Деякі системи RFID, які, наприклад, працюють на частоті 13,56 МГц використовують частоту піднесе 212 кГц. При цьому завдяки модуляції в мітці, бічні смуги сигналу розташовуються на 212 кГц вище та нижче несучої частоти 13,56 МГц. Перенесення сигналу на піднесучі частоти призводить до рознесення бічних смуг сигналу мітки та сигналу зчитувача, що забезпечує зниження рівня шумів та, відповідно підвищує чутливість приймача зчитувача. Таке рішення, однак, призводить до підвищення робочої частоти схеми синхронізації або генератора в мітці і, отже, збільшення її енергоспоживання.

Кодування у зворотній лінії зв'язку (від мітки до зчитувача) відрізняється від кодування прямої лінії зв'язку (від зчитувача до мітки) тим, що енергія сигналу має

бути мінімізована. Зменшення енергії відбитого сигналу дозволяє забезпечити більшу кількість енергії, доступної для живлення електронної схеми етикетці. Амплітуда сигналу, однак, повинна бути достатньою для того, щоб зчитувач зміг виявити сигнал. Зазвичай використовуються коди Манчестера, FM0 або інші. Складність використання коду Манчестера у тому, що варіація фази сигналу може призводити до помилки прийому інформації зчитувачем через неоднозначність визначення зсуву фази на 180 градусів. З іншого боку, недоліки інших методів – кодування з переходами всередині інформаційного біта, полягають у тому, що вони вимагають більш високочастотної або меншої синхронізації швидкості передачі.

При вирішенні проблем зв'язку, таких, наприклад, як множинний доступ, захист від перешкод та придушення інтерференцій, враховується ширина спектра, енергія сигналу та інші параметри. Модуляція з розподіленням спектром (Spread Spectrum – SS), що здійснюється за рахунок розподілу енергії сигналу по смузі частот набагато більшої, чим потрібно власне сигналу, дозволяє здійснити множинний доступ, захист від перешкод та придушення інтерференцій. Системи RFID зазвичай використовують методи модуляції з розподіленням спектром UHF і мікрохвильовому діапазоні частот. На цих частотах, як правило, регламенти допускають для систем із розподіленням спектром великі вихідні потужності сигналів порівняно з вузькосмуговими системами. Енергія розподіляється у широкій смузі частот, зменшуючи ймовірність шкідливого впливу одних пристроїв інші. Відомі два найбільш поширені типи модуляції з розподіленням спектром: пряма послідовність (Direct Sequence – DS) та стрибкоподібна перебудова частоти (Frequency Hopping – FH). У DS модуляції псевдошумовий кодовий сигнал із періодом меншим, ніж бітовий період інформації, змішується із сигналом повідомлення, створюючи вихідний широкосмуговий сигнал. Щоб відновити повідомлення, приймач повинен демодулювати код тієї ж псевдошумової послідовністю, яка використовувалася при передачі сигналу.

У системах FH зі стрибкоподібною перебудовою частоти передачі інформації використовують безліч вузькосмугових каналів на частотах, обраних із псевдовипадкового списку, та перебудовуються на них. Це призводить до ефекту

усереднення енергії у смузі частот перебудови. При Це для того, щоб прийняти модульований сигнал приймачі таких систем повинні використовувати той самий псевдовипадковий список частот. У пасивних системах RFID низької вартості сигнали з розподіленим спектром часто використовуються інакше, ніж у технології зв'язку. Для досягнення повної DS або FH модуляції мітці знадобилася б надмірно складна та енергоємна обробка сигналу. Замість цього, антену мітки проектують таким чином, щоб її смуга пропускання охоплювала всю ширину спектра сигналів, випромінюваних зчитувачем. У цьому випадку мітка отримує всю потужність, укладену у вузькосмугових каналах, що перебудовуються, або розподілену по повній ширині смуги частот при DS модуляції Незалежно від того, яка модуляція використовується - DS або FH, сигнали зчитувача модулюються по амплітуді і потім відбиваються міткою. У технології RFID таке рішення досить ефективно, оскільки дозволяє досягти більш високої потужності відбитого сигналу як для вузькосмугових систем, так і для систем із розподіленим спектром.

Розуміння важливості характеристик енергоспоживання інтегральних схем у мітці суттєво не лише з погляду проектування самих схем, а й з погляду розробки протоколів зв'язку. Кодування, модуляція та команди можуть і повинні розроблятися з урахуванням показників споживаної потужності. Мінімізація споживаної потужності пасивної мітки RFID безпосередньо пов'язані з підвищенням дальності зчитування. У мітці використовуються як аналогові, і цифрові елементи. Незважаючи на те, що цифрових кіл часто більше, ніж аналогових, енергоспоживання аналогових ланцюгів непропорційно велике. Через це аналогові ланцюги повинні проектуватися найбільш грамотно з погляду споживаної потужності. Узгоджувальні ланцюги антен, вхідні ланцюги та джерело живлення повинні розроблятися з урахуванням максимального коефіцієнта передачі потужності.

CMOS цифрові схеми мають найкращі характеристики енергоспоживання, однак і внесок цих ланцюгів у загальне споживання потужності чіпа дуже суттєвий. Енергоспоживання цифрових CMOS схем поділяється на статичне та динамічне. Статичною потужністю споживання називається потужність, яку споживає схема в

стані спокою. В ідеалі вона дорівнює нулю. Існують паразитні витoki у діодах та інших елементах, але здебільшого ними можна знехтувати. В основному енергоспоживання цифрових схем CMOS визначається динамічним споживанням. Коротко розглянемо динамічне енергоспоживання. Динамічне енергоспоживання складається із двох складових: споживання короткого замикання та ємнісне споживання. Потужність споживання короткого замикання обумовлена короткочасним протіканням струму від джерела живлення на землю в момент перемикавання вентилів. Ємнісна складова потужності споживання обумовлена перезарядження паразитних ємностей інтегральної схеми. Завдяки квадратичній залежності зменшення напруги живлення призводить до найбільшого зниження енергоспоживання мітки. У принципі, зниження енергоспоживання є важливим системним фактором. Основна проблема при цьому проявляється в тому, що зменшення напруги живлення призводить до зростання часу затримки мітки, що знижує швидкодію системи RFID загалом. Можливо, однак, має сенс зменшувати напругу за рахунок збільшення ємності та активності перемикачів. [13]

Інший спосіб зниження потужності полягає у паралельному виконанні певних функцій схеми. Це може призвести до збільшення її площі, але у результаті дозволити покращити характеристики при зниженій напрузі. Інший практичний спосіб полягає у відмові від марних енерговитрат, таких як робота синхронізуючого генератора під час пасивного стану апаратури чи відмова від її надлишкових характеристик. Можливо, також використання енергозберігаючих CMOS елементів, здатних зберігати енергію, яка зазвичай розсіюється як тепло. [13]

3.4 Помилки, та їх вірогідність

Взагалі, є два важливі фактори для оцінки системи зв'язку – смуга пропускання та характеристики прийому сигналу у присутності шуму. Числовою оцінкою якості функціонування аналогових систем є відношення потужності

сигналу до шуму. У цифрових системах критерієм якості є можливість помилки в одному двійковому розряді чи ймовірність появи помилкових бітів (bit error rate – BER). BER - це ймовірність виникнення помилки, коли система повинна ухвалити рішення про прийом одного з двох можливих сигналів. В разі модуляції ASK це сигнали високого чи низького рівня (у системах з ООК низький рівень дорівнює нулю). Приймач має поріг прийняття рішення, вище якого сигнали вважаються сигналами високого рівня, та нижче за який – низького рівня. Повна ймовірність помилки (BER) є сумою ймовірностей помилки, що з обома сигналами. Коли детектування когерентне, використовується більша кількість інформації – інформація про амплітуду та фазу. Коли детектування некогерентне, використовується інформація лише про амплітуду. При цьому Помилки функціонування системи збільшуються. Проте через простоти та невисокої вартості в апаратурі RFID зазвичай використовують некогерентне детектування огибаючої. У сигналах, модульованих ASK та ООК, присутні лише два рівня сигналів Як ці рівні представляють окремий біт, залежить від виду кодування, що використовується. Однак, незалежно від виду кодування, якщо помилки зроблені в процесі визначення рівня сигналу, виникне бітова помилка. Деякі види кодування можуть виявити такої помилки, а інші не можуть. У такому разі можуть бути використані інші методи виявлення та виправлення помилки. У бездротових каналах шуми можуть мати різноманітну природу. Зазвичай розглядають два види шуму - це імпульсні перешкоди та Гаусівський шум. Гаусівський шум зазвичай є результатом фонового випромінювання, теплових перешкод та дробового шуму. У пристроях зв'язку ближньої дії, особливо у пасивних системах RFID невисокої вартості, зазвичай найбільш важливі імпульсні перешкоди, які є результатом інтерференції багатьох інших випромінювань, що заважають.

