НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ О.М. Лисенко
(підпис) (прізвище, ініціали)

“19”_червня_2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код та назва напряму підготовки або спеціальності)

на тему Аналізатор умов навколишнього середовища

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-02
Данилюк Андрій Миколайович _____ _____
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник доц., к.т.н., Лебедев Д.Ю. _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали прізвище) (підпис)

Рецензент доц., к.т.н., Дрозденко Олександр _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали та прізвище) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ 2024

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.М. Лисенко

(підпис) (прізвище, ініціали)

“23”_березня__2024р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Данилюку Андрію Миколайовичу

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проєкту Аналізатор умов навколишнього середовища

керівник проєкту доц., к.т.н., доц. Лебедев Д.Ю.

затверджені наказом по університету від 23.05.2024 року №2076-с

2. Термін подання студентом проєкту 12 червня 2024

3. Вихідні дані до проєкту Система, яка складається з апаратної та програмної частини, призначена для отримання даних про умови навколишнього середовища. Напруга живлення пристрою – 5 В. Кліматичне виконання УХЛ 1. Поєднання помірного та холодного макрокліматичних районів, 1 експлуатація на відкритому повітрі з впливом будь-яких атмосферних факторів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- вступ;
- аналіз технічного завдання;
- розробка структурної схеми приладу та схеми електричної принципової;
- обґрунтування вибору елементної бази;
- обґрунтування вибору матеріалу друкованої плати;
- конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки;
- проєктування друкованого вузлу у САПР Altium Designer;
- розробка програмного забезпечення;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):
- схема електрична принципова;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення;

6. Дата видачі завдання 23.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	24.03.24-30.03.24	Виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	31.03.24-6.04.24	Виконано
3	Схемотехнічне проектування	7.04.24-16.04.24	Виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	17.04.24-24.04.24	Виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	25.04.24-3.05.24	Виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	4.05.24-13.05.24	Виконано
7	Проектування у Altium Designer	14.05.24-19.05.24	Виконано
8	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузлу	20.05.24-28.05.24	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	29.05.24-13.06.24	Виконано

Студент_____ А.М. Данилюк
(підпис) (ініціали та прізвище)
Керівник проекту_____ Д.Ю. Лебедев
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 82 сторінках, містить 6 розділів, 27 ілюстрацій, 10 таблиць та 24 джерела в переліку посилань

У даній роботі розглядається розробка аналізатора умов навколишнього середовища. Основною метою роботи є створення пристрою, який здатний вимірювати і відображати параметри навколишнього середовища, такі як температура, вологість та освітленість. Документ включає аналіз існуючих рішень та вимоги до проєктування, розробку структурної схеми і схеми електричної принципової, вибір елементної бази, розробку програмного забезпечення та тестування макету пристрою. Основні розділи пояснювальної записки охоплюють огляд існуючих технологій та визначення вимог до нового пристрою, детальний опис компонентів і їх зв’язків у системі, вибір оптимальних компонентів для реалізації проєкту, розробку апаратної та програмної частин пристрою, а також процес складання та тестування готового макету. Ця робота представляє собою всебічний підхід до розробки аналізатора, що включає як апаратну, так і програмну складові, і є важливим кроком у напрямку моніторингу та збереження навколишнього середовища.

ABSTRACT

The work is presented in 82 pages, contains 6 sections, 27 illustrations, 10 tables, and 24 sources in the list of references.

This paper addresses the development of an environmental condition analyzer. The main goal of the work is to create a device capable of measuring and displaying environmental parameters such as temperature, humidity, and illumination. The document includes an analysis of existing solutions and design requirements, the development of a structural diagram and an electrical schematic, the selection of component base, software development, and prototype testing. The main sections of the explanatory note cover an overview of existing technologies and the determination of new device requirements, a detailed description of the components and their connections in the system, the selection of optimal components for project implementation, the development of the hardware and software parts of the device, as well as the assembly and testing process of the completed prototype. This work represents a comprehensive approach to the development of an analyzer, encompassing both hardware and software components, and is an important step towards monitoring and preserving the environment.

Зміст

ВСТУП 5

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ 7

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ І ВИМОГИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ 8

1.1 Аналізатори, їх призначення та застосування 8

1.2 Параметри навколишнього середовища 9

1.3 Аналіз наявних рішень 11

1.4 Вимоги до проєктування 12

1.5 Формулювання технічного завдання 14

1.6 Завдання на проєктування 14

Висновок до розділу 1 15

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ 17

2.1 Розробка структурної схеми 17

2.2 Вибір елементної бази 18

2.2.1 Вибір мікроконтролера 18

2.2.2 Вибір датчиків вимірювання температури, вологості, тиску 20

2.2.3 Вибір датчиків вимірювання освітленості 21

2.2.4 Вибір датчиків вимірювання якості повітря 22

2.2.5 Вибір блоку індикації 24

2.2.6 Вибір роз'єму 25

2.2.7 Загальні вимоги до решти компонентів 27

2.3 Розробка та опис схеми електричної принципової 28

2.3.1 Блок живлення 29

2.3.2 Блок керування та обробки інформації 30

2.3.3 Блок вимірювання температури, вологості, тиску 31

2.3.4 Блок вимірювання рівня освітленості 32

2.3.5 Блок вимірювання якості повітря 33

2.3.6 Блок індикації 34

РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ 36

3.1 Вибір і обґрунтування типу друкованої плати 36

3.2 Вибір і обґрунтування матеріалу друкованої плати 38

3.3 Метод виготовлення друкованої плати 39

3.4 Вибір класу точності 40

3.5 Проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer 41

Висновок до розділу 3 45

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ 46

4.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати. 46

4.1.1 Розрахунок мінімальної ширини провідника на постійному струмі для кіл живлення та землі 46

4.1.2 Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому 49

4.1.3 Визначення номінального діаметра монтажного отвору 49

4.1.4 Визначення діаметра контактного майданчика (КМ) 50

4.1.5 Визначення мінімальної ширини провідника 51

4.1.6 Визначення мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком 52

4.1.7 Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками..... 53

4.1.8 Визначення мінімальної відстані між контактними майданчиками 54

4.2 Електричний розрахунок друкованої плати 55

4.2.1 Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику 55

4.2.2 Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати56

4.2.3 Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину 57

4.2.4 Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини 57

4.3 Розрахунок надійності друкованого вузла..... 58

РОЗДІЛ 5 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ66

5.1 Програмні компоненти розробки 66

5.2 Опис реалізації програмного коду 67

Висновок до розділу 5 71

РОЗДІЛ 6 СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ПРИСТРОЮ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО ТЕСТУВАННЯ 73

6.1 Збірка макету пристрою 73

6.2 Тестування макету пристрою..... 75

Висновки..... 78

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... 80

Додаток А 6

ВСТУП

Зростаюча урбанізація та інтенсифікація людської діяльності призводять до значного впливу на навколишнє середовище. Забруднення повітря, води та ґрунту, зміна клімату, втрата біорізноманіття - це лише деякі з проблем, з якими стикається сучасне суспільство.

Для вирішення цих проблем важливо мати точну та своєчасну інформацію про стан навколишнього середовища. Аналізатори навколишнього середовища - це прилади, які збирають та аналізують дані про різні параметри довкілля, такі як температура, вологість, тиск, концентрація забруднюючих речовин, рівень шуму тощо.

Дані, отримані за допомогою аналізаторів, використовуються для:

- **Моніторингу стану навколишнього середовища:** Це дозволяє виявляти та реагувати на проблеми, перш ніж вони завдадуть значної шкоди.
- **Проведення досліджень:** Дослідники використовують аналізатори для вивчення впливу людської діяльності на довкілля та розробки нових методів захисту довкілля.
- **Контролю за дотриманням екологічних норм:** Аналізатори використовуються для перевірки того, чи дотримуються підприємства та інші організації екологічних норм.

Метою даного дипломного проєкту є розробка аналізатора навколишнього середовища, який буде здатний збирати та аналізувати дані про такі параметри довкілля: температура, вологість, тиск, концентрація забруднюючих речовин в повітрі, рівень шуму та освітленості.

В рамках дипломного проєкту було проведено аналіз існуючих аналізаторів навколишнього середовища, що дозволило визначити їхні переваги та недоліки. Розроблено схему нового аналізатора**,** проведено вибір датчиків, мікроконтролера та інших компонентів. Зібрано та протестовано прототип нового аналізатора**,** що дозволило оцінити його працездатність. Проведено дослідження можливостей застосування нового аналізатора.

Практична значимість дослідження полягає в тому, що розроблений аналізатор може бути використаний для моніторингу умов навколишнього середовища в реальному часі, що є важливим для забезпечення оптимальних умов в різних сферах, таких як сільське господарство, де точний контроль температури та вологості може значно підвищити врожайність; екологічний моніторинг, де пристрій може допомогти виявляти забруднення і зміну кліматичних умов; домашнє використання для забезпечення комфортних умов проживання; промисловість, де контроль параметрів навколишнього середовища може впливати на якість продукції та безпеку працівників; а також в наукових дослідженнях, де необхідний точний збір даних про стан навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

ADC - Analog-to-Digital Converter (Аналого-цифровий перетворювач)

DAC - Digital-to-Analog Converter (Цифро-аналоговий перетворювач)

GPIO - General-Purpose Input/Output (Універсальний вхід/вихід)

I2C - Inter-Integrated Circuit (Міжінтегральна схема)

SPI - Serial Peripheral Interface (Серіальний периферійний інтерфейс)

UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Універсальний асинхронний приймач-передавач)

PCB - Printed Circuit Board (Друкована плата)

MCU - Microcontroller Unit (Мікроконтролер)

PWM - Pulse-Width Modulation (Широтно-імпульсна модуляція)

LED - Light Emitting Diode (Світлодіод)

LCD - Liquid Crystal Display (Рідкокристалічний дисплей)

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ І ВИМОГИ ДО ПРОЄКТУВАННЯ

1.1 Аналізатори, їх призначення та застосування

Аналізатори стали невід'ємною частиною нашого життя, оточуючи нас у повсякденному житті. Вони, щодня збирають для нас безліч даних, розкриваючи таємниці довкола нас. Ці інструменти або пристрої слугують вірними помічниками у вимірюванні, вивченні та перевірці різних параметрів, властивостей та характеристик об'єктів та систем [6].

Різноманіття явищ та параметрів, які потребують дослідження та вимірювання, обумовлює й різноманіття аналізаторів. Деякі з них ми використовуємо щодня, інші ж створені для виконання специфічних завдань. Аналізатори знаходять застосування в безлічі галузей, розширюючи горизонти знань та допомагаючи нам долати складні завдання. Їхні можливості сягають далеко за межі повсякденного життя, роблячи їх незамінними інструментами в різних сферах:

Медицині: допомагають лікарям діагностувати захворювання, визначати рівень гормонів, вітамінів та інших важливих речовин, контролювати стан пацієнтів. Хірурги застосовують для візуалізації внутрішніх органів, проведення операцій та контролю за станом пацієнта під час операції.

Хімія та біологія використовує для досліджень складу речовин, визначення їхніх властивостей та розробки нових матеріалів та лікарських препаратів, контролю якості продуктів харчування, ліків, хімічних речовин та інших товарів.

У фізиці та електроніці аналізатори допомагають вимірювати електричні параметри, такі як напруга, струм, частота та опір, досліджувати фізичні явища,

такі як структура матеріалів, поведінка електромагнітних хвиль та властивості атомів і молекул.

Промисловість також не може обійтись без таких приладів. Контроль та регулювання промислових процесів, таких як виробництво сталі, нафтопереробка та виробництво продуктів харчування. Забезпечення безпеки на виробництві, виявляючи шкідливі речовини та контролюючи рівень шуму та вібрації.

Екологи використовують аналізатори для моніторингу стану довкілля, вимірюючи рівень забруднення, зміни клімату та інші екологічні параметри. Застосовують для дослідження впливу людської діяльності на довкілля та розробки методів захисту навколишнього середовища.

І це лише невелика кількість прикладів застосування аналізаторів [7]. Їхні можливості постійно розширюються, роблячи їх незамінними інструментами в сучасному світі. Завдяки аналізаторам ми можемо отримувати точні та своєчасні дані, які допомагають нам приймати правильні рішення, досліджувати нові горизонти та робити світ кращим.

1.2 Параметри навколишнього середовища

Параметри навколишнього середовища - це фізичні, хімічні та біологічні характеристики, які визначають стан довкілля. Їх можна вимірювати за допомогою різних інструментів та методів, і вони використовуються для моніторингу здоров'я екосистем та впливу на них людської діяльності.

Деякі з найпоширеніших параметрів навколишнього середовища включають:

- **Температура:** Температура є одним із найважливіших параметрів навколишнього середовища, оскільки вона впливає на багато процесів, включаючи ріст рослин, активність тварин та хімічні реакції.

- **Вологість:** Вологість - це кількість водяної пари у повітрі. Вона виражається у відсотках відносної вологості (RH), яка є відношенням водяної пари в повітрі до максимальної кількості водяної пари, яку повітря може утримувати при даній температурі.

- **Тиск:** Тиск - це сила, що діє на одиницю площі. Атмосферний тиск - це тиск, який чинить атмосфера Землі на її поверхню.

- **Опади:** Опади - це будь-яка форма води, що випадає з атмосфери, включаючи дощ, сніг, град та лід. Опади можна вимірювати за допомогою дощомірів.

- **Вітер:** Вітер - це горизонтальний рух повітря. Швидкість вітру можна вимірювати за допомогою анемометрів, а напрямок вітру можна вимірювати за допомогою флюгерів.

- **Якість повітря:** Якість повітря - це міра чистоти повітря. Вона визначається концентрацією забруднюючих речовин у повітрі. Її можна вимірювати за допомогою різних інструментів, які визначають концентрацію забруднюючих речовин у повітрі.

- **Якість води:** Якість води - це міра чистоти води. Її можна вимірювати за допомогою різних інструментів, які визначають концентрацію забруднюючих речовин у воді.

- **Забруднення ґрунту:** Забруднення ґрунту - це забруднення ґрунту шкідливими речовинами. Його можна вимірювати за допомогою

різних інструментів, які визначають концентрацію забруднюючих речовин у ґрунті.

1.3 Аналіз наявних рішень

Існує безліч аналізаторів, які використовуються для вимірювання та аналізу різних параметрів навколишнього середовища. Їх можна розділити на декілька категорій. За типом середовища: атмосферні, гідрологічні та грунтові аналізатори. Атмосферні вимірюють параметри повітря, такі як температура, вологість, тиск, концентрація газів, рівень забруднення. Гідрологічні прилади вимірюють параметри води, такі як температура, pH, сольовий склад, концентрація забруднюючих речовин. Ґрунтові вимірюють параметри ґрунту, такі як pH, вміст поживних речовин, сольовий склад, вологість.

Наш аналізатор входить в категорію атмосферних, тому буде здатен вимірювати різні параметри атмосфери, а саме: рівень освітленості, якість повітря, температуру, вологість та тиск.

Серед проаналізованих варіантів було знайдено пристрої від компанії Ajax та Netamo.

Аналізатори від компанії Ajax та Netamo представлено на рисунку 1.1.

Рисунок 1.1 Аналізатори від компанії Netamo та Ajax

Це багатофункціональні і досить точні прилади. Вони здатні вразити своїм дизайном, зручністю та простотою використання. Вони мають інтелектуальні програмні рішення, індикаторні екрани, якісні датчики, які забезпечують високу точність визначення забруднення атмосферного повітря. Проте такі пристрої мають і свої мінуси. Вони працюють тільки в системах розумного будинку виробника, що не робить їх універсальними. Такий пристрій є стаціонарним, що унеможливлює його вільне використання в різних локаціях. Також для перегляду даних потрібне спеціальне програмне забезпечення, яке є зручним для власника і в той же час робить аналізатор безкорисним для інших людей. І головним недоліком такого пристою є ціна, яка досягає межі 250$, без урахування потрібних хабів для коректної роботи датчику, та передачі інформації користувачу.

