

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електронних систем

МОРОЗ ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ

СИСТЕМНИЙ ДОСТУПУ НА БАЗІ RFID ТЕХНОЛОГІЇ.

Спеціальність 171 Електроніка
Освітня програма Електронні системи

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітнього ступеня магістра

Науковий керівник:

Спесивих Олександр Олександрович

к.ф-м.н

(доцент)

Регістрація _____
(номер)

« _____ » _____ 2025 р. _____ Тетяна СЕМАК
(підпис)

Кваліфікаційна робота допущена до захисту

Завідуючий кафедри

_____ Тарас ЗАЯЦЬ
(підпис)

к.ф.-м.н., доцент

« _____ » _____ 2025 р.

Рецензент

_____ (підпис)

Ігор МИЛИПЧИНЕЦЬ
(Ім'я Прізвище)

М.н.с., доктор філософії
(науковий ступінь, вчене звання)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедрою,
доц. _____ (Заяць Т. М.)
“ ____ ” _____ 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційну роботу магістра
на тему:

ПРИСТРІЙ ДОСТУПУ НА БАЗІ RFID ТЕХНОЛОГІЙ.

Студента групи ЕС: Олександра МОРОЗА ()
Керівник: кандидат фіз.-мат. наук, кафедри ЕС
Олександр СПЕСИВИХ ()

Ужгород - 2025

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедрою,
доц. _____ (Заяць Т. М.)
“ ____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістра студента

Мороза Олександра Дмитровича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Пристрій доступу на базі RFID технології.
Затверджено на засіданні кафедри (протокол №__ від _____ 2025 р.)

2. Термін закінчення роботи: 10 грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи.

1. Створити простий ефективний електричний пристрій, який забезпечує надання доступу до приміщення за допомогою технології радіо ідентифікації.

Забезпечити слідуючи характеристики контролера:

1. Робоча радіочастота RFID – 125кГц;
2. Напруга живлення: 9-12В;
3. Струм в режимі роботи не більше 120 мА (без урахування потужності реле);
4. Робоча температура, °C -10 ÷ +65 ;
5. Наявні інтерфейси для програмування та зчитування RFID тегів – USB Type-C (у режимі 2.0)
6. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

- 1) Вступ. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування.
- 2) Синтез та аналіз структурної та функціональної схем об'єкту проектування та її опис.
- 3) Технічна пропозиція та її обґрунтування і опис.
- 4) Розрахунок електричних параметрів окремих фрагментів принципової схеми та дослідження дискретних елементів при необхідності.
- 5) Синтез друкованої плати
- 6) Визначення розмірів контактних площадок та друкованих провідників.
- 7) Вибір варіантів встановлення радіоелементів на друкованій платі.
- 8) Тепловий розрахунок пристрою.
- 9) Розрахунок теплових режимів пристрою.
- 10) Розрахунок характеристик надійності пристрою.
- 11) Економічна частина організації виробництва.
- 12) Охорона праці.
- 13) Висновки.

1. Консультанти дипломної роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Заяць Т. М.		
Нормоконтроль	Папп О. В.	Спесивих О.О.	Мороз О.Д.

Дата видачі завдання 23 листопада 2025 року.

Керівник роботи _____ (доц. Спесивих О.О.)
(підпис)

Завдання прийняв на виконання _____ (Мороз О.Д.)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів	Примітки
№ п/п	Найменування етапів виконання КРМ	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2024 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів	до 20.02.2025 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2025 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2025 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.06.2025 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра.	до 20.10.2025 року	

Студент _____ (О.Д. Мороз)

Керівник дипломної роботи _____ (доц. Спесивих О.О.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему «Пристрій доступу на базі RFID технології.» / *УжНУ; Керівник Спесивих О. О.; Студент Мороз О.Д., група ЕС.*

Пояснювальна записка: 64 сторінок, 13 рисунків, 2 таблиць, 18 джерел, 4 додатки

Графічна частина: 4 листи формату А1.

Об'єкт розробки – розробка конструкторської документації « Системи контролю доступу на базі RFID технології».

Метод дослідження – аналіз прототипів та аналогічних систем, синтез структурної та принципової схеми, розрахунок режимів роботи елементів схеми.

У процесі виконання цієї роботи проведено пошук та аналіз аналогів проєктованого об'єкта. Відповідно до отриманих даних і вимог технічного завдання були розроблені структурна та принципова схеми. Проектно-конструкторський розділ включає синтез структурної та принципової схеми, опис роботи пристрою та відповідні розрахунки.

RFID, СИСТЕМА ДОСТУПУ, USB, ПРИСТРІЙ, РОЗРАХУНКИ, СХЕМА

ABSTRACT

Qualification bachelor's thesis on «Access device based on RFID technology» / UzhNU; Supervisor Spesivikh O. O.; Student Moroz O. D., ES group.

Explanatory note: 65 pages, 13 figures, 2 tables, 18 sources, 4 appendices.

Graphic part: 4 sheets of A1 format.

Object of development - creation of a structural and schematic diagram of a access system based on RFID technology.

Research method - analysis of prototypes and similar systems, synthesis of the structural and schematic diagram, as well as its implementation in the form of an electronic circuit diagram.

In the process of performing this work, a search and analysis of analogues of the projected object was carried out. In accordance with the data obtained and the requirements of the technical task, the structural and circuit diagrams were developed. The design and development section includes a synthesis of the structural and circuit diagrams, a description of the device operation and relevant calculations.

RFID, ACCESS SYSTEM, USB, DEVICE, CALCULATIONS, SCHEME

ЗМІСТ

1 Вступ	9
2 Загальні відомості та огляд існуючих методів	10
2.1 Мікроконтролери	10
2.2 Загальні принципи проектування та розрахунки антен для радіочастотної ідентифікації	13
2.3 Огляд основної теорії для проектування антенних котушок	15
3 Огляд можливих схемних рішень RFID	24
3.1 Компоненти RFID систем з мікроконтролерами	24
3.2 Можливі схемні рішення	25
4 Розрахунок основних блоків пристрою	29
4.1 Структурна схема пристрою	28
4.2 Стабілізоване джерело живлення	32
4.3 Розрахунок антенної котушки	33
4.4 Вибір та реалізація зовнішнього цифрового інтерфейсу	35
5 Конструкторсько-технологічний розділ	39
5.1 Визначення розмірів монтажних отворів	39
5.2 Розрахунок контактних майданчиків	40
5.3 Розрахунок мінімальної ширини друкованого провідника	42
5.4 Розрахунок надійності пристрою	52
6 Економічна частина.....	50
6.1. Розрахунок собівартості спроектованого приладу	51
6.2. Розрахунок кількості та вартості матеріалів	52
6.3. Розрахунок кількості й вартості покупних комплектуючих	53
7. Заходи по охороні праці та захисту навколишнього середовища.....	54
Висновок.....	61

					<i>KPM.EC.10315367.001.ПЗ</i>			
Ви	Арк.	№ докум.	Підпис					
Розробив		Мороз О.Д.			Пристрій доступу на базі RFID технології. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевіри		Спесивих О.				Н	7	63
						УжНУ, ІТФ, гр.ЕС, 2-курс		
Н.Конт		Папп О.В.						
Затв.		Заяць Т.М.						

1. ВСТУП

Радіочастотна ідентифікація (RFID) є однією з найсучасніших та найперспективніших технологій у сфері автоматичної ідентифікації та управління доступом. RFID пристрої дозволяють автоматично визначати та відстежувати об'єкти за допомогою радіохвиль, що робить їх надзвичайно ефективними у різних сферах застосування, включаючи контроль доступу, логістику, охорону та безпеку.

Технологія RFID базується на використанні спеціальних міток (тегів) та зчитувачів, які взаємодіють між собою на певних радіочастотах. Тег містить унікальний ідентифікаційний код, який може бути зчитаний зчитувачем на відстані без фізичного контакту. Це забезпечує зручність і швидкість процесу ідентифікації порівняно з традиційними методами, такими як магнітні карти чи штрих-коди.

Основними складовими RFID системи є:

1. **Теги (мітки):** Малі пристрої, які містять вбудовані антени та мікрочипи для зберігання і передачі даних.
2. **Зчитувачі:** Пристрої, що передають радіосигнали для активації тегів та зчитують інформацію з них.
3. **Антени:** Використовуються як у тегах, так і у зчитувачах для передачі та прийому радіосигналів.
4. **Програмне забезпечення:** Інтегрує RFID обладнання в єдину систему, обробляє та аналізує дані, забезпечує їх зберігання і відображення.

RFID технології мають широкий спектр застосувань, включаючи системи контролю доступу, де вони використовуються для забезпечення безпечного та зручного входу до об'єктів. Такі системи можуть застосовуватись у різних установах — від офісних будівель до аеропортів і промислових об'єктів. Вони дозволяють не лише ідентифікувати особу, але й вести журнал доступу, аналізувати дані та забезпечувати високий рівень безпеки[1].

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ОГЛЯД ІНСТУЮЧИХ МЕТОДІВ

У даному розділі зробимо короткий теоретичний огляд інстуючих методів реалізації електронних пристроїв радіо ідентифікації. Коротко зупинимось на кожному з складових.

2.1 Мікроконтролери

Мікроконтролери є основними компонентами сучасних вбудованих систем і використовуються в широкому спектрі застосунків від побутової техніки до промислового обладнання та автомобільної електроніки. Вони забезпечують необхідну обчисловальну потужність для виконання конкретних завдань у реальному часі, що робить їх незамінними у багатьох галузях[2].

Що Таке Мікроконтролер?

Мікроконтролер (МК) — це компактний інтегральний пристрій, який містить центральний процесор (CPU), пам'ять (RAM і ROM), периферійні пристрої вводу/виводу (I/O) та інші функціональні блоки на одній мікросхемі. Основне призначення мікроконтролера — керувати іншими частинами електронної системи, виконуючи програму, записану у внутрішню пам'ять.

Структурну схему мікроконтролера наведено на рисунку 1.1.

Коротко розглянемо основні компоненти сучасного мікроконтролера. Незалежно від виробника, базова архітектура є подібною.

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.10315367.001.ПЗ

Арк.

10

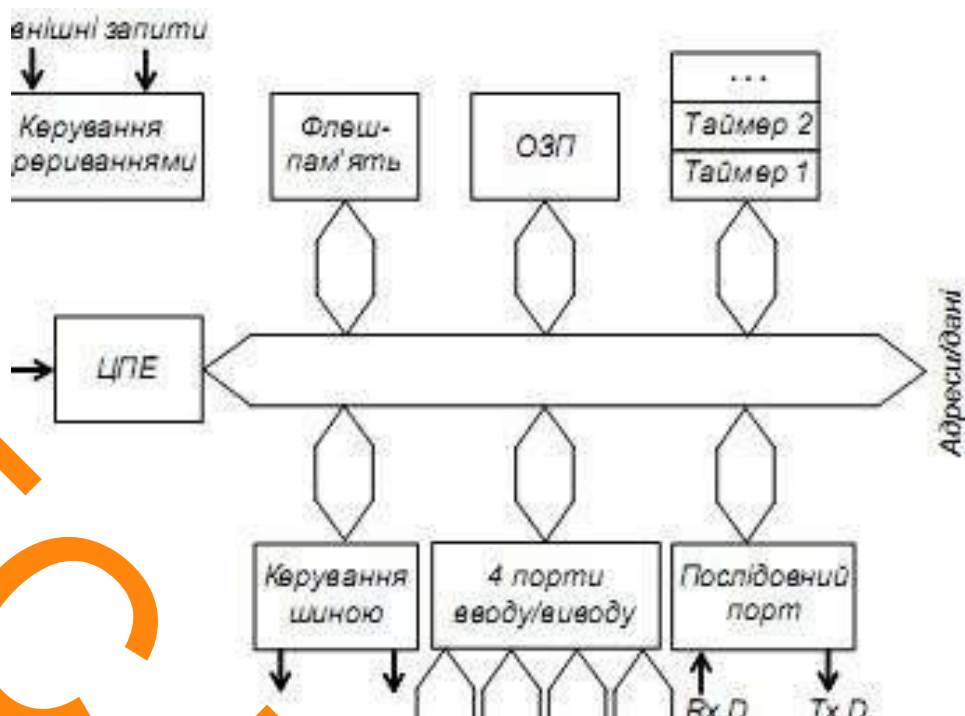


Рисунок 1.1 – Структурна схема мікроконтролера.

Основні Компоненти Мікроконтролера

1. **Центральний процесор (CPU):** Процесор є "мозком" мікроконтролера, який виконує команди програми. Процесори можуть бути різної архітектури, наприклад, 8-бітні, 16-бітні, 32-бітні або навіть 64-бітні.

2. Пам'ять:

- **Оперативна пам'ять (RAM):** Використовується для тимчасового зберігання даних під час виконання програм.

- **Постійна пам'ять (ROM/Flash):** Використовується для зберігання прошивки або програмного забезпечення мікроконтролера.

3. **Периферійні пристрої:** Мікроконтролери зазвичай мають вбудовані периферійні пристрої, такі як:

- Таймери та лічильники
- Аналого-цифрові перетворювачі (ADC)
- Цифро-аналогові перетворювачі (DAC)
- Порти вводу/виводу (GPIO)
- Послідовні інтерфейси (UART, SPI, I2C тощо)

	Виконав				<i>KPM.EC.10315367.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

4. **Інтерфейси вводу/виводу:** Вони забезпечують зв'язок мікроконтролера з іншими пристроями, такими як сенсори, виконавчі механізми, дисплеї тощо.

5. **Системний тактовий генератор:** Він визначає частоту роботи мікроконтролера, забезпечуючи синхронізацію всіх внутрішніх процесів.

Класифікація Мікроконтролерів

Мікроконтролери класифікуються за кількома параметрами, включаючи розрядність, архітектуру, обсяг пам'яті, кількість і типи периферійних пристроїв, потужність споживання та інші характеристики.

1. Розрядність:

- **8-бітні:** Найбільш підходять для простих задач з низькою обчислювальною потужністю.
- **16-бітні:** Пропонують більшу потужність і більше можливостей, ніж 8-бітні.
- **32-бітні:** Використовуються для більш складних задач, що потребують високої продуктивності.
- **64-бітні:** Зазвичай використовуються в задачах, що вимагають ще вищої продуктивності і обробки великих обсягів даних.

2. Архітектура:

- **Harvard:** Має окремі пам'яті для команд і даних, що дозволяє збільшити швидкість обробки.
- **Von Neumann:** Команди і дані зберігаються в одній пам'яті, що спрощує архітектуру.

3. Спеціалізовані Мікроконтролери:

- **Контролери реального часу (RTC):** Призначені для задач, що потребують точного відліку часу.
- **Контролери з низьким енергоспоживанням:** Оптимізовані для роботи в умовах обмеженого енергопостачання, наприклад, у портативних пристроях.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Мікроконтролери використовуються у різних галузях, зокрема:

- **Побутова техніка:** Пральні машини, мікрохвильові печі, холодильники тощо.
- **Автомобільна промисловість:** Системи керування двигуном, системи безпеки, інформаційно-розважальні системи.
- **Промисловість:** Системи автоматизації, контролери для обладнання.
- **Медична техніка:** Прилади для діагностики та моніторингу стану пацієнтів.
- **Портативні пристрої:** Смартфони, розумні годинники, фітнес-трекери.
- **Інтернет речей (IoT):** Смарт-сенсори, розумні будинки, промислові інтернет речі (IIoT).

Переваги Використання Мікроконтролерів

1. **Інтеграція:** Всі необхідні компоненти в одному чіпі, що зменшує розмір і вартість системи.
2. **Енергоефективність:** Мікроконтролери оптимізовані для низького енергоспоживання, що важливо для портативних пристроїв.
3. **Програмованість:** Мікроконтролери легко програмуються для виконання різноманітних задач.
4. **Надійність:** Використання мікроконтролерів дозволяє створювати надійні та стабільні системи.

2.2 Загальні принципи проектування та розрахунки антен для радіочастотної ідентифікації.

