МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти_____*другий (магістерський)*_____

(другий магістерський рівень)

на тему__*Дослідження методів вимірювання температури та розробка пристрою контролю нагріву електронних компонентів*

_____

Виконав: студент (ка) __*II*_курсу, групи___*8.1763*___

_____*Корнієнко М.Ю.*_____ _____

(прізвище та ініціали) (підпис)

Напряму підготовки_____

(шифр)

Спеціальності __*176*_____

_____*Мікро- та наносистемна техніка*_____

(назва)

Керівник _____*доцент, к.т.н.*_____

_____*Ніконова А.О.*_____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя - 20*24* рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Рівень вищої освіти _____*другий (магістерський)*_____
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Напрям підготовки _____*176*_____
(шифр)

Спеціальність_____*Мікро- та наносистемна техніка*_____
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____*ЕІСПЗ*_____
_____*Критська Т.В.*_____

"10" *грудня* 20*24* року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____*Корнієнко Максим Юрійович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) *Дослідження методів вимірювання температури та розробка пристрою контролю нагріву електронних компонентів*

керівник проєкту (роботи) _____*Ніконова Аліна Олександрівна*_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"30" вересня 2024 року №1483-с*

2. Строк подання студентом проєкту (роботи)_____*10 грудня 2024 року*_____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) *Датчик температури DS18B20, 8-розрядний контролер ATtiny2313, РК дисплей HD44780.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *1 Особливості конструкції сучасних датчиків теплового випромінювання. 2 Розробка пристрою контролю нагріву електронних компонентів. 3 Техніко-економічне обгрунтування. 4 Охорона праці.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Л1-Структурна схема пристрою контролю нагріву електронних компонентів; Л2-Алгоритм роботи пристрою контролю температури електронних компонентів; Л3-Вибір датчику температури; Л4-Моделювання роботи датчика температури DS18B20 в системі Proteus; Л5-Підключення індикатору HD44780; Л6-Схема керування кулером; Л7-Моделювання роботи пристрою нагріву електронних компонентів в системі Proteus; Л8-Електрична принципова схема пристрою контролю нагріву електронних компонентів.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова А.О.*	*28.02.2024*
II	*Ніконова А.О.*	*15.03.2024*
III	*Ніконова А.О.*	*13.10.2024*
IV	*Ніконова А.О.*	*15.11.2024*

7. Дата видачі завдання _____*28.02.2024 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	*Аналіз конструкцій датчиків температури*	*28.02.2024*	
2	*Обґрунтування вибору температурного датчику*	*15.03.2024*	
3	*Розробка пристрою контролю нагріву електронних компонентів*	*19.03.2024*	
4	*Розробка функціональної схеми приладу*	*15.04.2024*	
5	*Розробка системи моніторингу температури*	*27.04.2024*	
6	*Аналіз осцилограми сигналів при різній температурі*	*03.05.2024*	
7	*Обґрунтування вибору мікроконтролера ATtiny*	*10.05.2024*	
8	*Техніко-економічне обгрунтування*	*13.10.2024*	
9	*Охорона праці та техногенна безпека*	*15.11.2024*	
10	*Оформлення пояснювальної записки*	*08.12.2024*	
11	*Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи*	*10.12.2024*	
12	*Оприлюднений захист кваліфікаційної роботи*	*11.12.2024*	

Студент _____ *Корнієнко М.Ю.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ *Ніконова А.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____ *Верьовкін Л.Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 81 сторінок, 31 рисунок, 17 таблиць, 14 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – методи вимірювання температури та системи контролю нагріву електронних компонентів.

Мета роботи – розробка пристрою контролю нагріву електронних компонентів.

Задачі роботи – дослідження методів вимірювання температури електронних компонентів, включаючи використання цифрових і аналогових датчиків, аналіз роботи існуючих систем контролю температури електронних компонентів, виявлення їх переваг і недоліків. Розробка системи контролю нагріву електронних компонентів.

Методика дослідження – моделювання схеми в програмному середовищі Proteus, розробка керуючої програми в Microchip Studio та побудова схеми в програмі креслення SPlan 7.0.

На підставі аналізу існуючих пристроїв для контролю температури електронних компонентів проведено необхідні розрахунки та розроблено структурну схему пристрою контролю нагріву електронних компонентів, обгрунтовано вибір всіх функціональніих вузлів, проведено моделювання схеми в графічному редакторі SPlan для відображення властивостей та перевірки працездатності системи.

Результати впроваджень – результати моделювання пристрою контролю нагріву електронних компонентів рекомендовано до впровадження в навчальний процес на кафедрі ЕІСПЗ.

ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОНТРОЛЬ, ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ, МІКРОКОНТРОЛЕР, КУЛЕР, РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, з 28.02.2024 р. по 10.12.2024 р

Зміст

ВСТУП.....6

1 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНИХ ДАТЧИКІВ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....7

1.1. Теоретичні основи теплових датчиків випромінювання.....7

1.2. Датчики температури на термісторах.....10

1.3. Датчики температури на термопарах.....15

1.4. Датчики температури на основі діодів і транзисторів.....24

2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ НАГРІВУ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ.....27

2.1 Аналіз типів температурних датчиків.....27

2.2 Обгрунтування вибору датчика температури.....29

2.3 Опис функціональної схеми та принцип роботи.....34

2.4 Мікроконтролер ATtiny2313.....38

2.5 Підключення датчика DS18B20 до мікроконтролера ATtiny2313 в програмі моделювання Proteus.....42

2.6 Аналіз роботи системи на основі осцилограми.....44

2.7 Індикатор HD44780.....47

2.8 Опис та підключення кулера до схеми.....50

2.9 Розробка схеми пристрою контролю нагріву електронних компонентів.....53

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....55

3.1 Дослідження різних видів датчиків за критеріями.....55

4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....61

4.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....61

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....65

4.3 Виробнича санітарія.....66

4.4 Електробезпека.....68
4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека.....70
Висновки та рекомендації.....71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....72
ДОДАТОК А.....73
ДОДАТОК Б.....74
ДОДАТОК В.....76

ВСТУП

У сучасному світі електронні пристрої займають ключову роль у різних сферах людської діяльності, включаючи промисловість, медицину, телекомунікації та побут. Зі зростанням складності та потужності електронних компонентів виникає проблема їхнього перегріву, що може призводити до зниження продуктивності, передчасного виходу з ладу або навіть до аварійних ситуацій. Тому питання моніторингу температури та ефективного охолодження є одним із ключових аспектів забезпечення надійності й довговічності електронних систем.

Температура є одним із найважливіших параметрів роботи електронних компонентів. Надмірний нагрів може викликати деградацію напівпровідникових матеріалів, зміну електричних характеристик і порушення функціонування схем. У зв'язку з цим дослідження методів вимірювання температури та розробка пристроїв для контролю нагріву електроніки є актуальним завданням.

Метою цієї роботи є дослідження сучасних методів вимірювання температури електронних компонентів, аналіз їхньої точності та ефективності, а також розробка пристрою контролю нагріву на основі мікроконтролера.

У ході виконання дипломної роботи буде проведено аналіз різних методів вимірювання температури, таких як термопари, термістори та цифрові датчики, з акцентом на їхнє застосування в автоматизованих системах. Особливу увагу буде приділено вибору оптимального датчика для системи, розробці алгоритмів керування та побудові електронної схеми.

Таким чином, розробка пристрою контролю нагріву електронних компонентів є важливим етапом у вирішенні проблеми їхньої надійності, забезпечення стабільності роботи та енергоефективності сучасних електронних пристроїв. Результати цієї роботи можуть бути використані в різних проєктах, що передбачають створення адаптивних і саморегульованих систем охолодження для широкого спектра застосувань.

1 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СУЧАСНИХ ДАТЧИКІВ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1.1. Теоретичні основи теплових датчиків випромінювання

Датчики температури призначені для неперервного вимірювання та контролю температури на поверхні чи в середовищі твердих тіл, а також у рідких та газоподібних середовищах, таких як пара, вода, сипучі матеріали та хімічні реагенти.

Процес вимірювання температури завжди включає передачу невеликої порції теплової енергії від об’єкта до датчика, який повинен перетворити цю енергію в електричний сигнал. Коли датчик контактного типу розташовують усередині об’єкта або на його поверхні, між об’єктом і датчиком відбувається передача тепла завдяки явищу теплопередачі. При цьому чутливий елемент датчика або нагрівається, або охолоджується. Подібний процес відбувається і під час передачі тепла через випромінювання у випадку безконтактного датчика.

Безконтактні датчики використовуються для оперативного контролю температури без необхідності фізичного контакту з об'єктом, що є особливо корисним у випадках, коли таке встановлення неможливе або небезпечне (наприклад, полум'я, розтоплений метал тощо). Такі датчики можуть бути з вихідним сигналом або без нього.

Існують два основних методи вимірювання температури: рівноважний та прогнозований.

1. Рівноважний метод: Цей метод застосовується, коли між вимірювальною поверхнею і чутливим елементом датчика, що знаходиться в корпусі датчика, настає теплова рівновага. Тобто, між датчиком і об’єктом вимірювання немає суттєвої різниці температур. Це означає, що датчик і об'єкт досягають однакової температури, що дозволяє точно визначити температуру об'єкта.

2. Метод прогнозування: Цей метод використовується, коли під час вимірювань теплова рівновага не настає. Значення температури визначають за швидкістю зміни температури датчика. Цей метод може бути корисним у динамічних системах, де швидкі зміни температури не дозволяють досягти рівноважного стану.

У разі рівноважного методу вимірювання температури для досягнення повної теплової рівноваги між об'єктом і датчиком теоретично потрібен нескінченно великий час. Але оскільки зазвичай вимірювання температури проводять з заданою точністю, у більшості випадків вважають, що за інтер - вал від 5 до 10 постійних часу τ настає квазірівноважний стан, взявши, зро- зуміло, до уваги, що перехідний процес встановлення температури датчика, як правило, відповідає експоненціальній характеристиці (Рис. 1.1) [1].

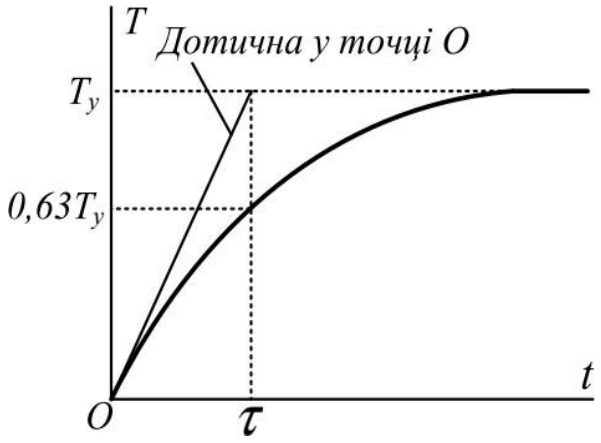


Рисунок 1.1 – Перехідна характеристика чутливого елемента: Ту – усталена температура

Отож, за час t=τ біжуча температура Т=0,63Ту, при t=5τ – Т=0,7Ту, а при t=10τ – Т=0,995Ту.

У зв'язку з вищезазначеним, термоперетворювачі опору мають важливу характеристику — теплову інерцію, яка зазвичай коливається від кількох до десятків секунд.

Типовий контактний датчик складається з таких елементів (Рис. 1.2):

- чутливого компонента;

- виводів, що можуть бути у вигляді пластин або проводів, які підключаються до відповідних терміналів, за наявності комутаційної головки;
- захисного корпусу — спеціальної оболонки або покриття, що захищає чутливий компонент від впливу навколишнього середовища.

На рисунку 1.3 показаний типовий безконтактний оптичний датчик температури, що складається з таких частин:

- чутливого елемента, який реагує на електромагнітне випромінювання;
- опорної конструкції з низькою теплопровідністю;
- герметичного корпусу, наповненого інертним газом (аргоном або азотом) чи сухим повітрям;
- захисного віконця, прозорого для випромінювання в межах досліджуваного діапазону хвиль.

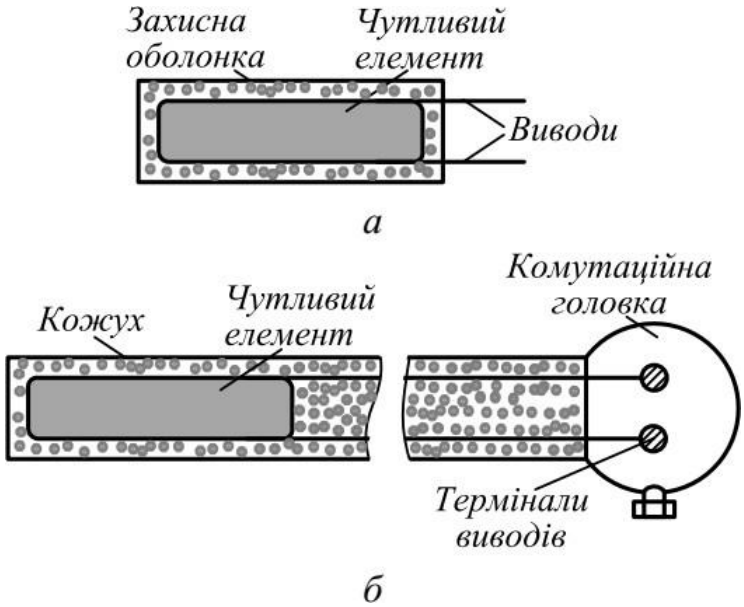


Рисунок 1.2 - Основні структурні схеми будови контактних датчиків температури: а – з кабельним виводом; б – з комутаційною головкою

Принцип роботи безконтактних датчиків базується на перетворенні теплового випромінювання в тепло, яке потім перетворюється в електричний сигнал (для активного датчика) або зміну сигналу (для пасивного датчика).

Температура, яку вимірюють ці датчики, може бути представлена на виходах у вигляді аналогового лінійного сигналу (струм чи/або напруга), цифрового коду або логічного сигналу („Увімкнено”/„Вимкнено”).

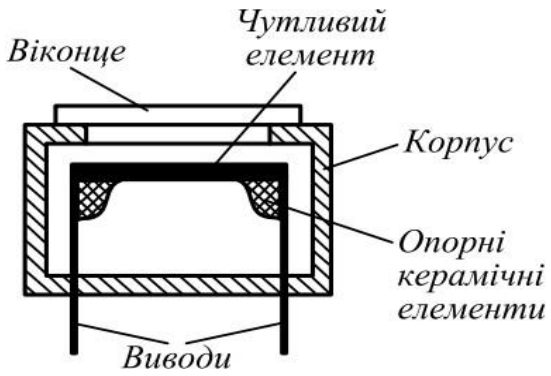


Рисунок 1.3 - Безконтактний оптичний датчик температури

У разі логічного сигналу на виході датчиків температури їх зазвичай називають датчиками-реле і використовують як реле для контролю температури.[1]

Датчики температури можуть бути одноблочними або двоблочними. У більшості випадків використовуються двоблочні датчики, що складаються з двох основних компонентів: самого датчика та перетворювача (актуатора).