Джерелами імпульсних перешкод може бути інтерференція сигналів сторонніх джерел чи ефект багатопроменевого поширення. Ці перешкоди найбільш шкідливі для систем RFID, у яких використовуються сигнали малої потужності та прості детектори. Гільбертова модель помилок, створюваних імпульсними перешкодами, представляється у вигляді ланцюга Маркова з двома станами, при

цьому один стан може бути сприятливим, коли ймовірність помилки невелика, а інше несприятливим, коли помилки трапляються з високою ймовірністю. Таку модель запропонував Еліотт, а інші автори використовували та розвинули її. Імпульсні перешкоди можуть спотворювати як окремі біти, так і бітові блоки сигналу.

Щодо Гаусівського шуму, у загальному випадку щільність можливого сигналу з шумом залежить від рівня сигналу. Найбільш простий випадок – коли рівень сигналу дорівнює нулю та шум є єдиним компонентом приймача. Така ситуація характерна для ООК. Однак в ASK з індексом модуляції менше 1 завжди є суміш сигналу із шумом. У результаті можна зробити висновок: чим менша відмінність у рівнях сигналу, тим більша ймовірність помилки. Крім того, нижчі рівні сигналу щодо середньоквадратичного значення шуму дають велику BER. Щоб отримати мінімальну ймовірність помилки, необхідно оптимізувати граничний рівень. Така оптимізація, однак, вимагає знання співвідношення сигнал/шум, що на практиці реалізувати вкрай складно.

Тому, при передачі сигналів від зчитувача до мітки та від мітки до зчитувачу, через необхідність застосування спрощених детекторів, малих рівнів сигналу і, в результаті, щодо високих BER, для підвищення достовірності прийому інформації доцільно використовувати алгоритми виявлення та виправлення помилок.

Хоча випромінюваний зчитувачем сигнал має досить високий рівень, мітка містить спрощені схеми детектування та обробки сигналу, що призводить до високої ймовірності появи помилок у прямій лінії зв'язку. У зворотній лінії зв'язку сигнал, переданий міткою, має щодо низький рівень. При цьому, незважаючи на те, що зчитувач RFID має досить чутливий приймач і набагато складнішу обробку сигналу, через малий рівень сигналу також можлива висока ймовірність появи помилок. Отже, в обох лініях зв'язку доцільно використовувати процедури виявлення чи виправлення помилок. Операції кодування, доповнені можливістю виявлення та виправлення помилок, вимагають додавання додаткових бітів до початкового повідомлення. Залежно від кількості бітів та способу, яким вони додані, ці коди можуть виправляти або тільки виявляти помилки. Загалом

ефективні коди з виявленням та виправленням помилок вимагають великої кількості додаткових бітів, широкої смуги пропускання та складної обробки. У системах RFID час передачі інформації обмежений і досить суворо регламентується. Отже, доцільно застосування методів, які дозволяють лише виявляти помилки. Типові методи виявлення помилок включають перевірку парності, поздовжній контроль надмірності (Longitudinal Redundancy Checking LRC) та циклічний контроль надмірності (Cycling Redundancy Checking - CRC). Під час перевірки парності до рядка бітів додається додатковий біт, який показує: парна чи непарна кількість біт міститься у рядку. Така перевірка дуже проста, але все ж марна, якщо у рядку є парна кількість помилок. Поздовжній контроль надмірності вимагає дії рекурсивного виключає АБО (XOR) для кожного байта в межах блоку даних. Результати операції додаються до кінця рядка і передаються. При прийомі виконується та сама процедура. Якщо результат перевірки не дорівнює нулю, то сталася помилка. При перевірці парності багаторазові помилки можуть скасовувати один одного. Циклічний контроль надмірності більше надійний, але потребує складнішої обробки. Операція CRC забезпечує майже унікальну ідентифікацію бітового рядка. Чим довша CRC, тим більше даних може бути надійно перевірено. Оскільки цикли передачі в системах RFID відносно короткі, зазвичай використовуються 8-бітний або 16-бітний CRC. [8]

3.5 Необхідність розподілення частот

При всій різноманітності застосування систем RFID супровід об'єктів у глобальному ланцюзі доставки товарів від виробника до споживачеві одна із найбільших потенційних ринків. При цьому суттєвим є те, що мітки повинні функціонувати в різних країнах. Щоб це було можливим, мітки мають бути сумісними зі зчитувачами різних країн, а мітки та зчитувачі одночасно повинні задовольняти вимоги щодо електромагнітної сумісності. Ці вимоги формулюються національними адміністраціями та називаються регламентами. Апаратна

сумісність систем RFID може бути забезпечена двома способами: або будь-яка мітка повинна функціонувати у всіх можливих діапазонах частот, або у Усьому світі повинні використовуватися загальні частотні діапазони. Реалізація міток, які працюють у дуже широкій смузі частот (наприклад, від 125 кГц до 13,56 МГц) вимагає значних технічних та вартісних витрат. Деякі антени можуть мати задовільні характеристики в межах обмежених діапазонів (наприклад, діапазоні 902 – 928 МГц у США) або в близько розташованих діапазонах (868 МГц у Європі та 915 МГц у США). Так як недорогі мітки можуть бути створені тільки в порівняно вузькому частотному діапазоні, то для забезпечення сумісності апаратури різних виробників, необхідно узгоджувати питання виділення частотних діапазонів для систем RFID у всьому світі. В даний час у світі існує добре організована структура, що складається з їх міжнародних, регіональних та національних регулюючих організацій. Однією з таких організацій є ITU (International Telecommunication Union) в який входять усі незалежні держави, займається розподілом частот та публікацією таблиць їх розподілу. Крім значної кількості інших функцій та цілей, ITU для зменшення впливу різних служб, які використовують радіочастотний спектр встановлює взаємодію та координує зусилля її членів щодо виділення частотних діапазонів [ITU]. Відділення радіозв'язку (ITU-R) відповідає за функціонування всіх служб зв'язку, які використовують радіохвилі. Хоча ITU прагне до єдиного розміщення частот, в тих випадках, коли країни вимагають використовувати діапазони, відмінні від використовуються у всьому світі, робляться винятки, які фіксуються в частотні таблиці. Для позначення областей з особливим частотним розподілом ITU ділить весь світ на регіони.

Тоді як ITU розвиває міжнародну кооперацію та виробляє рекомендації для взаємодії різних організацій, саме регіональні та національні органи встановлюють частотні діапазони та граничні рівні випромінювання. Як більшість світових економік, так і потенційно найбільші ринки технології RFID, розташовані в Європі, США та Японії.