В застосуванні радіочастотної ідентифікації (RFID) антена котушки потрібна з двох основних причин:

- Передача RF несучого сигналу для живлення мітки.
- Прийом даних з мітки.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

RF сигнал може ефективно випромінюватися, якщо лінійний розмір антени порівнянний з довжиною хвилі робочої частоти. У застосуванні RFID, яке використовує діапазон VLF (100 кГц – 500 кГц), довжина хвилі робочої частоти складає кілька кілометрів ($\lambda = 2.4$ км для сигналу 125 кГц). Через свою довгу довжину хвилі справжня антена ніколи не може бути сформована в обмеженому просторі пристрою. Натомість використовується невелика петля антени котушки, яка резонує на цікавій частоті (тобто 125 кГц). Цей тип антени використовує магнітну індукцію ближнього поля для зв'язку між передавальною і приймальною антенними котушками.

Поле, створене невеликою дипольною антеною петлі, не є поширюваною хвилею, а скоріше хвилею, яка затухає. Напруженість поля зменшується зі швидкістю r^{-3} (де r = відстань від антени). Така поведінка ближнього поля (r^{-3}) є головним обмежуючим фактором дальності зчитування в застосуваннях RFID.

Коли змінне магнітне поле проходить через котушку (антену), воно індукує напругу на терміналах котушки. Ця напруга використовується для активації пасивного пристрою мітки. Антена котушки повинна бути спроектована для максимізації цієї індукованої напруги.

Ця примітка до застосування написана як довідник для проектувальників антенних котушок і інженерів з застосування в індустрії RFID. Вона розглядає основні теорії електромагнетизму для розуміння антенних котушок, процедуру проектування котушок, розрахунок і вимірювання індуктивності, метод налаштування антени та взаємозв'язок між дальністю зчитування і розміром антенної котушки[3].

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

2.3 Огляд основної теорії для проектування антенних котушок

Струм і магнітні поля.

Закон Ампера стверджує, що струм, який тече по провіднику, створює магнітне поле навколо провідника. Рисунок 2.1 показує магнітне поле, створене елементом струму.

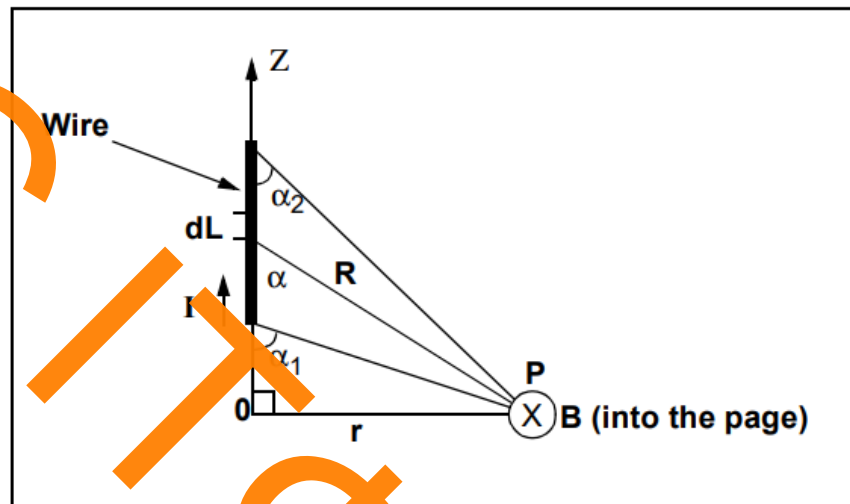


Рис.2.1 Розрахунок магнітного поля B, в точці P при протіканні струму I в провіднику.

Магнітне поле, створене струмом на круговому провіднику (дроті) з кінцевою довжиною, дається рівнянням:

$$B_{\varphi} = (\mu_0 I) / (4 \pi r) (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \quad (2.1)$$

де:

I – струм

r – відстань від центру проводу

μ_0 – проникність вільного простору і дорівнює $4 \pi \times 10^{-7}$ Гн/м

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

У спеціальному випадку з нескінченно довгим дротом, де $\alpha_1 = -180^\circ$ і $\alpha_2 = 0^\circ$, рівняння може бути переписано як:

$$B_\varphi = (\mu_0 I) / (2 \pi r) \quad (2.2)$$

Магнітне поле, створене антеною петлі

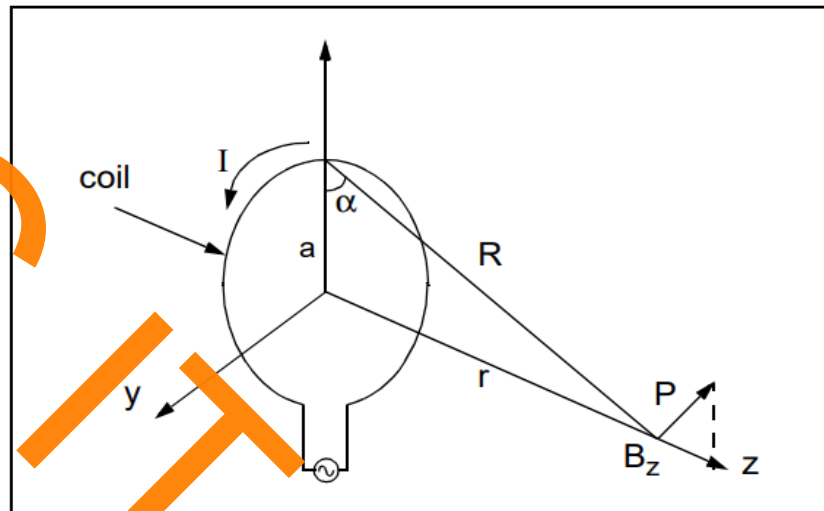


Рис. 2.2 Розрахунок магнітного поля B у точці P створене струмом I в котушці.

Магнітне поле, створене круговою антеною петлі з N витками, як показано на Рисунку 2.2, знаходиться за рівнянням:

$$B_z = 2(a^2 + r^2)^{3/2} \mu_0 I N a^2 \quad (2.3)$$

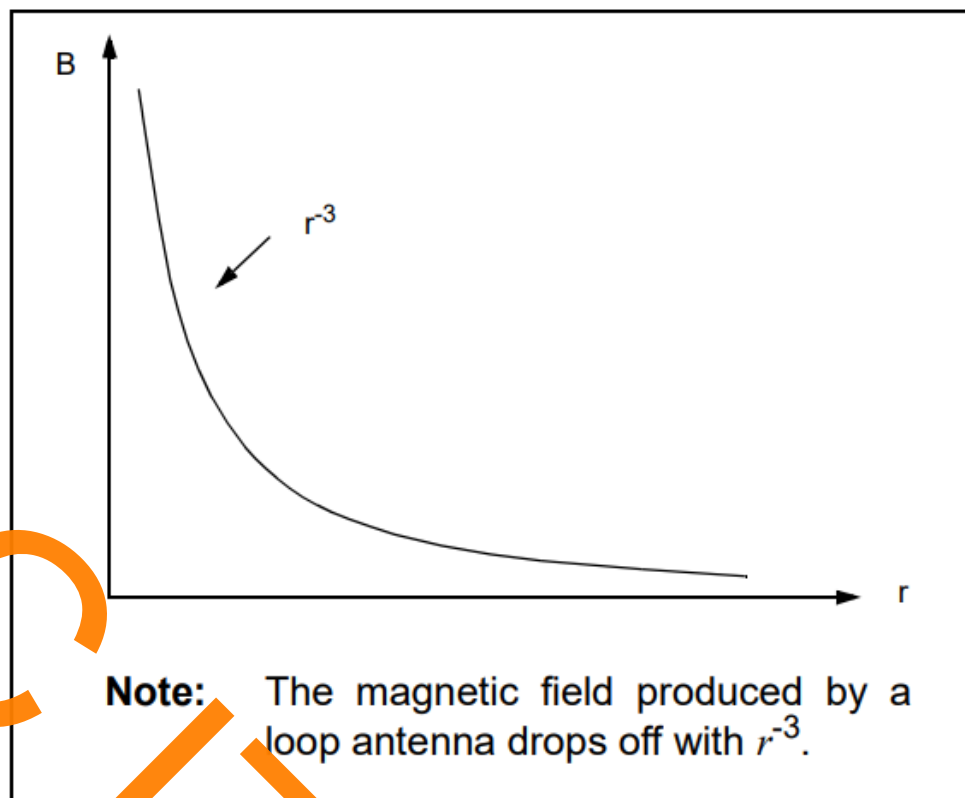


Рис. 2.3 Залежність напруженості магнітного поля B від відстані r .

Рівняння вказує, що магнітне поле, створене антеною петлі, затухає зі швидкістю $1/r^3$, як показано на Рисунку 2.3. Це затухання поля в ближньому полі є головним обмежуючим фактором дальності зчитування пристроєм RFID. Напруженість поля максимальна в площині петлі і прямо пропорційна струму (I), кількості витків (N) і площі поверхні петлі.

Рівняння часто використовується для розрахунку необхідної сили струму-витків для дальності зчитування. Декілька прикладів, які розраховують струм-витки і напруженість поля, необхідну для живлення мітки, будуть наведені в наступних розділах.

Індукована напруга в антенній котушці.

Закон Фарадея стверджує, що змінне магнітне поле, яке проходить через поверхню, обмежену замкненим контуром, індукує напругу в контурі. Цей

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

фундаментальний принцип має важливі наслідки для роботи пасивних пристроїв RFID.

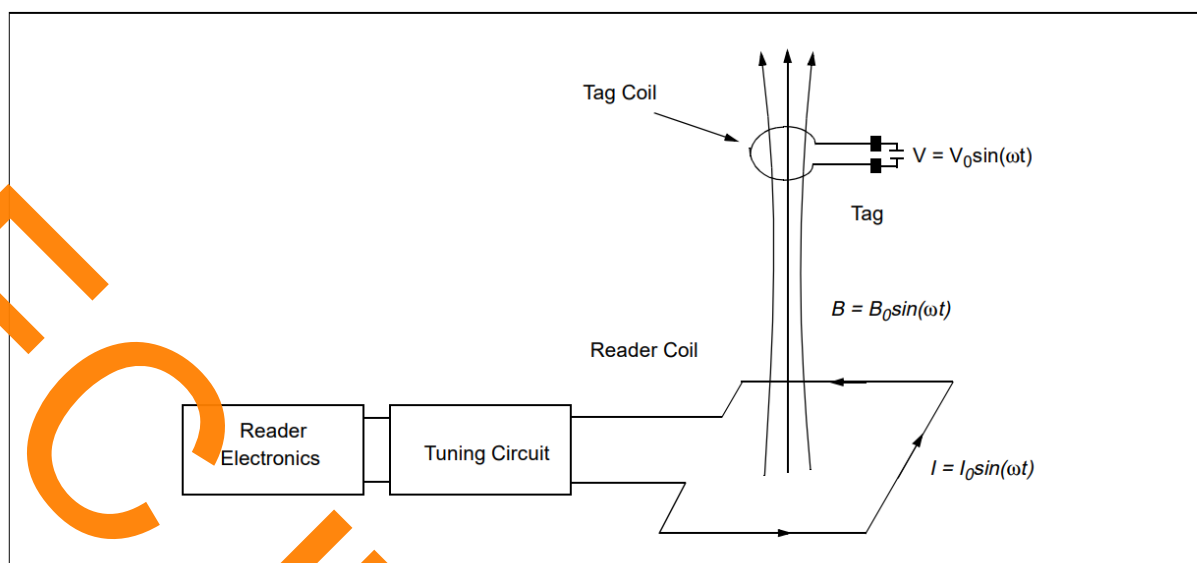


Рис.2.4 Базова система антена рідера міток RFID.

Рисунок 4 показує просту геометрію застосування RFID. Коли антени мітки і зчитувача знаходяться на близькій відстані, змінне магнітне поле B , створене антеною зчитувача, індукуює напругу (називається електрорушійною силою або просто ЕРС) в антені мітки. Індукована напруга в котушці викликає протікання струму в котушці. Це називається законом Фарадея.

Індукована напруга на антені мітки дорівнює швидкості зміни магнітного потоку Ψ .

$$V = -N (d\Psi / dt) \quad (2.4)$$

де:

N – кількість витків в антенній котушці

Ψ – магнітний потік через кожен виток

Мінус показує, що індукована напруга діє так, щоб протистояти магнітному потоку, який її створює. Це відоме як закон Ленца і підкреслює, що напрямок потоку струму в контурі такий, що індуковане магнітне поле, створене індукованим струмом, буде протистояти початковому магнітному полю[3].

Магнітний потік Ψ в рівнянні є загальним магнітним полем B , яке проходить через всю поверхню антенної котушки, і знаходиться за рівнянням:

$$\Psi = \int B dS \quad (2.5)$$

Презентація векторами в рівнянні вказує, що загальний магнітний потік Ψ , який проходить через антенну котушки, залежить від орієнтації антенних котушок. Продукт двох векторів стає максимальним, коли два вектори спрямовані в одному напрямку. Тому магнітний потік, що проходить через котушку мітки, стане максимальним, коли дві котушки (котушка зчитувача і котушка мітки) розташовані паралельно одна до одної.

Індукована напруга для неналаштованої антени петлі

Індукована напруга V_0 для неналаштованої антени петлі визначається рівнянням:

$$V_0 = 2\pi f N S B_0 \cos(\alpha) \quad (2.6)$$

де:

f – частота вхідного сигналу

N – кількість витків в петлі

S – площа петлі в квадратних метрах

B_0 – напруженість вхідного сигналу

α – кут нахилу сигналу

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Якщо котушка налаштована (за допомогою конденсатора С) на частоту вхідного сигналу (125 кГц), вихідна напруга V_0 значно зростає. Вихідна напруга, знайдена в рівнянні, множиться на навантажений коефіцієнт Q (якість) налаштованого контуру, який може варіюватися від 5 до 50 в типових низькочастотних RFID застосуваннях.

$$V_0' = Q \times V_0 = 2\pi f N S B_0 Q \cos(\alpha) \quad (2.7)$$

Коефіцієнт Q дорівнює 2π помножити на кількість зберігання енергії в системі та поділити на енергію, що втрачається за один цикл. Коефіцієнт Q приблизно дорівнює:

$$Q \approx fL/R \quad (2.8)$$

де:

- f = частота вхідного сигналу
- L = індуктивність котушки
- R = опір котушки

Типові значення Q для антенних котушок складають від 20 до 40. Це означає, що, налаштовуючи котушку на робочу частоту (125 кГц), індукована напруга може збільшуватися від 20 до 40 разів.

Ці базові рівняння для індукованої напруги, розрахунку магнітного поля та ампер-витків у петльовій антені використовуються у наступних розділах, що описують конкретні приклади застосування і проектування.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

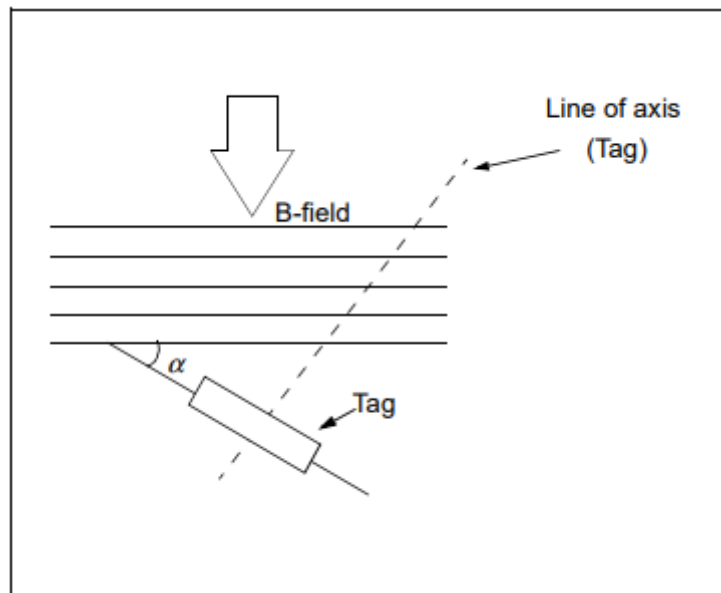


Рисунок 2.5: Індукція Напруги в Антеній Котушці за Законом Фарадея

На практиці як правило застосовують 2 типи котушок антен – кругові та петлеві.