Залежно від типу вимірювань і точності результатів, на практиці застосовуються датчики, засновані на трьох різних типах чутливих елементів:

- термоперетворювачах опору;
- термісторах;
- термоелектричних перетворювачах.

1.2. Датчики температури на термісторах

Термістори, по суті, є термоперетворювачами опору. Їх принцип роботи полягає в зміні опору матеріалу (провідника або напівпровідника) в залежності від температури.

Термін "термістор" походить від поєднання слів "термічний" та "резистор".

Термоперетворювачі опору зазвичай виготовляють із міді або платини, вони мають високу точність вимірювання (до 0,1 °С), стабільність показів, лінійну характеристику та хорошу взаємозамінність.

Терміністори виготовляються з керамічних напівпровідників, що складаються з окислів металів. Їх перевагами є висока чутливість (велика зміна опору при незначних змінах температури), компактність і доступна ціна.

До недоліків термісторів відносяться нелінійність характеристики, низька завадостійкість та відсутність взаємозамінності, що означає, що в разі поломки датчика він фактично стає непридатним для подальшого використання. Як відомо, опір матеріалу змінюється пропорційно температурному коефіцієнту опору α:

$$R = R_0 \left[1 + \alpha \left(T - T_0\right)\right], \qquad (1.1)$$

де R0 – опір матеріалу при еталонній температурі T0 (зазвичай 0 °С). Метали характеризуються додатнім температурним коефіцієнтом опору (1) (Рис. 1.4), тоді як термістори – це резистори з великим від'ємним (2) або додатнім температурним коефіцієнтом (3), що сильно змінюється.

Опір термісторів може варіюватися від часток Ом до кількох МОм. Термістори з додатнім температурним коефіцієнтом в робочому діапазоні температур часто називають позисторами [2].

Залежність опору чутливого елемента датчика від температури називається номінальною статичною характеристикою (НСХ) датчика температури. НСХ датчика відповідають міжнародним стандартам [3], стандартам СНД [4] або стандартам окремих компаній, таких як Philips, NXP Semiconductors тощо.

Чутливі елементи зі стандартними характеристиками 50М, 100М, 50П та 100П зазвичай виготовляються вручну шляхом намотування тонкого мідного

або платинового дроту, в той час як елементи Pt100, Pt500, Pt1000 виконуються методом напилювання.

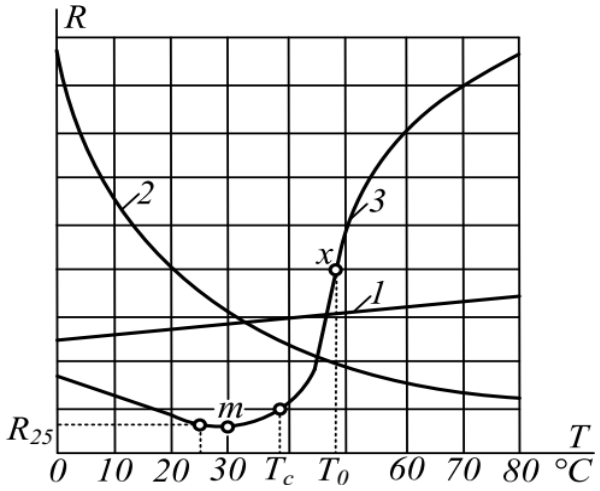


Рисунок 1.4 - Передавальні характеристики датчиків температури:

1 – терморезисторів; 2 – термісторів з від'ємним температурним коефіцієнтом;3 – термісторів з додатнім температурним коефіцієнтом; m – точка Кюрі

На рисунку 1.5 наведені деякі типові НСХ як передавальні функції – залежність опору від температури.

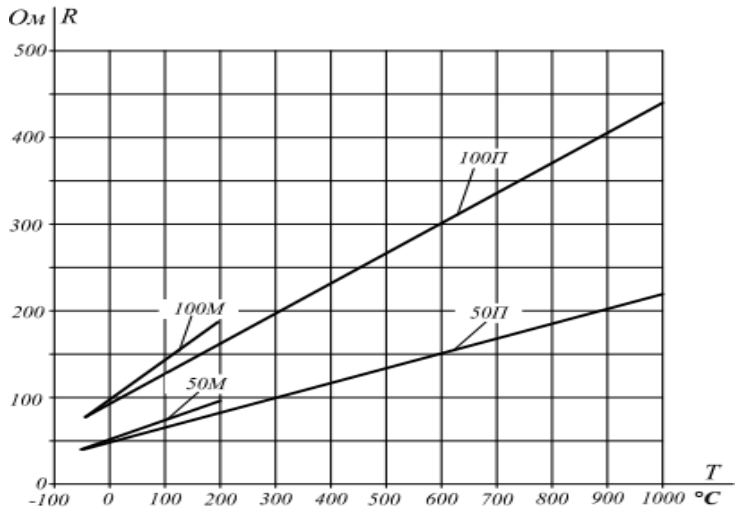


Рисунок 1.5 – Залежності опору термоперетворювачів (НСХ) від температури

Технологія напилювання дозволяє виготовляти платинові чутливі елементи мінімальних розмірів з мінімальною витратою платини (вміст платини

становить 0,001 г). При цьому платина зберігає всі свої властивості: стійкість до високих температур, термостабільність і практично лінійну НСХ. Вищезгадані компанії також виготовляють чутливі елементи для датчиків температури типу KTY на основі кремнію. Ці елементи мають хорошу лінійність (яка може бути покращена через прості термокомпенсаційні кола), широкий діапазон вимірюваних температур (до 300 °С), високу стабільність вимірювань з часом (понад 450 000 годин) і широкий вибір температурних діапазонів. Датчики виготовляються переважно методами порошкової металургії у вигляді стержнів, трубок, дисків, шайб, кораликів і тонких пластинок, з розмірами від 1–10 мкм до 1–2 см; також використовуються різні корпуси, включаючи скляні, для використання в агресивних середовищах [5].

Термістори нині представлені серіями з НСХ типу NTC (Negative Temperature Coefficient) — з від'ємним температурним коефіцієнтом, і PTC (Positive Temperature Coefficient) — з додатнім температурним коефіцієнтом. Типова передавальна характеристика NTC-термістора зображена на рисунку 1.4 (крива 2), а НСХ визначають за допомогою математичних моделей, з яких одна, так звана "проста", має вигляд.

$$R = R_к e^{\beta(1/T - 1/T_к)}, \tag{1.2}$$

R – опір термістора при вимірюваній температурі; Rк – опір термістора при калібрувальній температурі Тк (у Кельвінах); β – характеристична температура матеріалу, або коефіцієнт температурної чутливості (у Кельвінах) [5].

Вважається, що значення β у певному температурному діапазоні не змінюється, і його розраховують за допомогою двох калібрувальних точок: Тк, Rк та Тк, Rк.

Температуру термістора визначають через формулу, отриману інвертуванням функції R=f(T) у T=f(R). Варто зазначити, що похибка

апроксимації функції T=f(R) мінімальна в районі температури калібрування, але вона значно збільшується при розширенні робочого діапазону.

NTC-термістори застосовуються в ситуаціях, коли потрібні значні зміни величини вихідного сигналу у вузькому температурному діапазоні, наприклад, у медичних термометрах.

PTC-термістори відзначаються швидкою зміною фероелектричних властивостей матеріалів при температурах, що перевищують їх точку Кюрі, тобто точку мінімального електричного опору. Це призводить до значного збільшення опору, інколи навіть на кілька порядків. Типова передавальна характеристика PTC-термістора зображена на рисунку 1.4 (крива 3). Як видно з графіка, для таких термісторів важко знайти точну математичну апроксимацію, тому для них зазвичай використовують такі характеристики:

- опір при лабораторній температурі (R25), коли відсутній обмін енергією між термістором і навколишнім середовищем, і ефект саморозігріву незначний;
- мінімальний опір Rm, при якому термістор змінює знак свого температурного коефіцієнта (точка Кюрі);
- температура переходу Tc, починаючи з якої опір різко змінюється. Ця температура часто наближається до точки Кюрі матеріалу і лежить у діапазоні від -30 °C до +160 °C;
- температурний коефіцієнт опору, що значною мірою залежить від температури навколишнього середовища і ефекту саморозігріву, часто визначається в точці x, де він має найбільше значення;
- максимальна напруга Em, що відповідає гранично допустимому значенню напруги для термістора;
- теплова інерція, що визначає швидкодію термістора.

Застосування PTC-термісторів є різноманітним і специфічним. Ось деякі приклади:

1. Різка зміна опору PTC-термістора при досягненні певної температури дозволяє створювати реле прямого теплового захисту для електродвигунів з чутливим порогом спрацьовування [6].

2. У пристроях захисту електронних схем PTC-термістори виконують роль неруйнівних запобіжників, що реагують на струми, що перевищують допустимі рівні. При кімнатній температурі опір термістора незначний (порядку 10–100 Ом), і спад напруги Ut≤Uнав. Потужність, що розсіюється на термісторі, віддається в навколишнє середовище, і температура термістора майже не зростає. Проте при значному збільшенні струму температура термістора підвищується до Tc, після чого його опір зростає, що обмежує подальше збільшення струму. У разі короткого замикання опір різко зростає, а струм падає до мінімального значення. Для запобігання перегріву і руйнуванню термістора слід враховувати умову E≤0,9Et.

3. PTC-термістори широко використовуються в опалювальних пристроях, системах для нагрівання повітря, де вони функціонують як саморегулюючі пристрої. Після подачі напруги термістор нагрівається і, досягнувши температури Tc, його опір різко збільшується, обмежуючи струм, який стабілізується в "точці перемикання x". Такий зворотний зв'язок дозволяє запобігти перегріву елементів понад точку перемикання (звичайно 250 °C), навіть при інтенсивному знятті тепла з його поверхні, що робить ці пристрої саморегульованими без необхідності в додаткових компонентах системи керування та захисту від перегрівання [6].

1.3. Датчики температури на термопарах

Термоелектричні перетворювачі температури, або термопари, є активними датчиками, в яких тепло безпосередньо перетворюється на електричний сигнал. Принцип їх роботи базується на ефекті Зеебека. Цей ефект був відкритий фізиком Т. Зеебеком (1770–1831), який народився в Естонії та навчався в Німеччині. Вивчаючи теплові явища в гальванічних пристроях, він з'єднав два елементи з вісмуту та міді. У результаті цього експерименту він випадково

помітив відхилення стрілки компаса, що лежав поруч і назвав це явище термомагнетизмом, не здогадуючись, що через елементи протікає електричний струм.

Наступні дослідження В. Томсона, який відкрив ефект, названий його ім'ям, показали, що коли один кінець провідника розташований у холодному середовищі, а інший — у гарячому, тепло передається від теплого кінця до холодного. Крім того, градієнт температури викликає появу електричного поля в провіднику, що й було відкрито В. Томсоном у 1850 році.

Електричне поле, яке індукується у провіднику, веде до появи різниці потенціалів

$$dV = \alpha_a \frac{dT}{dx} dx = \alpha_a dT \,, \tag{1.3}$$

де dT – градієнт температури на невеличкій ділянці dx; αа – абсолютний коефіцієнт Зеебека матеріалу, який не залежить від довжини провідника, якщо матеріал однорідний (Рис. 1.6) [7].

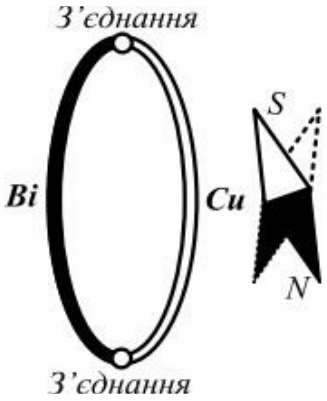


Рисунок 1.6 - До принципу дії термопари

На рисунку 1.7 представлено провідник із нерівномірним розподілом температури ТТ вздовж його довжини хх. Градієнт температури між будь-якими двома точками визначає термо-ЕРС між ними.

Значення температур у проміжних точках (наприклад, Т2, Т3, Т4) не впливають на величину ЕРС між точками 1 та 5.

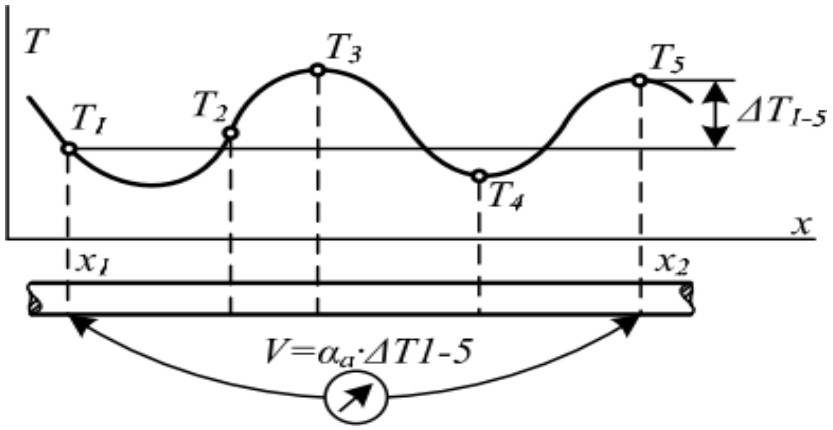


Рисунок 1.7 - ЕРС, що виникає на ділянці зі змінною температурою вздовж ділянки

Якщо щупи вимірювального приладу виготовлені з того ж матеріалу, що і провідник, відхилення стрілки приладу не спостерігається. Проте у випадку використання щупів з різних матеріалів прилад реєструє різницю потенціалів, тобто виникнення ЕРС (Рис. 1.8).