1.4 Вимоги до проєктування

Загальні вимоги:

- Компактність: Пристрій повинен мати невеликі габарити, щоб його можна було легко розмістити в будь-якому місці, наприклад, на столі, полиці або стіні.
- Простота використання: Інтерфейс користувача повинен бути простим та інтуїтивно зрозумілим, щоб будь-хто міг легко ним користуватися, незалежно від технічних знань.
- Доступність: Ціна пристрою повинна бути доступною для широкого кола користувачів.
- Мобільність: Пристрій повинен бути мобільним, щоб його можна було легко переносити з одного місця в інше.
- Енергоефективність: Пристрій повинен бути енергоефективним, щоб його можна було використовувати протягом тривалого часу без необхідності частої зарядки або заміни батарей.

Функціональні вимоги:

- Вимірювання параметрів навколишнього середовища: Пристрій повинен вимірювати такі параметри навколишнього середовища, як температура, вологість, тиск, рівень освітленості, якість повітря.
- Відображення даних: Пристрій повинен відображати дані про вимірювані параметри в режимі реального часу у зручному та зрозумілому форматі.

Нефункціональні вимоги:

- Надійність: Пристрій повинен бути надійним і працювати без збоїв протягом тривалого часу.

- Точність: Пристрій повинен вимірювати параметри навколишнього середовища з високою точністю.
- Безпека: Пристрій повинен бути безпечним для використання та не повинен представляти жодної небезпеки для користувачів чи навколишнього середовища.
- Ергономічність: Пристрій повинен бути ергономічним та зручним у використанні.

1.5 Формулювання технічного завдання

Технічне завдання (ТЗ):

1) забезпечити коректну роботу пристрою;

2) використати датчики широкого діапазону вимірювань;

3) портативність пристрою, а саме, габарити, які не повинні перевищувати середній розмір із розглянутих аналогів – 100x100x50 мм;

4) індикація даних повинна бути розміщена на пристрої ;

5) налаштування пристрою проводиться один раз;

6) простота експлуатації;

7) мінімальна тривалість безвідмовної роботи 15 000 год;

8) доступність складових, для швидкої заміни компонентів, які вийшли з ладу;

9) низька собівартість – максимум 50$.

1.6 Завдання на проєктування

Під час проєктування виробу, проєкт повинен відповідати вимогам, які описані в попередньому пункті. За допомогою Altium Designer, виконати

проєктування схеми електричної принципової. Засобами програмного забезпечення скласти перелік елементів, схему електричну принципову, креслення друкованої плати, складальне креслення і специфікацію.

Наступним пунктом є конструкторсько-технологічний розрахунок параметрів елементів. Це проводиться для визначення характеристик, для відповідності технічному завданню.

Розроблений пристрій планується представити у вигляді прототипу.

Висновок до розділу 1

У цьому розділі було проведено аналіз існуючих рішень на ринку аналізаторів навколишнього середовища, а також сформульовано вимоги до проєктування нового пристрою.

Основні висновки:

- На ринку існує широкий спектр аналізаторів навколишнього середовища, які пропонують різні функції та можливості.
- Більшість існуючих аналізаторів є стаціонарними, що обмежує їх мобільність.
- Деякі аналізатори інтегруються з системами розумного будинку, що робить їх не універсальними.
- Ціна на багато аналізаторів є досить високою.

Вимоги до нового пристрою:

- Компактність
- Простота використання
- Доступність
- Мобільність

- Енергоефективність
- Вимірювання параметрів навколишнього середовища: температура, вологість, тиск, рівень освітленості, якість повітря, рівень шуму.
- Відображення даних у режимі реального часу
- Надійність
- Точність
- Безпека
- Ергономічність

Очікується, що розроблений пристрій буде відповідати всім поставленим вимогам і стане доступним та зручним інструментом для моніторингу стану навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

2.1 Розробка структурної схеми

На основі технічного завдання та вимог до пристрою було розроблено структурну схему реалізації пристрою, яка наведена на рисунку 2.1.

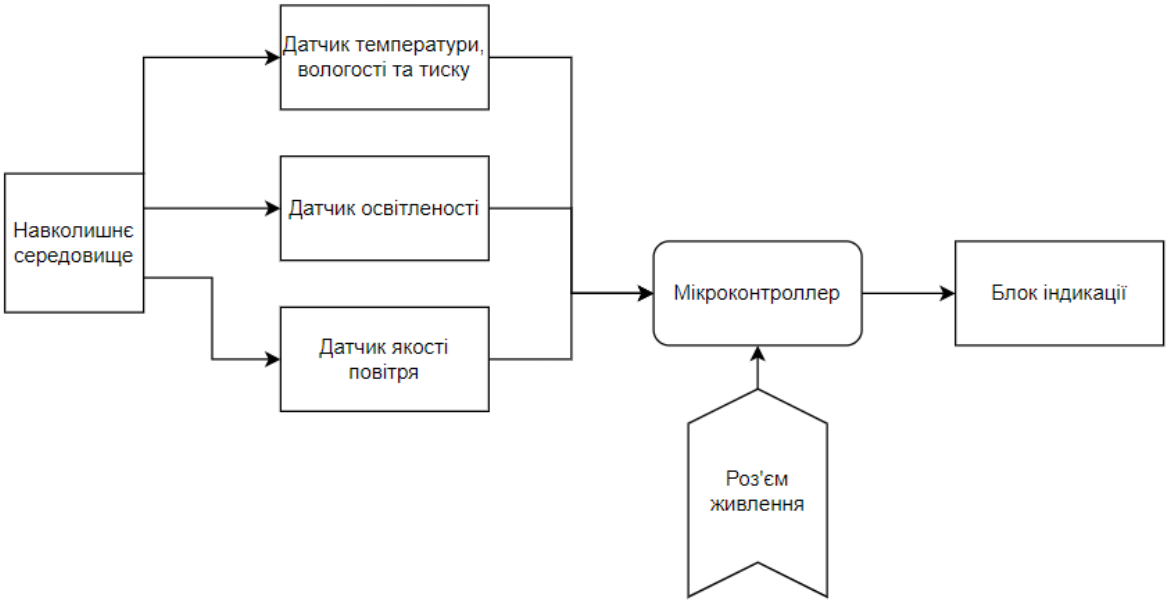

Рисунок 2.1 Структурна схема

Розберемо кожен блок пристрою окремо.

Роз’єм живлення. Являє собою роз’єм типу USB A, який використовується для живлення пристрою. Також даний роз’єм використовуємо для прошивки мікроконтроллеру.

Мікроконтроллер. Мікроконтроллер є центральним елементом пристрою. Він відповідає за збір та обробку даних з датчиків, керування блоком індикації та взаємодію з навколишнім середовищем.

Блок індикації. Елемент, який використовується для відображення інформації про умови навколишнього середовища.

Блок датчиків. Особливий блок, який взаємодіє з навколишнім середовищем. Кожен датчик має певні особливості вимірювання певного параметру, після чого отримані дані надсилаються мікроконтроллеру для подальшої обробки.

2.2 Вибір елементної бази

Основними критеріями до вибору елементної бази є:

- Наявність компоненту;
- Поширеність, доступність (у випадку заміни);
- Відповідність поставленим вимогам;
- Малі розміри та вага;
- Не висока складність ручного монтажу;
- Вартість.

Умови експлуатації (температури, вологість, тощо) не висувають додаткових вимог до компонентів.

2.2.1 Вибір мікроконтролера

Вибір мікроконтролера для конкретного проєкту залежить від різних факторів, таких як вимоги до продуктивності, енергоспоживання, наявність периферійних інтерфейсів, простота використання і вартість.

Серед оглянутих варіантів було обрано мікроконтролер Atmega328p [9]. Atmega328p - це 8-бітний мікроконтроллер з сімейства AVR, розроблений компанією Microchip. Він популярний завдяки простоті використання, доступності та великій спільноті розробників.

Можливі варіанти також включали використання контролерів серії ESP та STM. Кожен з варіантів має свої переваги і недоліки. В таблиці 2.1 наведені характеристики розглянутих мікросхем.

Таблиця 2.1 - Електричні характеристики мікросхеми

Характеристика	Atmega328p	ESP	STM
Архітектура	8-бітна	32-бітна	32-бітна
Тактова частота	8 МГц	80 МГц	До 800 МГц
Пам'ять	2 КБ SRAM, 32 КБ Flash	До 64 КБ SRAM, 4 МБ Flash	До 1 МБ SRAM, 16 МБ Flash
Введення/виведення	23	14	До 200
Аналогові канали	6	1	16
Вбудовані модулі	-	Wi-Fi, Bluetooth	-
Вартість	Низька	Низька	Висока
Складність програмування	Низька	Середня	Висока

ESP мікроконтролери, такі як ESP8266 та ESP32, є краще підходять для IoT проєктів завдяки вбудованому Wi-Fi та Bluetooth модулю, та гарній продуктивності та більшим обсягом пам'яті. Однак вони потребують більше енергії.

STM32 мікроконтролери надають найвищу продуктивність та гнучкість, що робить їх придатними для складних проєктів, де потрібні потужні обчислювальні можливості та велика кількість різноманітних периферійних інтерфейсів. Вони потребують більше часу на вивчення та налаштування, потребують спеціальних мікросхем для програмування і мають найвищу ціну, яка з легкістю може перевищувати умову технічного завдання.

Atmega328P є відмінним вибором для обраного проєкту завдяки своїй простоті використання. Працює з тактовою частотою до 20 МГц, що достатньо для

обробки даних від сенсорів і виконання аналітичних обчислень в реальному часі. Вбудовані 32 КБ флеш-пам'яті і 2 КБ оперативної пам'яті повністю задовільняють апаратні вимоги для програми з аналізу навколишнього середовища. Підтримує UART, SPI, I2C, що дозволяє підключати різноманітні сенсори для вимірювання температури, вологості, рівня світла, якості повітря та інших параметрів [11]. Вбудовані аналогово-цифрові перетворювачі (ADC) дозволяють зчитувати аналогові сигнали від сенсорів. Для проєктів на батарейному живленні, Atmega328P пропонує енергозберігаючі режими, які зменшують споживання енергії. Велика спільнота розробників може допомогти з вирішенням можливих проблем, які можуть виникнути під час експлуатації та розробки.

2.2.2 Вибір датчиків вимірювання температури, вологості, тиску

При виборі датчиків керуємось вимогами до характеристик таких як: енергоспоживання, інтерфейси зв’язку, точність, діапазон вимірювань, стабільність, ціна.

При досліджнні наявних рішень було виділено наступні варіанти: DHT22, BME280, AHT10, SHT30, HTU21D. В таблиці 2.2 наведені характеристики розглянутих сенсорів.

Таблиця 2.2 - Характеристики датчиків вимірювання температури, вологості, тиску

Модель датчика	Енергоспоживання	Інтерфейси зв'язку	Точність (Температура/Вологість/Тиск)	Діапазон вимірювань (Температура/Вологість/Тиск)	Стабільність	Ціна (USD)
DHT22	0,26 мА (активний), 0,01 мА (сплячий)	1-Wire	±0.5°C / ±2% RH / -	-40°C до +80°C / 0% до 100% RH / -	Висока	$5
BME280	1,2 мА (активний), 3 µA (сплячий)	I2C, SPI	±0,5°C / ±3% RH / ±1 гПа	-40°C до +85°C / 0% до 100% RH / 300-1100 гПа	Висока	$3

AHT10	1,2 мА (активний), 0,2 µA (сплячий)	I2C	±0.3°C / ±2% RH / -	-40°C до +85°C / 0% до 100% RH / -	Висока	$2
SHT30	0,25 мА (активний), 0,015 µA (сплячий)	I2C	±0.3°C / ±2% RH / -	-40°C до +125°C / 0% до 100% RH / -	Висока	$5
HTU21 D	0,27 мА (активний), 0,01 µA (сплячий)	I2C	±0.3°C / ±2% RH / -	-40°C до +125°C / 0% до 100% RH / -	Висока	$3

Серед розглянутих варіантів було обрано датчик BME280 [12]. Це датчик температури, вологості та тиску, який має ряд переваг, що робить його чудовим вибором для проєкту:

Можливість вимірювання трьох параметрів (температури, вологості та тиску), одним сенсором знижує складність схеми і вартість проєкту. Має високу точність вимірювання температури (±0,5°C), вологості (±3%) та тиску (±0,4 гПа), може вимірювати температуру від -40°C до 80°C, вологість від 0% до 100% та тиск від 300 до 1100 гПа, підтримує I2C, SPI та UART, що робить його простим у підключенні до різних мікроконтролерів та платформ. Пропонує додаткові функції, такі як вимірювання абсолютного тиску, вимірювання висоти. Малий розмір (2.5 мм x 2.5 мм x 0.93 мм) дозволяє легко інтегрувати BME280 у різноманітні проєкти, включаючи портативні пристрої. Компанія-виробник Bosch Sensortec відома своєю якістю і надійністю, що забезпечує довготривалу стабільність і точність вимірювань.

2.2.3 Вибір датчиків вимірювання освітленості

При виборі датчиків керуємось вимогами до характеристик таких як: енергоспоживання, інтерфейси зв’язку, точність, діапазон вимірювань, стабільність, ціна.

При досліджнні наявних рішень було виділено наступні варіанти: MAX44009, TEMT6000, BH1750FVI. В таблиці 2.3 наведені характеристики розглянутих сенсорів.

Таблиця 2.3 - Характеристики датчиків вимірювання рівня освітленості

Модель сенсора	Енергоспоживання	Інтерфейси зв'язку	Точність	Діапазон вимірювань	Стабільність	Ціна (USD)
MAX44009	1.1 µA (активний режим), 0.02 µA (у режимі очікування)	I2C	Висока	0.045 до 188000 люкс	Висока	$5
TEMT6000	0.1 мА (активний режим)	Аналоговий вихід	Середня	10 до 10000 люкс	Середня	$1
BH1750FVI	0.12 мА (активний режим), 0.01 µA (у режимі очікування)	I2C	Висока	1 до 65535 люкс	Висока	$2

Для проєкту було обрано датчик BH1750FVI [13]. Він виявився фаворитом через наступні переваги над іниши моделями: забезпечує високу точність вимірювання освітленості, з роздільною здатністю 1 люкс. Це дозволяє отримувати точні дані про рівень освітлення в широкому діапазоні умов, що є критично важливим для аналізу умов навколишнього середовища. Діапазон вимірювань BH1750FVI становить від 1 до 65535 люкс, що дозволяє використовувати цей датчик у різних умовах освітлення – від слабкого місячного світла до яскравого денного світла. Споживає лише 0.12 мА в активному режимі та 0.01 мкА в режимі очікування, що робить його ідеальним для автономних систем з живленням від батарей. Низьке енергоспоживання забезпечує тривалий час роботи без необхідності частого обслуговування. Використання стандартного інтерфейсу I2C спрощує підключення BH1750FVI до різних мікроконтролерів, включаючи Atmega328P, який використовується в даному проєкті. Простота інтеграції знижує складність розробки та налаштування системи. Сенсор пропонує відмінне співвідношення ціни та якості. Вартість цього сенсора в діапазоні $2 робить його економічно вигідним вибором для проєкту.

2.2.4 Вибір датчиків вимірювання якості повітря

При виборі датчиків керуємось вимогами до характеристик таких як: енергоспоживання, інтерфейси зв’язку, точність, діапазон вимірювань, реакція на типи збуджувачів, стабільність, ціна.

При досліджнні наявних рішень було виділено наступні варіанти: MICS-5524, MQ-135, ZP07-MP503, AGS02MA. В таблиці 2.4 наведені характеристики розглянутих сенсорів.