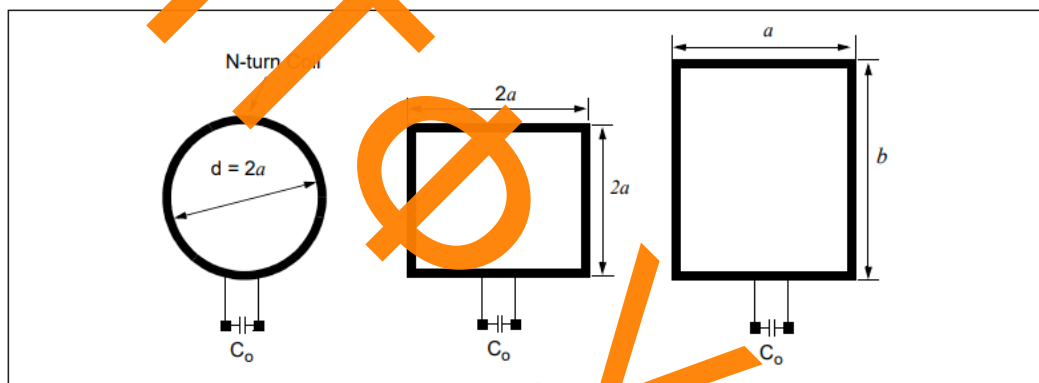


Рис 2.6 Основні типи котушок антен.

Кожен тип антени має свої переваги та недоліки, і вибір типу антени залежить від специфіки застосунку.

Кругова петльова антена

Кругова петльова антена є найпростішим типом антени. Вона має симетричну форму і рівномірне розподілення струму по всій довжині дроту. Кругова антена легка у виготовленні і має високу ефективність.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

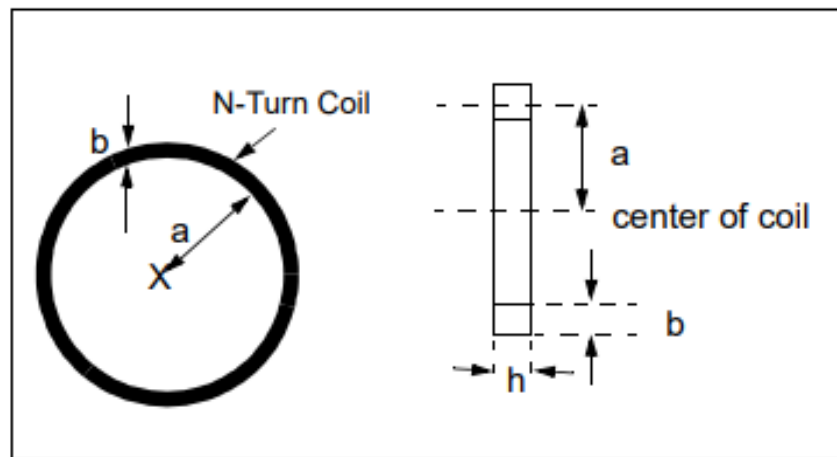


Рис 2.7 Кругова петлева антена

Рисунок 2.7 показує базову конфігурацію кругової петльової антени. Основні параметри кругової антени включають кількість витків (N), діаметр котушки (d) і індуктивність котушки (L).

Прямокутна петльова антена

Прямокутна петльова антена має більш складну геометрію, ніж кругова, але вона може бути більш ефективною для певних застосунків. Прямокутна антена може бути виготовлена з різними співвідношеннями сторін і може бути оптимізована для конкретних розмірів і форм міток.

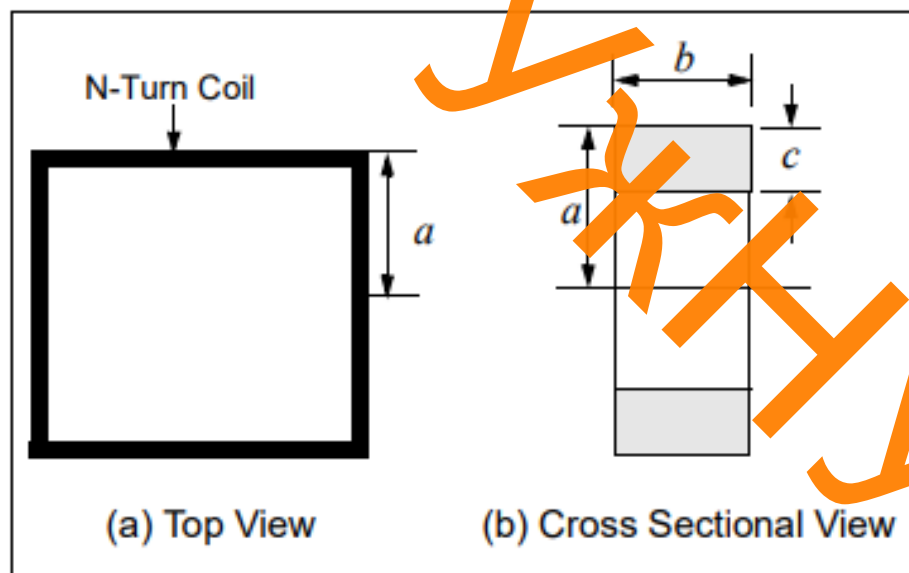


Рис 2.8 Прямокутна петлева антена

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.10315367.001.ПЗ

Арк.

22

Рисунок 2.8 показує базову конфігурацію прямокутної петльової антени. Основні параметри прямокутної антени включають кількість витків (N), довжину сторін (a і b) і індуктивність котушки (L).

Процедура проєктування антени

Проєктування антени котушки включає кілька етапів:

1. Визначення робочої частоти і вимог до дальності зчитування.
2. Вибір типу антени (кругова або прямокутна).
3. Розрахунок основних параметрів антени, таких як кількість витків, індуктивність і коефіцієнт Q .
4. Налаштування антени для резонансу на робочій частоті.
5. Тестування і оптимізація антени у реальних умовах застосування.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

3. ОГЛЯД МОЖЛИВИХ СХЕМНИХ РІШЕНЬ RFID ЗВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ

Використання мікроконтролерів у системах RFID значно розширює можливості розробки та впровадження ефективних рішень для автоматичної ідентифікації та управління доступом. Мікроконтролери забезпечують гнучкість, програмованість та інтеграцію з іншими електронними компонентами, що робить їх ідеальними для створення сучасних RFID систем. У цьому огляді розглянемо основні компоненти та можливі рішення для побудови RFID систем на базі мікроконтролерів [4].

3.1. Компоненти RFID систем з мікроконтролерами

1. RFID модуль: Зазвичай складається з зчитувача і антени. Популярні модулі включають MFRC522, PN532 та RC522. Вони підтримують різні стандарти RFID, такі як ISO/IEC 14443 та ISO/IEC 15693.
2. Мікроконтролер: Виступає в ролі центрального процесора, керуючи зчитуванням даних з RFID модуля та їх подальшою обробкою. Найпопулярнішими мікроконтролерами для таких рішень є серії Arduino (UNO, Mega), ESP8266/ESP32, STM32, та Raspberry Pi Pico.
3. Додаткові компоненти: До них належать живлення, комунікаційні модулі (Wi-Fi, Bluetooth), датчики (наприклад, датчики руху або температури), дисплеї для відображення інформації та реле для керування замками або іншими пристроями.

3.2. Можливі рішення

1. Arduino з MFRC522
 - Опис: Arduino UNO або Nano використовується в поєднанні з RFID модулем MFRC522. Це базове рішення для навчальних та домашніх проектів.
 - Особливості: Простота у використанні, велика кількість доступних бібліотек та прикладів.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- Застосування: Домашні системи контролю доступу, навчальні проекти.

2. ESP8266/ESP32 з PN532

- Опис: ESP8266 або ESP32 з вбудованим Wi-Fi використовуються для створення мережових RFID рішень. PN532 модуль забезпечує зчитування міток.
- Особливості: Можливість підключення до інтернету для віддаленого моніторингу та керування, підтримка Wi-Fi та Bluetooth (ESP32).
- Застосування: Розумні дома, системи контролю доступу з віддаленим керуванням, інтеграція з хмарними сервісами.

3. STM32 з RC522

- Опис: STM32 мікроконтролери відрізняються високою продуктивністю та широкими можливостями. RC522 модуль забезпечує зчитування RFID міток.
- Особливості: Висока швидкість обробки даних, можливість роботи з великими обсягами інформації, низьке енергоспоживання.
- Застосування: Промислові системи контролю доступу, складські та логістичні рішення.

4. Raspberry Pi з USB RFID зчитувачем

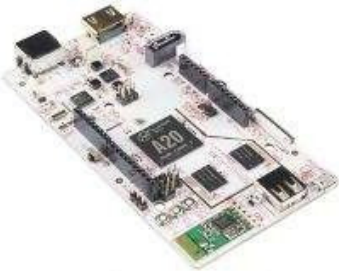
- Опис: Raspberry Pi використовується як повноцінний комп'ютер для обробки даних з USB RFID зчитувача.
- Особливості: Потужний процесор, можливість використання різних операційних систем, інтеграція з іншими периферійними пристроями.
- Застосування: Розширені системи контролю доступу, дослідницькі проекти, розробка прототипів.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики популярних платформ Arduino

№	Назва	Мікроконтролер		Flash-пам'ять	Оперативна пам'ять	Аналогові входи	Цифрові входи та виходи		ШИМ
		Марка	Частота, МГц	КБ	КБ				
1	Arduino UNO 	ATmega328	16	32	2	6	14(6 ШИМ)		
2	Arduino Leonardo 	ATmega32u4	16	32	2.5	12	20		7
3	Arduino Mini 	ATmega328	16	32	2	8	14(6 ШИМ)		
4	Arduino Nano 	ATmega168 (328)	16	16/32	8		14(6 ШИМ)		
5	Arduino Mega 2560 	ATmega2560	16	256	8	16	54(14 ШИМ)		

Таблиця 3.2 Поширені програмні платформи та мікропроцесорні пристрої [3,4]

	
Raspberrry Pi 3 Model B.	Orange Pi PC Plus
	
ODROID-C2	pcDuino v.3 Sparkfun
	
Intel Genuino 101	Odroid M1
	
Arduino Uno Rev3	

3.2 Переваги та складнощі:

Переваги:

- Гнучкість: Мікроконтролери дозволяють створювати настроювані рішення під конкретні потреби.
- Програмованість: Можливість написання власного програмного забезпечення для обробки та аналізу даних.
- Інтеграція: Легка інтеграція з іншими системами та пристроями, такими як мережеве обладнання, датчики та виконавчі механізми.

Недоліки та виклики:

- Складність розробки: Потреба у знаннях програмування та електроніки.
- Вартість: Високі ціни мікроконтролерів та RFID модулів можуть бути дорогими.
- Забезпечення безпеки: Необхідність впровадження додаткових заходів для захисту від несанкціонованого доступу та зломів.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

4. РОЗРАХУНКИ ОСНОВНИХ БЛОКІВ ПРИСТРОЮ

4.1 Структурна схема пристрою

Згідно з завданням, потрібно спроектувати модуль контролю доступу за допомогою технології RFID. Для отримання найдешевшого і простого рішення буде використано доволі просту схему на базі мікроконтролера ATmega 323. По суті це буде спрощене рішення платформи Arduino.

Мікроконтролер ATMEGA 328P побудовано за гарвардською архітектурою (рис. 4.1). У 1946 році ВМС США замовили двом університетам – Гарвардському і Принстонському – розробку цифрової обчислювальної машини для систем керування артилерією лінкорів. Обчислювальна машина Гарвардської структури складалася з двох пристроїв пам'яті: програм і даних.

Така структура забезпечувала високу швидкодію однак необхідно було використовувати два канали передачі даних. Принстонська структура – структура фон Неймана, була простішою, в ній дані і програма зберігаються в одному і тому ж запам'ятовуючому пристрої і для обміну даними між АЛП й ЗП та між ПК й ЗП використовуються однакові процедури. Після звернення МП до ЗП перший код вважається кодом команди, а наступні – адресами, даними чи командами у контексті виконання першої команди [5, 6].

Платформа Arduino відома своєю універсальністю, що, звісно, дуже зручно для багатьох застосувань. Однак, наше завдання - створити схему рішення, яке відповідатиме конкретним вимогам технічного завдання. Це дозволить зменшити вартість і підвищити ефективність використання ресурсів.

RFID-зчитувач буде реалізований на базі мікросхеми SN75176. Вибір цієї мікросхеми обумовлений її доступністю та здатністю забезпечувати єдине зчитування RFID-міток.

Простий алгоритм роботи системи передбачає зчитування RFID-мітки і, у випадку успішного зчитування, відкриття електромагнітного замка на дверях. Керування колом замка буде здійснюватися через реле, яке у свою чергу активуватиметься відповідним виходом контролера.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

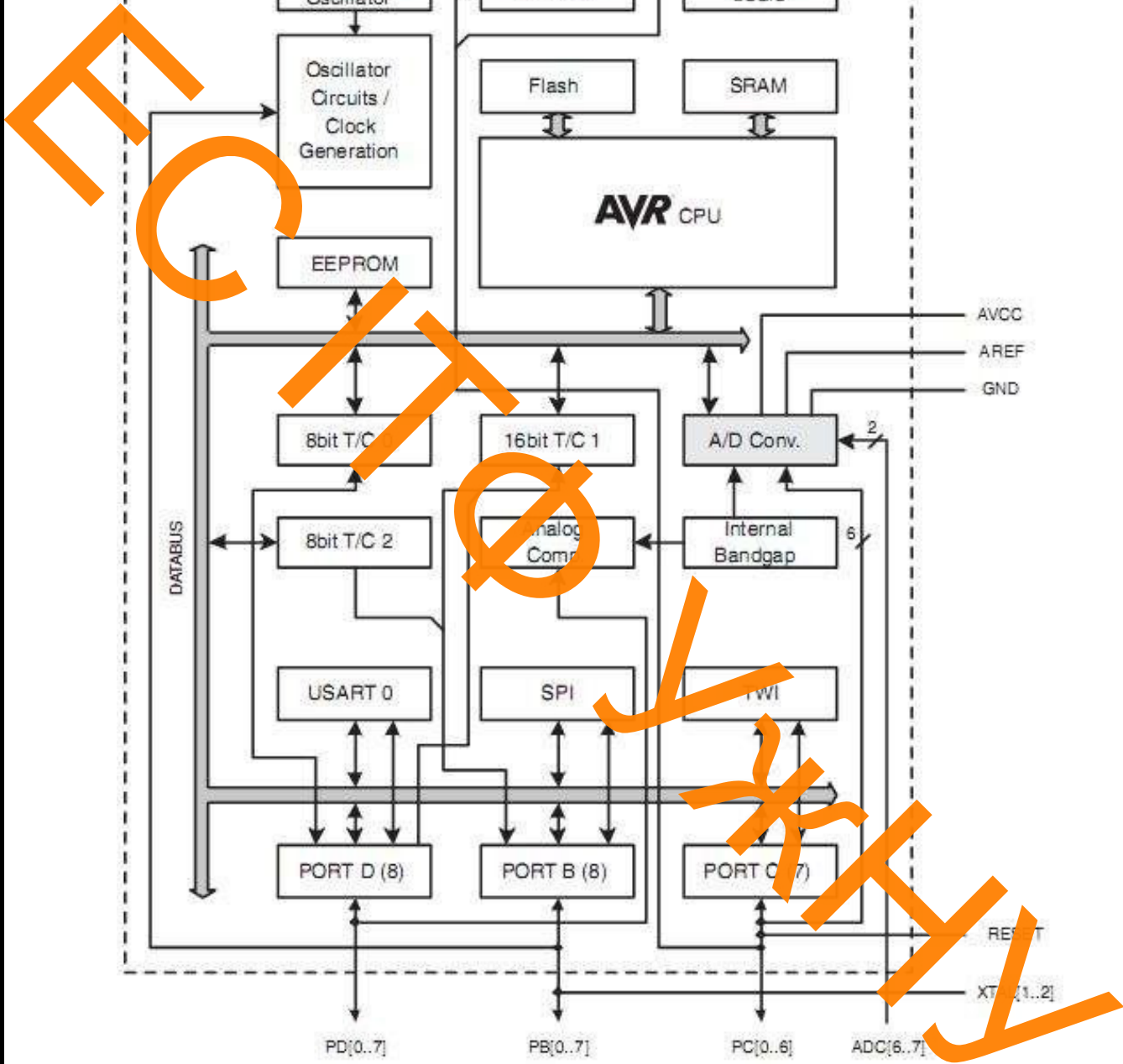


Рисунок 4.1 – Блок-схема архітектури мікроконтролерів ATMEGA 48PA/88PA/168PA/328P.