Європейська організація поштових та телекомунікаційних організацій (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations – CEPT) має

справу з незалежними адміністраціями з питанням пошти та телекомунікацій. Членами СЕРТ є 43 країни. центральної та східної Європи. СЕРТ включає три комітети, перший – CERP (Comite europeen des regulateurs postaux) – з поштових питань, та два інших з питань телекомунікацій – ERC (European Radiocommunication Committee) та ECTRA (European Committee for Regulatory Telecommunication Affairs). Ці комітети схвалюють гармонізуючі документи, рекомендації та рішення, які зазвичай готуються їхніми робочими групами. Комітет ERC має у своєму складі підрозділ ERO (European Radiocommunications Office), який проводить дослідження та підтримує активність комітетів. Організація ETSI (European Telecommunications Standards Institute), заснована СЕРТ у 1988 р. (одночасно з CEN та CENELEC), є однією з трьох Європейських Організацій Стандартів (European Standard Organization – ESO). Вона відповідає за розробку телекомунікаційних стандартів у Європі. 37 національних організацій за стандартами із 34 країн, а також відповідні організації Росії та Туреччини забезпечують детальне опрацювання, затвердження та впровадження стандартів. Організаціями, відповідальними за телекомунікаційні стандарти та регламенти в США та Японії, є FCC (Federal Communications Commission) та Міністерство Пошти та Телекомунікацій (Ministry of Posts and Telecommunications - MPT) відповідно. У Японії уповноваженим центром ефективного використання радіочастотного спектру є ARIB (Association of Radio Industries and Businesses). Крім багатьох власних завдань, ARIB розробляє детальні національні стандарти на основі менш докладних вимог МРТ регламентів. Для опису радіопередаючих пристроїв, які забезпечують односторонній або двосторонній зв'язок і які мають слабкий можливість створювати перешкоди іншим радіотехнічним пристроям СЕРТ використовує термін Short Range Devices - SRD. У пристроях SRD антени можуть бути вбудованими або зовнішніми та можуть використовуватися будь-які види модуляції. ITU у рекомендаціях 213/1 підтримує це визначення широкого класу радіоелектронних приладів і, більш того, рекомендує національним адміністраціям, щоб у визначених ними параметри при використанні пристроїв SRD були зайві жорсткі обмеження. У всьому світі докладаються зусилля щодо

гармонізації використання радіоспектру у цьому класі пристроїв. Апаратура RFID відноситься до класу пристроїв SRD і може функціонувати лише у призначених частотних діапазонах, виділених в більшості країн.

У таблицях розподілу частот ІТУ виділяє певні частоти для використання в промисловості, науці та медицині (Industrial, Science and Medicine - ISM). Ці діапазони призначені для застосування в пристрої промислового, наукового та медичного призначення, призначені для дистанційного використання. Випромінювання цих пристроїв все ж таки може надавати перешкодовий вплив на роботу інших радіо та телекомунікаційних служб. Тому для їх використання виділяють певні діапазони частот. Основними діапазонами ISM є (RR S5.150):
13,553 – 13,567 МГц;

26,957 – 27,283 МГц;

40,66 - 40,70 МГц;

902 – 928 МГц (у Регіоні 2);

2,4 – 2,5 ГГц;

5,725 – 5,785 ГГц;

24 – 24,25 ГГц.

На розсуд національних адміністрацій як діапазони ISM можуть виділятися додаткові діапазони (RR S5.138):

6,675 – 6,795 МГц;

61,0 – 61,5 ГГц;

122 – 123 ГГц;

244 – 246 ГГц.

У більшості регіонів ІТУ дозволяє без ліцензій використовувати доповнення до діапазонів частот ISM низькочастотний діапазон LF (Low Frequency) 9 кГц – 135 кГц та HF (High Frequency) 13,56 МГц. Згідно з рекомендаціями СЕРТ 70-03 з посиланнями на відповідні стандарти ETSI для використання в країнах СЕРТ розділі неспецифічних пристроїв NS-SRD (Non Specific SRD) дозволено додаткові UHF (Ultra High Frequency) діапазони. Зокрема це діапазон 868 МГц – 870 МГц. Регламенти радіозв'язку, що встановлюються національними адміністраціями, що

оперують трьома граничними значеннями параметрів: потужності, напруженості поля та ширини спектра сигналу, а також методами виміру цих параметрів. Потужність та напруженість поля можуть бути визначені в одиницях випромінюваної потужності або в одиницях напруженості електричного або магнітного поля в ближньому або дальньому зоні. Ширина спектра сигналу може визначатися на рівні 6 дБ, 20 дБ, 30 дБ чи більше. [1]

Щоб розуміти, як регламенти впливають характеристики систем RFID, дуже важливо розібратися в методиках виміру. Більшість адміністрацій в залежності від несучої частоти та конкретного пристрою проводять випробування обладнання або на відкритому просторі, або у безехових камерах. Пристрої випробовуються у всіх можливих кутових орієнтаціях та зі зміною висоти для того, щоб визначити максимальну напруженість поля або потужність випромінювання на фіксованій відстані (FCC 15.31). Як правило, пристрої випробовуються у нормальному робочому положенні. Особливий інтерес представляє тип детектора, який використовується при вимірах. Зазвичай досліджують безперервні чи імпульсні сигнали. Безперервні сигнали мають тонку ширину діапазону. Імпульсні сигнали, які з'являються в деякі моменти часу з певною частотою повторення, мають ширший спектр. При рівних амплітудах сигналів зазвичай вважається, що безперервні сигнали шкідливіші. Використання миттєвого пікового детектора для вимірювання рівня випромінювання не дозволяє визначити можливий шкідливий вплив імпульсних сигналів на довкілля. Тому в цьому випадку для оцінки впливу випромінювання застосовують усереднення сигналу в часі за допомогою RC-фільтра. Детектори середнього значення призначені для роботи як у частотному діапазоні від 9 кГц до 1 ГГц [45], і вище 1 ГГц. Нестача детекторів середнього значення полягає в тому, що імпульси з малою шпаруватістю мають надзвичайно мале середнє значення, що призводить до великих похибок виміру і, внаслідок цього, до можливої недооцінки ступеня впливу випромінювання на навколишнє середовище. З цієї причини зазвичай використовують квазіпікові детектори, які складаються із зарядного та розрядного ланцюгів. Такий детектор розраховується

на певну амплітуду, енергію імпульсу та частоту повторення сигналу. Найчастіше квазіпікові детектори використовуються в діапазон частот нижче 1 ГГц.

Як правило, національні регламентуючі органи в деяких частотних діапазонах прагнуть встановлювати загальні для всіх, узгоджені граничні рівні паразитного випромінювання та інших параметрів. [14]

3.6 Протоколи команд

Оскільки мітка є простим носієм ідентифікаційного номера, з'являється завдання точного читання номера. Якщо у робочій зоні зчитувача знаходиться єдина мітка, не потрібно жодних команд. При достатній енергетиці мітка просто передає свої ті, що містяться в ній дані. Однак, якщо в робочій зоні зчитувача знаходиться безліч міток, що відповідають одночасно, їх сигнали інтерферують. Таке накладення сигналів у даному разі називається колізією, а результати зчитування найчастіше виявляються втраченими. Для уникнення колізій в системах RFID потрібно формування команд, заснованих на специфічних протоколах. Такі протоколи зазвичай називають антиколізійними протоколами чи алгоритмами. Для того щоб вибрати необхідний антиколізійний протокол та команди слід розглянути системні обмеження. Особливу увагу слід звертати на надійність комунікації (зв'язку) та ширину спектра, а також на технічні параметри чіпа мітки, які безпосередньо впливають на споживану потужність. В першу чергу необхідно звужувати ширину спектра, підвищувати надійність зв'язку та мінімізувати вимоги до чіпа мітки. Для того щоб успішно взаємодіяти з однією міткою серед безлічі міток, що знаходяться в полі зчитування, необхідно реалізувати ексклюзивний канал зв'язку із цією міткою. Для цього існує достатня кількість рішень – алгоритмів.

Відповідно зростає можливість колізій сигналів. Тому і нині існує і, тим більше, у майбутньому зростає необхідність у ефективних антиколізійних алгоритмів. Антиколізійні алгоритми, що використовуються в системах RFID,

подібні до способів вирішення конфліктних ситуацій множинного комунікаційного доступу та з різними мережевими протоколами. Реалізація антиколізійних алгоритмів технології RFID, однак, обмежена низькою споживаною потужністю та малим об'ємом, а іноді і повною відсутністю пам'яті мітки. Крім того, алгоритми мають бути оптимізовані з урахуванням малого енергоспоживання міток, щоб не знижувати дальність у разі пасивних, або збільшувати термін служби елемента живлення у разі активних позначок. До тому ж через те, що мітки здатні взаємодіяти тільки з зчитувачем, використання методів CSMA неможливе. Більш того, варіації параметрів каналу розповсюдження сигналу в бездротових каналах зв'язку значно більше аналогічних варіацій у провідних каналах – імпульсні шуми вкрай несприятливо впливають на щодо короткочасні сеанси зв'язку між зчитувачем та міткою. Складність алгоритмів також має бути мінімізована, оскільки це призводить до підвищення вартості апаратури. Існує велика різноманітність антиколізійних методів, які можуть бути класифіковані різними способами. Найбільш загальними класифікаційними ознаками є: простір, частота та час



