

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магітра

на тему:

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТВЕРДИХ ТІЛ

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТ-3м
Спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Лук'яновець В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник дтн, проф.. Подчашинський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____.

(прізвище та ініціали)

Житомир 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« 4 » листопада 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студента Лук'яновеця Владислава Олександровича

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система вимірювання температури твердих тіл

Затверджена Наказом по університету від «4» листопада 2025 р. № 622/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «19» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи вивід температури твердих тіл на дисплей, передача температури твердих тіл дистанційно на веб-сторінку, об'єкт дослідження - процеси вимірювання температури твердих тіл.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) аналіз існуючих систем вимірювання температури, розробка структурної схеми, розробка принципової схеми та друкованої плати, розробка програми для системи вимірювання температури твердих тіл

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму та друкована плата

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Подчашинський Ю.О.		

7. Дата видачі завдання 4 листопада 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз відомих систем вимірювання температури	14.11.25 – 17.11.25	
2	Розробка структурної схеми	18.11.25 – 19.11.25	
3	Розробка принципової схеми	20.11.25 – 23.11.25	
4	Розробка принципової схеми	24.11.25 – 25.11.25	
5	Розробка блок-схеми алгоритму та програми	26.11.25 – 28.11.25	
6	Розробка програми для веб-сторінки	29.11.25 – 30.11.25	
7	Оформлення пояснювальної записки	1.12.25 – 11.12.24	
8	Оформлення презентаційного матеріалу	12.12.25 – 14.12.25	

Студент

(підпис)

Лук'яновець В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Подчашинський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота магістра на тему «Комп'ютеризована система вимірювання температури твердих тіл» присвячена дослідженню та розробці автоматизованої системи для вимірювання, обробки та дистанційного відображення температурних параметрів твердих об'єктів.

У роботі обґрунтовано актуальність створення комп'ютеризованої системи вимірювання температури, розглянуто сучасні методи та засоби температурного контролю. Розроблено структурну та принципову схеми комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл, здійснено вибір елементної бази. На основі принципової схеми спроектовано друковану плату.

Також розроблено алгоритм роботи системи та відповідне програмне забезпечення для мікроконтролера. Створено веб-сторінку для дистанційного виведення вимірних значень температури з використанням бездротового зв'язку, що забезпечує зручний моніторинг результатів у режимі реального часу.

Ключові слова: датчик температури, мікроконтролер ATmega328, Wi-Fi модуль, комп'ютеризована система, веб-сторінка.

ANNOTATION

The Master's thesis entitled "Computerized System for Measuring the Temperature of Solid Bodies" is devoted to the research and development of an automated system for measuring, processing, and remote visualization of temperature parameters of solid objects.

The thesis substantiates the relevance of developing a computerized temperature measurement system and reviews modern methods and means of temperature monitoring. Structural and schematic diagrams of the computerized system for measuring the temperature of solid bodies have been developed, and the selection of the component base has been carried out. Based on the schematic diagram, a printed circuit board has been designed.

In addition, an operating algorithm of the system and corresponding software for the microcontroller have been developed. A web page for the remote display of measured temperature values using wireless communication has been created, providing convenient real-time monitoring of the results.

Keywords: temperature sensor, ATmega328 microcontroller, Wi-Fi module, computerized system, web page.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена розробці та дослідженню комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл з можливістю автоматизованого збору, обробки та дистанційного відображення результатів вимірювань.

Актуальність теми зумовлена широким застосуванням температурних вимірювань у промислових, науково-дослідних і технічних процесах, де температурний режим суттєво впливає на якість продукції, ефективність технологічних процесів і безпеку експлуатації обладнання. У галузях металургії, машинобудування, енергетики та матеріалознавства точність і надійність вимірювання температури твердих тіл є критично важливими. Використання традиційних методів контролю температури не завжди забезпечує необхідний рівень автоматизації, оперативності та відтворюваності результатів, що обумовлює доцільність застосування комп'ютеризованих систем вимірювання з урахуванням вимог метрологічного забезпечення.

Метою роботи є розробка та дослідження комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл з урахуванням вимог метрологічного забезпечення. Для досягнення поставленої мети виконано такі основні задачі: проаналізовано сучасні методи та засоби вимірювання температури твердих тіл; розроблено структурну та принципову схеми комп'ютеризованої системи вимірювання температури; здійснено вибір і обґрунтування елементної бази системи; розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення для мікроконтролера; досліджено метрологічні характеристики системи та оцінено похибки вимірювань; реалізовано веб-сторінку для дистанційного відображення результатів вимірювань.

Об'єктом дослідження є процеси вимірювання температури твердих тіл.

Предметом дослідження є комп'ютеризована система вимірювання температури твердих тіл та її метрологічні характеристики.

У першому розділі роботи виконано огляд сучасних методів і засобів вимірювання температури твердих тіл та вимог нормативної документації до температурних вимірювань. Другий розділ присвячено розробці структурної схеми комп'ютеризованої системи вимірювання температури, яка включає датчик температури, мікроконтролер ATmega328 та Wi-Fi модуль для передавання даних. У третьому розділі здійснено вибір елементної бази, розроблено принципову схему системи та конструкцію друкованої плати. Четвертий розділ містить опис алгоритмічного та програмного забезпечення мікроконтролера і веб-сторінки, реалізацію збору, обробки та відображення даних у реальному часі, а також оцінку метрологічних похибок вимірювань.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні структури комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл шляхом впровадження бездротового каналу передавання вимірювальної інформації на основі Wi-Fi модуля та веб-орієнтованого відображення результатів у режимі реального часу, а також в удосконаленні алгоритмів обробки вимірювальних даних з урахуванням оцінювання метрологічних похибок.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої комп'ютеризованої системи для автоматизованого вимірювання та контролю температури твердих тіл у промислових, науково-дослідних і навчальних умовах, що дозволяє підвищити достовірність вимірювань та оперативність контролю температурних параметрів.

Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатків, містить 86 сторінок основного тексту, 18 рисунків, 7 таблиць та 21 джерел.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	11
1.1.Методи вимірювання температури твердих тіл.....	11
1.2. Існуючі системи вимірювання температури твердих тіл.....	11
Висновки до 1 розділу.....	20
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	21
2.1 Опис роботи схеми вимірювання температури твердих тіл	21
2.2. Обґрунтування мікроконтролеру.....	22
2.3. Обґрунтування дисплею.....	26
2.4. Обґрунтування датчика температури.....	29
2.5. Обґрунтування блока живлення.....	32
2.6.Обґрунтування операційного підсилювача.....	33
2.7.Обґрунтування фільтру низьких частот.....	35
2.8.Обґрунтування перемикача.....	37
2.9. Обґрунтування wi-fi модуля.....	38
2.10. Структурна схема.....	39
Висновки до 2 розділу.....	40
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	41
3.1. Вибір мікроконтролеру.....	41
3.2. Вибір дисплею.....	42
3.3. Вибір датчика температури	44
3.4.Вибір перетворювача.....	46
3.5. Вибір операційного підсилювача.....	47
3.6. Вибір фільтру низьких частот.....	49
3.7. Вибір wi-fi модуля.....	51
3.8. Вибір акумулятора.....	53
3.9. Побудова принципово-електричної схеми	55
3.10. Розробка друкованої плати.....	57
Висновки до 3 розділу.....	59
4.РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	61
4.1. Розробка алгоритму.....	61
4.2. Розробка програми для мікроконтролеру.....	63
4.3. Розробка програми для веб-сторінки.....	69
4.4.Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації.....	77
Висновки до 4 розділу.....	83
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТКИ.....	87
Додаток А.....	88
Додаток Б.....	90

ВСТУП

Актуальність теми. Вимірювання температури твердих тіл є важливим елементом багатьох промислових та наукових процесів, оскільки температурний режим суттєво впливає на якість продукції, ефективність технологічних процесів і безпеку експлуатації обладнання. У таких галузях, як металургія, машинобудування, енергетика та матеріалознавство, точність температурних вимірювань є критичною умовою забезпечення стабільних характеристик матеріалів і виробів.

Особливо актуально набуває використання комп'ютеризованих систем вимірювання температури, які дозволяють автоматизувати процеси збору, обробки та дистанційного відображення вимірювальної інформації.

Отже, розробка та дослідження комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл з урахуванням вимог метрологічного забезпечення є актуальним науково-практичним завданням.

Метою даної магістерської роботи є розробка та дослідження комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл з урахуванням вимог метрологічного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- проаналізувати сучасні методи та засоби вимірювання температури твердих тіл;
- розробити структурну та принципову схеми комп'ютеризованої системи вимірювання температури;
- здійснити вибір та обґрунтування елементної бази системи;
- розробити алгоритм роботи та програмне забезпечення для мікроконтролера та веб-сторінки;
- дослідити метрологічні характеристики системи та оцінити похибки вимірювань.

Об'єктом дослідження є процеси вимірювання температури твердих тіл.

Предметом дослідження є комп'ютеризована система вимірювання температури твердих тіл та її метрологічні характеристики.

Методи дослідження базуються на застосуванні методів аналізу похибок, статистичної обробки результатів вимірювань, а також методів комп'ютерного моделювання та автоматизованої обробки вимірювальної інформації.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

1. Удосконалено структуру комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл шляхом впровадження бездротового каналу на основі Wi-Fi модуля з можливістю дистанційного відображення результатів вимірювань на веб-сторінці в режимі реального часу;

2. Удосконалено алгоритми обробки вимірювальних даних температури твердих тіл із застосуванням методів статистичної обробки результатів вимірювань та оцінювання метрологічних похибок, що підвищує достовірність і надійність отриманих результатів.

Практична цінність роботи полягає в можливості використання розробленої комп'ютеризованої системи для автоматизованого вимірювання та контролю температури твердих тіл у промислових, науково-дослідних і навчальних умовах.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 4 основні розділи, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 86 сторінках основного тексту і містить 18 рисунків, 7 таблиць та 21 джерело.

Публікації. Подчашинський Ю.О., Лук'яновець В.О. Метрологічне забезпечення засобів вимірювання температури твердих тіл. Тези XV Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології», м. Житомир, 28-29 березня 2025 р. Житомир: Житомирська політехніка, 2025. 303-304 с. С. 309-310. URL:<https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/04/303.pdf>.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

1.1. Методи вимірювання температури твердих тіл

Вимірювання температури твердих тіл здійснюється за допомогою різних засобів та систем вимірювальної техніки, які відрізняються принципом дії, температурним діапазоном, точністю та умовами застосування. Найбільш поширеними є системи вимірювання на основі термопар, термоопорів, напівпровідникових датчиків температури та безконтактних інфрачервоних пірометрів.

Системи вимірювання температури на основі термопар широко застосовуються в промисловості для контролю температури твердих тіл у широкому температурному діапазоні. Принцип їх дії ґрунтується на виникненні термоелектрорушійної сили в колі з двох різнорідних металів за наявності різниці температур. До складу таких систем входять термопара, підсилювач або вимірювальний перетворювач сигналу, блок компенсації температури холодного спаю та пристрій реєстрації або відображення результатів. Термопари характеризуються високою механічною міцністю та швидкодією, однак мають порівняно невисоку точність і потребують додаткової компенсації похибок.

Для вимірювання температури твердих тіл із підвищеними вимогами до точності застосовуються системи на основі термоопорів, зокрема платинових датчиків типу Pt100 або Pt1000. Принцип роботи таких систем базується на залежності електричного опору платини від температури. Термоопори забезпечують високу стабільність, лінійність та відтворюваність результатів вимірювань, що робить їх придатними для метрологічно точних вимірювань у лабораторних і промислових умовах. Недоліком цих систем є обмежений температурний діапазон та відносно повільна реакція на зміну температури порівняно з термопарами.

Широкого поширення набули також комп'ютеризовані системи вимірювання температури твердих тіл на основі напівпровідникових датчиків температури. Такі системи, як правило, включають напівпровідниковий

датчик, мікроконтролер, аналого-цифровий перетворювач, засоби зв'язку та програмне забезпечення для обробки й візуалізації даних. Вони відзначаються компактністю, простотою реалізації та можливістю інтеграції з веб-інтерфейсами для дистанційного моніторингу температури. Разом з тим, напівпровідникові датчики мають обмежений температурний діапазон і поступаються термоопорам за довготривалою стабільністю.

Окрему групу складають безконтактні системи вимірювання температури твердих тіл, що базуються на використанні інфрачервоних пірметрів або тепловізійних камер. Принцип їх роботи полягає у реєстрації теплового випромінювання, яке випромінюється поверхнею твердого тіла. Такі системи забезпечують високу швидкодію та дозволяють вимірювати температуру рухомих, високотемпературних або важкодоступних об'єктів. Водночас точність вимірювань значною мірою залежить від коефіцієнта випромінювальної здатності поверхні та умов навколишнього середовища.

Таким чином, існуючі системи вимірювання температури твердих тіл відрізняються за своїми характеристиками та областями застосування. Вибір конкретної системи визначається температурним діапазоном, вимогами до точності, швидкодії та можливістю автоматизації процесів вимірювання.

У рамках даної магістерської роботи доцільним є використання комп'ютеризованої системи вимірювання температури з контактним датчиком та мікроконтролерною обробкою даних, що забезпечує поєднання достатньої точності, автоматизації та зручності дистанційного контролю.

1.2. Існуючі системи вимірювання температури твердих тіл

Вимірювання температури твердих тіл є важливим процесом в різних галузях промисловості, науки та побуту. Для цього використовуються різні типи термометрів, які можна поділити на контактні та безконтактні. Кожен метод має свої переваги і недоліки в залежності від конкретного застосування.

Для проведення порівняльного аналізу комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл доцільно розглянути існуючі вимірювальні системи та прилади, які широко застосовуються в промисловості та науково-дослідній практиці.

Першим аналогом є промисловий цифровий термометр на основі термоопору Pt100. Такі системи використовуються для високоточних контактних вимірювань температури твердих тіл у машинобудуванні та лабораторних умовах. Вони забезпечують високу точність та стабільність результатів, однак зазвичай мають обмежені можливості щодо автоматизованого збору та дистанційної передачі даних.

Другим аналогом є вимірювальна система на основі термопари типу К з промисловим контролером. Подібні системи широко застосовуються для контролю високих температур у металургії та термічній обробці матеріалів. Вони відзначаються широким температурним діапазоном і швидкодією, проте мають нижчу точність у порівнянні з термоопорами та потребують компенсації температури холодного спаю.

Третім аналогом є портативний інфрачервоний пірометр для безконтактного вимірювання температури твердих тіл. Такі прилади дозволяють здійснювати оперативний контроль температури без фізичного контакту з об'єктом, що є перевагою в умовах високих температур або рухомих поверхонь. Водночас результати вимірювань значною мірою залежать від коефіцієнта випромінювальної здатності поверхні та умов навколишнього середовища.

Четвертим аналогом є комп'ютеризована система вимірювання температури на базі мікроконтролера без бездротового інтерфейсу. Такі системи забезпечують автоматизований збір і обробку даних, однак потребують безпосереднього підключення до комп'ютера, що обмежує можливості дистанційного моніторингу та мобільність системи.

Промисловий цифровий термометр на основі Pt100. (рис.1.1). Використовує платиновий резистивний датчик (Pt100), що має лінійну

залежність опору від температури. Забезпечує високу точність і стабільність, широко застосовується у лабораторіях і виробництві для прецизійних вимірювань.

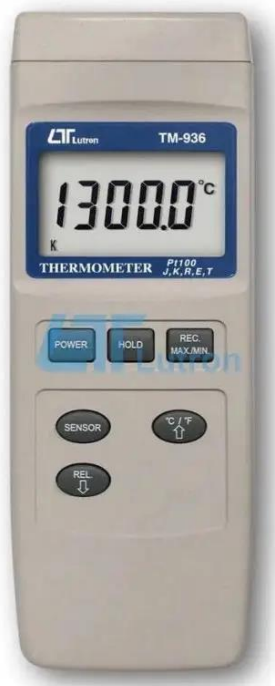


Рис. 1.1. Промисловий цифровий термометр на основі Pt100

Промисловий цифровий термометр з використанням датчика Pt100 є однією з найпоширеніших систем для контактного вимірювання температури твердих тіл у виробничих та лабораторних умовах.