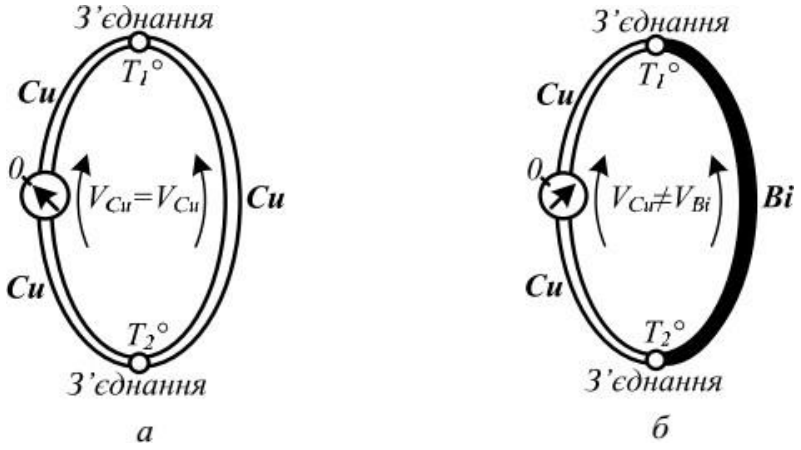


Рисунок 1.8 - Термоелектричний контур за умови Т1°≠ Т2°: а – з'єднання ідентичних контурів (ΔV=VCu-VCu=0); б – з'єднання контурів з різних матеріалів (ΔV=VCu-VBi≠0)

Отже, якщо контур складається з двох різних матеріалів (або з однакових, але один із них перебуває, наприклад, у напруженому стані, а інші ні!), і температури їхніх з'єднань відрізняються, у контурі виникає різниця потенціалів, яку називають напругою Зеебека. Варто зазначити, що ця різниця потенціалів визначається виключно типом матеріалів і температурою з'єднань і не залежить від жодних інших факторів: форми чи розмірів провідників.

Проте струми, які могли б протікати у контурах при з'єднанні провідників у точці вимірювання ЕРС, залежать саме від форми й розміру провідників тощо. Саме ці струми стали причиною відхилення стрілки компаса, яке спостерігав Зеебек.

Подальші дослідження виявили, що ефект Зеебека є за своєю природою електричним, а термоелектричні властивості матеріалів є такими ж об'ємними характеристиками, як електро- та теплопровідність. Коефіцієнт αа є унікальною властивістю матеріалу[8].

У разі з'єднання двох різних матеріалів напруга Зеебека визначається за формулою.

$$dV_{AB} = \alpha_{AB} dT, \tag{1.4}$$

де αАВ=αА-αВ – диференційний коефіцієнт Зеебека. Цей коефіцієнт є лінійною функцією від температури. Інакше його називають коефіцієнтом термо-ЕРС, або чутливістю термо-парного з'єднання. Еталонне з'єднання, яке, як правило, перебуває при холоднішій температурі, називають холодним спаєм, а інше з'єднання – гарячим спаєм[8].

Коефіцієнт Зеебека не залежить від способу з'єднання: метали можуть бути скручені, зварені чи спаяні. У 1826 році А. Беккерель запропонував застосовувати ефект Зеебека для вимірювання температури, але першу термопару розробив Генрі Ле-Шательє, який дослідив і описав термоелектричні властивості численних комбінацій металів.

Під час вимірювання різниці потенціалів між кінцями провідників, які перебувають у різних температурних умовах, у контурі може виникнути термо-ЕРС, якщо матеріал провідників і щупів вимірювального пристрою відрізняється. У зв'язку з цим постає завдання правильно підключити вимірювальний прилад до кола термопари, уникаючи похибок.

На допомогу приходить другий закон термоелектрики: «Алгебраїчна сума всіх термо-ЕРС у контурі, що складається з будь-якої кількості термопар

(з'єднань різних матеріалів), завжди дорівнює нулю, якщо всі з'єднання перебувають за однакової температури».

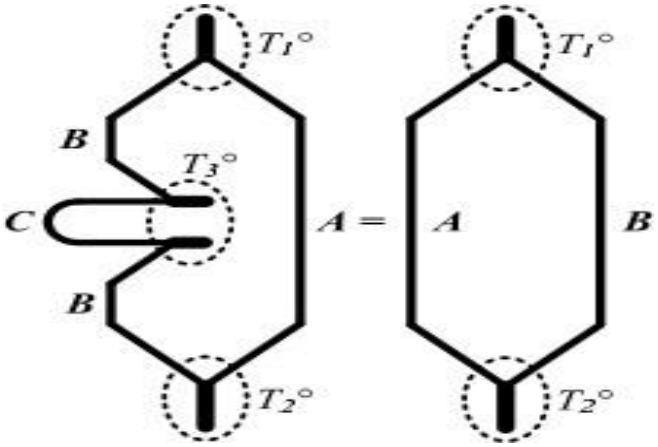


Рисунок 1.9 - Ілюстрація правила приєднання вимірювального пристрою у коло термопари: С – ланка вимірювального пристрою

Це означає, що до будь-якого плеча термоелектричного контуру можна додати матеріал С без ризику зміни підсумкової ЕРС, якщо обидва з'єднання залишаються при однаковій температурі (рис. 1.9).

Таким чином, метали у термоелектричному контурі можуть бути спаяні, скручені, зварені або затиснуті без впливу на точність вимірювань. З огляду на рисунку. 1.9, легко продемонструвати спосіб організації схеми для вимірювання різниці температур між двома точками одного об'єкта або між двома різними об'єктами (рис. 1.10).

У сучасних конструкціях ізотермічне середовище може бути зосереджене в корпусі актуатора. Проте, у цьому випадку підключення клемної коробки термопар до терміналів актуатора слід виконувати за допомогою провідників із матеріалу, який аналогічний матеріалу провідника термопар, або має подібні характеристики (рис. 1.11).

А, В – матеріали термопар; С – довільний матеріал з'єднувальних провідників; 1 – ізотермічне середовище; 2 – актуатор, або вторинний перетворювач (мається наувазі, що термопари є первинними перетворювачами);

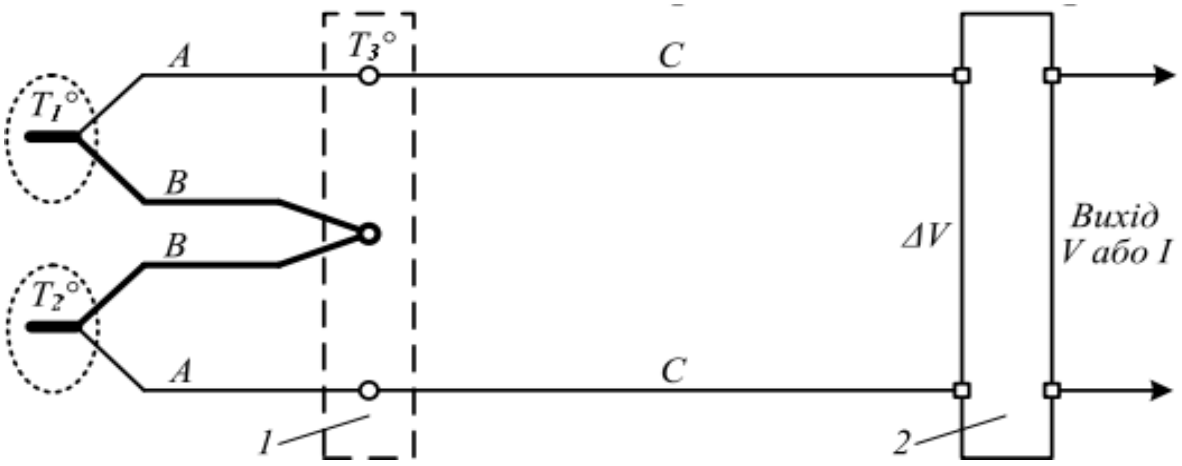


Рисунок 1.10 – Структурна схема термопарного вимірювання різниці температур

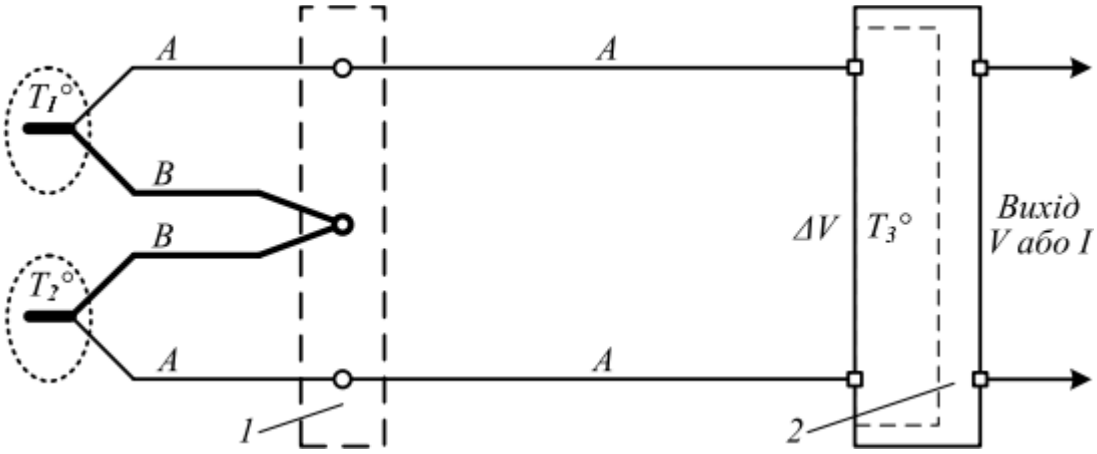


Рисунок 1.11 - Структурна схема термопарного вимірювання різниці температур (варіант 2): 1 – клемна коробка; 2 – актуатор (вторинний перетворювач)

Зазначимо, що необхідність використання з'єднувальних провідників із того ж матеріалу, що й у термопарах, виникає лише в разі, якщо клемна коробка не забезпечує ізотермічного середовища. На практиці для вимірювання температури об'єкта широко застосовується метод прямого підключення актуатора. У цьому випадку актуатор підключається безпосередньо до різних матеріалів термопари, утворюючи пару холодних спаїв, температура яких має залишатися однаковою. (Рис. 1.12) [8]

$$\Delta V \equiv \Delta T^{\circ};\ V_к \equiv T_2^{\circ} \qquad (1.5)$$

Очевидно, що напруга Зеебека ΔV, прикладена до затискачів 1–2 актуатора, виступає аналогом різниці температур між гарячим і холодним спаями. Температура холодного спаю Т2° впливає на абсолютний датчик температури 2, сигнал з якого (Vк) передається на входи 3–4 актуатора. Після обробки даних, що надходять на входи 1–2 та 3–4, актуатор генерує стандартний аналоговий сигнал у вигляді напруги або струму.[9].

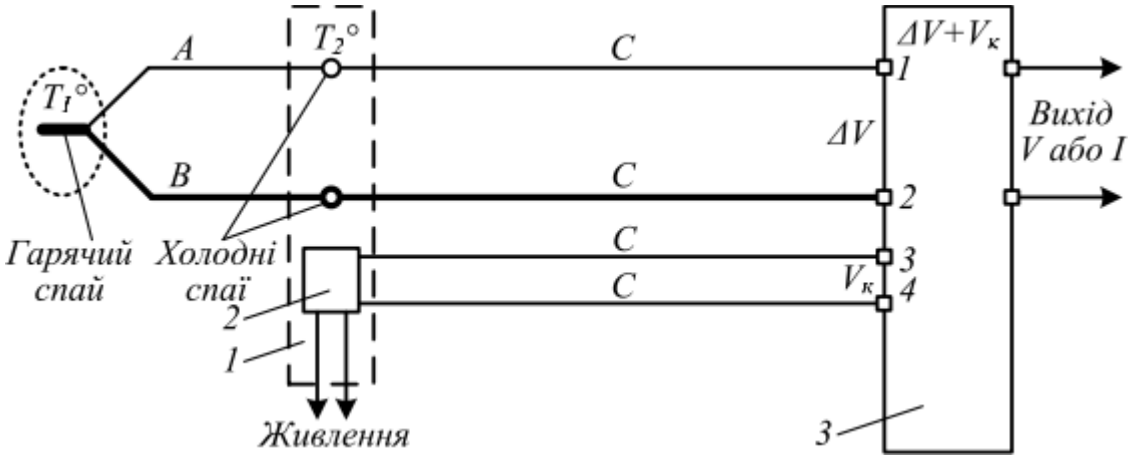


Рисунок 1.12 - Структурна схема термопарного вимірювання температури Т1° об'єкта (варіант 1): 1 – ізотермічне середовище; 2 – абсолютний датчик температури (наприклад, резистивний термоперетворювач термістор) – компенсатор температури холодного спаю; 3 – актуатор (вторинний перетворювач);

Перевага такої схеми полягає в тому, що з'єднувальні провідники С можуть виготовлятися з будь-якого матеріалу.

Однак вона має певні недоліки: необхідність використання додаткових інформаційних провідників для датчика 2 і провідників його живлення, а також потребу створення ізотермічного середовища для температури Т2°.

Через ці недоліки на практиці широко застосовують актуатори, в яких ізотермічне середовище розміщене безпосередньо у корпусі актуатора (Рис. 1.13).

Недолік такого підходу: з’єднувальні провідники А і В повинні бути виготовлені з тих самих матеріалів, що й термопара, або з матеріалів, які мають схожі властивості з матеріалами А і В.

Абсолютний датчик температури холодного спаю, зображений на рисунку 1.12, часто називають компенсатором температури, тоді як з’єднувальні провідники А і В, зазначені на рисунку 1.13, називають компенсаційними.

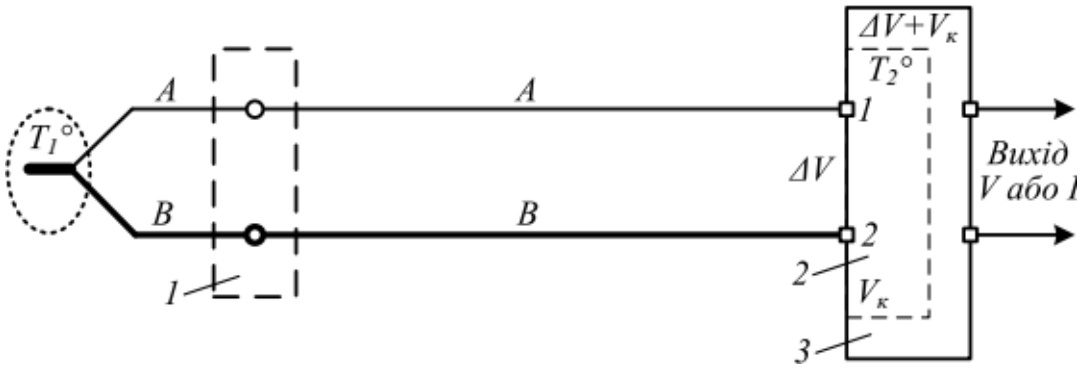


Рисунок 1.13 - Структурна схема термопарного вимірювання температури Т1° об’єкта (варіант 2): 1 – клемна коробка; 2 – ізотермічне середовище; 3 – актуатор

Переваги такої схеми полягають у простоті з'єднань.