Рис. 3.1 Класифікація антиколізійних алгоритмів

У разі просторових алгоритмів мітки зазвичай локалізуються в просторі таким чином, щоб забезпечити їх послідовне зчитування. Це досягається зміною зони зчитування або, у разі пасивних міток, варіацією потужності, що

випромінюється зчитувачем. Відомий спосіб, що використовує обидві ці можливості на основі визначення максимального відгуку міток різних відстанях. Інший спосіб використовує ряд зчитувачів з малою дальністю дії, такий, яка забезпечує зчитування лише однієї мітки у полі кожного зчитувача зараз.. Основною проблемою просторових методів є складність досягнення високої точності визначення дальності. Вимоги до точності визначення дальності ще більше зростають з збільшенням числа міток у зоні дії зчитувача і, відповідно, зменшення відстані між ними. В даний час вважається, що найкращим є використання просторових методів у поєднанні з частотними та тимчасовими методами. Для забезпечення впевненого бездротового зв'язку зазвичай використовуються Частотні методи. Системи FDMA (Frequency Domain Multiple Access) використовують поділ загальної смуги частот на фіксоване число каналів. У системах RFID низької вартості таке рішення не прийнятне, оскільки при цьому потрібні високостабільні генератори та селективні смугові фільтри. Технологія Magellan використовує комбінацію FDMA та TDMA (Time Domain Multiple Access) методів. Оскільки переваги такої системи недостатньо обґрунтовані, не очевидно як це вплине на Технічні характеристики та вартість системи RFID. Системи CDMA (Code Domain Multiple Access) мають багато переваг перед FDMA системами, тому що вони краще адаптовані до зміни трафіку, мають велику ємність та просте управління процесом. Системи, засновані на застосуванні CDMA та SS (Spread Spectrum) методів досить складні та дорогі. До того ж їх використання може обмежуватися частотними ресурсами, передбаченими у регламентах. Тому SS методи, включаючи FH (Frequency Hopping) та DS (Direct Sequence), можуть бути реалізовані тільки в UHF або мікрохвильовому діапазонах, де є відповідні Частотні ресурси. Переважна кількість антиколізійних алгоритмів у технології RFID засноване на використанні тимчасових методів, у яких момент передачі сигналу змінюється у часі. Ці алгоритми поділяються на детерміністичні та імовірнісні. [15]

Детерміністичний алгоритм реалізується, коли зчитувач генерує запит або команду, яка збуджує певну мітку з унікальним ідентифікаційним номером UID (Unique IDentification number). З цього номера зчитувач або перебирає список

відомих номерів, або виконує певні дії з пошуку бінарним способом. Перебірні методи особливо ефективні, коли в зоні дії зчитувача знаходиться невелика кількість міток. При це також потребує попереднього знання всіх номерів міток. В даний час найбільш широке застосування знаходять бінарні. алгоритми.

Імовірнісні алгоритми - це такі методи вирішення колізій, коли мітки у полі зчитувача генерують сигнали у випадкові моменти часу. Існує велика кількість рішень, коли зчитувач по-різному управляє мітками. За цією схемою вузол передає пакет після прийому пакет. У разі виникнення колізії вузол входить у насичення та передає пакет знову після випадкової затримки. Багато антиколізійних алгоритмів вимагають виявлення факту виникнення колізії сигналів. Найбільш загальноприйнятий метод виявлення колізій заснований на використанні властивостей кодуєчих сигналів.

З погляду протоколів та команд існує два основних класи систем RFID: мітка говорить (передає дані) першою (TTF – Tag Talk First)) та зчитувач говорить (передає команди) першим (RTF – Reader Talk First)). У TTF системах мітки відповідають відразу, як тільки забезпечуються енергією. У RTF системі навіть за достатньої енергії мітки знаходяться в режимі мовчання. Вони відповідають лише за командою зчитувача. Методи RTF переважно у більшості випадків, тому що при цьому виключається інтерференція сигналів від несумісних позначок. Наприклад, якщо у полі зчитування знаходяться мітки різних постачальників, завдяки різним стартовим командам дадуть відповідні мітки, сумісні тільки зі своїм зчитувачем. У TTF системі, всі мітки дадуть відповідь одночасно, а їх сигнали інтерферуватимуть і, можливо, створюватимуть один одному перешкоди. Команди, як і антиколізійні алгоритми, характеризуються технічними параметрами та виконанням. Великий обсяг команд може забезпечувати кращі характеристики, однак, може вимагати більшого обсягу апаратного забезпечення. Набір команд повинен включати, принаймні стартову команду та команди, необхідні для запуску антиколізійного алгоритму та досягнення необхідних характеристик. Особливо важливими характеристиками є швидкість ідентифікації та надійність зв'язку. Для розширення функціональності та сфери використання можуть потрібні додаткові команди. У

будь-якому випадку для тільки міток, що читаються гранично низькою вартістю, потрібно передача лише ідентифікаційний код. [16]

4. ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ RFID

Хоча технологія радіочастотної ідентифікації існує досить давно, вона не часто використовується у телекомунікаційному обладнанні. Увесь свій час, ця технологія розвивалася окремо від інших – більш відомих технологій зв'язку, що специфікуються малим радіусом взаємодії: Bluetooth, IrDA, Wi-Fi, Wi-Fi Direct. Винятком лише можна вважати останнє десятиріччя, коли споріднена їй технологія, а саме – NFC почала масово використовуватися у смартфонах, де зараз можна і найяскравіше спостерігати симбіоз в опиті використання даних технологій.

Що ж стосується саме технології RFID, то основні галузі її використання це – логістика продукції, системи контролю доступу, а також системи контролю та запобіганню викрадень. Надалі основна увага та розробка моделі будуть стосуватися саме покращенню технології контролю доступу. [4]

4.1 Стандартна модель Системи контролю та управління доступом

Система контролю та управління доступом, СКУД (англ. Physical Access Control System, PACS) — сукупність програмно-апаратних технічних засобів контролю та засобів управління, які мають на меті обмеження та реєстрацію входу-виходу об'єктів (людей, транспорту) на заданій території через точки проходу: двері, ворота, КПП. Основне завдання - управління доступом на задану територію (кого пускати, в який час і на яку територію), включаючи: обмеження доступу на задану територію; ідентифікацію особи, яка має доступ на задану територію. Додаткові завдання: облік робочого часу; розрахунок заробітної плати (при інтеграції із системами бухгалтерського обліку); ведення бази персоналу/відвідувачів, інтеграція із системою безпеки, наприклад: із системою відеоспостереження для поєднання архівів подій систем, передачі системі відеоспостереження сповіщень про необхідність стартувати запис, повернути

камеру для запису наслідків зафіксованої підозрілої події; з системою охоронної сигналізації (СОС), наприклад, для обмеження доступу до приміщень, що стоять на охороні, або для автоматичного зняття та постановки приміщень на охорону. з системою пожежної сигналізації (СПС) для отримання інформації про стан пожежних сповіщувачів, автоматичне розблокування евакуаційних виходів та закриття протипожежних дверей у разі пожежної тривоги.

Основні типи виконання – картка, брелок, мітка. Є базовим елементом системи контролю доступу, оскільки зберігає код, який служить визначення прав («ідентифікації») власника. Це може бути Touch memory, безконтактна карта (наприклад, RFID-мітка) або застаріваючий тип карток з магнітною смугою. Як ідентифікатор можуть виступати також коди, що вводяться на клавіатурі, або окремі біометричні ознаки людини - відбиток пальця, малюнок сітківки або райдужної оболонки ока, тривимірне зображення обличчя. Надійність (стійкість до злому) системи контролю доступу значною мірою визначається типом ідентифікатора, що використовується: наприклад, найбільш поширені безконтактні карти proximity можуть підроблятися в майстернях з виготовлення ключів на устаткуванні, наявному у вільному продажу. Тому для об'єктів, які потребують вищого рівня захисту, такі ідентифікатори не підходять. Принципово вищий рівень захищеності забезпечують RFID-мітки, у яких код карти зберігається у захищеній області та шифрується. [7]

Крім безпосереднього використання в системах контролю доступу, ті ж самі RFID-мітки можна широко застосовувати і в інших областях на тому ж самому підприємстві чи установі, наприклад, у локальних розрахункових системах (оплата обідів у їдальні та інших послуг), системах лояльності тощо.

