

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»
Завідувачка кафедри

_____Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 171 Електроніка освітньо-професійної програми «Електронні інформаційні системи»

на тему «Ідентифікація та моніторинг пристроїв в системах типу Інтернет речей»

Здобувача групи ЕП-01 _____ Немцова Владислава Андрійовича _____

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Владислав Немцов _____

Керівник ст.викладач, канд. ф.-м.н. Костянтин Тищенко _____

Суми – 2024

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики
Спеціальність 171 – Електроніка, освітньо-професійна програма
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ЕЗПФ
Л.В.Однодворець
«01» травня 2024 року

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
Немцова Владислава Андрійовича

1. Тема роботи: **«ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА МОНІТОРИНГ ПРИСТРОЇВ В СИСТЕМАХ ТИПУ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ»**

затверджена наказом СумДУ від «24» квітня 2024 р., № 0417-VI

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 24 травня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета):

Радіочастотна ідентифікація (RFID) - це сучасна технологія автоматичної ідентифікації, яка дозволяє збирати і обробляти інформацію безконтактно. Застосування цієї технології дуже широке: вона використовується для ідентифікації, відстеження, сортування і виявлення різних об'єктів, таких як люди, документи, транспорт, одяг, контейнери тощо. RFID може автоматизувати виробничі процеси, системи управління, контролю доступу та безпеки, обліку робочого часу, дисконтні та логістичні системи, а також захист товарів і документів від підробок.

Мета роботи полягає в огляді сучасних технологій радіочастотної ідентифікації. Апаратних платформ, які можуть бути використані для розробки таких систем а також у розробці схеми та програмного забезпечення пристрою на основі мікроконтролерної платформи ESP8266 для контролю зчитування інформації з пасивних радіочастотних ключів з подальшою їх передачею до віддаленого сервера.

4. Зміст текстової частини роботи (перелік питань, які необхідно розробити):
1. Технологія радіочастотної ідентифікації
 2. Принцип роботи RFID систем
 3. Діапазони, частоти і стандарти RFID
 4. Мікроконтролерні платформи для побудови RFID
 5. Розробка програмного забезпечення RFID системи ідентифікації
 6. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу для презентації:
- Слайди № 1-2 – Загальна інформація
- Слайди № 3-6 – Принципи побудови та роботи RFID систем
- Слайди № 7-9 – Мікроконтролерні платформи для побудови RFID зчитувачів
- Слайди № 10 – Методика експерименту
- Слайди № 11-13 – Експериментальні результати з розробки програмного забезпечення системи зчитування RFID міток
- Слайд № 14 – Висновки
6. Дата видачі завдання 01.05.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка про стан вик. роботи
1.	Аналіз літературних даних	до 07.05.2024 р.	<i>вик.</i>
2.	Проведення вимірювань, моделювання, розрахунків, обробка результатів	до 22.05.2023 р.	<i>вик.</i>
3.	Оформлення тексту кваліфікаційної роботи	до 26.05.2023 р.	<i>вик.</i>
4.	Попередній захист роботи	31.05.2024 р., 10-00, онлайн	<i>вик.</i>
5.	Захист кваліфікаційної роботи	04.06.2024 р., 10-00, онлайн	

Здобувач вищої освіти

Владислав НЕМЦОВ

Керівник

Костянтин ТИЩЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 31 сторінці, зокрема, містить 8 рисунків, 1 таблицю, список використаних джерел із 14 найменувань.

Актуальність теми: Радіочастотна ідентифікація (RFID) є ключовим елементом сучасного інтернету речей, забезпечуючи універсальний засіб для бездротового виявлення та ідентифікації об'єктів за допомогою радіочастотних сигналів. Ця технологія стала незамінною в багатьох галузях, від логістики та управління до автоматизації промислових процесів та розвитку розумних систем. Переваги RFID включають бездротову та автоматизовану ідентифікацію, можливість використання у різноманітних умовах та середовищах, а також високу швидкість і точність виявлення об'єктів.

Створення електронних пристроїв, які використовують технологію RFID можливе із застосуванням сучасних мікроконтролерних платформ, таких, як плати розробника на базі контролера ESP8266. Вони дозволяють швидко створювати прототипи електронних пристроїв, та програмувати їх, виходячи з власних потреб.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в огляді сучасних методів радіочастотної ідентифікації та розробці схеми і програмного забезпечення системи зчитування RFID-міток.

Під час виконання роботи використовували інтегроване середовище розробки ArduinoIDE із встановленими модулями підтримки мікроконтролерів ESP8266 та бібліотеками RFID.

У результаті проведених проєктування та розробки одержано схему та програмне забезпечення для мікроконтролера ESP8266 для зчитування інформації з радіочастотних міток та передача її до віддаленого сервера.

Ключові слова: інтернет речей, радіочастотна ідентифікація, мікроконтролер, ESP8266, RFID

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АПАРАТНІ ЗАСОБИ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ	7
1.1 Принцип роботи RFID-зчитувачів	7
1.2 Діапазони частот і стандарти RFID.....	11
1.3 Реєстрація та розпізнавання радіочастотних міток	14
1.4 Мікроконтролерні платформи для реалізації схеми зчитування RFID міток.....	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ	21
2.1 Програмування мікроконтролерних платформ.....	21
2.2 Програмування контролера ESP8266 в середовищі Arduino IDE.....	22
РОЗДІЛ 3. СХЕМА ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЮ ЗЧИТУВАННЯ RFID МІТОК	25
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ВСТУП

Радіочастотна ідентифікація (RFID) відіграє ключову роль у сучасному інтернеті речей, забезпечуючи універсальний засіб для бездротового виявлення та ідентифікації об'єктів за допомогою радіочастотних сигналів. Ця технологія стала необхідною складовою в багатьох галузях, від логістики та управління до автоматизації промислових процесів та розвитку "розумних" систем.

Переваги RFID забезпечують бездротову та автоматизовану ідентифікацію, можливість використання у широкому діапазоні умов та середовищ, а також високу швидкість та точність виявлення об'єктів. Проте, разом із зростанням застосування RFID виникають нові виклики, такі як проблеми з безпекою даних, конфіденційністю та можливість недекларованого використання цієї технології з метою отримання несанкціонованого доступу тощо.

Створення електронних пристроїв, які використовують технологію RFID можливе із застосуванням сучасних мікроконтролерних платформ, таких, як плати розробника на базі контролера ESP8266. Вони дозволяють швидко створювати прототипи електронних пристроїв, та програмувати їх, виходячи з власних потреб. Такі контролери можна програмувати на сучасних мовах високого рівня, таких, як C++ або Python.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є дослідження та аналіз сучасних методів та технологій RFID, їх потенціалу та обмежень, а також розробка нових підходів до використання RFID для ідентифікації та відстеження об'єктів у різних сферах.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АПАРАТНІ ЗАСОБИ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Радіочастотна ідентифікація (RFID) представляє собою спосіб автоматичної ідентифікації об'єктів, де радіосигнали зчитують або записують дані, збережені у RFID-мітках (транспондерах) [1].

RFID є ефективним методом ідентифікації фізичних об'єктів, які можуть бути як тваринами, так і неживими предметами. Це підкреслює значення технології, яка дозволяє автоматизувати процес ідентифікації.

Основні компоненти системи RFID включають:

1. RFID-мітка або транспондер, який містить унікальний номер і пам'ять користувача.
2. Зчитувач або трансивер, який відправляє радіосигнали до міток і отримує відповідну інформацію.
3. Антенна, яка з'єднується зі зчитувачем і підсилює та передає сигнали.
4. Програмне забезпечення мікроконтролера зчитувача, яке отримує і оброблює сигнали від зчитувача, перетворюючи їх на зручний формат для користувача або програмного забезпечення.

Ці компоненти спільно забезпечують ефективну роботу системи RFID для ідентифікації об'єктів [1, 2].