Основні технічні характеристики:

1. Діапазон вимірювання температури: приблизно від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$, що охоплює більшість технологічних процесів середнього температурного рівня.
2. Тип датчика: платиновий резистивний датчик Pt100, номінальним опором при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ є 100 Ом .
3. Точність: зазвичай $\pm 0.1 \dots \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у робочому діапазоні, що робить такі системи придатними для прецизійних вимірювань.
4. Час реакції: $1 \dots 3$ секунди, залежить від конструкції контактного елемента та умов теплового контакту.

5. Вихідний сигнал: цифровий (RS-485, Modbus, 4–20 mA у деяких моделях) або аналоговий (опір, напруга).

6. Інтерфейс: можливість підключення до контролерів (ПЛК), реєстраторів чи комп'ютерних систем через стандартні інтерфейси.

7. Похибка дрейфу: низька, що забезпечує стабільність вимірювань протягом тривалого часу.

8. Умови експлуатації: широкий діапазон робочих температур довкілля та захищений корпус, характерний для промислових приладів.

Ця система відзначається високою метрологічною точністю та стабільністю, однак не має вбудованих засобів автоматичного дистанційного моніторингу без додаткових засобів збору та передачі даних [1].

Розглянемо НТ 9815 4-канальний цифровий термометр з термопарою типу К рис.1.2.



Рис. 1.2. НТ 9815 4-канальний цифровий термометр

4-канальний цифровий термометр з підтримкою термопар типу К, який дозволяє одночасне вимірювання температури з чотирьох незалежних зон.

Прилад є портативним і призначений для використання з К-тип термопарами у лабораторних, виробничих та сервісних умовах.

Технічні характеристики:

1. Діапазон вимірювання температури: $-200\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +1372\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-328\text{ }^{\circ}\text{F} \dots +2501\text{ }^{\circ}\text{F}$) — широкий діапазон підходить для різних промислових задач.
2. Тип сенсора: термопари К-типу, 4 канали одночасного підключення.
3. Точність: при температурах вище $-100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$; при температурах нижче $-100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Дискретність/роздільність: $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при значеннях $<1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. Інтерфейс відображення: великий LCD-дисплей з підсвіткою, який одночасно показує дані з усіх каналів.
6. Додаткові функції: утримання даних (Hold), вимірювання мінімального/максимального/середнього значень, перемикання одиниць вимірювання ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}/\text{K}$).
7. Живлення: батарея типу 9В (крона).
8. Розміри та вага: приблизно $200 \times 85 \times 38\text{ мм}$, вага $\approx 230\text{--}404\text{ г}$ (залежить від комплектації).
9. Комплектація: сам прилад + 4 термопари К-типу (довжина $\approx 95\text{ см}$ кожна), інструкція, чохол [2].

Інфрачервоний пірометр є безконтактною системою вимірювання температури твердих тіл, що широко застосовується для контролю процесів, де контакт з об'єктом неможливий або небажаний (високі температури, рухомі поверхні тощо). Інфрачервоний термометр Vevor IR05 представлений на рис.1.3.

Інфрачервоний термометр Vevor IR05 призначений для роботи в екстремальних умовах, забезпечуючи вимірювання температур у діапазоні від -40°C до $+1500^{\circ}\text{C}$.



Рис. 1.3. Інфрачервоний термометр Vevor

Технічні характеристики інфрачервоний термометр Vevor:

- Діапазон температур: -40°C - 1500°C ;
- Робоча напруга: 3 В;
- Вид: Бесконтактный;
- Похибка виміру: $\pm 3\% ^{\circ}\text{C}$;
- Матеріал корпусу: Термопластичний еластомір (TPE), ABS-пластик;
- Живлення: 2xAA;
- Розміри: 180 x 120 x 60 мм;
- Вага: 0.32 г;
- Бренд: Vevor;
- Гарантія: 1 міс. [3]

Такий широкий спектр застосування дозволяє використовувати прилад у металургії, промислових процесах, автомобільному ремонті та кулінарії. Висока точність вимірювань забезпечується залежно від температурного діапазону: $\pm 3^{\circ}\text{C}$ у низькому, $\pm 1,5\%$ або $\pm 2^{\circ}\text{C}$ у середньому та $\pm 3\%$ у високому. Це гарантує достовірні результати навіть у складних умовах.

Двіточкове лазерне наведення і співвідношення 50:1

Термометр оснащений двома лазерами, які забезпечують точне наведення на об'єкт вимірювання. Співвідношення дистанції до плями 50:1 дозволяє знімати показники з великої відстані без ризику наближення до джерела тепла. Така функціональність особливо важлива під час роботи з печами, двигунами чи розплавленими металами, забезпечуючи максимальну безпеку оператора.

Можливість регулювання емісійної здатності у діапазоні 0.10–1.00 дозволяє проводити вимірювання на різних поверхнях з максимальною точністю. Прилад має надшвидкий відгук — лише 0,25 секунди, що дозволяє оперативно отримувати результати навіть при повторних вимірюваннях. Така швидкодія робить Vevor IR05 універсальним інструментом як для домашніх, так і для професійних задач.

Корпус виготовлений із поєднання TPE та ABS, що забезпечує міцність, стійкість до ударів і комфортне утримання. Термометр оснащений кольоровим підсвічуванням дисплеєм, функціями індикації низького заряду батареї, попередження про вихід за межі діапазону та звуковою сигналізацією. Автоматичне вимикання через 35 секунд допомагає економити заряд. Невелика вага (0,32 кг) та компактні розміри (180 x 120 x 60 мм) роблять прилад зручним у щоденному використанні [3].

Професійний цифровий термометр з виносним кабельним зондом TFA LT-102 рис.2.4.

Професійний цифровий термометр з виносним кабельним зондом TFA LT-102 (30.1034) підходить для контролю температури там, де важлива точність і повторюваність результату: він працює в діапазоні від -40 до +70 °C, оснащений водостійким занурювальним щупом на кабелі близько 3 метрів, запам'ятовує мінімальні та максимальні значення, має фіксацію показника Hold і подає світловий та звуковий сигнал, якщо температура виходить за задані верхню або нижню межу. Відповідність НАССР і EN 13485 робить його доречним для професійних задач, а захист від струменів води спрощує регулярне очищення після роботи.



Рис. 2.4. Професійний цифровий термометр з виносним кабельним зондом
TFA LT-102

Температурний режим найчастіше порушується не «великими аваріями», а дрібними звичками: дверцята холодильника відчинилися довше, ніж планувалося, теплий продукт поставили одразу на полицю, морозильна камера просіла після завантаження, а за годину все ніби повернулося на місце. Саме такі короткі відхилення й найнеприємніші, бо їх легко пропустити. У LT-102 датчик можна залишити в контрольній точці, а блок індикації винести назовні, щоб бачити показник без зайвого відкривання камери. З рідинами принцип такий самий: щуп занурюється в середовище, а значення читається спокійно, без поспіху, коли потрібно підтвердити температуру партії, процесу або контрольного зразка.

Технічні характеристики TFA LT-102 301034 Professional Digital Thermometer:

- Тип приладу: професійний цифровий термометр з виносним кабельним датчиком.
- Діапазон вимірювання температури: від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-40\dots+158\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- Діапазон роздільної здатності: $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дозволяє отримувати досить детальні зміни температури.
- Точність вимірювання: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у діапазоні від $-25\dots+25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за межами цього діапазону.

- Довжина кабелю датчика: ~300 см (3 м), що дозволяє розміщувати датчик на відстані від основного блоку приладу.
- Тип живлення: 1 батарейка 3 V CR2032 (у комплекті).
- Інтерфейс і функції: відображення поточних, максимальних і мінімальних значень температури; функція утримання показу (Hold); візуальна та звукова сигналізація при перевищенні або зниженні показників за межі заданих кордонів; перемикання одиниць вимірювання °C/°F.
- Фізичні та експлуатаційні параметри:
 - Розміри: $\sim 87 \times 17 (29) \times 52 (57)$ мм;
 - Вага: ~79 г;
 - Матеріал корпусу: пластик;
 - Клас захисту: IP65 (струйоводонепроникний) — можна очищати під струменем води.
- Додаткові переваги: вбудований магніт на задній панелі та підставка для настільної установки; відповідає стандартам НАССР і EN 13485, що робить його придатним для професійного контролю в харчовій промисловості, лабораторіях і комерційних установах [4].

Коротке порівняння існуючих систем вимірювання температури зведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Порівняння існуючих систем вимірювання температури

Прилад	Діапазон	Точність	Контакт	Автоматизація	Дистанційний моніторинг
TFA LT-102	-40...+70 °C	$\pm 0,5 \dots \pm 1$ °C	✓Так	Ні	Ні
Інфрачервоний термометр Vevor	$\sim 0 \dots +500$ °C (модель-залежно)	$\pm 1 \dots \pm 3$ °C	✗ Безконтакт	Частково	Ні
НТ-9815 4-канальний термометр (К)	-200...+1372 °C	$\pm 1 \dots \pm 2$ °C	✓Так	Частково	Ні
Цифровий Pt100	-50...+600 °C	$\pm 0,1 \dots \pm 0,5$ °C	✓Так	Частково	Ні

Існуючі прилади – корисні самі по собі, але вони не замінюють комплексної, автоматизованої системи вимірювання з віддаленим моніторингом, обробкою даних та можливістю масштабування.

Розроблювана система поєднує:

- достатню точність вимірювань,
- автоматичність збору й зберігання даних,
- можливість візуалізації та віддаленого доступу,
- внутрішню метрологічну обробку.

Це робить її сучаснішою, гнучкішою й практичнішою для використання в лабораторіях, виробництві й автоматизованих системах, ніж ті готові рішення, які ти аналізувала.

Висновок до 1 розділу

У першому розділі проведено огляд існуючих методів і засобів вимірювання температури твердих тіл, а також аналіз технічних характеристик сучасних приладів, таких як TFA LT-102 з виносним кабельним датчиком, інфрачервоний термометр Vevor, HT-9815 4-канальний цифровий термометр з термопарами типу K та промисловий цифровий термометр на основі Pt100.

Дослідження показало, що існуючі пристрої дозволяють виконувати точні та швидкі вимірювання температури, проте вони мають певні обмеження: обмежена автоматизація процесу збору даних, відсутність віддаленого моніторингу та обробки вимірювальної інформації, а також складність інтеграції в комп'ютеризовані системи управління.

Проаналізовані технології вимірювання показали актуальність розробки власної комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл, яка поєднуватиме точність, багатоканальність, автоматичний збір даних, дистанційний контроль та можливість статистичної обробки результатів. Таке рішення дозволить підвищити ефективність моніторингу температурних режимів у промислових, науково-дослідних та навчальних умовах.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1 Опис роботи схеми вимірювання температури твердих тіл

1. Джерело живлення: Забезпечує необхідну електричну напругу та струм для живлення всієї системи. Напруга може бути постійною або змінною, залежно від специфікацій компонентів.

2. Терморезистор (RTD): Це основний сенсорний елемент, який змінює свій опір залежно від температури твердого тіла. Чим вище температура, тим більше змінюється опір RTD.

3. Мостова схема: Використовується для перетворення зміни опору терморезистора в зміну напруги. Мостова схема забезпечує точне вимірювання малих змін у опорі RTD. Схема може включати чотири резистори, один з яких є RTD, і генерує вихідну напругу, яка пропорційна зміні опору RTD.

4. Операційний підсилювач: Підсилює сигнал від мостової схеми, роблячи його достатньо сильним для подальшої обробки. Операційний підсилювач може також стабілізувати сигнал і покращити його точність.

5. Фільтр низьких частот: Видаляє високочастотні шуми з сигналу, які можуть бути спричинені електромагнітними перешкодами або іншими джерелами шуму. Фільтр забезпечує більш чистий і стабільний сигнал для мікроконтролера.

6. Мікроконтролер: Обробляє цифровий сигнал, отриманий з датчика температури, і обчислює температуру на основі калібрувальних даних. Мікроконтролер також керує дисплеєм та інтерфейсом для ПК. Мікроконтролер може включати алгоритми для лінеаризації та компенсації температури.

7. Дисплей: Відображає виміряну температуру в зручному для користувача форматі. Дисплей може бути рідкокристалічним (LCD), світлодіодним (LED) або будь-яким іншим типом, придатним для відображення числових даних.

8. Wi-Fi модуль. У схемі Wi-Fi модуль забезпечує бездротову передачу даних з мікроконтролера на веб-сторінку або сервер, що дозволяє віддалено моніторити температуру твердих тіл у режимі реального часу та інтегрувати систему з програмним забезпеченням для обробки і візуалізації вимірювань.

Пояснення роботи схеми:

1. Сигнал від джерела живлення подається на терморезистор (RTD), який знаходиться у фізичному контакті з твердим тілом, температуру якого необхідно виміряти.

2. Терморезистор (RTD) змінює свій опір залежно від температури, і ця зміна опору впливає на вихідну напругу мостової схеми (Wheatstone Bridge).

3. Мостова схема (Wheatstone Bridge) генерує змінну напругу, пропорційну зміні опору RTD.

4. Операційний підсилювач підсилює змінну напругу, забезпечуючи стабільний сигнал для подальшої обробки.

5. Фільтр низьких частот видаляє шум з підсиленого сигналу, забезпечуючи чистий сигнал для мікроконтролера.

6. Мікроконтролер обчислює температуру на основі цифрових даних, застосовуючи необхідні корекції та алгоритми.

7. Обчислена температура відображається на дисплеї для зручності користувача.

8. Обчислена температура також відображається та передається дистанційно на веб-сторінку.

Ця схема забезпечує точне та стабільне вимірювання температури твердих тіл, з можливістю відображення даних у реальному часі.

2.2. Обґрунтування мікроконтролеру

Мікроконтролер – це компактний обчислювальний пристрій, який використовується для управління електронними системами та пристроями. Він містить процесор, пам'ять та периферійні пристрої на одній інтегральній схемі.

Мікроконтролери є основою багатьох вбудованих систем, від простих побутових приладів до складних промислових автоматизованих систем.

Основні компоненти мікроконтролера:

1. Процесор (CPU):

- Центральний обчислювальний блок, який виконує команди програми.
- Зазвичай це 8-бітний, 16-бітний або 32-бітний процесор.

2. Пам'ять:

- Оперативна пам'ять (RAM): Використовується для тимчасового зберігання даних під час виконання програми.
- Постійна пам'ять (Flash, ROM): Зберігає програмний код та дані, які не змінюються під час роботи.

3. Периферійні пристрої:

- Цифрові входи/виходи (GPIO): Використовуються для взаємодії з зовнішніми пристроями, такими як світлодіоди, кнопки, реле.
- Аналогові входи/виходи: Включають аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) і цифро-аналогові перетворювачі (DAC) для роботи з аналоговими сигналами.
- Комунікаційні інтерфейси: UART, SPI, I2C, USB, CAN для підключення до інших пристроїв та мікроконтролерів.

4. Таймери та лічильники:

- Використовуються для відліку часу та виконання операцій, які потребують точного часу.

5. Шини даних:

- Використовуються для передачі даних між процесором, пам'яттю та периферійними пристроями.

Типи мікроконтролерів:

1. 8-бітні мікроконтролери:

- Простота та низька вартість.

- Використовуються в простих системах, таких як побутові прилади, іграшки.

- Приклад: Atmel AVR (ATmega328), Microchip PIC.

2. 16-бітні мікроконтролери:

- Краща продуктивність та більший адресний простір порівняно з 8-бітними.

- Використовуються в більш складних системах, таких як автомобільні додатки, промислові контролери.

- Приклад: Microchip dsPIC, TI MSP430.

3. 32-бітні мікроконтролери:

- Висока продуктивність, великий обсяг пам'яті, підтримка складних обчислень.

- Використовуються в системах реального часу, портативних пристроях, медичних приладах.

- Приклад: ARM Cortex-M (STM32, NXP LPC), Espressif ESP32.

Приклади популярних мікроконтролерів

1. Arduino (Atmel AVR):

- Особливості: Простота використання, велика спільнота, багато прикладів і бібліотек.

- Приклади: Arduino Uno (ATmega328), Arduino Mega (ATmega2560).