У наш час, на більшості великих підприємств існує своя система контролю доступу, що реалізована за допомогою RFID-карток доступу. Основним недоліком в цієї системи є незручність у використанні працівниками, бо для проходження, кожного разу треба дістати ту саму картку, прикласти до зчитувача, що працює лише у ближньому полі, дочекатися зчитування та обробки, а тільки потім отримати доступ, та мати можливість пройти. Особливо не зручно може бути

співробітникам, що мають часто переходити з одного відділу в інший, що розмежовані собою системою контролю доступом. На це буде уходити багато часу. [16]

4.2 Розробка альтернативної моделі

Розроблена нова модель матиме декілька варіацій, найпростіша буде розглянута в цьому розділі.

Для пришвидшення процесу пропуску співробітників, замість звичайного зчитувача, що працює лише на близькій відстані (до 10 сантиметрів) доцільніше використати UHF зчитувач, що може працювати і зчитувати RFID пристрої на відстані до 12 (50 м). Зчитування можливо реалізувати за декілька метрів до власне пункту пропуску, що дозволить зчитати інформацію з чипу, та подати сигнал до пропускного пристрою, будь то двері чи звичайний турнікет про дозвіл на пропуск того чи іншого співробітника. Зручність такого методу в тому, що немає необхідності діставати картку, а також це може пришвидшити загальний процес проходження систем доступу.

Роздивимось типовий зчитувач у цьому діапазоні. Візьмемо, для прикладу таку модель: UHF KRAID DG TV-6600A. Він має вбудовану антену кругової поляризації із посиленням 8 dBi. Працює у частотному діапазоні 865-868 МГц на відстані до 12 метрів залежно від типу міток. Зчитувач підключається до системи через інтерфейси RS232 та Wiegand. Налаштовується через USB-роз'єм і не потребує встановлення спеціальних драйверів та програмного забезпечення. Підтримує роботу з протоколу Modbus. Особливість зчитувача: передача в автоматичному режимі даних трьох блоків пам'яті: EPC, TID і User memory. Основні режими роботи:

Answer mode (командний режим);

Active mode (автоматичний режим);

Trigger mode (режим роботи замикання контакту, можна підключати петлю індуктивності чи оптичні датчики).

Автоматизація керування обладнанням

Зчитувач оснащений вихідним реле з нормально відкритим (NO) та нормально закритим (NC) контактом. Реле можна керувати як у ручну, так і в автоматичному режимі, завдяки чому можна побудувати автономну систему. В даний час технології RFID в UHF та мікрохвильовому В діапазонах виділено радіочастоти 433 МГц, 860 – 960 МГц, 2,45. ГГц та 5,78 ГГц. Аналіз технічних характеристик апаратури різних виробників показує, що дальність її дії суттєво відрізняється залежно від діапазону несучих частот. З метою кращої орієнтації системних інтеграторів та кінцевих користувачів у процесі вибору конкретної апаратури доцільно розглянути залежність дальності дії систем RFID від несучої частоти чи довжини хвилі сигналу. Глибина модуляції сигналу в системах RFID не виступає як основна технічна характеристика апаратури. Цей параметр фігурує лише в описах радіоінтерфейсів – протоколів обміну командами та даними між зчитувачем та міткою. Однак глибина модуляція сигналу визначає енергетичну дальність дії системи. Крім того, глибина модуляції визначає ширину спектра сигналу, який є важливим параметром при забезпеченні адміністративних норм електромагнітної сумісності (ЕМС).

Тобто, просто при наявності зчитувача, під'єданого до комп'ютера, що виконує роль контролера, та набору унікальних карток-перепусток вже можна побудувати доволі нестандартну систему контролю доступу. Але вона також не лишена недоліків, так, наприклад не можна більш точно виявити, чи по своїй перепустці пройшла людина ітд. [17]

4.3 Поліпшення даної моделі за допомогою AI

Так як дана модель не облишена недоліків, її можна відчутно покращити за допомогою новітніх розробок, однією з котрих буде машинне навчання. Також,

необхідним буде встановлення відеокамери, що буде здатна передавати сигнал до контролера (серверу, чи комп'ютеру, на якому буде зберігатися база даних а також дані будуть оброблятися). Для кращої відмовостійкості, та продуктивності, доцільніше використовувати сервер, що буде встановлений віддалено.

У цій моделі камера підключена паралельно з УНФ зчитувачем до контролера. При рительній калібровці та налагодженні процесу, можливо буде ідентифікувати на зображенні людину, а зчитувач буде сигналізувати про знаходженні картки в радіусі дії, що й буде надавати доступ до проходу. Це значно пришвидшить процес ідентифікації співробітників на підприємстві чи установі. Під час роботи камери доцільно буде заповнювати свою базу даних на кожную окрему перепустку, як часто людина запізнюється, чи відлучається у робочий час і тому подібне. Заповнення такої бази може пришвидшити штучний інтелект у тандемі зі своїм окремим підрозділом – машинним навчанням.

Штучний інтелект (ШІ) - це інтелект, демонстрований машинами, на відміну природного інтелекту, демонстрованого тваринами, зокрема людьми. Провідні підручники з ШІ визначають цю галузь як дослідження «інтелектуальних агентів»: будь-якої системи, яка сприймає навколишнє середовище та вживає дій, що збільшують її шанси на досягнення поставлених цілей. Деякі популярні джерела використовують термін «штучний інтелект» для опису машин, які імітують «когнітивні» функції, які люди пов'язують з людським розумом, такі як «навчання» та «вирішення проблем».

Нейронні мережі надихнуті архітектурою нейронів людського мозку. Простий "нейрон" N приймає вхідні дані від інших нейронів, кожен з яких при активації (або "спрацьовуванні") подає зважений "голос" за або проти того, чи повинен нейрон N сам активуватися. Для навчання потрібен алгоритм коригування цих ваг з урахуванням даних навчання; один простий алгоритм (який отримав назву «вогонь разом, з'єднання разом») полягає у збільшенні ваги між двома підключеними нейронами, коли активація одного викликає успішну активацію іншого. Спектр активації нейронів безперервний; Крім того, нейрони можуть обробляти вхідні дані нелінійним чином, а не просто зважувати голоси. Сучасні

нейронні мережі моделюють складні відносини між входами і виходами або знаходять закономірності даних. Вони можуть вивчати безперервні функції та навіть цифрові логічні операції. Нейронні мережі можна як різновид математичної оптимізації - вони виконують градієнтний спуск по багатовимірної топології, створеної шляхом навчання мережі. Найбільш поширений метод навчання - алгоритм зворотного поширення помилки. Іншими методами навчання нейронних мереж є навчання по Хеббю («вогонь разом, з'єднання разом»), GMDH (Group method of data handling - Груповий метод обробки даних) або навчання змаганням. Основними категоріями мереж є ациклічні нейронні мережі або нейронні мережі з прямим зв'язком (де сигнал проходить тільки в одному напрямку) та рекурентні нейронні мережі (які забезпечують зворотний зв'язок та короткострокову пам'ять про попередні входні події).