1.1 Принцип роботи RFID-зчитувачів

Системи RFID працюють за різними принципами, серед яких основними є "принцип індуктивного зв'язку" і "принцип зворотного розсіювання". Розглянемо спочатку роботу системи, засновану на першому принципі, який використовується в системах RFID на частоті 13,56 МГц (високочастотний діапазон, ВЧ).

Перед тим як розглядати цей тип взаємодії, важливо зрозуміти концепції ближнього і далекого полів. "Ближнє поле" - це область, яка знаходиться між антеною зчитувача і лінією, віддаленою від цієї антени не більше однієї довжини хвилі випромінюваного сигналу. Область, яка лежить за цією межею, відома як "далеке поле". Пасивні RFID-системи, що працюють у ВЧ діапазоні, використовують для взаємодії ближнє поле, у той час як далеке поле використовується у НВЧ RFID-системах [1].

Транспондер – це пристрій, що складається з мікросіпа, з'єднаного з антеною, і корпусу, в якому ця конструкція реалізована. В переважній більшості випадків індуктивно зв'язані транспондери працюють у пасивному режимі. Це означає, що всю енергію, необхідну для роботи мікросіпа, забезпечує зчитувач. Для цього антена зчитувача створює високочастотне електромагнітне поле [1, 3].

Через те, що довжини хвиль, що відповідають частоті використовуваних сигналів, перевищують відстань між антеною зчитувача і міткою, електромагнітне поле можна розглядати як слабо змінюючея ближнє магнітне поле. Частина цього поля проникає в антену транспондера, що знаходиться на відстані від антени зчитувача. Індукція на антені зчитувача викликає появу напруги, яка використовується для живлення мікросіпа.

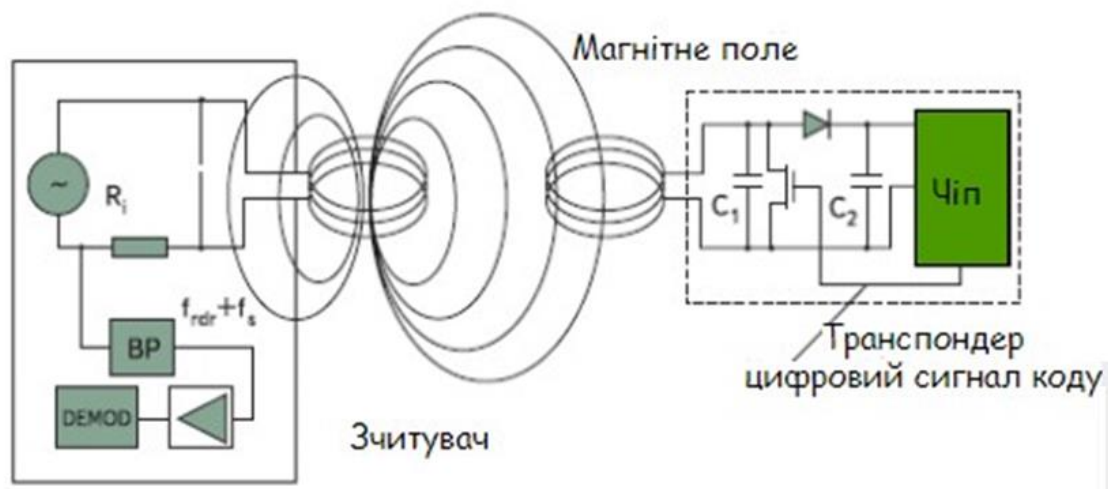


Рисунок. 1.1 – Індуктивно пов'язані системи засновані на зв'язку трансформаторного типу між первинною обмоткою зчитувача і вторинної мітки [3]

Паралельно обмотці антени підключається ємність, яка, разом з індуктивністю антени, утворює паралельний резонансний ланцюг. Частота резонансу цього ланцюга відповідає частоті сигналу, що передається. У результаті струми генеруються в обмотці антени зчитувача, створюючи поле достатньої потужності для роботи віддалених транспондерів.

В індуктивно пов'язаних системах використовується зв'язок трансформаторного типу між первинною обмоткою зчитувача і вторинною обмоткою мітки. Коли резонуюча мітка опиняється в зоні дії змінного магнітного поля антени зчитувача, вона забирає частину енергії цього поля.

Таке додаткове споживання енергії може бути виявлене як падіння напруги на внутрішньому опорі антени зчитувача. Переключення навантажувального опору на антені мітки викликає зміну напруги на антені зчитувача, що впливає на амплітуду модуляції напруги антени. Цей тип передачі даних називається "навантажувальна модуляція". Для відновлення даних на стороні зчитувача, напруга, виміряна на його антені, випрямляється, що дозволяє демодулювати амплітуду модульованого сигналу [3].

RFID-зчитувач - це ключовий компонент системи RFID, який відповідає за передачу, отримання і обробку сигналів від RFID-міток. Важливою функцією зчитувача є також надання енергії для роботи пасивних міток.

Суттєвою особливістю роботи RFID-зчитувача є схожість зі звичайним радіоприймачем. Для кращого розуміння цього процесу, розглянемо кроки зчитування RFID-мітки (Рис. 1.2).

Ці кроки демонструють основний принцип роботи RFID-зчитувача та процес зчитування даних в системі RFID.

Технологія RFID може бути реалізована в різних областях, а для її ефективної роботи в будь-якому середовищі було розроблено різноманітні типи міток. Основні характеристики міток можна розділити за ознаками енергозбереження та операціями зчитування/запису.

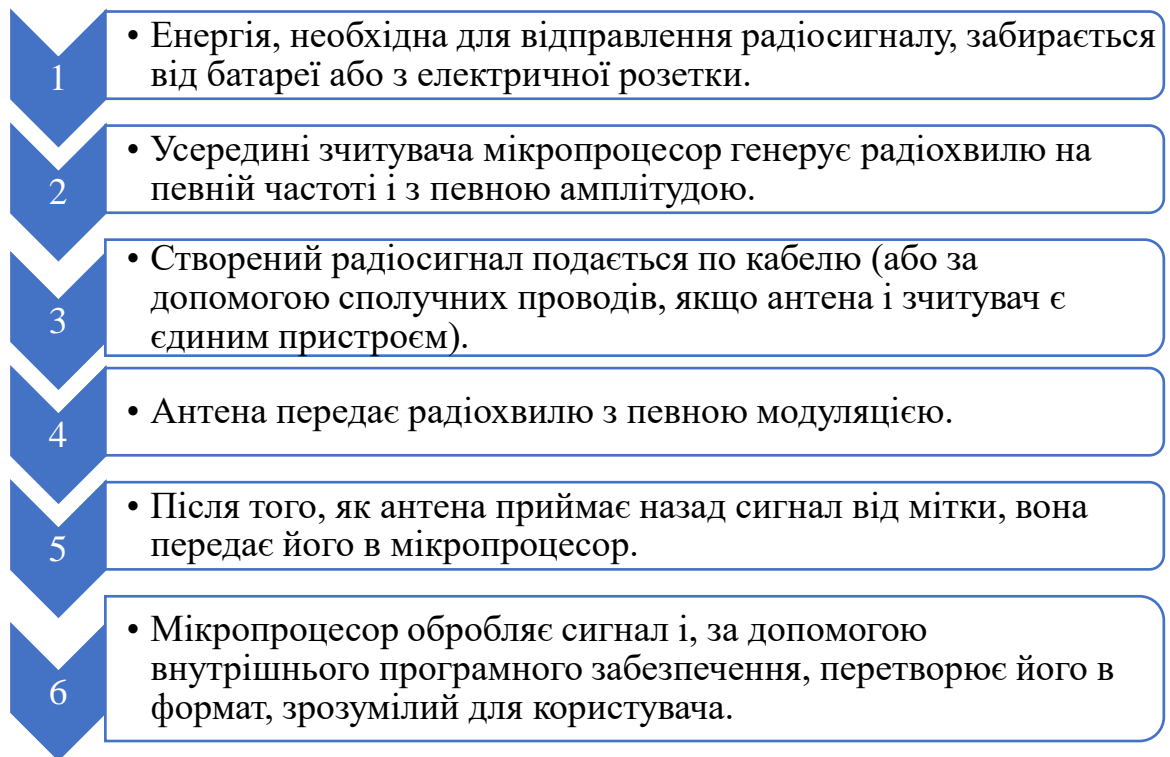


Рисунок 1.2 – Алгоритм зчитування RFID-мітки [3]

За енергозабезпеченням RFID-мітки бувають [3, 4]:

- Активні мітки використовують вбудоване джерело живлення для передачі даних, що дозволяє використовувати їх на великих відстанях і в різних умовах, таких як вода або метал.
- Пасивні мітки використовують енергію, що випромінюється зчитувачем через антену. Вони не мають власного джерела живлення, але можуть бути менш витратними і мають різноманітність застосувань.
- Напівпасивні мітки мають елемент живлення, який використовується лише для забезпечення роботи мікросхеми, а не для зв'язку зі зчитувачем.