Як уже зазначалося, контактні температурні датчики можуть бути одноблоковими або двоблоковими. У випадку двоблокового виконання датчики температури (наприклад, терморезистори, термістори чи термопари) виступають як окремі елементи, а актуатори (або вторинні перетворювачі сигналів, нормувальні перетворювачі, або просто перетворювачі з вказівкою на тип датчиків) реалізуються як окремі модулі, які, зазвичай, монтуються на DIN-рейку [9].

Відомі європейські виробники, такі як ABB, ASCON, ОВЕН та інші, пропонують серії або окремі моделі актуаторів, які можуть бути спеціалізованими або універсальними. У спеціалізованих моделях актуатор виконує вимірювання температури тільки в одному визначеному діапазоні (наприклад, -50 – +50 °С) і з конкретним типом датчика (наприклад, 100М). Якщо ж потрібно працювати в іншому діапазоні, наприклад, -80 – +200 °С із тим самим датчиком, доведеться використовувати іншу модифікацію з цієї ж серії.

Універсальні перетворювачі дозволяють вимірювати температуру в різних діапазонах за допомогою різних типів датчиків, за умови їх попереднього налаштування. Це налаштування може виконуватись за допомогою DIP-перемикачів або через комп'ютерний інтерфейс, наприклад, USB. На рисунку 1.14 зображено зовнішній вигляд і схему підключення датчиків, реалізованих на базі універсального нормувального перетворювача ОВЕН НПТ1 [9].

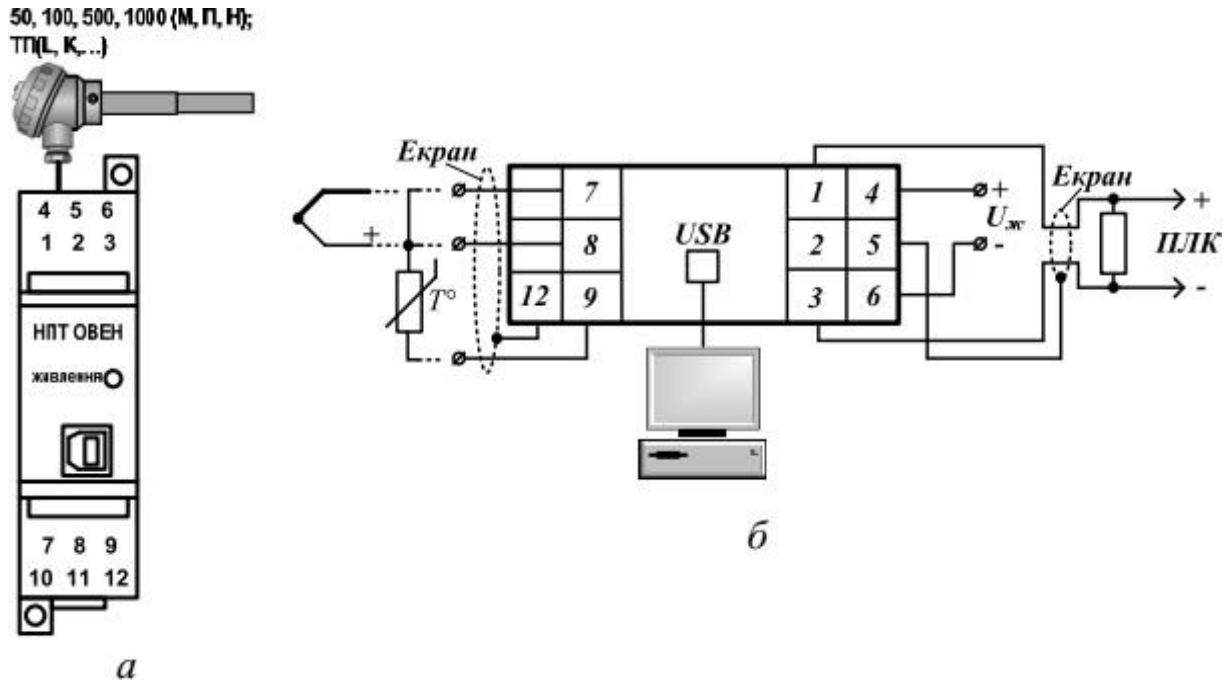


Рисунок 1.14 - Зовнішній вигляд (а) та схема з'єднань (б) давача, організованого на базі універсального перетворювача ОВЕН НПТ1

Цей пристрій використовується для перетворення температурного значення, отриманого за допомогою термопари або терморезистора, в уніфікований сигнал постійного струму 0(4)–20 мА. Його застосовують у системах автоматичного контролю, регулювання й управління технологічними процесами в промисловості, комунальному господарстві, диспетчеризації, а також у телемеханічних інформаційно-вимірювальних комплексах тощо.

Якщо середовище дозволяє, можна використовувати одноблочний датчик температури, у якого перетворювач інтегровано в комутаційну головку. Переваги такого датчика включають:

- можливість збільшення довжини інформаційної лінії зв'язку між датчиком температури й приймальним елементом системи збору інформації;

- зниження впливу завад на інформаційну лінію;
- можливість виготовлення інформаційної лінії з будь-якого матеріалу.

Основним недоліком є необхідність у додатковій лінії живлення для перетворювача.

На рисунку 1.15 продемонстровано зовнішній вигляд такого датчика. Ці пристрої активно використовуються в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами в різних галузях промисловості й інших сферах.[9].

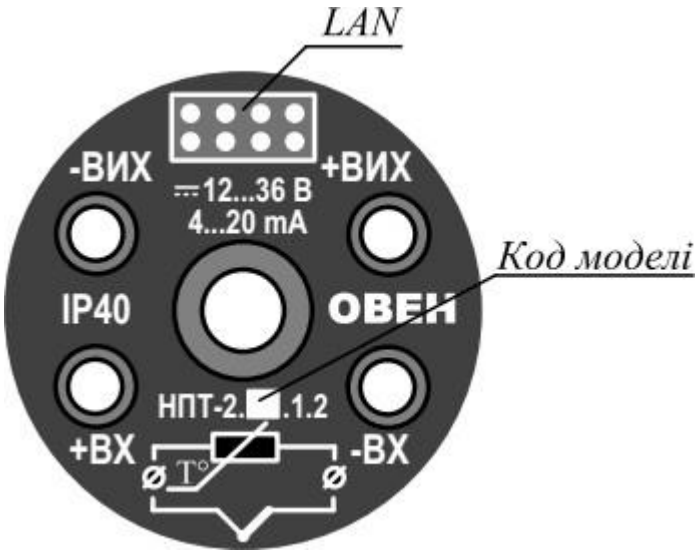


Рисунок 1.15. Зовнішній вигляд перетворювача ОВЕН НПТ2: LAN – інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером

1.4. Датчики температури на основі діодів і транзисторів

Напівпровідники характеризуються значною залежністю питомої провідності від впливу зовнішніх факторів, таких як температура, електричне поле, світло тощо. Напівпровідниковий діод являє собою пристрій із одним випрямляючим електричним переходом і двома виводами, який використовує властивості цього переходу.

У термодатчиках, побудованих на основі діодів і транзисторів, зазвичай застосовується залежність параметрів *p-n* переходу від температури. Найпершим температурно залежним параметром був зворотний струм, величина якого зростає з температурою за експоненціальним законом зі швидкістю близько 10% на кожен Кельвін. Проте використання цього параметра обмежене вузьким температурним діапазоном через тепловий пробій при високих температурах.

Більшу популярність отримало застосування прямих параметрів діодів і транзисторів, які характеризуються лінійною температурною залежністю, широким діапазоном робочих температур і високою стабільністю. Найчастіше вимірюють пряму напругу на *p-n* переході за майже постійного струму емітера, де зміна напруги становить близько 2,5 мВ/К. Наприклад, датчик TS-560 на основі арсеніду галію має робочий діапазон температур від 4,2 до 500 К, основну похибку 0,1% і чутливість 2–3 мВ/К при габаритних розмірах 3×3 мм.

Відомо також використання температурно-залежного коефіцієнта підсилення по струму на низьких і високих частотах, проте його невисока чутливість до температури і потреба в індивідуальному градуюванні обмежують застосування цього параметра.

Температурні межі використання транзисторів у термодатчиках є ширшими, ніж при їх прямому застосуванні. Обмеження на високих температурах пов’язане з переходом домішкового напівпровідника у власний, зменшенням пробивної напруги й збільшенням генерації носіїв. При низьких температурах обмеження обумовлене зменшенням концентрації носіїв через дезактивацію домішок і зниження коефіцієнта підсилення по струму.

Основним недоліком таких термодатчиків є складність забезпечення номінальної статистичної характеристики через варіації параметрів транзисторів, таких як коефіцієнт підсилення по струму, опір базової області тощо. Стабільність параметрів є важливим фактором для широкого застосування термодатчиків.

Дослідження довгострокової стабільності термодатчиків з температурно залежним параметром прямої напруги на *p-n* переході показують, що похибка

вимірювання в перший рік становить 0,01–0,15 К, а в другий рік знижується до 0,002–0,04 К. Основними причинами нестабільності є процеси гідратації-дегідратації оксидного шару та виникнення залишкових деформацій у кристалі через різницю коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів транзистора. [10].

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження методів вимірювання температури та розробка пристрою контролю нагріву електронних компонентів. Для досягнення поставленої мети треба вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз існуючих методів вимірювання температури та визначити критичні значення температури для основних типів компонентів;
- Розробити функціональну схему системи та визначити алгоритм роботи;
- Обрати та обгрунтувати тип мікроконтролера та інших функціональних вузлів приладу;
- Визначити режим роботи кулера з ШІМ керуванням в залежності від виміряної температури;
- Розробити керуючу програму для мікроконтролера в Microchip Studio;
- Перевірити працездатність схеми в програмному середовищі Proteus;

2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ НАГРІВУ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

2.1 Аналіз типів температурних датчиків

Температурні датчики відіграють важливу роль у багатьох галузях, від промислового моніторингу до споживчої електроніки. Існує безліч типів температурних сенсорів, кожен з яких має свої унікальні переваги, недоліки та сфери застосування. Правильний вибір датчика залежить від конкретних вимог вашого застосування, таких як діапазон вимірюваної температури, необхідна точність та умови середовища. У таблиці 2.1 наводиться порівняння основних типів температурних сенсорів, їх переваг, недоліків та основних сфер застосування, щоб обрати найбільш підходящий для проєкту.

Таблиця 2.1 – Порівняння основних типів температурних сенсорів

Тип температурного датчика	Опис датчика	Переваги	Недоліки	Застосування
Контактні датчики температури. Температурний зонд (NTC термістори, RTD сенсори, термопари)	Становить зонд з температурним сенсором (термістор, RTD або термопара) в різних корпусах для вимірювання температури через контакт. Діапазон температури роботи: залежить від типу елемента (NTC: -40°C до 125°C, RTD: -196°C до +850°C, термопари: до 1260°C)	Можливості налаштування, висока точність, швидкий відгук, широкий температурний діапазон залежно від типу елемента	Вартість змінюється залежно від вимог, необхідність контакту з поверхнею, низька точність на високих температурах (термістори), потреба в калібруванні та чутливість до електричних перешкод (термопари)	Промисловий моніторинг, медичний моніторинг, транспорт, комп'ютери, побутова техніка, HVAC, лабораторії, авто- та мотоспорт, харчова промисловість, екологічний моніторинг, аерокосмічні додатки

Продовження таблиці

Безконтактні датчики температури. Інфрачервоні датчики (термопіли, безконтактні ІЧ-датчики)	Використовують інфрачервоне випромінювання для безконтактного вимірювання температури на відстані. Діапазон температури роботи: зазвичай від -70°C до +380°C	Безконтактне вимірювання, висока швидкість, можливість вимірювання рухомих об'єктів, висока точність	Залежність точності від зовнішніх умов (відстань, кут, пил), чутливість до вологості та пилу	Промисловий моніторинг, контроль виробничих процесів, медицина, наукові дослідження, екологічний моніторинг
Цифрові датчики температури	Цифрові датчики містять вбудований АЦП (аналогово-цифровий перетворювач), що дозволяє їм перетворювати аналогові сигнали температури в цифрові значення і передавати на інтерфейс. Діапазон температури роботи: зазвичай від -55°C до +125°C	Легкість інтеграції з мікроконтролерами, стійкість до перешкод, точність	Потребують живлення для роботи, обмежений діапазон температур у порівнянні з аналого-вими датчиками	Споживча електроніка, побутова техніка, автомобільна промисло-вість, комп'ютерні системи
Високоточні термометри	Надзвичайно точні сенсори, високоточні термометри використовують технології платинових резистивних елементів, інші — прецизійні цифрові сенсори з вбудованою компенсацією температури для підвищення точності. Діапазон температури роботи: від -200°C до +1000°C	Надзвичайно висока точність, стабільність	Висока вартість, складність у викори-станні	Лабораторні дослідження, калібрувальні системи, медицина

Перевага надається цифровим датчикам температури. Цифрові датчики температури переважають завдяки своїй простоті підключення, високій точності та стійкості до електромагнітних завад. Вони також зручні для інтеграції з мікроконтролерами та іншими цифровими пристроями, що значно спрощує проєктування систем моніторингу та контролю температури.

2.2 Обгрунтування вибору датчика температури

Таблиця 2.2 демонструє ключові технічні характеристики різних моделей температурних датчиків, які використовуються для вимірювання в діапазонах від низьких до високих температур.