2. STM32 (STMicroelectronics):

- Особливості: Висока продуктивність, широкий спектр периферійних інтерфейсів, енергоефективні рішення.

- Приклади: STM32F103, STM32F407.

3. ESP32 (Espressif):

- Особливості: Вбудований Wi-Fi та Bluetooth, висока продуктивність, енергоефективність.

- Приклади: ESP32 Dev Kit, ESP32-WROOM-32.

4. PIC (Microchip):

- Особливості: Широкий асортимент для різних завдань, хороша підтримка та документація.

- Приклади: PIC16F877A, PIC18F4550 [5].

Застосування мікроконтролерів:

1. Побутові прилади:

- Пральні машини, мікрохвильові печі, кондиціонери.
- Автоматизація та управління різними функціями.

2. Автомобільна електроніка:

- Системи керування двигуном, системи безпеки, інформаційно-розважальні системи.

- Висока надійність і продуктивність.

3. Промислові системи:

- Автоматизація виробничих процесів, робототехніка, контроль якості.
- Стійкість до суворих умов експлуатації.

4. Медичні прилади:

- Монітори пацієнтів, інсулінові помпи, діагностичне обладнання.
- Висока точність і надійність.

5. Портативні пристрої:

- Смартфони, фітнес-трекери, розумні годинники.
- Низьке енергоспоживання та висока інтеграція функцій.

Для реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл обрано мікроконтролер ATmega328, оскільки він забезпечує достатню продуктивність для обробки даних з датчиків та керування Wi-Fi модулем. Цей мікроконтролер відзначається невеликим енергоспоживанням і компактними розмірами, що дозволяє створювати портативну систему. Велика поширеність ATmega328 та підтримка спільноти забезпечує доступ до готових бібліотек і прикладів роботи з датчиками та бездротовим зв'язком, а також полегшує програмування алгоритмів збору, обробки та передачі даних, включно зі статистичним аналізом і керуванням веб-інтерфейсом. Надійність і стабільність мікроконтролера роблять його оптимальним вибором для

лабораторних та промислових умов, що вимагають точних метрологічних вимірювань. [6].

2.3 Обґрунтування дисплею

Дисплеї є важливими компонентами вбудованих систем, які дозволяють відображати інформацію користувачам. Вони можуть бути використані для різних цілей: індикація стану системи, показ значень датчиків, відображення меню та інше.

Основні типи дисплеїв:

1. Сегментні дисплеї:

- 7-сегментний: Використовується для відображення цифр. Найчастіше застосовується в годинниках, лічильниках та простих індикаторах.

- 14-сегментний і 16-сегментний: Дозволяють відображати не тільки цифри, але й деякі букви та символи. Використовуються в електронних годинниках та вимірювальних приладах.

2. LCD (Liquid Crystal Display):

- Символьні LCD: Мають фіксовану кількість символів на дисплеї (наприклад, 16x2 або 20x4). Часто використовуються в пристроях з обмеженою кількістю інформації для відображення, таких як термостати або прості прилади.

- Графічні LCD: Можуть відображати як текст, так і графіку. Відрізняються різною роздільною здатністю (наприклад, 128x64). Використовуються в більш складних системах, де потрібно відображати графічну інформацію.

3. OLED (Organic Light Emitting Diode):

- Символьні OLED: Подібні до символьних LCD, але з кращою контрастністю та яскравістю.

- Графічні OLED: Висока роздільна здатність і якість зображення. Використовуються в компактних пристроях, де важлива висока якість відображення.

Інтерфейси для підключення дисплеїв

1. Паралельний інтерфейс:

- Використовується в старіших і простіших дисплеях, таких як символьні LCD.

- Потребує великої кількості пінів для підключення, що може бути недоліком для мікроконтролерів з обмеженою кількістю пінів.

2. SPI (Serial Peripheral Interface):

- Послідовний інтерфейс, який використовується в багатьох сучасних дисплеях, таких як графічні LCD, OLED та TFT дисплеї.

- Потребує менше пінів порівняно з паралельним інтерфейсом і забезпечує високу швидкість передачі даних.

3. I2C (Inter-Integrated Circuit):

- Інтерфейс з двома проводами, який використовується для підключення різних периферійних пристроїв, включаючи дисплеї.

- Підходить для випадків, коли потрібно підключити кілька пристроїв до одного мікроконтролера, використовуючи мінімум пінів.

Приклади дисплеїв та їх використання

1. 1602 LCD (16x2 символів):

- Часто використовується в проектах з Arduino для відображення текстової інформації.

- Підключення за допомогою паралельного інтерфейсу або з використанням I2C адаптера.

2. SSD1306 OLED (128x64):

- Графічний дисплей, який використовується для відображення тексту та графіки.

- Підключається через SPI або I2C інтерфейс.

В своїй схемі я використав OLED дисплей (128x64)

OLED (Organic Light Emitting Diode) дисплеї — це передова технологія відображення, яка знаходить застосування у найрізноманітніших пристроях, від телевізорів до мобільних телефонів та носимих гаджетів. Їх унікальні властивості роблять їх відмінними для багатьох застосувань, зокрема в електроніці з обмеженим простором та низьким енергоспоживанням. Розглянемо, що таке OLED-дисплеї, їхні переваги та недоліки, а також деякі специфічні аспекти їхнього використання.

OLED (органічний світлодіод) складається з органічних молекул, що випромінюють світло під дією електричного струму. Основна відмінність від традиційних LCD дисплеїв полягає в тому, що OLED-пікселі самі по собі випромінюють світло і не потребують додаткового підсвічування. Це дозволяє OLED-дисплеям бути набагато тоншими, легшими і споживати менше енергії.

Принцип роботи

OLED-дисплеї працюють за принципом електролюмінесценції. Кожен піксель складається з органічних шарів між двома електродами. Коли до них підводиться струм, органічні молекули випромінюють світло. Інтенсивність світла залежить від величини прикладеної напруги, що дозволяє точно контролювати яскравість кожного пікселя.

Переваги OLED-дисплеїв

1. Висока контрастність:

OLED-дисплеї забезпечують глибокий чорний колір, оскільки вимкнені пікселі не випромінюють світло.

2. Широкий кут огляду:

Зображення залишається чітким навіть при перегляді під великим кутом.

3. Швидкий час відгуку:

OLED-пікселі миттєво реагують на зміни, що важливо для відео та ігор.

5. Низьке енергоспоживання:

Вимкнені пікселі не споживають енергію, що знижує загальне енергоспоживання.

Недоліки OLED-дисплеїв

1. Обмежений термін служби:

Органічні матеріали можуть з часом деградувати, особливо блакитні OLED.

2. Вигоряння екрану:

Постійне відображення статичних зображень може призвести до збереження "привидів" на екрані.

3. Вища вартість виробництва:

Технологія OLED все ще дорожча у виробництві порівняно з LCD.

OLED-дисплеї – це інноваційна технологія, що пропонує безліч переваг, включаючи високу контрастність, гнучкість та низьке енергоспоживання. Незважаючи на деякі недоліки, такі як вигоряння екрану та обмежений термін служби, їхні переваги роблять їх ідеальними для використання в різних пристроях, від смартфонів до носимих гаджетів.

Для своєї комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл обрано OLED-дисплей через його низку переваг. По-перше, OLED-дисплеї забезпечують високу контрастність і чіткість зображення, що дозволяє легко зчитувати покази температури навіть при слабкому освітленні. По-друге, вони мають низьке енергоспоживання, що важливо для портативних і автономних систем. По-третє, OLED-дисплеї підтримують гнучке відображення графічної та текстової інформації, що дозволяє відображати не лише числові значення температури, а й графіки, іконки чи стан сенсорів. Крім того, вони компактні та легко інтегруються з мікроконтролером ATmega328, що робить їх зручним вибором для реалізації зручного та наочного інтерфейсу користувача. [7]

2.4 Обґрунтування датчика температури

Температурні датчики – це пристрої, які використовуються для вимірювання та контролю температури в різних середовищах. Існує декілька типів датчиків, кожен з яких має свої переваги та області застосування.

Ось короткий огляд основних типів температурних датчиків.

Основні типи температурних датчиків:

1. Термопари (Thermocouples):

- Принцип роботи: Використовують ефект Зеєбека, при якому електрорушійна сила (ЕРС) виникає на контакті двох різних металів при різних температурах.

- Переваги: Широкий діапазон вимірюваних температур (-200°C до $+1800^{\circ}\text{C}$), швидка реакція, висока надійність.

- Недоліки: Невелика точність ($\pm 1-2^{\circ}\text{C}$), потребують калібрування, складність підключення.

- Застосування: Промисловість, металургія, енергетика.

2. Термістори (Thermistors):

- Принцип роботи: Зміна опору матеріалу при зміні температури. Найпоширеніші – NTC (Negative Temperature Coefficient) термістори, де опір зменшується зі збільшенням температури.

- Переваги: Висока точність і чутливість, недорога ціна.

- Недоліки: Обмежений діапазон температур (-50°C до $+150^{\circ}\text{C}$), нелінійність характеристик.

- Застосування: Побутові прилади, медичне обладнання, автомобільні системи.

3. Резистивні температурні детектори (RTD):

- Принцип роботи: Використовують зміну опору металу (зазвичай платини) при зміні температури.

- Переваги: Висока точність і стабільність, лінійна характеристика.

- Недоліки: Вища ціна порівняно з термісторами, потреба у більш складній електроніці для вимірювання.

- Застосування: Лабораторні дослідження, прецизійні промислові застосування.

4. Напівпровідникові датчики температури:

- Принцип роботи: Використовують залежність напруги або струму через напівпровідник від температури.

- Переваги: Компактні розміри, інтеграція з мікроконтролерами, можливість цифрового виходу.

- Недоліки: Обмежений діапазон температур (-55°C до $+150^{\circ}\text{C}$).

- Застосування: Електронні пристрої, комп'ютери, смартфони.

5. Інфрачервоні (IR) датчики температури:

- Принцип роботи: Вимірюють інфрачервоне випромінювання, яке випускається об'єктом.

- Переваги: Безконтактне вимірювання, швидка реакція, можливість вимірювання високих температур.

- Недоліки: Залежність від емісивності поверхні, чутливість до забруднень і пилу.

- Застосування: Медицина, промислові додатки, системи безпеки.

Приклади конкретних датчиків:

1. DS18B20 (напівпровідниковий датчик):

- Тип: Напівпровідниковий.

- Діапазон температур: -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$.

- Особливості: Цифровий вихід, інтерфейс 1-Wire, висока точність $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

- Застосування: Розумні будинки, електронні пристрої, системи моніторингу.

2. LM35 (напівпровідниковий датчик):

- Тип: Напівпровідниковий.

- Діапазон температур: -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$.

- Особливості: Аналоговий вихід, висока точність $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

- Застосування: Побутова техніка, медичне обладнання.

3. PT1000 (RTD):

- Тип: Резистивний температурний детектор.

- Діапазон температур: -200°C до $+850^{\circ}\text{C}$.

- Особливості: Висока точність, стабільність.
- Застосування: Промислові системи, калібрувальні лабораторії.

Для своєї схеми я обрав резистивний датчик РТ1000:

Для своєї комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл обрано резистивний датчик РТ1000 через його високу **точність і стабільність** вимірювань. РТ1000 забезпечує лінійну залежність електричного опору від температури, що дозволяє отримувати надійні та відтворювані результати у широкому діапазоні температур. Він стійкий до електричних шумів і змін навколишнього середовища, що важливо для промислових та лабораторних умов. Крім того, РТ1000 має низьке енергоспоживання, компактний розмір і легко інтегрується з мікроконтролером АТmega328, що робить його оптимальним вибором для побудови точної та стабільної комп'ютеризованої системи вимірювання температури. [8]

2.5 Обґрунтування блока живлення

Системи живлення забезпечують електричну енергію для роботи електронних компонентів і мікроконтролерів. Вони включають в себе різноманітні джерела живлення та компоненти для регулювання напруги і струму, такі як перетворювачі напруги, стабілізатори та акумулятори.

Основні компоненти систем живлення

1. Джерела живлення:

- Батареї та акумулятори: Забезпечують портативне живлення для пристроїв.
- Блоки живлення: Перетворюють змінний струм (АС) на постійний (DC) для живлення електронних компонентів.
- Сонячні панелі: Використовуються для екологічного живлення пристроїв за допомогою сонячної енергії.

2. Регулятори напруги:

- Лінійні регулятори: Наприклад, 7805 забезпечують стабільну напругу, але мають низький коефіцієнт ефективності.

- Імпульсні регулятори: Більш ефективні, використовують метод перетворення за допомогою індуктивності та ємності.

3. Перетворювачі напруги:

- Buck (Step-Down) Converter: Знижує вхідну напругу до нижчого рівня.

- Boost (Step-Up) Converter: Підвищує вхідну напругу до вищого рівня.

- Buck-Boost Converter: Може як підвищувати, так і знижувати вхідну напругу.

MT3608 є чудовим вибором для підвищення напруги у багатьох електронних проектах. Завдяки своїй високій ефективності, простоті використання та компактному розміру, він підходить для широкого спектру застосувань, від живлення портативних пристроїв до забезпечення живлення світлодіодів та мікроконтролерів.

Принцип роботи: MT3608 є типом імпульсного перетворювача напруги, який використовує комутацію височастотного сигналу для перетворення енергії. Основний принцип роботи підвищувального перетворювача полягає в накопиченні енергії в індуктивності під час замкнутого стану комутатора та випуску цієї енергії на вихід, коли комутатор розмикається.

У випадку MT3608, мікросхема керує комутацією через внутрішній MOSFET, що дозволяє ефективно підвищувати вхідну напругу. Перетворювач включає в себе зворотний зв'язок для стабілізації вихідної напруги в межах заданого діапазону.[9]

2.6. Обґрунтування операційного підсилювача

Операційні підсилювачі (ОП) – це універсальні інтегральні схеми, що використовуються для підсилення електричних сигналів. Вони є основою багатьох аналогових електронних пристроїв і систем.

Основні характеристики ОП:

1. Високий коефіцієнт підсилення напруги:

- Зазвичай більше 100,000.

2. Високий вхідний опір:

- Порядку мегаомів, що мінімізує навантаження на джерело сигналу.

3. Низький вихідний опір:

- Порядку одиниць омів, що дозволяє ефективно передавати сигнал на навантаження.

4. Широкий діапазон частот:

- Можуть працювати від постійного струму (DC) до кількох мегагерців (МГц).

Основні конфігурації ОП:

1. Інвертуючий підсилювач:

- Сигнал подається на інвертуючий вхід, вихідний сигнал має протилежну фазу.

2. Неінвертуючий підсилювач:

- Сигнал подається на неінвертуючий вхід, вихідний сигнал має ту ж фазу, що і вхідний.

3. Диференціальний підсилювач:

- Підсилює різницю між двома вхідними сигналами.

4. Суматор:

- Вихідний сигнал є сумою декількох вхідних сигналів.

5. Інтегратор:

- Вихідний сигнал є інтегралом вхідного сигналу.

6. Диференціатор:

- Вихідний сигнал є похідною вхідного сигналу.

Застосування ОП:

1. Підсилення слабких сигналів:

- Використовуються для підсилення сигналів з датчиків і інших джерел.

2. Фільтри:

- Реалізація активних фільтрів (низькочастотних, високочастотних, смугових).

3. Генератори сигналів:

- Створення синусоїдальних, прямокутних та інших сигналів.

4. Компаратори:

- Порівняння двох сигналів і генерування логічного вихідного сигналу.

5. Вимірювальні прилади:

- Використовуються в осцилографах, мультиметрах та інших вимірювальних пристроях.

В моїй схемі використовується операційний підсилювач ОРА177

ОРА177 є чудовим вибором для застосувань, що вимагають високої точності, стабільності та низького рівня шуму. Його застосовують у вимірювальних системах, джерелах опорної напруги, аудіо обробці та інших високоточних аналогових схемах. Незважаючи на деякі недоліки, такі як висока ціна та обмежена швидкість перетворення, ОРА177 забезпечує неперевершену точність та надійність для критично важливих застосувань.[10]

2.7. Обґрунтування фільтру низьких частот

Фільтри низьких частот (Low-pass filters) - це електронні пристрої або схеми, які пропускають сигнали з низькими частотами і блокують сигнали з високими частотами. Основна їх функція - обмеження частотного діапазону сигналу. Фільтри низьких частот широко використовуються в електроніці для фільтрації шумів, видалення високочастотних складових сигналу або підсилення низькочастотних складових.