Схема буде складатися з наступних основних компонентів:

1. **Мікроконтролер ATmega 323:** серце системи, що обробляє сигнали і керує іншими компонентами.
2. **RFID-зчитувач на базі SN75176:** забезпечує зчитування даних з RFID-міток.
3. **USB інтерфейс на базі FTDI232RQ.**
4. **Реле:** служить для замикання і розмикання електричного кола електромагнітного замка.
5. **Електромагнітний замок:** пристрій, який блокує або відкриває двері залежно від сигналів, що надходять від реле.
6. **Стабілізатор вхідної напруги.**

Це рішення дозволить ефективно керувати доступом з мінімальними витратами на компонентну базу і простотою реалізації.

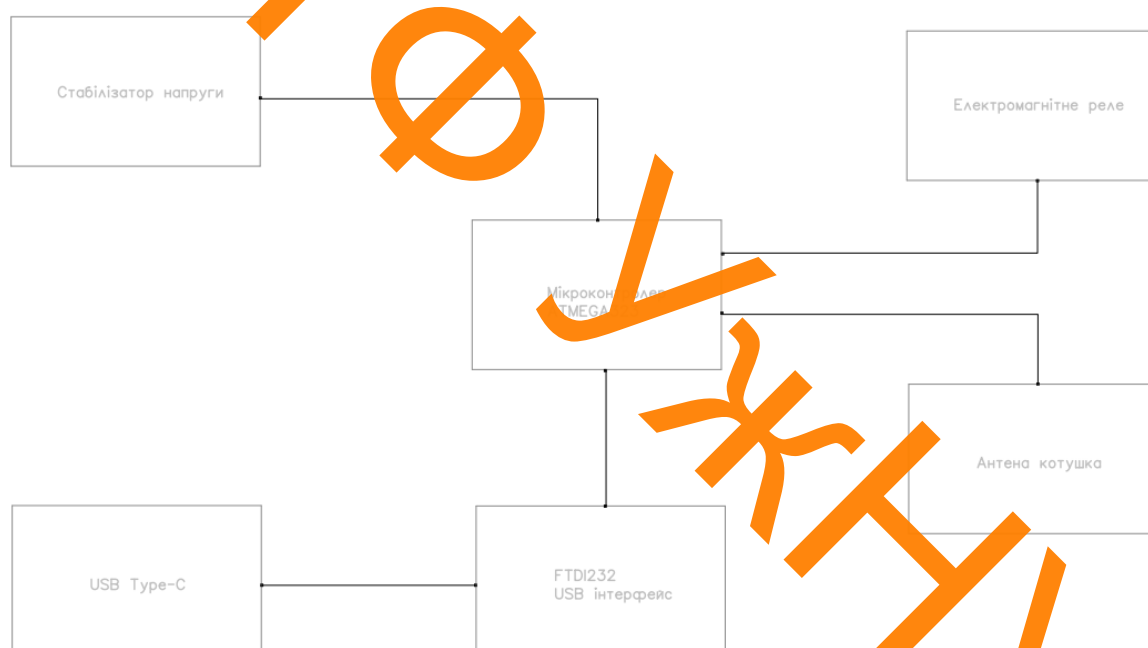


Рис 4.2 Структурна схема пристрою.

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ

Арк.

31

Де:

1. Стабілізоване джерело напруги;
2. Зовнішній інтерфейс USB Type-C;
3. Мікроконтролер ATmega323;
4. Мікросхема інтерфейсу USB;
5. Антена котушка для зчитування RFID тегів;

4.2 Стабілізоване джерело живлення

Стабілізатори напруги набули широкого застосування в повсякденному житті споживача. Однією з таких сфер є використання в блоках живлення комп'ютерів, де вони стабілізують напругу постійного струму, що використовується процесором і іншими елементами [7].

Мікросхеми стабілізаторів напруги діляться на два класи: лінійні стабілізатори і імпульсні стабілізатори. Лінійні стабілізатори - пристрої, які працюють у своїй лінійній області. На вхід лінійного стабілізатора подається вхідна, нестабільна напруга, а при виході генерується стабільна. Лінійні стабілізатори прості і не вимагають великої кількості додаткових електронних компонентів. Імпульсні стабілізатори - генерувати вихідну напругу, яка вище вхідної або має протилежну полярність.

Потужність, що передається через прохідний пристрій, має дискретні імпульси, за рахунок чого досягається велика ефективність, так як прохідний пристрій працює як перемикач з низьким опором. Таким чином ефективність імпульсного стабілізатора коливається в діапазоні від 70 до 90%. Мікросхема живлення L7805CV TO-220 відноситься до типу лінійних стабілізаторів напруги (ЛСН). Вона призначена для автоматичної, постійної підтримки стабільної напруги. Залежно від типів стабілізаторів, їх можна використовувати для регулювання одного або декількох напруг, змінного або постійного струму.

Стабілізатор напруги L7805CV TO-220. Стабілізатор напруги у вигляді мікросхеми з трьома виводами (рис. 4.3). Використовується для стабілізації напруги і як понижуючий перетворювач напруги.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

При роботі на потужне навантаження може знадобитися радіатор охолодження.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд стабілізатора

Мікросхема L7805CV є стабілізатор напруги з вихідним напругою 5,0 В позитивної полярності. Призначена для стабілізації позитивного фіксованого напруги у вузлах і блоках апаратури широкого застосування. Має вбудований захист від перегріву і вбудовану односпинний захист від перевантажень. Корпус: ТО-220. Маса не більше 2,5 г. Діапазон робочих температур від 0 до +150°C. Основні параметри стабілізатора L7805CV: - вхідна напруга - від 7 до 25 В; - максимальтна потужність, що розсіюється - 15 Вт; - вихідна напруга - 4,75 ... 5,25 В; - вихідний струм - до 1,5 А.

Розрахунок стабілізатора:

- Вхідна напруга $V_{in} = 12 \text{ В}$
- Вихідна напруга $V_{out} = 5 \text{ В}$
- Різниця напруг $\Delta V = 7 \text{ В}$
- Розрахунковий струм навантаження $I = 0.1 \text{ А (100 мА)}$
- Температура довкілля $T_a = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Максимально додатна температура корпусу $T_c \approx 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$P = (V_{in} - V_{out}) \cdot I$$

$$P = (12 - 5) \cdot 0.1 = 0.7 \text{ Вт}$$

Отже, 7805 буде розсіювати приблизно 0.7 Вт тепла.

Допустимий температурний підйом

$$\Delta T = T_c - T_a$$

$$\Delta T = 80 - 25 = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Потрібний сумарний тепловий опір

$$R_{\theta_ \Sigma} = \Delta T / P$$

$$R_{\theta_ \Sigma} = 55 / 0.7 \approx 79 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$$

Відомі теплові опори 7805 (TO-220)

- R_{θ_jc} (кристал $\rightarrow$ корпус): $\approx 5 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$

- R_{θ_cs} (корпус $\rightarrow$ радіатор з пастою): $\approx 2 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$

Розрахунок радіатора

Максимально допустимий тепловий опір радіатора:

$$R_{\theta_sa} = R_{\theta_ \Sigma} - R_{\theta_jc} - R_{\theta_cs}$$

$$R_{\theta_sa} = 79 - 5 - 2 \approx 72 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$$

Отже, достатньо маленького алюмінієвого радіатора з тепловим опором $\leq 70 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$. Мінімальна площа алюмінієвого радіатора: 8–10 см². Форма: clip-on для TO-220 або пластина 20×20 мм.

4.3 Розрахунок котушки антени.

Вибір Типу Антени

Існує два основні типи антен, які використовуються у застосунках RFID.

1. Кругові петльові антени.
2. Прямокутні петльові антени.

Для нашого варіанту виберемо прямокутну петлеву антену.

Виконаємо основні розрахунки котушки антени:

Розрахуємо напруженість магнітного поля при наступних характеристиках

котушки:

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Площа катушки антени – 38,71см²

Робоча частота – 125 кГц

Кількість витків – 100

Добротність котушки Q – 15

Амплітудне значення напруги котушки – 7В

cos α – 1 (нормальний напрямок, α = 0)

$$B_0 = \frac{V_0}{2\pi f_0 N Q S \cos \alpha} = \frac{5(2.4)}{(2\pi)(125\text{кГц})(100)(15)(38.71\text{см}^2)} = 1,5 \text{ мкВб/м}^2 \quad (4.1)$$

Параметр розрахунку скін-ефекту для мідного дроту при частоті 125кГц може бути виконаний наступним чином:

$$\delta = \frac{1}{\pi f (4\pi \times 10^{-7}) (5.8 \times 10^{-7})} = \frac{0.06608}{\sqrt{f}} = 0.187 \text{ мм} \quad (4.2)$$

Індуктивність кругової петльової антени розраховується за наступною формулою:

$$L = \frac{0.01(aN)^2}{6a+9h+10b} \quad (4.3)$$

де:

- L = індуктивність котушки
- N = кількість витків
- a = радіус котушки
- c = довжина дроту
- h = висота котушки

Відповідно індуктивність нашої котушки буде складати L=3.87мкГн

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Для створення резонансного кола, яке буде працювати на робочій частоті 125кГц необхідно розрахувати додатково ємність. Ця ємність буде підключатись до котушки та може бути розрахована наступним чином:

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{(2\pi^2)(125 \times 10^3)(3.87 \times 10^{-3})} = 419 \text{ пФ} \quad (4.4)$$

4.4 Вибір та реалізація зовнішнього цифрового інтерфейсу.

Для зручності роботи, кожен сучасний пристрій повинен мати інтерфейс, через який можна виконувати програмування, діагностування та налаштування. Для даного пристрою вибрано сучасний зручний інтерфейс USB type-C. Конектор Type-C можна підключати будь-якою стороною вгору, що значно спрощує процес підключення пристроїв, знижує ризик пошкодження портів. Інтерфейс USB Type-C підтримує передачу живлення до 5 В при 1.5 А або 3 А залежно від конфігурації кабелю. Це дозволяє використовувати Type-C для живлення даного пристрою.

Відповідно максимальна потужність приладу яку він зможе отримати виключно через type-c (без додаткового живлення):

$$P_{MAX} = 5V * 3A = 15W. \quad (4.5)$$

4.4 Вибір та підключення електромагнітного реле.

Підключення електромагнітного реле до мікроконтролера через біполярний транзистор є поширеною схемою для керування навантаженнями, які перевищують можливості виходів мікроконтролера. Нижче представлена схема підключення (рис.4.4) та основні розрахунки параметрів[8-9].

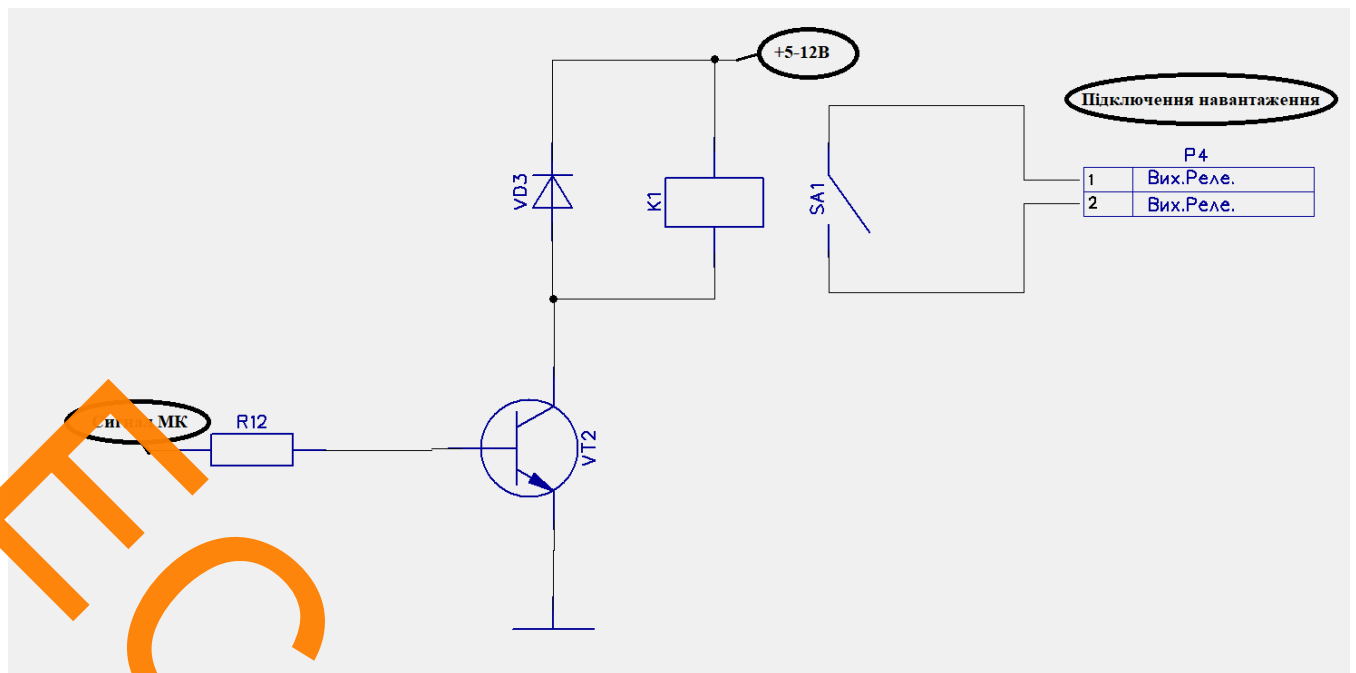


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд схеми підключення електромагнітного реле

Схема підключення

1. **Електромагнітне реле:** Вибрано реле з робочим струмом 100 мА.
2. **Біполярний транзистор:** NPN транзистор, наприклад, 2N2222.
3. **Резистор бази:** Розрахований для обмеження струму бази транзистора.
4. **Діод (Flyback diode):** Діод для захисту транзистора від індуктивного стрибка напруги при вимкненні реле (наприклад, 1N4007).

- Струм через реле: $I_{r}=100\text{мА}$
- Коефіцієнт підсилення (hFE) транзистора: Для 2N2222 $hFE\approx 100hFE$
- Струм бази: I_b

Для забезпечення насичення транзистора приймаємо запас по струму бази в 5 разів (тобто $hFE = 20$).

$$I_b = \frac{I_R}{hFE} = \frac{100\text{мА}}{20} = 5\text{мА} \quad (4.5)$$

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.10315367.001.ПЗ

Арк.

37

- **Вибір резистора бази R_b :**

Напруга виходу мікроконтролера (V_{OUT}) = 5 В

Напруга база-емітер транзистора (V_{BE}) = 0.7 В

$$R_b = \frac{V_{OUT} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5\text{В} - 0.7\text{В}}{5\text{мА}} = \frac{4.3\text{В}}{5\text{мА}} \approx 860 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Найближче стандартне значення резистора: 820 Ом або 1 кОм.