Таблиця 2.2 – Характеристики основних моделей температурних датчиків

Модель датчика	DS18B20	DHT22 (AM2302)	SHT31	MAX31850
Діапазон вимірювання температури	-55°C до +125°C	-40°C до +125°C	-40°C до +125°C	-55°C до +125°C
Інтерфейс	1-Wire	Цифровий (1-Wire)	Цифровий (I2C)	1-Wire
Напруга живлення	3.0…5.5 В	3.3…6.0 В	2.4…5.5 В	3.0…5.5 В
Габаритні розміри	5 x 5 мм (TO-92)	15 x 25 мм	2.5 x 2.5 мм (DFN)	5 x 5 мм (TO-92)
Час відгуку	750 мс	2 с	200 мс	750 мс
Точність	±0.5°C (від -10 до +85°C), ±2°C (інший діапазон)	±0.5°C	±0.3°C	±0.25°C
Орієнтовна ціна (грн)	90-120	100-150	200-300	120-160

DS18B20 — це цифровий температурний датчик, який поєднує простоту використання та високі технічні характеристики. Він використовує технологію 1-Wire, яка дозволяє передавати дані та живлення через один провід, що значно спрощує підключення. DS18B20 може підключатися до мікроконтролерів через один порт, а його унікальний 64-бітний серійний код дозволяє під'єднувати кілька датчиків до однієї лінії без конфліктів. Це робить його зручним для багатоканальних систем вимірювання.

Датчик забезпечує високу точність вимірювань — ±0,5°C у діапазоні від -10°C до +85°C, і може працювати в температурному діапазоні від -55°C до +125°C. Він має можливість вибору точності вимірювань, варіюючи від 9 до 12 біт, що дозволяє налаштовувати час вимірювання відповідно до потреб системи.

Однією з особливостей DS18B20 є можливість живлення від лінії даних, що спрощує використання в системах, де немає можливості забезпечити окреме джерело живлення. Датчик також має функцію сигналізації про перевищення температурних меж, які можна налаштовувати в залежності від потреб. (Рис. 2.1)

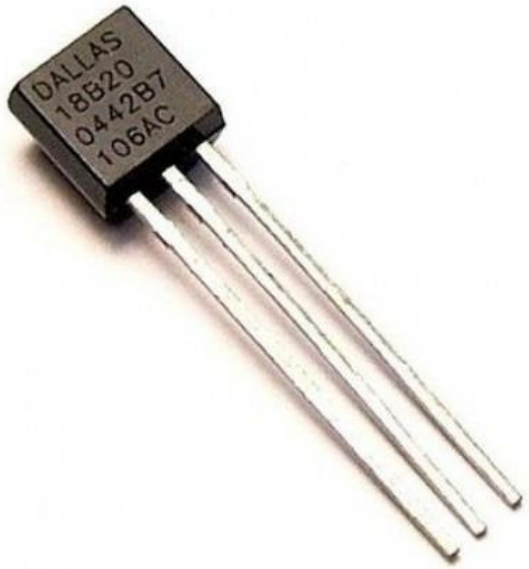


Рисунок 2.1 – Датчик DS18B20

DHT22 (AM2302) — це цифровий датчик температури та вологості, який часто використовується для проєктів, де потрібен точний моніторинг кліматичних умов. Він забезпечує одночасне вимірювання як температури, так і відносної вологості, що робить його універсальним для застосувань у системах домашньої автоматизації, метеостанціях, інкубаторах, теплицях та інших середовищах.

Датчик DHT22 здатен вимірювати температуру в діапазоні від -40°C до +80°C із точністю ±0,5°C. Вимірювання вологості здійснюється в діапазоні від 0% до 100% відносної вологості, при цьому точність становить ±2-5%. Для

передачі даних використовується простий цифровий інтерфейс, що дозволяє легко підключати його до мікроконтролерів і мікропроцесорів.

Однією з переваг DHT22 є внутрішня компенсація, що забезпечує стабільні результати навіть у складних умовах навколишнього середовища. Датчик має вбудований 8-бітний мікроконтролер, який обробляє сигнали перед їх передачею, що спрощує інтеграцію в проєкти, оскільки немає необхідності проводити додаткову обробку даних на стороні мікроконтролера. (Рис. 2.2)



Рисунок 2.2 – Датчик DHT22 (AM2302)

SHT31 — це високоточний цифровий датчик температури та вологості. Він забезпечує точні вимірювання температури в діапазоні від -40°C до +125°C з точністю до ±0,3°C та відносної вологості в діапазоні від 0% до 100% з точністю ±2% RH. SHT31 відрізняється швидким часом відгуку та стабільністю, що робить його ідеальним для використання в різноманітних умовах.

Датчик SHT31 використовує інтерфейс I2C, що дозволяє легко підключати його до мікроконтролерів та інших цифрових пристроїв. Це забезпечує просту інтеграцію в системи моніторингу клімату, автоматизації будинків, систем вентиляції та кондиціонування, а також в медичних приладах і промисловому обладнанні.

Крім того, SHT31 оснащений вбудованими функціями самодіагностики, що дозволяє здійснювати моніторинг стану датчика в режимі реального часу. Датчик має невеликі габарити, що дозволяє зручно інтегрувати його в обмежені простори. (Рис. 2.3)

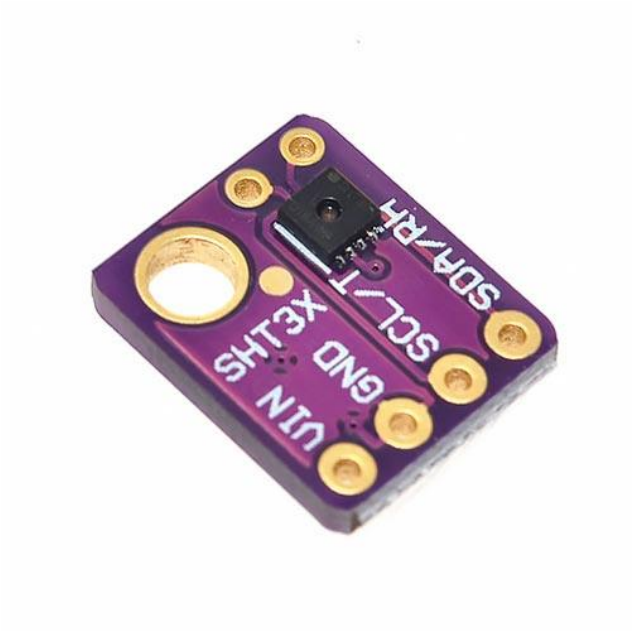


Рисунок 2.3 – Датчик SHT31

MAX31850 — це високотемпературний цифровий термометр, який використовує термопару типу K для вимірювання температури в широкому діапазоні від -200°C до +1372°C. Цей датчик забезпечує високу точність і стабільність вимірювань, роблячи його ідеальним для промислових, наукових і комерційних застосувань, де необхідно контролювати температурні процеси.

MAX31850 інтегрує всі необхідні функції для роботи з термопарами, включаючи посилення сигналу, цифрову обробку і управління. Датчик використовує інтерфейс 1-Wire, що дозволяє підключати декілька термометрів до одного порту мікроконтролера, спрощуючи розгортання систем моніторингу температури.

Додатковою перевагою MAX31850 є вбудовані можливості самодіагностики, що дозволяють виявляти помилки в роботі термопари, а також зменшувати вплив зовнішніх факторів на точність вимірювань. Датчик також

має вбудовану функцію програмування, що дозволяє користувачам налаштовувати параметри відповідно до специфікацій свого проєкту. (Рис. 2.4)

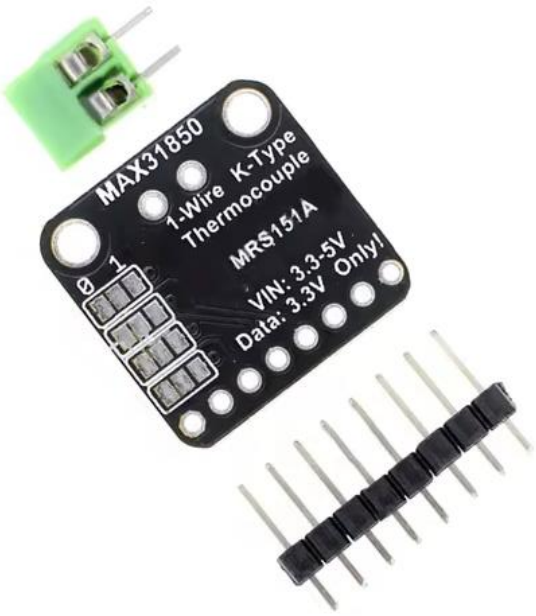


Рисунок 2.4 – Датчик MAX31850

2.3 Опис функціональної схеми та принцип роботи

На рисунку 2.5 представлена структурна схема пристрою контролю нагріву електронних компонентів.

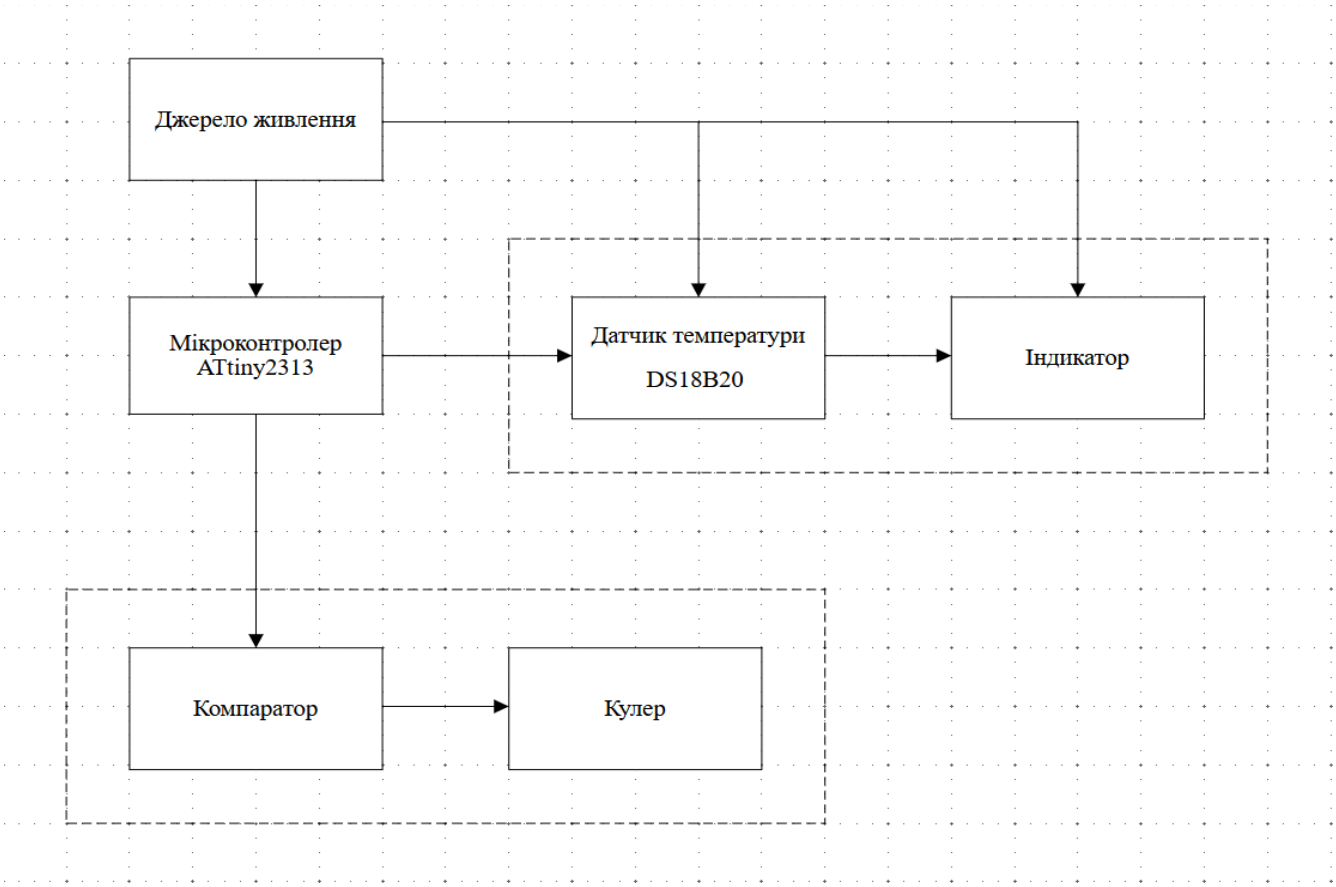


Рисунок 2.5 – Структурна схема пристрою контролю нагріву електронних компонентів

Структурна схема описує пристрій для контролю нагріву електронних компонентів, який базується на мікроконтролері ATtiny2313 та використовує температурний датчик DS18B20 для моніторингу температури.

Компоненти схеми:

1. Джерело живлення — забезпечує стабільне електроживлення для всіх компонентів пристрою, включаючи мікроконтролер, датчик температури, індикатор, компаратор та кулер.

2. Мікроконтролер ATtiny2313 — є центральним елементом керування системою. Він обробляє дані з датчика температури DS18B20, аналізує поточну температуру та приймає рішення про ввімкнення або вимкнення кулера через

компаратор. Також мікроконтролер керує індикатором для відображення інформації про стан системи.

3. Датчик температури DS18B20 — цифровий датчик, який зчитує температуру в контрольованій зоні. DS18B20 передає дані про температуру до мікроконтролера, який, у свою чергу, обробляє цю інформацію та виводить її на індикатор.

4. Індикатор — виводить актуальне значення температури, яке виміряв датчик. Це дозволяє бачити поточну температуру системи в реальному часі.

5. Компаратор — порівнює значення температури з встановленим порогом. Якщо температура перевищує заданий рівень, компаратор подає сигнал на кулер для його активації.

6. Кулер — охолоджувальний елемент, який активується при перевищенні температурного порогу. Він забезпечує зниження температури електронних компонентів для запобігання перегріву.

Схема працює таким чином, що при перевищенні температурою критичного значення мікроконтролер запускає кулер, щоб знизити температуру. Вся система спрямована на підтримку безпечного температурного режиму електронних компонентів, запобігаючи їх перегріву та можливим поломкам.