Основні типи фільтрів низьких частот:

1. RC фільтри: Базуються на резисторах (R) і конденсаторах (C). Прості у побудові, вони зазвичай використовуються для фільтрації низьких частот.

2. RL фільтри: Складаються з резисторів і котушок індуктивності (L). Частіше використовуються у випадках, коли необхідно фільтрувати сигнали в діапазоні радіочастот або коли потрібно відсіяти високі частоти.

3. RC фільтри з активним підсиленням: Вони включають операційні підсилювачі для підсилення або згасання сигналів на виході.

Основні характеристики фільтрів низьких частот:

1. Частота зрізу (cut-off frequency): Це частота, на якій вихідний сигнал зменшується на -3 дБ в порівнянні з амплітудою вхідного сигналу.

2. Полоса пропускання: Частотний діапазон, в якому вихідний сигнал практично не змінюється.

3. Полоса згасання: Частотний діапазон, в якому амплітуда сигналу зменшується в порівнянні з амплітудою вхідного сигналу.

Застосування фільтрів низьких частот:

1. Аудіоапаратура: Вони використовуються для фільтрації низьких частот у звукових системах.

2. Телекомунікації: Використовуються для фільтрації шумів у сигналах передачі даних.

3. Медична техніка: Застосовуються для обробки біомедичних сигналів, наприклад, ЕКГ.

4. Радіо та телевізійне обладнання: Використовуються для фільтрації радіочастотних сигналів.

5. Електроніка потужності: Використовуються для фільтрації шуму у джерелах живлення.

Фільтри низьких частот грають ключову роль у багатьох аспектах електроніки і дозволяють контролювати та оптимізувати передачу сигналів в різноманітних пристроях і системах.[9]

2.8. Обґрунтування перемикача

Перемикачі є ключовими компонентами в електроніці та електротехніці. Вони використовуються для управління потоком електричного струму в ланцюгах, дозволяючи вмикати або вимикати пристрої, перемикати між різними ланцюгами або змінювати конфігурації в схемах.

Типи Перемикачів

1. Механічні Перемикачі

Механічні перемикачі - це найпоширеніший тип, який використовує фізичний контакт для замикання або розмикання електричного ланцюга. Вони бувають різних видів:

- Клавішні перемикачі: Застосовуються в побутових пристроях, таких як світильники.
- Поворотні перемикачі: Використовуються для вибору одного з кількох положень або ланцюгів, наприклад, у радіоприймачах.
- Тумблерні перемикачі: Мають важіль, який перемикається між положеннями. Часто застосовуються в автомобілях та промислових додатках.
- Кнопкові перемикачі: Включають або вимикають пристрій при натисканні кнопки. Поширені в електроніці для керування живленням або режимами роботи.
- Повзункові перемикачі: Змінюють положення контакту при зрушенні ковзаючої частини. Використовуються в радіо- та аудіотехніці.

2. Електронні Перемикачі

Електронні перемикачі використовують напівпровідникові компоненти для управління потоком електричного струму без фізичного контакту. Вони часто застосовуються в цифрових схемах і можуть мати різні форми, такі як транзистори або тиристори.

- MOSFETs (польові транзистори): Використовуються як перемикачі в цифрових і аналогових схемах.
- Тиристори: Використовуються для управління великими струмами, наприклад, в регуляторах напруги.

- Реле: Хоча вони мають механічний контакт, реле використовують електромагніт для перемикавання, що робить їх схожими на електронні перемикачі.

3. Ручні Перемикачі

Ручні перемикачі використовуються для вручну керувати електричними пристроями. Вони можуть бути механічними або електронними і включають кнопки, важелі, повзунки тощо.

- Кнопки: Нормально відкриті (NO) або нормально закриті (NC), використовуються в панелях управління.

- Перемикачі з фіксацією: Зберігають своє положення після натискання, використовуються в електричних інструментах.

- Міні-перемикачі: Компактні версії для портативних або малогабаритних пристроїв.[11]

2.9. Обґрунтування wi-fi модуля

У сучасних системах використовуються різні типи Wi-Fi модулів, серед яких найпоширеніші:

1. ESP-01 (ESP8266) – компактний модуль з підтримкою стандарту Wi-Fi 802.11 b/g/n, низьким енергоспоживанням і можливістю прямого програмування. Підтримує протоколи TCP/IP і HTTP, що дозволяє організувати передачу даних на веб-сервер або віддалений пристрій.

2. ESP-12 (ESP8266) – розширена версія з більшою кількістю GPIO і вбудованою антеною, що підходить для складніших проектів із великою кількістю сенсорів.

3. ESP32 – більш потужний модуль з двоядерним процесором, Bluetooth та Wi-Fi, підходить для багатофункціональних систем, де потрібна висока обробка даних та кілька комунікаційних каналів.

4. Wi-Fi модулі на базі інших чіпів (наприклад, RN-XV або CC3200) – мають специфічні характеристики і застосовуються переважно у промислових рішеннях.

Для розроблюваної системи обрано ESP-01, оскільки він має компактні розміри, низьке енергоспоживання і достатній функціонал для передачі температурних даних на веб-сторінку. Модуль легко інтегрується з мікроконтролером ATmega328, підтримує стандартні протоколи передачі даних і дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг у режимі реального часу без зайвих складнощів. Його використання робить систему простою, надійною та економічно вигідною для лабораторних та промислових умов.

2.10. Структурна схема

Структурна схема – це графічне або логічне зображення системи, що показує взаємозв'язок і ієрархію її компонентів або модулів без деталізації послідовності дій.

Структурна схема для комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл представлена на рис.2.1.

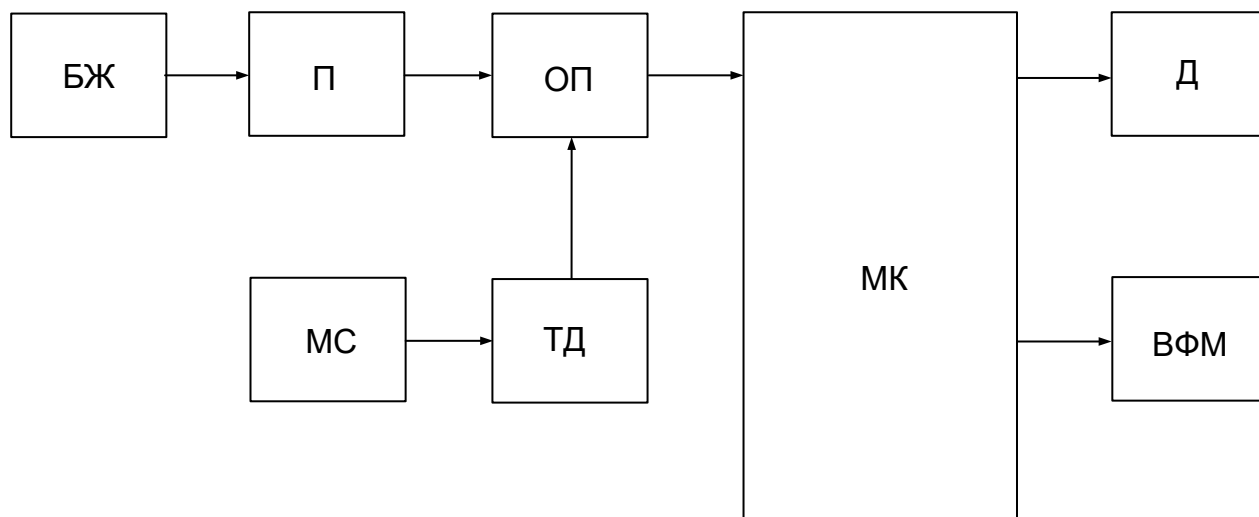


Рисунок 2.1. Структурна схема системи

Розшифровка складових наступна:

1. БЖ – система живлення;
2. П – перемикач;

- 3. ОП – операційний підсилювач ;
- 4. МС – мостова схема;
- 5. ТД – температурний датчик;
- 6. МК – мікроконтролер;
- 7. Д – дисплей;
- 8. ВФМ – вай фай модуль.

Висновки до 2 розділу

У другому розділі обрано основні складові комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл: блок живлення, перемикач, операційний підсилювач, мостова схема, температурний датчик, мікроконтролер, дисплей та Wi-Fi модуль. Розроблена структурна схема наочно відображає взаємозв'язки цих компонентів і логіку роботи системи, що слугує основою для подальшої розробки принципової схеми, програмного забезпечення та інтеграції системи в експериментальні та промислові умови.

3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

3.1. Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер ATmega328 є одним з найпопулярніших мікроконтролерів, що використовуються на платформі Arduino. Він розроблений компанією Atmel (закуплена компанією Microchip Technology) і має широке застосування у вбудованих системах, прототипуванні та розробці пристроїв.

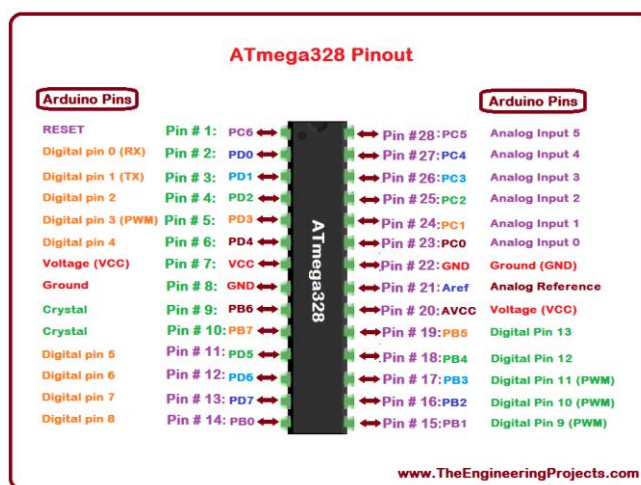


Рис. 3.1. Мікроконтролер ATmega328 та його розпіновка

Основні характеристики мікроконтролера ATmega328 включають:

1. Архітектура: ATmega328 використовує архітектуру RISC (Reduced Instruction Set Computer) з 8-бітним процесором. Це означає, що він оптимізований для виконання простих команд, що дозволяє досягти високої продуктивності при низькому споживанні енергії.
2. Частота: ATmega328 працює на частоті до 20 МГц, що дозволяє виконувати швидкі обчислення та операції з введенням/виведенням даних.
3. Пам'ять: Вбудована пам'ять ATmega328 складається з 32 кілобайт флеш-пам'яті для збереження програмного коду, 2 кілобайт оперативної пам'яті (SRAM) для збереження змінних та 1 кілобайт EEPROM для збереження постійних даних.

4. Введення/виведення: Мікроконтролер має 23 цифрових входи/виходи, з яких 6 можуть бути використані як виходи PWM (Pulse Width Modulation), та 6 аналогових входів, які можуть бути використані для зчитування аналогових сигналів.

5. Комунікаційні інтерфейси: ATmega328 підтримує такі комунікаційні інтерфейси, як UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) для зв'язку з персональним комп'ютером або іншими пристроями, SPI (Serial Peripheral Interface) та I2C (Inter-Integrated Circuit) для зв'язку з іншими пристроями та датчиками.

6. Живлення: Мікроконтролер може працювати в діапазоні напруги від 1.8 В до 5.5 В. Він підтримує різні джерела живлення, включаючи батарейне живлення, зовнішнє джерело живлення або живлення від USB.

7. Програмування: ATmega328 може бути програмований за допомогою мови Arduino, яка базується на мові C/C++. Є різні середовища розробки, такі як Arduino IDE, що полегшують розробку програм для цього мікроконтролера [12].

Мікроконтролер ATmega328 є надійним і добре підходить для широкого спектру застосувань, включаючи контролери роботів, сенсорні системи, автоматизацію та багато іншого. Його популярність пояснюється великою спільнотою розробників, великим вибором додаткових модулів та легкістю використання на платформі Arduino.

3.2.Вибір дисплею

OLED (Organic Light Emitting Diode) дисплей з роздільною здатністю 128x64 пікселів є одним з найпопулярніших видів дисплеїв, які використовуються в різних електронних пристроях.

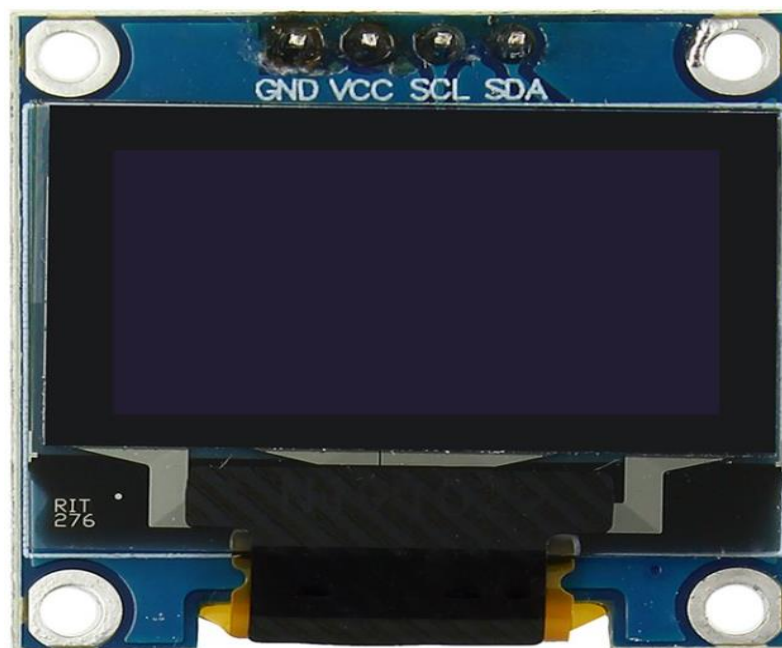


Рис. 3.2 Зовнішній вигляд дисплею OLED SSD1306

Основні характеристики та переваги таких дисплеїв:

1. Роздільна здатність: 128x64 пікселів.
2. Технологія: OLED дисплеї використовують органічні сполуки, які випромінюють світло при проходженні через них електричного струму.
3. Контрастність: Дуже висока, завдяки тому, що OLED пікселі можуть повністю вимикатися, створюючи справжній чорний колір.
4. Кути огляду: Широкі кути огляду, зазвичай до 170 градусів без значних змін у кольорі або контрастності.
5. Яскравість: Зазвичай дуже висока, що дозволяє використовувати дисплей при яскравому освітленні.
6. Енергоспоживання: Низьке, особливо при відображенні зображень з великою кількістю чорного кольору, оскільки вимкнені пікселі не споживають електроенергію.
7. Розмір: Зазвичай компактний, що дозволяє використовувати його в малогабаритних пристроях.

Переваги OLED дисплеїв:

1. Якість зображення: Високий контраст і яскравість забезпечують чудову якість зображення.

2. Енергозбереження: Відносно низьке споживання енергії завдяки можливості вимикання окремих пікселів.

3. Гнучкість: OLED дисплеї можуть бути виготовлені на гнучких підкладках, що дозволяє створювати гнучкі або зігнуті дисплеї.

4. Тонкість: Відсутність потреби в підсвічуванні дозволяє створювати дуже тонкі дисплеї.

Застосування:

OLED дисплеї з роздільною здатністю 128x64 широко використовуються в різних пристроях:

- Портативна електроніка: MP3-плеєри, годинники, пульти дистанційного керування.
- Промислове обладнання: Інструментальні панелі, дисплеї для вимірювальних приладів.
- Медичне обладнання: Портативні медичні прилади, монітори.
- DIY та прототипування: Популярний серед ентузіастів електроніки та розробників для створення різних проектів на базі мікроконтролерів [13].

3.3 Вибір датчика температури

Датчик температури PT1000 – це платиновий резистивний термометр, який має номінальний опір 1000 Ом при 0°C. Цей тип датчика використовується для точних вимірювань температури і має кілька важливих характеристик, які роблять його популярним у багатьох застосуваннях.