Захисний діод, який також називають flyback-діодом або діодом зворотної напруги, необхідний для захисту транзистора від індуктивного стрибка напруги, що виникає, коли реле вимикається. Параметри захисного діода для даної схеми:

- **Максимальна зворотна напруга (VR):** Діод повинен витримувати напругу живлення реле. Якщо напруга живлення реле $V_{cc} = 12 \text{ В}$, діод повинен мати максимальну зворотну напругу не менше 12 В. Завжди рекомендується мати запас, тому вибираємо діод з максимальним VR принаймні 20 В.
- **Максимальний струм (IF):** Діод повинен витримувати струм, який протікає через реле. Якщо струм через реле $I_R = 100 \text{ мА}$, діод повинен мати максимальний струм принаймні 100 мА. Знову ж таки, для надійності рекомендується мати запас, тому вибираємо діод з максимальним IF принаймні 200 мА.

Для цього застосування добре підходять діоди типу 1N4001 або аналогічні.

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.10315367.001.ПЗ

Арк.

38

5. КОНСТРУКТОРСЬКО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Визначення номінального діаметра монтажного отвору

$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r$, (4.4) де $d_{\text{ве}}$ – діаметр вивода елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору (МО);

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра МО,
 $\Delta d_{\text{мо}}=0,1$ мм;

r – різниця між мінімальним діаметром МО і максимальним діаметром вивода елемента, $r=0,1 \dots 0,2$ мм.

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,5 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ мм}$$

5.2 Визначення діаметра контактної майданчика (КМ)

$$D_{\text{max}} = D_{\text{minI}} + 1,5 * h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (5.1)$$

де D_{minI} – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм;

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм. Коефіцієнт $1,5 h_{\text{ф}}$ враховує підрівнювання фольги друкованого провідника в ширину.

0,03 – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\text{minI}} = 2 \left(b_{\text{ПО}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} \delta_0 + \delta_{\text{KM}} \right) \quad (5.2)$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДПП, мм,

$b_{\text{ПО}}$ – ширина пояски КМ, $b_{\text{ПО}}=0,05$ мм (табл.3.2);

δ_0 – похибка розташування центру отвору щодо вузла КС, $\delta_0=0,07$ мм (табл.3.3);

δ_{KM} – похибка розташування центру КМ щодо вузла КС, $\delta_{\text{KM}}=0,05$ (табл.3.3).

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (5.3)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм;

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 0,8 + 0,05 + 0,1 = 0,95 \text{ мм.}$$

$$D_{\min I} = 2 \left(b_{\text{ПО}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_0 + \delta_{\text{КМ}} \right) = 2 \left(0,05 + \frac{0,95}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,29$$

$$D_{\max} = D_{\min I} + 1,5 * h_{\phi} + 0,03 = 1,29 + 1,5 * 0,035 + 0,03 = 1,37 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,02$$

$$D_{\max} = 1,29 + 0,02 = 1,39 \text{ мм}$$

5.3 Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{\min} = b_{\text{Гпр}} + 1,5 * h_{\phi} + 0,03 \quad (5.4)$$

де $b_{\text{Гпр}}$ – мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл.3.2). Для 4-го класу точності КМ $b_{\text{Гпр}} = 0,15$ мм;

$$b_{\min} = b_{\text{Гпр}} + 1,5 * h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 * 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Звідси визначимо максимальну ширину :

$$b_{\max} = b_{\min} + 0,02 \quad (5.5)$$

$$b_{\max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

Розміщення ЕРЕ на платі регламентується умовно координатною сіткою із взаємо перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Кроком координатної сітки вибираємо 1,25 мм.

Для пірофосфатного електроліту $\gamma=0,25$, тому $D_{\text{пер}}=1,5*0,25=0,3$

Клас густини рисунка вибирається по ГОСТу. я вибрав другий. ширина провідників для цього класу рівне $t_{\text{min}}=0,25$ мм, а відстань між провідниками теж рівне 0,25 мм.

Визначимо товщину шини живлення. Знаючи, що сила струму рівне 0,35 А, враховуючи, що перетин провідника рівне 50мкм, і що густина струму не може бути більшою як 25 А/мм², ширина провідника буде рівним :

$$b = I_{\text{зар}} / (h * j_{\text{доп}}) = 5.00 / (0.05 * 25) = 6,25 \quad (5.6)$$

Шина землі буде виконана у якості полігонів, а також, оскільки плата має 4 слої то 2 внутрішні слої будуть використані як шина землі. Також вони будуть відігравати слоєм відводу тепла.

Розрахунок проведено із урахуванням, що максимальний струм, який при проходженні по ширині викликає її перегрів на температуру 25°C.

#	Name	Type	Thickness	#	Thru 1:4
	Top Overlay	Overlay			
	Top Solder	Solder Mask	0.01016mm		
1	Top Layer	Signal	0.03556mm	1	
	Dielectric 2	Prepreg	0.07112mm		
2	Layer 1	Signal	0.035mm	2	
	Dielectric 1	Dielectric	1.2mm		
3	Layer 2	Signal	0.035mm	3	
	Dielectric 3	Prepreg	0.07112mm		
4	Bottom Layer	Signal	0.03556mm	4	
	Bottom Solder	Solder Mask	0.01016mm		
	Bottom Overlay	Overlay			

Рис5.1 Топологія друкованої плати.

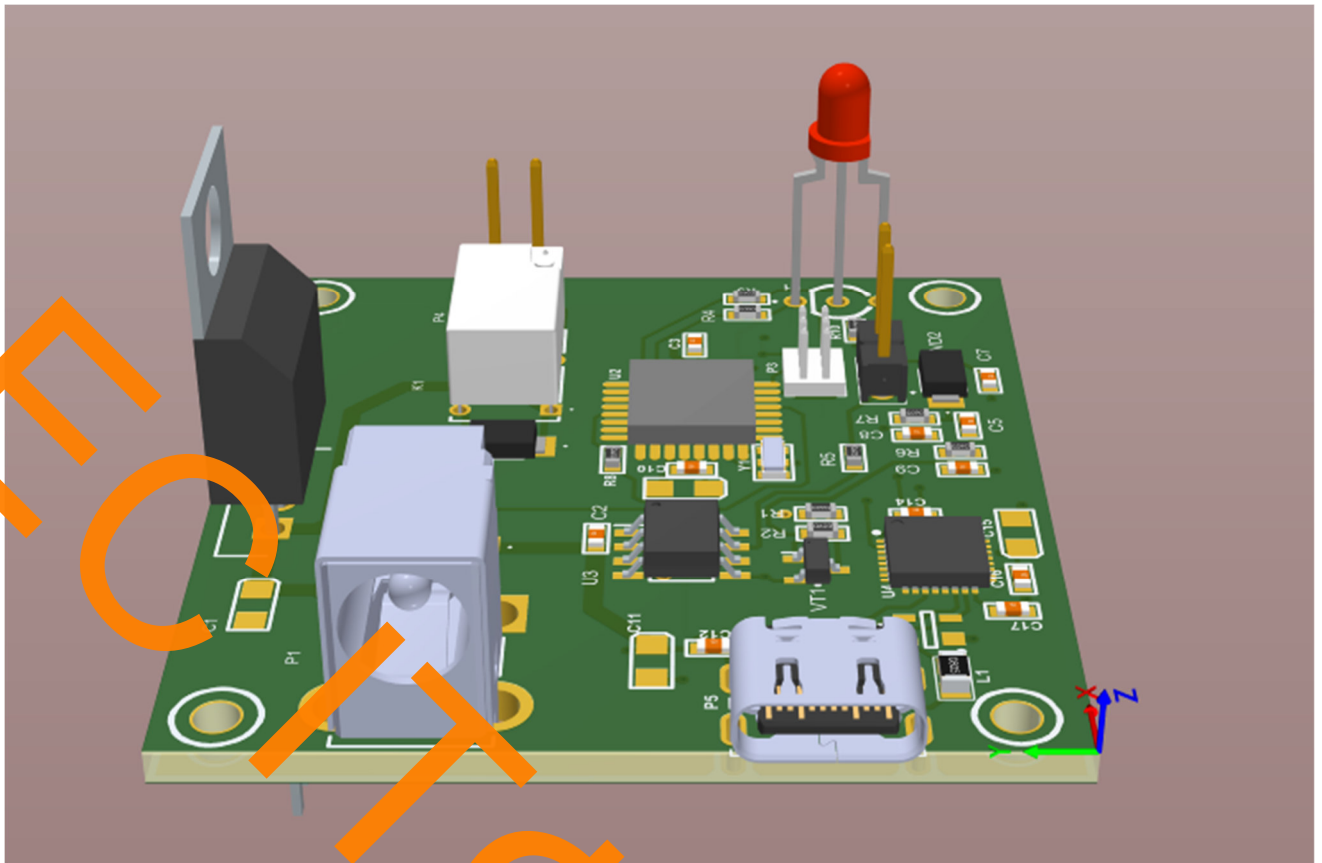


Рис5.2 Зовнішній вигляд спроектованої плати у середовищі проєктування.

5.4 Тепловий розрахунок.

Тепловий режим апаратури характеризується залежністю температури нагріву відносно навколишнього середовища від розсіювання потужності джерела енергії.

Температура навколишнього середовища дуже впливає на надійність пристрою. Цей вплив пояснюється максимально допустимою температурою інтегральних мікросхем.

Використовуючи дані, отримані у попередньому розділі проведемо аналіз потужностей розсіювання на елементах пристрою(елементи на яких за теоретичними розрахунками потужність розсіювання буде дуже малою – знехтувані).

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.10315367.001.ПЗ

Арк.

42

1. Перетворювач LM7805

Втрати на польовому транзисторі:

$$P_{cond} = I_{\{charge\}}^2 \times R_{\{DS(on)\}} \times D = 52 \times 0.005 \times 0.45 = \mathbf{0.05625\ W}$$

Втрати на польовому транзисторі при переключенні:

$$P_{sw} = 0.5 \times V_{in} \times I_{charge} \times (t_{on} + t_{off}) \times f_{sw}$$

Відповідно розрахуємо:

$$P_{sw} = 0.5 \times 24 \times 5 \times 50 \times 10^{-9} \times 250 \times 10^3 = \mathbf{0.75\ W}$$

Втрати на провідності:

$$P_{nd} = I_{charge}^2 \times R_L = 52 \times 0.01 = \mathbf{0.25\ W}$$

Втрати на діоді:

$$P_{diode} = I_{charge} \times V_f \times (1 - D)$$

$$P_{diode} = 5 \times 0.7 \times (1 - 0.45) = \mathbf{1.925\ W}$$

Втрати на вихідному драйвері польових транзисторів:

$$P_{driver} = Q_g \times I_{gate} \times f_{sw}$$

$$P_{driver} = 50 \times 10^{-9} \times 10 \times 250 \times 10^3 = \mathbf{0.125\ W}$$

Розрахуємо загальні втрати потужності на даному вузлі:

$$P = 0.05625 + 0.75 + 0.25 + 1.925 + 0.125 = \mathbf{3.10625\ W}$$

2. Контролер струму LT4000

Власне споживання контролера:

$$P_{diss_{LT4000}} = V_{CC} \times I_{CC}$$

$$P_{diss_{LT4000}} = 10.8 \times 0.005 = \mathbf{0.054\ W}$$

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Отже можемо оцінити теплонавантаженість плати:

Розміри плати: 50 мм×70 мм.

Матеріал: FR-4.

Кількість шарів: 4.

Товщина мідного шару: 35μм.

Загальна розсіювана потужність: $P_{total}=0.7\text{Вт}$

Площа плати – $A = 50\text{мм} \times 70\text{мм} = 3500\text{мм}^2 = 35\text{см}^2$

$$q = \frac{P_{total}}{A} = \frac{0.7\text{Вт}}{35\text{см}^2} = 0,02\text{ Вт/см}^2$$

Нормативне значення теплового навантаження: Для друкованих плат з матеріалу FR-4 з активним охолодженням (вентилятори, радіатори) теплове навантаження до **0.1 Вт/см²** вважається прийнятним. Враховуючи, що у платі 2 внутрішні слої являють собою тепловідвід, то дана плата може працювати без додаткового активного охолодження при умові, що стабілізатор LM7805 буде мати додатковий маленький радіатор, для уникнення локального теплового навантаження.

5.5 Розрахунок характеристик надійності пристрою.

Надійність друкованого вузлу визначається надійністю всіх елементів, що встановлюються на ДП, власне самою ДП та пайкою елементів. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної ЕОА, при чому ці елементи фактично є невідновлюваними. Тому найбільш точною кількісною мірою надійності кожного конструктивного елемента є час напрацювання його до відмови. Оскільки для повної характеристики надійності необхідна густина розподілу часу безвідмовної роботи даного типу конструктивного елемента $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$, то маючи ці залежності можна визначити імовірність відмови, середній час безвідмовної роботи.

	Виконав				<i>KPM.EC.10315367.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Інтенсивність відмов електрорадіоелементів являється експериментальною величиною і залежить від ряду факторів – температури навколишнього середовища, теплових ударів, вологості, режиму роботи і т.д.

Для розрахунку інтенсивності відмов елемента будемо використовувати базову інтенсивність відмов λ_0 – тобто при нормальних умовах. Ця величина є експериментальною і наведена у довідниках для різних елементів. Будемо використовувати дані із джерела. Також необхідно врахувати режим роботи елементів, температурний режим та зовнішні впливи. Для цього для врахування режиму роботи елемента будемо використовувати коефіцієнт навантаження K_H , для врахування температурного режиму будемо використовувати поправочний коефіцієнт температурного режиму α_t , для врахування зовнішніх впливів – α_e . Останні два також є довідниковими значеннями, тому значення для α_t і α_e будемо використовувати із джерела.

Оскільки коефіцієнт навантаження є недовідниковим значенням, тому розрахуємо його для кожного з типів конструктивних елементів. Він визначається як відношення навантаження в робочому режимі до навантаження номінального.

$$K_H = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} \quad (5.7)$$

Резистори. Для резисторів K_H визначається за потужністю, що розсіюється на резисторі. Цілком логічно, що найбільша потужність буде виділятися на тому з резисторів, через який протікає струм, а струм, що протікає через резистор, обернено пропорційний його опору (чим більший опір, тим менший струм), тому розглянемо резистор з найменшим номінальним опором в приладі (1 кОм) як найгірший випадок, оскільки для інший, більших, опорів коефіцієнт навантаження буде меншим, тому взявши для всіх резисторів коефіцієнт навантаження в найгіршому випадку, ми таким чином отримаємо гірші показники, але це краще для конструкторського

	Виконав				<i>KPM.EC.10315367.001.P3</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

розрахунку, оскільки створюватиме певний запас по надійності.

$$K_{H.P} = \frac{P_{роб}}{P_{НОМ}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{НОМ}} \quad (5.8)$$

Розраховуємо коефіцієнти навантаження:

$$K_{H.P} = \frac{P_{роб}}{P_{НОМ}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{НОМ}} = \frac{5^2}{1000 \times 0,1} = 0,25 \quad (5.9)$$

де $U_{роб}$ – напруга живлення;

$P_{НОМ}$ – потужність;

R_{min} – найменший з опорів для резисторів.

Для діодів: в нашому випадку розраховуватимемо K_H для діодів за струмом, оскільки струми, за яких працюють ці елементи, значно ближчі до максимальних значень, ніж напруги, тому вибираємо гірший випадок:

$$K_{H.P} = \frac{I_{роб}}{I_{НОМ}} = \frac{80}{150} = 0,5 \quad (5.10)$$

Транзистори: в нашому випадку максимальний струм через транзистори в схемі буде рівний 50 мА, а номінальний струм транзисторів 500 мА. Оскільки напруга на транзисторі буде всього лиш 5 В, то потужність розсіювана транзисторами буде малою, тому визначаємо K_H через струми:

$$K_{H.P} = \frac{I_{роб}}{I_{НОМ}} = \frac{50}{500} = 0,1$$

Для конденсаторів: Напруга пробою керамічних конденсаторів обраних для пристрою становить 50 В, тому розраховуємо коефіцієнт,

$$K = \frac{U_{роб}}{U_{проб}} = \frac{5}{50} = 0,1$$

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

де $U_{\text{роб}}$ — напруга живлення (максимальна можлива на елементі);

$U_{\text{ном}}$ — номінальна напруга пробою конденсатора.

Кварцовий резонатор: вибираємо K_n рівний 0,7, оскільки даний елемент є критично важливим для функціонування мікроконтролера, тому необхідний певний запас по надійності.

