

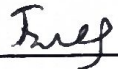
Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

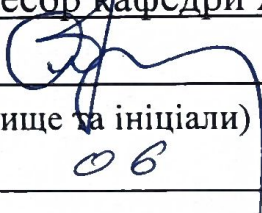
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**«СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННЯХ З
ВИКОРИСТАННЯМ МАТРИЧНИХ СЕНСОРІВ»**

Виконав: студент IV курсу, групи АКІТР-23мс
спеціальності 174 – Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та робото-
техніка

(шифр і назва спеціальності)

Василь БЛАДИКА 
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор кафедри АІТ
Олег БІСІКАЛО 
(прізвище та ініціали)

«16» 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри САІТ
Олексій КОЗАЧКО 
(прізвище та ініціали)

«16» 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри АІТ
Олег БІСІКАЛО

«17» 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації

Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри АІТ

д.т.н., проф. Олег БІСІКАЛО

«17»

06

2025 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бладиці Василю Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Система контролю температури в приміщеннях з використанням матричних сенсорів»

керівник роботи Бісікало Олег Володимирович, д.т.н, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» березня 2025 року №97

2. Термін подання студентом роботи 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

діапазон вимірювання температури: $-40 \dots +80^{\circ} \text{C}$;

кількість каналів вимірювання – до 10;

ступінь захисту – IP30;

граничне значення струму навантаження – не більше 10 А.

4. Зміст текстової частини Провести огляд існуючих способів та засобів вимірювання температури в тому числі сенсорні, запропонувати структуру системи контролю температури, розробити алгоритм роботи та програмне забезпечення для системи контролю температури з використанням матричних сенсорів

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схема електрична структурна системи контролю температури; схема принципова каналу вимірювання температури з матричним сенсором; схема принципова основного контролера Arduino UNO, схема роботи програми.

6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	завдання прийняв

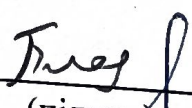
7. Дата видачі завдання 20.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

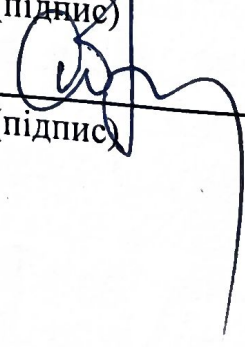
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	11.02.2025	20.03.2025	Вик
2	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	17.03.2025	26.04.2025	Вик
3	Розробка технічного завдання (ТЗ)	05.05.2025	10.05.2025	Вик
4	Аналіз вирішення поставленої задачі	12.05.2025	17.05.2025	Вик
5	Розробка структурної схеми	19.05.2025	20.05.2025	Вик
6	Електричні розрахунки	21.05.2025	22.05.2025	Вик
7	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	22.05.2025	24.05.2025	Вик
8	Перевірка ПЗ на відповідність вимогам	02.06.2025	07.06.2025	Вик
9	Попередній захист БКР, доопрацювання, рецензування БКР	10.06.2025	15.06.2025	Вик
10	Захист БКР ЕК	16.06.2025	23.06.2025	Вик

Студент

Керівник роботи


(підпис)

Василь БЛАДИКА
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Олег БІСІКАЛО
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 72 сторінок формату А4, на яких є 21 рисунок, 14 таблиць, список використаних джерел містить 16 найменувань.

Метою роботи є збільшення функціональних можливостей систем моніторингу температури в приміщеннях за рахунок використання матричних сенсорів.

У загальній частині роботи розглянуто особливості побудови сучасних автоматизованих систем контролю температури. Запропонована структура системи контролю температури з використанням матричних сенсорів Omron. Розроблені структурна та принципова схеми частин системи. Запропонований варіант програмного забезпечення.

Ключові слова: температура, система контролю, матричний сенсор, послідовний інтерфейс.

ANNOTATION

The bachelor's thesis consists of 72 A4 pages, which contain 21 figures, 14 tables, the list of used sources contains 16 titles.

The aim of the work is to increase the functionality of indoor temperature monitoring systems by using matrix sensors.

In the general part of the paper, the features of building modern automated temperature control systems are considered. The structure of a temperature control system using Omron matrix sensors is proposed. The structural and schematic diagrams of the system parts are developed. A case of software is proposed.

Keywords: temperature, control system, matrix sensor, serial interface.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.	5
1.1 Загальні відомості про системи контролю.	5
1.2 Температура. Способи та засоби вимірювання	5
1.3 Матричні сенсори для вимірювання температури	7
1.4 Висновки до першого розділу	17
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННЯХ	18
2.1 Вибір оптимального набору сенсорів для покриття приміщень	18
2.2 Обмеження периферійного інтерфейсу I ² C	21
2.3 Перетворення I ² C в USART	23
2.4 Перетворення USART в RS-485.	24
2.5 Розробка структури системи контролю температури	26
2.6 Висновки до другого розділу	28
3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.	30
3.1 Вибір компонентів для реалізації системи контролю	30
3.2 Розробка принципової схеми	40
3.3 Висновки до третього розділу	43
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	45
4.1 Розробка алгоритмічного забезпечення	45
4.2 Розробка програмного забезпечення	46
4.3 Розробка програми перетворювача I ² C в UART.	49
4.4 Засоби що використовувались при розробці програм	54
4.5 Висновки до четвертого розділу	56
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	58
Додатки.	60
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.	61
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина	64
Додаток В (довідковий) Фрагмент лістингу.	69
Додаток Г (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	72

ВСТУП

Актуальність створення системи контролю температури з використанням матричних сенсорів зумовлена зростаючими вимогами до енергоефективності, безпеки та комфорту в сучасних будівлях і промислових об'єктах. На відміну від точкових сенсорів, матричні дозволяють отримувати просторову картину температурного розподілу, що особливо важливо для виявлення локальних перегрівів, тепловтрат або присутності людей. Такі системи мають значення для автоматизації клімат-контролю, систем охорони та промислового моніторингу. Застосування інтелектуальних алгоритмів у поєднанні з високоточною матричною сенсорною інформацією відкриває нові можливості в підвищенні ефективності керування мікрокліматом. Це робить технологію актуальною для впровадження в системах розумного будинку, офісних і виробничих приміщеннях.

Об'єктом роботи є процес контролю температури в приміщеннях з використанням матричних сенсорів.

Предметом роботи є система контролю температури в приміщеннях.

Метою дослідження збільшення функціональних можливостей систем моніторингу температури в приміщеннях за рахунок використання матричних сенсорів.

Для досягнення мети сформульовані наступні **задачі**:

- а) провести огляд систем контролю температури;
- б) визначити оптимальний з точки зору функціональності та тип ціни матричного сенсора для використання в системі;
- в) запропонувати структуру системи контролю температури в приміщеннях;
- г) вибрати електронні компоненти для створення ефективної системи контролю температури в приміщеннях;
- д) розробити алгоритмічне та програмне забезпечення системи.

Для вирішення поставлених в роботі задач використовувались методи пошуку та аналізу інформаційних ресурсів; в ході експериментальних досліджень використовувались методи планування експерименту; для розробки програмно-апаратної частини мікропроцесорного пристрою використовувалися методи алгоритмізації, програмування, схемо- та системотехніки.

Практична цінність роботи полягає в створенні апаратного та програмного забезпечення для використання в системах контролю температури в приміщеннях з використанням матричних сенсорів, що дозволяє розширити функціональність таких систем та підвищити ефективність їх роботи.

Результати виконаної роботи доповідались та обговорювались на LIV Всеукраїнській науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного університету НТКП ВНТУ (2025) [1].

1 СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Для виконання індивідуального завдання на бакалаврську роботу та забезпечення ґрунтовного підходу до розробки необхідно визначитись з основними поняттями та принципами, що лежать в основі створення автоматичних/автоматизованих системи контролю технологічних, технічних, фізичних параметрів, як в технологічних процесах так і в побуті.

1.1 Загальні відомості про системи контролю

Система контролю – це сукупність механічних або електронних пристроїв, які регулюють інші пристрої або системи за допомогою контурів керування. Як правило, системи контролю є комп'ютеризованими [2]. Системи контролю є фундаментальною складовою управління в різних сферах: від бізнесу та освіти до інженерії та автоматизації, виступають центральною частиною виробництва та дистрибуції в багатьох галузях промисловості.

Контроль [3] безпосередньо – це процес спостереження, оцінки та коригування діяльності для досягнення поставлених цілей. Він включає в себе визначення стандартів, вимірювання фактичних результатів, порівняння їх із запланованими та вжиття коригувальних дій. Контроль температури ж в приміщеннях є ключовим аспектом забезпечення комфортного мікроклімату та енергоефективності будівель.

1.2 Температура. Способи та засоби вимірювання

Температура [4] є однією з основних фізичних величин, що характеризує термодинамічний стан тіл і середовищ. Вона є мірою середньої кінетичної енергії теплового руху частинок речовини. Температура визначає напрямки теплового обміну: тепло завжди передається від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою. Точне вимірювання температури є критично важли-

вим у науці, техніці, медицині, харчовій промисловості, енергетиці, а також у кліматології та метеорології.

В основі процесу вимірювання температури лежить залежність певних фізичних властивостей матеріалів від температури. До таких властивостей належать:

а) теплове розширення тіл. Довжина, об'єм або площа тіл змінюється з температурою. Цей принцип лежить в основі роботи рідинних та біметалічних термометрів;

б) опір провідників. Електричний опір металів і напівпровідників змінюється з температурою, що використовується у термометрах опору (терморезисторах) і термісторах;

в) термоелектричний ефект. У точці контакту двох різнорідних провідників виникає термоЕРС, яка залежить від температури. Цей ефект лежить в основі роботи термопар;

г) випромінювання. Інтенсивність і спектральний склад теплового випромінювання тіла залежать від його температури. Це використовується у пірометрах і тепловізорах;

д) зміна тиску або об'єму газів. У ідеальному газі при зміні температури змінюється тиск або об'єм при постійному об'ємі або тиску відповідно (газові термометри).

Способи вимірювання температури [5-7] можна поділити на контактні та безконтактні. Контактні способи передбачають безпосередній тепловий контакт між вимірювальним елементом та об'єктом. Серед них:

а) термометрія розширення. Ґрунтується на лінійному або об'ємному тепловому розширенні рідини, твердого тіла або газу;

б) рідинні термометри (спиртові, ртутні) – класичні засоби вимірювання температури в побуті й медицині;

в) біметалічні термометри – використовуються в техніці для грубого контролю температури.

До електричних методів можна віднести термометри опору (RTD) – високоточні датчики, що використовують зміну електричного опору металів (найчастіше платини). Діапазон вимірювання таких термометрів може лежати від -200 до $+850$ °C. Також до електричних методів вимірювання належать термістори – напівпровідникові прилади з вираженою нелінійною температурною характеристикою. Такі прилади чутливі до малих змін температури. Поруч із зазначеними електричними приладами використовують термопари – універсальні та надійні датчики, побудовані на термоелектричному ефекті. Такі засоби мають найширший діапазон вимірювання температури (від -200 до $+1800$ °C).

Безконтактні методи базуються на аналізі теплового випромінювання тіл. Пірометри вимірюють інтенсивність інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, випромінюваного об'єктом, і обчислюють температуру. Оптичні пірометри працюють в оптичному діапазоні спектру. ІЧ-пірометри – найбільш поширені безконтактні прилади для дистанційного вимірювання температури.

Тепловізори. Створюють візуальну картину розподілу температури по поверхні. Широко використовуються в енергетиці, будівництві та медицині (теплографія).

1.3 Матричні сенсори для вимірювання температури

Матричні температурні сенсори забезпечують багатоточкове теплове вимірювання, що дозволяє отримувати просторову картину розподілу температури в приміщенні. На відміну від точкових сенсорів, ці пристрої здатні виявляти локальні теплові аномалії, такі як перегріті зони чи області втрати тепла. Безконтактний принцип роботи забезпечує зручність розміщення сенсорів у важкодоступних або делікатних місцях. Їх використання особливо актуальне в системах управління мікрокліматом, «розумних» будівлях і промислових об'єктах. Такі сенсори також здатні виявляти присутність людей за температурним профілем, що дозволяє адаптувати споживання енергії. За-

вдяки цифровим інтерфейсам передача даних до мікроконтролерів або комп'ютерів здійснюється з високою швидкістю та точністю.

Інтеграція матричних температурних сенсорів у системи керування вимагає врахування кількох важливих параметрів: роздільної здатності, кута огляду, чутливості (NETD) і частоти оновлення. Висока роздільна здатність дозволяє точніше виявляти джерела тепла або теплові зміни, але потребує більших обчислювальних ресурсів для обробки даних. Кут огляду впливає на площу покриття – для малих приміщень достатньо вузького поля зору, а для великих зон – ширшого. Частота оновлення даних важлива для сценаріїв, де потрібна реакція в реальному часі, наприклад, у безпекових або автоматизованих HVAC-системах. Низький рівень шуму у вимірюваннях забезпечує стабільну роботу навіть за мінімальних температурних відхилень. Для більшості завдань такі сенсори використовуються разом із іншими компонентами – датчиками вологості, CO₂, освітлення – у складі комплексних систем моніторингу середовища.

При проєктуванні системи контролю температури з використанням матричних сенсорів важливо правильно підібрати місце розташування пристрою, аби уникнути впливу прямих теплових джерел або відбиття. Сенсор має бути орієнтований так, щоб охоплювати критично важливі зони: робочі місця, вікна, двері, системи обігріву або охолодження. Обробка отриманих теплових даних може включати як просту фільтрацію, так і складні алгоритми машинного навчання для прогнозування або аномалійного аналізу. Дані з таких сенсорів можна інтегрувати у SCADA-системи, BMS або хмарні сервіси з аналітикою. Матричні температурні сенсори підвищують ефективність керування енергоспоживанням і комфортом у приміщеннях. Таким чином, їх застосування є перспективним напрямом у сучасній автоматизації будівель і смарт-інфраструктурі.

Температурні матричні сенсори Omron [8], зокрема серії D6T, вирізняються високою чутливістю до температурних змін і здатністю точно виявляти присутність людей навіть при незначних коливаннях температури. Вони

мають невелику кількість пікселів (наприклад, 1×8 або 4×4), але дуже низький рівень шуму та добру стабільність зчитування. Загальний вигляд матричних сенсорів Omron серії D6T наведений на рисунку 1.1.

Model	D6T-1A-01	D6T-1A-02	D6T-8L-09	D6T-8L-09H	D6T-44L-06	D6T-44L-06H	D6T-32L-01A
Appearance							

Рисунок 1.1 – Температурні матричні сенсори Omron серії D6T

Сенсори Omron здебільшого використовуються для контролю в межах кількох метрів, ідеально підходять для «розумного будинку», HVAC-систем та офісних приміщень. Їхня головна перевага – надійність у виявленні теплових об'єктів при порівняно простій інтеграції через I²C. Однак вони є дорогішими порівняно з альтернативами за меншу кількість пікселів. Також їхнє використання обмежене вимірюванням поверхневої температури, що потребує додаткових сенсорів для контролю повітряного клімату.

Panasonic Grid-EYE [9] (наприклад, AMG8833) має матрицю 8×8 , тобто 64 температурні пікселі, що значно перевищує роздільну здатність типових сенсорів Omron. Це дозволяє формувати прості теплові зображення з грубою деталізацією, що корисно для візуалізації руху людей або зонального моніторингу. Grid-EYE також має I²C-інтерфейс і підтримується численними бібліотеками для Arduino, Raspberry Pi тощо. Вартість цього сенсора нижча, а доступність – вища, що робить його популярним у DIY-проектах і недорогих системах контролю. Проте його чутливість нижча, ніж у Omron D6T, і він менш стабільний в умовах зовнішніх завад, що обмежує його використання в критичних системах. Він більше підходить для базового відстеження присутнос-

ті та температурного тренду, ніж для точного контролю температурного профілю. Загальний вигляд матричних сенсорів від Panasonic наведений на рисунку 1.2.

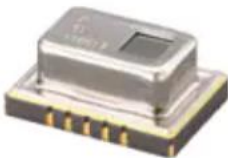
Product	Passive Infrared Array Sensor (Surface Mount)	
Product Series Name	Grid EYE High Gain Type	Grid EYE Low Gain Type
		

Рисунок 1.2 – Матричні температурні сенсори Panasonic Grid-EYE

Melexis MLX90640 [10] – ще потужніший сенсор із високою роздільною здатністю (32×24 пікселі, тобто 768 точок), який дозволяє формувати деталізовані теплові зображення в режимі реального часу. Зовнішній вигляд матричних сенсорів Melexis наведений на рисунку 1.3.