Машинне навчання (англ. machine learning, ML) - клас методів штучного інтелекту, характерною рисою яких є не пряме розв'язання задачі, а навчання за рахунок застосування рішень безлічі подібних завдань. Для побудови таких методів використовуються засоби математичної статистики, чисельних методів, математичного аналізу, методів оптимізації, теорії ймовірностей, теорії графів, різних технік роботи з даними в цифровій формі. Розрізняють два типи навчання: Навчання за прецедентами, або індуктивне навчання, засноване на виявленні емпіричних закономірностей даних. Дедуктивне навчання передбачає формалізацію знань експертів та його перенесення на комп'ютер як бази знань. Дедуктивне навчання прийнято відносити до галузі експертних систем, тому терміни машинне навчання та навчання за прецедентами можна вважати синонімами. Багато методів індуктивного навчання розроблялися як альтернатива класичним статистичним підходам. Багато методів тісно пов'язані із вилученням інформації (англ. information extraction, information retrieval), інтелектуальним аналізом даних (data mining). Алгоритми навчання працюють на тій підставі, що стратегії, алгоритми та висновки, які добре працювали у минулому, ймовірно, продовжать добре працювати і в майбутньому. Ці висновки можуть бути очевидними, наприклад, «оскільки сонце вставало щоранку протягом останніх 10

000 днів, воно, ймовірно, зійде і вранці». Вони можуть мати нюанси, наприклад, «X% родин мають географічно окремі види з кольоровими варіантами, тому існує Y% ймовірності, що існують невідкриті чорні лебеді» Програми машинного навчання можуть виконувати завдання, навіть не будучи запрограмованими явно. Він включає навчання комп'ютерів на наданих даних для виконання певних завдань. Для простих завдань, покладених на комп'ютери, можна запрограмувати алгоритми, які повідомляють машині, як виконувати всі кроки, необхідні вирішення цієї проблеми; комп'ютера ніякого навчання не потрібно. Для складніших завдань людині може бути складно вручну створити необхідні алгоритми. Насправді може бути ефективнішим допомогти машині розробити свій власний алгоритм, ніж змушувати програмістів вказувати кожен необхідний крок. Дисципліна машинного навчання використовує різні підходи навчання комп'ютерів виконанню завдань, котрим немає цілком задовільного алгоритму. У випадках, коли існує величезна кількість можливих відповідей, один із підходів полягає в тому, щоб помітити деякі з правильних відповідей як дійсні. Потім їх можна використовувати як навчальні дані для комп'ютера, щоб поліпшити алгоритм, який він використовує для визначення правильних відповідей. Наприклад, навчання системи задачі розпізнавання цифрових символів часто використовується набір рукописних цифр MNIST. Як науковий напрямок машинне навчання виросло з пошуків штучного інтелекту. На зорі як академічної дисципліни деякі дослідники були зацікавлені в тому, щоб машини навчалися на даних. Вони намагалися підійти до проблеми за допомогою різних символічних методів, а також того, що тоді називалося "нейронними мережами"; в основному це були перцептрони та інші моделі, які пізніше були виявлені як перевинаходи узагальнених лінійних моделей статистики. Імовірнісні міркування також використовувалися, особливо в автоматизованій медичній діагностиці. Однак посилення акценту на логічному підході, що ґрунтується на знаннях, призвело до розриву між Штучним Інтелектом та машинним навчанням. Імовірнісні системи страждали від теоретичних та практичних проблем збору та подання даних. До 1980 року експертні системи стали домінувати над Штучним Інтелектом, і статистика перестала бути

популярною. Робота над символічним / заснованим на знаннях навчанням тривала в рамках Штучного Інтелекту, що призвело до індуктивного логічного програмування, але більш статистичні дослідження тепер виходили за рамки власне Штучного Інтелекту, в галузі розпізнавання образів та пошуку інформації. Штучний Інтелект та інформатика відмовилися від досліджень нейронних мереж приблизно в той же час. Ця лінія також була продовжена за межами області AI/CS як «коннекціонізм» дослідниками з інших дисциплін. Машинне навчання (ML), реорганізоване в окрему область, почало процвітати у 1990-х роках. Область змінила свою мету зі створення штучного інтелекту на вирішення проблем практичного характеру. Він змістив акцент із символічних підходів, успадкованих від ШІ, на методи та моделі, запозичені зі статистики та теорії ймовірностей. [18]

Різницю між машинним навчанням та штучним інтелектом часто розуміють неправильно. ML навчається і прогнозує на основі пасивних спостережень, тоді як AI має на увазі, що агент взаємодіє з навколишнім середовищем, щоб вчитися та робити дії, які збільшують його шанси на успішне досягнення своїх цілей. Деякі алгоритми навчання спрямовані на виявлення кращого уявлення вхідних даних, що надаються під час навчання. Класичні приклади включають аналіз основних компонентів та кластерний аналіз. Алгоритми вивчення функцій, також звані алгоритмами навчання, часто намагаються зберегти інформацію у вхідних даних, але також перетворити її таким чином, щоб зробити її корисною, часто в якості етапу попередньої обробки перед виконанням класифікації або прогнозування. Цей метод дозволяє реконструювати вхідні дані, що надходять з невідомого розподілу, що генерує дані, при цьому не обов'язково зберігаючи вірність конфігураціям, які є неправдоподібними для цього розподілу. Це замінює ручне проектування функцій і дозволяє машині як вивчати функції, так і використовувати їх для виконання певної задачі.

У даній моделі треба буде натренувати штучний інтелект на примітивне розпізнавання образів. Область розпізнавання образів пов'язані з автоматичним виявленням закономірностей даних з допомогою комп'ютерних алгоритмів і із використанням цих закономірностей до ухвалення таких дій, як класифікація даних

з різних категорій. Розпізнавання образів зазвичай класифікується відповідно до типу процедури навчання, яка використовується для генерації вихідного значення. Контрольоване навчання передбачає, що було надано набір навчальних даних (навчальний набір), що з набору екземплярів, належним чином позначені вручну з правильними вихідними даними . Потім процедура навчання генерує модель, яка намагається досягти двох цілей, що іноді суперечать один одному: якнайкраще працювати з навчальними даними і якнайкраще узагальнювати нові дані (зазвичай це означає бути якомога простішим для деякого технічного визначення). Багато поширених алгоритмів розпізнавання образів є імовірнісними за своєю природою, оскільки використовують статистичний висновок, щоб знайти кращу мітку для даного екземпляра. На відміну від інших алгоритмів, які просто виводять «найкраще» значення, часто ймовірні алгоритми також виводять ймовірність того, що екземпляр описується даним значенням. Системи розпізнавання образів зазвичай навчаються з урахуванням позначених «навчальних» даних. Коли дані недоступні, можна використовувати інші алгоритми для виявлення раніше невідомих закономірностей. У машинному навчанні розпізнавання образів - це присвоєння позначки заданому вхідному значенню. У статистиці з цією ж метою у 1936 році було введено дискримінантний аналіз. Прикладом розпізнавання образів є класифікація, яка намагається присвоїти кожне вхідне значення одному із заданого набору класів (наприклад, визначити, чи є цей лист «спамом»). або "без спаму"). Розпізнавання образів - найбільш загальна проблема, що охоплює також інші типи виведення. Іншими прикладами є регресія, при якій кожному входу надається результат із дійсним знаком; маркування послідовності, яка надає клас кожному члену послідовності значень (наприклад, тегування частини мови, яке присвоює частину мови кожному слову у вхідному реченні); і синтаксичний аналіз, який надає вхідному реченню дерево синтаксичного аналізу, що описує синтаксичну структуру пропозиції. [19]

Також, потужним покращенням даної моделі було би встановлення системи розпізнавання обличчя.

Система розпізнавання облич - це технологія, здатна зіставляти людське обличчя на цифровому зображенні або відеокадрі з базою даних облич, яка зазвичай використовується для аутентифікації користувачів через служби перевірки особистості, працює шляхом точного визначення та вимірювання рис обличчя за заданим зображенням. Розробка подібних систем почалася у 1960-х роках як форма комп'ютерного застосування. З моменту свого створення системи розпізнавання облич останнім часом отримали ширше застосування на смартфонах та інших формах технологій, таких як робототехніка. Оскільки комп'ютеризоване розпізнавання осіб включає вимірювання фізіологічних характеристик людини, системи розпізнавання осіб відносяться до категорії біометричних. Хоча точність системи розпізнавання рис обличчя як біометричної технології нижче, ніж розпізнавання райдужної оболонки ока та відбитків пальців розпізнавання, вона широко застосовується у зв'язку з його безконтактним процесом. Системи розпізнавання осіб використовуються для розширеної взаємодії людини з комп'ютером, відеоспостереження та автоматичного індексування зображень. Системи розпізнавання осіб використовуються сьогодні в усьому світі урядами та приватними компаніями. Їх ефективність варіюється, і деякі системи раніше були списані через їхню неефективність. Використання систем розпізнавання осіб також викликало суперечки, стверджуючи, що системи порушують приватне життя громадян, зазвичай роблять неправильну ідентифікацію, заохочують гендерні норми та расове профільування та не захищають важливих біометричних даних. Ці твердження призвели до заборони систем розпізнавання осіб у кількох містах США. В результаті зростання суспільної стурбованості Мета оголосила, що планує закрити Систему розпізнавання осіб Facebook, що видаляє дані сканування осіб більше одного мільярда користувачів. Ця зміна стане одним із найбільших зрушень у використанні розпізнавання осіб в історії технології. До 1990-х років системи розпізнавання осіб розроблялися з використанням фотографічних портретів людських осіб. Дослідження з розпізнавання осіб для надійного визначення розташування особи на зображенні, що містить інші об'єкти, отримали підтримку на початку 1990-х років за допомогою аналізу основних компонентів (РСА). Метод