Рис. 3.3 Датчик температури PT1000

Основні характеристики PT1000:

1. Матеріал: Платина (Pt).
2. Номінальний опір: 1000 Ом при 0°C.
3. Температурний коефіцієнт: Приблизно 0.00385 Ом/Ом/°C (IEC 60751).
4. Діапазон вимірюваних температур: Зазвичай від -200°C до +850°C.
5. Точність: Залежно від класу точності (наприклад, Class A, Class B):
 - Class A: $\pm(0.15 + 0.002 |t|)^{\circ}\text{C}$, де $|t|$ - абсолютне значення температури.
 - Class B: $\pm(0.3 + 0.005 |t|)^{\circ}\text{C}$.
6. Лінійність: Платинові RTD датчики мають майже лінійну залежність опору від температури, що спрощує обробку сигналу.
7. Стабільність: Платина є дуже стабільним матеріалом, що забезпечує тривалу точність вимірювань.

Переваги PT1000:

- Висока точність: Платина забезпечує високу точність вимірювань, що важливо для наукових та промислових застосувань.
- Широкий діапазон вимірювань: Можливість вимірювати дуже низькі та дуже високі температури.
- Стабільність та надійність: Платинові RTD дуже стабільні з часом і мають довгий термін служби.
- Менший вплив контактного опору: Через більш високий номінальний опір, PT1000 менш чутливий до змін контактного опору в порівнянні з PT100.

Застосування:

- Промислові процеси: Контроль та моніторинг температури в різних промислових процесах.
- Наскрізне охолодження та HVAC: Системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.
- Медицина: Використовується в медичних пристроях, що потребують точного контролю температури.

- Наукові дослідження: Лабораторні вимірювання температури в дослідницьких установах.

Підключення до електронних схем:

PT1000 зазвичай використовується з мостовими схемами, для перетворення зміни опору на зміну напруги. Потім ця напруга підсилюється операційним підсилювачем, фільтрується та перетворюється на цифровий сигнал за допомогою аналого-цифрового перетворювача (ADC), який подається на мікроконтролер для подальшої обробки [14].

3.4. Вибір перетворювача напруги

MT3608 - це компактний, ефективний підвищувальний DC-DC перетворювач напруги, який використовується для збільшення напруги від джерела живлення до потрібного рівня. Він часто використовується в портативних пристроях, де потрібно підвищити напругу від акумулятора або іншого низьковольтного джерела до вищої напруги для живлення різних компонентів.



Рис. 3.4 Перетворювач напруги MT3608

Основні характеристики MT3608:

Вхідна напруга:

- Діапазон вхідної напруги: 2V до 24V.
- Це дозволяє працювати з різними джерелами живлення, такими як літієві акумулятори (3.7V), або інші низьковольтні джерела.

Вихідна напруга:

- Регульована вихідна напруга: 2V до 28V.
- Встановлюється через потенціометр, який дозволяє точно налаштувати вихідну напругу до потрібного значення.

Максимальний вихідний струм:

- До 2A, але фактичний струм залежить від вхідної напруги, вихідної напруги та умов охолодження.

Ефективність:

- Висока ефективність, яка досягає 93-95%, залежно від навантаження і різниці між вхідною та вихідною напругою.

Частота роботи:

- Типова частота перемикання 1.2 МГц, що дозволяє використовувати малі компоненти для фільтрації і підвищує ефективність.

Розміри:

- Компактний модуль, що підходить для використання в обмеженому просторі.

Додаткові функції:

- Захист від короткого замикання, захист від перевантаження по струму.
- Можливість включення/вимкнення через контрольний сигнал EN (enable) [15].

3.5 Вибір операційного підсилювача

Операційний підсилювач (ОП) OPA177 є високоточним підсилювачем постійного струму, виробленим компанією Texas Instruments. Він відомий

своїми відмінними характеристиками, такими як низький рівень шуму, висока точність та стабільність.



Рис. 3.5. Операційний підсилювач OPA177

Основні характеристики OPA177:

1. Низький рівень зсуву напруги:

Типове значення: $25 \mu\text{V}$.

- Максимальне значення: $75 \mu\text{V}$.

2. Температурний коефіцієнт зсуву напруги:

- Типове значення: $0.1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

- Максимальне значення: $0.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

3. Низький рівень шуму:

- Шумова напруга: $0.3 \mu\text{V p-p}$ (0.1 Гц - 10 Гц).

4. Висока швидкість підйому (slew rate):

- 0.3 В/мкс .

5. Високий коефіцієнт посилення відкритого контуру (open-loop gain):

- Типове значення: 120 дБ.

6. Низький вхідний струм зміщення:

2 нА (типове значення).

Застосування:

1. Вимірювальні прилади: Завдяки високій точності, ОРА177 широко використовується в пристроях, що вимагають точних вимірювань, таких як мультиметри, вольтметри і датчики.

2. Медичне обладнання: У медичних приладах, де необхідна висока точність і надійність, цей ОП забезпечує стабільну роботу.

3. Автоматизація та контроль: Використовується в системах автоматизації, де потрібні точні аналого-цифрові перетворення і стабільні сигнали.

4. Промислові додатки: Застосовується в різних промислових контролерах і системах, де необхідно забезпечити стабільну і точну роботу при змінних умовах навколишнього середовища.

5. Аудіо обладнання: Використовується в високоякісних аудіо підсилювачах та інших аудіопристроях, де важливий низький рівень шуму і висока точність.

ОРА177 завдяки своїм характеристикам є надійним вибором для багатьох застосувань, де висока точність і стабільність мають ключове значення [16].

3.6 Вибір фільтру низьких частот

Фільтр низьких частот (ФНЧ) першого порядку RC-фільтр є простим електронним фільтром, який пропускає сигнали з частотами нижче певної порогової частоти і послаблює сигнали з частотами вище цієї порогової частоти. Назва RC-фільтра походить від його компонентів: резистора (R) і конденсатора (C).

Структура та принцип роботи

RC-фільтр складається з резистора, з'єднаного послідовно з конденсатором, причому вихідний сигнал знімається з конденсатора. Вхідний сигнал подається на резистор.

Принцип роботи:

1. Низькочастотні сигнали: На низьких частотах конденсатор має великий опір (реактивний опір конденсатора($X_C = \frac{1}{2\pi fC}$)), що дозволяє більшій частині сигналу пройти до виходу.

2. Високочастотні сигнали: На високих частотах конденсатор має малий опір, що призводить до того, що більша частина сигналу шунтується на землю, і тільки невелика частина сигналу досягає виходу.

Частотна характеристика

ФНЧ першого порядку має порогову частоту (частоту зрізу) f_c яка визначається за формулою:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.1)$$

Ця частота є точкою, де амплітуда вихідного сигналу знижується до 70.7% (або -3 дБ) від амплітуди вхідного сигналу.

Функція передавання

Функція передавання фільтра (у комплексній площині) описується наступним виразом:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_c}} \quad (3.2)$$

де:

- V_{out} - вихідна напруга,
- V_{in} - вхідна напруга,
- j - уявна одиниця,
- f - частота сигналу,
- f_c - частота зрізу.

Фазова характеристика RC-фільтра першого порядку визначає фазовий зсув між вхідним і вихідним сигналами. При частоті зрізу фазовий зсув становить -45 градусів. На низьких частотах зсув наближається до 0 градусів, а на високих – до -90 градусів.

RC-фільтри першого порядку часто використовуються в різних електронних пристроях, зокрема в аудіообладнанні, для видалення

високочастотного шуму, в схемах живлення для згладжування коливань напруги, а також у цифровій техніці для обмеження швидкості наростання сигналу.

Висновок: RC-фільтр першого порядку є основним, але дуже важливим елементом в електроніці, який використовується для формування частотних характеристик сигналів.

3.7. Вибірwifi модуля

Для своєї комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл обрано Wi-Fi модуль ESP-01. Цей модуль забезпечує бездротову передачу даних з мікроконтролера на веб-сторінку або сервер, що дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг температури в режимі реального часу. ESP-01 підтримує стандарт Wi-Fi 802.11 b/g/n, має компактні розміри, низьке енергоспоживання та легко інтегрується з мікроконтролером ATmega328, що робить його оптимальним вибором для автоматизованої системи вимірювання температури.



Рис. 3.6. Wi-Fi модуль ESP-01

Технічні характеристики модуля

- Wi-Fi 802.11 b/g/n, 2,4 ГГц;
- Режими WiFi: P2P (клієнт), soft-AP (точка доступу);
- Вихідна потужність WiFi – 19,5 дБ;
- Напруга живлення – 1,8 – 3,6 В;
- Струм споживання – 220 мА;

- Портів GPIO: 2;
- Тактова частота процесора – 80 МГц;
- Об'єм пам'яті для коду – 1024 Кб;
- Оперативна пам'ять – 96 КБ;
- Розміри – 24,8 мм x 14,3 мм x 8 мм.

Модуль ESP-01 є невеликою платою, на якій розташовані два основних чіпи, це мікроконтролер ESP8266 і flash пам'ять на 1 Мб (на ній міститься прошивка, оскільки мікроконтролер не має внутрішньої flash пам'яті). Поруч розташований кварцовий резонатор та друкована антена. На платі встановлено два світлодіоди, червоний та блакитний. Червоний світлодіод, світиться коли на модулі є живлення, а синій блимає при виконанні команд (У версії плати ESP-01S червоний світлодіод відсутній через причину споживання електроенергії). Для підключення модуля ESP-01, передбачено вісім виводів (з кроком 2,54 мм) рис.3.7.

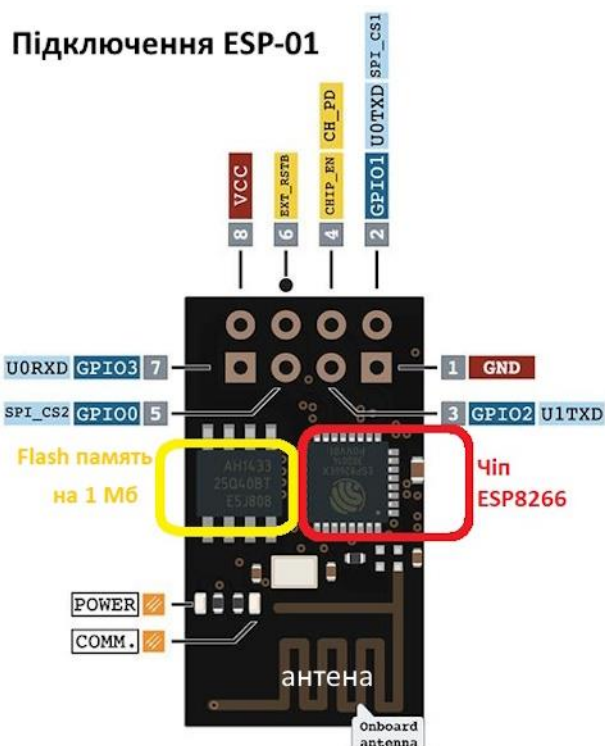


Рис. 3.7. Призначення виводів Wi-Fi модуль ESP-01

Призначення виводів ESP-01:

- GND: "-" живлення модуля;
- TX: UART передача;

- GPIO2: (Digital I/O програмований);
- CH_PD: (включення/відключення живлення, повинні бути виведені на 3,3 В безпосередньо або через резистор);
- GPIO0: (Digital I/O програмований, також використовується для режимів завантаження);
- RST: скидання, необхідно підтягнути до 3,3 В;
- RX: UART прийом;
- VCC: "3,3В" живлення модуля [17].

3.8. Вибір акумулятора

Для вибору акумулятора зведемо всі складові елементи в таблицю табд.3.1.

Таблиця 3.1. Живлення складових комп'ютеризованої системи

Компонент	Робоча напруга, В	Споживаний струм, мА	Примітки
Мікроконтролер ATmega328	5	20–50	Живлення стабілізованою напругою 5 В
OLED-дисплей SSD1306	3,3–5	20–40	Може живитись від 3,3 В через стабілізатор
Датчик температури PT1000	3,3–5	<10	Підключення через мостову схему і ОП
Операційний підсилювач OPA177	±5 або 5	~1–2	Живлення симетричне або стабілізоване 5 В
Мостова схема	3,3–5	<5	Використовує живлення датчика
Wi-Fi модуль ESP-01	3,3	70–300	Пік споживання під час передачі
Перемикач	—	—	Використовується для включення/вимкнення системи
Блок живлення / акумулятор	3,7–5	залежить від системи	Забезпечує стабільну роботу всіх компонентів

Для живлення системи обрано літій-полімерний акумулятор 3,7 В з ємністю 2000–3000 мА·год або блок живлення 5 В з стабілізацією.

Акумулятор підходить для портативної роботи системи, забезпечує автономність, низьке енергоспоживання та можливість стабілізації напруги для компонентів, які потребують 3,3 В (Wi-Fi модуль) та 5 В (мікроконтролер, дисплей, ОП).

Так, для переносного пристрою найоптимальніший варіант — літій-полімерний (Li-Po) акумулятор. Він компактний, має високий заряд і стабільну напругу, що важливо для роботи мікроконтролера, OLED-дисплея та Wi-Fi модуля.

Таким чином, Li-Po акумулятор 2000–3000 мА·год забезпечує зручну автономну роботу системи протягом декількох годин, а при необхідності його можна замінити на акумулятор більшої ємності для тривалішої роботи.

Оптимальний вибір: Li-Po 3,7 В, 2500 mAh, наприклад модель типу 104050 або Akyga AKY0156 – вони мають баланс між ємністю, розмірами та здатністю жити всі компоненти системи без зайвого навантаження.

Akyga AKY0156 – це літій-полімерний (Li-Po) акумулятор із захисною схемою, призначений для живлення портативних електронних пристроїв, зокрема переносних систем з мікроконтролерами та бездротовими модулями.



Рис.3.8. Акумулятор Akyga AKY0156

Технічні характеристики:

- Номінальна напруга: 3,7 В – характерна для Li-Po акумуляторів і добре підходить для живлення модулів через відповідні стабілізатори.
- Ємність: 2500 mAh – забезпечує достатню кількість енергії для тривалої автономної роботи (переважно кілька годин залежно від навантаження).
- Тип елемента: Li-Po (літій-полімерний) – компактний і легкий, з високою щільністю енергії.
- Захисна плата (PCM): так – захищає від перезаряду, надмірного розряду та короткого замикання, що підвищує безпеку використання
- Розміри: $\approx 85 \times 50 \times 4,7$ мм – компактний плоский корпус.
- З'єднання: кабель довжиною ~ 150 мм із роз'ємом JST 2-pin для простого підключення до схеми живлення.
- Маса: ≈ 44 г – легкий для переносних пристроїв.
- Сертифікації: CE, RoHS, MSDS – відповідає міжнародним вимогам безпеки та екології.
- Гарантія: 24 місяці (за умови дотримання правил експлуатації)[18].