На рисунку 2.6 зображено алгоритм роботи пристрою контролю температури електронних компонентів

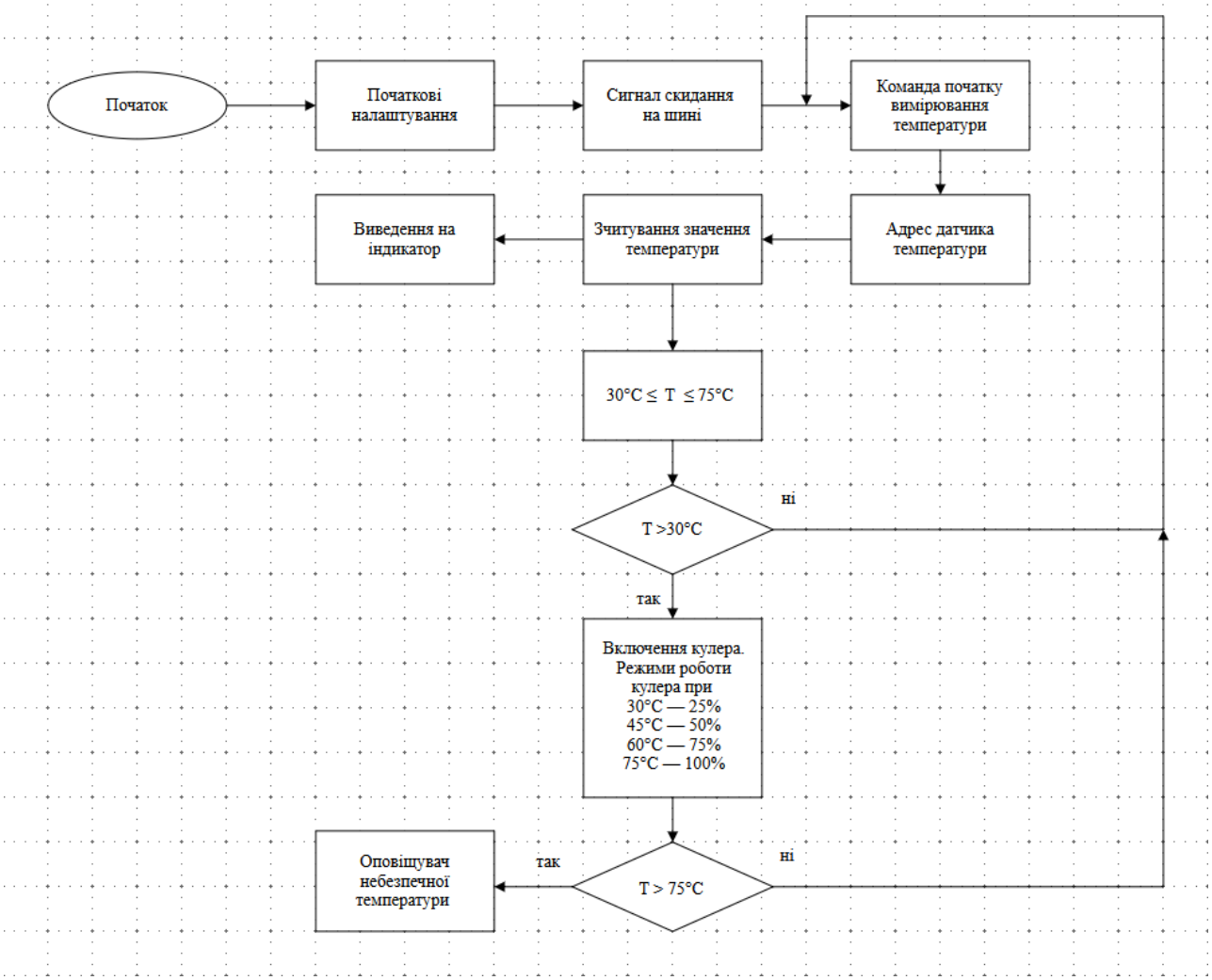


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи пристрою контролю температури електронних компонентів

Алгоритм роботи пристрою контролю температури електронних компонентів на основі поданої блок-схеми можна описати так:

1. Початкові налаштування. Встановлюються необхідні параметри мікроконтролера та периферійних пристроїв. Проводиться ініціалізація температурного сенсора DS18B20.

2. Скидання датчика температури. Посилається сигнал скидання на шину OneWire, щоб ініціювати роботу датчика.

3. Відправка команди на вимірювання температури. Мікроконтролер надсилає запит на отримання поточного значення температури. Зчитується адреса підключеного датчика, якщо в системі декілька сенсорів.

4. Зчитування значення температур. Отримане значення температури зберігається для подальшого аналізу.

5. Аналіз температури. Перевіряється діапазон температури:

- Нижче 30°C: кулер вимкнений.
- В межах 30°C – 75°C: швидкість кулера регулюється залежно від температури.
- Вища за 75°C: включається сповіщення про небезпечну температуру.

6. Регулювання роботи кулера. Кулер вмикається і працює на відповідному рівні потужності:

- 30°C – 25% потужності кулера
- 45°C – 50% потужності кулера
- 60°C – 75% потужності кулера
- 75°C – 100% потужності кулера

7. Оповіщення про небезпечну температуру. Якщо температура перевищує 75°C, активується система сповіщення про небезпечну температуру, що вказує на потребу негайного втручання.

8. Виведення даних на індикатор. Поточне значення температури та статус роботи кулера відображаються на LCD-дисплеї.

9. Повернення до початку циклу. Після виконання всіх дій система знову переходить до початкового етапу для повторного аналізу температури.

Таким чином, алгоритм забезпечує постійний моніторинг температури, автоматичне регулювання роботи кулера залежно від температури, а також оповіщення у разі небезпечного перегріву.

2.4 Мікроконтролер ATtiny2313

Засіб вимірювання температури створюємо на базі мікроконтролера AVR ATtiny2313**.**

AVR – сімейство 8-бітних мікроконтролерів, раніше випускалися фірмою Atmel, пізніше Microchip.

Мікроконтролери AVR мають гарвардську архітектуру (програма і дані знаходяться в різних адресних просторах) та систему команд, близьку до ідеології RISC. Процесор AVR має 32 8-бітні регістри загального призначення, об'єднані в регістровий файл. На відміну від «ідеального» RISC, регістри не є абсолютно ортогональними.

Система команд мікроконтролерів AVR дуже розвинена і нараховує в різних моделях від 90 до 133 різних інструкцій. Більша частина команд займає лише 1 комірку пам'яті (16 біт). Більшість команд виконується за 1 такт.

Керування периферійними пристроями здійснюється через адресний простір даних. Для вимірювання температури використовуємо цифровий датчик температури DS18B20. Якщо немає особливих вимог до датчика температури за параметрами, умовами роботи чи ціною, то очевидним рішенням є вибір цифрового датчика для спільної роботи з мікроконтролером. Цифрові датчики можуть підключатися через досить довгі проводові лінії; на відміну від слабких аналогових сигналів, які надходять від інших типів датчиків, цифровий сигнал стійкий до впливу перешкод. Використовувані інтерфейси дозволяють підключити одразу кілька цифрових датчиків на одній лінії. Цифрова форма передачі даних дозволяє використовувати цифрові датчики температури разом із дуже простими мікроконтролерами, що не мають АЦП або навіть потрібного цифрового інтерфейсу – використовувані інтерфейси достатньо прості й легко реалізуються програмно.

Значення температури повинно відображатися на індикаторі LM020L

ATtiny2313 - 8-розрядний високопродуктивний AVR мікроконтролер з низьким енергоспоживанням. (Рис. 2.7)

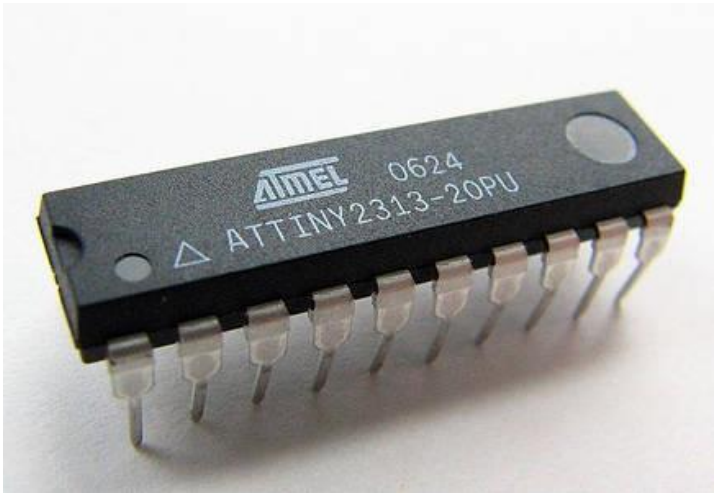


Рисунок 2.7 – Мікроконтролер ATtiny2313

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики мікроконтролера ATtiny2313.

Характеристика	Значення
Архітектура	8-розрядна AVR з RISC-командами
Кількість команд	120 команд, більшість виконується за 1 такт
Максимальна частота	До 20 МГц
Flash-пам'ять	2 КБ
SRAM	128 байт
EEPROM	128 байт
Кількість вводу/виводу (I/O)	18 універсальних ліній
Таймери/лічильники	1 × 8-бітний, 1 × 16-бітний
Швидкість виконання команд	Більшість команд виконується за 1 такт
Інтерфейси	USART, SPI, I2C
Напруга живлення	2.7–5.5 В
Режими енергозбереження	Power-down, Power-save, Standby, і т.д.

Цей мікроконтролер використовує прогресивну RISC архітектуру та підтримує 130 високопродуктивних команд, більшість із яких виконуються за один тактовий цикл. Він має 32 8-розрядних робочих регістри загального

призначення та забезпечує повністю статичну роботу, з продуктивністю до 16 MIPS при тактовій частоті 16 МГц. Вбудований 2-цикловий множник підвищує ефективність обчислень. Пристрій оснащений енергонезалежною пам'яттю програм і даних, яка витримує до 10 000 циклів стирання/запису для Flash і до 100 000 циклів для EEPROM. Серед додаткових можливостей — окремий сектор завантажувальних кодів із незалежними бітами блокування, підтримка внутрішньосистемного програмування за допомогою вбудованої програми завантаження, а також режим одночасного читання/запису (Read-While-Write). Програмовані блокування забезпечують надійний захист програмних засобів користувача.

Мікроконтролер оснащений інтерфейсом JTAG, що відповідає стандарту IEEE 1149.1, підтримує сканування периферії та вбудовану налагоджувальну систему, а також дозволяє програмування через JTAG інтерфейс Flash, EEPROM пам'яті, перемичок і бітів блокування.

До вбудованої периферії відносяться: один 16-розрядний таймер/лічильник з окремим переддільником і режимами захоплення та порівняння, лічильник реального часу з окремим генератором, чотири канали PWM, 8-канальний 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач, два 8-розрядні таймери/лічильники з переддільниками, один із режимом порівняння. Мікроконтролер підтримує 8 несиметричних і 7 диференційованих каналів (в корпусі TQFP), а також 2 диференційовані канали з програмованим підсиленням у 1, 10 або 200 разів (лише в TQFP).

Інтерфейси включають байто-орієнтований 2-провідний послідовний інтерфейс, програмований послідовний USART, SPI інтерфейс (ведучий/ведений) та програмований сторожовий таймер з окремим генератором. Є вбудований аналоговий компаратор. До спеціальних мікроконтролерних функцій відносяться скидання при подачі живлення, програмований детектор зниження напруги живлення, вбудований калібрований RC-генератор, внутрішні та зовнішні джерела переривань, а також шість режимів зниженого енергоспоживання: Idle, Power-save, Power-down, Standby, Extended Standby і режим зниження шумів АЦП.

Виводи I/O корпуса зображені на рисунку 2.8

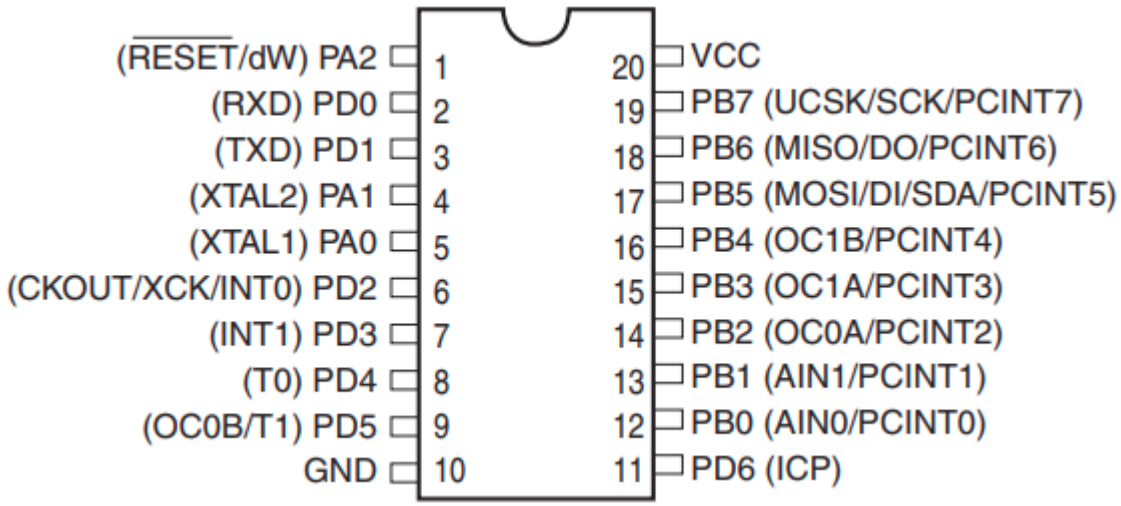


Рисунок 2.8 – Виводи I/O корпуса

VCC - «Цифрова» напруга живлення
GND - «Заземлення»

Port A (PA2..PA0) - Порт A — це 3-бітний двонаправлений порт введення/виведення з внутрішніми підтягувальними (навантажувальними) резисторами (які можна вибрати для кожного виводу). Вихідні буфери Порта A мають однакові характеристики з високою навантажувальною здатністю. Якщо виводи Порта A з'єднані із заземленням і навантажувальні резистори увімкнені, то виводи стають джерелами струму. Після скидання контролера виводи Порта A знаходяться у високоімпедансному стані (третьому стані), навіть якщо генератор не запущений. Порт A також виконує функції різних спеціальних елементів контролера ATtiny2313.

Port B (PB7..PB0) - Порт B — це 8-бітний двонаправлений порт введення/виведення з внутрішніми підтягувальними (навантажувальними) резисторами (які можна вибрати для кожного виводу). Вихідні буфери Порта B мають однакові характеристики з високою навантажувальною здатністю. Якщо виводи Порта B з'єднані із заземленням і навантажувальні резистори увімкнені, то виводи стають джерелами струму. Після скидання контролера виводи Порта B знаходяться у високоімпедансному стані (третьому стані), навіть якщо генератор не запущений. Порт B також виконує функції різних спеціальних елементів контролера ATtiny2313.

Port D (PD6..PD0) - Порт D — це 7-бітний двонаправлений порт введення/виведення з внутрішніми підтягувальними (навантажувальними) резисторами (які можна вибрати для кожного виводу). Вихідні буфери Порта D мають однакові характеристики з високою навантажувальною здатністю. Якщо виводи Порта D з'єднані із заземленням і навантажувальні резистори увімкнені, то виводи стають джерелами струму. Після скидання контролера виводи Порта D знаходяться у високоімпедансному стані (третьому стані), навіть якщо генератор не запущений. Порт D також виконує функції різних спеціальних елементів контролера ATtiny2313.