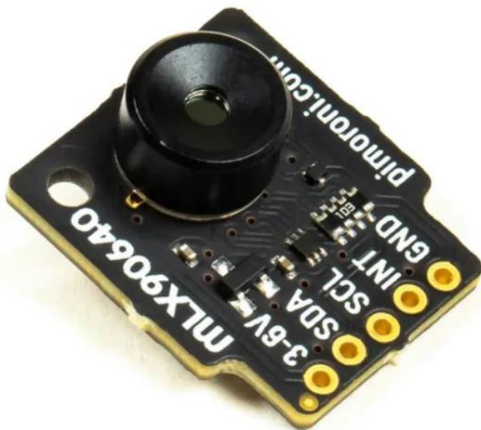


Рисунок 1.3 – Матричний температурний сенсор Melexis MLX90640

Його область застосування виходить за межі приміщень і включає промислову діагностику, охорону, медицину тощо. Сенсор має кут огляду до

110° і здатен точно розпізнавати теплові контури об'єктів на середній відстані. Водночас, він вимагає більшого обсягу обробки даних та обчислювальних ресурсів, тому потребує потужнішого мікроконтролера. Melexis забезпечує чудовий компроміс між роздільною здатністю, дальністю та чутливістю, хоча й дещо складніший в інтеграції та дорожчий у порівнянні з Grid-EYE. Вибір між цими сенсорами залежить від вимог до точності, просторового охоплення, швидкості реакції й бюджету системи.

Таблиця 1.1 – Порівняння матричних сенсорів за основними технічними характеристиками

Характеристика	Omron D6T-44L-06	Panasonic Grid- EYE (AMG8833)	Melexis MLX90640
Роздільна здатність	4×4 (16 точок)	8×8 (64 точки)	32×24 (768 точок)
Тип вимірювання	Поверхнева температура об'єктів	Поверхнева температура об'єктів	Поверхнева температура об'єктів
Інтерфейс	I ² C	I ² C	I ² C
Темпер. діапазон	−40 °C ... +80 °C	0°C ... +80 °C	−40°C ... +300 °C
Чутливість (NETD)	~0.05 °C	~0.5 °C	~0.1°C
Поле зору (FoV)	~44.2°, 45.7° (залежить від моделі)	~60°	55°, 110° (дві версії)
Відстань вимірювання	0.5–5 м (оптимально до 2–3 м)	До 5 м (з меншою точністю)	До 10 м (залежить від об'єкта)
Розмір теплового кадру	Низький (16 точок)	Середній (64 точки)	Високий (768 точок)
Споживання енергії	~5 мА @ 5 В	~4.5 мА @ 3.3 В	~23 мА @ 3.3 В
Ціна (орієнтовно)	Висока (30–60+ USD)	Середня (20–30 USD)	Висока (50–100+ USD)
Простота інтеграції	Висока	Дуже висока	Середня
Застосування	HVAC, BMS, детекція присутності	DIY-проекти, простий моніторинг	Тепловізія, безпека, аналітика руху

За результатами порівняльного аналізу трьох сенсорів була побудована радар-діаграма представлена на рисунку 1.1. В якості основних п'яти критеріїв були вибрані: роздільна здатність, чутливість, простота інтеграції, дальність вимірювання та співвідношення ціна/можливості.

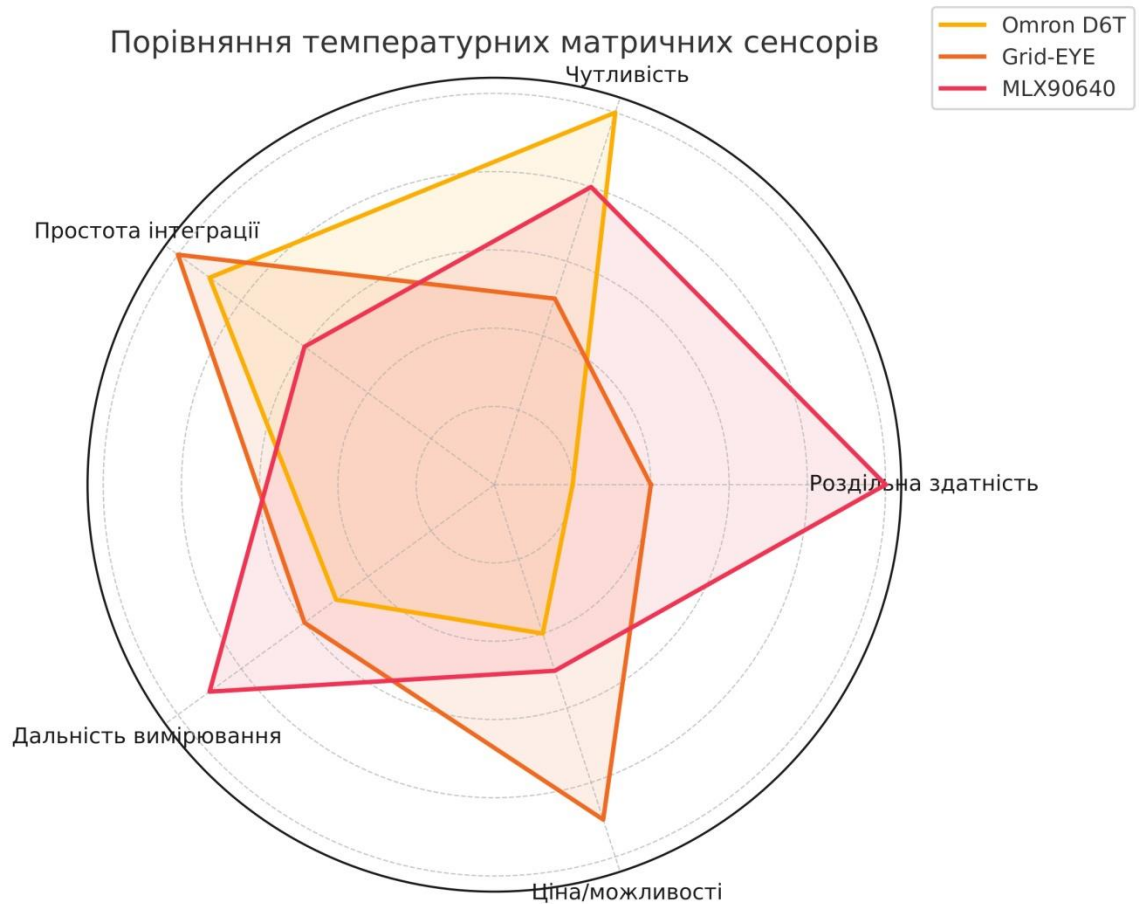


Рисунок 1.1 – Порівняльна радар-діаграма для сенсорів Omron D6T, Panasonic Grid-EYE і Melexis MLX90640

Результати порівняльного аналізу показують, що Omron D6T – точний, з низьким шумом, але з малою кількістю пікселів; ідеальний для виявлення присутності. Grid-EYE – доступний, простий у використанні сенсор для базових завдань теплового аналізу. MLX90640 – найбільш потужний, підходить для складних задач із тепловізією, але потребує обчислювальних ресурсів.

Беручи до уваги такі параметри як чутливість та простоту інтеграції найбільш підходящим для застосування в системах контролю температури в приміщеннях є матричні сенсори від Omron.

Температурні матричні сенсори Omron, зокрема Omron D6T-1A-01, D6T-8L-09 або D6T-44L-06, є інфрачервоними (IR) термодатчиками, які вимірюють поверхневу температуру об'єктів у полі зору безконтактним способом. Вони мають матричну структуру (1×1, 1×8, 4×4 тощо), що дозволяє формувати теплове зображення сцени.

Перевагами таких температурних сенсорів є: а) безконтактне вимірювання. Виявлення температури без фізичного контакту з поверхнею. Не заважає циркуляції повітря чи архітектурі приміщення. б) широке поле зору та матрична структура. Можливість покривати велику зону за рахунок багатопіксельної матриці. Наприклад, D6T-44L-06 забезпечує 16 незалежних температурних точок; в) Висока чутливість. Виявлення навіть незначних температурних змін (до 0.05 °C). Добре підходить для виявлення присутності людини чи джерел тепла; г) Низький рівень шуму. Завдяки вбудованій схемі компенсації шуму забезпечується стабільне зчитування; д) Легке підключення. Інтерфейс I²C [11] дозволяє інтегрувати з мікроконтролерами та одноплатними комп'ютерами (Arduino, Raspberry Pi).

До недоліків можна віднести наступне: а) Висока вартість. Дорожчі у порівнянні з точковими температурними сенсорами (наприклад, термісторами або термопарами). б) Обмежена дальність. Ефективний діапазон вимірювання – кілька метрів (2–5 м в залежності від моделі). Не підходить для великих залів без зонування. в) Чутливість до забруднення лінз. Пил чи забруднення можуть знижувати точність. г) Не вимірює температуру повітря. Фіксує поверхневу температуру об'єктів, а не температуру середовища. Для повноцінного моніторингу клімату потрібні комбіновані системи.

Особливості використання сенсорів Omron полягають в наступному: а) Монтаж. Сенсори потрібно розміщувати так, щоб уникнути потрапляння в кадр гарячих джерел (наприклад, ламп, нагрівачів), які можуть давати хибні

сигнали. б) Інтерпретація даних. Матриця даних потребує обробки: середнє значення, фільтрація шуму, детекція аномалій. в) Присутність людей. Можна використовувати для детектування людини за тепловим підписом (без ІЧ-бар'єрів чи камер). Зручно для енергозбереження (вимикання/вмикання обігріву/вентиляції за присутності). г) Інтеграція в системи автоматизації. Підходить для BMS (*англ.* BMS – Building Management Systems), «розумного будинку», HVAC-контролю (*англ.* HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning).

Матричні сенсори Omron – це точне, надійне, але відносно дороге рішення для температурного моніторингу в приміщеннях. Вони особливо корисні у випадках, де потрібне детальне теплове картування, або де критичне виявлення присутності людини без використання камер. Але для повноцінної системи контролю мікроклімату доцільно комбінувати ці сенсори з іншими (наприклад, датчиками температури повітря, вологості та CO₂).

Використання матричних температурних сенсорів Omron у системах контролю температури в приміщеннях є доцільним завдяки їхній здатності забезпечувати детальне та безконтактне вимірювання поверхневої температури об'єктів. Такі сенсори дозволяють отримувати теплову картину простору, що особливо корисно для виявлення холодних або перегрітих зон у приміщеннях. Це дає змогу реалізувати зональне керування обігрівом або охолодженням, підвищуючи енергоефективність системи. Завдяки високій чутливості та низькому рівню шуму сенсори також здатні точно виявляти присутність людини на основі температурного профілю. Це особливо актуально для «розумного будинку» або автоматизованих офісів, де потрібна адаптивна система управління мікрокліматом.

Крім того, сенсори серії Omron D6T мають зручний цифровий інтерфейс I²C, що значно спрощує їх інтеграцію з сучасними контролерами та вбудованими системами. У порівнянні з традиційними точковими датчиками, матричні сенсори забезпечують більшу інформативність і не потребують безпосереднього контакту з вимірюваними поверхнями. Однак слід враху-

вати, що вони не вимірюють температуру повітря напряду, а лише поверхонь, тому бажано комбінувати їх із іншими сенсорами для повної картини мікроклімату. Також варто зважати на вищу вартість та потребу в правильному розміщенні для уникнення хибних зчитувань. Загалом, для задач, де потрібна просторово-деталізована та надійна інформація про тепловий стан приміщення, ці сенсори є високоефективним рішенням.

З точки зору програмного забезпечення, Omron D6T постачається з базовим пакетом демонстраційного ПЗ, яке дозволяє візуалізувати теплову карту та зчитувати дані з сенсора через I²C-інтерфейс. Компанія надає приклади коду переважно для середовища Windows із використанням USB-I²C мостів, що обмежує можливості швидкої інтеграції в нестандартні системи. Низькорівнева документація повна, але відсутність готових SDK або бібліотек для популярних платформ (Raspberry Pi, Arduino) ускладнює швидкий старт. Розробнику доводиться самостійно реалізовувати обробку масиву даних та температурну інтерпретацію. Це робить Omron D6T більш привабливим для досвідчених користувачів і менш зручним для швидкого прототипування.

Panasonic Grid-EYE має широку підтримку з боку спільноти розробників і постачається з відкритими бібліотеками для Arduino, STM32, Raspberry Pi, а також з прикладами для Python і C. Доступні графічні інтерфейси, які дозволяють відображати теплову карту в реальному часі, а також фреймворки для інтеграції в IoT-проекти. Компанія також надає рекомендації щодо компенсації зовнішніх впливів, що спрощує інтеграцію в складних умовах. Melexis MLX90640, у свою чергу, підтримується потужною екосистемою з відкритими бібліотеками, включно з готовими драйверами для Raspberry Pi, Arduino, ESP32, а також інтеграцією з OpenCV і Python. Це дає змогу швидко створювати застосунки з обробки зображень та автоматичного розпізнавання, що робить MLX90640 особливо привабливим для проєктів із машинним зором та аналітикою.

Дані для порівняння матричних сенсорів щодо наявності програмного забезпечення для розробки зведені до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Допоміжне програмне забезпечення, що поставляється в комплекті

Характеристика	Omron D6T	Panasonic Grid-EYE	Melexis MLX90640
Демонстраційне ПЗ	Так, базове	Так, з GUI	Так, базове з OpenCV-прикладми
SDK/бібліотеки	Відсутні офіційні	Відкриті (Arduino, Python, STM)	Відкриті (Arduino, Python, OpenCV)
Платформи з підтримкою	Windows (через I ² C-USB)	Arduino, Raspberry Pi, STM32	Raspberry Pi, Arduino, ESP32
Готові приклади коду	Так, але обмежені	Так, численні	Так, численні
Зручність швидкого старту	Низька	Висока	Висока

Матричні температурні сенсори Omron, зокрема серія D6T, відзначаються високою надійністю та стабільністю вимірювань, що особливо важливо в умовах тривалої експлуатації в системах моніторингу приміщень. Завдяки перевіреним якості виробництва та суворому контролю параметрів на заводі, сенсори Omron демонструють малу дрейфову похибку й високу повторюваність результатів. Їхня конструкція забезпечує безконтактне вимірювання температури, що мінімізує знос і підвищує термін служби пристрою. Це робить їх надійним вибором для інтеграції у критичні системи контролю мікроклімату, де важлива довготривала стабільність.

Ще однією вагомою перевагою є широка доступність сенсорів Omron на ринку, зокрема через глобальні дистриб'юторські мережі, такі як Digi-Key, Mouser, Farnell та інші. У порівнянні з альтернативами, ці сенсори мають стабільні поставки навіть у періоди дефіциту електроніки, що спрощує масштабування або обслуговування вже створених систем. Крім того, наявність кількох модифікацій із різною кількістю пікселів та чутливістю дозволяє підібрати оптимальний варіант під конкретне завдання. Це особливо важливо в проєктах, що розгортаються на кількох об'єктах із різними технічними вимогами.

Хоча старт розробки на базі Omron D6T вимагає трохи більше зусиль через обмежену кількість офіційного ПЗ, добре задокументований інтерфейс I²C і стабільна структура даних дозволяють швидко створити власну систему збору й аналізу інформації. Додатковою перевагою є наявність прикладів коду для базової інтеграції, що можна адаптувати під будь-яку платформу. У поєднанні з високою точністю, надійністю та комерційною доступністю, сенсори Omron є обґрунтованим вибором для довгострокових проєктів контролю температури. Такий підхід забезпечує баланс між технічною досконалістю та практичною реалізацією в умовах реального застосування.

1.4 Висновки до першого розділу

Проведений аналіз показав, що кожен із розглянутих матричних температурних сенсорів – Omron D6T, Panasonic Grid-EYE та Melexis MLX90640 – має свої переваги та недоліки. Grid-EYE і MLX90640 вирізняються широкою підтримкою з боку спільноти розробників та зручністю інтеграції завдяки відкритим бібліотекам. Натомість Omron D6T демонструє вищу надійність та стабільність вимірювань при тривалому використанні.

Хоча Omron D6T поступається конкурентам у доступності готових програмних рішень, його промислова якість, перевірена стабільність і широка присутність на ринку роблять його привабливим для розробки довготривалих і надійних систем. Сенсор забезпечує точне безконтактне вимірювання навіть у складних умовах, що особливо важливо для застосувань у приміщеннях. Крім того, стабільні поставки та наявність модифікацій дозволяють адаптувати рішення під різні технічні вимоги. З огляду на це, сенсори Omron були обрані як базові для подальшої розробки системи контролю температури в приміщеннях.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННЯХ

Основну роль в процесі розробки відіграє структура системи, оскільки саме від правильного вибору структури залежить можливість подальшої ефективної розробки системи і, що не менш важливо, можливість її модернізації в майбутньому. Тому важливо закласти фундамент, який дозволить полегшити розробку системи в цілому і забезпечити максимальну ефективність в процесі її експлуатації.