3.9. Побудова принципово-електричної схеми

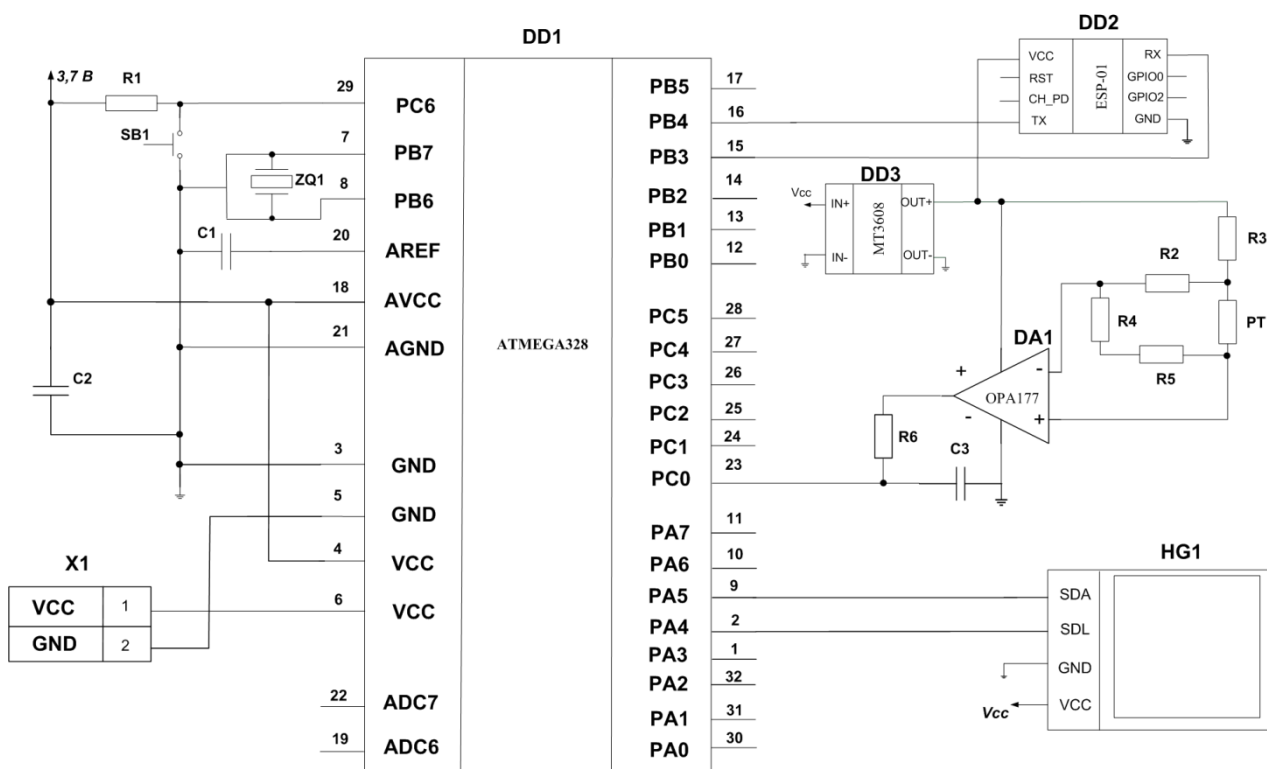
Принципова електрична схема (також відома як електрична схема або принципова схема) є графічним зображенням, що відображає структуру та зв'язки між електричними компонентами у пристрої або системі. Вона використовується для представлення принципової працездатності пристрою та передачі інформації про його функціональність, з'єднання та взаємодію компонентів.

Принципова електрична схема використовує стандартні символи та позначення для представлення різних електричних компонентів, таких як резистори, конденсатори, транзистори, інтегральні схеми та інші. Компоненти підключаються за допомогою ліній та з'єднувальних вузлів, які вказують напрямок потоку сигналу.

Принципова електрична схема допомагає інженерам та технікам розуміти та аналізувати принципову роботу пристрою, виявляти можливі проблеми та здійснювати моделювання імітаційних схем. Вона також використовується під час проектування, виробництва та обслуговування електронних пристроїв і систем.

Принципові електричні схеми можуть бути простими, якщо вони відображають окремі компоненти та їх підключення, або складними, якщо вони включають багато компонентів і зв'язків. Крім того, вони можуть бути статичними, показуючи стан пристрою в певний момент часу, або динамічними, відображаючи залежності між компонентами в часі.

Узагальнюючи, принципова електрична схема є важливим інструментом для розуміння, аналізу та проектування електричних пристроїв і систем, дозволяючи візуалізувати та передавати їх функціональність та зв'язки між компонентами.



3.9. Принципова схема комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл

Складові системи наступні:

- DD1 – мікроконтролер ATmega328;
- DD2 – wi-fi модуль ESP-01;
- DD3 – перетворювач напруги MT3608;
- DA1 – операційний підсилювач ОРА177;
- X1 – роз'єм для підключення акумулятора;
- HG1 – Oled дисплей;
- SB1 – перемикач;
- PT – датчик температури PT1000;
- C1 – 100нФ;
- C2 – 4,7мкФ;
- C3 – конденсатор 22нФ;
- R1 – 1 кОм
- R2, R3, R4, R5, R6 – резистор 1кОм.

3.10. Розробка друкованої плати

Для побудови плати я використав середовище Easy EDA: EasyEDA є онлайн-платформою для проектування електронних схем та друкованих плат (PCB). Вона надає зручні інструменти для створення, редагування та спільної роботи над проектами електронних пристроїв.

Основні можливості EasyEDA:

Проектування схем: EasyEDA має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє легко створювати електричні схеми. В програмі можна використовувати готові компоненти з бібліотеки або створювати свої власні. Програма автоматично з'єднує елементи та забезпечує перевірку правильності з'єднань.

EasyEDA надає різноманітні інструменти для редагування схем, включаючи переміщення, поворот, масштабування та копіювання елементів. В програмі можна змінювати властивості елементів, такі як значення, мітки тощо.

Симуляція: EasyEDA має вбудований симулятор, який дозволяє перевірити роботу вашої схеми перед виготовленням друкованої плати.

Проектування печатних плат (PCB): EasyEDA дозволяє легко перетворити вашу схему в друковану плату. В програмі можна розміщувати компоненти, встановлювати з'єднання, розташовувати сліди та стежки, виконувати правила розміщення компонентів і розподіл слідів.

Спільна робота: EasyEDA підтримує можливість спільної роботи над проектами. Ви можете запрошувати інших користувачів для спільного доступу до проекту, обмінюватися думками, коментарями та вносити зміни в реальному часі.

Виготовлення печатних плат: EasyEDA надає можливість замовити виготовлення друкованих плат безпосередньо з платформи. Ви можете вибрати параметри, такі як кількість шарів, матеріал плати та інші налаштування, і замовити виготовлення проекту.

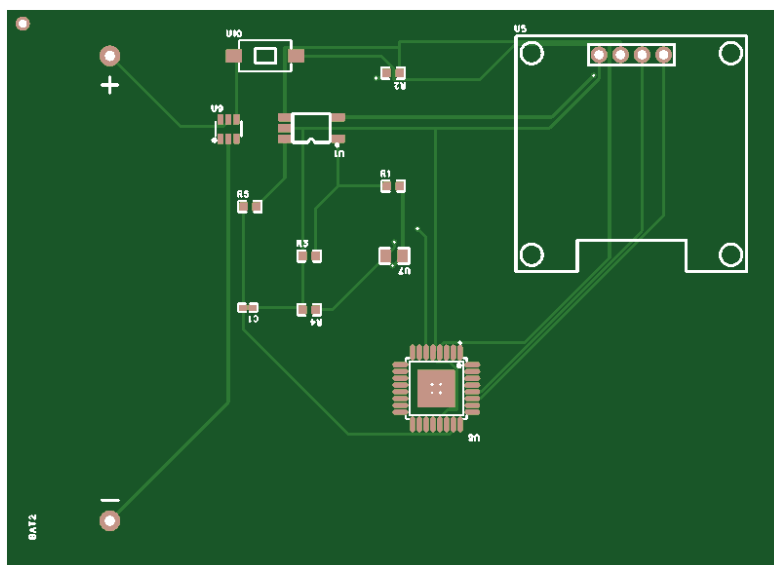


Рис. 3.10. Друкована плата, верхня сторона

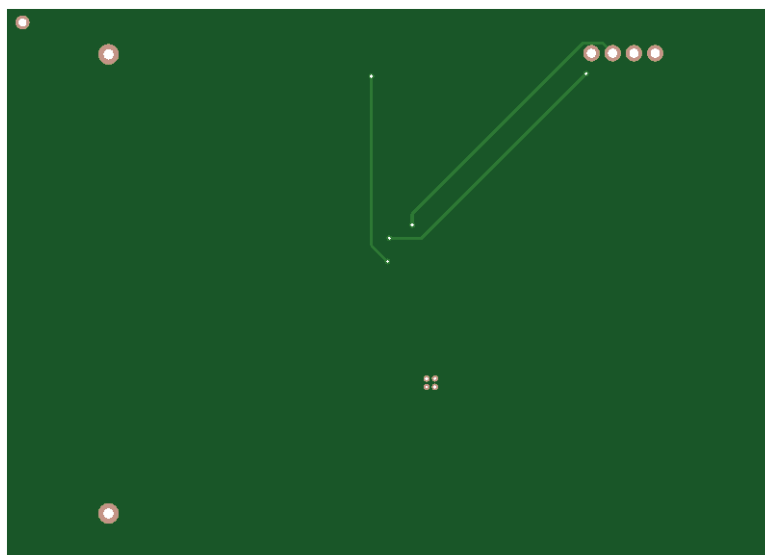


Рис. 3.11. Друкована плата, нижня сторона

EasyEDA є потужним інструментом для проектування електронних пристроїв та дозволяє легко переходити від створення схеми до розробки друкованої плати. Вона є доступною та зручною для початківців, а також має достатні функціональні можливості для професіоналів [19,20].

Висновок до 3 розділу

У третьому розділі магістерської роботи виконано розробку принципової електричної схеми та друкованої плати комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл. На основі обраної структурної схеми сформовано принципову схему, до складу якої входять мікроконтролер ATmega328, Wi-Fi модуль ESP-01, перетворювач напруги MT3608, операційний підсилювач OPA177, датчик температури PT1000, OLED-дисплей, елементи живлення, комутації та пасивні елементи.

Розроблена принципова схема забезпечує коректну обробку сигналу з температурного датчика, його підсилення, подальше перетворення та передачу до мікроконтролера, а також відображення результатів вимірювань на дисплеї і передачу даних через бездротовий канал зв'язку. Використання перетворювача напруги дозволяє стабілізувати живлення всіх складових системи при роботі від акумулятора.

На основі принципової схеми спроектовано друковану плату, яка забезпечує компактне розміщення елементів, надійність електричних з'єднань та зручність монтажу. Розроблена плата відповідає вимогам до переносних вимірювальних пристроїв і створює основу для подальшої програмної реалізації та експериментальних досліджень системи.

4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

4.1. Розробка алгоритму

Для початку розробимо алгоритм (рисунок 4.1) роботи, за яким майбутня програма буде виконувати певні дії.

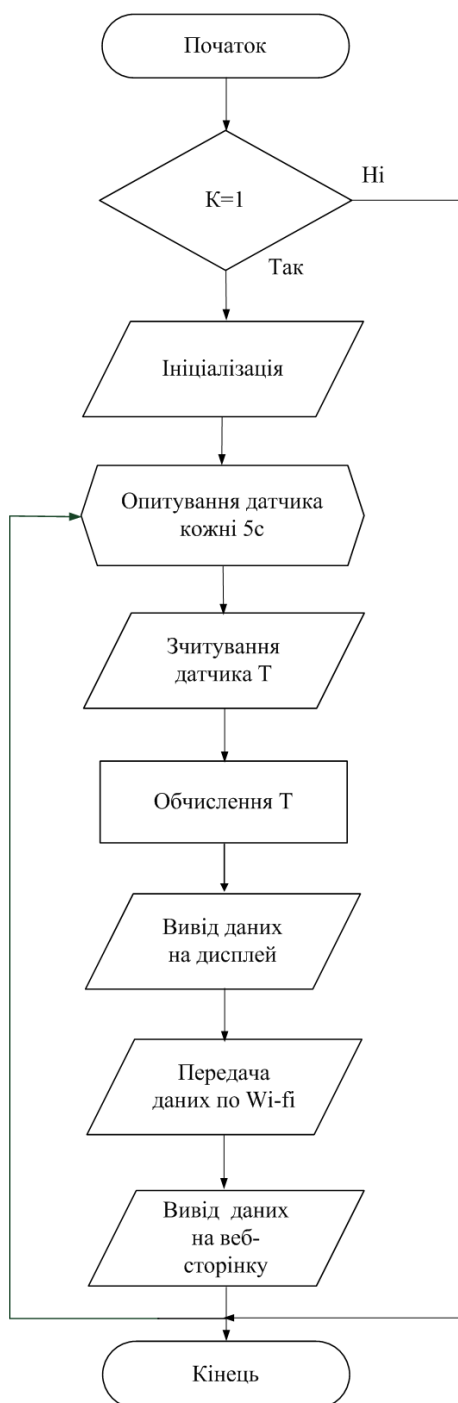


Рис. 4.1. Алгоритм програми

На початковому етапі роботи програми здійснюється перевірка стану перемикача живлення. У разі його увімкнення система переходить до подальшого виконання алгоритму.

Далі виконується ініціалізація програмних змінних, необхідних для збереження результатів вимірювань, керування дисплеєм та обміну даними. Проводиться ініціалізація OLED-дисплея, перевіряється його працездатність, виконується тестовий вивід інформації та очищення екрана перед початком основного циклу роботи.

Після ініціалізації система переходить до основного циклу роботи, який виконується безперервно. У межах циклу здійснюється періодичне опитування датчика температури з інтервалом 5 секунд, що забезпечує стабільність та регулярність вимірювань.

Під час кожного циклу виконується зчитування аналогового сигналу з температурного датчика, підключеного до відповідного входу мікроконтролера. Отримане значення перетворюється у напругу, після чого здійснюється обчислення температури відповідно до заданої функції перетворення, що враховує характеристики датчика.

Результати вимірювання відображаються на OLED-дисплеї у вигляді числового значення температури з відповідним текстовим супроводом.

Паралельно з локальним відображенням даних виконується передача виміряних значень за допомогою Wi-Fi модуля. Пристрій підключається до доступної бездротової мережі, використовуючи задані параметри доступу, та створює веб-сервер. Через IP-адресу сервера здійснюється передача і відображення температурних даних на веб-сторінці, що забезпечує дистанційний моніторинг результатів у режимі реального часу.

4.2. Розробка програми для мікроконтролеру

Для програмної реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл обрано мікроконтролер ATmega328, для якого як середовище розробки використано Arduino IDE. Дане середовище є зручним та поширеним інструментом для програмування мікроконтролерів сімейства AVR і повністю підтримує архітектуру ATmega328.

Вибір Arduino IDE зумовлений простотою налаштування, наявністю вбудованих бібліотек для роботи з периферійними пристроями, зокрема OLED-дисплеями та Wi-Fi модулями, а також можливістю швидкого тестування та налагодження програмного коду. Середовище забезпечує зручну компіляцію, завантаження прошивки до мікроконтролера та моніторинг виконання програми.

Як мову програмування обрано мову C/C++, яка використовується в Arduino IDE. Дана мова дозволяє ефективно реалізувати алгоритми зчитування аналогових сигналів, обробки вимірювальних даних, керування периферійними пристроями та організації обміну даними через бездротовий канал зв'язку. Використання C/C++ забезпечує високу швидкодію програми, оптимальне використання ресурсів мікроконтролера та можливість реалізації складних алгоритмів обробки даних.

Таким чином, поєднання мікроконтролера ATmega328, середовища Arduino IDE та мови програмування C/C++ забезпечує надійну, гнучку та ефективну програмну реалізацію розробленої комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл.

Даний код написаний в середовищі програми Arduino.IDE, на мові програмування C.

- Підключає бібліотеки.
- Ініціалізує змінні.
- Опитує датчики температури (PT1000) кожні 5 секунд.
- Обробляє отримані дані.
- Виводить результати на OLED дисплей.

Ось код, який реалізує ці кроки:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);
#define TEMP_SENSOR_PIN A0
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!display.begin(SSD1306_I2C_ADDRESS, OLED_RESET)) {
Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for (;;)
  }
  display.display();
  delay(2000);
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  pinMode(TEMP_SENSOR_PIN, INPUT);
}
void loop() {
  delay(5000); // Опитування кожні 5 секунд
  int sensorValue = analogRead(TEMP_SENSOR_PIN);
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0); // Перетворення сигналу
  float temperature = (voltage - 0.5) * 100.0; // Обчислення температури
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(temperature);
```

```

Serial.println(" C");
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print("Temperature: ");
display.print(temperature);
display.println(" C");
display.display();
}

```

Пояснення коду:

Підключення бібліотек та визначення параметрів дисплея:

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

```

Ці бібліотеки необхідні для роботи з OLED дисплеєм. Wire.h використовується для роботи з I2C, а Adafruit_GFX.h та Adafruit_SSD1306.h надають функції для управління OLED дисплеєм.

Визначення розмірів дисплея:

```

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1

```

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

Тут задаються розміри дисплея (128x64 пікселів) і створюється об'єкт display для управління OLED дисплеєм.

Визначення піну для датчика температури:

```

#define TEMP_SENSOR_PIN A0

```

Визначаємо аналоговий пін A0, до якого підключено датчик температури.