По операціях читання-запису [3, 4]:

- 'R/O' (Read Only - «тільки читання») мітки, дані яких записуються тільки один раз і не можуть бути змінені.

– 'WORM' (Write Once Read Many - «одноразова запис і багаторазове читання») мітки, які містять блок пам'яті, який можна записати один раз, але багаторазово читати.

– 'R/W' (Read and Write - «читання і запис») мітки, які мають блок пам'яті для читання і запису, інформацію в яких можна перезаписувати багато разів.

Ці характеристики дозволяють вибрати підходящий тип мітки для конкретної ситуації та потреб користувача [3].

1.2 Діапазони частот і стандарти RFID

Радіочастотна ідентифікація (RFID) працює в певному діапазоні частот, що визначає багато характеристик системи. Це максимальна відстань передачі сигналу, швидкість передачі інформації та інші. RFID-зчитувачі випромінюють електромагнітні хвилі, тому RFID-системи класифікуються як радіосистеми [3, 5].

Важливо, щоб робота RFID-систем не впливала на інші радіослужби, такі як радіо, телебачення, мобільний зв'язок, військові та інші. Це вимагає ретельного розрахунку і використання відповідних частотних діапазонів. Радіохвилі RFID-систем не повинні перешкоджати роботі інших служб, і навпаки.

Частоти, доступні для використання RFID, зазвичай обмежені і зарезервовані для використання у науці, промисловості, медицині та інших галузях. Це може обмежити доступні для використання частоти, зокрема частоти для пристроїв з невеликим радіусом дії [3, 5].

RFID-системи поділяються за робочими частотами на:

- Низькі частоти (НЧ або LF - 125 кГц);
- Високі частоти (ВЧ або HF - 13,56 МГц);
- Надвисокі частоти (НВЧ або UHF - 400-900 МГц і вище).

LF (низькочастотні) системи працюють на частоті 125 кГц, іноді можуть використовувати і частоту 134,2 кГц. Цей тип обладнання характеризується невеликою відстанню передачі інформації - від 7 см до 1 м (в рідких випадках і за сильного сигналу випромінювача, але практично не зустрічається на ринку). Через низьку частоту такі мітки і зчитувачі схильні до колізій (накладання частот), тому можливе зчитування лише 1-2 міток одночасно. Таке обладнання часто використовується для контролю доступу або ідентифікації користувача, де потрібно чітко визначити мітку, що знаходиться в діапазоні зчитування.

На цій частоті найпопулярнішою технологією є мітки EM-Marine, які застосовуються для різноманітних цілей. Серед них контроль доступу до приміщень та обмеження часу перебування, використання електронних ключів у готелях, ідентифікація GPS для водіїв, використання карток розрахунків у парках атракціонів та гральних автоматах, електронні гаманці для розрахунків за послуги, а також оплата за в'їзд на парковку або стоянку [3].

HF (високочастотні) системи працюють на частоті 13,56 МГц. Відстань передачі сигналу і отримання відповіді від мітки зазвичай становить від 7 см до 1 м, хоча у рідких випадках вона може сягати до 1 метра (це обладнання є дорогим і використовується для вирішення специфічних завдань). Завдяки високій частоті несучої і відповідно ширшій смузі передачі, обладнання HF має антиколізійні властивості, але може одночасно зчитувати лише обмежену кількість міток - до 5 штук.

Однією з переваг RFID міток на частоті 13,56 МГц є наявність незалежної пам'яті EEPROM з захищеною областю, доступною для перезапису. Це забезпечує додатковий захист даних і дозволяє використовувати мітки в складних системах аутентифікації.

Застосування HF систем різноманітні й широко використовуються у різних сферах. Серед них контроль доступу в приміщення та обмеження часу, використання електронних ключів у готелях, ідентифікація GPS для водіїв,

розрахункові картки у парках атракціонів та гральних автоматах, електронні гаманці для розрахунків за послуги, оплата за в'їзд на парковку або стоянку, автоматизація бібліотек, проведення інтерактивних заходів, NFC-постери, інвентаризація, платіжні системи, візитні картки, дисконтні програми, носії реклами, функціональні мітки для мобільних пристроїв, підключення до Wi-Fi, передача даних між різними пристроями, динамічні ігри, посвідчення особи, авторизація користувачів, ідентифікація людей, протикрадіжна функція, організація проїзду в транспорті, контроль вивезення сміття, інтелектуальні полки в магазинах, а також облік відвідування в школах та системи у пральнях [3 – 5].

УHF (ультрависокочастотні) мітки і зчитувачі працюють у діапазоні частот 865-868 МГц у Європі, а в інших регіонах, таких як Америка і Японія, використовуються інші діапазони частот. Відстань, на якій можуть працювати УHF мітки і зчитувачі, може бути від декількох десятків сантиметрів до 15-20 метрів, а в рідкісних випадках навіть до 100 метрів при використанні активних УHF міток.

Завдяки такому великому робочому діапазону УHF обладнання в основному використовується в проектах з інвентаризації та автоматизації складів, де потрібно працювати з великою кількістю міток або на великій відстані. Через високу частоту несучої і широкий діапазон частот, УHF обладнання має хороші антиколізійні властивості і може одночасно зчитувати велику кількість міток, від 500 до 2000, в робочому діапазоні зчитувача.

Найвідомішими виробниками у цьому сегменті є компанії Alien, СМС, Tracse, Convergence, Confidex і інші.

Так, частота 2,4 ГГц використовується для активних міток і зчитувачів, які мають вбудоване джерело живлення. Це дозволяє їм працювати на великій відстані до 100 метрів. Такі мітки часто використовуються в проектах, де потрібно постійно відстежувати місцезположення об'єктів або моніторити різні фізичні характеристики ділянки приміщення, такі як температура та вологість.

Існують також інші частоти і діапазони, у яких працюють RFID мітки, проте вони застосовуються лише у дуже специфічних рішеннях або закритих проектах, розроблених для конкретного клієнта і завдання. Кожна з цих технологій має свої переваги і недоліки, які слід враховувати при виборі відповідного рішення [3 – 5].

1.3 Реєстрація та розпізнавання радіочастотних міток

RFID-мітка – це пристрій, який містить інтегральну схему (мікрочіп) для зберігання та обробки інформації, а також антену (рис. 1.3). Інформація зберігається в пам'яті мікрочіпу, а антена передає та отримує сигнал. Зчитувач випромінює електромагнітні хвилі, живлячи мітку, і отримує від неї інформацію. Безпосередній контакт або видимість між зчитувачем та міткою не потрібен, оскільки радіосигнал може проникнути через багато матеріалів. Це дозволяє приховувати мітки всередині ідентифікованих об'єктів.