RESET - Вивід скидання контролера. Низький рівень на цьому виводі, який триває довше, ніж мінімальна тривалість імпульсу, генерує скидання, навіть якщо ЦПУ не запущений. Коротші імпульси зазвичай не генерують скидання. Вивід скидання має додаткові, тобто альтернативні функції: PA2 і dW.

XTAL1 - Цей вивід є входом інвертуючого підсилювача і входом для внутрішньої схеми, що генерує тактовий сигнал. XTAL1 має альтернативну функцію — PA0.

XTAL2 - Цей вивід є виходом інвертуючого підсилювача генератора. XTAL2 має альтернативну функцію — PA1.

2.5 Підключення датчика DS18B20 до мікроконтролера ATtiny2313 в програмі моделювання Proteus

На рисунку 2.9 зображена схема побудови системи моніторингу температури з використанням цифрового датчика DS18B20 та мікроконтролера ATtiny2313. Доповненням до схеми є осцилограф, який дозволяє аналізувати сигнали в ключових точках пристрою.

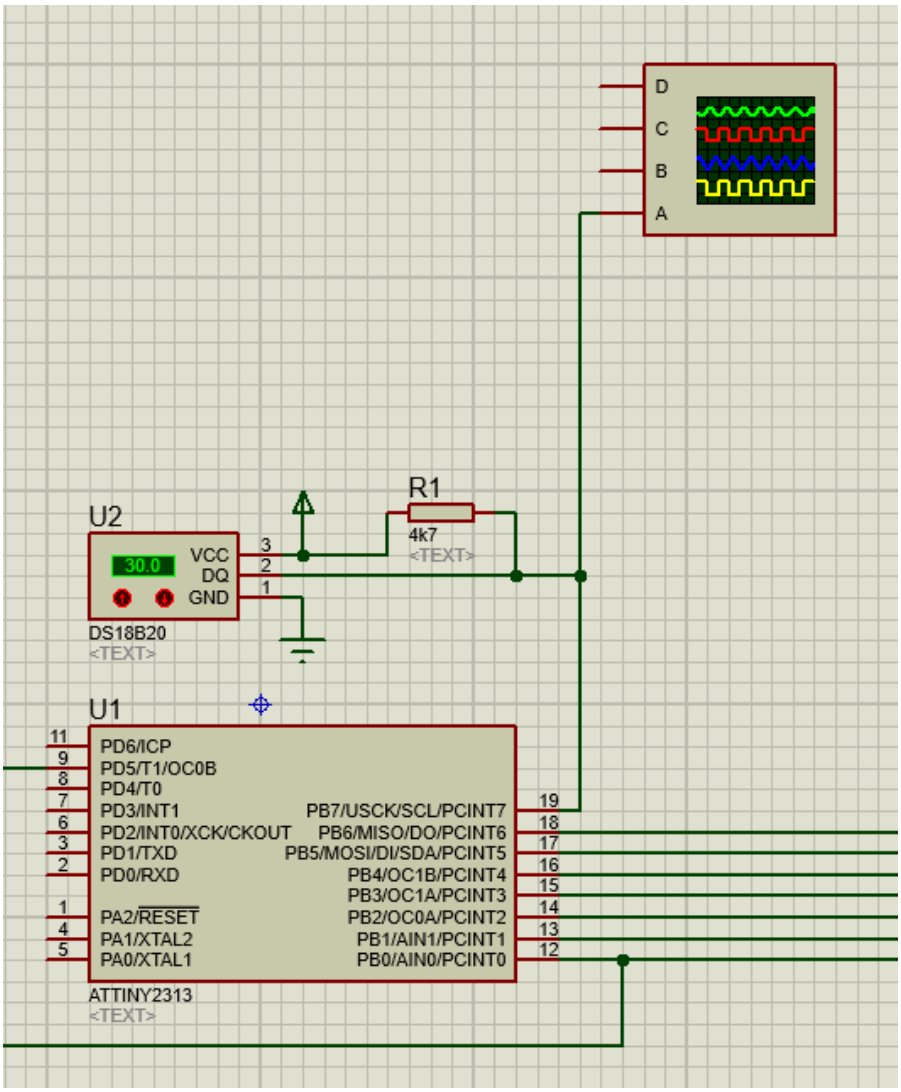


Рисунок 2.9 – Схема побудови системи моніторингу температури

Основним елементом схеми є цифровий температурний датчик DS18B20, який має три виводи: VCC, DQ та GND. Вивід VCC підключений до джерела живлення (+5 В), а GND – до загальної землі, забезпечуючи живлення датчика. Лінія даних DQ через підтягуючий резистор номіналом 4.7 кОм також підключена до живлення, що необхідно для коректної роботи протоколу 1-Wire. Вивід DQ служить для передачі даних до мікроконтролера ATtiny2313, а саме до його входу PB0 (AIN0/PCINT0). Протокол 1-Wire дозволяє здійснювати обмін даними між датчиком і мікроконтролером через одну лінію, що спрощує схему.

Мікроконтролер ATtiny2313 виконує функцію управління пристроєм. Його основне завдання – зчитувати цифрові дані з датчика DS18B20, обробляти їх і, за потреби, виконувати подальші дії, такі як передача сигналу на вихідні порти або прийняття рішення про активацію інших компонентів схеми. Для забезпечення стабільності роботи мікроконтролера.

На позитивний вхід компаратора ("+") подається змінна напруга, наприклад, з датчика або генератора, в той час як негативний вхід ("-") підключений до опорного рівня. Компаратор порівнює ці два значення і видає на своєму виході логічний сигнал. Якщо напруга на позитивному вході перевищує опорну, на виході з'являється високий логічний рівень. Цей сигнал може бути використаний для активації інших елементів схеми або аналізу на осцилографі.

Осцилограф підключений до ключових точок схеми для моніторингу сигналів. Він дозволяє в реальному часі спостерігати зміну сигналів, що є важливим для налагодження та тестування пристрою. Наприклад, осцилограма може відображати форму сигналу на виході компаратора, показуючи, як система реагує на зміну напруги на вході.

Робота пристрою починається з вимірювання температури датчиком DS18B20. Зчитане значення передається до мікроконтролера, який обробляє дані та може виконати додаткові дії, такі як відображення температури, генерація сигналу тривоги чи активація компаратора. Осцилограф допомагає візуалізувати динаміку сигналів, що є важливим для перевірки роботи як окремих компонентів, так і пристрою в цілому.

2.6 Аналіз роботи системи на основі осцилограми

Досліджуваний пристрій є системою моніторингу температури, в якій значення температури відповідають сигналам, представленим на осцилограмі на рисунку 2.10.

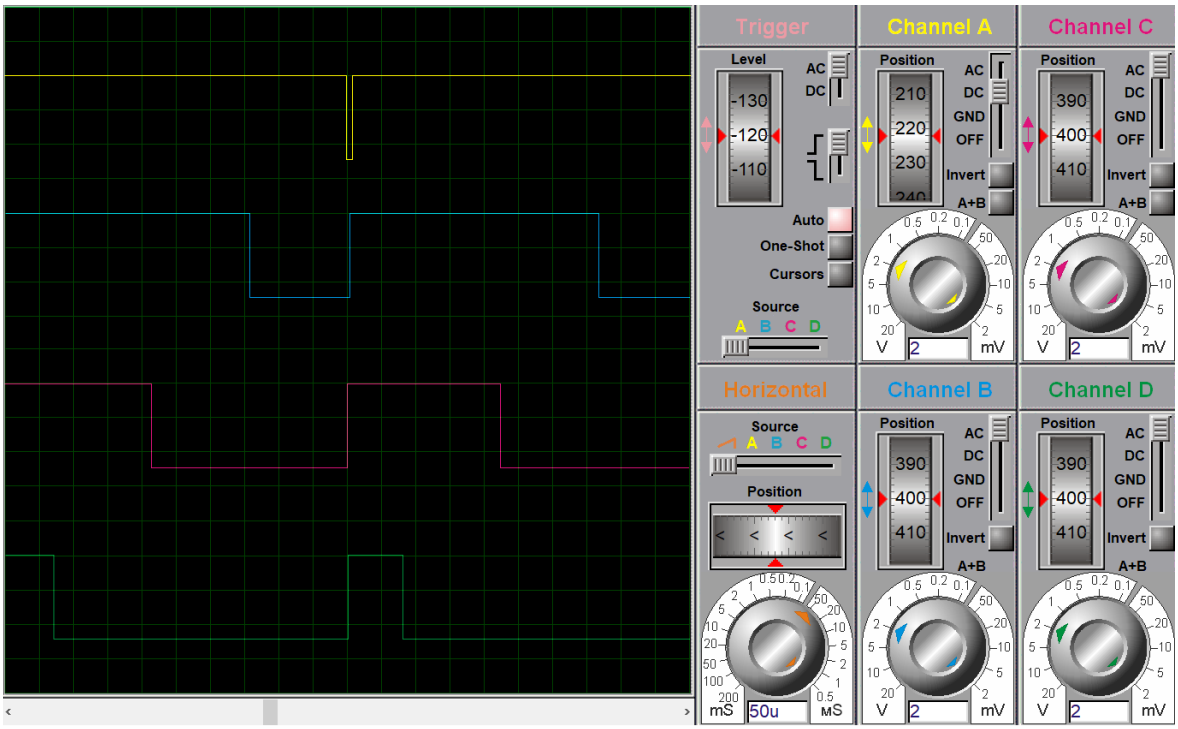


Рисунок 2.10 – Осцилограма сигналів при різній температурі

Кольори сигналів відповідають конкретним температурним показникам: зелений — 30 °C, рожевий — 45 °C, синій — 60 °C, жовтий — 75 °C. Осцилограма демонструє реакцію пристрою на різні температурні режими, що дозволяє оцінити його функціональність і відповідність очікуваним параметрам.

Жовтий сигнал на осцилограмі, який відповідає температурі 75 °C, має найбільшу амплітуду. Це може свідчити про досягнення системою критичного температурного порогу. Така реакція є показником, що пристрій здатний сигналізувати про небезпечний стан, коли температура перевищує допустимі межі. Цей сигнал, ймовірно, викликає певні захисні дії, наприклад, активацію аварійної системи охолодження, звукової чи світлової сигналізації, або інші заходи, передбачені алгоритмом роботи.

Синій сигнал, що відповідає температурі 60 °C, є індикатором підвищеної температури, яка, хоча і не досягає критичного значення, може потребувати уваги оператора чи виконання проміжних дій. Він може бути інтегрований у логіку роботи пристрою як попередження, що дозволяє реагувати на зміну умов до настання аварійного стану.

Рожевий і зелений сигнали, які відповідають температурам 30 °C і 45 °C відповідно, може вказувати на те, що ці температури знаходяться у межах нормального робочого діапазону пристрою, при якому не потрібна активація додаткових функцій системи. Вони можуть використовуватися як референсні точки для моніторингу стабільності роботи системи.

Аналіз осцилограми дозволяє зробити висновок, що система працює на основі порогового принципу. Це означає, що на кожному з визначених температурних рівнів пристрій генерує відповідний сигнал, який далі може бути використаний для активації певних дій або відображення на інтерфейсі користувача. Імпульси на осцилограмі є показником того, що система реагує на зміну температури, видаючи прямокутні сигнали, які можуть відповідати активації охолоджувальних пристроїв, тривожних систем або запису даних до пам'яті для подальшого аналізу.

Крім того, осцилограма демонструє зміну інтенсивності сигналів залежно від часу, що може вказувати на динамічну адаптацію пристрою до умов роботи. Наприклад, при досягненні порогу в 45 °C система може перейти в режим підвищеної чутливості, а при 60 °C — активувати додаткові захисні функції. При 75 °C система, ймовірно, працює в аварійному режимі, що забезпечує безпеку обладнання та навколишнього середовища.

У підсумку, осцилограма підтверджує правильну роботу системи моніторингу температури, демонструючи її здатність реагувати на зміну температурних умов у реальному часі. Така функціональність є важливою для забезпечення безпечної експлуатації пристроїв у критичних середовищах, де стабільний температурний контроль є обов’язковою умовою. Це дослідження показує, що пристрій здатний своєчасно сигналізувати про зміну температури, а також вжити необхідних заходів для підтримання стабільного функціонування системи.

2.7 Індикатор HD44780

Результати вимірювання відображаються на індикаторі HD44780 зображеному на рисунку 2.11.

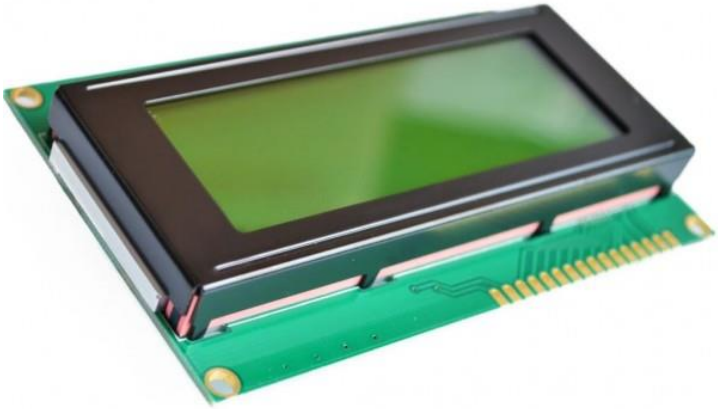


Рисунок 2.11 – Індикатор HD44780

HD44780 – це контролер і драйвер рідкокристалічного (LCD) дисплея з матричними точками, який відображає алфавітно-цифрові символи, японські кана-символи та інші знаки. Він може бути налаштований для керування рідкокристалічним дисплеєм з матричними точками під контролем 4- або 8-бітного мікропроцесора. Оскільки всі необхідні функції, такі як RAM пам'ять для дисплея, генератор символів і драйвер рідкокристалічного дисплея, інтегровані на одному чипі, цей контролер/драйвер може бути використаний у мінімальній системі.

Один HD44780 може відображати до одного рядка по 8 символів або два рядки по 8 символів. HD44780 має сумісність за функціями з HD44780S, що дозволяє користувачеві легко замінити LCD-II на HD44780. Генератор символів HD44780 розширений і підтримує до 208 шрифтів символів 5×8 точок

і 32 шрифти символів 5×10 точок, загалом надаючи 240 різних символів.

Низька напруга живлення (2,7 В до 5,5 В) робить HD44780 придатним для портативних пристроїв з живленням від батарей, що потребують низького енергоспоживання.