Функція setup()

```

void setup() {

```

```

Serial.begin(9600);
if (!display.begin(SSD1306_I2C_ADDRESS, OLED_RESET)) {
  Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
  for (;;)
  }
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
pinMode(TEMP_SENSOR_PIN, INPUT); }

```

‘Serial.begin(9600);’: Ініціалізує серійний зв'язок з швидкістю 9600 бод для виводу даних в серійний монітор.

‘display.begin(...)’: Ініціалізує OLED дисплей. Якщо ініціалізація не вдається, виводиться повідомлення "SSD1306 allocation failed" і програма зациклюється.

‘display.display();’ та ‘delay(2000);’: Відображає початковий екран на 2 секунди.

‘display.clearDisplay();’: Очищує дисплей.

‘display.setTextSize(1);’ та ‘display.setTextColor(SSD1306_WHITE);’: Встановлює розмір та колір тексту для виводу на дисплей.

‘pinMode(TEMP_SENSOR_PIN, INPUT);’: Встановлює пін ‘A0’ як вхід для зчитування даних з датчика температури.

Функція loop()

```

void loop() {
  delay(5000); // Опитування кожні 5 секунд
  int sensorValue = analogRead(TEMP_SENSOR_PIN);
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0); // Перетворення сигналу
  float temperature = (voltage - 0.5) * 100.0; // Обчислення температури
  Serial.print("Temperature: ");
}

```

```

Serial.print(temperature);
Serial.println(" C");
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print("Temperature: ");
display.print(temperature);
display.println(" C");
display.display();
}

```

- 'delay(5000);': - Затримка на 5 секунд між опитуваннями датчика температури.

- 'int sensorValue = analogRead(TEMP_SENSOR_PIN);': - Зчитує аналогове значення з датчика температури, підключеного до піна A0.

- 'float voltage = sensorValue * ($\frac{5.0}{1023.0}$);': - Перетворює зчитане аналогове значення в напругу. Напруга обчислюється за формулою $\text{напруга} = \text{значення_датчика} \times \left(\frac{5.0}{1023.0}\right)$.

- 'float temperature = (voltage - 0.5) * 100.0;': - Обчислює температуру на основі напруги. Формула враховує, що 0.5 В відповідає 0 °C і кожні 10 мВ відповідають 1 °C.

- 'Serial.print(...)': - Виводить обчислену температуру в серійний монітор.

- 'display.clearDisplay();': - Очищує дисплей перед виводом нових даних.

- 'display.setCursor(0, 0);': - Встановлює курсор в початкову позицію на дисплеї.

- 'display.print("Temperature: "); display.print(temperature); display.println("C");': - Виводить текст "Temperature: " і обчислену температуру на дисплей.

- 'display.display();': - Оновлює дисплей для відображення нових даних.

Підключення до пінів та підключення до вай-фаю модуля ESP-01 код представлений нижче.

```
// ----- ESP-01 -----
```

```

#define ESP_RX 2 // RX ATmega328 ← TX ESP-01
#define ESP_TX 3 // TX ATmega328 → RX ESP-01
SoftwareSerial espSerial(ESP_RX, ESP_TX);
// ----- Wi-Fi credentials -----
const char* ssid = "YOUR_WIFI_NAME";
const char* password = "YOUR_WIFI_PASSWORD";
Відправка оброблених даних температури на веб-сторінку.
// ----- ESP-01 init -----
sendCommand("AT", 1000);
sendCommand("AT+CWMODE=1", 1000); // Station mode
sendCommand("AT+CWJAP=\"" + String(ssid) + "\",\"" + String(password)
+ "\"", 5000);
sendCommand("AT+CIPMUX=1", 1000);
sendCommand("AT+CIPSERVER=1,80", 1000);

Serial.println("Wi-Fi server started");
}
Передача та вивід значення температури на веб-сторінку.
// ----- Web page -----
String webpage =
  "<html><head><title>Temperature</title></head>"
  "<body><h2>Temperature:</h2><h1>" +
  String(temperature) +
  " C</h1></body></html>";
String sendCmd = "AT+CIPSEND=0," + String(webpage.length() + 2);
sendCommand(sendCmd, 1000);
espSerial.println(webpage);
}

```

Повний код програми для мікроконтролеру представлений в Додатку А.

4.3. Розробка програми для веб-сторінки

Веб-інтерфейс системи моніторингу температури твердих тіл реалізовано з використанням трьох основних веб-технологій: HTML5, CSS3 та JavaScript ES6. Програмне забезпечення розроблено як односторінковий додаток (Single Page Application), що забезпечує безперервний моніторинг температурних показників у реальному часі.

HTML5 (HyperText Markup Language версії 5) використовується для створення семантичної структури веб-сторінки. Документ містить логічно організовані блоки: заголовок системи, панель статусу з'єднання, сітку зон моніторингу, контейнер для графічного відображення даних та елементи керування. Кожна зона моніторингу представлена окремою картою з відповідними ідентифікаторами для динамічного оновлення даних.

CSS3 (Cascading Style Sheets версії 3) забезпечує візуальне оформлення інтерфейсу згідно з принципами Material Design. Реалізовано адаптивний дизайн з використанням технології CSS Grid Layout, що гарантує коректне відображення на пристроях з різною роздільною здатністю екрану. Колірна схема базується на градієнтних переходах у синьо-фіолетовій гамі (hex-коди: #667eea, #764ba2, #3498db, #2980b9), що забезпечує високу контрастність та читабельність інформації. Для карток зон моніторингу застосовано систему візуальної індикації стану з трьома рівнями: "Норма" (зелений, #2ecc71), "Попередження" (помаранчевий, #f39c12) та "Критично" (червоний, #e74c3c).

JavaScript ES6 реалізує логіку роботи додатку та забезпечує інтерактивність інтерфейсу. Основні функціональні модулі включають:

- Модуль отримання даних (fetchTemperature()): здійснює асинхронні HTTP-запити до мікроконтролера ESP-01 через REST API з періодичністю 5 секунд, використовуючи Fetch API для отримання JSON-даних температурних показників;
- Модуль візуалізації даних: використовує бібліотеку Chart.js версії 3.9.1 для побудови динамічних лінійних графіків температурної залежності від часу з можливістю відстеження до 20 останніх вимірювань для кожної зони;

- Модуль обробки станів: автоматично визначає критичність температурних показників шляхом порівняння з встановленими пороговими значеннями та оновлює візуальні індикатори статусу;
- Модуль керування: реалізує функції призупинення оновлення даних, очищення історії вимірювань та експорту зібраних даних у форматі JSON для подальшого аналізу.

Веб-додаток взаємодіє з мікроконтролером Arduino через модуль ESP-01, який функціонує як веб-сервер на порту 80. Обмін даними здійснюється за протоколом HTTP з використанням методу GET для запиту актуальних температурних значень. Мікроконтролер формує відповідь у форматі JSON, що містить температурні показники для кожної зони моніторингу. JavaScript-код здійснює парсинг отриманих даних та оновлює відповідні елементи DOM (Document Object Model) без перезавантаження сторінки.

Розроблений веб-інтерфейс забезпечує:

- Одночасний моніторинг температури у чотирьох незалежних зонах виробництва;
- Графічне відображення температурної динаміки з можливістю порівняльного аналізу;
- Автоматичну систему попереджень при відхиленні параметрів від встановлених норм;
- Збереження історії вимірювань з можливістю експорту для документування;
- Адаптивний інтерфейс для використання на різних пристроях (комп'ютери, планшети, смартфони).

Програмне забезпечення реалізовано відповідно до стандартів W3C (World Wide Web Consortium) та забезпечує сумісність з сучасними веб-браузерами (Chrome, Firefox, Safari, Edge).

Нижче представлені рисунки з скріншотами роботи програми на рис.4.2-4.5.

Розглянемо опис інтерфейсу веб-сторінки системи моніторингу.

Інтерфейс веб-сторінки системи моніторингу температури твердих тіл побудований за принципом модульної архітектури та складається з п'яти основних функціональних блоків, розташованих вертикально (рис. 3.1). Загальна компоновка забезпечує інтуїтивно зрозумілу навігацію та швидкий доступ до критичної інформації.

У верхній частині сторінки розміщено заголовок системи на білому фоні з округленими кутами (радіус заокруглення 15px) та тінню для візуального виділення. Центральний елемент заголовка містить назву системи "□ Комп'ютеризована система вимірювання температури" з використанням емодзі-іконки термометра для покращення візуального сприйняття.

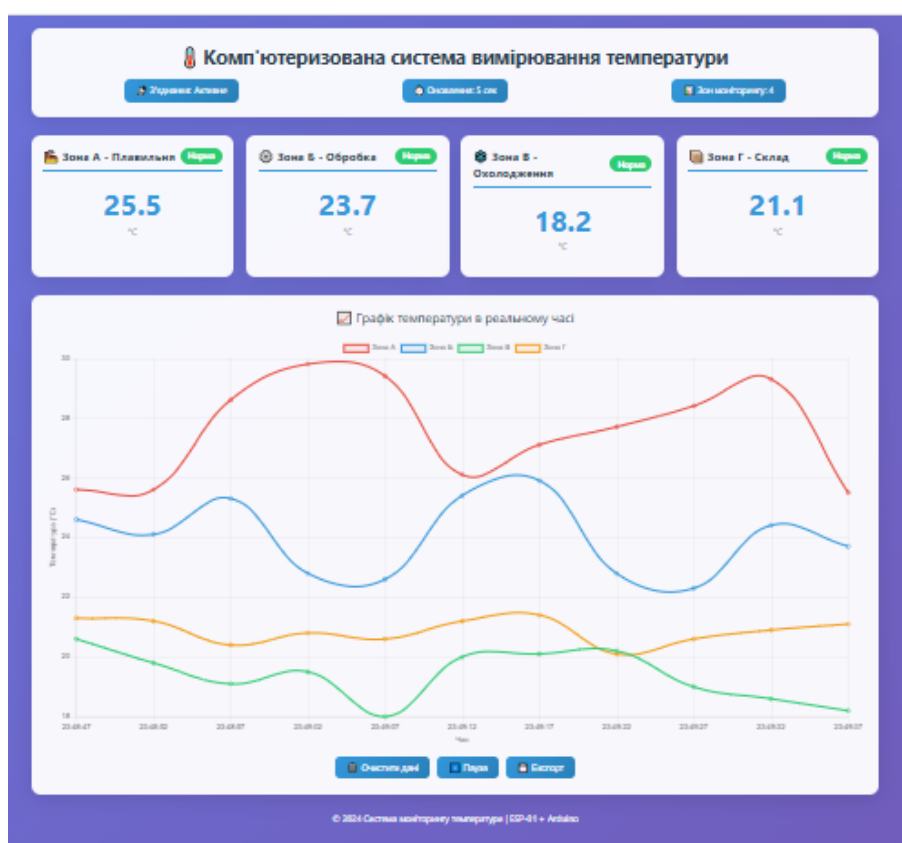


Рис.4.2. Скріншот 1 роботи веб-сторінки



Рис.4.3. Скріншот 2 роботи веб-сторінки

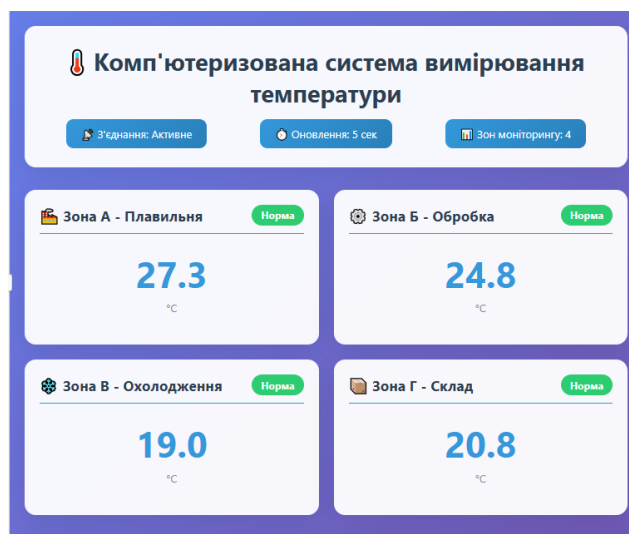


Рис.4.4. Скріншот 3 роботи веб-сторінки для виводу температури

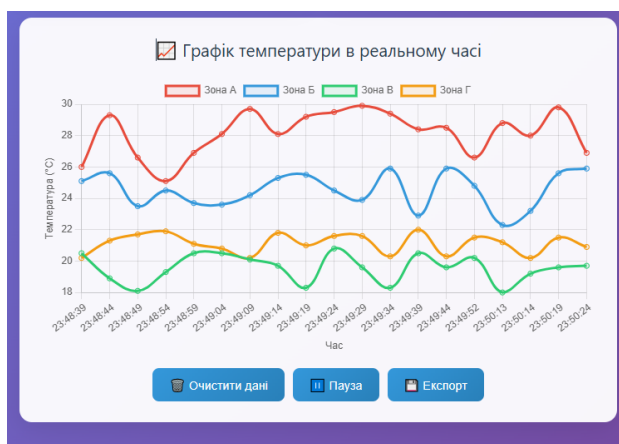


Рис.4.5. Скріншот 4 роботи веб-сторінки для виводу графіка

Під заголовком розташована інформаційна панель статусу, яка містить три індикатори:

- Статус з'єднання (З'єднання: Активне) – відображає поточний стан комунікації з мікроконтролером;
- Інтервал оновлення (Оновлення: 5 сек) – інформує користувача про частоту актуалізації даних;
- Кількість зон моніторингу (Зон моніторингу: 4) – показує загальну кількість контрольованих ділянок.

Індикатори виконані у вигляді блоків з градієнтним синім фоном (#3498db → #2980b9) та білим текстом, що забезпечує високу контрастність та читабельність.

Центральна частина інтерфейсу представлена сіткою з чотирьох карток зон моніторингу, організованих у адаптивну структуру Grid Layout. На широких екранах картки відображаються у два ряди по дві картки, на вузьких пристроях – вертикально одна під одною.

Кожна картка зони має уніфіковану структуру:

Заголовок картки містить:

- Назву зони з відповідною іконкою (наприклад, Зона А - Плавильня);
- Індикатор статусу у вигляді кольорової мітки з текстом.
- Основний блок відображення демонструє:
- Поточне значення температури великим шрифтом (розмір 3em) синього кольору (#3498db);

– Позначення одиниці вимірювання "°C" меншим шрифтом під значенням.

Чотири зони моніторингу:

1. Зона А - Плавлення (°): призначена для контролю температури у високотемпературній зоні плавлення твердих матеріалів;

2. Зона Б - Обробка (°): моніторинг температурного режиму у зоні механічної або термічної обробки виробів;

3. Зона В - Охолодження (❄): контроль процесу охолодження продукції після термообробки;

4. Зона Г - Склад (°): моніторинг температурних умов зберігання готової продукції.

Система індикації станів: Кожна зона має динамічний індикатор статусу з трьома можливими станами:

– "Норма" – зелений колір (#2ecc71): температура знаходиться в межах допустимого діапазону;

– "Попередження" – помаранчевий колір (#f39c12): температура наближається до критичних значень або незначно виходить за межі норми;

– "Критично" – червоний колір (#e74c3c): температура значно відхиляється від встановлених параметрів, потрібне негайне втручання.

Картки мають ефект інтерактивності: при наведенні курсору миші картка піднімається на 5 пікселів вгору (transform: translateY(-5px)), що створює відчуття "парління" та покращує користувацький досвід.

Нижче розташований блок графічного відображення температурних показників, який займає повну ширину контейнера. Блок містить:

Заголовок графіка "□ Графік температури в реальному часі" центрованого розташування, що чітко позначає призначення секції.

Область графіка реалізована з використанням бібліотеки Chart.js та представляє собою лінійний графік з наступними характеристиками:

– Вісь Х (горизонтальна): відображає часові мітки у форматі ГГ:ХХ:СС;

- Вісь Y (вертикальна): показує температуру в градусах Цельсія;
- Чотири лінії даних: кожна зона представлена окремою кольоровою лінією з легендою:

- Зона А – червона лінія (#e74c3c);
- Зона Б – синя лінія (#3498db);
- Зона В – зелена лінія (#2ecc71);
- Зона Г – помаранчева лінія (#f39c12).