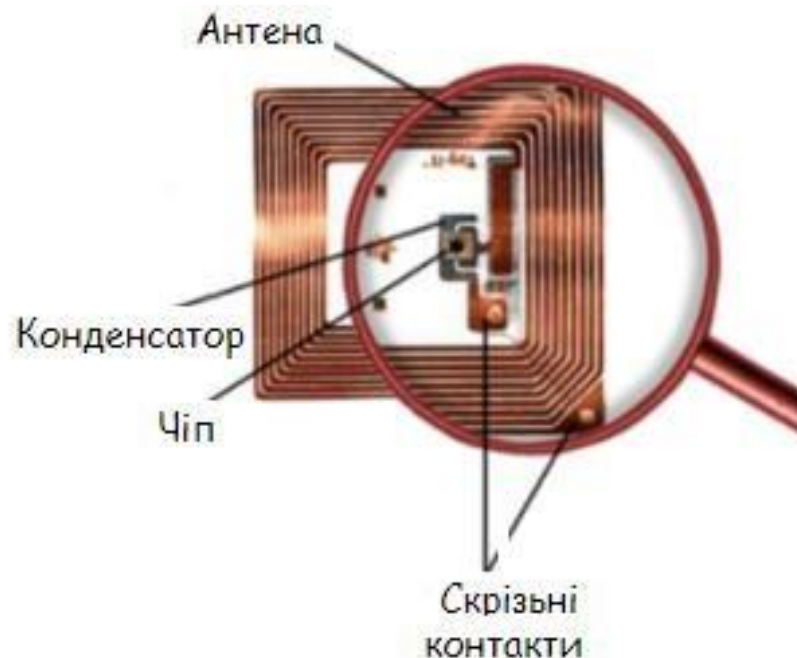


Рисунок 1.3 – Мітка RFID [3]

У пам'яті RFID-міток міститься унікальний ідентифікаційний код. Деякі мітки також можуть мати пам'ять, яку можна перезаписувати. Зчитувач - це

електронний пристрій, який зчитує інформацію з міток і може записувати дані на них. Ці пристрої можуть бути підключені до облікової системи або працювати автономно. Облікова система - це програмне забезпечення, яке збирає та аналізує інформацію з міток і об'єднує всі елементи в єдину систему.

Робота RFID полягає у взаємодії між міткою і зчитувачем, що показано на рис. 1.4. Мітка має коливальний контур LC, діод для випрямлення струму, конденсатор для згладжування пульсацій та транзистор для модуляції сигналу. Коли мітка потрапляє в поле зчитувача, вона споживає електричний струм, а транзистор змінює значення споживаного струму, модулюючи сигнал. Зчитувач генерує магнітне поле, яке збуджує коливальний контур мітки, і потім реєструє промодульований сигнал, який декодується для отримання інформації, збереженої на мітці. Така система дозволяє безконтактно зчитувати дані з міток на відстані із врахуванням умов навколишнього середовища [7].

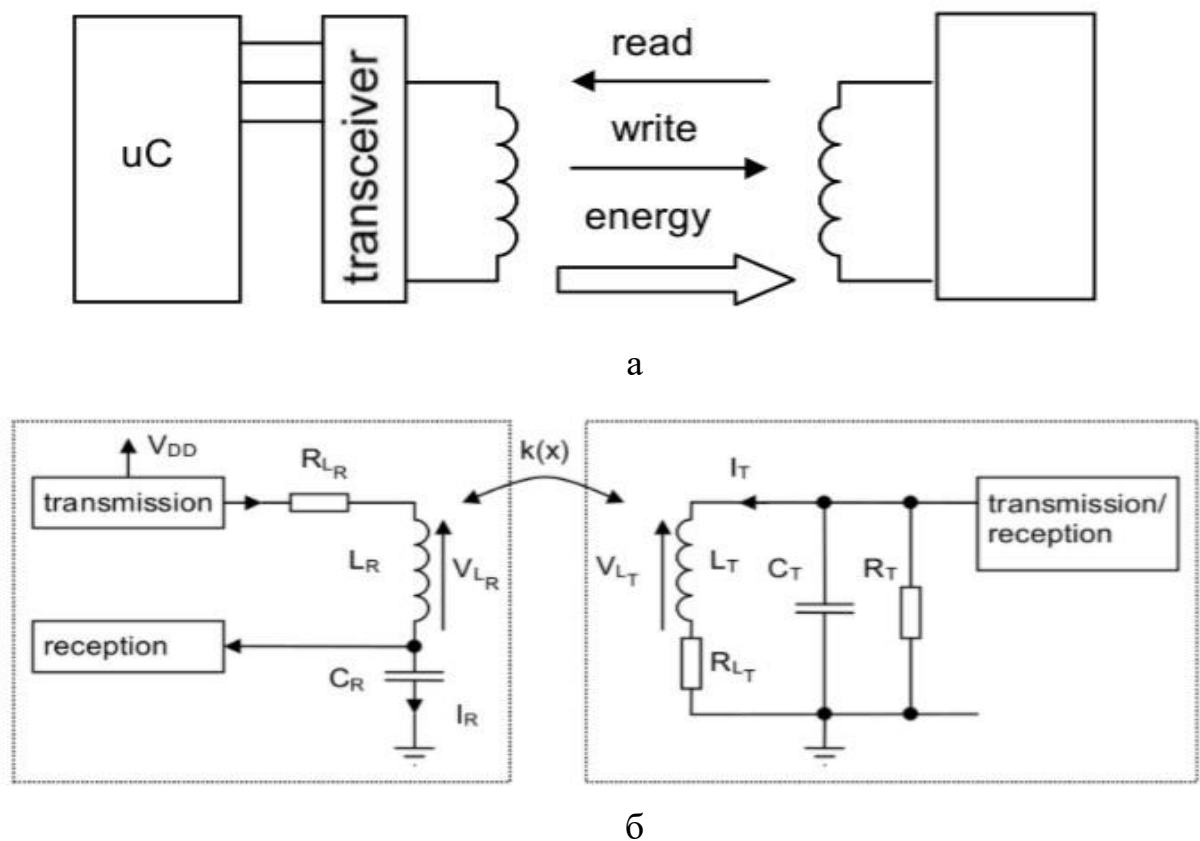


Рисунок 1.4 – Схема взаємодії мітки і зчитувача: логічна (а) та принципова (б) [7]

Так, для передачі даних у системі RFID потрібно модулювати сигнал на несучій частоті. Це означає, що біти інформації накладаються на несучий сигнал для передачі даних.

Стандарт RFID передбачає використання трьох популярних схем модуляції [8]:

– **Манчестер код.** У цій схемі кожен біт даних кодується як перехід між рівнями сигналу. Наприклад, перехід з високого рівня до низького означає один біт, а перехід з низького рівня до високого - інший біт;

– **Двофазний манчестер код.** Це модифікована версія Манчестер коду, в якій перехід відбувається в середині кожного біту. Це дозволяє покращити стійкість до помилок і збільшити швидкість передачі даних;

– **Кодування фазовим зрушенням (PSK).** У цій схемі фаза несучого сигналу змінюється для кодування даних. Наприклад, один біт може представлятися фазою 0° , а інший - фазою 180° .

Кожна з цих схем модуляції має свої переваги і використовується залежно від вимог до системи RFID [8].

Однією з ключових переваг технології RFID є те, що для зчитування міток не потрібний прямий контакт або пряма видимість між зчитувачем і міткою. Радіосигнал, який використовується в системі RFID, легко проникає через неметалеві матеріали, такі як пластик, дерево, папір тощо. Це означає, що мітки можуть бути поміщені всередині об'єктів або захищені у їхній структурі, і зчитувач все одно зможе їх ідентифікувати, якщо радіосигнал може досягти мітки через ці матеріали [3, 8].

Ця властивість робить технологію RFID дуже використовуваною у багатьох галузях, таких як логістика, інвентаризація, керування запасами, безпека, автомобільна промисловість, сільське господарство та багато інших.