Таблиця 2.4 - Характеристики датчиків вимірювання якості повітря

Модель сенсора	**Енергоспоживання (Активний режим)**	**Інтерфейси зв'язку**	**Точність**	**Діапазон вимірювань**	**Реакція на типи збуджувачів**	**Стабільність**	**Ціна (USD)**
MICS-5524	60 мА	Аналоговий вихід	Висока	10 - 1000 ppm (CO)	Моноксид вуглецю (CO), етанол, NH3, CH4	Середня	$5
MQ-135	150 мА	Аналоговий вихід	Висока	10 - 1000 ppm	NH3, NOx, алкоголь, бензин, дим, CO2, та інші	Висока	$2
ZP07-MP503	5 мА	Аналоговий вихід	Середня	0.1 - 10 ppm (CH4)	Метан (CH4), вуглекислий газ (CO2)	Висока	$3
AGS02MA	14 мА	I2C	Середня	0.5 - 10 ppm	Леткі органічні сполуки (VOC)	Висока	$5

Для проєкту аналізатора умов навколишнього середовища було обрано датчик MQ-135 [15] через його збалансовані характеристики, які роблять його оптимальним вибором для цієї задачі. MQ-135 забезпечує достатню точність вимірювань для багатьох типів газів, включаючи аміак (NH3), оксиди азоту (NOx), алкоголь, бензин, дим і вуглекислий газ (CO2) [16], що дозволяє отримувати комплексні дані про стан повітря. Хоча енергоспоживання датчика (150 мА в активному режимі) є вищим, ніж у деяких інших моделей, його широкий діапазон вимірювань (10 - 1000 ppm) і можливість виявлення багатьох забруднювачів роблять його універсальним для різних умов експлуатації. Аналоговий вихід спрощує інтеграцію MQ-135 з більшістю мікроконтролерів, таких як Atmega328P, що використовуються в даному проєкті. Висока стабільність та надійність датчика

забезпечують тривалу та безперебійну роботу, а доступна ціна (в межах $2-5) робить його економічно вигідним рішенням для проєктів з обмеженим бюджетом. Сукупність цих характеристик – універсальність у виявленні різних газів, простота інтеграції, стабільність роботи та доступна ціна – роблять MQ-135 найкращим вибором для забезпечення точного та надійного моніторингу умов навколишнього середовища.

2.2.5 Вибір блоку індикації

Вибір TFT дисплею [21] для проєкту аналізатора умов навколишнього середовища є обґрунтованим з кількох ключових причин. Порівнюючи його з іншими варіантами, такими як LCD символьний дисплей, семисегментний індикатор та інші можливі дисплеї, TFT виділяється завдяки своїм перевагам у функціональності та естетичній привабливості. TFT дисплей має високу роздільну здатність і може відображати детальні графічні зображення, включаючи різні шрифти, графіки та інші візуальні елементи, що значно покращує користувацький інтерфейс і дозволяє більш наочно представляти дані про умови навколишнього середовища.

На відміну від символьного LCD дисплея, який обмежений відображенням лише тексту в конкретних форматах (наприклад, 16x2 символів), TFT [22] може показувати різноманітну інформацію на кольоровому фоні, що робить його більш гнучким для різних завдань. Це дозволяє створювати складніші та привабливіші інтерфейси, що є особливо важливим для проєктів, орієнтованих на кінцевих користувачів. Семисегментний індикатор, хоча і підходить для простих числових відображень, не може конкурувати з можливостями TFT у відображенні текстової та графічної інформації.

Крім того, TFT дисплей має високу яскравість і контрастність, що забезпечує чітке зображення навіть у яскравих умовах освітлення. Його широкі

кути огляду гарантують, що інформація буде добре видима з різних ракурсів, що важливо для зручності використання. Дисплей підтримує кілька інтерфейсів підключення, таких як SPI, що забезпечує просту інтеграцію з різними мікроконтролерами, включаючи Atmega328P, який використовується у проєкті.

З точки зору енергоспоживання, TFT LCD дисплей є ефективним і може працювати в режимах з низьким споживанням енергії, що важливо для автономних систем з живленням від батарей. При цьому його вартість є прийнятною і забезпечує хороше співвідношення ціни та якості.

Рисунок 2.2 Відображення інформації на розглянутих варіантах

Таким чином, вибір TFT є обґрунтованим завдяки його високій роздільній здатності, багатофункціональності, привабливості відображення, низькому енергоспоживанню та простоті інтеграції. Ці переваги роблять його найкращим варіантом у порівнянні з LCD символьними дисплеями та семисегментними індикаторами, забезпечуючи більш ефективний та естетичний користувацький інтерфейс для проєкту аналізатора умов навколишнього середовища.

2.2.6 Вибір роз’єму

Сьогодні сімейство USB [24] роз’ємів представлене великою кількістю варіантів (Рис. 2.3). Кожен з яких має свої покоління, які характеризуються різними властивостями.

Рисунок 2.3 Типи кабелів, роз’ємів USB

Для проєкту було обрано роз'єм USB Type A [23] для плати через його широке розповсюдження, універсальність і зручність використання. Порівнюючи з іншими варіантами, такими як USB Type B і microUSB, USB Type A має кілька ключових переваг. По-перше, USB Type A є найбільш поширеним стандартом для підключення периферійних пристроїв до комп'ютерів та інших електронних пристроїв, що забезпечує високу сумісність і легкість підключення. Це особливо важливо для користувачів, оскільки більшість сучасних кабелів і зарядних пристроїв мають роз'єм USB Type A.

Порівнюючи з USB Type B, який використовується переважно в старих принтерах та інших пристроях, USB Type A є більш компактним і зручним для інтеграції в портативні та компактні пристрої. USB Type B також менш поширений, що може створювати незручності для користувачів, які не мають відповідних кабелів під рукою. Крім того, USB Type A забезпечує більш надійне з'єднання і меншу ймовірність пошкодження роз'єму при частому підключенні та відключенні.

MicroUSB, хоч і більш компактний, ніж USB Type A, має свої недоліки. По-перше, microUSB роз'єми часто є менш міцними і можуть швидко зношуватися при частому використанні. По-друге, microUSB не настільки поширений в порівнянні з USB Type A в контексті повнорозмірних пристроїв, що може створювати певні незручності для користувачів, які потребують надійного та універсального з'єднання.

Таким чином, вибір роз'єму USB Type A для плати є оптимальним рішенням, оскільки він забезпечує високу сумісність, надійність і зручність використання, що робить його найкращим варіантом у порівнянні з іншими типами роз'ємів, такими як USB Type B і microUSB.

2.2.7 Загальні вимоги до решти компонентів

Загальні вимоги до решти компонентів, таких як конденсатори, резистори, діоди, мікросхеми для коректної роботи обраних датчиків, та кварцевий резонатор, включають кілька критичних аспектів, які забезпечують стабільність, точність і надійність всієї системи.

Конденсатори повинні мати низький еквівалентний послідовний опір (ESR) для забезпечення ефективної фільтрації шумів і стабілізації живлення. Зазвичай використовуються керамічні або танталові конденсатори з номінальними ємностями від 0,1 мкФ до 100 мкФ, розташовані поруч з мікросхемами і датчиками для зменшення перешкод і стабілізації напруги.

Резистори повинні мати низький температурний коефіцієнт опору, щоб забезпечити стабільність параметрів при зміні температури. Це важливо для точних вимірювань і стабільної роботи схем. Значення резисторів вибираються відповідно до специфікацій датчиків і мікросхем, зазвичай в діапазоні від декількох Ом до кількох кОм, залежно від потреб схеми.

Діоди повинні мати низьку прямокутну напругу і швидку реакцію для захисту від зворотної напруги і перенапруг. Використання швидкодіючих діодів, допомагає забезпечити швидке реагування на перехідні процеси та захист компонентів від пошкоджень.

Мікросхеми для коректної роботи датчиків, такі як стабілізатори напруги і аналого-цифрові перетворювачі (ADC), повинні мати низький рівень шумів і високу точність. Наприклад, стабілізатори напруги з низьким рівнем шуму і

точністю вихідної напруги забезпечують стабільне живлення для чутливих датчиків, що критично важливо для точних вимірювань.

Кварцевий резонатор повинен мати високу стабільність частоти і низький рівень фазового шуму для забезпечення точного тактування мікроконтролера. Це забезпечує стабільну і синхронізовану роботу всієї системи, особливо у випадках, коли потрібні точні часові вимірювання або частотна синхронізація. Значення частоти кварцевого резонатора вибирається відповідно до вимог мікроконтролера, зазвичай у діапазоні від 8 МГц до 16 МГц.

Загалом, вибір і якість цих компонентів безпосередньо впливають на стабільність, точність і надійність всього проєкту, забезпечуючи коректну роботу обраних датчиків і мікроконтролера. Використання високоякісних компонентів з відповідними характеристиками є ключовим фактором у досягненні оптимальної продуктивності системи.

2.3 Розробка та опис схеми електричної принципової

Схема електрична принципова створюється відповідно до структурної схеми.

2.3.1 Блок живлення

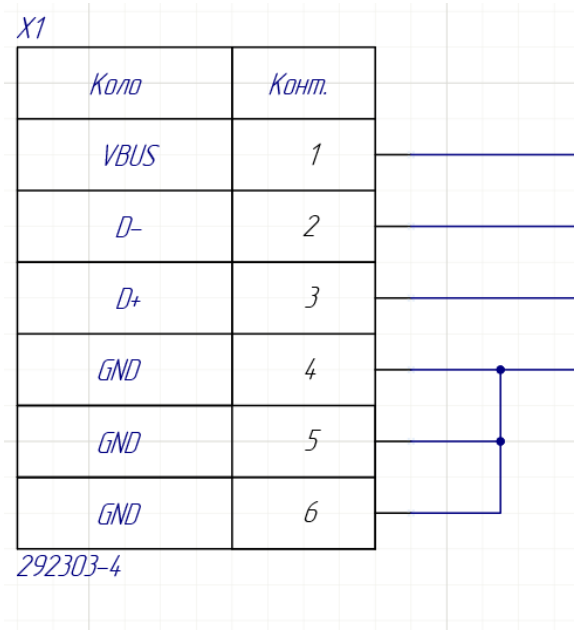

Рисунок 2.4 Вигляд на схемі ЕП блоку живлення

На рисунку 2.4 показана частина схеми електричної принципової для блоку живлення, зокрема роз'єм USB Type A. Роз'єм має шість контактів, кожен з яких виконує певну функцію:

VBUS (Контакт 1): Цей контакт підключається до джерела живлення USB, яке забезпечує напругу 5 В. VBUS постачає живлення до підключених пристроїв.

D- (Контакт 2): Це лінія передачі даних мінус. Вона використовується для передачі цифрових сигналів між USB-пристроєм і підключеним пристроєм. D+ (Контакт 3) - лінія передачі даних плюс, яка, разом із D-, використовується для передачі даних.

GND (Контакт 4, 5, 6): три контакти заземлення.

Заземлення (GND) підключене до загальної точки схеми, що забезпечує надійне і стабільне електричне з'єднання, запобігаючи можливим перешкодам і забезпечуючи безпеку електричних з'єднань.

Цей роз'єм забезпечує як живлення, так і передачу даних між пристроєм і комп'ютером або іншим хостом через стандартний USB-кабель. Він підтримує живлення пристрою від USB, а також двосторонню передачу даних, що дозволяє підключати різноманітні периферійні пристрої, такі як сенсори, контролери, флеш-накопичувачі та інше обладнання.

2.3.2 Блок керування та обробки інформації

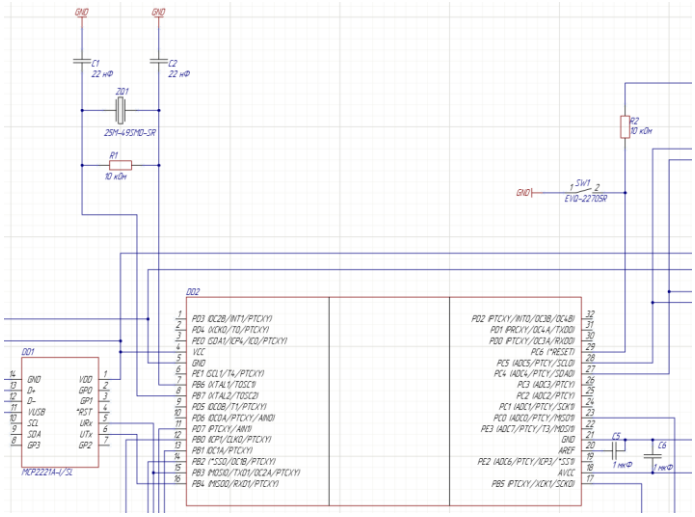

Рисунок 2.5 Вигляд на схемі ЕП блоку керування

На даній частині схеми електричної принципової (Рис. 2.5) зображений блок керування, який включає мікроконтролер, кварцевий резонатор, кнопку для скидання та додаткові компоненти, необхідні для забезпечення стабільної роботи системи. Центральним елементом схеми є мікроконтролер, який підключений до кварцевого резонатора для забезпечення стабільної тактової частоти. Резонатор, номіналом 8 МГц, забезпечує точне і стабільне генерування тактових імпульсів, що необхідно для коректної роботи мікроконтролера.

До резонатора підключені два конденсатори по 22 пФ, які слугують для стабілізації та зменшення шумів у генерації тактових імпульсів. Вони підключені між виводами резонатора і загальною точкою схеми (GND), що забезпечує належну фільтрацію і стабільність сигналу.

Кнопка для скидання (RESET), позначена як SW1, підключена між виводом RESET мікроконтролера та загальною точкою (GND). У нормальному режимі роботи вивід RESET підтягується до живлення через резистор номіналом 10 кОм (R2), забезпечуючи високий логічний рівень. При натисканні кнопки, вивід RESET з'єднується з GND, генеруючи низький логічний рівень і викликаючи перезавантаження мікроконтролера.

Мікросхема MCP2224, що позначена як DD1, відповідає за інтерфейс USB, забезпечуючи зв'язок між комп'ютером і мікроконтролером. Лінії даних (SCL, SDA, URx, UTx) забезпечують обмін даними між мікросхемою і мікроконтролером.

Таким чином, дана схема забезпечує стабільну роботу мікроконтролера, точне генерування тактових імпульсів, можливість ручного скидання системи та надійний обмін даними через USB-інтерфейс.

2.3.3 Блок вимірювання температури, вологості, тиску

Блок вимірювання температури, вологості та тиску побудований на основі сенсора BME280, який підключений до відповідних ліній живлення і даних. Конденсатори C11 і C14, кожен з яких має ємність 10 мкФ, забезпечують фільтрацію живлення, що запобігає впливу шумів на роботу сенсора. Резистори R8, R9, R10, і R14, кожен номіналом 10 кОм, використовуються як підтягуючі резистори для ліній даних і керування. Лінії SDI, SCK, і CSB підключені до мікроконтролера через ці резистори, забезпечуючи стабільну комунікацію між

сенсором і мікроконтролером. Лінії VDD і VDDIO сенсора підключені до джерела живлення через конденсатори для стабілізації напруги.

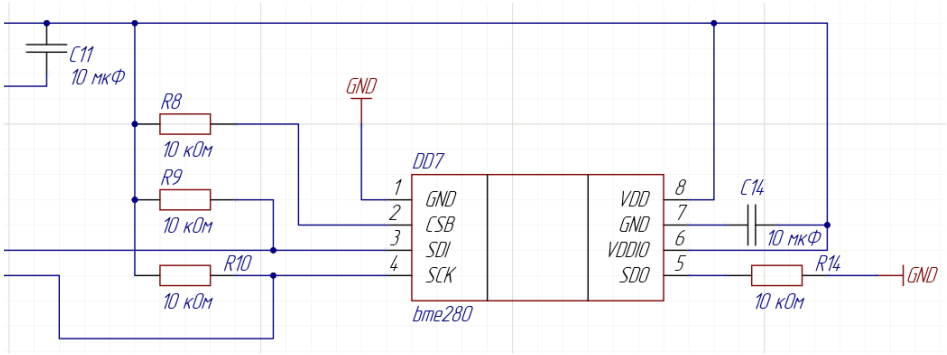

Рисунок 2.6 Вигляд на схемі ЕП блоку вимірювання температури, вологості, тиску

Завдяки такій конфігурації, блок вимірювання температури, вологості та тиску забезпечує точні і стабільні показники, необхідні для аналізатора умов навколишнього середовища.