2.1 Вибір оптимального набору сенсорів для покриття приміщень

Покриття площі приміщень матричними температурними сенсорами Omron D6T залежить від типу сенсора (розмір матриці, кут огляду) та геометрії простору. Типи сенсорів та їх приведена площа покриття наведені на рисунку 2.1.

Найбільш поширені моделі – D6T-1A-01, D6T-8L-09 та D6T-44L-06, які мають відповідно 1, 8 і 16 температурних зон. Наприклад, сенсор D6T-44L-06 з матрицею 4×4 охоплює кут до 60° , що дозволяє ефективно покрити ділянку розміром до 3×3 м, за умови що сенсор буде розташований на висоті 2,5 м. Для невеликих кімнат площею до 10–15 м² достатньо одного такого сенсора, розташованого на стелі в центрі. Якщо площа або конфігурація приміщення ускладнює огляд, можливе встановлення двох сенсорів із частковим перекриттям зон.

Для приміщень середньої площі, 20–40 м², доцільно використовувати від 2 до 4 сенсорів D6T-44L-06 або D6T-8L-09, розміщених рівномірно по стелі. При цьому важливо враховувати кут огляду, щоб уникнути «сліпих зон» – неохоплених ділянок. В умовах відкритих приміщень або кімнат з високими стелями варто розміщувати сенсори ближче до зон перебування людей (наприклад, робочі столи, проходи). Також важливо зважати на обме-

ження довжини шини I²C (для сенсора) і використовувати окремі мікроконтролери з обробкою локальних даних і передачею їх через RS-485. Такий підхід забезпечить масштабованість системи без втрати якості вимірювання.

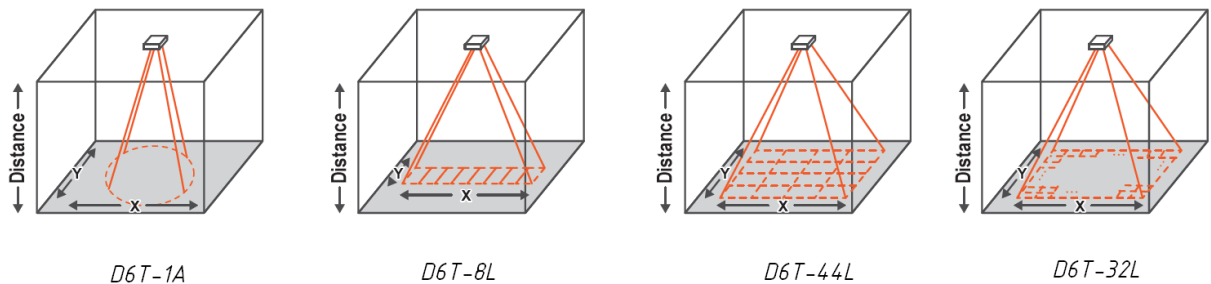


Рисунок 2.1 – Типи сенсорів та їх приведена площа покриття

Для великих приміщень площею до 60 м², особливо зі складною геометрією або поділом на функціональні зони, може знадобитися 5–6 сенсорів, які формують повноцінну теплову карту. У таких випадках бажано застосовувати комбінацію сенсорів D6T-44L-06 та D6T-8L-09, орієнтуючись на щільність вимірювань у критичних зонах. Рекомендується зональне охоплення зі встановленням кожного сенсора в межах приблизно 9–12 м². Загалом, оптимальним рішенням для системи контролю температури є модульна побудова з урахуванням покриття, кута огляду та просторового розміщення. Таким чином, можна досягти високої точності вимірювання без надлишкового дублювання.

Оптимальна висота встановлення матричних сенсорів Omron D6T визначається їхнім кутом огляду, кількістю вимірювальних пікселів та розміром зони покриття (таблиця 2.1). Сенсори з меншим кутом огляду, наприклад D6T-1A-01 (26,5°), призначені для точкового вимірювання й встановлюються на відстані до 1 м від об'єкта. Натомість матричні сенсори, як-от D6T-44L-06 (60,0°×60,0°) або D6T-8L-09 (54,5°×5,5°), призначені для огляду площі й встановлюються на висоті від 2 до 3 метрів, залежно від конфігурації приміщення. Чим вища точка встановлення – тим більшу площу сенсор покриває,

але знижуються деталізація й точність розпізнавання дрібних температурних змін.

Для більшості побутових та офісних приміщень з висотою стелі 2,4–2,7 м найефективніше встановлювати D6T-44L-06 на висоті 2,5 м, що дає площу покриття близько 3×3 м. У випадку високих стель або потреби у спостереженні великих зон доцільне встановлення сенсорів D6T-8L-09 з вузьким вертикальним кутом огляду, наприклад на висоті 2–2,5 м над зоною проходу чи робочим місцем. При цьому важливо уникати перекриття поля зору сторонніми об'єктами (світильники, балки тощо). Для підвищення точності у великих приміщеннях сенсори варто комбінувати та розміщувати на регульованих кріпленнях із можливістю корекції кута нахилу.

Таблиця 2.1 – Висота встановлення сенсорів

Модель сенсора	Кут огляду (гор./верт.)	Висота встановлення, м	Орієнтовна площа покриття, м ²	Призначення
D6T-1A-01	26,5° × 26,5°	0,5–1	~0,5	Точкове вимірювання
D6T-8L-09	54,5° × 5,5°	2–2,5	~2×0,3	Лінійне покриття (проходи)
D6T-44L-06	60° × 60°	2,5	~3×3 (9 м ²)	Зональне покриття (кімнати)
D6T-32L-01A	90° × 90°	2,5–3	~4×4 (16 м ²)	Високодетальне зонування

У висновку можна прийти до наступних міркувань:

- а) для приміщень до 15 м² - 1 сенсор D6T-44L-06;
- б) для приміщень від 20 до 40 м² – 2 або 4 сенсори D6T-44L-06 або D6T-8L-09;
- в) для приміщень від 40 до 60 м² – 5 або 6 сенсорів з комбінуванням моделей для гнучкого охоплення.

Такий підхід забезпечує повноцінне температурне зонування з оптимальним використанням ресурсів.

2.2 Обмеження периферійного інтерфейсу I²C

Інтерфейс I²C (Inter-Integrated Circuit) [12] розрахований на короткі відстані та використовується переважно для з'єднання компонентів на одній друкованій платі або в межах 0,3–0,5 м. Він базується на двох дротах (SDA і SCL) і вимагає низької ємності та опору лінії, що забезпечується короткими з'єднаннями (табл. 2.2). При спробі передавати сигнали на відстань понад 1 м виникає деградація сигналу, що особливо критично при швидкостях понад 100 кГц. Для з'єднань на відстані 10 м стабільна робота I²C практично неможлива без спеціальних підсилювачів або перетворювачів.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики оригінального інтерфейсу I²C

Параметр	Значення
Кількість ліній	2 (SDA – дані, SCL – тактова частота)
Метод комунікації	Головний-підлеглий
Швидкість передачі	100 кГц, швидка (400 кГц), інші
Максимальна довжина шини	~0,3–0,5 м (без буферів/повторювачів)
Кількість підключених пристроїв	До 127 (за адресацією), обмежено ємністю
Визначення пристроїв	7-бітна або 10-бітна адресація
Рівні сигналів (типові)	3,3 В або 5 В (в залежності від пристроїв)
Захист від перешкод	Низький — інтерфейс чутливий до шумів
Тип лінії	Open-drain із резисторами підтяжки

Оскільки всі модулі Omron D6T підтримують лише інтерфейс I²C, підключення кількох таких сенсорів до одного мікроконтролера на великій відстані є технічно складним. У типових умовах (без додаткових засобів) підключити навіть 2–3 сенсори через 1–2 м дротів уже може спричинити проблеми з передачею сигналу. Крім того, більшість сенсорів Omron мають фіксовану I²C-адресу, що ускладнює підключення кількох однакових модулів до

однієї шини без мультиплексорів адрес. Такі обмеження роблять I²C малопридатним для створення просторово-рознесеної системи збору інформації про температуру в межах великого приміщення.

Таблиця 2.3 – Порівняння стандартного інтерфейсу I²C і інтерфейсу реалізованого в сенсорах Omron

Характеристика	Стандартний I ² C	I ² C в сенсорах Omron D6T
Кількість ліній	2 (SDA, SCL)	2 (SDA, SCL)
Напруга живлення	3,3 В або 5 В	3,3 В або 5 В (залежно від моделі)
Швидкість передачі	100 кГц / 400 кГц / 1 МГц	100 кГц (Standard Mode)
Максимальна довжина лінії	~0,3–0,5 м (без буферів)	до 0,2–0,3 м (рекомендовано виробником)
Кількість пристроїв на шині	До 127 (теоретично)	Обмежено через фіксовану адресу
Адресація	7-бітна або 10-бітна	7-бітна (зазвичай фіксована, не змінюється)
Тип сигналу	Open-drain, потребує резисторів підтяжки	Open-drain, потребує зовнішніх резисторів
Стійкість до перешкод	Низька	Низька (не рекомендується для довгих кабелів)
Підтримка мультипристроїв	Так (при різних адресах або через мультиплексор)	Потрібен мультиплексор або зовнішній комутатор
Призначення	Загального призначення	Передача температурних даних

Рациональним варіантом у такій ситуації є використання децентралізованої архітектури: кожен сенсор підключається до локального мікроконтролера (наприклад, ATmega48), який здійснює зчитування по I²C, а далі передає оброблені дані по RS-485 із використанням протоколу Modbus RTU. Це дозволяє передавати дані на відстань до 1200 м, забезпечуючи стійкість до завад та можливість з'єднання до 32 пристроїв на одній лінії. Такий підхід дає змогу масштабувати систему, забезпечити модульність та централізовано ке-

рувати збором даних. Крім того, застосування адресного протоколу Modbus спрощує обробку інформації з кожного сенсорного вузла.

2.3 Перетворення I²C в USART

Перетворення інтерфейсу I²C у USART (UART) необхідне в тих випадках, коли є потреба передавати дані з сенсорів, що використовують I²C (наприклад, Omron D6T), на більші відстані або через інші цифрові системи, які працюють з UART/RS-485. Стандартний I²C не підтримує надійну передачу даних на відстань понад 0,5 м через чутливість до перешкод і обмеження ємності лінії. Одним зі способів вирішення цієї задачі є використання мікроконтролера, який прийматиме дані з I²C і передаватиме їх по UART/USART.

Альтернативою мікроконтролеру можуть бути готові мікросхеми-перетворювачі протоколів, але вони майже не представлені в сегменті I²C → UART. Більшість спеціалізованих чипів на ринку працюють у зворотному напрямку – UART → I²C або SPI (наприклад, SC16IS750). Тому на практиці реалізація перетворення I²C → UART за допомогою мікроконтролера є найбільш гнучким та доступним варіантом. Вона дозволяє не лише передавати «сирі» дані, а й виконувати попередню обробку або формування Modbus-фреймів.

Серед мікроконтролерів Atmel (тепер Microchip) оптимальним варіантом за розмірами та функціональністю є ATtiny202 або ATtiny204. Вони мають підтримку як I²C (TWI), так і USART, при цьому реалізовані у компактному корпусі SOIC-8 або VQFN-14. Наприклад, ATtiny202 має лише 8 виводів, із яких достатньо виділити 2 для I²C, 2 для USART (TX, RX), 1 – для RESET і 2 – для живлення. Завдяки використанню нової AVR-архітектури з низьким споживанням ці мікроконтролери добре підходять для автономних модулів.

Для перетворення сигналів I²C у USART доцільно використовувати мікроконтролери ATtiny202/204, які поєднують компактність, низьке енерго-

споживання та наявність необхідних інтерфейсів. Готових окремих чипів-перетворювачів I²C → UART практично немає, тож програмована мікросхема – єдине універсальне та масштабоване рішення. Такий підхід дозволяє інтегрувати до системи будь-які I²C-сенсори з мінімальними витратами та гнучкістю в обробці даних.

2.4 Перетворення USART в RS-485

Для перетворення UART у RS-485 найбільш оптимальною за співвідношенням ціна-якість є мікросхема MAX485. Це добре відомий трансивер, який підтримує напівдуплексну передачу даних, працює від живлення 5 В і має низьке енергоспоживання. MAX485 є доступним, широко підтримується програмними бібліотеками та має просте підключення, що робить його популярним у вбудованих системах.

Серед основних аналогів MAX485 можна виділити SN65HVD12, SP3485 та ADM485. Дані зведені до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Аналоги MAX485

Модель	Живлення	Швидкість передачі	Захист від ESD	Діапазон температур	Примітки
MAX485	5 В	до 2.5 Мбіт/с	Немає	0...+70°C	Найдешевший, простий, поширений
SN65HVD12	3.3 – 5 В	до 1 Мбіт/с	±15 кВ (IEC61000)	–40...+85°C	Високий захист, стабільна робота в полі
SP3485	3.3 В	до 10 Мбіт/с	±15 кВ (HBM)	–40...+85°C	Високошвидкісний, надійний
ADM485	5 В	до 5 Мбіт/с	±15 кВ (IEC1000)	–40...+85°C	Надійний, промислова якість

Всі ці мікросхеми мають схожий функціонал, однак відрізняються рівнем захисту, робочим діапазоном температур і стабільністю на високих швидкостях. Якщо критичними є умови роботи або потрібно забезпечити більшу стійкість до перешкод, варто розглядати SN65HVD12 або ADM485, хоча вони дорожчі за MAX485.

MAX485 – найкращий вибір для типових умов, коли головна мета – мінімізувати вартість. Якщо ж потрібна надійність у складних умовах (довгі кабелі, зашумлене промислове середовище), краще обрати SN65HVD12 або SP3485, які мають вищу стійкість до перешкод і ширший температурний діапазон.

На ринку представлені готові рішення у вигляді пристроїв зібраних на друкованих платах з роз'ємами, які дозволяють виконати швидкий монтаж без необхідності забезпечення паяного з'єднання. Найпростіші перетворювачі зібрані на мікросхемах MAX485. Для прикладу на рисунку 2.2 представлений зовнішній вигляд перетворювача TTL → RS-485 MAX485-MODUL.

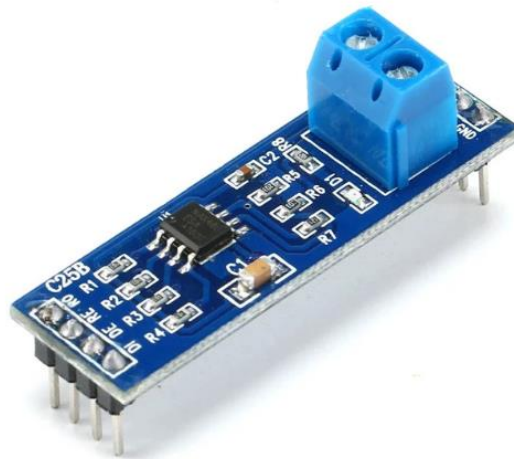


Рисунок 2.2 – Перетворювач інтерфейсів TTL → RS-485 (зовнішній вигляд)

Принципова схема перетворювача інтерфейсів наведена на рисунку 2.3. Серед іншого можна відмітити той факт, що в якості термінального резистора використовується резистор R7 номіналом 120 Ом, який забезпечує в біль-

ром відбувається через інтерфейс RS-485, що забезпечує надійну передачу даних навіть на великих відстанях. Така структура дозволяє легко додавати нові приміщення без серйозних змін в апаратній або програмній частині системи.

Усередині кожного модуля до мікроконтролера підключаються до 8 сенсорів Omron D6T-44L, які забезпечують детальну температурну мапу простору. Оскільки сенсори мають I²C-інтерфейс, який не підтримує великі відстані та кілька пристроїв з однаковими адресами, кожен сенсор оснащується двоступеневим перетворенням інтерфейсу: спочатку I²C в UART, а потім UART у RS-485. Це дозволяє створити мережу сенсорів у межах одного приміщення з використанням надійного з'єднання. Для цього застосовуються мікроконтролери типу ATtiny (наприклад, ATtiny202) як локальні перетворювачі.

На рівні підсистеми кожного приміщення всі сенсори об'єднуються в локальну RS-485 шину, з якої дані надходять до ATmega48. Контролер модуля аналізує дані, формує локальну температурну модель приміщення та передає зведену інформацію до головного контролера або вищого рівня системи. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на центральний блок і зосередити обробку безпосередньо в місці збору даних. Крім того, це знижує вимоги до пропускну здатності загальної RS-485 шини між модулями.

Кожен модуль має уніфіковану архітектуру та програмне забезпечення, що забезпечує просте додавання нового модуля в мережу, використовуючи лише унікальну адресу на Modbus. Мікроконтролер ATmega48 має достатньо ресурсів для обробки протоколу Modbus RTU, збору даних від декількох сенсорів та реалізації логіки прийняття рішень (наприклад, для керування вентиляцією або опаленням). В якості трансивера RS-485 рекомендується використовувати мікросхеми типу MAX485 або SN65HVD12, які забезпечують стабільну роботу у промислових умовах. Усі з'єднання в мережі мають бути реалізовані за допомогою витої пари з термінаторами на кінцях лінії.