1.4 Мікроконтролерні платформи для реалізації схеми зчитування RFID міток

ESP8266 є потужним інтегрованим рішенням для забезпечення Wi-Fi зв'язку в пристроях Інтернету речей (IoT). Цей чіп, розроблений компанією Espressif Systems у 2014 році, відкрив нові можливості для розробників завдяки високій продуктивності, низькому енергоспоживанню і компактному розміру [9].

ESP8266 має повноцінний Wi-Fi і мережевий стек, що дозволяє підключати пристрої до бездротових мереж. Завдяки оптимізованій роботі з енергоефективністю, цей чіп ідеально підходить для пристроїв IoT, які працюють на батареях або акумуляторах. Він може взаємодіяти з різними датчиками та пристроями через різні інтерфейси, такі як GPIO. Компактний розмір і висока ступінь інтеграції дозволяють мінімізувати розмір плати і кількість зовнішніх компонентів у пристроях IoT. Функціональну блок-схему пристрою показано на рис. 1.5, а технічні характеристики приведені у таблиці 1.1

Цей контролер містить розширену версію 32-бітного процесора Lx106, що дозволяє виконувати програми самостійно або під управлінням зовнішнього мікроконтролера. Узагальнюючи, ESP8266 є потужним і універсальним рішенням для забезпечення зв'язку Wi-Fi в пристроях IoT, відкриваючи безліч можливостей для розробки і впровадження різноманітних IoT-проектів [9].

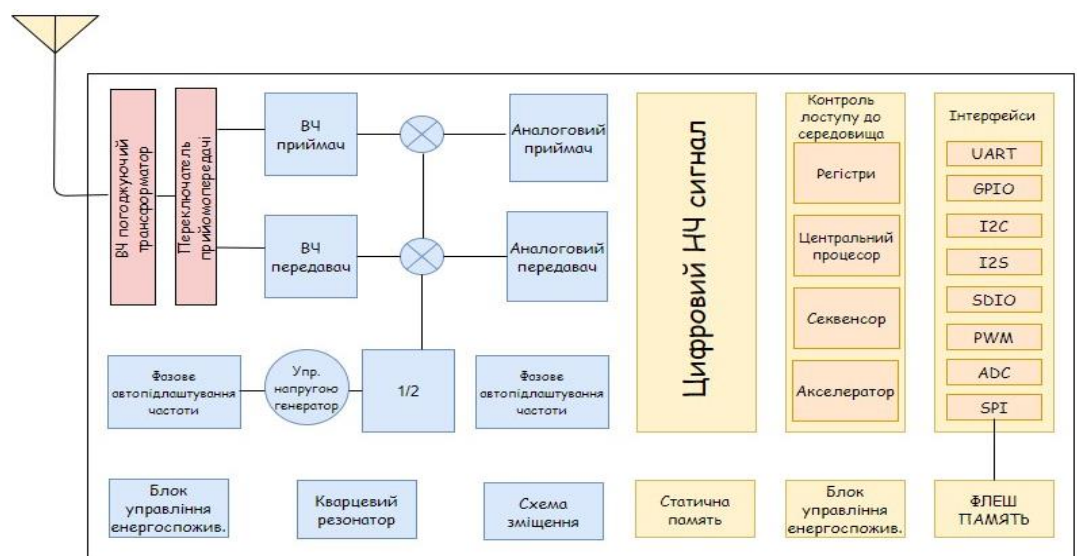


Рисунок 1.5 – Функціональна блок-схема контролера ESP8266 [9]

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики ESP8266 [10]

Wi-Fi	Сертифікати	FCC/CE/TELEC/SRRC
	Протоколи Wi-Fi	802.11 b/g/n
	Діапазон частот	2,4 ГГц ~ 2,5 ГГц (2400 М ~ 2483,5 М)
	Потужність передачі сигналу	802.11 b: +20 дБм
		802.11 g: +17 дБм
		802.11 n: +14 дБм
	Чутливість приймача	802.11 b: -91 дБм (11 Мбит/с)
		802.11 g: -75 дБм (54 Мбит/с)
802.11 n: -72 дБм (MCS7)		
Типи антени	Антенa на друкованій платі, зовнішня антенa, керамічна чіп-антенa	
Апаратне забезпечення	Центральний процесор	32-бітний мікропроцесор Tensilica Lx106
	Периферійні інтерфейси	UART / SDIO / SPI / I2C / I2S / IR Remote Control
		GPIO / ADC / PWM
	Робоча напруга	3.0В ~ 3.6В
	Робочий струм	Середнє значення: 80 мА
	Діапазон робочих температур	-40 ° С ~ 125 ° С
	Режими Wi-Fi	Клієнт (station) / точка доступу (softAP) / SoftAP + station
	Безпека	WPA / WPA2
Шифрування	WEP / TKIP / AES	
Програмне забезпечення	Оновлення ПЗ	Завантаження через UART / Дистанційне оновлення через мережу
	Розробка ПО	SDK для швидкої розробки ПЗ, інструменти для взаємодії з серверним ПЗ
	Мережеві протоколи	IPv4, TCP / UDP / HTTP / FTP
	Конфігурація користувача	Управління за допомогою AT команд, хмарний сервер, додатки для Android /iOS

На базі мікроконтролера ESP8266 створено велику кількість плат-платформ, які окрім самого контролера містять ряд додаткових компонентів, як то перетворювач інтерфейсів для підключення USB, схема стабілізації живлення і т.д. Такі модулі добре підходять для створення пристроїв електроніки та інтернету речей, адже без додаткових маніпуляцій дозволяють підключати до них необхідні модулі розширення та програмувати використовуючи USB-кабель. Однією з таких плат є модуль NodeMCU [10].

NodeMCU (рис. 1.6) – це розроблена на базі чіпу ESP8266 (версія ESP12E) плата розробника, яка пропонує UART-WiFi модуль з ультра низьким споживанням енергії. Цей чіп спеціально призначений для пристроїв Інтернету речей, та спрощує процес розробки, оскільки має вже вбудоване підключення по USB, регулятор живлення і всі виводи чіпу розведені на гребені зі стандартним кроком 2,54 мм, що дозволяє вставити його в макетну плату і створити прототип навіть без паяльника. Крім того, плата постачається з прошивкою NodeMCU, яка дозволяє програмувати її за допомогою мови Lua або через Arduino IDE.

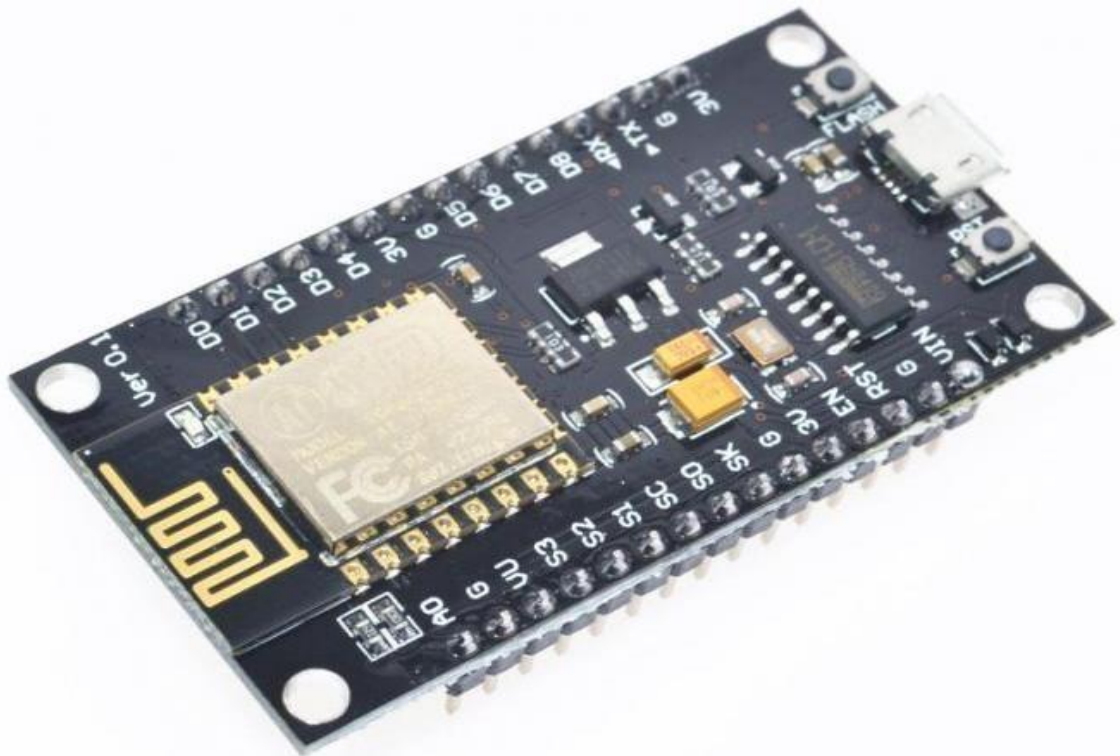


Рисунок 1.6 – Плата NodeMCU V3 ESP8266 [11]