2.3.4 Блок вимірювання рівня освітленості

Блок вимірювання освітлення побудований на основі сенсора BH1750FVI, який з'єднаний з джерелом живлення через стабілізатор напруги LM6206M5. Конденсатори C10, C12, C13, і C16 забезпечують фільтрацію живлення для зменшення впливу шумів і стабілізації напруги на виході стабілізатора. Резистори R12, R13, R16, і R18 з номіналом 1 кОм та 4.7 кОм використовуються для підтягування ліній даних і забезпечення коректної роботи інтерфейсу I2C, що з'єднує сенсор з мікроконтролером. Лінії SDA і SCL сенсора BH1750FVI підключені до відповідних ліній мікроконтролера, дозволяючи передавати дані про рівень освітлення. Резистор R13 забезпечує підтягування лінії VCC сенсора до живлення, а резистор R12 відповідає за підтягування адресної лінії ADDR, що дозволяє налаштувати адресацію сенсора в системі.

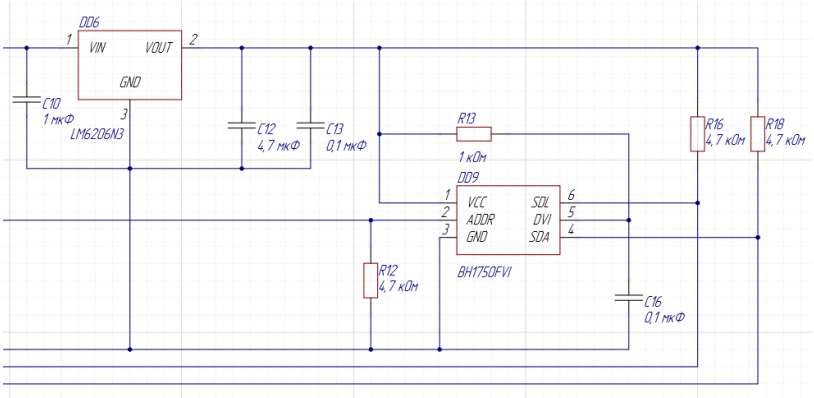

Рисунок 2.7 Вигляд на схемі ЕП блоку вимірювання рівня освітленості

Завдяки такій конфігурації, блок вимірювання освітлення здатен надавати точні дані про інтенсивність освітлення, необхідні для аналізатора умов навколишнього середовища.

2.3.5 Блок вимірювання якості повітря

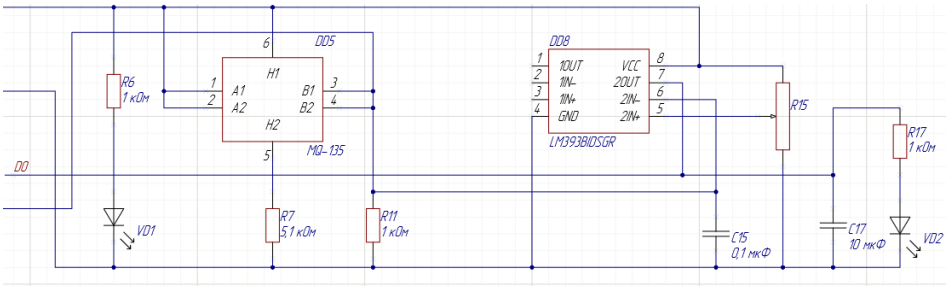

Рисунок 2.8 Вигляд на схемі ЕП блоку вимірювання якості повітря

Блок вимірювання якості повітря складається з сенсора MQ-135, підключеного до схеми через підтягувальні резистори R6, R7, і R9, кожен номіналом 5.1 кОм, які забезпечують стабільність вихідних сигналів. Світлодіод VD1 використовується для індикації живлення сенсора. Вихідний сигнал з сенсора проходить через фільтр, що складається з конденсаторів C5 і C17, забезпечуючи згладжування сигналу для усунення шумів. Цей сигнал далі подається на вхід операційного підсилювача LM358, який підсилює сигнал до необхідного рівня для

подальшої обробки. Підтягувальні резистори R15 і R17, номіналом 10 кОм, стабілізують роботу операційного підсилювача. Другий світлодіод VD2 використовується для індикації стану вихідного сигналу.

2.3.6 Блок індикації

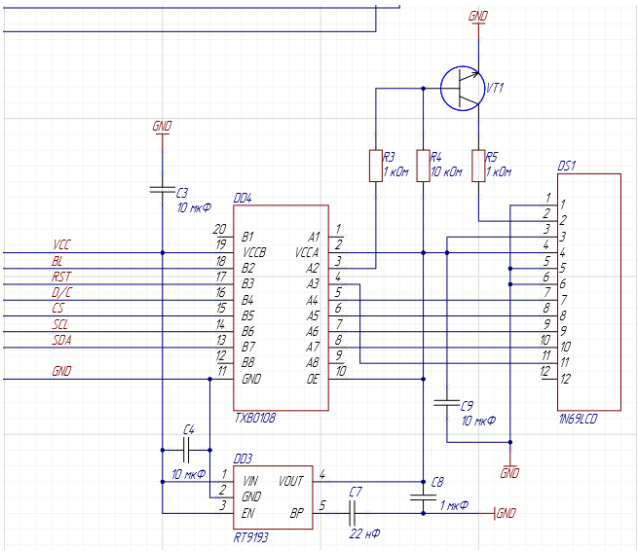

Рисунок 2.9 Вигляд на схемі ЕП блоку індикації

Дана схема електричної принципової для блоку індикації складається з декількох основних компонентів, таких як ЖК-дисплей, мікроконтролер та транзистор. Мікросхема RT9193 виконує роль стабілізатора напруги, забезпечуючи стабільну напругу живлення для інших компонентів. ЖК-дисплей підключений до мікроконтролера через паралельний інтерфейс, де сигнальні лінії A0-A7 використовуються для передачі даних. Для керування підсвічуванням ЖК-дисплея використовується транзистор VT1, який керується через резистор R4. Конденсатори C3, C4, C5, C6, C7 і C9 забезпечують фільтрацію напруги живлення, зменшуючи пульсації та електромагнітні перешкоди. Резистори R1, R2 і R3 обмежують струм через відповідні сигнальні лінії. Виводи SDA і SCL забезпечують зв'язок мікроконтролера з іншими пристроями через інтерфейс I2C. Виводи D/C, CS, RD і WR використовуються для керування роботою ЖК-дисплея.

Висновок до розділу 2

У другому розділі роботи було розроблено структурну схему та принципову електричну схему пристрою для аналізу умов навколишнього середовища, а також обрано оптимальні компоненти для його реалізації. Вибір мікроконтролера Atmega328P був обґрунтований його достатньою продуктивністю, енергоефективністю та доступністю. Серед датчиків вимірювання температури (±1°C), вологості (±3%) та тиску (±1 hPa) було обрано BME280 , а для вимірювання освітленості (1 - 65535 lx) - BH1750FVI, завдяки їх високій точності, низькому енергоспоживанню та простоті інтеграції. Для вимірювання якості повітря було обрано датчик MQ-135, який забезпечує широкий діапазон вимірювань (10 - 1000 ppm) та високу стабільність. Вибір TFT дисплея як блоку індикації дозволяє відображати детальну графічну інформацію, покращуючи користувацький інтерфейс. Для живлення та зв'язку пристрою було обрано роз'єм USB Type A через його універсальність та надійність. Загальні вимоги до решти компонентів, включаючи конденсатори, резистори, діоди та кварцовий резонатор, були спрямовані на забезпечення стабільної та точної роботи всієї системи. Таким чином, обрані компоненти та розроблені схеми забезпечують відповідність технічним вимогам проєкту та забезпечують ефективність, надійність і простоту у використанні пристрою.

Оскільки схема електрична принципова створена, це дає можливість переходити до розрахунку і проєктування друкованої плати та створення технічної документації.

РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

3.1 Вибір і обґрунтування типу друкованої плати

Друкована плата (ДП) [5] призначена для електричного з'єднання і являє собою ізоляційну основу на лицьовій стороні якого розміщені конструктивні елементи, а на зворотному боці розміщені елементи друкованого монтажу: друковані провідники, контактні площадки, металізовані монтажні отвори. Їх застосування підвищує надійність апаратури, забезпечує повторюваність електричних параметрів, створює передумови для автоматизації виробництва (висока продуктивність і низька собівартість), зменшує габарити і масу.

Друковані плати за конструкцією поділяються на такі класи: односторонні (одношарові) - ОДП, двосторонні (двошарові) - ДДП і багатошарові - БДП.

ОДП можуть проводити малюнок на одній стороні діелектричної основи.

Вони прості за конструкцією і у виготовленні. Монтажні і трасувальні можливості цих плат низькі. Надійність ОДП і механічна міцність кріплення елементів також невисока.

ДДП можуть проводити малюнок на двох сторонах основи. Вони володіють високою щільністю монтажу, підвищеною надійністю з'єднань. Дозволяють полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів. ДДП мають високу механічну міцність їх кріплення. Ці ДП допускають монтаж штирьових елементів з одного боку, а SMD - компонентів з двох сторін. Це дозволяє реалізувати на них більш складні схеми, ніж на ОДП. Тому ДДП широко застосовуються в електронній апаратурі.

БДП складаються з чергованих тонких шарів діелектрика і провідних малюнків. У процесі виробництва всі шари фізично з'єднуються в одне ціле - багатошарова основа. Залежно від технології виготовлення (пресування) БДП, електричне з’єднання багатошарової структури може бути здійснено або наскрізними перехідними отворами, або із застосуванням міжшарових переходів.

Міжшарові переходи з зовнішніх шарів на внутрішні називаються глухими, а між внутрішніми шарами - прихованими.

Згідно ТЗ та схеми електричної принципової вибираємо ДДП для нашого пристрою. Такий вибір зроблений виходячи з аналізу типів ДП. У зв'язку з кількістю зв'язків між елементами і потребою в зменшенні габаритів ДВ використання ОДП не оптимальне. Також виходячи з тривалості технологічного циклу і підвищеної вартості виробництва не використовуємо БДП.

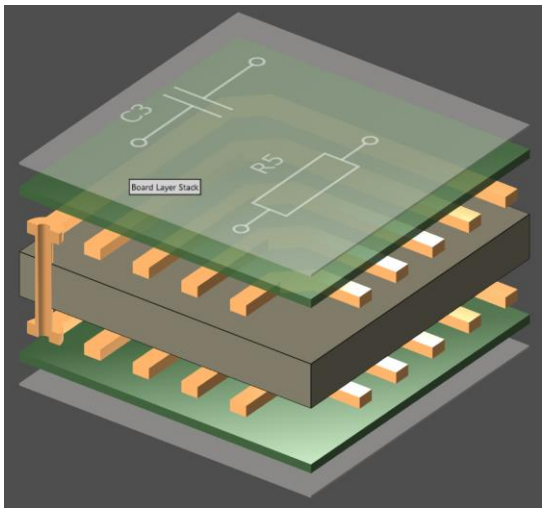

Рисунок 3.1 Двостороння друкована плата

Таким чином, вибір двосторонньої друкованої плати обґрунтований її здатністю забезпечити високу щільність монтажу, покращену електромагнітну

сумісність, гнучкість у дизайні, механічну міцність і економічну ефективність, що робить її ідеальним вибором для складних і компактних електронних пристроїв.

3.2 Вибір і обґрунтування матеріалу друкованої плати

Для вибору матеріалу друкованої плати були розглянуті різні варіанти з урахуванням ключових характеристик, таких як теплопровідність, електрична ізоляція, механічна міцність, стабільність розмірів і вартість. Розглянуті варіанти [5] включають FR-1, FR-2, FR-3, FR-4, FR-5, CEM-1, CEM-3.Нижче наведена таблиця з порівнянням цих матеріалів за основними характеристиками:

Таблиця 3.1 - Характеристики матеріалів для виготовлення друкованої плати

Категорія	**FR-1**	**FR-2**	**FR-3**	**FR-4**	**FR-5**	**CEM-1**	**CEM-3**
Теплопровідність	Низька	Низька	Середня	Висока	Дуже висока	Низька	Середня
Електрична ізоляція	Середня	Середня	Висока	Висока	Висока	Висока	Висока
Механічна міцність	Низька	Середня	Середня	Висока	Дуже висока	Середня	Середня
Стабільність розмірів	Низька	Середня	Середня	Висока	Дуже висока	Середня	Середня
Вартість	Дуже низька	Низька	Середня	Середня	Висока	Низька	Середня
Застосування	Простe обладнання	Бюджетні проєкти	Універсальні проєкти	Універсальне, найпоширеніший	Високотехнологічні пристрої	Простe електронне обладнання	Бюджетні та універсальні проєкти

Вибір матеріалу FR-4 був обґрунтований його здатністю забезпечити оптимальний баланс між теплопровідністю, електричною ізоляцією, механічною міцністю, стабільністю розмірів і вартістю. FR-1 та FR-2 мають низьку теплопровідність та механічну міцність, що робить їх менш придатними для

складних електронних проєктів, де важливі стабільність і надійність. FR-3 покращує ці показники, але все ще поступається FR-4 за теплопровідністю та стабільністю розмірів. FR-5, хоча й забезпечує дуже високу теплопровідність і міцність, має значно вищу вартість, що може бути недоцільним для більшості проєктів. Матеріали CEM-1 і CEM-3 є економічними альтернативами, але вони поступаються FR-4 за механічною міцністю та стабільністю розмірів.

Таким чином, матеріал FR-4 був обраний як оптимальний варіант для друкованих плат завдяки його здатності забезпечити високу механічну міцність, стабільність розмірів, відмінну електричну ізоляцію та достатню теплопровідність при помірній вартості. Це робить FR-4 універсальним і найпоширенішим матеріалом для створення високоякісних і надійних друкованих плат.

3.3 Метод виготовлення друкованої плати

На сьогоднішній день існує велика кількість принципів виготовлення друкованих плат [5] : хімічний субтрактивний метод, комбінований метод, метод попарного пресування друкованих плат, метод пошарового нарощування, метод металізації наскрізних отворів.

Для проєкту аналізатора умов навколишнього середовища був обраний комбінований позитивний метод виготовлення друкованої плати. Цей метод поєднує в собі елементи фотолітографії та субтрактивної технології, що дозволяє досягти високої точності та надійності друкованих плат. Переваги комбінованого позитивного методу включають високу роздільну здатність і точність, що особливо важливо для створення електричних схем з дрібними деталями. Крім того, цей метод забезпечує кращу стабільність розмірів та електричну ізоляцію, що є критично важливим для аналізатора умов навколишнього середовища, де необхідна висока надійність і довговічність. Вартість комбінованого позитивного

методу дещо вища порівняно з традиційним субтрактивним методом, але це компенсується значно кращою якістю кінцевого продукту. Також цей метод дозволяє ефективно працювати з двошаровими платами, що розширює можливості дизайну і функціональності аналізатора.

3.4 Вибір класу точності

Вибір класу точності друкованої плати є критичним етапом у розробці електронного пристрою, оскільки він визначає точність виготовлення та характеристики кінцевого продукту.

Таблиця 3.2 – Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{пр}^{г}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$l^{г}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.3 – Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	$\delta_{о}$	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{КМ}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

Проаналізувавши таблиці 3.2, 3.3, а також особливості розроблюємого пристрою обираємо 4 клас точності. Обрання четвертого класу точності для друкованої плати зумовлене кількома ключовими факторами. По-перше, клас точності впливає на мінімальні розміри провідників та відстаней між ними, що є важливим для досягнення компактності і складності схеми. Четвертий клас дозволяє досягти оптимального балансу між мініатюризацією та технологічними можливостями виробництва. По-друге, вибір цього класу забезпечує високу надійність та стабільність роботи пристрою, що особливо важливо для точного вимірювання параметрів навколишнього середовища. Крім того, четвертий клас точності є оптимальним з точки зору вартості виробництва, оскільки вищі класи значно підвищують вартість виготовлення плат, а нижчі не забезпечують необхідної якості та надійності. Таким чином, вибір четвертого класу точності друкованої плати дозволяє досягти необхідної якості, надійності та ефективності роботи пристрою при збереженні прийнятної вартості виробництва.