Решта елементів: для усіх інших елементів вибираємо $K_n=1$. Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивність відмов металізованих отворів. Мікросхеми: вибираємо K_n рівний 1, оскільки мікросхеми були вибрані такими, щоб забезпечувати повне функціонування схеми, припускаючи що всі мікросхеми працюють у відповідних режимах при струмах та напругах, що забезпечують стабільне функціонування їх протягом довгого часу як гарантує даташит на кожну з мікросхем.

Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до таблиці 4.3 Кліматичне значення приладу УХЛ1.1, диктує максимальну температуру роботи в $+40^\circ\text{C}$.

Даний друкований вузол відноситься до наземної рухомої електрорадіоапаратури, тому вибираємо $e=15$.

У Таблиці 5.3:

α_e — поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури $\alpha_e = 15$),

α_t — поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дає змогу виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності

	Виконав				<i>KPM.EC.10315367.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

відмов компонентів [4]

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (5.11)$$

Таблиця 5.3 – Інтенсивність відмов всіх компонентів

Компонент	Кількість N	$\lambda_o \cdot 10^{-8}$, год ⁻¹	Kн	a _t	a _e	$N \cdot \lambda_o \cdot K_n \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Конденсатори (SMD електроліт)	22	0,022	0,1	0,6	15	0,436
Конденсатори SMD	15	0,044	0,25	0,6	15	1,485
Транзистори (BJT, MOSFET)	5	0,044	0,1	0,9	15	0,297
Діоди (TVS, захисні)	4	0,015	1	1	15	0,900
Мікросхеми (ATmega328P, FT232RQ, драйвери)	6	0,025	1	1	15	2,250
Кварцовий резонатор 16 МГц	1	0,000005	1,7	1	15	0,315
Пайка виводів	210	0,000005	1	1	15	0,217
Перехідні отвори	36	0,0375	1	1	15	20,250
Контакти роз'ємів	6	0,015	1	1	15	1,350
Друкована плата	1	0,001	1	1	15	0,015

Показники інтенсивності відмов взяті для найгіршого випадку, для запасу надійності.

Знайдемо результуючу інтенсивність відмов:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 31,59 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (5.12)$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{31,59 \cdot 10^{-6}} = 31650 \text{ год} \quad (5.13)$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-31,59 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,76 \quad (5.14)$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q = 1 - P = 1 - 0,76 = 0,24 \quad (5.15)$$

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СПРОЕКТОВАНОГО ПРИЛАДУ

Перехід народного господарства на ринкові відносини має на меті створення економичних важелів для ефективного діючого виробництва як з точки зору раціонального використання ресурсів, так і з точки зору невпинного прискорення науково – технічного прогресу і повного задоволення потреб виробників і споживачів.

Основним результатом постановлених задач повинно стати підвищення якості усіх видів продукції й забезпечення її конкурентноздатністю.

Практичне припинення за останні роки приладобудівного виробництва, в тому числі й приладів аналітичної техніки, робить неможливим здійснити об'єктивний розрахунок економічної ефективності розробки приладу, тому її розрахунок носить оцінний характер.

Рівень якості конструкції характеризується системою техніко-економічних показників, номенклатура яких залежить від виду і призначення продукції. Для оцінки рівня якості спроектованої техніки необхідно витрати базового взірця (аналога), розрахувати показники технологічності для спроектованого приладу, заставити їх з показниками аналога. До показників технологічності відносять коефіцієнт матеріаломісткості виробу, коефіцієнт стандартизації виробу, уніфікації, коефіцієнт повторюваності складових частин, коефіцієнт збіжності.

6.1. Розрахунок собівартості виготовлення спроектованого приладу

Собівартість продукції – це витрати на її виробництво й реалізацію, що включають в себе вартість витрачених сировини і матеріалів, заробітну плату працівників, витрати по утриманню й експлуатації устаткування та інші поточні витрати.

Проведемо розрахунок собівартості виготовлення спроектованого приладу у вигляді калькуляції. Оскільки даний пристрій макет не планується для

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

серійного виробництва, а буде виготовлятися кафедрою тільки під замовлення інститутів та університетів то у даному розділі буде наведена тільки калькуляція собівартості спроектованого приладу не враховуючи витрати на заробітні плати чи інше.

Табл. 6.1.1 Калькуляція собівартості спроектованого приладу

№ п/п	Стаття Витрат	Сума, грн
1	Основні матеріали	26,24
2	Покупні комплектуючі вироби і напівфабрикати	554,4
3	Інші виробничі витрати	0,51

6.2. Розрахунок кількості і вартості матеріалів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Розрахунок кількості і вартості матеріалів представлений у вигляді таблиці

6.1.

Табл 6.1.2 Розрахунок кількості і вартості матеріалів що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

№ п/п	Найменування матеріалу	Профіль, сорт, марка, розмір, ГОСТ, ДСТУ	Одиниця вимірювання	Кількість, кг	Ціна за одиницю, грн	Сума
1	Мідь	Фольга, товщина 35 мкм	кг	0.0048	400	1,93
2	Текстоліт FR-4	Товщина 1.5 мм	кг	0.0107	280	2,99
3	Золото (покриття ENIG)	Товщина 0.05 мкм	кг	0.0000074	60	4,44
4	Інші витратні матеріали (свердління, травлення, паяльна маска, маркування)	-	шт	1	6.00	6.00

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.10315367.001.ПЗ

Арк.

51

	Разом				15,36
	Зворотні відходи (1-5% від вартості матеріалів)				1,14
	Транспортно-заготівельні витрати (7-10% від загальної вартості матеріалів)				2,28
	Разом				26,24

6.3. Розрахунок кількості й вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів представлений у вигляді табл 6.3.1

Табл 6.3.1 Розрахунок кількості і вартості покупних комплектуючих виробів напівфабрикатів на виготовлення спроектованого приладу

№	Компонент	Кількість	Ціна за 1 шт, грн	Сума, грн
1	ATmega328P-1 AU	1	140	140
2	FT232RQ (USB-UART)	1	150	150
3	SN75176 / RS-485	1	30	30
4	LM7805 / LDO стабілізатор	1	25	25
5	Кварц 16 МГц	1	20	20
6	MOSFET / BJT транзистори	5	3	15
7	Діоди (TVS, захисні)	4	5	20
8	Конденсатори (керамічні + електроліт)	22	2	44
9	Резистори SMD	15	1	15

	Виконав			
	Керівник			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.10315367.001.ПЗ

Арк.

52

10	USB Type-C роз'єм	1	20	20
11	Інші роз'єми (Headers)	5	5	25

Таблиця 6.3.2

	Разом				504,0
	Транспортно – заготівельні витрати (7-10% від загальної вартості покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів)				50,4
	Разом				554,4

7. ЗАХОДИ ПО ПЛАНУВАННЮ, ТЕХНІЦІ БЕЗПЕКИ ТА ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

7.1. Охорона праці. Характеристика небезпечних і шкідливих факторів на всіх етапах технологічного процесу, монтажу і експлуатації.

Після обробки поверхонь деталей механічними методами (шліфівка, різка і т.д.) часто використовують ефективні хімічні методи очистки поверхні (знежирення, травлення і т.д.) - при цьому використовують небезпечні і отруйні речовини, їх вплив залежить від функціональних властивостей, агрегатного стану, класу шкідливості, часу і характеру впливу, засобів загального та індивідуального захисту.

При знежиренні використовують їдкі луги, горючі розчинники (бензин, ацетон, трихлоретан, толуол, бензол, спирти).

При травленні небезпечними є сірчана, азотна, ортофосфорна кислоти. Виникає загроза ентерального отруєння, хімічних опіків, отруєння в наслідок вдихання парів цих кислот. Процеси гальванічної обробки супроводжуються виділенням з поверхні ванн водню та кисню, що захвачують за собою пари електроліту, окиси металів, солі, органічні сполуки. Останні сильно забруднюють повітря гальванічного цеху.

Все це відповідає нормативному акту з питань охорони праці (НАОП) 1.4.32-2.63-77 (ОСТ4ГО.091.228-77): "Вимоги до ступеня очищення вентиляційних викидів з гальванічних цехів"; НАОП 1.4.32-2.58-78 (ОСТ114ГО.0.91.249-78): "Легкозаймисті, горючі, хімічно-небезпечні та шкідливі речовини. Вимоги безпеки при зберіганні, транспортуванні та використанні". Монтаж електричних схем приладів, радіоапаратури ведеться з застосуванням різних видів пайки. Кожному різновиду пайки характерні певні шкідливі і небезпечні фізичні фактори, що відрізняються як кількістю так і якістю характеристик. При цьому деякі види пайки продукують декілька таких

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

фізичних факторів, що ведуть до погіршення здоров'я працівників, підвищення травматизму, погіршення умов праці, виникнення пожеж і вибухів. Такими потенційно-шкідливими є: запыленість і загазованість повітря робочої зони; інфрачервоне випромінювання від розплавленого припою; височастотне електромагнітне випромінювання; ультразвукове випромінювання від паяльника при пайці хвилею; дія електростатичного заряду; неоптимальна освітленість робочих зон; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; вплив бризг розплавленого припою; ураження електричним струмом.

Враховуючи не абияку шкідливість вихідних компонентів, до приміщення, де виконується паяння пред'являють особливі вимоги: НАОП 1.4.32-2.87-81 (ОСТ 25 2191-81); "Паяння свинцево олов'яними припоями. Вимоги безпеки"; НАОП 1.4.32-2.82-84 (ОСТ 25 1159-84): "виробництво друкованих плат. Вимоги безпеки".

7.2. Основні заходи безпеки та вилучення передбачуваних шкідливих факторів на всіх етапах технологічного процесу, монтажу і експлуатації..

Для створення безпечних умов праці необхідно виконання відповідних заходів у відповідності з ГОСТ 12.3.008-75

Основні вимоги безпеки технологічних процесів включають слідуючі аспекти:

- усунення безпосереднього контакту працюючих з матеріалами, що мають шкідливий вплив;
- заміна небезпечних і шкідливих технологічних процесів і операцій на менш небезпечні, чи зовсім безпечні;
- використання комплексної механізації і автоматизації виробництва, дистанційне управління особливо шкідливими процесами і операціями;
- раціональна організація праці і відпочинку;
- впровадження систем контролю і управління технологічними процесами, що забезпечують захист працівників (аварійне відключення виробничого обладнання);

	Виконав				<i>KPM.EC.10315367.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- своєчасне видалення і знешкодження шкідливих відходів виробництва.
Важлива і обов'язкова умова забезпечення безпеки - викладення умов безпеки в технологічній документації. Повнота викладу контролюється методичними вказівками: "РД 50-134-78".

Існує ряд загальних стандартів, якими треба користуватися:

- для приміщень: "Будівельні норми і правила":

- для обладнання - ГОСТ 12.2.003-74: "Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки";

- ГОСТ 12.1.004-76 "Пожежна безпека. Загальні вимоги";

- ГОСТ 12.1.010-76 "Вибухобезпека. Загальні вимоги".

Основні заходи по охороні праці (ОП) при роботах з хімічними речовинами і матеріалами:

- автоматизація і механізація технологічних процесів: найбільший рівень безпеки в масовому виробництві - поточні лінії: автоматизовані системи для пайки, травлення, обезжирювання;

- герметизація обладнання спеціальних боксах, шафах, що обладнані ефективною вентиляцією;

- заміна токсичних, отруйних, горючих речовин на менш небезпечні.

Від кислот і лугів захищаються гумовими або поліхлорвініловими фартухами, чоботами. При роботі з токсичними і отруйними речовинами використовують засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Отруйні і токсичні речовини перевозять в спеціальній тарі на тележках із швидкістю < 5 км/год.

Вдихання хімічних речовин в газоподібному стані приводить до пошкодження верхніх дихальних шляхів і до загально токсичного впливу при всмоктуванні в кров.

При різних операціях можуть поступати в атмосферу промислові речовини, що відносяться до першого класу небезпеки. Так трихлоретан при дії світла перетворюється на фосген, що є дуже небезпечним.

При всіх операціях пайки в повітря можуть попадати пари олова та свинцю, пари соляної кислоти, окис вуглецю, вуглеводень та інше. Особливо шкідливий

	Виконав				<i>KPM.EC.10315367.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

свинець та його сполуки. При попаданні в організм він акумулюється в кістках, м'язах, печінці. Результатом є свинцеве отруєння.

Пайка з використанням флюсів і їх біологічний вплив залежить від складу:

- каніфоль - подразнюючий вплив;
- спирти - наркотичний ефект;
- етиленгліколь - токсичний

вплив. Основні заходи:

1. Водонепроникна підлога з нахилом для стоку в каналізацію.
2. При ручній пайці використовувати паяльники живленням до 42 В.
3. Різні технологічні операції виконувати в різних приміщеннях.
4. Використані серветки спалюють і повторно не використовують,
5. Експлуатація цехів і приміщень тільки при наявності приточно - відточної вентиляції.
6. Не допускати до роботи з припоями осіб до 18 років і вагітних.

Для захисту шкіри рук від речовин, що входять до складу флюсів, використовують захисні мазі і пасти (мазь "Миколан", пасти - ИЕП-1, казеїнова).

Все вищеописане відповідає наступним НАОП

- НАОП 1.4.32-2.67-84 (ОСТ 11073.062-84);
- НАОП 1.4.32-2.39-85 (ОСТ 11 120005-85);
- НАОП 1.4.32-2.21-80 (ОСТ 11 091.700-80);
- НАОП 1.4.32-2.63-77 (ОСТ4ГО. 091.228-77).

7.3. Розрахунок необхідного повітряного обміну для промислової вентиляції.

Розрахунок необхідного повітряного обміну ведеться по наступним факторам: по кількості працюючих; по надходженню в повітря робочої зони шкідливих газів, парів та пилу; по виділенню вологи; по теплонадлишкам.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

По першому фактору розрахунок кількості повітря (м³/год) вираховується лише при нормальному мікрокліматі і відсутності в повітрі шкідливих речовин, чи вмісту їх в межах допустимих норм.

Обмін повітря визначається по формулі:

$$L=nL' \quad (8.1)$$

де n - число працюючих;

L' - витрати повітря на одного працюючого (для об'ємів приміщення 20 м³ і більше на одного працюючого).

Для $n=50$ чол., та $L=20$ м³/год (для об'ємів приміщення 20 м³ і більше на одного працюючого в промислових приміщеннях):

$$L=22*20=440 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.2)$$

По другому фактору необхідний обмін повітря визначається по формулі:

$$(8.3)$$

де $q_{\text{мк}}$ - інтенсивність надходження шкідливої речовини в повітря робочої зони;

Z_1 - гранично допустима концентрація (ГДК) даної речовини (в мг/м³);

Z_2 - концентрація шкідливих речовин в повітрі, що надходять (в мг/м³).

Концентрація Z_2 повинна бути мінімальною, що по санітарним нормам відповідає формулі: $Z_2 < 0,3Z_1$.