Основні характеристики NodeMCU V3 [11]:

- Підтримка WiFi 802.11 b/g/n
- Підтримка режимів STA/AP/STA + AP
- Вбудований стек протоколів TCP/IP з підтримкою множинних клієнтських підключень (до 5)
- Підтримка різноманітних режимів виводів, включаючи GPIO, PWM, I2C і т. д.
- Низьке споживання енергії: обмін даними - приблизно 70 мА (максимум 200 мА), очікування - менше 200 мкА
- Підтримка різних інтерфейсів передачі даних, включаючи UART / GPIO
- Можливість перепрошивки через хмару або через USB
- Робочий діапазон температур від -40 до +125 °C
- Невелика масу, всього 18 грамів.

NodeMCU (Lolin) є потужним і зручним засобом для розробки пристроїв IoT, який може бути використаний для широкого спектру застосувань.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1 Програмування мікроконтролерних платформ

Мови програмування для мікроконтролерів мають структуру, яка за багатьма ознаками подібна до класичних мов програмування для комп'ютерів. Проте, вони спеціалізовані на роботу з вбудованими периферійними пристроями. Одна з основних відмінностей полягає у спрямованості на взаємодію з такими пристроями.

Архітектура мікроконтролерів вимагає наявності бітово-орієнтованих команд, які дозволяють працювати з окремими лініями портів введення/виводу або прапорами регістрів. Ці команди є важливим елементом у програмуванні мікроконтролерів і відсутні в більшості великих архітектур. Навіть ядро ARM, яке широко використовується у мікроконтролерах, не містить бітових команд. Це привело до того, що розробники мушили створювати спеціальні методи бітового доступу для роботи з бітами і окремими лініями вводу/виводу [12].

Мова C++ – це статично типізована мова програмування загального призначення, яка підтримує різні парадигми програмування, такі як процедурне, об'єктно-орієнтоване та узагальнене програмування. Вона має розгалужену стандартну бібліотеку, що включає контейнери, алгоритми, регулярні вирази, підтримку багатопотоковості та інші функції.

Одна з головних переваг мови C++ - це її висока сумісність з мовою C. Це означає, що код на C можна компілювати з мінімальними модифікаціями компілятором C++. Крім того, зовнішні мовні інтерфейси є прозорими, тому бібліотеки на C можуть бути викликані з C++ без додаткових витрат.

Однією з ключових рис C++ є його обчислювальна продуктивність та можливість максимального контролю над усіма аспектами програми. Мова спрямована на те, щоб "платити лише за те, що використовується", тобто

функції, які можуть призвести до додаткових накладних витрат, не є обов'язковими для використання. Це дозволяє працювати з пам'яттю на низькому рівні.

C++ підтримує різні стилі програмування, включаючи традиційне імперативне, узагальнене, об'єктно-орієнтоване та функціональне програмування. Шаблони C++ дозволяють створювати загальні контейнери та алгоритми для різних типів даних та виконувати розрахунки на етапі компіляції.

Інші переваги мови включають автоматичний виклик деструкторів об'єктів для керування пам'яттю, переваження операторів для зручності виразів, можливість контролювати константність об'єктів та можливість вбудовування предметно-орієнтованих мов програмування. Серед інших переваг - велика доступність документації та підручників.

У загальному, мова C++ містить у собі всі необхідні інструменти для розробки різноманітних програм, а її розповсюдженість забезпечує наявність вичерпної документації.

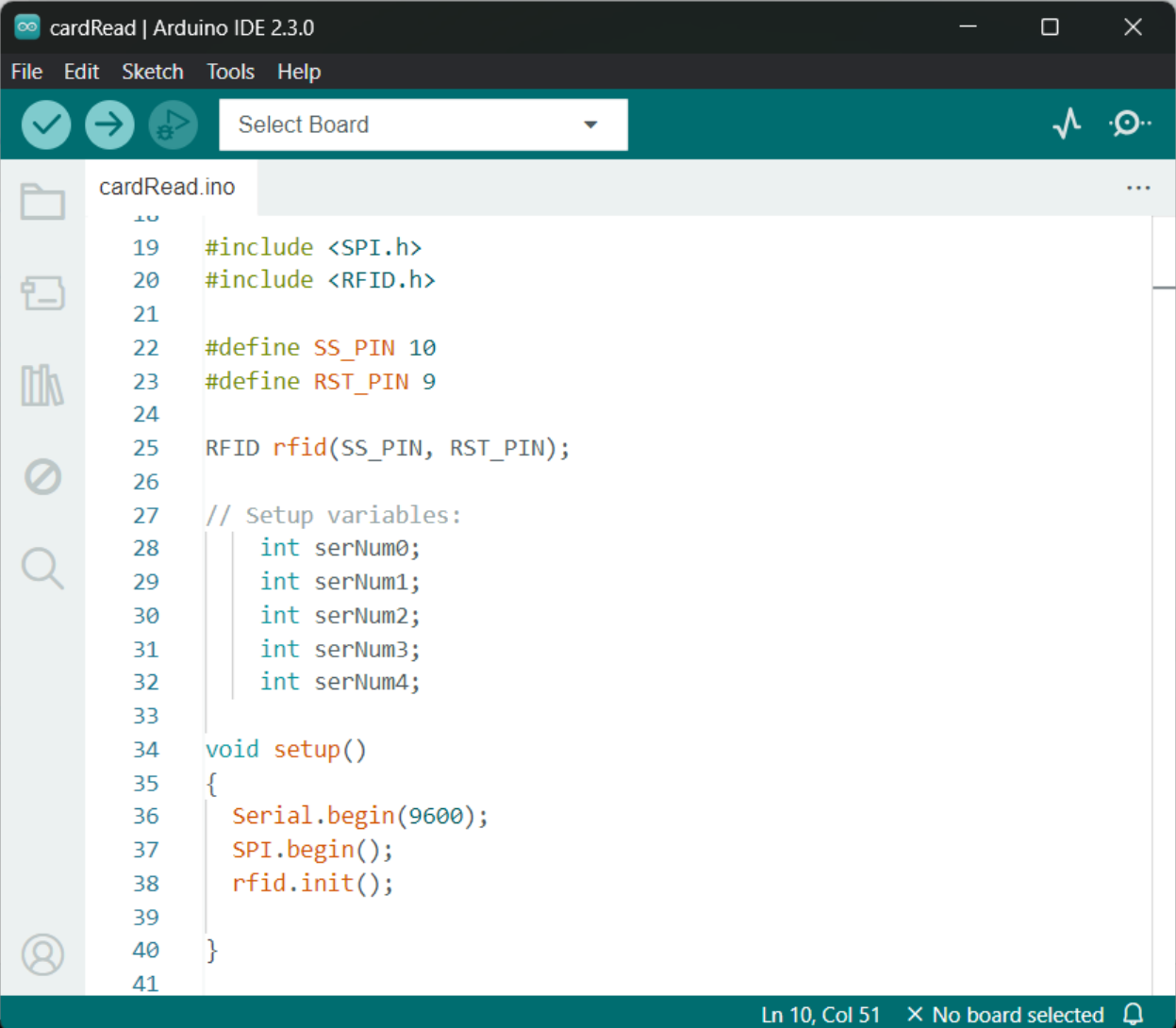
2.2 Програмування контролера ESP8266 в середовищі Arduino IDE

Програмування ESP8266 через Arduino IDE базується на мові програмування C++ і використовує бібліотеку AVR Libc, що дозволяє використовувати будь-які її функції. Arduino IDE є інтегрованим середовищем розробки, що містить редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки в пристрій. Це багатоплатформовий додаток на Java, спроектований для простоти використання навіть для новачків у програмуванні.