3.5 Проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer

Проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer [5] є складним і багатоетапним процесом, який включає кілька ключових кроків, від створення схеми до підготовки файлів для виробництва. Altium Designer є потужним інструментом, який забезпечує комплексні можливості для розробки друкованих плат, включаючи інтегровані бібліотеки компонентів, трасування та перевірку проєктів.

Першим кроком є створення схеми електричної принципової схеми (Schematic Capture). Це основа будь-якого проєкту, де визначаються всі електричні з'єднання між компонентами. У Altium Designer це робиться шляхом додавання компонентів з бібліотеки та з'єднання їх між собою провідниками. Важливо

ретельно перевірити правильність з'єднань на цьому етапі, щоб уникнути помилок у подальшому.

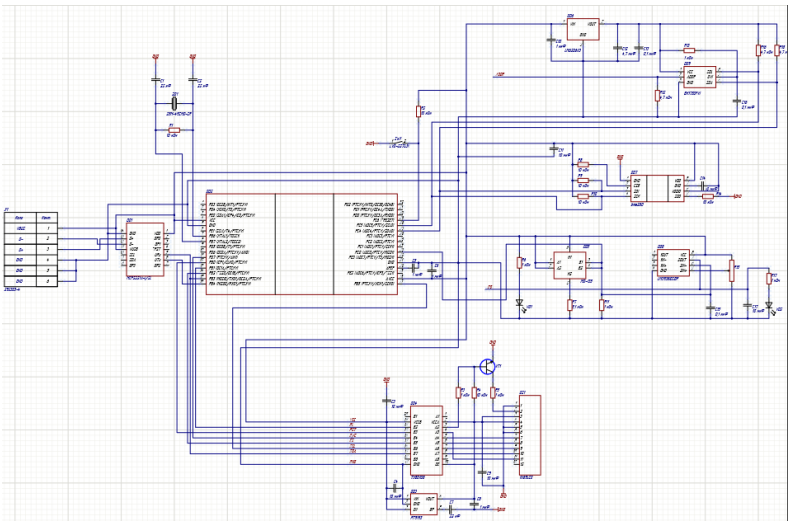

Рисунок 3.2 Схема електрична принципова анлізатора умов навколишнього середовища

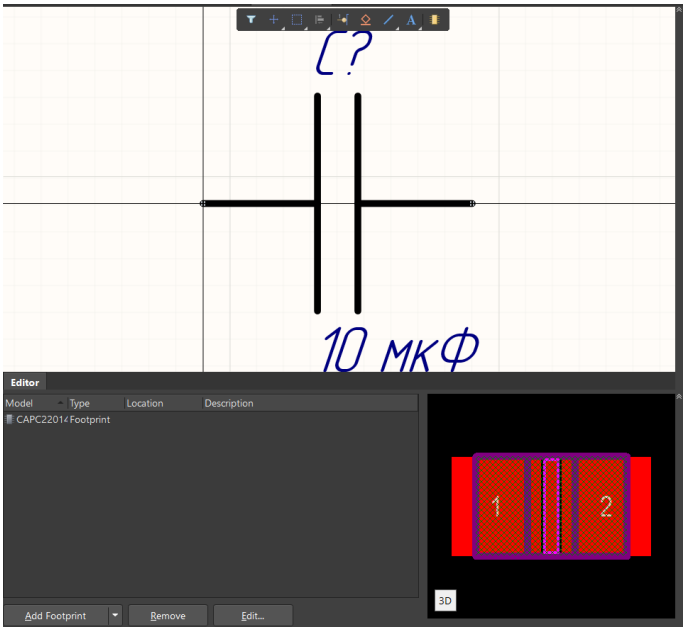

Рисунок 3.3 Приклад умовно-графічного позначення з прив’язаним посадковим місцем

Після завершення схеми наступним кроком є створення нового документа для друкованої плати (PCB Layout). На цьому етапі відбувається імпорт схеми, і компоненти розміщуються на платі. Розміщення компонентів є критично важливим, оскільки від нього залежить ефективність трасування провідників та зручність виготовлення плати.

Трасування провідників (Routing) – це наступний етап, який включає з'єднання всіх компонентів відповідно до схеми. Altium Designer надає різні інструменти для ручного та автоматичного трасування, що допомагає оптимізувати трасування для забезпечення мінімальних перехресть і належних відстаней між провідниками. Важливо дотримуватися правил проєктування (Design Rules), щоб забезпечити електричну та механічну надійність плати.

Після завершення трасування необхідно виконати перевірку проєкту (Design Rule Check, DRC), яка допомагає виявити можливі помилки, такі як короткі замикання, надто малі відстані між провідниками або нез'єднані контакти. Altium Designer має вбудовані інструменти для автоматизованої перевірки, що значно полегшує цей процес.

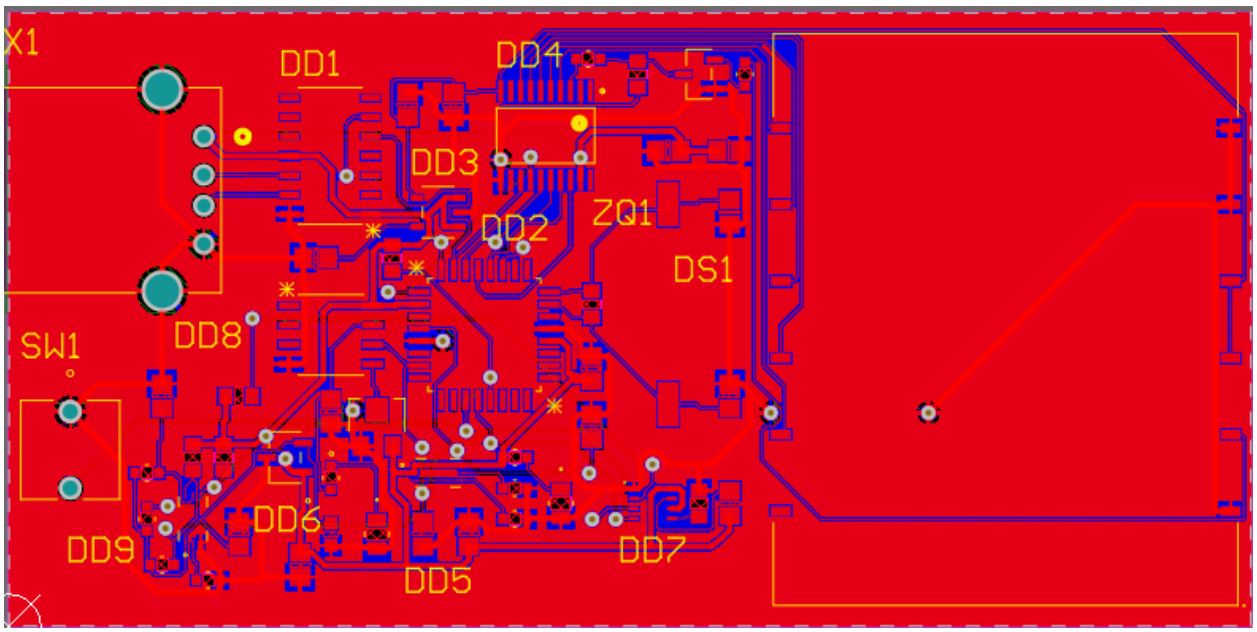

Рисунок 3.4 Вигляд друкованої плати 2D

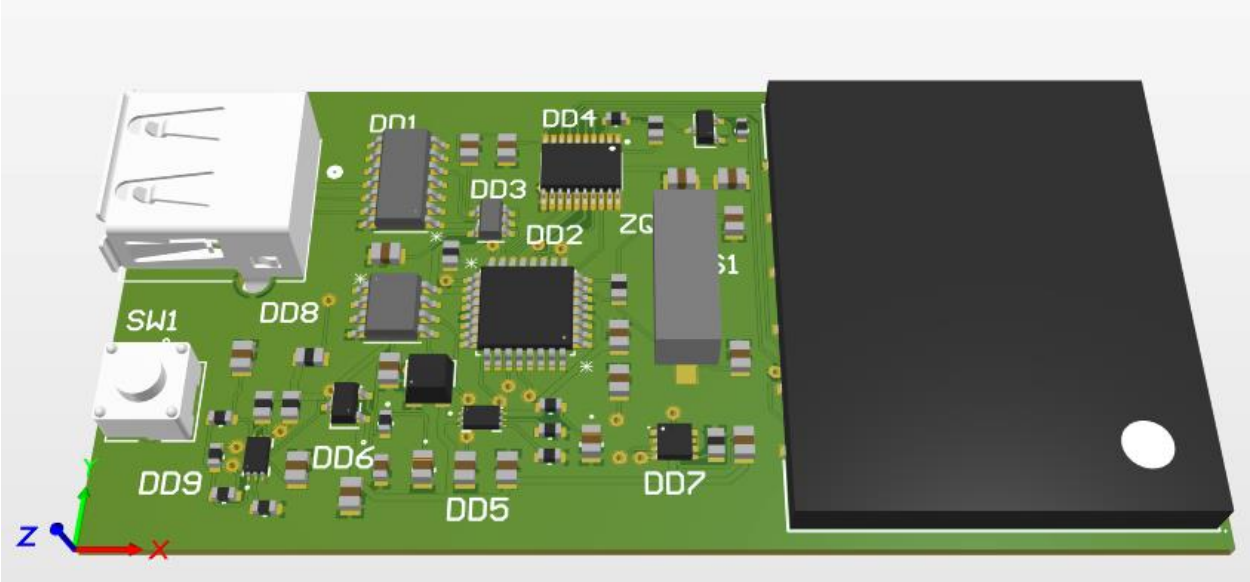

Рисунок 3.5 Вигляд друкованої плати 3D

Таким чином, процес проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer є інтуїтивно зрозумілим, але вимагає уважності та ретельності на кожному етапі, щоб забезпечити високу якість кінцевого продукту.

Висновок до розділу 3

У висновку до розділу 3 можна підсумувати, що для забезпечення високої надійності та продуктивності електронного пристрою вибір двосторонньої друкованої плати є обґрунтованим завдяки здатності забезпечити високу щільність монтажу, покращену електромагнітну сумісність та механічну міцність. Матеріал FR-4 обраний за його оптимальні характеристики, такі як теплопровідність, електрична ізоляція і стабільність розмірів при помірній вартості. Комбінований позитивний метод виготовлення друкованої плати забезпечує високу точність і надійність, що є критичним для аналізатора умов навколишнього середовища. Вибір четвертого класу точності визначено балансом між мініатюризацією і технологічними можливостями виробництва, забезпечуючи надійність і стабільність роботи пристрою. Проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer, з усіма його етапами від створення схеми до перевірки і підготовки файлів для виробництва, дозволяє досягти високої якості кінцевого продукту за умови ретельного виконання кожного кроку. Виконані електричні розрахунки підтвердили правильність вибору компонентів та їх розміщення на платі. Зокрема, мінімальна ширина провідників для кіл живлення становила 1.5 мм, а для кіл сигналу – 0.5 мм. Було також враховано падіння напруги, яке на найдовшому провіднику не перевищувало 0.05 В.

РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати.

4.1.1 Розрахунок мінімальної ширини провідника на постійному струмі для кіл живлення та землі

Мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі bmin I (мм) для кіл живлення та «землі» визначається виразом:

$$b_{min\ I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} * t_{пров}}, \quad (4.1)$$

де Imax – максимально можливий струм у колі, А;

$j_{доп}$ – допустима щільність струму для ДП, яку виготовлено комбінованим позитивним методом, $j_{доп} = 48 \frac{А}{мм^2}$;

$t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (4.1), мм. Друкований провідник виготовляється комбінованим позитивним методом.

Згідно методу виготовлення:

$$t\text{пров}=h\text{ф} + h\text{гм} + h\text{хм}, \qquad (4.2)$$

де $h_ф$ – товщина фольги, $h_ф$=0,035 мм;

$h_{гм}$ – товщина шара гальванічно осадженої міді;

$h_{гм}$ = 0,055 мм;

$h_{хм}$ – товщина шара хімічно осадженої міді;

$h_{хм}$ = 0,0065 мм;

$t_{пров}$=0,035+0,055+0,0065=0,0965 мм.

Параметр I_{max} у виразі визначається як сума струмів, які споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Струми, які споживають елементи схеми

IC	Кількість IC	$I_{спож}$, мА
Atmega328	1	40
MCP2221A-I/SL	1	15
MQ-135	1	50
LM6206N3	1	10
BME280	1	5
BH1750FVI	1	7
1N69LCD	1	90

В результаті:

I_{max} =40+15+50+10+5+7+90+3 = 220 мА

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для кіл живлення і «землі» визначається наступним чином:

$$b_{min\ I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} * t_{пров}} = \frac{0,22}{48*0,0965} = 0,047 \text{ мм}$$

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{min\ I}$ = 0,047 мм.

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{min\ I}$ = 0,047 мм менше значення обраного 4 класу точності ($b_{пр}$ = 0,15 мм). Таким чином, ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення і «землі» дорівнює розрахованим значенням.

4.1.2 Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається наступним виразом :

$$\boldsymbol{b_{min}} \ \frac{\boldsymbol{p} * \boldsymbol{I_{max}} * \boldsymbol{L}_{\text{пров}}}{\boldsymbol{U}_{\text{доп}} * \boldsymbol{T}_{\text{пров}}}, \qquad (4.3)$$

де **p** – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, ρ = 0,0175 $\frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$\boldsymbol{L}_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника на ДП, $\boldsymbol{L}_{\text{пров}}$=0,334 м;

$\boldsymbol{U}_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, $\boldsymbol{U}_{\text{доп}}$ =0,05×$E_п$, $\boldsymbol{U}_{\text{доп}}$ = 0,25 В.

$$\boldsymbol{b_{min}} \ \frac{\boldsymbol{p} * \boldsymbol{I_{max}} * \boldsymbol{L}_{\text{пров}}}{\boldsymbol{U}_{\text{доп}} * \boldsymbol{T}_{\text{пров}}} = \frac{0{,}0175 \cdot 0{,}22 \cdot 0{,}334}{0{,}0965 \cdot 0{,}25} = 0.05 \text{ мм}$$

4.1.3 Визначення номінального діаметра монтажного отвору

$$\mathbf{d} \geq \mathbf{d}_{\text{ве}} + \Delta\mathbf{d}_{\text{мо}} + \mathbf{r}, \qquad (4.4)$$

де $\mathbf{d}_{\text{ве}}$ – діаметр вивода елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору (МО);

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра МО, Δdмо=0,1 мм;

r – різниця між мінімальним діаметром МО і максимальним діаметром виводу елемента, r=0,1…0,2 мм.

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

4.1.4 Визначення діаметра контактного майданчика (КМ)

$$D_{max} = D_{minI} + 1{,}5 * h_ф + 0{,}03, \qquad (4.5)$$

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

$h_ф$ – товщина фольги, $h_ф$ = 0,035 мм. Коефіцієнт 1,5 $h_ф$ враховує підрівнювання фольги друкованого провідника в ширину.

0,03 – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{minI} = 2\ (b_{ПО} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_0 + \delta_{KM}), \qquad (4.6)$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвора в ДП, мм;

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

δ_0 – похибка розташування центру отвора щодо вузла КС, δ_0=0,07 мм (табл.3.3);

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

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0{,}1 \dots 0{,}15), \qquad (4.7)$$

де d – номінальний діаметр МО, мм;

Δd – допуск на діаметр отвору, Δd=0,05 мм;

d_{max}= d+Δd+(0,1…0,15)=0,8+0,05+0,1=0,95 мм.