Для централізованого контролю система може бути підключена до вищого рівня (наприклад, SCADA, HMI, PLC) або вбудованого одноплатного комп'ютера (типу Raspberry Pi), який працює як Modbus Master. Всі модулі приміщень у цьому випадку виступають як Modbus Slave. Центральний вузол має змогу не лише отримувати температурні дані, але й керувати режимами роботи окремих модулів або подавати тривожні сигнали у разі відхилення від норми. Комунікаційна шина RS-485 дозволяє з'єднувати модулі на відстані до 1000 м.

Запропонована структура системи (додаток Б) є масштабованою, стабільною та придатною для розгортання в об'єктах різного розміру та призначення. Використання модульної архітектури на базі AVR-мікроконтролерів забезпечує простоту реалізації, обслуговування та розширення. Комбінація сенсорів Omron D6T з перетворювачами інтерфейсів $I^2C \rightarrow RS485$ та Modbus-протоколу створює надійний каркас для побудови сучасної системи контролю. Такий підхід дає змогу точно вимірювати розподіл температури та оперативно реагувати на зміни у кожному приміщенні.

2.6 Висновки до другого розділу

В результаті було визначено, що для ефективного покриття приміщень площею від 10 до 60 м² оптимально використовувати від 2 до 8 сенсорів Omron D6T-44L, розміщених на висоті 2–2,5 метра для забезпечення повного охоплення температурного поля. Така кількість сенсорів дозволяє отримати детальну картину розподілу температури та виявляти локальні теплові аномалії. З огляду на обмеження I^2C -інтерфейсу щодо довжини ліній та кількості пристроїв, було обґрунтовано необхідність використання перетворення $I^2C \rightarrow UART \rightarrow RS-485$ для кожного сенсора. Це дозволило забезпечити надійну передачу даних на відстань до 10 метрів і більше.

На основі аналізу запропоновано модульну структуру системи, де один модуль на приміщення побудований на мікроконтролері ATmega48 із підт-

римкою протоколу Modbus RTU через інтерфейс RS-485. До кожного модуля можуть підключатися до 8 сенсорів через локальну мережу RS-485, що забезпечує гнучке масштабування та стабільну роботу. Для перетворення інтерфейсів використано компактні та доступні рішення на базі ATtiny202 і чипів MAX485, що поєднують ефективність і економічність. У підсумку створено надійну, розширювану систему моніторингу температури, придатну для впровадження в різних типах приміщень.

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Реалізувати структуру представлену в другому розділі можна по різному, але для досягнення максимального рівня ефективності системи в цілому необхідно вибрати компоненти, які відповідають заявленим характеристикам і, що не менш важливо, здатні злагоджено працювати один з одним. Також при виборі компонентів не слід забувати і про економічну складову проекту та орієнтуватись на оптимальні рішення з точки зору ціна-якість.

3.1 Вибір компонентів для реалізації системи контролю

В попередньому розділі було визначено, що для реалізації системи контролю доцільно використати сенсори Omron D6T 44L. Це температурні матричні сенсори 4×4. Зовнішній вигляд такого сенсора приведений на рисунку 3.1.

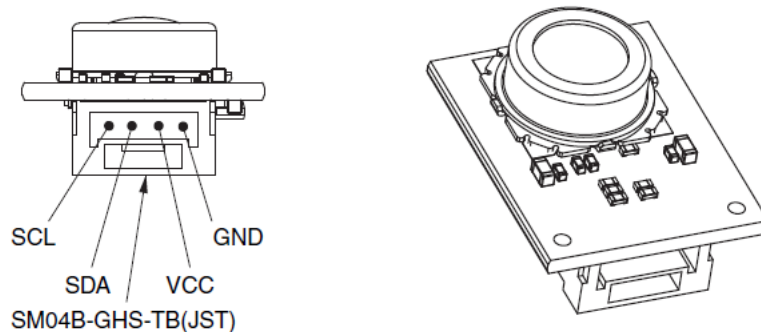


Рисунок 3.1 – Omron D6T 44L

Пристрій оснащений 16-ма незалежними один від одного температурними елементами, підсилювачем та цифровим процесором. Інформація про температуру передається по стандартному периферійному інтерфейсу I²C. Внутрішня будова сенсора наведена на рисунку 3.2.

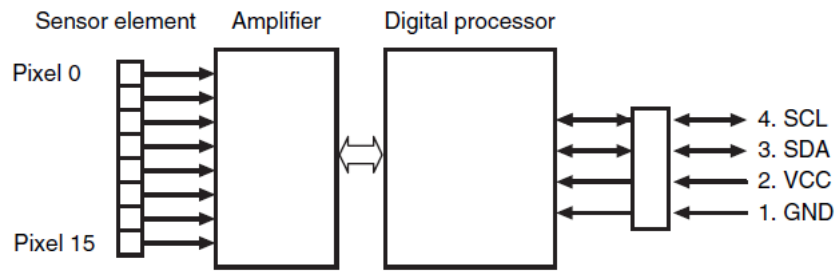


Рисунок 3.2 – Внутрішня будова сенсора Omron D6T 44L

Основні електричні характеристики інтерфейсу зведені до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні електричні характеристики

№	Назва	Призначення
1	GND	GND вивід заземленн
2	VCC	VCC вивід живлення (5 V $\pm$ 10%)
3	SDA	I2C (5 V) вивід даних
4	SCL	I2C (5 V) вивід тактування

Оскільки живлення для живлення сенсора передбачено лише один рівень напруги 5 В схема підключення може бути різною. Беручи до уваги той факт, що сучасні мікроконтролери та інші цифрові пристрої живляться напругою 3.3 В необхідно буде організувати узгодження між рівнями на лініях інтерфейсу. Або жити всі пристрої задіяні в процесі обміну даними одним джерелом живлення з фіксованим значенням рівня напруги, наприклад 5 В.

Для підключення сенсорів Omron передбачено декілька варіантів найпростіший з яких є варіантом з одним рівнем напруги живлення для всіх пристроїв. Рекомендована схема підключення для такого варіанту використання наведена на рисунку 3.3.

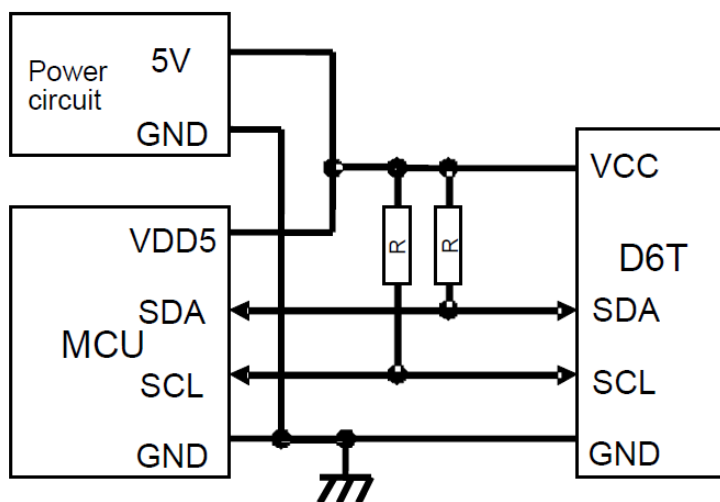


Рисунок 3.3 – Підключення сенсора Omron до мікроконтролера, що живиться напругою 5 В

Для перетворення периферійного інтерфейсу I²C доцільно використати універсальний мікроконтролер оскільки готових рішень на ринку немає. Існують універсальні пристрої здатні забезпечити необхідний функціонал, проте вони в силу своєї універсальності, мають багато додаткових функцій, а це в свою чергу критично збільшує вартість таких пристроїв.

Для вирішення задачі перетворення інтерфейсу достатньо мінімальної обчислювальної потужності і тому можна вибрати Atmel мікроконтролер сімейства Tiny. Для цього підійде ATtiny202 – tinyAVR® 0 мікроконтролер, який використовує AVR® процесор з апаратним помножувачем, що працює на частоті до 20 МГц, з 2/4 КБ Flash, 128/256 байт SRAM і 64/128 байтів EEPROM у 8-, 14- або 20-контактному корпусі. Серія tinyAVR® 0 використовує новітні технології з гнучким, архітектура з низьким енергоспоживанням, включаючи систему подій, точні аналогові функції та незалежні периферійні пристрої. Основні технічні характеристики мікроконтролера ATtiny202 зведені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.2 – Основні технічні характеристики ATtiny202

Параметр	Значення
Ядро	AVR® 8-біт
Макс. тактова частота	20 МГц
Флеш-пам'ять	2 КБ
ОЗП (SRAM)	128 байт
EEPROM	64 байти
Кількість ніжок (пакет)	8 (SOT23 або VDFN)
Напруга живлення	1.8 – 5.5 В
Інтерфейси	I ² C (TWI), UART (USART), SPI
Кількість GPIO	До 6
Таймери	1 × 16-бітний, 1 × 8-бітний
АЦП	10-біт, 8 каналів (залежно від конфігурації)
Температурний датчик	Вбудований
Робочий температурний діапазон	–40°C до +125°C
Споживання енергії	Наднизьке, підтримка режиму сну

Ще однією перевагою є те, що такий мікроконтролер може бути представлений в компактному виконанні 8 виводному корпусі формату SOIC. Цоколювка мікроконтролера ATtiny202 зображена на рисунку 3.4.

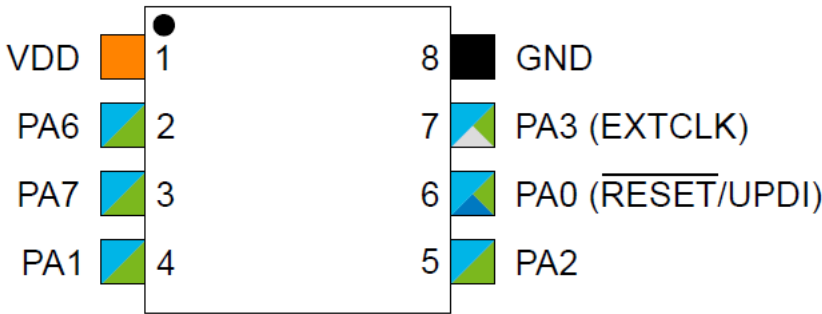


Рисунок 3.4 – Attiny202 розташування виводів

Оскільки кількість виводів в такому виконанні обмежена виводи суміщують декілька функцій, а функціональне навантаження кодується кольором (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Кольорова схема виводів ATtiny202

	Напруга живлення		Програмування/відлагодження
	Заземлення		Тактування
	Вивід в домені живлення VDD		Ціфрова функція виводу
			Аналогова функція виводу

Двопровідний інтерфейс (TWI) – це двонаправлений двопровідний інтерфейс зв'язку (шина) з послідовною лінією даних (SDA) і послідовною лінією синхронізації (SCL). Шина TWI з'єднує один або декілька клієнтських пристроїв з одним або декількома хост-пристроями. Будь-який пристрій, підключений до шини, може діяти як хост, клієнт або і той, і інший.

Хост генерує SCL за допомогою генератора швидкості передачі даних BRG (*англ.* Baud Rate Generator), а ініціює транзакції даних, звертаючись до одного з клієнтів і повідомляючи, чи хоче він передавати або приймати дані. BRG здатний генерувати частоти шини в стандартному режимі і швидкому режимі від 100 кГц до 1 МГц.

TWI виявляє умови запуску і зупинки, колізії на шині і помилки на шині. Втрата арбітражу, помилки, колізії та затримка синхронізації також виявляються і відображаються окремими прапорами стану, доступними як в режимі хоста, так і в режимі клієнта.

TWI підтримує роботу та арбітраж шини з декількома хостами. Схема арбітражу обробляє випадок, коли більше ніж один хост намагається передати дані одночасно. TWI також підтримує інтелектуальний режим, який може автоматично запускати операції і, таким чином, зменшити складність про-

грамного забезпечення. TWI підтримує режим швидкої команди, в якому хост може звертатися до клієнта без обміну даними.

Діаграма інтерфейсу I²C реалізованого в мікроконтролері ATtiny202 приведена на рисунку 3.5.

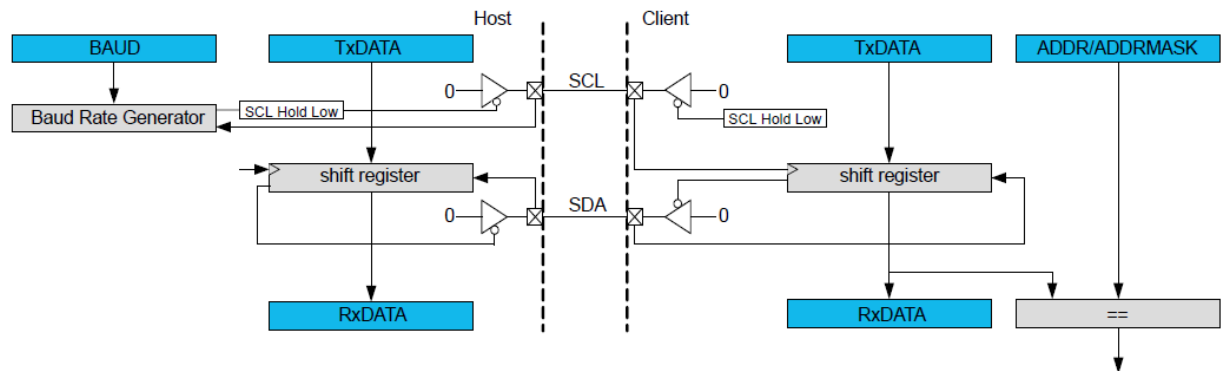


Рисунок 3.5 – Блок-діаграма I²C інтерфейсу ATtiny202

Універсальний синхронний та асинхронний послідовний приймач і передавач (USART) – це швидкий і гнучкий послідовний комунікаційний периферійний пристрій. USART підтримує кілька різних режимів роботи, які можуть відповідати різним типам додатків і комунікаційних пристроїв. Наприклад, однопровідний напівдуплексний режим корисний, коли потрібна низька кількість виводів.

Зв'язок побудований на передаванні кадрів, а формат кадрів можна налаштувати для підтримки широкого спектру стандартів. USART буферизується в обох напрямках, забезпечуючи безперервну передачу даних без затримок між кадрами. Окремі переривання для завершення прийому і передачі дозволяють повністю керувати зв'язком за допомогою переривань.

Передавач складається з дворівневого буфера запису, регістра зсуву та логіки керування для різних форматів кадрів. Приймач складається з дворівневого буфера прийому та регістра зсуву. Інформація про стан отриманих даних доступна на сайті для перевірки наявності помилок. Блоки віднов-

лення даних і синхронізації забезпечують надійну синхронізацію і фільтрацію шумів під час асинхронного прийому даних.

Для перетворення сигналів рівня TTL в стандарт RS-485 зазвичай використовують готові драйвери. Серед існуючих на ринку варіантів найбільш оптимальним за співвідношенням ціна-якість є MAX485 від MAXIM.

MAX485 – це малопотужний приймачі для зв'язку RS-485 і RS-422 в жорстких умовах експлуатації. Кожен вихід драйвера і вхід приймача захищений від сплесків електростатичного розряду (ESD) напругою ± 15 кВ. Пристрій містить один драйвер і один приймач. Швидкість роботи пристрою MAX485 не обмежена, що дозволяє передавати дані зі швидкістю до 2,5 Мбіт/с.

Таблиця 3.4 – Основні технічні характеристики MAX485E

Параметр	Значення
Тип інтерфейсу	RS-485/RS-422 Transceiver (двосторонній)
Кількість водіїв / приймачів	1 водій / 1 приймач (half-duplex)
Напруга живлення (V_{cc})	4.75 В – 5.25 В
Макс. швидкість передачі даних	До 2.5 Мбіт/с
Вхідний опір приймача	≥ 12 кОм
Поріг приймача	-200 мВ / $+200$ мВ (типове значення)
Поглиналий струм у режимі очікування	< 1 μ А (типово)
Захист від ESD	± 15 кВ (Human Body Model, IEC 1000-4-2)
Захист від короткого замикання	Так (усі виходи витримують КЗ до GND до ± 18 В)
Термінальний резистор	Не вбудований – підключається зовнішньо
Робочий температурний діапазон	-40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ (стандартна версія)
Тип корпусу	SOIC-8, DIP-8, μ MAX-8
Призначення	Комунікація по шині RS-485, модульні мережі, промислові системи управління

Розташування виводів та їх функціональне призначення для пристрою MAX485E наведені на рисунку 3.6

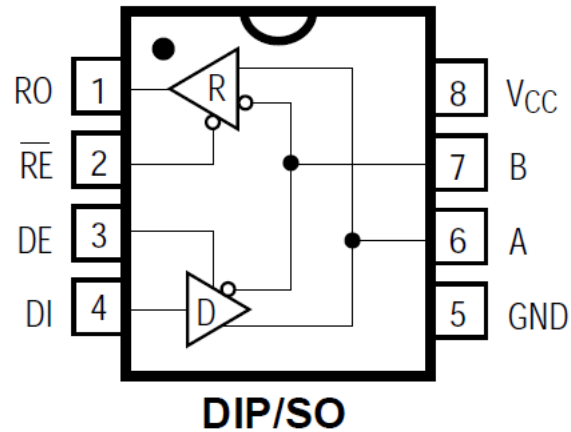


Рисунок 3.6 – Цоколевка MAX485E

Типова схема підключення пристроїв в мережі RS-485 наведена на рисунку 3.7.