розпізнавання осіб PCA, також відомий як Eigenface, був розроблений Метью Терком та Алексом Пентландом. Терк і Пентланд об'єднали концептуальний підхід теореми Карунена - Лоева і факторний аналіз, щоб розробити лінійну модель. Власні грані визначаються на основі глобальних та ортогональних риси людських осіб. Людське обличчя розраховується як виважена комбінація ряду Eigenfaces. Оскільки для кодування людських осіб певної популяції використовувалося кілька Eigenfaces, метод виявлення осіб PCA Турка та Пентланду значно скоротив обсяг даних, які необхідно обробити для виявлення обличчя. Пентланд у 1994 році визначив особливості Eigenface, включаючи власні очі, власні роти та власні носи, щоб просунути використання PCA у розпізнаванні осіб. В 1997 метод розпізнавання осіб PCA Eigenface був поліпшений за рахунок використання лінійного дискримінантного аналізу (LDA) для отримання Fisherfaces. LDA Fisherfaces стали переважно використовуватися для розпізнавання обличчя на основі функцій PCA. Хоча Eigenfaces також використовувалися для реконструкції особи. У цих підходах не обчислюється глобальна структура особи, яка пов'язує риси чи частини особи. Підходи до розпізнавання осіб, засновані виключно на ознаках, були витіснені наприкінці 1990-х років системою Бохума, яка використовувала фільтр Габора для запису рис обличчя та обчислювала сітку структури обличчя для зв'язування рис. Крістоф фон дер Мальсбург та його дослідницька група з Бохумського університету в середині 1990-х розробили Elastic Bunch Graph Matching для вилучення обличчя із зображення за допомогою сегментації шкіри. До 1997 метод виявлення осіб, розроблений Мальсбургом, перевершив більшість інших систем виявлення осіб на ринку. Так звана «система розпізнавання обличчя Boschum» комерційно продавалася на ринку як ZN-Face. Операторам аеропортів та інших жвавих місць. Програмне забезпечення було достатньо надійним, щоб проводити ідентифікацію за недосконалими зображеннями особи. Воно також часто може бачити крізь такі перешкоди для ідентифікації, як вуса, бороди, змінена зачіска та окуляри – навіть сонцезахисні окуляри».

Виявлення осіб у відеозаписі в реальному часі стало можливим в 2001 завдяки системі виявлення об'єктів Віоли - Джонса для осіб. Пол Віола і Майкл

Джонс об'єднали свій метод розпізнавання облич із підходом Хаара до розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях, щоб запустити AdaBoost, перший детектор осіб з фронтальним оглядом у реальному часі. До 2015 року алгоритм Віоли-Джонса був реалізований з використанням невеликих детекторів малої потужності на портативних пристроях та вбудованих системах. інтерфейсів і телеконференцій. Хоча люди можуть розпізнавати осіб без особливих зусиль, розпізнавання осіб є складною проблемою розпізнавання образів у обчислювальній техніці. Системи розпізнавання облич намагаються ідентифікувати людське обличчя, яке є тривимірним і змінює зовнішній вигляд залежно від освітлення та виразу обличчя на основі його двовимірного зображення. Для виконання цього обчислювального завдання системи розпізнавання осіб виконують чотири кроки. Виявлення першої особи використовується для відокремлення обличчя від фону зображення. На другому етапі сегментоване зображення обличчя вирівнюється з урахуванням пози обличчя, розміру зображення та фотографічних властивостей, таких як освітлення та відтінки сірого. Мета процесу вирівнювання – забезпечити точну локалізацію рис обличчя на третьому етапі – витяг рис обличчя. Такі деталі, як очі, ніс та рот, точно виділяються та вимірюються на зображенні, щоб уявити обличчя. Встановлений таким чином вектор ознак обличчя на четвертому етапі зіставляється з базою даних осіб. [20]

Деякі алгоритми розпізнавання облич ідентифікують риси обличчя, витягуючи орієнтири або риси обличчя із зображення об'єкта. Наприклад, алгоритм може аналізувати відносне положення, розмір та/або форму очей, носа, вилиць та щелепи. Ці функції використовуються для пошуку інших зображень з відповідними характеристиками. Інші алгоритми нормалізують галерею зображень облич, а потім стискають дані про обличчя, зберігаючи у зображенні лише ті дані, які корисні для розпізнавання облич. Потім зображення порівнюється з даними обличчя. Алгоритми розпізнавання можна розділити на два основні підходи: геометричний, який розглядає відмінні риси, або фотометричний, який являє собою статистичний підхід, при якому зображення розбивається на значення і порівнюються з шаблонами для усунення відхилень. Деякі класифікують ці

алгоритми на дві широкі категорії: цілісні та функціональні моделі. Перший намагається розпізнати особу повністю, в той час як заснований на ознаках підрозділ на компоненти, наприклад, відповідно до особливостей, і аналіз кожного, а також його просторове становище по відношенню до інших особливостей. Популярні алгоритми розпізнавання включають аналіз основних компонентів з використанням власних граней, лінійний дискримінантний аналіз, зіставлення пружних групових графів з використанням алгоритму Фішерфейса, приховану марківську модель, навчання полілінійних підпросторів з використанням тензорного уявлення і нейронномотив. [3]

Цікавою альтернативою для встановлення камери може стати встановлення тепловізорного датчика, при цій процедурі камери визначатимуть лише форму голови та ігноруватимуть предмети, такі як окуляри, капелюхи або макіяж. На відміну від звичайних камер, тепловізійні камери можуть знімати зображення осіб навіть в умовах низького освітлення та в нічний час без використання спалаху та без експонування положення камери. Проте бази даних для розпізнавання облич обмежені.

Дана модель добре підходить до системи контролю доступу на вході-виході з підприємства, або на рівноправних за рівнем доступу приміщеннях, або корпусах. Але на тих ділянках, де потрібен більш точний та жорсткіший контроль, доцільно використовувати контактні зчитувачі RFID-чипів. Вони працюють у більш низькочастотному діапазоні. Для того, щоб не випускати одразу кілька перепусток під різні задачі, існують дводіапазонні картки, що можуть працювати, як на частотах UHF, так і на більш низьких, а саме, 125 кГц. Форматом така картка не буде відрізнятися від стандартного розміру банківських карток, що робитиме її зручною у використанні. [20]

ВИСНОВКИ

У цій роботі було досліджено технологію Радіочастотної ідентифікації з різних її аспектів, такі як вартість, фізичні технічні характеристики, частотні діапазони, тощо. Була розроблена модель для системи на базі технології RFID для контролю доступу. Загалом, останні роки характеризуються величезним потенціалом розширення різних сфер застосування систем RFID, а реалізація цього потенціалу потребує зниження їх вартості. Одночасно проводиться велика робота з розробки міжнародних та національних стандартів технології RFID. Вже існуючі стандарти охоплюють низку застосувань від ідентифікація тварин до ідентифікації автомобілів на автотрасах. У даний час докладаються великі зусилля з розробки стандартів для застосування систем RFID в управлінні потоками товарів та транспортної логістики. Глобальна тенденція маркування штучних товарів низької вартості накладає жорсткі обмеження системи RFID. Тут, крім технічних характеристик, важливі розміри і, особливо, вартість. Абсолютно потрібна низька вартість міток. Для того, щоб реалізувати низьку вартість міток, необхідний спеціальний підхід під час проектування. Для проведення грамотного проектування вкрай важливе розуміння основних обмежень систем RFID. Основні обмеження пасивних міток систем RFID полягають у галузі електромагнетизму, у зв'язку та в регламентах. У цій роботі ми розглянули ці обмеження, а також те, як ці обмеження впливають на розміри, вартість та на технічні характеристики – дальність дії, швидкодія, надійність зв'язку та сумісність. На прикладі міток низької вартості видно, що розширення можливостей та збільшення обсягу їх випуску призводить до зниження вартості та тривалості часу їх використання. Удосконалення та інновації призводять до підвищення ефективності виробництва та зниження вартості. Більше того, технічний прогрес найімовірніше призведе до розширення функціональних можливостей: включенню міток до складу різних датчиків та реалізації інших додаткових функцій. Крім того, розширення можливостей приведе до розробки додаткових застосувань технології RFID, включаючи оперативний інформаційний моніторинг об'єктів Підвищення

автоматизації процесів, у свою чергу, призведе до підвищення їх ефективності та продуктивності. При аналізі основних обмежень та рівня розробок апаратури RFID виявилася велика кількість напрямків майбутніх робіт і досліджень.