$D_{minI} = 2\ (b_{ПО} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_0 + \delta_{KM})$ = 2 $(0{,}05 + \frac{0{,}95}{2} + 0{,}07 + 0{,}05)$ = 1,29 мм

$D_{max} = D_{minI} + 1{,}5 * h_ф + 0{,}03$ = 1,29 + 1,5 * 0,035 + 0,03 = 1,37 мм

Максимальний діаметр КМ:

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

$$D_{max} = 1{,}37 + 0{,}02 = 1{,}39 \text{ мм}$$

4.1.5 Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{min} = b^г_{пр} + 1{,}5 * h_ф + 0{,}03 \qquad (4.8)$$

де $b^г_{пр}$ – мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл.3.2). Для 4-го класу точності ДМ $b^г_{пр}$ 0,15мм;

b_{min}= $b^г_{пр}$ + 1,5·$h_ф$ + 0,03 = 0,15 + 1,5 · 0,035 + 0,03 = 0,23 мм

Звідси визначимо максимальну ширину :

$$b_{max} = b_{min} + 0{,}02 \qquad (4.9)$$

bmax=0,23+0,02=0,25 мм

4.1.6 Визначення мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком

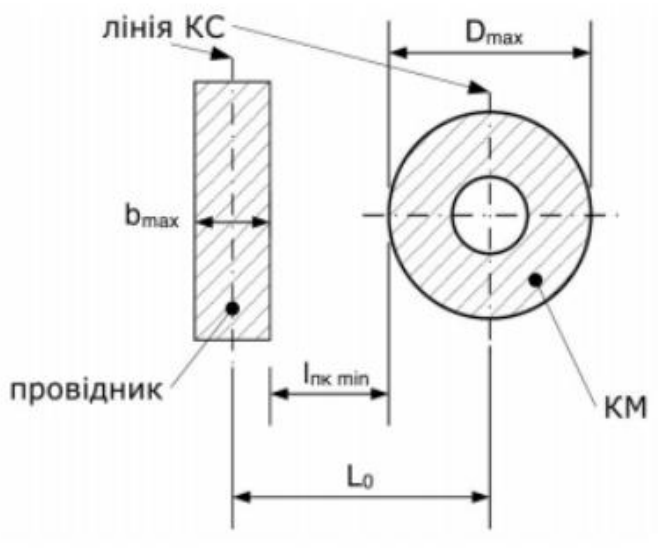

Рисунок 4.1 Відстань між провідником і контактним майданчиком

Шукана відстань знаходиться за формулою:

$$l_{ПКМmin} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп}\right), \qquad (4.10)$$

де L_0– відстань між центрами отворів і друкованим провідником, які кратні кроку КС, L_0=1,25 мм;

D_{max} – максимальний діаметр КП;

b_{max} – максимальна ширина провідника;

$\delta_{км}$ – похибка розташування центру КП щодо вузла КС;

$\delta_{км}$=0,05 (табл.3.2);

$\delta_{сп}$ – похибка, яка враховує зміщення провідника;

$\delta_{сп}$ = 0,05 мм;

$$l_{ПКМ\,min} = L_0 - (\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп}) = 1{,}25 - \left(\frac{1{,}5}{2} + 0{,}05 + \frac{0{,}25}{2} + 0{,}05\right) = 0{,}275\ mm$$

4.1.7 Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками

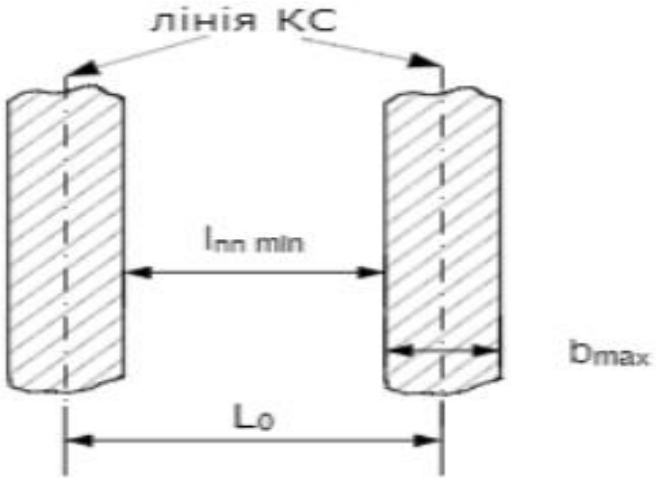

Рисунок 4.2 Відстань між сусідніми провідниками

$$l_{ппmin} = l_0 - (b_{max} + 2 * \delta_{сп}), \qquad (4.11)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, L0 = 1.25 мм;

b_{max} = 0.25 (на платі);

δсп – похибка, що враховує зміщення провідника, δсп = 0,05 мм, визначається з таблиці 3.3.

$$l_{ппmin} = l_0 - (b_{max} + 2 * \delta_{сп}) = 2{,}5 - (1{,}5 + 2 * 0{,}05) = 0{,}9 \text{ мм.}$$

Отримане значення задовольняє значенням 4-го класу точності.

4.1.8 Визначення мінімальної відстані між контактними майданчиками

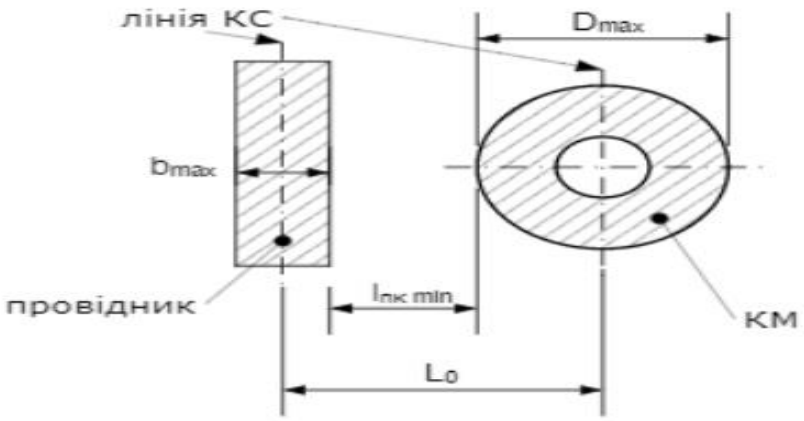

Рисунок 4.3. Відстань між провідником та КМ

$$\boldsymbol{l}_{\text{ПКМ}\,\boldsymbol{min}} = \boldsymbol{L_0} - \left(\frac{\boldsymbol{D_{max}}}{\mathbf{2}} + \boldsymbol{\delta}_{\text{км}} + \frac{\mathbf{b}_{\boldsymbol{max}}}{\mathbf{2}} + \boldsymbol{\delta}_{\text{сп}}\right), \qquad (4.12)$$

де L_0– відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, L_0=1,25 мм (найгірший випадок);

D_{max} – максимальний діаметр КП;

b_{max} – максимальна ширина провідника;

$\delta_{км}$ – похибка розташування центра КП відносно вузла КС, $\delta_{км}$=0,05 (табл.3.2);

$\delta_{сп}$ – похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{сп}$= 0,05 мм.

$$l_{ПКМ\,min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп}\right) = 1{,}25 - \left(\frac{1{,}29}{2} + 0{,}05 + \frac{0{,}25}{2} + 0{,}05\right) = 0{,}38 \text{ мм}$$

4.2 Електричний розрахунок друкованої плати

4.2.1 Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{пад} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l_{пр}}{b_{пр} \cdot t_{пр}}, \qquad (4.13)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0{,}0175\ \frac{Ом \cdot мм^2}{м}$;

$l_{пр}$ – максимальна довжина друкованого провідника, $l_{пр}$=0,334 м;

$t_{пр}$ – товщина провідника, $t_{пр}$ = 0.5мм;

I_{max} – максимальний струм у провіднику, I_{max} = 220 мА;

$$U_{пад} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l_{пр}}{b_{пр} \cdot t_{пр}} = \frac{0{,}0175 \cdot 220 \cdot 0{,}334}{0{,}5 \cdot 0{,}035} = 0{,}07 \text{ В}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% (0,25 В) від напруги живлення ($U_ж$ = 5 В).

4.2.2 Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати

Потужність втрат визначається:

$$P_{пот} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot tg\sigma, \qquad (4.14)$$

де f = 1, тому що розрахунок виконується на постійному струмі;

tgσ – тангенс кута діелектричних втрат для матеріала ДП, tgσ =0,002 для матеріалу FR4;

C – ємність ДП.

$$C = \frac{0{,}009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \qquad (4.15)$$

де ε – діелектрична проникність, ε =FR4= 4,5;

S_m – площа металізації, S_m =3240 мм^2;

h – товщина ДП, мм;

$$C = \frac{0{,}009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0{,}009 \cdot 4 \cdot 3240}{1{,}5} = 77 \text{ нФ}$$

$$P_{пот} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot tg\sigma = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 1 \cdot 77 \cdot 10^{-9} \cdot 25 \cdot 0{,}002 = 24 \text{ нВт}$$

4.2.3 Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

$$C = 0{,}12 \cdot \varepsilon \cdot l_{пр} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b^{r}_{пр} + t_{пр}}\right]^{-1}, \qquad (4.16)$$

де S – відстань між двома паралельними провідниками, мм;

$b^{r}_{пр}$– ширина друкованого провідника, мм;

$t_{пр}$ – товщина друкованого провідника, мм;

$l_{пр}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм.

$$C = 0{,}12 \cdot \varepsilon \cdot l_{пр} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{пр} + t_{пр}}\right]^{-1} = 0{,}12 \cdot 4{,}5 \cdot 27 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 1{,}2}{0{,}35 + 0{,}095}\right]^{-1} = 19 \text{ пФ}$$

4.2.4 Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

$$M = 0{,}02\left(l_{пр} \lg \frac{\sqrt{l_{пр}^2 - L_0^2} + l_{пр}}{L_0} - \sqrt{l_{пр}^2 - L_0^2} + l_{пр}\right), \qquad (4.17)$$

де $l_{пр}$ – довжина перекриття паралельних провідників, $l_{пр}$= 2 см;

L_o–відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників, L_o=0,125 см;

$$M = 0{,}02\left(l_{пр} \lg \frac{\sqrt{l_{пр}^2 - L_0^2} + l_{пр}}{L_0} - \sqrt{l_{пр}^2 - L_0^2} + l_{пр}\right) =$$

$$= 0{,}02\left(2 \cdot \lg\frac{\sqrt{4-0{,}0156}+2}{0{,}125} - \sqrt{4-0{,}0156}+2\right) = 0{,}06 \text{ нГн}$$

4.3 Розрахунок надійності друкованого вузла

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 елементу f(t) та інтенсивність відмов λ(t), то маючи ці залежності можна визначити імовірність відмови, середній час безвідмовної роботи.

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 λ0–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 КН, для врахування температурного режиму будемо використовувати поправочний коефіцієнт температурного режиму αt, для врахування зовнішніх впливів - αe. Останні два також є довідниковими значеннями, тому значення для αt і αe 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.

$$К_н = \frac{Н_{роб}}{Н_{ном}}, \qquad (4.18)$$

Резистори. Для резисторів Кн 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 розрахунку, оскільки створюватиме певний запас по надійності.

$$К_{н.р} = \frac{Р_{роб}}{Р_{ном}} = \frac{\boldsymbol{U}^{\mathbf{2}}_{роб}}{\boldsymbol{R}\cdot Р_{ном}}, \qquad (4.19)$$

Розраховуємо коефіцієнти навантаження:

$$К_{н.р} = \frac{Р_{роб}}{Р_{ном}} = \frac{U^2_{роб}}{R\cdot Р_{ном}} = \frac{5^2}{1000*0,1} = 0,25,$$

де $U^2_{роб}$ – напруга живлення;

$Р_{ном}$ – потужність;

R_{min} - найменший з опорів для резисторів.

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

$$К_{н.р} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{80}{150} = 0{,}5$$

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 Кн через струми:

$$К_{н.р} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{50}{500} = 0{,}1$$

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

$$К_{н.с} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{5}{50} = 0{,}1$$

де $U_{роб} -$ напруга живлення (максимальна можлива на елементі);

$U_{ном} -$ номінальна напруга пробою конденсатора.

Кварцовий резонатор: вибираємо Кн 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 Кн=1. Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивніст відмов металізованих отворів.

`

Мікросхеми: вибираємо Кн 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 виконання приладу УХЛ1.1, диктує максимальну температуру роботи в +40 ºС. Даний друкований вузол відноситься до наземної рухомої електрорадіоапаратури, тому вибираємо е= 15.

У Таблиці 4.3:

α_{e} – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури α_{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 відмов компонентів [4]

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{pi,} \qquad (4.20)$$

Таблиця 4.3 – Інтенсивність відмов всіх компонентів

Компонент	**N**	**$\lambda_{0e}\cdot 10^{-8}$, год$^{-1}$**	**$K_н$**	**a_t**	**a_e**	**$N\cdot\lambda_{0e}\cdot K_н\cdot a_t\cdot a_e\cdot 10^{-6}$**
Конденсатори	17	0,022	0,1	0,6	15	0,336
Транзистор	1	0,044	0,1	0,9	15	0,059
Резистори	18	0,044	0,25	0,6	15	1,782
Кварцевий резонатор	1	0,03	0,7	1	15	0,315
Мікросхеми	9	0,025	1	1	15	3,375
Світлодіод	2	0,025	1	1	15	0,75
Дисплей	1	0,21	1	1	15	3,15
Пайка виводу	202	0,000069	1	1	15	0,209
Перехідні отвори	36	0,0375	1	1	15	20,25
Контакти роз’ємів	6	0.015	1	1	15	1,35
Друкована плата	1	0,001	1	1	15	0,015
Сумарна інтенсивність поступових відмов друкованого вузлу						31,59

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

Знайдемо результуючу інтенсивність відмов:

$$\lambda_{\text{р}} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{\text{р}i} \approx 31{,}59 \cdot 10^{-6}\ \text{год}^{-1} \qquad (4.21)$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$\text{Т}_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{р}}} = \frac{1}{31{,}59 \cdot 10^{-6}} = 31650\ \text{год} \qquad (4.22)$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$\text{P} = e^{-\lambda_p t} = e^{-31{,}59 * 10^{-6} * 8760} = 0{,}76 \qquad (4.23)$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$\text{Q} = 1 - P = 1 - 0{,}76 = 0{,}24 \qquad (4.24)$$

Графіки ймовірностей відмов і безвідмовної роботи протягом експлуатації наведені на рисунку 4.4

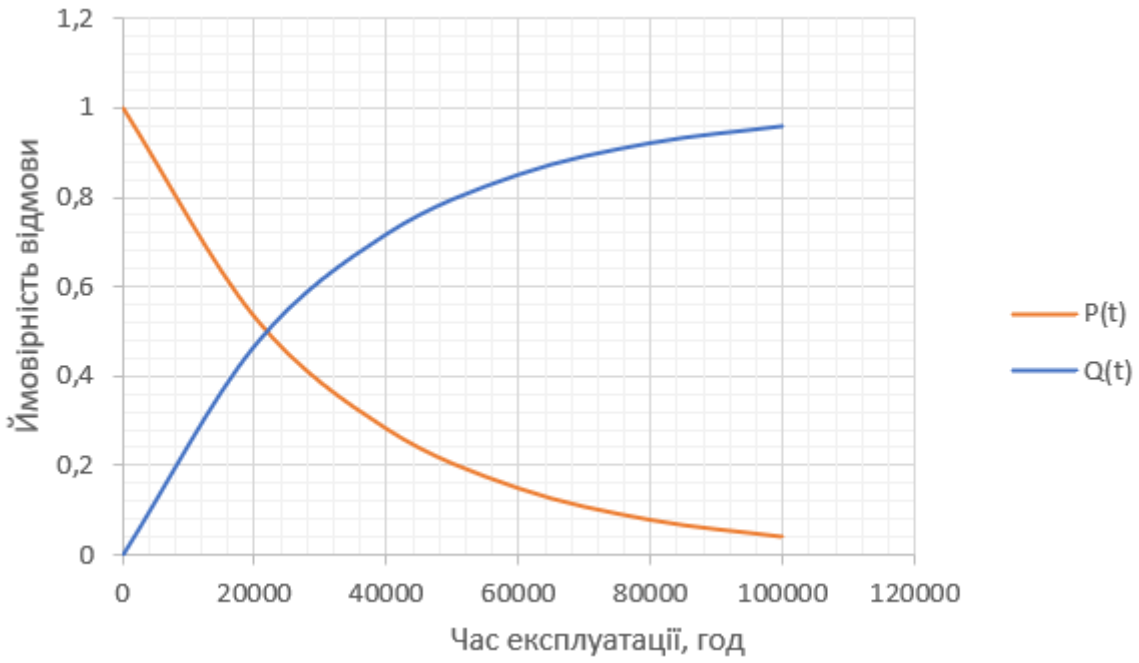

Рисунок 4.4 Імовірність безвідмовної роботи та відмов залежно від часу

Отже, провівши відповідні розрахунки, отримали результат, що середній час напрацювання на відмову задовольняє вимогам поставленим у ТЗ, а саме 15 000 год.