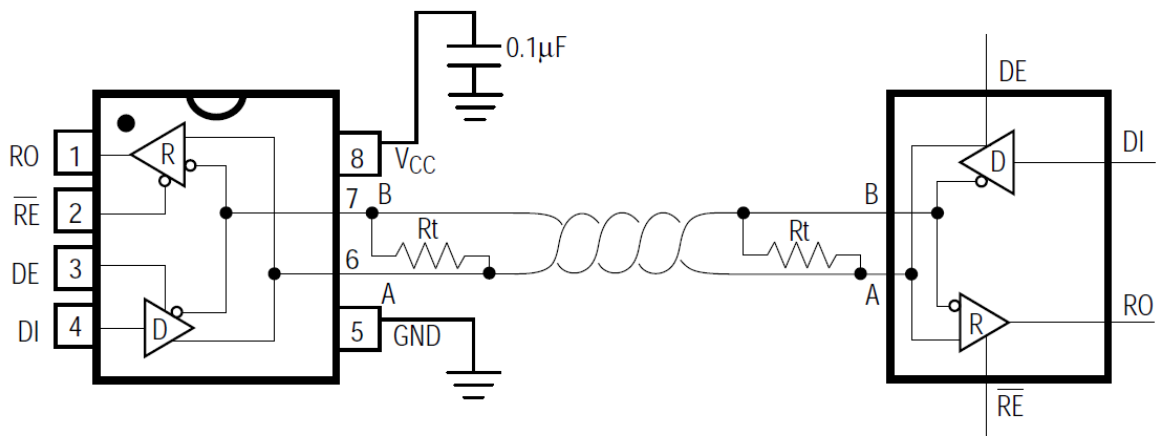


Рисунок 3.7 – Типова схема підключення

За стандартом RS-485 шина має бути прокладена без відгалужень, і на кінцях лінії мають бути термінальні резистори номіналом 100-120 Ом. Топології зірка або кільце не допускаються.

Але якщо швидкість передавання буде не вищою за 115200 біт/с, то перевідбиття від відгалужень і нетермінованих кінців швидко згасають і на роботу не впливають. Можна відходити від стандарту RS-485 без втрати працездатності, але треба чітко розуміти, які характеристики лінії зв'язку мають залишатись в межах визначених значень.

Лінії А і В мають прокладатись витою парою обов'язково. Навіть у щиті на короткі відстані краще використовувати виту пару – силове обладнання може наводити перешкоди.

Загальний дріт (GND) – обов'язково, якщо землі пристроїв різні (живляться від різних БЖ). Можна без нього у випадку, якщо у пристрою ізольований порт RS-485.

Необхідно використовувати екран, проте для невеликих відстаней (до 10 м) за відсутності джерел перешкод екран можна не використовувати.

Відгалуження від шини допускаються за умови, що вони не перевищуватимуть 50 м за швидкості не вище 115200 біт/с.

Термінатори на кінцях лінії за швидкості менше 115200 біт/с можна не використовувати, за швидкості 115200 біт/с – хоча б з одного кінця має бути. Проте на довгих лініях з низькою швидкістю передавання термінатори можуть навіть погіршувати роботу. Якщо контролер під'єднаний до середини шини, то вбудований термінатор потрібно відключити. Як термінатор можна використовувати вивідний резистор 120 Ом.

Для використання в мережах 485 може використовуватись різні варіанти поєднувальних ліній. На ринку представлені готові рішення, як наприклад Belden 3105A або CAT5e (STP). Всі готові кабелі відрізняються своїми характеристиками і звісно ціною. Тому доцільно уважно вивчити варіанти кабелів та зробити висновки про доцільність використання того чи іншого варіанту з'єднувальних кабелів.

В таблиці 3.5 зведені основні характеристики популярних з'єднувальних кабелів для використання в мережах RS-485 на ринку таких як, Belden 3105A, CAT5e (STP) та Alpha Wire 6453.

Таблиця 3.5 – Порівняння основних кабелів представлених на ринку

Характеристика	Belden 3105A	CAT5e (STP)	Alpha Wire 6453
Кількість пар	1 пара	4 пари	1 пара
Опір лінії (100 м)	~85 Ом	~100 Ом	~100 Ом
Тип екранування	Фольга + дренажний провід	Фольга або без екрана (UTP/STP)	Фольга + дренажний провід
Ємність (на 1 м)	43 пФ/м	~50 пФ/м	43 пФ/м
Макс. частота сигналу	до 4 МГц	до 100 МГц (для Ethernet)	до 5 МГц
Робоча напруга	до 300 В	до 125 В	до 300 В
Зовнішній діаметр кабелю	~6.1 мм	~5.5 мм (1 пара)	~5.8 мм
Температурний діапазон	-30°C ... +60°C	-20°C ... +60°C	-40°C ... +80°C
Вартість (орієнтовно)	Вища	Низька	Середня
Призначення	RS-485, промислові системи	Ethernet, бюджетні RS-485 мережі	RS-485, автоматизація

Belden 3105A – найкращий вибір для промислових систем, де важлива надійність і захист від завад натомість CAT5e STP – дешевий і доступний варіант, підходить для побутових або коротких мереж RS-485 і Alpha Wire 6453 – добре збалансований варіант для надійного зв'язку в системах керування, де важливі розміри та гнучкість.

Для офісного середовища з довжиною мережі до 10 метрів оптимальним за ціною і характеристиками буде використання кабелю CAT5e STP. Він забезпечує надійний зв'язок по RS-485, має достатній рівень екранування і гнучкість для монтажу в офісній інфраструктурі. При необхідності можна вибрати пару з крученням найменшого кроку – це зменшить вплив завад ще більше.

Як головний контролер, призначений для збору даних про температуру з матричних сенсорів розташованих в одному приміщенні вибраний контролер ATMEL ATmega48. Цей контролер має достатній рівень обчислювальної

потужності для вирішення задачі збору, обробки та передавання поточкових даних в системі контролю реального часу з низькою швидкістю зміни контрольованого параметру.

3.2 Розробка принципової схеми

Задача розробки принципової схеми за умови, що схема складається здебільшого з готових модулів по суті перетворюється на процес оцінки споживаної потужності системи в цілому. Передбачається, що поєднання модулів в схемі процес тривіальний. Тому визначимо межі споживання типової конфігурації системи для середньої кількості використаних сенсорів, а саме 10 штук.

Детальний розрахунок представлено для такого набору компонентів: 10 сенсорів Omron D6T-44L; 10 перетворювачів I2C-UART на базі ATtiny202; 11 перетворювачів UART-RS-485 на базі MAX485 (один перетворювач встановлюється біля хост-контролера як приймач); 1 хост-контролера на базі ATmega48.

Типове споживання одного сенсору Omron Типу D6T-44L становить $\sim 12 \text{ мА} @ 5 \text{ В}$, для 10 штук становитиме: $10 \times 12 \text{ мА} = 120 \text{ мА}$.

Типове споживання мікроконтролера ATtiny202 в активному режимі $@ 5 \text{ В}$, 10 МГц: $\sim 3\text{--}4 \text{ мА}$. Додатково з UART активністю: $\sim 5 \text{ мА}$. Для 10 штук таких контролерів в складі перетворювачів інтерфейсу: $10 \times 5 \text{ мА} = 50 \text{ мА}$.

Типове споживання MAX485 (UART-RS-485) в активному режимі: $\sim 300\text{--}500 \text{ мА}$ (без навантаження). При активній передачі (driver enabled): до $1200\text{--}1500 \text{ мА}$ ($1.2\text{--}1.5 \text{ мА}$). Для максимальної оцінки: беремо $1.5 \text{ мА} \times 11 = 16.5 \text{ мА}$.

Споживання мікроконтролера ATmega48 в активному режимі становить $@ 5 \text{ В}$, 8 МГц: $\sim 5\text{--}8 \text{ мА}$ (з UART). Для оцінки споживання обираємо граничне значення: 8 мА .

Загальна теоретична оцінка споживання системи буде визначатись як сума значень споживання окремих її вузлів. Рівень споживання окремих вузлів та загальний рівень споживання зведені до таблиці 3.6.

Таблиці 3.6 – Оцінка рівня споживаної потужності

Компонент	Кількість	Струм на одиницю	Загальний струм
Omron D6T-44L	10	12 мА	120 мА
ATtiny202	10	5 мА	50 мА
MAX485	11	1.5 мА	16.5 мА
ATmega48	1	8 мА	8 мА
Разом:			~195 мА

При рівні напруги що становить 5 В споживана потужність буде визначатись як:

$$P = U \times I = 5 \text{ В} \times 0.195 \text{ А} = 0.975 \text{ Вт.}$$

Зменшити рівень споживаної потужності можливо, наприклад, за умови зниження швидкості передавання даних. Зменшення швидкості передавання знижує активність драйверів (MAX485) і споживання ядра мікроконтролера у режимах очікування. Так при швидкості передавання в 9600 бод перетворювач MAX485 може споживати приблизно ~1.0 мА, а мікроконтролер ATtiny202 – до 3.5 мА. За оцінкою MAX485: $11 \times 1 \text{ мА} = 11 \text{ мА}$. ATtiny202: $10 \times 3.5 \text{ мА} = 35 \text{ мА}$, а загальне споживання струму становитиме ~170 мА. Потужність при рівні напруги 5 В становитиме: $5 \text{ В} \times 0.17 \text{ А} = 0.85 \text{ Вт}$.

Хоча рівень споживаної потужності знижується не суттєво не слід забувати про те, що розрахунки проводились для системи, яка забезпечує контроль температури в одному приміщенні. А кількість таких модулів в будівлі може сягати десятків. Тому навіть незначне зменшення споживання в масштабах цілої системи може суттєво зекономити ресурси.

Максимальна потужність споживання системи при 5 В і 115200 бод – приблизно 0.975 Вт. При зниженні швидкості передавання до 9600 бод спо-

живання знижується приблизно до 0.85 Вт. Це дозволяє жити всю систему від одного джерела 5 В 500 мА (у мінімальній конфігурації) або 1 А – з запасом.

Для живлення системи на основі 10 сенсорів Omron D6T-44L та супутньої електроніки доцільно використовувати компактне та надійне промислове імпульсне джерело живлення з вихідними параметрами 5 В / 1 А. Одним з оптимальних варіантів є модель Mean Well HDR-15-5 – це надійне джерело серії що кріплюся на DIN-рейку з вихідною потужністю 15 Вт, що забезпечує стабільні 5 В при струмі до 2.4 А, з великим запасом для живлення та розширення системи. Пристрій має вбудований захист від короткого замикання, перевантаження та перенапруги, що підвищує загальну надійність системи. Крім того, Mean Well є перевіреним виробником у сфері промислових блоків живлення з сертифікатами відповідності стандартам безпеки. Загальний вигляд та габарити HDR-15-5 наведені на рисунку 3.8.

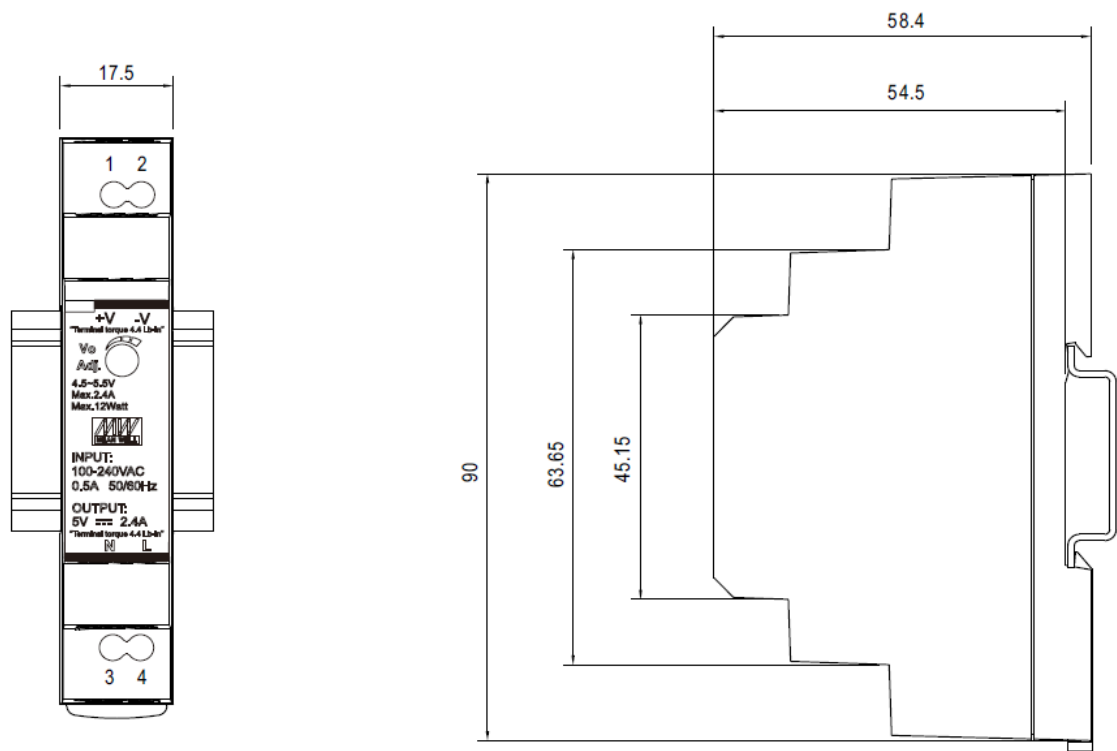


Рисунок 3.8 – Mean Well HDR-15-5 зовнішній вигляд та габарити

Основні технічні характеристики Mean Well HDR-15-5 зведені до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Основні технічні характеристики Mean Well HDR-15-5

Параметр	Значення
Модель	Mean Well HDR-15-5
Тип	Імпульсне джерело живлення на DIN-рейку
Вихідна напруга	5 В DC
Максимальний вихідний струм	2.4 А
Максимальна вихідна потужність	15 Вт
Вхідна напруга	85–264 В AC / 120–370 В DC
ККД (ефективність)	~79%
Захисти	Від КЗ, перевантаження, перенапруги
Клас ізоляції	Клас II
Розміри (Ш×В×Г)	17.5 × 90 × 54.5 мм
Монтаж	DIN-рейка (35 мм)
Робоча температура	-30°C...+70°C
Сертифікація	CE, EAC, UL

Використання саме цього джерела забезпечує резерв потужності, що дозволяє підключати додаткові модулі без заміни джерела живлення. Кріплення на DIN-рейку полегшує монтаж у стандартних електрошкафах або корпусах з розподільною автоматикою. Наявність сертифікатів CE та EAC робить джерело придатним для промислового застосування відповідно до вимог технічного регламенту. У підсумку, Mean Well HDR-15-5 – це оптимальне рішення за співвідношенням надійність, функціональність і ціна для живлення системи контролю температури з використанням Omron D6T.

3.3 Висновки до третього розділу

Як центральний вузол контролю обрано ATmega48, що має достатню кількість портів введення/виведення, підтримку UART та енергоефективну

архітектуру AVR для стабільної обробки даних від до 16 модулів. Живлення всієї системи забезпечує джерело Mean Well HDR-15-5, яке має вихідну потужність до 15 Вт, кріплення на DIN-рейку, та сертифікати CE й EAC, що гарантує безпечну експлуатацію в умовах електротехнічних шаф. Обрані компоненти не лише сумісні за електричними характеристиками, а й мають оптимальне співвідношення ціна-якість, що робить їх доцільним вибором для масштабованої та надійної системи. Загалом, сформована конфігурація дозволяє гнучко розширювати систему до потрібної кількості модулів без суттєвого ускладнення топології або програмного забезпечення.