Враховуючи високу шкідливість компонентів, що входять до складу припою і знаходяться в парогазовому стані, розраховується L для слідуючих елементів:

a) свинець - клас шкідливості 1-й, ГДК в повітрі робочої зони 0,01 мг/м³;

b) олово - клас шкідливості 3-й, ГДК в повітрі робочої зони 10 мг/м³;

c) цинк - клас шкідливості 2-й, ГДК в повітрі робочої зони 0,5 мг/м³;

d) мідь - клас шкідливості 2-й, ГДК в повітрі робочої зони 1 мг/м³.

$$\text{Для свинцю: } L_c = \frac{10}{0.01-0.3*0.01} = 1429 \text{ (м}^3\text{/год)} \quad (8.4)$$

$$\text{Для цинку: } (8.5)$$

$$\text{Для олова: } (8.6)$$

$$\text{Для міді: } (8.7)$$

У відповідності з СН 245-71 при одночасному надходженні в повітря приміщення декількох шкідливих речовин однонаправленої дії

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

розрахунок вентиляції виконується сумуванням об'ємів повітря, необхідного для розбавлення кожної речовини окремо до допустимих концентрацій.

$$L = L_C + L_O + L_M + L_U = 1429 + 1,4 + 28,6 + 1,4 = 1460,4 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (8.8)$$

По третьому фактору розрахунок виконується по формулі:

$$L = \frac{m * q_B}{q_Y - q_H} \quad (8.9)$$

де $m = 0,8$ при висоті приміщення $n = 5 \div 3 \text{ м}$;

q_B - кількість вологи, що виділяється в приміщенні

(взьмемо $q_B = 150 \text{ г/м}^3$);

q_Y - вологість повітря, що виділяється з приміщення

(взьмемо $q_Y = 130 \text{ г/м}^3$);

q_H - вологість повітря (взьмемо $q_H = 100 \text{ г/м}^3$)

$$L = \frac{0,8 * 150}{130 - 100} = 4 \text{ (м}^3/\text{год)}$$

По четвертому фактору об'єм повітря розраховують по формулі :

$$L = \frac{Q}{c * (t_Y - t_H) * \rho} \quad (8.10)$$

де Q - надлишок тепла в приміщенні в Дж/год;

c — теплоємність повітря в Дж/кг-К;

ρ - густина повітря в кг/м³;

t_Y і t_H температура відкачуючого і нагнітаемого повітря відповідно

$$L = \frac{150000}{1007 * (30 - 20) * 1.206} = 12.35 \text{ (м}^3/\text{год)} \quad (8.11)$$

Загальний необхідний повітрообмін для промислової вентиляції при виробництві спроектованого пристрою:

$$L_{\text{заг}} = 1000 + 1460,4 + 4 + 12,35 = 2476,75 \text{ (м}^3/\text{год)}. \quad (8.12)$$

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

7.4. Захист навколишнього середовища.

Охороні навколишнього середовища з кожним роком приділяється все більше уваги, що обумовлено в першу чергу різким зростанням шкідливих викидів, що наносять біосфері великих, часто не відновлюваних втрат.

В електронній техніці використовується широка гамма матеріалів. Вже на етапі розробки нових видів продукції слід передбачити можливість її повторної переробки. Вироби повинні мати тривалий строк використання, піддаватися ремонту та демонтажу або повторному використанню.

Одним із завдань дипломного проекту була розробка друкованої плати. Процес виготовлення друкованої плати складається з декількох етапів і характеризується використанням різних хімічних речовин. При виготовленні друкованої плати застосовується багатованнова промивка, що забезпечує раціональне використання води. При скиданні її у водоймища необхідно досліджувати як самі стоки, так і воду в водоймищі. Необхідно використовувати замкнуті водокорисні цикли.

Обладнання для нанесення електролітичних, хімічних та анодизаційних поверхонь має відповідати вимогам до обладнання згідно ГОСТ 12.3.008 - 75 та ГОСТ 12.2.003-74.

Обладнання для низькотемпературної пайки, лудіння та робочі місця мають відповідати вимогам "Санітарні правила організації процесів пайки дрібних виробів сплавами, що містять свинець". Вони повинні мати місцеву витяжну вентиляцію, оснащену звуковою або світловою сигналізацією, що попереджає про припинення відносу повітря.

Всі пристрої для підключення та перемикання електричних кіл потрібно захищати кожухами.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

8. ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі магістра було виконано повний цикл проектування електронного пристрою на тему «Система контролю доступу на базі RFID технології». На основі аналізу сучасних систем радіочастотної ідентифікації, їхніх переваг і недоліків сформульовано вимоги до пристрою та технічні обмеження, що лягли в основу технічного завдання.

У ході роботи проведено огляд і порівняння існуючих схемотехнічних рішень RFID-систем з використанням мікроконтролерів. Обґрунтовано вибір мікроконтролера ATmega328P як основи системи завдяки його доступності, достатній обчислювальній потужності, розвинутому набору периферійних інтерфейсів та широкій підтримці середовищ програмування. Для реалізації інтерфейсу зчитування RFID-міток вибрано відповідний приймально-передавальний тракт на базі SN65176, а для взаємодії з персональним комп'ютером застосовано інтерфейс USB-типу-C з мікросхемою FT232RQ.

Запропоновано структурну та зроблено електричну принципову схеми пристрою, у тому числі стабілізоване джерело живлення на базі лінійного стабілізатора L7805, антенний контур для роботи на частоті 125 кГц, вихідний каскад керування електромагнітним реле та відповідні ланцюги захисту. Виконано розрахунок робочих режимів основних елементів, розрахунок котушки антени, тепловий аналіз плати, визначено необхідні параметри радіатора для стабілізатора.

Проведено розрахунок показників надійності приладу методом сумування інтенсивностей відмов окремих груп елементів. Отримано сумарну інтенсивність відмов на рівні $31,59 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, що відповідає середньому напрацюванню до першої відмови близько 31 650 годин і ймовірності безвідмовної роботи протягом року на рівні 0,76. Це дозволяє зробити висновок про достатній запас надійності проектного пристрою за умови дотримання рекомендацій з монтажу та експлуатації.

В економічному розділі виконано оцінку собівартості виготовлення макетного зразка, розраховано витрати на матеріали для друкованої плати та покупні комплектуючі. Показано, що використання широко розповсюдженої елементної бази (ATmega328P, стандартні дискретні елементи, доступні роз'єми) забезпечує

	Виконав				<i>KPM.EC.10315367.001.P3</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

прийнятну вартість пристрою, що робить можливим його використання як у навчальному процесі, так і для невеликих систем контролю доступу.

Отримані результати підтверджують доцільність використання RFID-технології для побудови компактної та надійної системи контролю доступу з можливістю подальшої модернізації. У подальших розробках доцільно розширити функціональні можливості системи за рахунок мережевої взаємодії (Ethernet/Wi-Fi), впровадження криптографічного захисту даних, ведення журналу подій та підтримки більш сучасних стандартів RFID (13,56 МГц, NFC).

ПРОЕКТ

	Виконав				<i>КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ</i>	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Буличов А. Л. та ін. Аналогові інтегральні схеми, 1985. - 223 с.
2. О.П. Григорєв та ін.. Діоди, М., Радіозв'язок, 1990.
3. П. Хоровіц, У. Хілл. Мистецтво електротехніки. Т.т. 1-2., 1998.
4. Ulrich Tietze, Christoph Schenk, Eberhard Gamm., Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2019
5. Beatman, J. B. (1998). "Design with PIC Microcontrollers." Prentice Hall.
6. Wilmsbirst, J. (2010). "Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers: Principles and Applications." Newnes.
7. Мікропроцесорна техніка: конспект лекцій (для студентів, які навчаються за напрямками 0906 "Електротехніка", 6.050701 "Електротехніка та електротехнології" всіх форм навчання). Уклад.. Колонтаєвський Ю.П., – Харків: ХНАМГ, 2009. – 83 с.
8. Методичні вказівки до лабораторної роботи № 16 “Ознайомлення із контролерами сімейства Arduino” до курсу "Проектування систем автоматизації". Шкодзінський О.К., Пісьціс В.П., Медвідь В.Р., Галушка А.В., Тернопіль: ТНТУ, 2016 - 27 с.
9. Інтернет-магазин «Ардуіно в Україні» продаж Arduino, Raspberry Pi мікропроцесорів в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino-ua.com>.
10. Iskra-Neo [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://amperka.ru/product/iskra-neo>
11. Arduino [Електронний ресурс] / Інформаційний Інтернет ресурс. // Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>
12. Tod E. Kurt. Arduino and bionic / Tod E. Kurt / Machineproject – November 2007.
13. Massimo Banzi. GETTING STARTED WITH ARDUINO / Massimo Banzi. — М.: Рид Групп, 2012. — 128 с.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

14. Brian W. Evans. Arduino Programming Notebook / Brian W. Evans / California USA 2007 – 40 p.
15. Методичні вказівки до лабораторної роботи № 16 “Ознайомлення із контролерами сімейства Arduino” з курсу "Проектування систем автоматизації". Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П., Медвідь В.Р., Галушка А.В., Тернопіль: ТНТУ, 2016 - 27 с.
16. Barnett, R. H., Cox, L. O., & O'Cull, L. (2003). "Embedded C Programming and the Atmel AVR." Thomson Delmar Learning.
17. Valvano, J. W. (2011). "Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers." CreateSpace Independent Publishing Platform.
18. Yeralan, S., & Emery, A. (1997). "Programming and Interfacing the 8051 Microcontroller." Addison-Wesley.

	Виконав				КРМ.ЕС.10315367.001.ПЗ	Арк.
	Керівник					
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Додаток 1

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Ясць Тарас Михайлович

Студента (-ки) 2 курсу
спеціальності 171 Електроніка
Мороз Олександр Дмитрович
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

про самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Мороз Олександр Дмитрович
(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) 2-го курсу ІТФ
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: система доступу на
базі RFID технологій

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

10.12.2025

Дата

Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА
про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Мороз Олександр Дмитрович
Назва роботи	Система доступу на бази RFID технологій
Спеціальність	Електроніка 171
Курс	2
Факультет	Інженерно-Технічний
Кафедра	Електронних Систем
Керівник роботи	Степанов Олександр Олександрович
Роботу перевірено в програмі	Unichack
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	IT-Мороз-О.Д
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНУЗ УжНУ	
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	100%

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

(прізвище, ініціали)

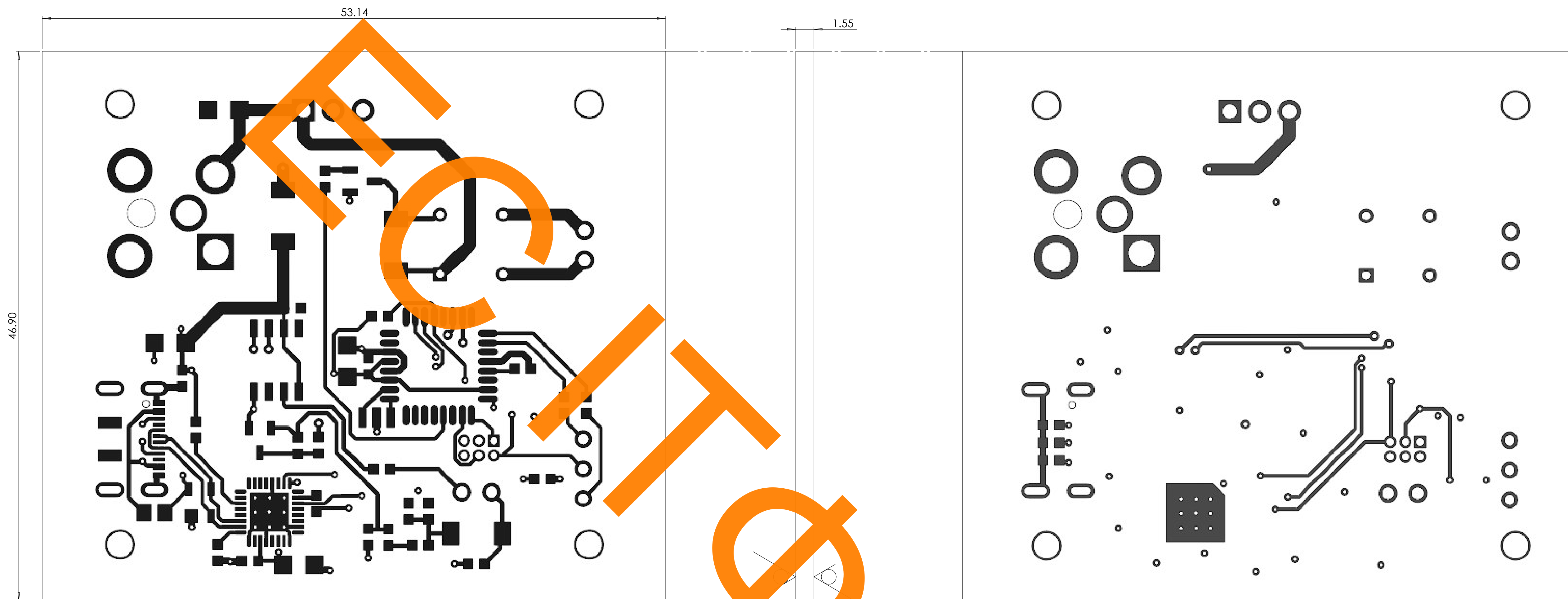
Дата

Підпис

[illegible]