Мова програмування Arduino IDE схожа на мову Wiring, що базується на C++, але доповнена деякими бібліотеками. Вона спрощує програмування мікроконтролерів, дозволяючи визначити лише дві функції: `setup()` для початкових параметрів та `loop()` для циклічного виконання програми.

Arduino IDE для ESP8266 дозволяє створювати прошивки та прошивати їх у пристрої точно так само, як і звичайно з Arduino. Це означає, що не потрібно мати плату Arduino, і ESP8266 не використовується як WiFi ШІлд для Arduino. Можна використовувати практично всі бібліотеки Arduino з ESP8266 з невеликими змінами [12].

Arduino IDE підтримує всі існуючі модулі ESP8266, включаючи флеш-модулі більшого обсягу. Підтримуються також режим "авторестарту" і прошивка по RTS + DTR, а також можливість вручну притягувати GPIO0 до землі для прошивки, якщо у вас є лише RX, TX і GND на USB-TTL адаптері.



```
cardRead.ino
18
19 #include <SPI.h>
20 #include <RFID.h>
21
22 #define SS_PIN 10
23 #define RST_PIN 9
24
25 RFID rfid(SS_PIN, RST_PIN);
26
27 // Setup variables:
28 int serNum0;
29 int serNum1;
30 int serNum2;
31 int serNum3;
32 int serNum4;
33
34 void setup()
35 {
36   Serial.begin(9600);
37   SPI.begin();
38   rfid.init();
39
40 }
41
```

Ln 10, Col 51 × No board selected

Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд середовища програмування Arduino IDE

Розглянемо деякі функції бібліотеки WiFi ESP8266, вони мають багато спільних рис з функціями бібліотеки для WiFi Шілду, але є й деякі відмінності [13]:

- `WiFi.mode(m)`: дозволяє вибрати режим роботи, такий як `WIFI_AP` (точка доступу), `WIFI_STA` (клієнт) або `WIFI_AP_STA` (обидва режими одночасно).
- `WiFi.softAP(ssid)`: створює відкриту точку доступу.
- `WiFi.softAP(ssid, password)`: створює точку доступу з шифруванням WPA2-PSK, де пароль повинен бути не менше 8 символів.
- `WiFi.macAddress(mac)`: дозволяє отримати MAC-адресу в режимі клієнта.
- `WiFi.softAPmacAddress(mac)`: дозволяє отримати MAC-адресу в режимі точки доступу.
- `WiFi.localIP()`: дозволяє отримати IP-адресу в режимі клієнта.
- `WiFi.softAPIP()`: дозволяє отримати IP-адресу в режимі точки доступу.
- `WiFi.RSSI()`: наразі не реалізована.
- `WiFi.printDiag(Serial)`: виводить діагностичну інформацію.
- Клас `WiFiUDP` підтримує прийом і передачу multicast-пакетів в режимі клієнта. Для передачі multicast-пакета використовуйте функцію `udp.beginPacketMulticast(addr, port, WiFi.localIP())`. Коли очікуєте multicast-пакети, використовуйте функцію `udp.beginMulticast(WiFi.localIP(), multicast_ip_addr, port)`. Можна використовувати `udp.destinationIP()` для визначення того, чи був пакет відправлений на multicast-адресу чи призначений саме вам. Multicast-функції не підтримуються в режимі точки доступу [12, 13].

РОЗДІЛ 3

СХЕМА ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЮ ЗЧИТУВАННЯ RFID МІТОК

Розглянемо розробку зчитувача RFID на базі NodeMCU з використанням модуля MFRC522. Цей прилад зможе зчитувати серійний номер з картки або мітки та відобразити його на моніторі COM-порту комп'ютера. Для цього проекту будуть потрібні такі апаратні компоненти:

- Плата NodeMCU V3 ESP8266 (CP2102)
- Зчитувач RFID MFRC522
- Мітки RFID (13,56 МГц)

Підключимо модуль зчитувача RFID до плати NodeMCU V3 ESP8266 за схемою рис.3.1. Підключення даного модуля здійснюється за допомогою комунікаційного протоколу SPI, який є стандартизованим і підтримується апаратно обома пристроями.

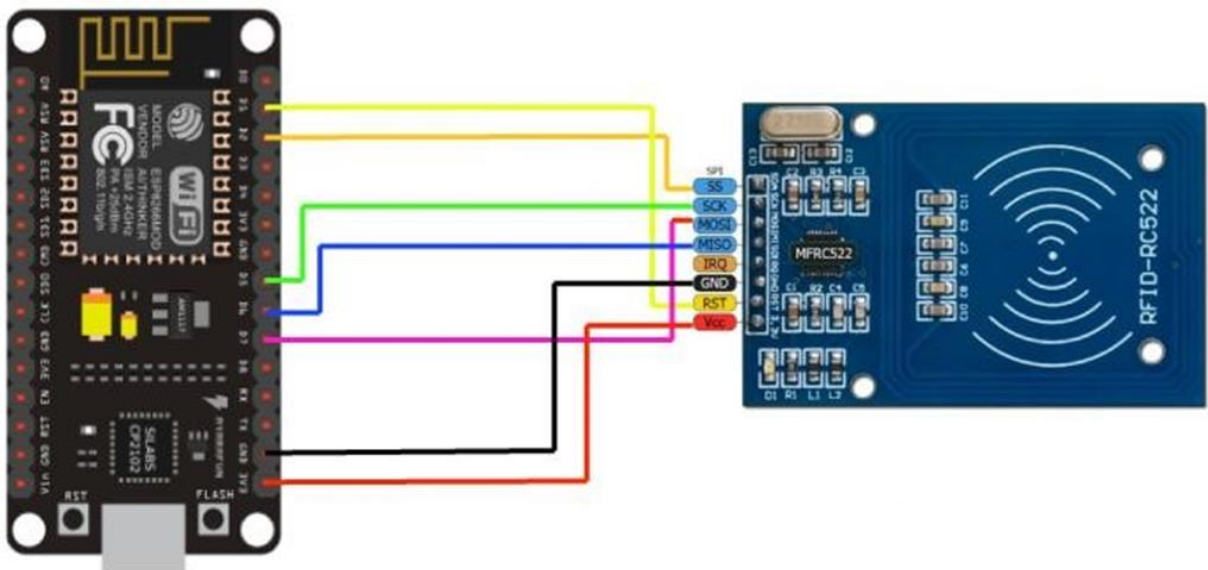


Рисунок 3.1 – Схема підключення RFID модуля до плати NodeMCU V3 ESP8266

Далі перейдемо до розробки програмного забезпечення в середовищі Arduino IDE.

Спочатку виконаємо налаштування для змоги працювати з ESP8266, для цього виконаємо наступні кроки:

Запускаємо програму Arduino IDE на комп'ютері.

– Перейдемо у вкладку **File** і оберемо **Preferences**.

– У полі **Additional Boards Manager URLs** додаємо посилання:
http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

– Натискаємо **OK** для збереження налаштувань.

– Перейдемо до вкладки **Tools**, виберемо **Boards** і натискаємо **Boards Manager**.