Для перетворення інтерфейсу I2C у UART використано мікроконтролери ATtiny202, які мають малу кількість виводів, низьке енергоспоживання та підтримку апаратного UART, що суттєво спрощує реалізацію. У свою чергу, мікросхема MAX485E обрана для формування інтерфейсу RS-485 завдяки високій надійності, ESD-захисту та промисловому діапазону живлення.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розробка програмного забезпечення це складний комплексний процес, який на стадії відлагодження стає ще й ітераційним. Проте, якщо притримуватись певних загальноприйнятих методів розробка програмного забезпечення стає зрозумілим та логічним процесом з передбачуваним результатом. Тому приступаючи до написання коду програми необхідно вивчати досвід професіоналів, інженерів програмістів, щоб не робити очевидних помилок і не витрачати на їх виправлення зайвих зусиль і час.

4.1 Розробка алгоритмічного забезпечення

Процес розробки алгоритму роботи системи контролю температури з використанням матричних сенсорів Omron D6T потребує ретельного підходу, зважаючи на вимоги до стабільності, точності та роботи в умовах можливих промислових завод. Алгоритм має забезпечити послідовне опитування до восьми сенсорів у кожному модулі з подальшою передачею отриманих даних через інтерфейс RS-485 на центральний контролер. Для цього необхідно реалізувати ініціалізацію інтерфейсів UART, I²C та протоколу Modbus, обробку таймерів та подій з урахуванням часу опитування, затримок і відмов. Оскільки пристрій може працювати в умовах підвищеного шуму, необхідно передбачити обробку помилок CRC, таймаутів передачі та повторні спроби читання даних із сенсора. Важливо також впровадити контроль логіки роботи системи – наприклад, перевірку на адекватність зчитаних значень та тимчасову фільтрацію «викидів» або артефактів.

Алгоритм реалізується на основі станів (state machine) [15, 16], що дозволяє гнучко керувати переходами між ініціалізацією, опитуванням сенсорів, обробкою даних, передачею та очікуванням. Кожен стан має відповідні підумови та дії: наприклад, у стані «ОЧІКУВАННЯ» виконується тайм-аут між циклами опитування, тоді як у стані «ЗБІР ДАНИХ» ініціюється переда-

ча команд I²C і контроль наявності відповіді. Для запобігання блокуванням застосовуються конструкції «watchdog timeout» та обробка виключень у разі зависання або втрати зв'язку. Після отримання масиву температур з кожного сенсора дані фільтруються та нормалізуються у відповідному модулі з використанням експоненціального згладжування або середнього арифметичного. Підготовлені дані передаються по RS-485 за протоколом Modbus RTU у форматі регістрів, що дає змогу легко інтегрувати систему в більші SCADA-структури.

З технічної точки зору, у прошивці мікроконтролера застосовуються конструкції циклів (for, while) для організації послідовного опитування сенсорів, умовні оператори (if, switch) для обробки станів, таймери для реалізації інтервального опитування та таймаутів. Важливою частиною є реалізація пріоритетної обробки переривань, особливо для UART і таймерів, щоб забезпечити точність у часі та швидку реакцію на події. Збереження критичних даних (наприклад, останніх успішно зчитаних температур) у енергонезалежну пам'ять або оперативну з буферизацією допомагає відновити стабільну роботу після збоїв. Крім того, важливою складовою є валідація даних на рівні центрального вузла, де можуть застосовуватись складніші логічні алгоритми, зокрема виявлення трендів, аномалій та тригери на перегрів. Завдяки модульній структурі, алгоритм легко масштабується для більших систем і може бути адаптований під специфічні умови експлуатації.

Схема роботи програми головного контролера для збору та передавання даних наведена в додатку Б.

4.2 Розробка програмного забезпечення

На першому етапі розробки необхідно визначити функціональні та нефункціональні вимоги. До основних належать: зчитування температурних матриць із сенсорів, передача даних по мережі RS-485, підтримка протоколу Modbus RTU. Система має бути стабільною, масштабованою і здатною пра-

цювати в режимі реального часу. Для цього обирається мікроконтролер ATmega48 завдяки його низькому енергоспоживанню, достатньому обсягу пам'яті та підтримці інтерфейсу UART. Мовою програмування обрано C, як оптимальну для вбудованих систем через прямий контроль апаратних ресурсів.

Кожен модуль (сенсор + мікроконтролер) зчитує дані з Omron D6T через I²C. Потім ці дані обробляються мікроконтролером і передаються по мережі RS-485 у форматі Modbus. Один головний пристрій (мастер) опитує всі 16 пристроїв (слейвів) у мережі. Ідентифікація вузлів здійснюється за допомогою унікальних Modbus-адрес. Такий підхід дозволяє легко масштабувати систему без зміни архітектури програмного забезпечення.

Для програмування мікроконтролера ATmega48 рекомендовано використовувати AVR-GCC або Atmel Studio. Ці середовища забезпечують повну сумісність із платформою AVR і дозволяють легко відлагоджувати код. Використання C-мови тут забезпечує контроль над розміщенням пам'яті та ефективність роботи з регістрами. Крім того, з C легше створити оптимізований, портований і стабільний код. Це критично важливо при роботі з обмеженими ресурсами мікроконтролера.

Оскільки Omron D6T підключається через шину I²C, першим етапом кодування є створення бібліотеки для взаємодії з I²C. Бібліотека включає функції ініціалізації шини, зчитування даних з адреси сенсора, перевірки АСК/НАСК та обробки помилок. Для ATmega48 використовується апаратна підтримка TWI (Two-Wire Interface), що значно спрощує реалізацію. Програмування на C дозволяє писати низькорівневий код, що забезпечує високу стабільність та швидкодію при обробці сигналів. Для багатомодульної системи важливо забезпечити надійну синхронізацію доступу до шини.

Сенсори Omron D6T видають набір температурних значень (наприклад, 16 байт для 4×4 матриці). Для зчитування даних потрібно надіслати команду читання по I²C, а потім зчитати фрейм температур. Значення обробляються у вигляді 16-бітних чисел і переводяться в °C згідно специфікації сенсора. Ці

дані тимчасово зберігаються в буфері пам'яті ATmega48. Після обробки, вони формуються в структуру, готову до передачі по Modbus.

Програмне забезпечення повинно виконувати фільтрацію шумів та усереднення, щоб уникнути псевдоперепадів температури. Наприклад, можна використовувати ковзне середнє або медіанний фільтр. Також варто реалізувати порогове сповіщення про аномальні температури. Це дозволяє розширити функціональність системи, зробивши її не лише вимірювальною, а й реактивною. Такі алгоритми ефективно реалізуються мовою C із використанням структур та масивів.

На апаратному рівні зв'язок реалізується через UART, з використанням модуля MAX485 як трансивера. На програмному рівні реалізується буфер обміну, контроль передавача/приймача (керування DE/RE піном) і обробка таймінгу. RS-485 дозволяє підключити багато вузлів у шину, що відповідає вимогам масштабованості. Для ефективної реалізації важливо точно контролювати часові інтервали передачі та уникати конфліктів. У C це можливо за допомогою таймерів та переривань.

Modbus RTU – простий, надійний та широко підтримуваний протокол. Реалізація полягає у формуванні кадрів згідно зі стандартом: адреса пристрою, функціональний код, дані та CRC. Мікроконтролер повинен вміти відповідати на запити master-пристрою (наприклад, запит на читання регістрів). Для кожного сенсора створюється набір регістрів, що представляють виміряні температури. Завдяки мові C легко реалізувати структури для мапування цих регістрів.

Створюється структура, в якій кожному елементу масиву відповідає конкретне значення температури. Наприклад, регістри 0x0000–0x000F можуть зберігати температуру з кожного пікселя матриці. Значення передаються у форматі 16-біт (2 байти), як це передбачено протоколом. Цей підхід дозволяє легко інтегрувати систему в SCADA або інші промислові платформи. Програмування на C спрощує організацію регістрів і реалізацію логіки доступу до них.

Основний цикл програми організовується як нескінченний `while(1)` з розгалуженнями на таймери, переривання UART, та зчитування даних із сенсора. Важливо, щоб обробка запитів не переривала критичні операції I²C або UART. Застосовуються переривання для прийому запитів, а основний цикл виконує обробку і формує відповіді. Така побудова гарантує стабільну роботу в реальному часі. Завдяки мові C, реалізація переривань та оптимізація роботи з регістрами не є складною.

Для роботи з протоколом Modbus критично важливо дотримуватись часових інтервалів між байтами та кадрами. Використовується таймер для контролю пауз (наприклад, 3.5 символи згідно специфікації Modbus). Для цього можна використати вбудовані таймери ATmega48 із налаштуванням під системну частоту. Такий підхід дозволяє чітко відокремлювати кадри без помилок. На мові C можливо реалізувати точні таймери без потреби в RTOS.

Спочатку програмне забезпечення тестується на одному модулі з одним Omron D6T. Здійснюється перевірка зчитування по I²C, правильності температур, обробки та відповіді по Modbus. Тестування проводиться з використанням Modbus master (наприклад, ModScan або Modbus Poll) з ПК. Також проводиться перевірка стійкості до втрат кадрів та обриву лінії. При виявленні помилок вносяться корекції на рівні таймінгів та форматів даних.

4.3 Розробка програми перетворювача I²C в UART

Основна ідея функціонування програми перетворювача полягає в наступному: У головному циклі (`main`) періодично перевіряється наявність даних у `i2c_rx_buffer`, після чого ці дані передаються через `uart_send_byte()`. Цей підхід дозволяє працювати на високій швидкості (115200 бод) без втрати даних завдяки використанню буферів і апаратних переривань.

Приклад функції `main()` для мікроконтролера ATtiny202, який: ініціалізує інтерфейси I²C (TWI) та UART; у головному циклі перевіряє, чи є нові

дані в буфері, прийнятому по I²C; надсилає ці дані по UART з використанням буферизованої передачі через переривання.

```
int main(void) {
    // Ініціалізація
    i2c_init();
    uart_init();
    sei(); // Увімкнення глобальних переривань
    while (1) {
        // Перевірка наявності нових даних у буфері прийому I2C
        if (i2c_rx_head != i2c_rx_tail) {
            uint8_t data = i2c_rx_buffer[i2c_rx_tail];
            i2c_rx_tail = (i2c_rx_tail + 1) % I2C_BUFFER_SIZE;

            // Надсилання отриманих даних по UART
            uart_send_byte(data);
        }
    }
}
```

Налаштування буферів у реалізації перетворювача I²C → UART виконано за допомогою кільцевих (циклічних) буферів фіксованого розміру. Для кожного інтерфейсу – I²C (TWI) і UART – створено окремі буфери прийому та передачі, реалізовані як масиви з покажчиками на «голову» та «хвіст». При надходженні байтів через I²C переривання TWI0_vect зберігає дані у відповідний буфер, а передача по UART виконується з буфера за допомогою переривання USART0_DRE_vect. Така структура дозволяє організувати асинхронну, безпечну передачу даних між інтерфейсами навіть за умови високої частоти запитів (до 115200 бод).

Розмір буферів визначається макросами, наприклад `#define UART_BUFFER_SIZE 64`, що дозволяє легко масштабувати код під конкретну задачу. Використання кільцевих буферів мінімізує затримки та дозволяє зберігати дані без втрати навіть при короткочасних затримках з боку одного з інтерфейсів. Такий підхід забезпечує оптимальну продуктивність і стабіль-

ність при малій апаратній складності та малому об'ємі пам'яті мікроконтролера. У підсумку, реалізований механізм буферизації дозволяє ефективно поєднати два різні інтерфейси та гарантувати стабільну роботу у системах з високими вимогами до надійності.

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>

#define UART_BUFFER_SIZE 64
#define I2C_BUFFER_SIZE 64

volatile uint8_t i2c_rx_buffer[I2C_BUFFER_SIZE];
volatile uint8_t i2c_rx_head = 0, i2c_rx_tail = 0;

volatile uint8_t uart_tx_buffer[UART_BUFFER_SIZE];
volatile uint8_t uart_tx_head = 0, uart_tx_tail = 0;

void uart_start_transmission(void);
```

Обробка переривань по I²C (TWI) в запропонованому коді реалізована у векторі TWI0_TWIS_vect, що відповідає за режим роботи мікроконтролера як slave. Після перевірки прапора TWI_SRX_hasReceivedAddress(), мікроконтролер розпізнає запит від master-пристрою та переходить до прийому або передачі даних залежно від встановленого напрямку. Коли від master надходить байт, функція TWI_SRX_dataReceived() сигналізує про його наявність, і обробник зчитує його з регістра, додаючи в буфер передачі UART. При завершенні передачі або прийому встановлюється прапор TWI_SRX_stopReceived(), що дозволяє очистити або оновити стан буфера.

Цей підхід дозволяє точно синхронізувати I²C-зв'язок без потреби постійного опитування стану шини, що особливо важливо при роботі в умовах обмежених ресурсів. Переривання забезпечують мінімальні затримки реакції на події, що дає змогу ефективно працювати навіть з високою частотою звернень з боку master-пристрою. Крім того, структура коду дозволяє масштабу-

вати логіку обробки, наприклад, для підтримки кількох типів команд або протоколів поверх I²C. У підсумку, використання переривань разом із кільцевими буферами дозволяє створити надійний і реальний у впровадженні перетворювач інтерфейсів, придатний для вбудованих систем із суворими вимогами до точності й швидкодії. Код функції обробника переривань по інтерфейсу I²C наведений нижче.

```
ISR(TWIO_TWIS_vect) {
    if (TWIO.SSTATUS & TWI_APIF_bm) {
        if (TWIO.SSTATUS & TWI_DIR_bm) {
            // Master wants to read, do nothing
        } else {
            // Master write -> receive
            uint8_t data = TWIO.SDATA;
            uint8_t next = (i2c_rx_head + 1) % I2C_BUFFER_SIZE;
            if (next != i2c_rx_tail) {
                i2c_rx_buffer[i2c_rx_head] = data;
                i2c_rx_head = next;
            }
        }
        TWIO.SCTRLB = TWI_SCMD_RESPONSE_gc;
    }
}
```

Обробка переривань по UART виконується через два основні вектори – один для прийому (USART0_RXC_vect), інший для передавання (USART0_DRE_vect). При надходженні байта з UART-порту, переривання прийому автоматично зчитує його з регістра USART0.RXDATAL та зберігає у кільцевий буфер прийому (uart_rx_buffer), оновлюючи індекси буфера. Таким чином забезпечується безперервний прийом даних на високій швидкості (до 115200 бод) без втрати інформації. Передавання даних виконується по перериванню DRE (Data Register Empty), що активується, коли передавальний регістр порожній.

У цьому перериванні дані з буфера передавання (uart_tx_buffer) по черзі передаються в регістр USART0.TXDATAL, після чого зменшується індекс

кільцевого буфера. Коли буфер порожній, переривання відключається, запобігаючи зайвим викликам. Такий підхід дозволяє повністю уникнути використання затримок або циклів опитування, що особливо важливо для реального часу. Обробка переривань виконується швидко, без надмірних умов і з мінімальними витратами процесорного часу.

Запропонована реалізація UART обробки через переривання є ефективною, масштабованою й надійною. Вона дозволяє обробляти передавання і прийом незалежно від основної логіки програми, не блокуючи виконання інших задач. Це критично важливо в системах, де необхідна стабільна комунікація з мінімальною затримкою. Структура з кільцевими буферами також забезпечує буферизацію даних при пікових навантаженнях, що додатково підвищує стійкість системи. Частина коду обробника переривань по UART наведена нижче.