В пасивних системах RFID, основним фактором, що обмежує дальність, є потужність, яку має мітка. Хоча дальність не завжди є абсолютно головним фактором, тим не менш, вона важлива у великій кількості застосувань. В даний час джерелом енергії мітки є електромагнітне поле, що випромінюється зчитувачем. Хоча вже відомі технології, які витягують енергію з навколишнього середовища – «енергозберігаючі (energy harvesting)» технології. Ці технології можуть усунути енергетичне обмеження та збільшити дальність, тоді обмежуючим фактором дальності стане чутливість зчитувача – приймача інформаційного сигналу мітки. В даний час основна робота проводиться в галузі реалізації енергозберігаючих технологій. Теги RFID можуть використовувати аналогічні рішення та покращити свої параметри за рахунок використання навколишнього розсіяного електромагнітної енергії. Заслужують на увагу питання електродинамічного проектування систем RFID для специфічних умов експлуатації. У логістичних та інших конкретних застосуваннях, як правило, є велика кількість навколишніх предметів. Навколишні провідні предмети можуть викликати варіацію поля та діаграм спрямованості та тому важливо знати технічні властивості апаратури. Проектування антен допускає велику різноманітність рішень, тому тут, звичайно, необхідно проведення досліджень. Незважаючи на те, що до теперішнього часу досягнуто суттєвого прогрес у галузі розробки та оптимізації каналу передачі даних, однак у частині кодування та модуляції сигналу залишається ще велике поле діяльності. У різних країнах є відмінності в обмеженнях ширини спектра та напруженості поля в різних діапазонах несучих частот. Для оптимізації систем RFID необхідно проведення робіт з міжнародної гармонізації спектру, а також щодо дослідження питань кодування, модуляції та фільтрації сигналів. Крім того, необхідний прогрес у галузі проектування недорогих FSK та PSK детекторів; також будуть корисні поліпшення й у генераторній схемотехніці. Доцільно проведення розробок нових антиколізійних алгоритмів у просторової та частотної областей.

Необхідне проведення досліджень у галузі використання нових досягнень у антенній техніці. Багатообіцяючим може бути використання фрактальних антен, оскільки це може забезпечити зменшення габаритів міток у поєднанні її з високими технічними характеристиками. Повинні бути проведені дослідження щодо використання об'єктів із вбудованими мітками. Упаковка деяких об'єктів може використовуватися як інтегрована антена мітки або як накопичувач енергії. Також мають бути розроблені нові виробничі технології, які дозволять забезпечити виготовлення та складання інтегрованих міток, які складаються з антени та електронного чіпа. Повинні бути досліджені можливості реалізації безчіпових міток, створенню яких в даний час приділяється велика увага. Особливий інтерес викликають дослідження, що стосуються дальності, пам'яті та антиколізійних можливостей таких міток. Хоча основна увага даної роботи зосереджена на мітці, також великий обсяг досліджень необхідно провести за зчитувачами. Особливо це стосується розгляду колізійних ситуацій між зчитувачами. Через збільшення кількості щільність зчитувачів RFID зростає і, відповідно, зростає ймовірність їхнього взаємовпливу один на одного. Такий перешкодовий взаємний вплив між зчитувачами особливо шкідливо за необхідності забезпечення високої надійності зв'язку між мітками та зчитувачами. Таким чином нові застосування та додаткові можливості технології RFID здатні стимулювати велику кількість цікавих та практично необхідних досліджень. У великій кількості сучасних та майбутніх застосувань дуже корисною може бути інтеграція інформаційних датчиків, до яких належить апаратура RFID, пристроями використання різних видів енергії. Можуть досліджуватися нові застосування, пов'язані з робототехнікою та автоматизацією. При цьому автоматична ідентифікація радіочастотних міток у поєднанні з мережевими базами даних забезпечить оперативне розпізнавання об'єктів інформації та, відповідно, управління виробничими технологічними процесами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ISO/IEC 18000-6:2010 Information technology — Radio frequency identification for item management
2. CEPT 70-03, Relating to the Use of Short Range Devices (SRD), May 2001.
3. Маниш Бхуптани, Шахрам Морадпур «RFID-технології на варті вашого бізнесу» Москва, 2007 280с.
4. Tanvi mehta. Convert UHF RFID tag from passive to semi-passive tag using external power sources. USA, 2010, 140с.
- 5.. Klaus Finkenzeller, RFID Handbook, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1999, 462с.
6. John R. Tuttle, "Traditional and Emerging Technologies and Applications in the Radio Frequency Identification (RFID) Industry," IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, 1997, 167с.
7. Warren L. Stutzman and Gary A. Thiele, Antenna Theory and Design, 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc. New York, 1998. 843с.
8. Pedro M. Reyes, RFID: A Guide to Radio Frequency Identification, McGraw-Hill Education, 2011. 176с.
9. Ian Robertson, Improving Supply Chains Using RFID & Standards, 2011. 176с.
10. RFID-технологія: що це таке, як працює система, опис та застосування URL: <https://www.cleverence.ru/articles/rfid/rfid-tekhnologiya-cto-eto-takoe-kak-rabotaet-sistema-opisanie-i-primenenie/> (дата звернення 09.10.2021)
11. RFID-мітки: що це таке, як працює, види та типи ідентифікації URL: <https://www.cleverence.ru/articles/rfid/rfid-metki-cto-eto-takoe-kak-rabotaet-vidy-i-tipu-identifikatsii/> (дата звернення 10.10.2021)
12. RFID-зчитувач: що це, схеми, принцип роботи, огляд видів та моделей URL: <https://www.cleverence.ru/articles/rfid/rfid-schityvatel-cto-eto-skhemy-printsip-raboty-obzor-vidov-i-modeley/> (дата звернення 12.10.2021)
13. What is NFC? Everything you need to know URL: <https://www.techradar.com/news/what-is-nfc> (дата звернення 15.10.2021)

14. NFC Forum. Specification Overview URL: <https://nfc-forum.org/our-work/specification-releases/specifications/> (дата звернення 16.10.2021)

15. RFID Forecasts, Players and Opportunities 2019 URL: <https://www.idtechex.com/en/research-report/rfid-forecasts-players-and-opportunities2019-2029/700> (дата звернення 16.10.2021)

16. How Does RFID Technology Work? URL: <https://www.makeuseof.com/tag/technology-explained-how-do-rfid-tags-work/> (дата звернення 16.10.2021)

17. Hitachi's RFID powder freaks us the heck out URL: <https://www.engadget.com/2007-02-14-hitachis-rfid-powder-freaks-us-the-heck-out.html> (дата звернення 19.10.2021)

18. RFID Tag (Radio Frequency Identification Tag) URL: <https://www.behance.net/gallery/67918923/RFID-Tag> (дата звернення 25.10.2021)

19. Dig Deep – Construction of RFID Tags URL: <https://rfid4u.com/rfid-basics-resources/dig-deep-rfid-tags-construction/> (дата звернення 25.10.2021)

20. RFID-based IoT Technology Pushes the Envelope of Production Efficiencies for Composite Component Manufacturing URL: <https://www.rfidjournal.com/whitepaper/rfid-based-iot-technology-pushes-the-envelope-of-production-efficiencies-for-composite-component-manufacturing> (дата звернення 27.10.2021)

21. The study of business opportunities and value add of NFC applications in security URL: <https://www.theseus.fi/handle/10024/37824> (дата звернення 01.11.2021)

22. UHF Зчитувачі URL: <https://idcard.com.ua/uhf-schityvatel-kraid-dg-tv-6600a/> (дата звернення 10.11.2021)

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