– У полі пошуку вводимо "ESP8266".

– Знаходимо **ESP8266 by ESP8266 Community** і натискаємо **Install**.

Після успішної установки плати ESP8266, можна приступити до написання і завантаження скетчів на ваш NodeMCU.

На першому етапі розробки програми для зчитування RFID-міток вказуємо директиви препроцесора, у результаті чого будуть підключені необхідні для розробки бібліотеки. Код цієї операції має наступний вигляд:

```
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
#define RST_PIN  D3
#define SS_PIN   D4
```

Далі описуємо блок коду, який відповідає за налаштування і виконується один раз при запуску системи:

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  SPI.begin(); // Ініціалізація SPI шини
  mfrc522.PCD_Init(); // Ініціалізація MFRC522

  // Підключення до WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
  }
  Serial.println("Connected to WiFi"); } }
```

Тут виконується ініціалізація пристроїв та здійснюється процес підключення до мережі WiFi, при цьому в коді закладено можливість перепідключення при втраті з'єднання з мережею.

На наступному кроці потрібно описати функцію `void loop()`, яка виконується циклічно і виконує по чергово всі операції, запрограмовані в контролері. Нами були реалізовані функції зчитування RFID, відображення даних на моніторі COM-порту та відправка інформації на сервер.

Пошук нових карток реалізований у вигляді перевірки на повернення значення `TRUE` функцією з бібліотеки `RFID`:

```
if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent() ) {
    return;
}
```

Вибір однієї з карток та зчитування її серійного номера реалізовано наступним блоком коду:

```
if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial() ) {
    return;
}
```

Відображення зчитаного `UID` на моніторі `COM`-порту реалізовано наступним блоком коду:

```
Serial.print("UID tag :");
String content = "";
for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++) {
    Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" :
" ");
    Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
    content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10
? " 0" : " "));
    content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i],
HEX));
}
Serial.println();
```

Виведення серійного номера мітки здійснюється побайтно у шістнадцятковій формі «HEX», так, щоб він був зручний для візуального сприйняття

Відправка даних на сервер реалізовується у випадку, коли потрібно розробити систему з фіксацією всіх фактів зчитування безконтактного ключа

з подальшою обробкою цих даних. Прикладом системи, де може бути використана така можливість є система контролю доступу з фіксацією часу його отримання. Реалізувати такий функціонал можна наступним блоком коду:

```

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
  WiFiClient client;
  const char* host = "your_server";
  const int port = 80;
  if (!client.connect(host, port)) {
    Serial.println("Connection to host failed");
    return;
  }
  client.print(String("GET /your_endpoint?uid=") +
content + " HTTP/1.1\r\n" +
                "Host: " + host + "\r\n" +
                "Connection: close\r\n\r\n");
  while(client.connected() && !client.available())
delay(1);
  while (client.available()) {
    String line = client.readStringUntil('\r');
    Serial.print(line);
  }
  client.stop();
}

```

Описаний вище програмний код дозволяє зчитувати UID RFID картки і відправляти його на веб-сервер для подальшої обробки. В залежності від потреби, така система може бути використана для систем безконтрактного доступу в приміщення, з документуванням фактів таких дій, наприклад, зберігаючи до бази даних.

ВИСНОВКИ

1. Технологія RFID є ефективним методом ідентифікації об'єктів, та дозволяє автоматизувати процес ідентифікації та забезпечує надійність та точність даних. Наявність різних типів RFID-міток, таких як активні, пасивні та напівпасивні, дозволяє вибирати оптимальний варіант для конкретної ситуації та потреб користувача. Розуміння принципів роботи зчитувачів RFID та алгоритмів зчитування міток допомагає покращити ефективність системи та забезпечити її стабільну роботу.

2. Показано, що вибір правильного діапазону частот є критичним для успішного впровадження RFID-системи. Це впливає на максимальну відстань передачі сигналу, швидкість передачі інформації та інші характеристики системи. Існують низькочастотні (LF), високочастотні (HF), ультрависокочастотні (UHF) технології ідентифікації, які мають свої унікальні характеристики та застосування.

3. Встановлено, що RFID-мітка містить інтегральну схему для зберігання та обробки інформації та антену для передачі та отримання сигналу. Система RFID полягає у взаємодії між міткою та зчитувачем. Зчитувач генерує магнітне поле, яке збуджує струм і мітці, і зчитує промодульований сигнал для отримання інформації, збереженої в чіпі мітки.

4. NodeMCU на базі контролера ESP8266 дозволяє реалізувати різноманітні проекти в області Інтернету речей, як то, схеми зчитування RFID міток. Платформа має вбудований Wi-Fi модуль, що дозволяє підключати пристрої до мережі. Завдяки широкому спектру периферійних інтерфейсів, які підтримує платформа, розробники можуть підключати різноманітні сенсори та пристрої розширення, що робить її універсальним і гнучким засобом для використання у різних проектах.

5. Розроблено схему на основі мікроконтролера ESP8266 та програмне забезпечення для реалізації функцій радіочастотної ідентифікації пасивних міток RFID з подальшою передачею зчитаних даних до віддаленого серверу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Advancing Construction with IoT and RFID Technology in Civil Engineering: A Technology Review. *Al-Salam Journal for Engineering and Technology*. 2023. P. 54–62.
- 2 Принцип роботи RFID ідентифікації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rfidukraine.com.ua/how-rfid-works/> 01.05.2024
- 3 Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, Third Edition / Klaus Finkenzeller ; translated by Dörte Müller. – 3rd ed https://repo.zenk-security.com/Magazine%20E-book/RFID_handbook.pdf
- 4 Khan S. I., Ray B. R., Karmakar N. C. RFID localization in construction with IoT and security integration. *Automation in Construction*. 2024. Vol. 159. P. 105249.
- 5 Mehannaoui R., Mouss K. N., Aksa K. IoT-based food traceability system: Architecture, technologies, applications, and future trends. *Food Control*. 2022. P. 109409.
- 6 RFID –технологія автоматичної ідентифікації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.vostok.dp.ua/ukr/infa1/rfid/rfid_tekhnologiya/ 01.05.2024
- 7 Lonappan J., Aithal P. S., Jacob M. E-Professionalism as a Professional Identity in the Digital Era of Medical Education. *International Journal of Health Sciences and Pharmacy*. 2023. P. 35–48.
- 8 Mudra G., Cui H., Johnstone M. N. Survey: An Overview of Lightweight RFID Authentication Protocols Suitable for the Maritime Internet of Things. *Electronics*. 2023. Vol. 12, no. 13. P. 2990.
- 9 Salindeho G. G., Wellem T. Perancangan dan implementasi sistem pendeteksi dan peringatan kebakaran berbasis iot menggunakan nodemcu esp8266 dan sensor api. *IT-Explore: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*. 2023. Vol. 2, no. 3. P. 179–191.

- 10 C. D. Setyawan and A. Wisaksono, “Body Posture Position Alarm Prototype Based on NodeMCU ESP8266”, *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 5, no. 4, pp. 614–622, Jan. 2024
- 11 IoT based smart irrigation, control, and monitoring system for chilli plants using NodeMCU-ESP8266 / A. A. Abd Halim et al. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2023. Vol. 12, no. 5. P. 3053–3060.
- 12 Patient Health Monitoring System Development using ESP8266 and Arduino with IoT Platform / J. A. J. Alsayaydeh et al. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2023. Vol. 14, no. 4
- 13 IoT Based RFID Attendance Monitoring System of Students using Arduino ESP8266 & Adafruit.io on Defined Area / A. Shrivastava et al. *Cybernetics and Systems*. 2023. P. 1–12.
- 14 Холоденко А.С., Немцов В.А, Тищенко К.В. Ідентифікація та моніторинг елементів ІоТ в однорангових мережах / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції студентів та молодих вчених «Фізика, електроніка, електротехніка ФЕЕ-2024». – Суми: СумДУ, 2024. – С.24.