```
ISR(USART0_DRE_vect) {
    if (uart_tx_head == uart_tx_tail) {
        USART0.CTRLA &= ~USART_DREIE_bm; //Вимкнути переривання
    } else {
        USART0.TXDATAL = uart_tx_buffer[uart_tx_tail];
        uart_tx_tail = (uart_tx_tail + 1) % UART_BUFFER_SIZE;
    }
}
```

Процес розробки програми для перетворювача інтерфейсів I²C-UART на базі мікроконтролера ATtiny202 продемонстрував ефективність застосування малопотужних контролерів для реалізації специфічних функцій комунікації. Створена програма забезпечує надійне передавання та прийом даних на швидкості до 115200 бод, використовуючи буферизацію та обробку по перериваннях. Це дозволяє уникати втрати даних навіть при високій інтенсивності обміну. Структура коду орієнтована на модульність та розширюваність, що спрощує масштабування системи. Завдяки оптимізації використання апаратних ресурсів ATtiny202 вдалося досягти стабільної роботи із мінімальни-

ми затратами пам'яті та енергії. Такий підхід є доцільним для побудови гнучких багатомодульних систем збору даних у складних умовах експлуатації.

4.4 Засоби що використовувались при розробці програм

IAR Embedded Workbench for AVR – професійне інтегроване середовище розробки (IDE), яке забезпечує повноцінну підтримку мікроконтролерів AVR на мові програмування C (рисунок 4.1). Це середовище включає в себе потужний компілятор, зручний редактор коду, відлагоджувач, інструменти оптимізації та можливість роботи з різними типами програмних і апаратних дебагерів, включаючи AVR Dragon, JTAGICE mkII, Atmel-ICE. Розробник може ефективно створювати, компілювати, завантажувати і тестувати прошивки без необхідності переходу між окремими утилітами.

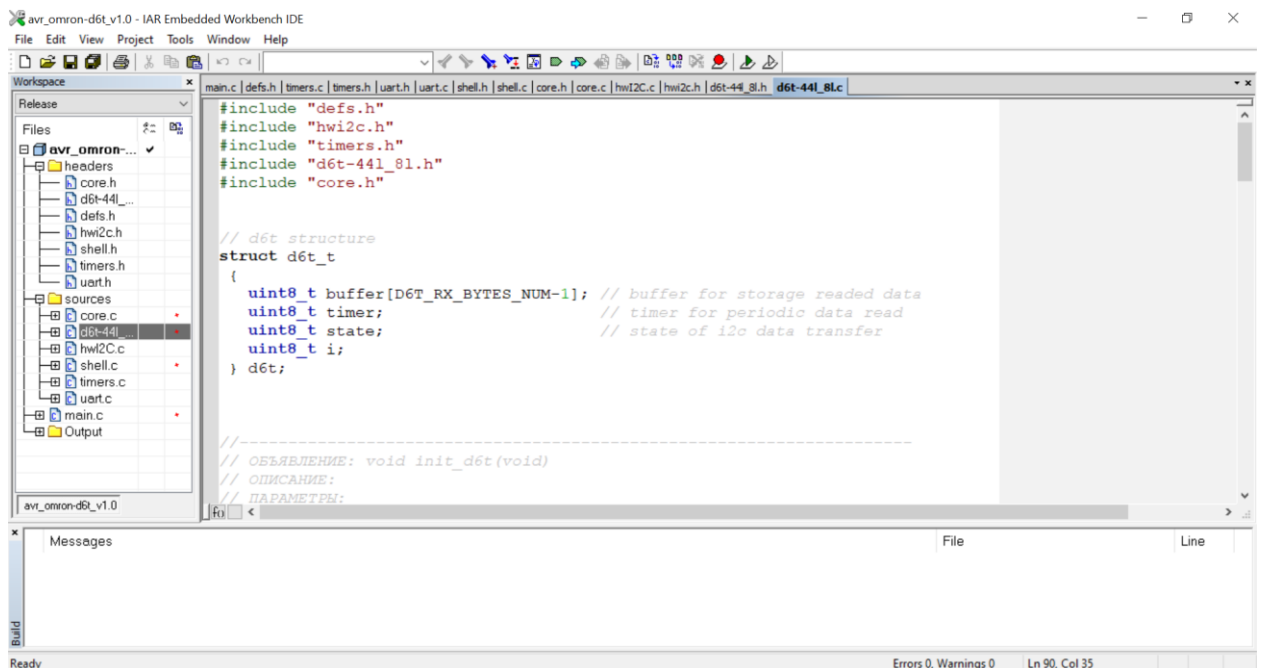


Рисунок 4.1 – Середовище розробки IAR Embedded Workbench IDE

Важливою особливістю є підтримка налаштувань оптимізації коду для досягнення мінімального розміру та високої продуктивності. Крім того, IAR

надає докладну документацію та бібліотеки прикладів для багатьох мікроконтролерів AVR.

Однією з ключових переваг IAR Embedded Workbench є висока якість компілятора з можливістю глибокої оптимізації, що є критично важливим для ресурсно обмежених мікроконтролерів. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, наявність графічного дебагера та симулятора дозволяють швидко знаходити помилки у коді та контролювати стан змінних і регістрів під час виконання. IDE також підтримує профілювання продуктивності та аналіз споживання пам'яті, що дозволяє створювати ефективні програми навіть для найменших чипів. Крім цього, середовище стабільне, підтримує широкий спектр мікроконтролерів і має розвинену систему налаштування проєктів. Завдяки цьому воно підходить як для невеликих навчальних проєктів, так і для серйозних промислових застосувань. Водночас можливе використання спільно з системами контролю версій.

Основним недоліком IAR є його комерційна ліцензія - повнофункціональна версія є платною, а безкоштовна має обмеження на розмір згенерованого коду. Крім того, сам інтерфейс і механізми налаштування проєкту можуть здатися складними для початківців у порівнянні з простішими середовищами, такими як Atmel Studio або Arduino IDE. Також, хоч IAR і дуже надійне середовище, воно не має підтримки сучасних відкритих інструментів на базі GCC, що обмежує гнучкість у розширених системах. Незважаючи на це, у випадках, коли потрібна максимально надійна реалізація коду з ефективним використанням ресурсів, IAR є одним із найкращих виборів. Особливо він корисний у критичних вбудованих системах, де важливі оптимізація, стабільність і точне управління апаратними ресурсами.

Для програмування мікроконтролерів ATMEЛ використовувався програматор AVRreal. Це консольна утиліта для програмування мікроконтролерів AVR через інтерфейс SPI за допомогою різних типів програматорів, включаючи STK200, STK500, USBasp, PonyProg, а також саморобні пристрої на базі LPT або COM портів. Програма підтримує прошивку Flash та

EEPROM, читання пам'яті, установку ф'юзів та перевірку цілісності записаних даних. Завдяки консольному інтерфейсу avreal легко інтегрується в автоматизовані процеси складання (наприклад, у makefile), що зручно для розробників, які працюють у середовищах без графічного інтерфейсу.

Основними перевагами avreal є мала вага, швидкодія та підтримка великого числа мікроконтролерів і програматорів. Утиліта дозволяє повністю контролювати процес програмування за допомогою параметрів командного рядка, що особливо корисно у виробництві та при створенні скриптів для пакетної роботи. Крім того, avreal надає детальні повідомлення про помилки, що полегшує діагностику несправностей. Незважаючи на простий інтерфейс, утиліта є потужним і надійним інструментом для професійного застосування при роботі з AVR-контролерами.

4.5 Висновки до четвертого розділу

Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення будувалось з урахуванням необхідності забезпечення масштабованості та можливості подальшого удосконалення. Так, окремі програмні модулі системи виконувались у вигляді незалежних модулів здатних до взаємодії через стандартні інтерфейси. Це дозволяє, за необхідності, модернізувати окремі модулі не порушуючи працездатність системи в цілому.

Мова програмування та засоби розробки обирались з міркувань надійності отриманого результату та забезпечення необхідного рівня підтримки в майбутньому.

ВИСНОВКИ

Проведений огляд систем контролю показав, що переважна більшість існуючих систем контролю температури будуються з використанням точкових температурних сенсорів, а використання матричних дозволить суттєво розширити функціонал та забезпечити надійність контролю.

Аналіз найбільш актуальних сенсорів: Omron D6T, Panasonic Grid-EYE та Melexis MLX90640 показав що Grid-EYE і MLX90640 вирізняються широкою підтримкою з боку спільноти розробників та зручністю інтеграції завдяки відкритим бібліотекам. Натомість Omron D6T демонструє вищу надійність та стабільність вимірювань при тривалому використанні.

Запропонована структура системи яка вирізняється серед аналогічних можливістю та зручністю масштабування. До того ж структура системи побудована з використанням уніфікованих компонентів, що дозволяє легко її відтворювати.

Електронні компоненти для реалізації системи обирались з міркувань доступності на ринку за адекватною ціною та забезпечення необхідного функціоналу без втрати запасу для можливості подальшої модернізації.

Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи на локальному рівні, що дозволяє збирати інформацію про розподіл температури по площі приміщення та передавати отримані дані з використанням стандартних інтерфейсів для подальшого аналізу та обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бладика В. А., Овчинников К. В., Використання матричних сенсорів для контролю температури в приміщенні. 2025. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/download/23931/20366> (дата звернення 19.05.2025)
2. Paul Kirvan. Control system. 2023. URL: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/control-sytem#:~:text=A%20control%20system%20is%20a,big%20role%20in%20these%20systems.> (дата звернення 19.05.2025)
3. Вікіпедія. Вільна енциклопедія. Контроль. 2025. URL: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C> (дата звернення 19.05.2025)
4. Вікіпедія. Вільна енциклопедія. Температура. 2025. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0> (дата звернення 20.05.2025)
5. A. Bhatia. Principles and methods of temperature measurement. 2021. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/E02-012%20-%20Principles%20and%20Methods%20of%20Temperature%20Measurement%20-%20US.pdf> (дата звернення 21.05.2025)
6. Childs P.R.N. Practical Temperature Measurement. Butterworth-Heinemann, 2001. 372 p. ISBN: 9780750650809. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=VTep8ik2-7gC> (дата звернення 21.05.2025)
7. J. V. Nicholas, D. R. White. Traceable temperatures: An introduction to temperature measurement and calibration. 2001. 448 p. ISBN: 978-0-471-49291-7
8. Omron. D6T MEMS Thermal Sensors. 2025. URL: <https://components.omron.com/eu-en/products/sensors/D6T> (дата звернення 21.05.2025)

9. Panasonic. Infrared Array Sensor Grid-EYE. 2025. URL: <https://industrial.panasonic.com/ww/products/pt/grid-eye> (дата звернення 21.05.2025)
10. Melexis. Far infrared thermal sensor array (32×32 RES). URL: <https://www.melexis.com/en/product/mlx90640/far-infrared-thermal-sensor-array> (дата звернення 21.05.2025)
11. Вікіпедія. Вільна енциклопедія. I²C. 2025. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C> (дата звернення 21.05.2025)
12. NXP Semiconductors. UM1-204. I2C bus specifications and user manual. Rev. 7.0. 2021. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf> (дата звернення 27.05.2025)
13. Understanding EIA-485 Networks. 1999. URL: <https://www.ccontrols.com/pdf/ExtV1N1.pdf> (дата звернення 29.05.2025)
14. Analog devices. Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network. 2001. URL: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/rs485-cable-specification-guide--maxim-integrated.html> (дата звернення 29.05.2025)
15. Yotam Bloom. Simplify your code with State Machines. 2023. URL: <https://medium.com/meliopayments/simplify-your-code-with-state-machines-c9a0f12e0e62> (дата звернення 05.06.2025)
16. Wikipedia. The free encyclopedia. Finite-state machine. 2025. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Finite-state_machine (дата звернення 05.06.2025)

Додатки

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
(повна назва кафедри)

З А Т В Е Р Д Ж У Ю
завідувач кафедри АІТ
д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

(підпис)
«__» _____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на бакалаврську кваліфікаційну роботу
Система контролю температури в приміщеннях
з використанням матричних сенсорів
08-31.БКР.003.02.000 ТЗ

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
_____ Олег БІСІКАЛО

«__» _____ 2025 р.

Розробив студент гр. АКІТР-23мс
_____ Василь БЛАДИКА

«__» _____ 2022 р.

Додаток А
(обов'язковий)
Технічне завдання на
бакалаврську кваліфікаційну роботу

1 Підстава для проведення робіт

Підставою для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему: «Система контролю температури в приміщеннях з використанням матричних сенсорів» є наказ № 97 від 20.03.2025 р.

Термін виконання робіт:

початок 20.03.2025 р.
кінець 10.06.2025 р.

2 Мета та вихідні дані для проведення робіт

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є збільшення функціональних можливостей систем моніторингу температури в приміщеннях за рахунок використання матричних сенсорів.

Вихідними даними для проведення робіт є індивідуальне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу від 20.03.2025 р.

3 Етапи виконання робіт

Виконавцем всіх перерахованих в даному розділі етапів є: студент групи **АКІТР-23мс Бладика Василь Андрійович** факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації Вінницького національного технічного університету, а замовником є кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій.

№ Етапу	Зміст етапу	Строки виконання
Е1	Аналіз предметної області та визначення основних етапів розробки	07.03 – 19.03
Е2	Розробка структури системи контролю температури	20.04 – 26.04
Е3	Вибір компонентів для реалізації системи контролю	27.04 – 09.04
Е4	Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення	10.05 – 01.06
Е5	Аналіз результатів роботи та підготовка роботи до захисту	02.06 – 10.06

4 Призначення і галузь застосування

Система контролю температури призначена для безконтактного вимірювання та моніторингу температурного розподілу в приміщеннях за допомогою матричних інфрачервоних сенсорів. Може бути використана в системах автоматизації будівель, енергомоніторингу, серверних кімнатах, медичних та виробничих приміщеннях для підвищення енергоефективності та забезпечення комфортних або технологічно необхідних температурних умов.

5 Технічні дані

- 5.1 номінальна робоча напруга – 220 В (180 ÷ 240 В);
- 5.2 номінальна частота – 50 Гц;
- 5.3 діапазон вимірювання температури: – 40 ... +80° С;
- 5.4 кількість каналів вимірювання – до 10;
- 5.5 ступінь захисту – IP30.

6 Джерела розробки

- 6.1 ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Чинний від 01.12.1999]. – Київ : МОЗ України, 1999. – 18 с.
- 6.2 ДСТУ ІЕС 60654-1:2001. Обладнання для вимірювання та керування в промислових процесах. Умови експлуатації. Частина 1. Кліматичні умови. – [Нац. стандарт, чинний від 01.01.2003]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2002. – 11 с. – Ідентичний ІЕС 60654-1:1993.
- 6.3 ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Конструкції будівель. Метод визначення температури поверхонь та повітря у приміщеннях. – Київ : Мінрегіон України, 2010. – 16 с.
- 6.3 ISO 7726:1998. Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. – Geneva: International Organization for Standardization, 1998. – 24 s. – Пов'язаний стандарт EN ISO 7726:2001, DIN- EN ISO 7726:2021
- 6.4 Методичні вказівки до виконання бакалаврських кваліфікаційних робіт (проектів) для студентів спеціальностей: 126 «Інформаційні системи та технології», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Електронний ресурс] / Уклад. К. В. Овчинников, О. В. Бісікало. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 50 с

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННЯХ З
ВИКОРИСТАННЯМ МАТРИЧНИХ СЕНСОРІВ**

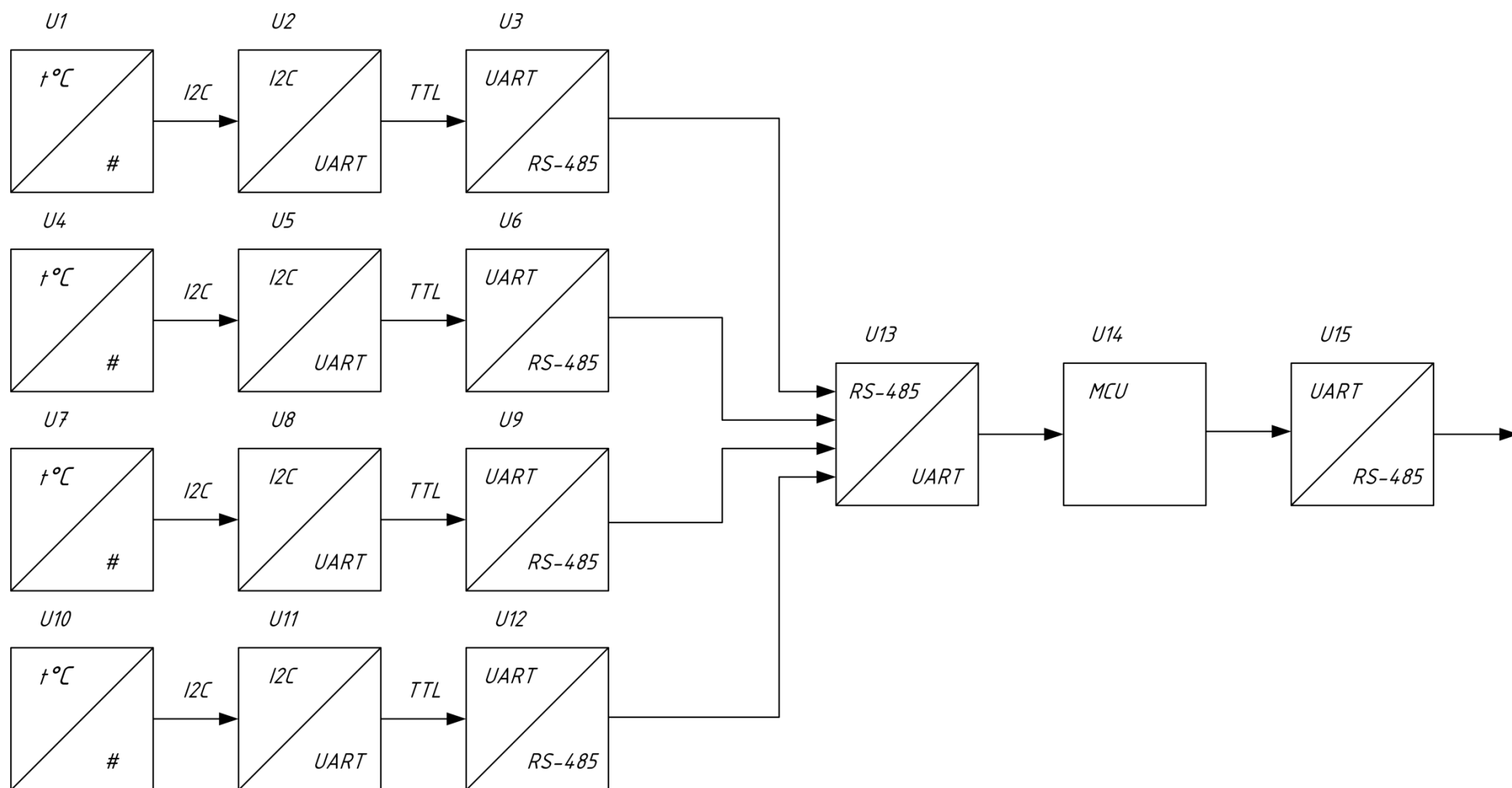


Рисунок Б.1 – Схема структурна

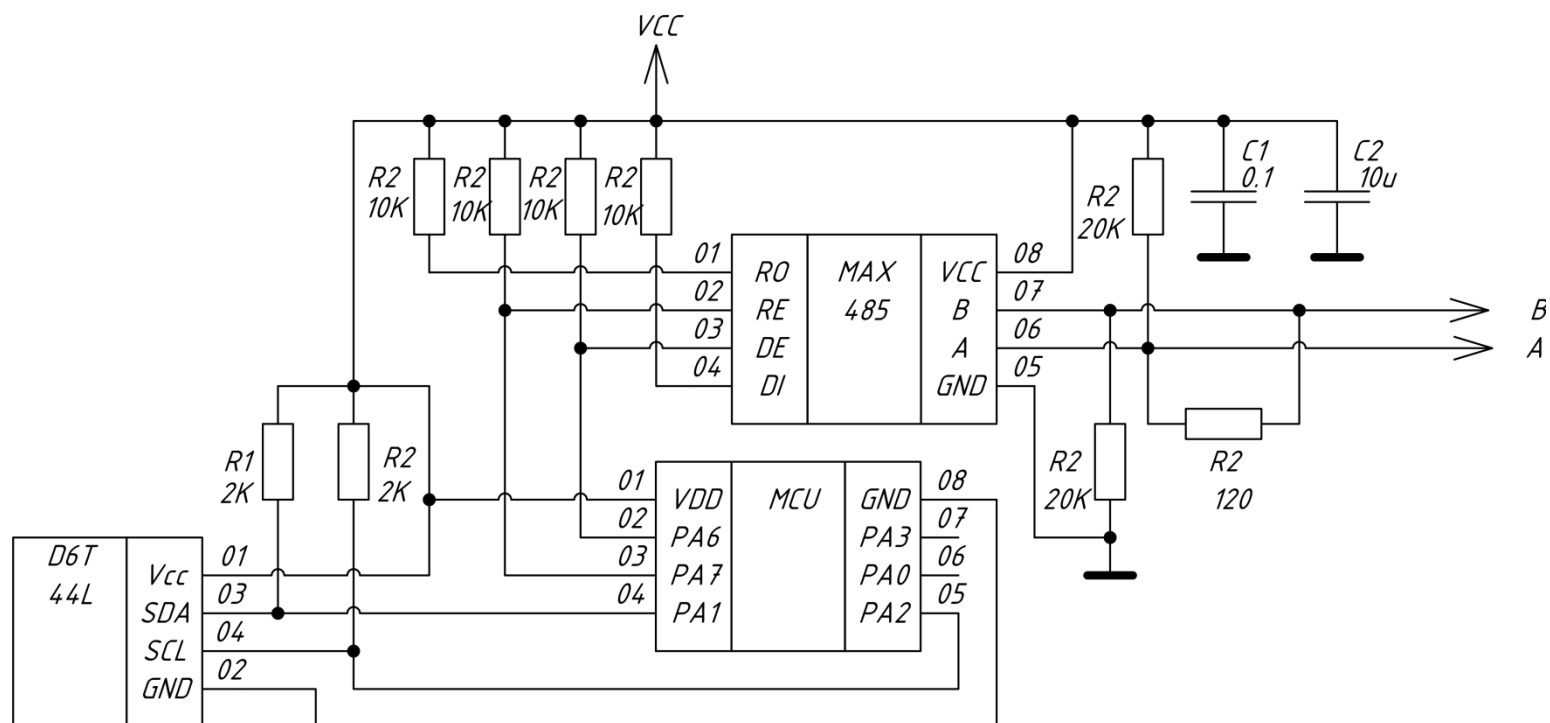


Рисунок Б.2 – Схема принципова перетворювача

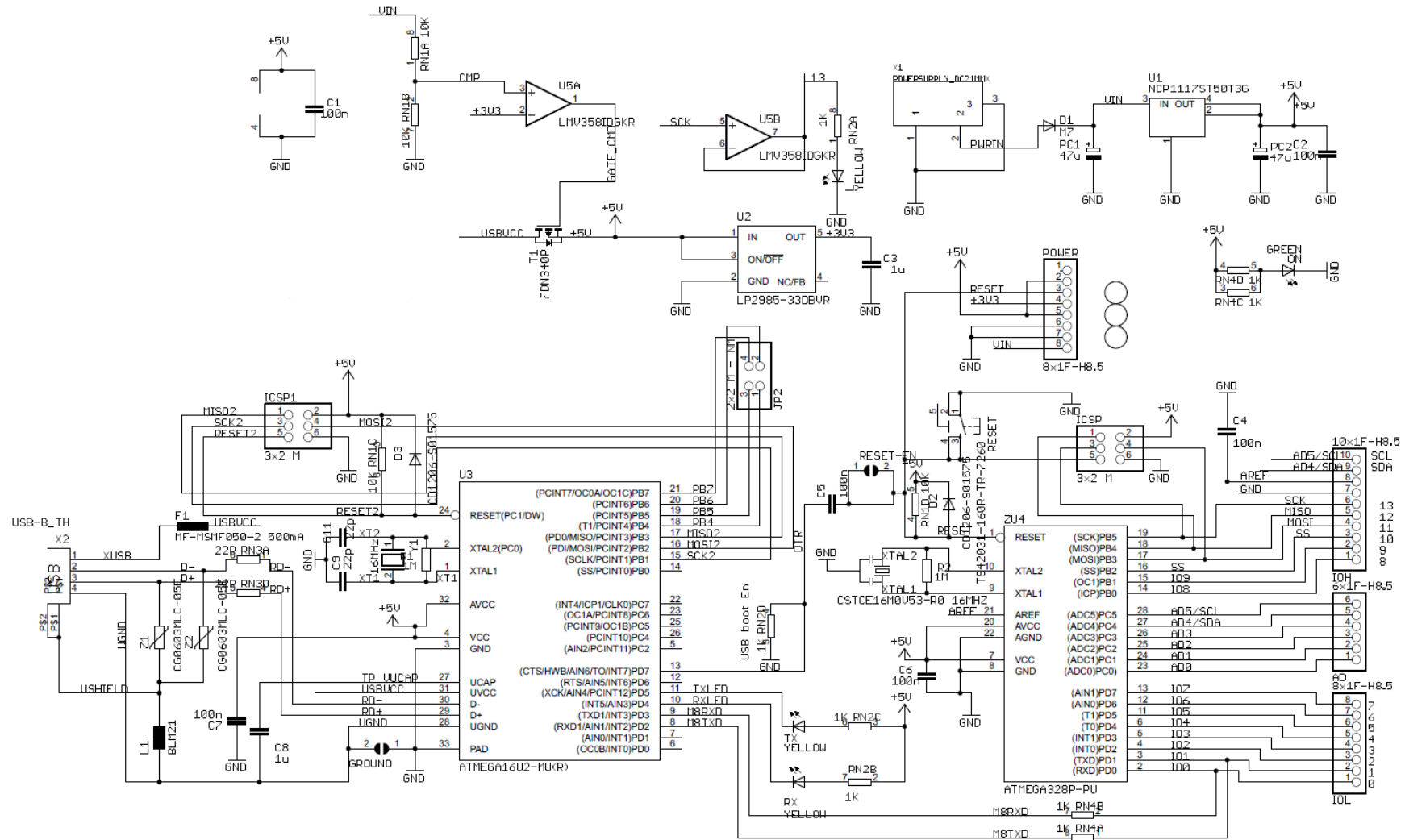


Рисунок Б.3 – Схема основного контролера Arduino UNO

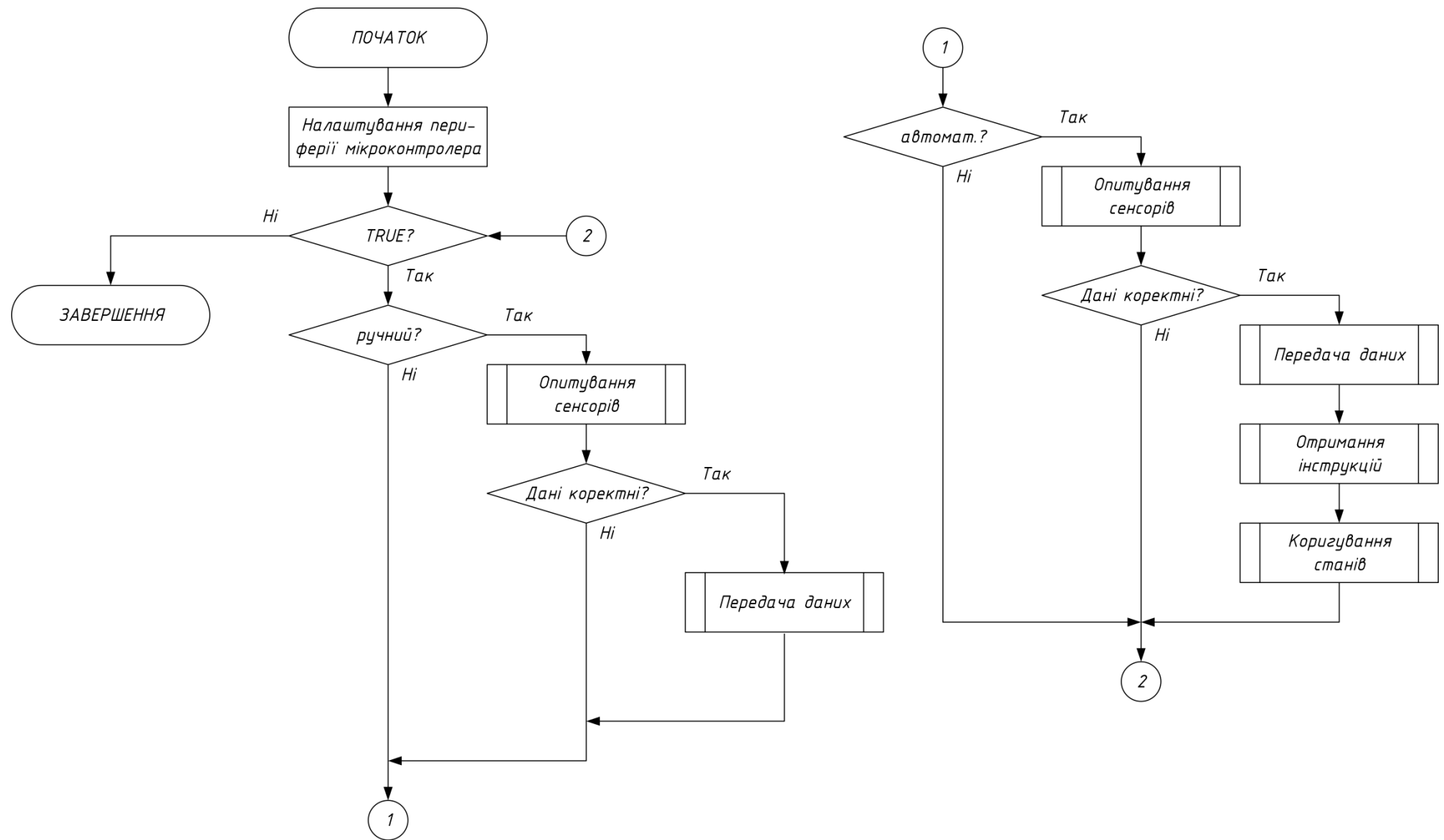


Рисунок Б.4 – Схема роботи програми

Додаток В
(довідковий)
Фрагмент лістингу програми