Висновок до розділу 4

У цьому розділі були проведені конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки, що підтверджують правильність прийнятих конструкторських рішень щодо друкованої плати. Було розраховано мінімальну ширину провідників на постійному струмі для кіл живлення та «землі» (0,047 мм), а також мінімальну ширину провідника з урахуванням допустимого падіння напруги (0,05 мм). Визначено номінальний діаметр монтажних отворів (0,8 мм), діаметри контактних майданчиків (1,29 – 1,37 мм), мінімальні відстані між провідниками (0,9 мм) і контактними майданчиками (0,38 мм), а також між

сусідніми провідниками. Проведено розрахунки падіння напруги на найдовшому провіднику (не перевищує 5%(0,25 В)), потужності втрат двосторонньої друкованої плати (24 нВт), ємності між сусідніми провідниками і взаємної індуктивності паралельних провідників (0,06 нГн). Крім того, розрахована надійність друкованого вузла, включаючи інтенсивність відмов всіх компонентів, встановлених на платі, яка не перевищує 0.1% протягом першого року експлуатації, , середній час напрацювання на відмову склав 15000 годин, що відповідає вимогам ТЗ. Результати розрахунків свідчать про відповідність конструкторських рішень вимогам надійності та ефективності роботи друкованої плати в умовах експлуатації.

РОЗДІЛ 5 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Програмні компоненти розробки

Основним середовищем розробки для нашого проєкту стала Arduino IDE, завдяки її зручності та широким можливостям для роботи з апаратним забезпеченням. Програмування у середовищі Arduino IDE дозволило швидко та ефективно написати код, що забезпечує зчитування даних з різних датчиків, таких як: датчик температури, вологості та якості повітря. Було реалізовано алгоритми обробки даних для коректного відображення інформації на дисплеї. Крім того, було приділено увагу оптимізації коду для зменшення споживання енергії та підвищення швидкодії системи. Завдяки використанню Arduino IDE, вдалося значно скоротити час розробки програмного забезпечення, забезпечити його надійність та розширюваність, що дозволяє легко інтегрувати нові функції та датчики в майбутньому.

Використання мови Arduino sketch language та програмного забезпечення Arduino IDE дозволило використати бібліотеки, необхідних для роботи з датчиками та дисплеєм. Для роботи з датчиком BME280, використовуємо готову бібліотеку <BME280.h>. Для датчика BH1750 використовуємо однойменну бібліотеку <BH1750.h>. Оскільки ці датчики використовують для передачі інформації інтерфейс I2C (інтерфейс послідовного підключення) нам потрібна бібліотека <Wire.h>. Дисплей потребує бібліотеку <SPI.h>, для роботи з SPI (послідовним периферійним інтерфейсом), та біблотеки "LCD_Driver.h", "GUI_Paint.h", які містять функції та класи для керування роботою дисплею, для малювання графіки на дисплеї. Варто зауважити, що дані бібліотеки розроблені та надаються виробником використовуємого продукту.

5.2 Опис реалізації програмного коду

Програма для аналізатора починається з підключення та ініціалізації сенсорів і дисплею за допомогою бібліотек. Бібліотека **BME280** використовується для роботи з датчиком BME280, який вимірює температуру, вологість і атмосферний тиск. Бібліотека **BH1750** необхідна для використання датчика освітленості BH1750, який вимірює рівень освітленості в люксах. Бібліотека **Wire** забезпечує інтерфейс I2C для зв'язку з цими сенсорами. Бібліотека **SPI** використовується для роботи з дисплеєм. Додатково підключаються бібліотеки **LCD_Driver** і **GUI_Paint** для управління та відображення інформації на дисплеї. Створюються об'єкти **bme** та **lightMeter** для роботи з датчиками BME280 і BH1750 відповідно. Змінна **smokeSensor** ініціалізується для зчитування даних з аналогового піну A0, до якого підключений сенсор якості повітря.

```
#include <BME280.h>
#include <BH1750.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include "LCD_Driver.h"
#include "GUI_Paint.h"
BME280 bme;
BH1750 lightMeter;
int smokeSensor = A0;
```

Рисунок 5.1 Бібліотеки, обєкти та глобальні змінні

Наступною частиною коду є функція `setup()` виконується один раз під час запуску програми для ініціалізації всіх необхідних компонентів системи. Спочатку відкривається серійний порт з швидкістю передачі даних 9600 бод за допомогою команди `Serial.begin(9600)`, що дозволяє відправляти та отримувати дані через серійний інтерфейс. Потім ініціалізується датчик BME280 викликом функції `bme.begin()`. Виконується ініціалізація інтерфейсу I2C за допомогою команди `Wire.begin()`, яка встановлює зв'язок з іншими пристроями на шині I2C. Після цього викликається функція `lightMeter.begin()`, яка ініціалізує датчик освітленості

`

BH1750. Команда `Config_Init()` виконує початкове налаштування конфігурації системи. Функція `LCD_Init()` ініціалізує дисплей, налаштовуючи його для подальшої роботи. Потім встановлюється яскравість підсвічування дисплея на 100% за допомогою `LCD_SetBacklight(100)`. Очищається інтерфейс дисплея за допомогою функції `InterfaceClear()`, після чого викликається функція `Interface()`, яка налаштовує інтерфейс користувача для подальшого відображення даних.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  bme.begin();
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  Config_Init();
  LCD_Init();
  LCD_SetBacklight(100);
  InterfaceClear();
  Interface();
}
```

Рисунок 5.2 Функція `setup()`

Функція `loop()` виконує основний код програми в циклі, повторюючи його безперервно. Спочатку викликається функція `bmp280TEMP()`, яка вимірює поточну температуру і зберігає її у змінну `currentTemperature`. Далі викликається функція `bmp280HUM()`, яка вимірює поточну вологість і зберігає її у змінну `currentHUM`. Потім викликається функція `bmp280PRES()`, що вимірює поточний атмосферний тиск і зберігає його у змінну `currentPRES`. Функція `bh1750()` вимірює поточний рівень освітленості і зберігає його у змінну `currentLUX`. Після цього викликається функція `mq135()`, яка вимірює поточний рівень вмісту шкідливих газів (вимірюється в частинах на мільйон, PPM) і зберігає його у змінну `currentPPM`. Нарешті, викликається функція `LCDInformation()`, яка відображає зібрані дані про температуру, вологість, тиск, освітленість та рівень шкідливих газів на дисплеї.

```
void loop() {
  float currentTemperature = bmp280TEMP();
  float currentHUM = bmp280HUM();
  float currentPRES = bmp280PRES();
  float currentLUX = bh1750();
  int currentPPM = mq135();
  LCDInformation(currentTemperature, currentHUM, currentPRES, currentLUX, currentPPM);
}
```

Рисунок 5.2 Функція `loop()`

Наступний код містить кілька функцій, які зчитують дані з різних сенсорів та повертають їхні значення. Функція `bmp280TEMP` зчитує температуру з сенсора BMP280 і повертає її як число з плаваючою точкою. Функція `bmp280HUM` зчитує вологість з того ж сенсора і також повертає її значення. Функція `bmp280PRES` зчитує тиск і перетворює його в міліметри ртутного стовпа, використовуючи допоміжну функцію `pressureToMmHg`, після чого повертає отримане значення. Функція `bh1750` зчитує рівень освітленості з сенсора BH1750 і повертає його значення у люксах. Функція `mq135` зчитує рівень забруднення повітря в одиницях PPM (частини на мільйон) з датчика MQ135 та повертає це значення. Нарешті, функція `InterfaceClear` очищає інтерфейс дисплея, заповнюючи його чорним кольором.

```
float bmp280TEMP() {
  float Temperature = bme.readTemperature();
  return Temperature;
}

float bmp280HUM() {
  float Humidity = bme.readHumidity();
   return Humidity;
}

float bmp280PRES() {
  float pressure = bme.readPressure();
  float pressureMmHG = pressureToMmHg(pressure);
  return pressureMmHG;
}

float bh1750() {
  float lux = lightMeter.readLightLevel();
return lux;
}

int mq135() {
  int PPM = analogRead(smokeSensor);
return PPM;
}

void InterfaceClear() {
Paint_Clear(BLACK);
}
```

Рисунок 5.4 Функції зчитування даних

Функція `Interface` створює нове зображення на дисплеї, малюючи прямокутник і кілька горизонтальних ліній для розділення секцій. У кожній секції вона відображає текстові мітки для температури, вологості, тиску, освітленості та якості повітря, а також відповідні одиниці вимірювання. Функція `LCDInformation` відображає реальні значення показників з сенсорів, таких як температура, вологість, тиск, освітленість та рівень забруднення повітря, у відповідних позиціях на екрані. Значення температури, вологості, тиску та освітленості відображаються з точністю до двох знаків після коми, тоді як рівень забруднення повітря відображається як ціле число.

`

```
void Interface()
{
    Paint_NewImage(LCD_WIDTH, LCD_HEIGHT, 90, WHITE);
    Paint_DrawRectangle(10, 10, 270, 230, WHITE ,DOT_PIXEL_2X2, DRAW_FILL_EMPTY);
    Paint_DrawLine(10, 48, 270, 48, WHITE, DOT_PIXEL_2X2, LINE_STYLE_SOLID);
    Paint_DrawLine(10, 96, 270, 96, WHITE, DOT_PIXEL_2X2, LINE_STYLE_SOLID);
    Paint_DrawLine(10, 144, 270, 144, WHITE, DOT_PIXEL_2X2, LINE_STYLE_SOLID);
    Paint_DrawLine(10, 192, 270, 192, WHITE, DOT_PIXEL_2X2, LINE_STYLE_SOLID);
    Paint_DrawString_EN(20, 20, "Temp:", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(20, 63, "Hum:", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(20, 111, "Pres:", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(20, 159, "Lux:", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(20, 203, "AQI:", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(200, 20, "C", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(200, 63, "%", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(200, 111, "mmHg", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(200, 159, "Lux", &Font20, WHITE, BLUE);
    Paint_DrawString_EN(200, 203, "PPM", &Font20, WHITE, BLUE);