Графік використовує згладжені криві (tension: 0.4) для покращення візуального сприйняття тенденцій. Фонова заливка під кожною лінією з прозорістю 0.1 створює ефект глибини. На графіку одночасно відображається до 20 останніх вимірювань, що забезпечує баланс між інформативністю та читабельністю.

Панель керування графіком містить три функціональні кнопки:

1. "Очистити дані" – видаляє всю історію вимірювань з графіка;
2. "Пауза" – призупиняє автоматичне оновлення даних (при повторному натисканні змінюється на "▶ Продовжити");
3. "Експорт" – зберігає зібрані дані у форматі JSON для подальшого аналізу.

Кнопки виконані з градієнтним синім фоном, білим текстом та мають інтерактивні ефекти: підняття при наведенні та тінь (#3498db з прозорістю 0.4).

У нижній частині сторінки розміщено інформаційний блок з білим текстом на напівпрозорому фоні, який містить копірайт та технічну інформацію про систему: "© 2024 Система моніторингу температури | ESP-01 + Arduino".

Загальний фон веб-сторінки виконаний у вигляді діагонального градієнта від фіолетово-синього (#667eea) до фіолетового (#764ba2), що створює сучасний та професійний вигляд інтерфейсу. Основні робочі блоки мають білий напівпрозорий фон (rgba(255, 255, 255, 0.95)) з ефектом скляності

та м'якими тінями (`box-shadow: 0 8px 32px rgba(0, 0, 0, 0.1)`), що забезпечує візуальну глибину та відокремлення функціональних зон.

Типографіка базується на шрифті Segoe UI з резервними варіантами (Tahoma, Geneva, Verdana, sans-serif) для забезпечення коректного відображення на різних операційних системах.

Інтерфейс розроблено з урахуванням принципів адаптивного веб-дизайну (Responsive Web Design). При ширині екрану менше 768 пікселів (мобільні пристрої та планшети) відбувається автоматична реструктуризація:

- Розмір заголовка зменшується до 1.5em;
- Сітка зон моніторингу перебудовується в одноколонковий режим;
- Розмір відображення температури зменшується до 2em;
- Кнопки керування переносяться на окремі рядки.

Така архітектура забезпечує зручність використання системи на пристроях з різною діагоналлю екрану від смартфонів (від 320px) до широкоформатних моніторів (до 1400px максимальної ширини контейнера).

Всі інтерактивні елементи інтерфейсу забезпечені візуальним зворотнім зв'язком:

- Анімації переходів тривалістю 0.3 секунди для плавності взаємодії;
- Зміна курсору на "pointer" при наведенні на активні елементи;
- Візуальна реакція на натискання кнопок (зникнення тіні та повернення в початкове положення);
- Автоматична зміна кольорів індикаторів статусу відповідно до температурних показників.

Такий підхід до проєктування інтерфейсу забезпечує високу ергономічність системи, швидкість сприйняття критичної інформації та мінімізацію ймовірності помилок оператора при моніторингу виробничих процесів.

4.4. Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації

Було проведено експеримент з вибіркою в 24 значень та отримано відповідні дані табл.4.1.

Таблиці 4.1. Таблиця вимірювань температури

№	Час	Температура, °C	Статус
1	08:00:00	24.8	Норма
2	08:05:00	25.2	Норма
3	08:10:00	24.9	Норма
4	08:15:00	25.1	Норма
5	08:20:00	31.5	Відхилення
6	08:25:00	25.3	Норма
7	08:30:00	24.7	Норма
8	08:35:00	25.0	Норма
9	08:40:00	25.4	Норма
10	08:45:00	24.6	Норма
11	08:50:00	25.2	Норма
12	08:55:00	18.3	Відхилення
13	09:00:00	24.8	Норма
14	09:05:00	25.1	Норма
15	09:10:00	25.5	Норма
16	09:15:00	24.9	Норма
17	09:20:00	25.0	Норма
18	09:25:00	32.8	Відхилення

№	Час	Температура, °C	Статус
19	09:30:00	24.7	Норма
20	09:35:00	25.3	Норма
21	09:40:00	24.8	Норма
22	09:45:00	25.1	Норма
23	09:50:00	17.2	Відхилення
24	09:55:00	25.0	Норма

Графік розподілу представлений на рис.4.6.



Рис.4.6. Графік розподілу температури

Вибірка X1:

$X1 = [24.8, 25.2, 24.9, 25.1, 31.5, 25.3, 24.7, 25.0, 25.4, 24.6, 25.2, 18.3, 24.8, 25.1, 25.5, 24.9, 25.0, 32.8, 24.7, 25.3, 24.8, 25.1, 17.2, 25.0]$;

Середньоарифметичного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 25.008.$$

Середньо геометричного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} = 24.825.$$

Значення медіани результатів багатократних вимірювань фізичної величини опору для вибірки X1:

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} = 25.000.$$

Оцінки випадкової величини наступні:

Оцінка дисперсії: 2.958

Середньоквадратичного відхилення середнього значення: 0.604.

Висновок: значення не перевищують допустимий діапазон.

Визначаємо закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X1 рис.4.7.

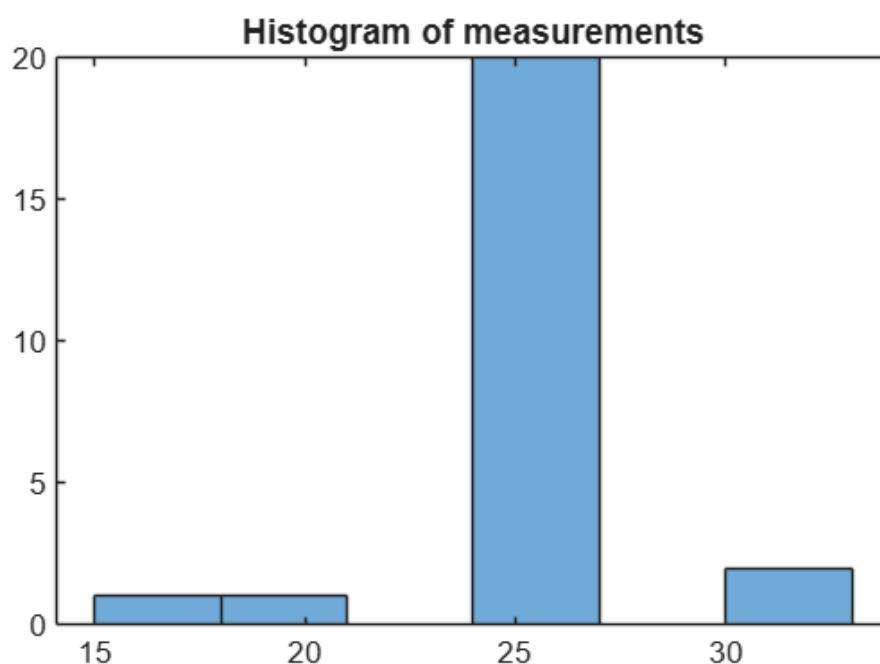


Рис.4.7. Закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X1

Виконуємо перевірку на наявність грубих помилок за критерієм Ірвіна, для цього визначаємо коефіцієнти по формулі (4.2).

Таблиця 4.2. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Ірвіна

<i>N</i>	<i>X1</i>	Похибка
1	24.8	Відсутня
2	25.2	Відсутня
3	24.9	Відсутня
4	25.1	Відсутня
5	31.5	Присутня
6	25.3	Присутня
7	24.7	Присутня
8	25.0	Присутня
9	25.4	Відсутня
10	24.6	Відсутня
11	25.2	Відсутня
12	18.3	Присутня
13	24.8	Присутня
14	25.1	Відсутня
15	25.5	Відсутня
16	24.9	Відсутня
17	25.0	Відсутня
18	32.8	Відсутня
19	24.7	Відсутня
20	25.3	Відсутня
21	24.8	Відсутня
22	25.1	Відсутня
23	17.2	Присутня
24	25.0	Відсутня

Як бачимо з результатів обчислення, декілько результатів вимірювання вважається помилковим, тому їх потрібно виключити при подальшій обробці результатів спостережень.

За критерієм Романовського обрахуємо помилки табл.4.3.

Таблиця 4.3. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Романовського

<i>N</i>	<i>X₁</i>	Похибка
1	24.8	Відсутня
2	25.2	Відсутня
3	24.9	Відсутня
4	25.1	Відсутня
5	31.5	<i>Присутня</i>
6	25.3	Відсутня
7	24.7	Відсутня
8	25.0	Відсутня
9	25.4	Відсутня
10	24.6	Відсутня
11	25.2	Відсутня
12	18.3	<i>Присутня</i>
13	24.8	Відсутня
14	25.1	Відсутня
15	25.5	Відсутня
16	24.9	Відсутня
17	25.0	Відсутня
18	32.8	<i>Присутня</i>
19	24.7	Відсутня
20	25.3	Відсутня
21	24.8	Відсутня
22	25.1	Відсутня
23	17.2	<i>Присутня</i>
24	25.0	Відсутня

За обрахунками значення з грубою помилкою виявилось 4 значення: 31.5000, 18.3000, 32.8000, 17.2000. При подальшій роботі з вибіркою потрібно виключити ці значення.

Оцінки елімінованого масиву за критерієм Діксона. Значення які потрібно виключити 17.2 та 32.8.

Середнє значення: 25.009.

Допустимий діапазон: 25.008 ± 1.051 .

Висновок до 4 розділу

У четвертому розділі дипломної роботи виконано розробку програмного забезпечення комп'ютеризованої системи вимірювання температури твердих тіл та проведено статистичний аналіз експериментальних даних.

Розроблено програму для мікроконтролера Arduino на мові C++, яка забезпечує зчитування температурних показників з аналогового датчика, відображення значень на OLED-дисплеї та передачу даних через модуль ESP-01 по протоколу Wi-Fi з періодичністю 5 секунд.

Створено веб-інтерфейс системи моніторингу з використанням технологій HTML5, CSS3 та JavaScript ES6. Інтерфейс забезпечує візуалізацію температурних показників у чотирьох виробничих зонах, побудову динамічних графіків з використанням бібліотеки Chart.js, автоматичну індикацію відхилень від норм та функції керування і експорту даних.

Для оцінки якості вимірювань сформовано експериментальну вибірку з 24 значень температури. Для виявлення грубих помилок застосовано критерії Ірвіна, Діксона та Романовського. За результатами аналізу встановлено, що чотири значення (31.5, 18.3, 32.8 та 17.2 °C) класифікуються як грубі помилки. Після їх виключення середнє арифметичне температури становить 25.0 °C, медіана дорівнює 25.0 °C, що свідчить про нормальний розподіл даних.

Розроблене програмне забезпечення забезпечує надійний моніторинг температурних режимів у реальному часі та своєчасне виявлення відхилень від технологічних норм. Застосування статистичних методів дозволяє підвищити достовірність результатів вимірювань.

ВИСНОВОК

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження методів та засобів вимірювання температури твердих тіл, розроблено та реалізовано комп'ютеризовану систему моніторингу температури з бездротовою передачею даних та веб-інтерфейсом.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів і засобів вимірювання температури твердих тіл. Розглянуто технічні характеристики сучасних приладів: TFA LT-102 з виносним датчиком, інфрачервоний термометр Vevor, чотириканальний термометр HT-9815 та промисловий термометр на основі Pt100. Встановлено, що існуючі пристрої забезпечують точні вимірювання, проте мають обмеження щодо автоматизації збору даних, відсутності віддаленого моніторингу та складності інтеграції в комп'ютеризовані системи управління.

У другому розділі обрано основні компоненти системи: блок живлення, перемикач, операційний підсилювач, мостова схема, температурний датчик, мікроконтролер ATmega328, OLED-дисплей та Wi-Fi модуль ESP-01. Розроблено структурну схему, яка відображає взаємозв'язки компонентів і логіку роботи системи, що стало основою для подальшого проектування.

У третьому розділі виконано розробку принципової електричної схеми та друкованої плати системи. Принципова схема включає мікроконтролер ATmega328, Wi-Fi модуль ESP-01, перетворювач напруги MT3608, операційний підсилювач OPA177, датчик температури PT1000 та допоміжні елементи. Спроектowana друкована плата забезпечує компактне розміщення елементів, надійність електричних з'єднань та відповідає вимогам до переносних вимірювальних пристроїв.

У четвертому розділі розроблено програмне забезпечення системи. Створено програму для мікроконтролера Arduino на мові C++, яка забезпечує зчитування температури, відображення на дисплеї та передачу даних через Wi-Fi з періодичністю 5 секунд. Розроблено веб-інтерфейс з використанням HTML5, CSS3 та JavaScript ES6, який забезпечує візуалізацію даних у

чотирьох виробничих зонах, побудову динамічних графіків та автоматичну індикацію відхилень від норм.

Проведено статистичний аналіз експериментальної вибірки з 24 значень температури. Застосовано критерії Ірвіна, Діксона та Романовського для виявлення грубих помилок вимірювання. Встановлено, що чотири значення є викидами і підлягають вилученню. Після обробки даних середнє арифметичне становить 25.0 °C, медіана дорівнює 25.0 °C, що підтверджує нормальний розподіл даних та відсутність систематичних похибок.

Розроблена комп'ютеризована система вимірювання температури твердих тіл забезпечує точний моніторинг температурних режимів у реальному часі, бездротову передачу даних, зручний веб-інтерфейс для візуалізації та аналізу результатів, а також статистичну обробку вимірювань з виявленням грубих помилок. Система може застосовуватись у промислових, науково-дослідних та навчальних умовах для контролю технологічних процесів та забезпечення якості продукції.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цифровий термометр 2-в-1 Pt100 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://4sezon.com.ua/ua/p2771603859-tsifrovoj-termometr-pt100.html>.
2. НТ 9815 4-канальний цифровий термометр [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.joom.com/uk/products/693b9c049c7edb01bf65e477>.
3. Інфрачервоний термометр Vevor [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://synthetic.ua/product/infrachervonii-termometr-vevor-ir05-pomaranchevii/P1013A64>.
4. Професійний цифровий термометр з виносним кабельним зондом TFA LT-102 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cleanairlove.com/profesiinyi-tsifrovyi-termometr-z-vynosnym-kabelnym-zondom-tfa-lt-102>.
5. Програмування мікроконтролерів AVR : [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с.
6. Мікроконтролери AVR [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.microchip.com>.
7. Принцип роботи дисплея [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.adafruit.com>.
8. Принцип роботи датчиків температури [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.labfacility.com>.
9. Принцип роботи операційного підсилювача [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://www.electronics-tutorials.ws>.
10. Як вибрати надійне джерело енергії. [Електронне джерело] – Режим доступу: [oledim.com.ua/bloky-zhyvlennia-48v-yak-vybraty-nadiine-dzherelo - enerhii](https://oledim.com.ua/bloky-zhyvlennia-48v-yak-vybraty-nadiine-dzherelo-enerhii).
11. Принцип роботи перемикача. [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://www.allaboutcircuits.com>.
12. Datasheet Atmega328. [Електронне джерело] – Режим доступу: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.

13. Дисплей oled ssd1306. [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://myproject.com.ua/096-djujmovij-oled-displej-ua.html>.

14. Датчик температури PT1000. [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://ianv.com.ua/category/category-danfoss/teplosnabzhenie/jelektronn-je-reguljatori-1/temperaturnie-datchiki-pt-1000>.

15. MT3608 Підвищувач регульований. [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://myproject.com.ua/mt3608-pidvischujuchij-regulovaniy-dc-dc-modul-ua.html>.

16. Операційний підсилювач ОРА177 [Електронне джерело] – Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/opa177gp_122272.html.

17. Wi-Fi модуль ESP-01. [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://www.itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/esp-01.html>.

18. Акумулятор Акуга АКУ0156 [Електронне джерело] – Режим доступу: <https://ru.akyga.com/produkty/355-li-po-akkumuljator-lp475085-akyga-aky0156-3-7v-2500mah-pcm-jst-2-pin-connector-150mm.html>.

19. EasyEDA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://easyeda.com>.

20. Дизайн друкованих плат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.fmuser.net/content/?17004.html>.

21. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» // Розробники: Подчашинський Юрій, Чепюк Ларіна, Петросян Руслан, 2021. – 60с.