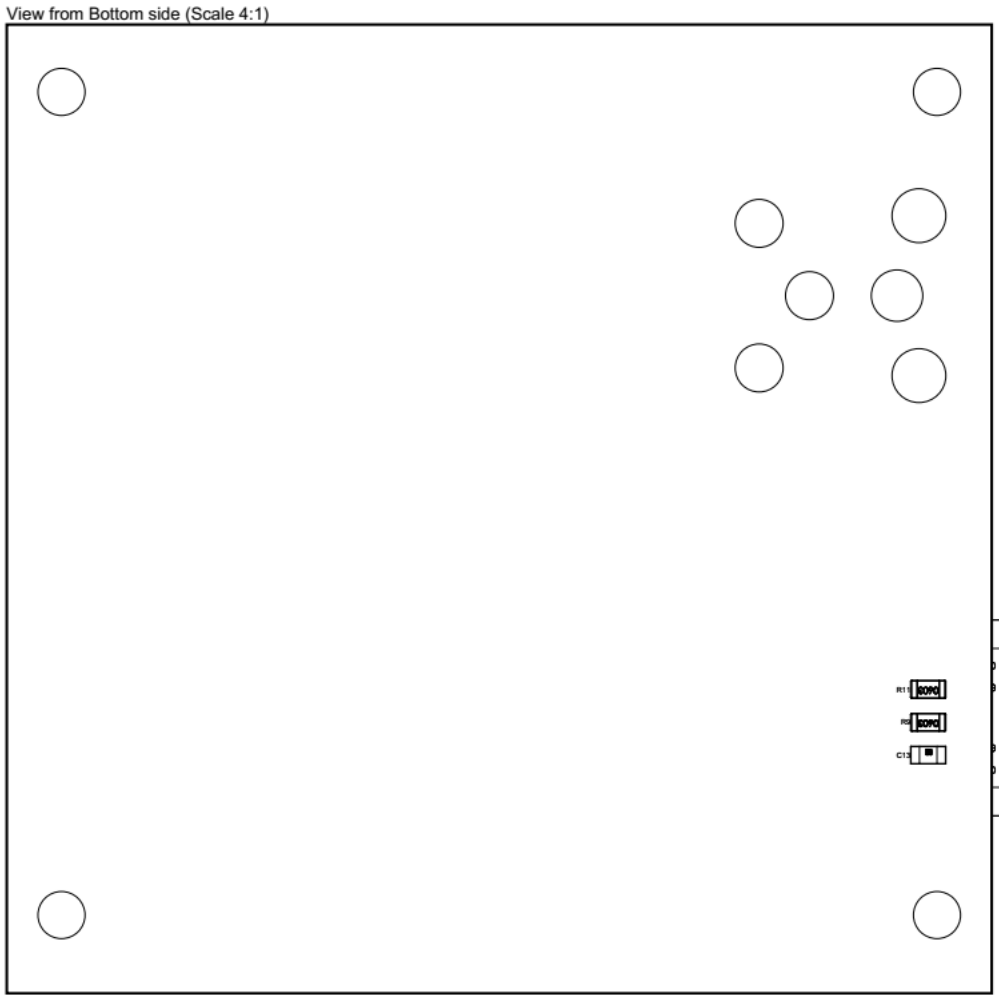
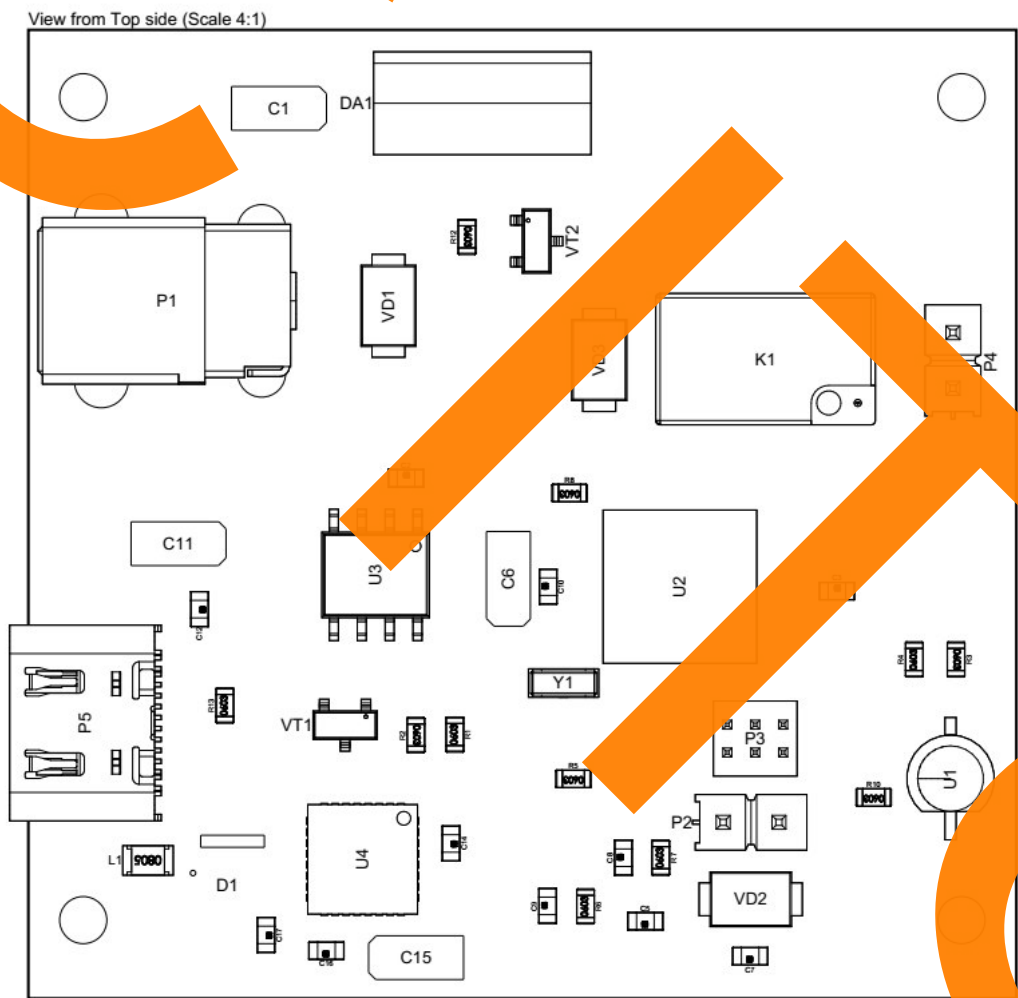
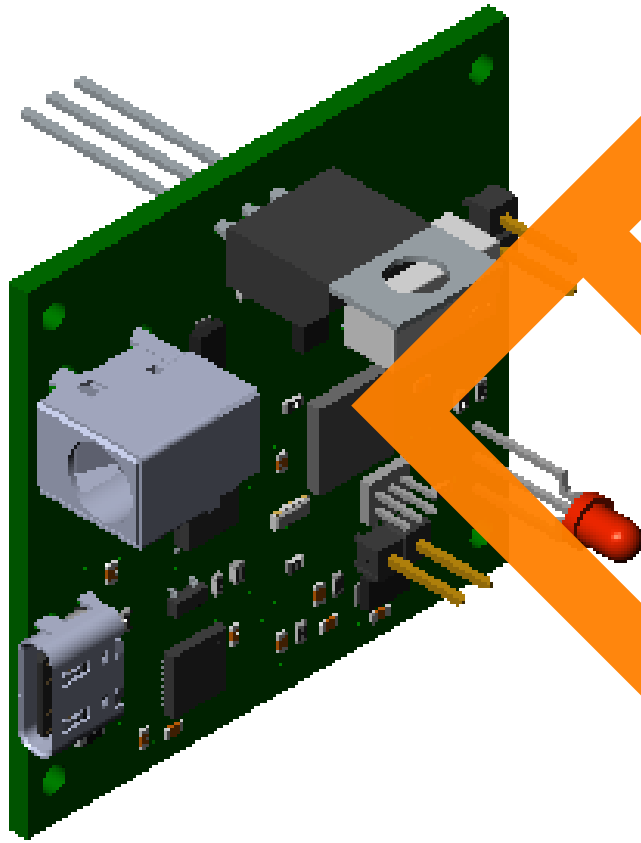
[illegible]

[illegible]



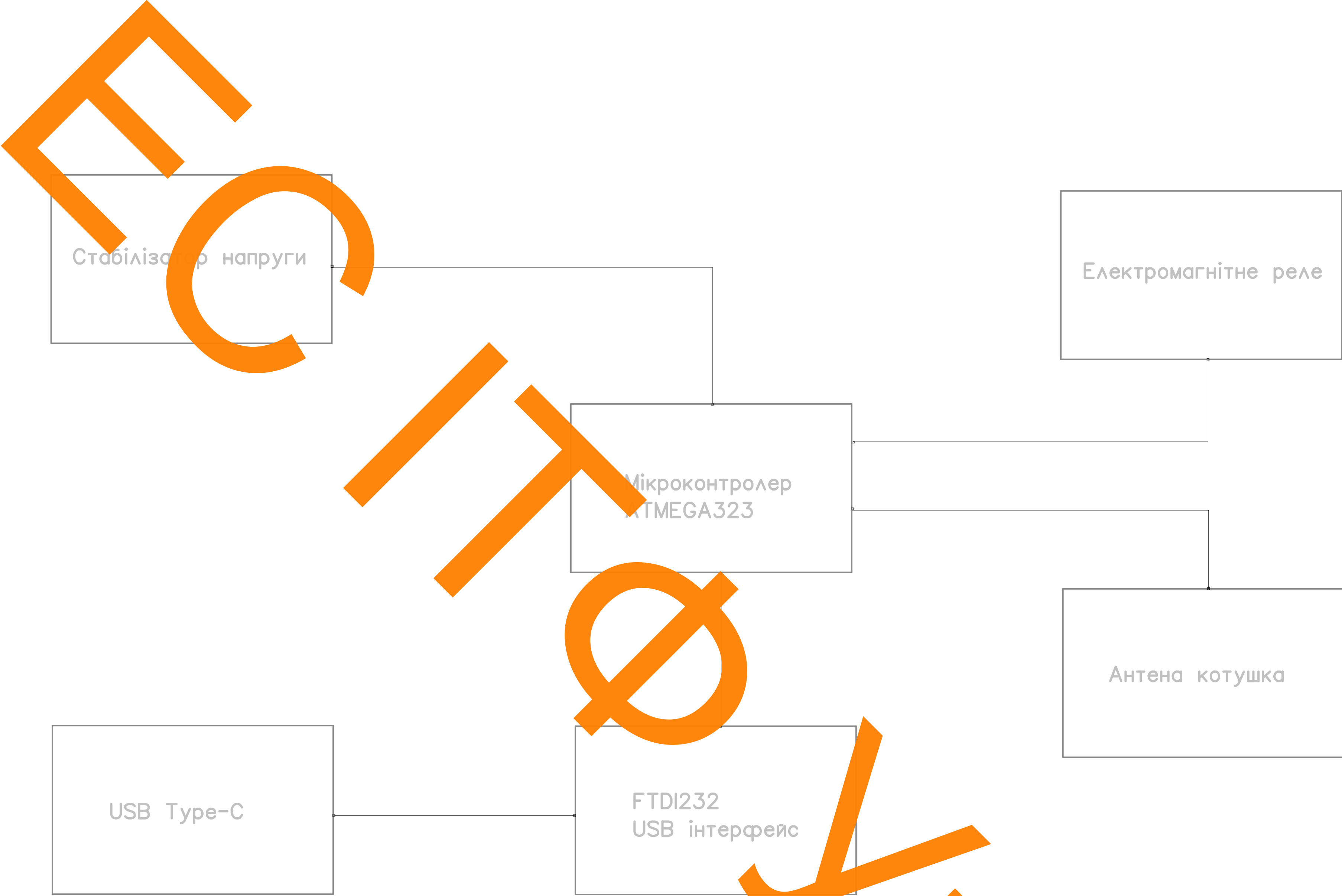
1. Плату виконати комбінованим методом: SMT-монтаж для всіх компонентів, окрім трьох роз'ємів, які встановлюються методом THT (монтаж в отвори).
2. Крок координатної сітки: 1.25 мм для всіх елементів.
3. Товщина фольги: 35 мкм.
4. Покриття друкованої плати:
Виконати покриття за технологією ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold) для забезпечення надійності контакту SMT-компонентів.
5. Отвори для роз'ємів:
Виконати металізовані отвори діаметром відповідно до вимог IPC-6013 для посадкових місць.
6. Відповідність геометричних розмірів та допусків згідно ГОСТ 23752-79.
7. Паяння: Паяльні зони для SMT-компонентів виконати відповідно до вимог IPC-7351 для посадкових місць.
8. Виконання згідно IPC-A-600 для друкованих плат класу 2 (для комерційного обслуговування).

						КРМ.ЕС. 10315367.001 ДП				
						Пристрій доступу на базі RFID технології.		Літ.	Маса	Масштаб
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Н				5:1	
Розроб.		Мороз О.Д				ДРУКОВАНА ПЛАТА		Арк.	Аркушів 1	
Перев.		Списєвих								
								УжНУ, ІТФ, ІІ курс, гр. ЕС		
Н. контр.		Папп О.В								
Затв.		Заяць Т.М.								

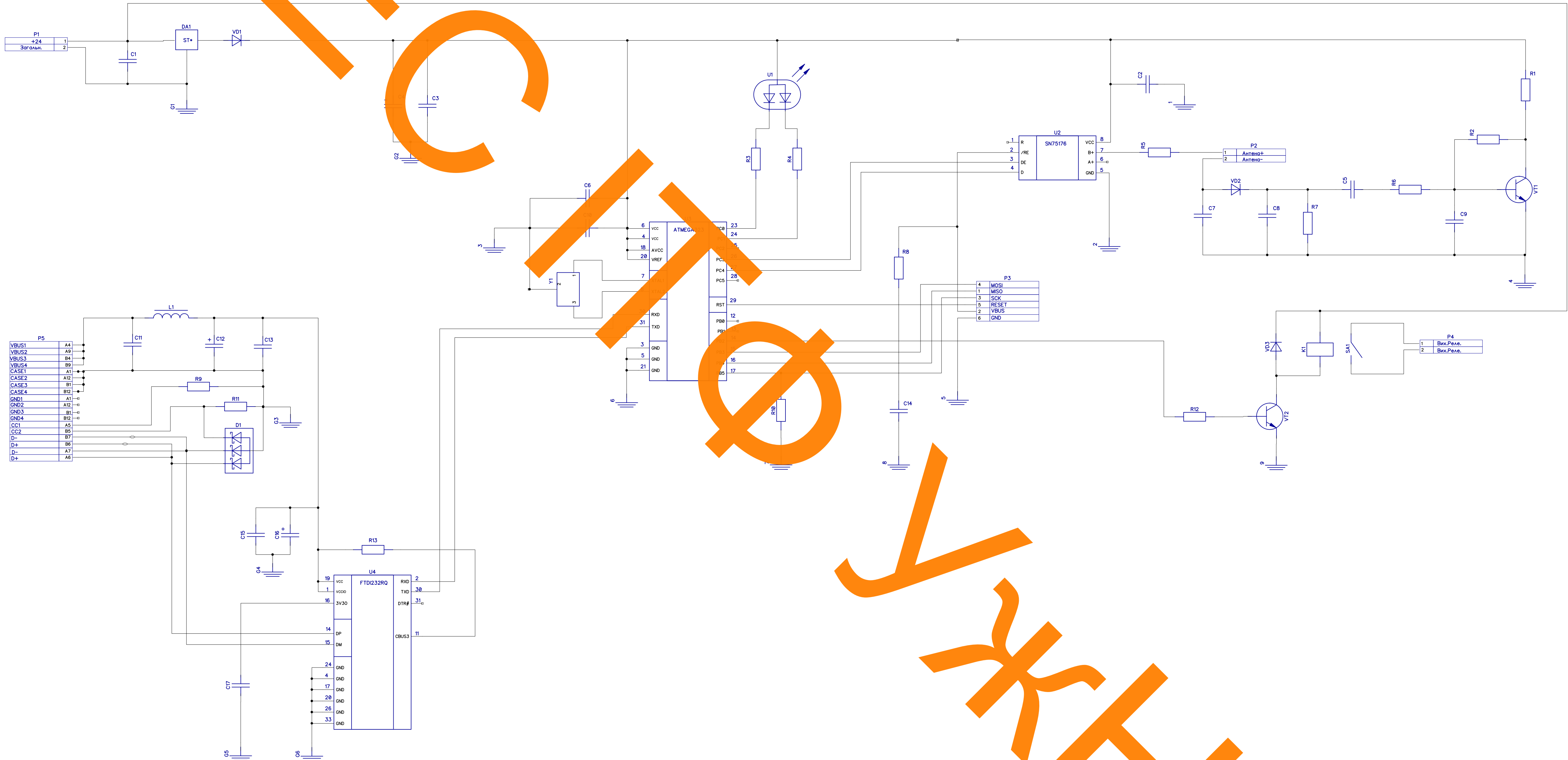


- Електромонтаж виконувати відповідно до IPC-A-610 класу 2.
- Паяння виконувати методом оплавлення (Reflow) для SMT-компонентів. Для THT-роз'ємів використовувати безсвинцевий припій SAC305 (Sn36.0Ag3.0Cu0.5) відповідно до стандарту IPC J-STD-006.
- Розміри для довідок.
- Друковані провідники виконані відповідно до IPC-2221. Плату після складання покрити захисним лаком типу ЕП 572, білим ТУ 6-10-1539-76.
- Маркування елементів наносити шовкотрафаретним методом фарбою ЧМ (чорний) або БМ (білий) згідно ТУ 029-02-859-78.
 - Шрифт 2.5 мм відповідно до НО 010.007.
 - Місця розміщення маркування показані умовно.
- Ключові компоненти та роз'єми встановлювати вручну після SMT-монтажу.
- Всі відстані між компонентами мають відповідати мінімальним технологічним зазорам згідно IPC-SM-782.
- Перевірка складання плати:
 - Візуальний контроль під мікроскопом для SMT.
 - Контроль якості пайки THT роз'ємів за ГОСТ 19257-73.
- Загальна чистота плати після складання відповідно до IPC-5704.
- Технологічні отвори для монтажу або кріплення плат передбачити згідно конструктивного рішення.

						KPM.EC. 10315367.001 CK						
							Пристрій доступу на базі RFID технології.			Літ.	Маса	Масштаб
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата								
Розроб.		Мороз О.Д.										
Пров.		Списивих О.О.				СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ						
										Аркушів 1		
Н. контр.		Папп О.В.								УжНУ, ITФ, II курс, гр. EC		
Затв.		Заяць Т.М.										



					KPM.EC.10315367.001.E1		
Зм.	Арк.	№ докум.	Піп.	Дата.	Прийнято доступу на базі RFID технології Структурна схема		
Розроб.	Мороз О.Д.						
Перевір.	Слесивих О.Д.				УжНУ, ІТФ, гр.ЕС, 2-курс		
№ контр.	Папп О.В.						
Затв.	Зорян О.В.						





Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: вівторок, 16 грудня 2025, 23:52
Доступно через www.antip.la

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	0%
Назва документу	Мороз KPM-антиплаг.docx
Кількість символів	19,191
Кількість спеціальних символів	127
Кількість слів	2,668
Унікальна кількість слів	1,521
Кількість речень	207
Найпоширеніші слова	=, для, -, на, +
Найдовше слово	$d+\Delta d+(0,1+0,15)=0,8+0,05+0,1=0,95$
Середня довжина слова	6.2
Середня кількість слів у реченні	12.9
Всього посилань	0
Кількість слів із плагіатом	0

16.12.2025

(дата)

Alex Papo

(перевірів)