```
#ifndef _D6T_44L_8L_
#define _D6T_44L_8L_

//#define D6T_44L
#define D6T_8L

//D6T i2c common definitions
#define D6T_SLAVE_ADDR      0x0A
#define D6T_SLAVE_CMD      0x4C

// D6T data read period
#define D6T_DREAD_PERIOD ONE_SEC

#define D6T_RX_BYTES_NUM    19

//functions prototypes
void init_d6t(void);
void poll_d6t(void);

#endif // _D6T_44L_8L_

#include "defs.h"
#include "hwi2c.h"
#include "timers.h"
#include "d6t-44l_8l.h"
#include "core.h"

// d6t structure
struct d6t_t
{
    uint8_t buffer[D6T_RX_BYTES_NUM-1]; // buffer for storage readed data
    uint8_t timer;                       // timer for periodic data read
    uint8_t state;                       // state of i2c data transfer
    uint8_t i;
} d6t;

void init_d6t(void)
{
    init_i2c();
    d6t.timer = get_timer();
    init_timer(d6t.timer, D6T_DREAD_PERIOD);
}
```

```

    d6t.state = DUMMY_STATE;
    d6t.i = 0;
}

void poll_d6t(void)
{
    switch(d6t.state)
    {
        case DUMMY_STATE:{// wait for data receive need
            if(!check_timer(d6t.timer))
            {
                init_timer(d6t.timer, D6T_DREAD_PERIOD);
                d6t.state = START_STATE;
                d6t.i = 0;
            }
            }break;
        case START_STATE:{ // send START state
            SEND_START;
            WAIT_CHEK(START);
            d6t.state = SLAW_STATE;
            }break;
        case SLAW_STATE:{ // send SLave Address + W state
            SEND_SLAW(D6T_SLAVE_ADDR);
            WAIT_CHEK(SLAWACK);
            d6t.state = SDATA_STATE;
            }break;
        case SDATA_STATE: { // send command
            SEND_DATA(D6T_SLAVE_CMD);
            WAIT_CHEK(TDATAACK);
            d6t.state = RSTART_STATE;
            }break;
        case RSTART_STATE:{ // send Repited START state
            SEND_RSTART;
            WAIT_CHEK(RSTART);
            d6t.state = SLAR_STATE;
            }break;
        case SLAR_STATE:{ // send SLave Address + R state
            SEND_SLAR(D6T_SLAVE_ADDR);
            WAIT_CHEK(SLARACK);
            d6t.state = RDATA_STATE;
            }break;
        case RDATA_STATE:{ // receive data state
            if(d6t.i<(D6T_RX_BYTES_NUM-1))
            {
                READ_DATA_ACK;
                WAIT_CHEK(RDATAACK);
            }
        }
    }
}

```

```

        //d6t.i++;
        d6t.buffer[d6t.i++] = TWDR;
    } else {
        READ_DATA_NACK;
        WAIT_CHEK(RDATANACK);
        d6t.i++;
        //d6t.buffer[d6t.i++] = TWDR;
        d6t.state = STOP_STATE;
    }
    }break;
case STOP_STATE:{ // send STOP state
    SEND_STOP;

                                //uint16_t *pi = pR.R10;
    for(int i=0, j=10; i<D6T_RX_BYTES_NUM; i+=2, j++) {
        // *pi++
        (uint16_t)(d6t.buffer[i+1]<<8)|((uint16_t)d6t.buffer[i]);

//WR[10+(i>>1)]((uint16_t)(d6t.buffer[i+1]<<8)|((uint16_t)d6t.buffer[i]));
        wr_dev_reg(j,
        (uint16_t)(d6t.buffer[i+1]<<8)|((uint16_t)d6t.buffer[i]));
    }
    //put_d6t44l_buffer(D6T44L_rx_frame);
    d6t.state = DUMMY_STATE;
    }break;
default: break;
}
}

uint8_t CRC8(uint8_t data )
{
    uint8_t i;
    uint8_t temp;

    for(i=0; i<8; i++)
    {
        temp = data;
        data <<= 1;
        if(temp & 0x80) data ^= 0x07;
    }
    return data;
}

```

Додаток Г
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Система контролю температури в приміщеннях з використанням матричних сенсорів

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ АІТ, ФІТА, АКТР-23мс
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 90 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Олег Бісікало, зав. каф. АІТ

(прізвище, ініціали, посада)

Любов Янчук, секретар каф. АІТ

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Овчинников К. В.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Бісікало О. В., професор

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Бладика В. А.

(прізвище, ініціали)