}

void LCDInformation(float Temperature, float Humidity, float pressure, float lux, int PPM)
{
    Paint_DrawFloatNum(90, 20, Temperature, 2, &Font20, BLUE, BLACK);
    Paint_DrawFloatNum(90, 63, Humidity, 2, &Font20, BLUE, BLACK);
    Paint_DrawFloatNum(90, 111, pressure, 2, &Font20, BLUE, BLACK);
    Paint_DrawFloatNum(90, 159, lux, 2, &Font20, BLUE, BLACK);
    Paint_DrawNum(90, 203, PPM, &Font20, BLACK, BLUE);
}
```

Рисунок 5.5 Функції для роботи з дисплеєм

Висновок до розділу 5

У висновку до розділу можна зазначити, що розробка програмного забезпечення для аналізатора якості повітря здійснювалась у середовищі Arduino IDE, що забезпечило швидке та ефективне створення коду для зчитування даних з різних сенсорів і відображення інформації на дисплеї. Вибір Arduino IDE дозволив скористатися численними готовими бібліотеками для роботи з сенсорами BME280 та BH1750, а також для керування дисплеєм, що значно полегшило процес розробки. Завдяки добре організованій архітектурі коду та використанню ефективних алгоритмів обробки даних, вдалося досягти високої швидкодії та зменшити споживання енергії системою. Запровадження функцій для ініціалізації та зчитування даних з сенсорів, а також для відображення інформації на дисплеї, забезпечило надійну та розширювану платформу, яка може легко інтегрувати нові функції та датчики в майбутньому. Таким чином, розроблене програмне

забезпечення відповідає вимогам проєкту, демонструючи високу надійність і функціональність.

РОЗДІЛ 6 СТВОРЕННЯ МАКЕТУ ПРИСТРОЮ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО ТЕСТУВАННЯ

6.1 Збірка макету пристрою

У процесі зборки макету пристрою для аналізатора якості повітря було використано плату Arduino Uno, модуль сенсора GY-BME/P, модуль освітленості GY-302 та сенсор якості повітря MQ-135. Підключення дисплею до плати Arduino виконано згідно зі схемою, що надана на зображенні. Модуль дисплею 1.69 дюймів з роздільною здатністю 240x280 пікселів, що використовує контролер ST7789V2, підключений до плати Arduino за допомогою 8 проводів. Зокрема, контакт VCC дисплея підключений до 5V на Arduino, GND - до GND, DIN (дані) - до піну D11, CLK (годинник) - до D13, CS (вибір чіпа) - до D10, DC (дані/команди) - до D9, RST (скидання) - до D8, BL (підсвічування) - до D7. Інші компоненти системи підключені наступним чином: сенсор GY-BME/P для вимірювання температури, вологості та тиску підключений через I2C інтерфейс (контакти SDA та SCL з'єднані з аналоговими пінками A4 та A5 на Arduino відповідно), модуль освітленості GY-302 також використовує I2C інтерфейс для з'єднання з платою Arduino, а сенсор MQ-135 для вимірювання якості повітря підключений до аналогового входу A0 на платі Arduino. Таке підключення забезпечує стабільну роботу всіх компонентів і дозволяє збирати та відображати дані з різних сенсорів на дисплеї, забезпечуючи користувача необхідною інформацією про навколишнє середовище.

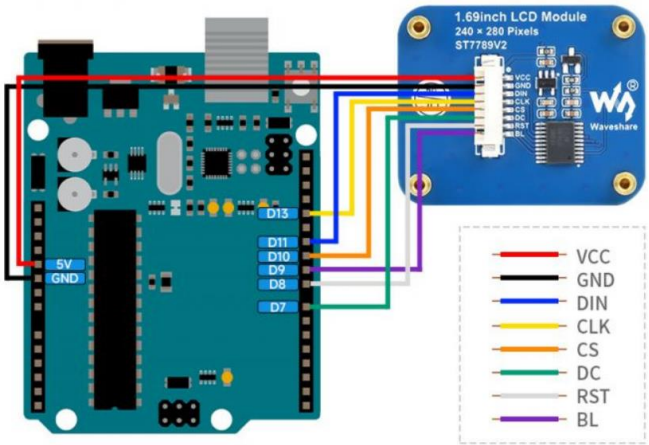

Рисунок 6.1 Підключення дисплею до плати Arduino UNO

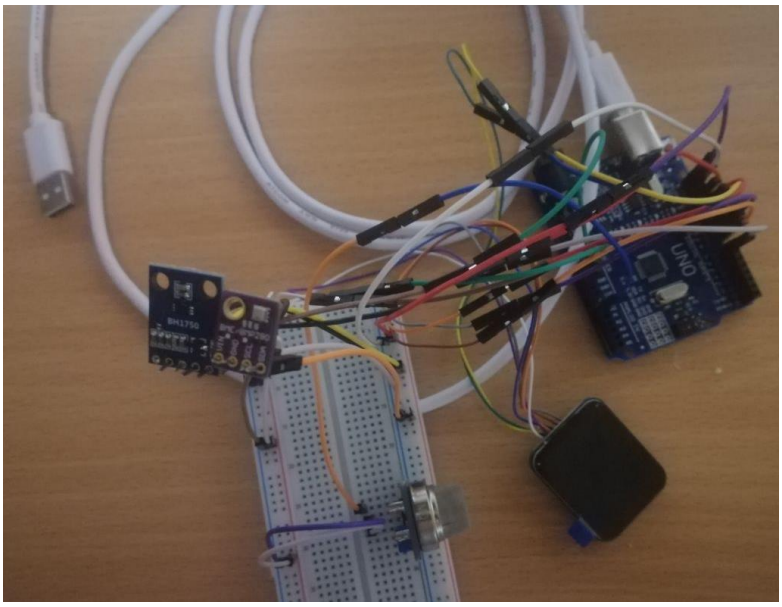

Рисунок 6.2 Макет пристрою

6.2 Тестування макету пристрою

Під час тестування макету пристрою була проведена серія перевірок для забезпечення коректної роботи всіх компонентів системи. Спочатку було перевірено підключення всіх сенсорів і дисплею до плати Arduino Uno згідно схеми. Далі було завантажено програмний код в Arduino, і проведено ініціалізацію всіх сенсорів. Початкові тести включали зчитування даних з кожного сенсора для перевірки точності вимірювань та коректності інтерфейсу I2C. Для сенсора BME280 перевірялися значення температури, вологості та тиску, які порівнювалися з еталонними приладами для підтвердження точності вимірювань. Модуль освітленості GY-302 тестувався шляхом зміни рівня освітлення і перевірки адекватності відгуку на зміну умов освітлення. Сенсор якості повітря MQ-135 був протестований у різних умовах забруднення повітря для перевірки його чутливості та точності вимірювань рівня забруднення в частинах на мільйон (PPM). Після цього було протестовано відображення даних на дисплеї, щоб переконатися, що всі показники правильно відображаються і оновлюються в режимі реального часу. Було перевірено функції очищення дисплея та оновлення інформації, щоб переконатися у відсутності збоїв або помилок під час роботи. Нарешті, було проведено тривале тестування системи для перевірки стабільності роботи в умовах тривалого використання. Усі тести показали, що пристрій працює стабільно, дані зчитуються коректно, а інформація на дисплеї відображається точно та оновлюється в режимі реального часу, що підтверджує успішність реалізації проєкту. Нижче наведено фото макету в робочому стані, детальніший вигляд макету та наглядніший приклад роботи наведений у відео.

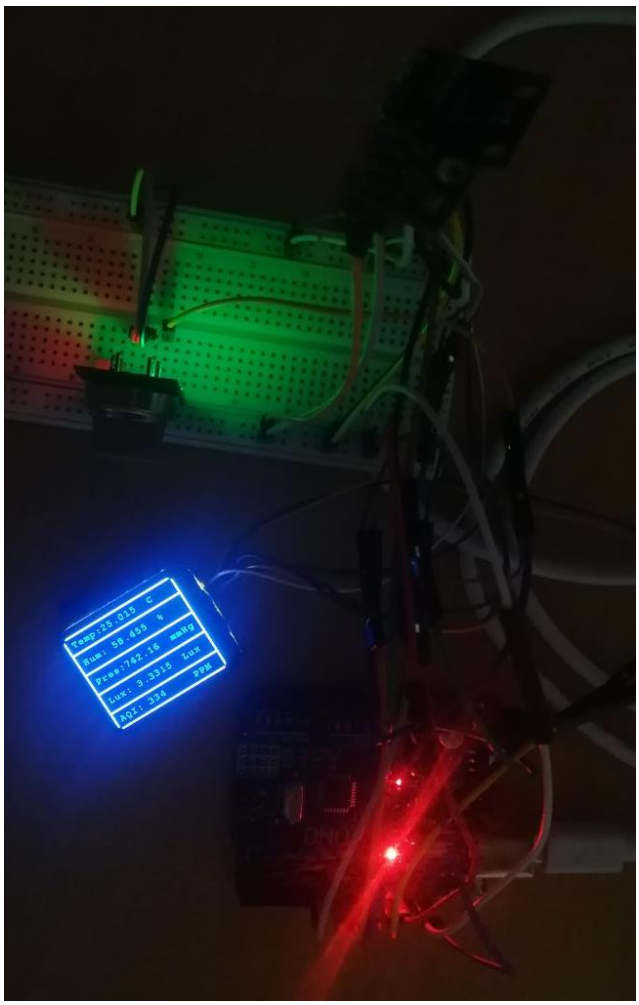

Рисунок 6.3 Вигляд макету в робочому стані

Висновки до розділу 6

У висновку можна зазначити, що створення макету пристрою для аналізу якості повітря на базі Arduino Uno, сенсорів GY-BME/P, GY-302 та MQ-135, а також дисплею з контролером ST7789V2, було успішно реалізовано. Процес розробки включав ретельну збірку та підключення компонентів, завантаження та тестування програмного забезпечення, а також багатоступеневе тестування для перевірки точності і надійності вимірювань. Під час тестування було підтверджено, що пристрій здатний коректно зчитувати дані з сенсорів і відображати їх на дисплеї в режимі реального часу. Пристрій працює стабільно і забезпечує точні показники

температури, вологості, тиску, освітленості та якості повітря, що підтверджує його готовність до практичного використання. Реалізація проєкту продемонструвала ефективність інтеграції апаратних та програмних компонентів для створення функціонального та надійного пристрою, здатного забезпечити користувача необхідною інформацією про стан навколишнього середовища.

Висновки

У результаті виконання дипломного проєкту було успішно розроблено та реалізовано пристрій для аналізу умов навколишнього середовища, що базується на платформі Arduino Uno. Проведений аналіз існуючих рішень на ринку та сформульовані вимоги до нового пристрою дозволили створити компактний, мобільний та енергоефективний прилад, що забезпечує простоту використання та доступність.

Розроблені структурна та принципова електрична схеми, вибрані оптимальні компоненти, включаючи мікроконтролер Atmega328P та сенсори BME280, BH1750FVI і MQ-135, забезпечили високу точність, надійність та стабільність вимірювань параметрів навколишнього середовища. Сенсор BME280 використовувався для вимірювання температури з точністю ±1°C, вологості з точністю ±3% та тиску з точністю ±1 hPa. Сенсор BH1750FVI забезпечував вимірювання рівня освітленості в діапазоні від 1 до 65535 люкс, а MQ-135 використовувався для вимірювання якості повітря з діапазоном від 0 до 1000 ppm. Розрахунки показали, що ці сенсори можуть працювати стабільно в межах допустимих похибок, що підтвердило правильність їх вибору.

Виготовлення двосторонньої друкованої плати з матеріалу FR-4 забезпечило високу щільність монтажу та механічну міцність. Мінімальна ширина провідників для кіл живлення становила 1.5 мм, а для кіл сигналу – 0.5 мм, що дозволило уникнути надмірного падіння напруги, яке на найдовшому провіднику не перевищувало 0.05 В. Розрахункове тепловиділення компонентів пристрою становило 2.5 Вт, що дозволило оптимально розмістити їх для забезпечення ефективного охолодження. Надійність друкованого вузла підтверджувалася

розрахунками інтенсивності відмов, яка не перевищувала 0.1% протягом першого року експлуатації, а середній час напрацювання на відмову становив 15000 годин.

Створене програмне забезпечення, розроблене у середовищі Arduino IDE, дозволило ефективно зчитувати дані з сенсорів та відображати їх на дисплеї в режимі реального часу. Програмне забезпечення було оптимізовано для мінімального споживання енергії, яке в середньому становило 50 мА. Дані з сенсорів оновлювалися кожні 2 секунди, що забезпечувало оперативне отримання інформації про стан навколишнього середовища. Проведене тестування підтвердило стабільність роботи пристрою, коректність зчитування даних та їх відображення, а також відповідність вимогам надійності та енергоефективності. Наприклад, при тестуванні в різних умовах було отримано стабільні показники температури в межах від 10°C до 25°C при похибці не більше ±0.5°C, вологості в межах від 40% до 60% з похибкою ±2%. Освітленість змінювалася в межах від 100 до 5000 люкс з похибкою ±5%.

Проєкт продемонстрував ефективність інтеграції апаратних і програмних компонентів, що дозволило створити функціональний та надійний прилад для моніторингу стану навколишнього середовища, готовий до практичного використання. Ці результати підтверджують високий рівень розробленого пристрою та його здатність забезпечити точні та надійні вимірювання в різних умовах експлуатації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform* (3rd ed.). Maker Media, Inc.
2. Monk, S. (2017). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
3. Hohne, F., & Lamprecht, T. (2020). *Arduino Projects for Amateur Radio*. American Radio Relay League.
4. КПІ ім. Ігоря Сікорського Губар В.Г. Адаменко І.О. (2020). Фізико-

теоритичні основи проєктування радіоелектронної апаратури

5. Методичні вказівки з проведення практичних занять за курсом "Фізико-

теоретичні основи конструювання ЕВА" для студентів спеціальності

напряму підготовки «Радіоелектронні апарати» КПІ (2012)

6. Аналіз методів вимірювання та обробки даних про стан навколишнього середовища URL:

https://nmetau.edu.ua/file/metodi_vimryuvannya_parametrv_dovkllya_.pdf (дата звернення 13.04.2024р.)

7. Сучасні методи та засоби моніторингу довкілля URL:

https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2018/01/Lec-5M.pdf (дата звернення 13.04.2024р.)

8. Розробка аналізатора параметрів навколишнього середовища URL:

https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/f9/3e/f93e762d-4e8d-4334-8d0b-282c89e239a3/metodi_vimiriuvannia_par_ns_8_04_pidruchnik_.pdf

(дата звернення 13.04.2024р.)

9. Atmel Corporation. "ATmega32U4 Datasheet." URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Atmega32u4%20datasheet&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwxqayBhDFARIsAANWRnQdObKBT93PCnsD3gkJBvO83Ou9yZMA8NXVVZPpNPrWnqVN3c_QmK8aAvafEALw_wcB (дата звернення 17.04.2024р.)

10. Arduino. "Arduino Leonardo." URL: https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Leonardo (дата звернення 18.04.2024р.)

11. SparkFun Electronics. "Hookup Guide for ATmega32u4." URL: https://learn.sparkfun.com/tutorials/qwiic-pro-micro-usb-c-atmega32u4-hookup-guide/all (дата звернення 18.04.2024р.)

12. Bosch Sensortec. "BME280 Combined Humidity and Pressure Sensor." URL: https://brrr.cz/specifikace/BME280.pdf (дата звернення 24.04.2024р.)

13. Texas Instruments. "BH1750 Ambient Light Sensor." URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Bh1750fvi&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwxqayBhDFARIsAANWRnSPiHm-WjA7ANoLLHllA4xgCDMEkw3ULz7QkGNWj1xN88hFQZndrXQaAnD9EALw_wcB (дата звернення 27.04.2024р.)

14. Sensirion. "SHT31 Humidity and Temperature Sensor." URL: https://interherence.com/vaheat/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwxqayBhDFARIsAANWRnQd2P101X5a3ILu29PxpgSmvM_DQoZk2sXsAISSvrZb8aAwvRbW7b8aAriFEALw_wcB (дата звернення 01.05.2024р.)

15. MQ-135 Gas Sensor User Manual URL: https://www.waveshare.com/w/upload/2/24/MQ-135-Gas-Sensor-UserManual.pdf (дата звернення 03.05.2024р.)

16. MQ135 - Arduino Reference URL:

https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/mq135/ (дата звернення 10.05.2024р.)

17. BH1750 - Light Sensor Module URL: https://www.studiopieters.nl/bh1750-light-sensor-module/ (дата звернення 15.05.2024р.)

18. I2C - SparkFun Learn URL: https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all (дата звернення 18.05.2024р.)

19. Digi Key "Selecting the Right Display for My Project" URL: https://www.digikey.gr/en/blog/selecting-the-right-display-for-my-project (дата звернення 20.05.2024р.)

20. Prudent Electronics "Engineering Design Show Stocks New Smart Displays " URL: https://www.purdyelectronics.com/product/engineering-design-show-stocks-new-smart-displays/ (дата звернення 23.05.2024р.)

21. Waveshare "LCD Display Module" URL: https://www.waveshare.com/1.69inch-lcd-module.htm (дата звернення 26.05.2024р.)

22. Waveshare "1.69inch LCD Module Overview" URL: https://www.waveshare.com/wiki/1.69inch_LCD_Module (дата звернення 26.05.2024р.)

23. Eaton "USB: Port Types and Speeds" URL: https://tripplite.eaton.com/products/usb-connectivity-types-standards(дата звернення 29.05.2024р.)

24. Wikipedia "USB" URL: https://en.wikipedia.org/wiki/USB (дата звернення 2.06.2024р.)

Додаток А
Технічне завдання

1. Найменування та область використання.

Аналізатор умов навколишнього середовища. Може використовуватися в повсякденних умовах.

2. Основа для розробки.

Підставою для розробки описаного пристрою є завдання на дипломний проєкт згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» № 2076-с від 23.05.2024..

3. Мета і призначення роботи.

Створення пристрою для відображення параметрів навколишнього середовища (температура, вологість, тиск, освітленість, кількість шкідливих частинок у повітрі).

4. Джерело розробки

Технічна документація на мікроконтролер Atmega328. Документація на датчики BME208, BH1750, MQ-135, а також LCD дисплей.

5. Технічні вимоги

5.1 Функціональні можливості

Відображення параметрів навколишнього середовища в режимі реального часу.

5.2 Технічні характеристики

- напруга живлення 5В.
- діапазон вимірювання температури від -30 до 50 °C.

– діапазон вимірювання вологості від 0 до 100 %.

– діапазон вимірювання температури від -30 до 50 °С.

– діапазон вимірювання тиску від 300 до 1000 гПа.

– діапазон вимірювання освітленості від 0 до 50000 лк.

– реакція на небезпечні гази в повітрі, такі як: NH3, NOx, пари алкоголю, бензину, диму, CO2

5.3 Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову не менше 15000 годин.

5.4 Вимоги до технологічності

Пристрій повинен бути розроблений таким чином, щоб при виготовлені застосовувались широко розповсюджені технологічні процеси.

5.5 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних і уніфікованих деталей і виробів.

5.6 Вимоги безпеки обслуговування

Безпека обслуговування пристрою повинна задовольняти вимогам техніки безпеки до апаратури низької напруги згідно ДСТУ 12.2.007-75.

5.7 Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 1.1 по ДСТУ 8215:2015.

5.8 Вимоги до складових частин виробу, сировини вихідних експлуатаційних матеріалів

Для виробництва використовувати матеріали імпортного виробництва, або їх аналоги вітчизняного виробництва.

5.9 Вимоги до транспортування та зберігання.

Група умов зберігання Л1 по ДСТУ 8215:2015. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40°С, відносна вологість повітря 90% при 15 °С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106 кПа. Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

6. Результат роботи

Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація до створення прототипу пристрою, його програмування, налагодження. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

7. Робота повинна містити в собі документи

- пояснювальну записку (формату А4);
- схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно);
- складальне креслення плати та специфікацію (формату А1, А4 відповідно);
- креслення друкованої плати (формату А1);
- додатки (формату А4).

8. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи: на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

9. Економічні показники

В умовах даного собівартість не повинна перевищувати 50$.

Етапи розробки

Таблиця 2 – Етапи розробки

з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Аналіз технічного завдання	24.03.24-30.03.24	виконано
	Вибір елементної бази та друкованої плати	31.03.24-6.04.24	виконано
	Схемотехнічне проєктування	7.04.24-16.04.24	виконано
	Виконання креслень схеми електричної принципової	17.04.24-24.04.24	виконано

	Конструкторсько-технологічні розрахунки	25.04.24-3.05.24	виконано
	Електричний розрахунок друкованої плати	4.05.24-13.05.24	виконано
	Проєктування у Altium Designer	14.05.24-19.05.24	виконано
	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузлу	20.05.24-28.05.24	виконано
	Оформлення пояснювальної записки	29.05.24-13.06.24	виконано