Технічні характеристики наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики індикатора HD44780

Характеристика	Опис
Тип матриці точок	Підтримка 5 × 8 та 5 × 10 точок
Напруга живлення (VCC)	2,7 – 5,5 В
Напруга для керування LCD	3,0 – 11 В
Швидкість інтерфейсу	До 2 МГц (при VCC = 5 В)
Інтерфейс	4-бітний або 8-бітний інтерфейс з MPU
Драйвер LCD	16 загальних і 40 сегментів для керування дисплеєм
Ініціалізація	Автоматичний скидання після ввімкнення живлення
Вбудований тактовий генератор	Використання зовнішніх резисторів для налаштування частоти
Енергоспоживання	Низьке, підходить для портативних пристроїв з живленням від батарей

Підключення індикатору HD44780 в програмі для моделювання Proteus зображено на рисунку 2.11

В якості аналогу індикатора HD44780 був використаний рідкокристалічний індикатор LM020L, який підключено до мікроконтролера ATtiny2313 з використанням 4-бітного режиму передачі даних, що дозволяє зменшити кількість задіяних виводів. Лінії живлення індикатора підключені наступним чином: пін VDD отримує напругу +5 В, а пін VSS підключений до землі (GND). Лінії керування індикатором — RS (вибір регістра) та E (дозвіл передачі даних) підключені відповідно до виводів PB3 та PB2 мікроконтролера, тоді як пін RW (режим читання/запису) заземлений, оскільки індикатор працює виключно в режимі запису.

Для передачі даних використовуються лише старші чотири біти шини даних індикатора (D4–D7), які підключені до портів PB4–PB7 мікроконтролера.

Молодші біти (D0–D3) залишаються незадіяними. Контрастність дисплея регулюється за допомогою потенціометра RV1 номіналом 1 кОм. Крайні виводи потенціометра підключені до +5 В і GND, а середній вивід (регулятор) підключено до піну VEE індикатора. Налаштування положення потенціометра дозволяє змінювати контрастність зображення, забезпечуючи оптимальну видимість символів на екрані. Таким чином, реалізоване підключення забезпечує коректну роботу індикатора, ефективне керування ним та зручність використання системи.

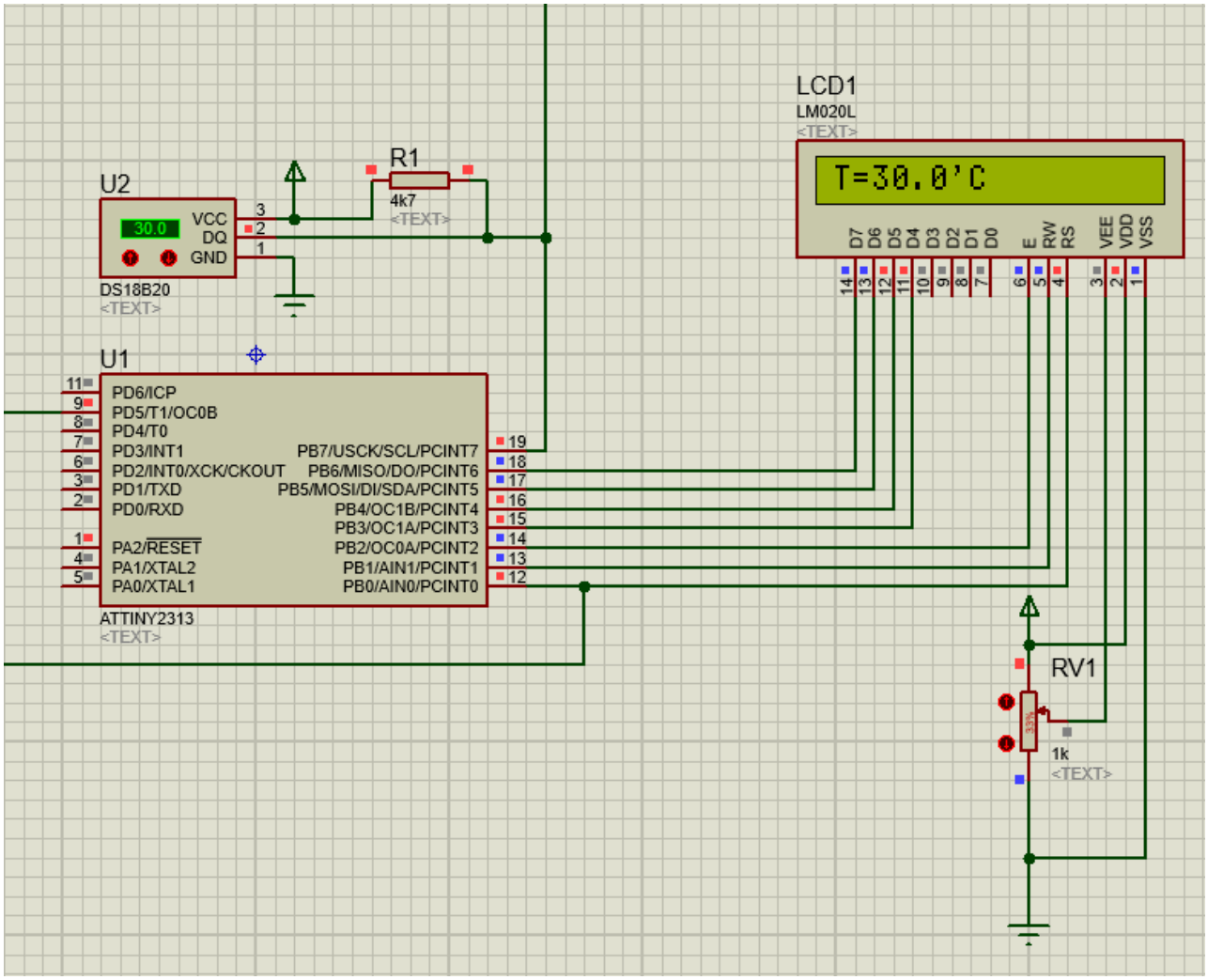


Рисунок 2.11 – Підключення індикатору HD44780

2.8 Опис та підключення кулера до схеми

В якості кулера буде використовуватись Noctua NF-A4x20 PWM (Рис.2.12) – це високоякісний компактний кулер розміром 40x40 мм із підтримкою ШІМ-керування, що забезпечує оптимальне охолодження в умовах обмеженого простору. Він широко використовується в охолодженні електроніки і серверів, завдяки своїй надійності, низькому рівню шуму та ефективності.



Рисунок 2.12 – Кулер Noctua NF-A4x20 PWM

Характеристики:

- Робоча напруга: 12 В.
- Споживаний струм: близько 150 мА.
- Розміри: 40 мм × 40 мм × 20 мм.
- Тип підключення: 4-піновий роз'єм (PWM, TACH, VCC, GND)
- Рівень шуму: 14.9–22.5 дБ (залежно від швидкості)

Особливості роботи кулера

ШІМ-керування (PWM): ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) дозволяє змінювати швидкість обертання вентилятора шляхом регулювання тривалості імпульсів сигналу.

Частота ШІМ-сигналу зазвичай становить 25 кГц, що відповідає стандартам для вентиляторів з 4-піновими роз'ємами.

Робочий цикл сигналу (duty cycle) змінюється від 0% (зупинка) до 100% (максимальна швидкість).

При низьких температурах мікроконтролер зменшує тривалість імпульсів, і вентилятор працює повільніше, знижуючи шум і енергоспоживання.

При підвищенні температури мікроконтролер збільшує робочий цикл сигналу, і вентилятор плавно прискорюється до максимальних обертів.

Тахометричний вихід (TACH): Цей вихід дозволяє вимірювати реальну швидкість обертання кулера, забезпечуючи зворотний зв’язок для точного регулювання.

ШІМ-сигнал генерується мікроконтролером ATtiny2313 і передається на четвертий пін кулера (PWM). Цей сигнал має наступні параметри:

Частота: 25 кГц – стандартна для вентиляторів із підтримкою PWM.

Робочий цикл (Duty Cycle):

0% – вентилятор вимкнений при температурі від 0°C до 30°C.

25% – вентилятор працює на мінімальних обертах (~1050 об/хв) при температурі від 30°C.

50% – середня швидкість (~3000 об/хв) при температурі від 45°C.

75% – висока швидкість (~4000 об/хв) при температурі від 60°C.

100% – максимальна швидкість (~5000 об/хв) при температурі від 75°C та вище.

Залежно від температури, мікроконтролер коригує робочий цикл, що дозволяє гнучко змінювати швидкість вентилятора. Це підвищує енергоефективність системи та подовжує ресурс кулера.

Для керування кулером у схемі використовується транзистор 2N1711, який виконує роль електронного ключа. Це біполярний транзистор NPN типу, який

дозволяє вмикати або регулювати швидкість вентилятора за допомогою ШІМ-сигналу, що генерується мікроконтролером (ATtiny2313). Вибір транзистора зумовлений його технічними характеристиками. Цей транзистор підтримує максимальний струм колектора до 500 мА, що дозволяє йому ефективно керувати навантаженнями, такими як кулер. Максимальна напруга колектор-емітер (Vce) становить 50 В, що є достатнім для роботи в системах із живленням 12 В, забезпечуючи надійну роботу. Крім того, коефіцієнт підсилення струму в межах 20–100 дозволяє керувати транзистором невеликим струмом бази, що є ідеальним для вихідних сигналів мікроконтролера.

На рисунку 2.13 зображена схема підключення кулера до мікроконтролера ATtiny2313 через транзистор 2N1711. Транзистор працює як ключ для управління живленням кулера. Вихідна напруга на відповідному піні мікроконтролера подається через резистор (R2 = 1 кОм) на базу транзистора, відкриваючи його та вмикаючи кулер. Для відкривання транзистора напруга між базою та емітером (Vbe) повинна бути в межах 0.6–0.7 В. Живлення кулера забезпечується від батареї 12 В (BAT1), що підключена до колектора транзистора. З'єднання через емітер завершується на загальну землю (GND).

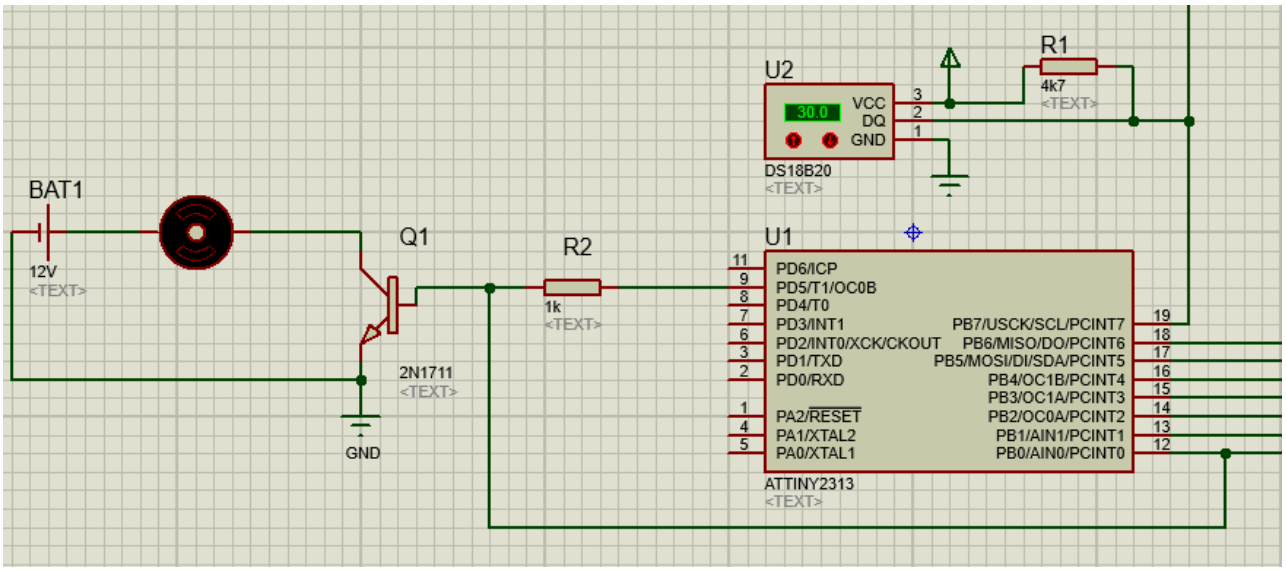


Рисунок 2.13 – Схема підключення кулера до мікроконтролера ATtiny2313

2.9 Розробка схеми пристрою контролю нагріву електронних компонентів

Представлена схема є інтегрованою системою моніторингу та контролю температури, яка поєднує в собі датчик температури DS18B20, мікроконтролер ATtiny2313, вбудований компаратор, індикатор HD44780, і допоміжні елементи, такі як транзистор 2N1711 та джерело живлення. Метою цієї системи є вимірювання температури, її відображення на рідкокристалічному дисплеї, а також активація зовнішнього пристрою, наприклад, вентилятора, у разі досягнення встановлених порогових значень.

Основним елементом вимірювання температури є цифровий датчик DS18B20 (позначений як U2). Він зчитує температуру навколишнього середовища і передає її цифровий сигнал мікроконтролеру (U1), використовуючи інтерфейс 1-Wire. Мікроконтролер ATtiny2313 обробляє отриманий сигнал, визначає його відповідність встановленим пороговим значенням і управляє відображенням даних на індикаторі (LCD1). Індикатор забезпечує виведення поточного значення температури, що робить систему зручною для візуального контролю.

У даній схемі транзистор 2N1711 (Q1) виконує роль комутатора: коли його база отримує сигнал з виходу компаратора через резистор R2 (1 кОм), транзистор переходить у стан насичення і замикає коло живлення вентилятора, підключеного до джерела живлення 12 В (BAT1).

Резистор R1 (4,7 кОм) використовується як підтягувальний для виходу сигналу DS18B20, забезпечуючи коректну передачу даних. Регулювальний резистор RV1 (1 кОм), підключений до дисплея, дозволяє налаштовувати контрастність відображення.

Джерело живлення системи забезпечує стабільну роботу всіх компонентів. Умовно, система працює у двох режимах: нормального функціонування, коли температура нижча за критичну, і аварійного, коли температура перевищує встановлений поріг. У нормальному режимі дисплей відображає температуру, і

транзистор залишається у вимкненому стані. В аварійному режимі активується вентилятор або інший пристрій охолодження.

Повністю зібрана схема пристрою контролю нагріву електронних компонентів зображена на рисунку 2.14

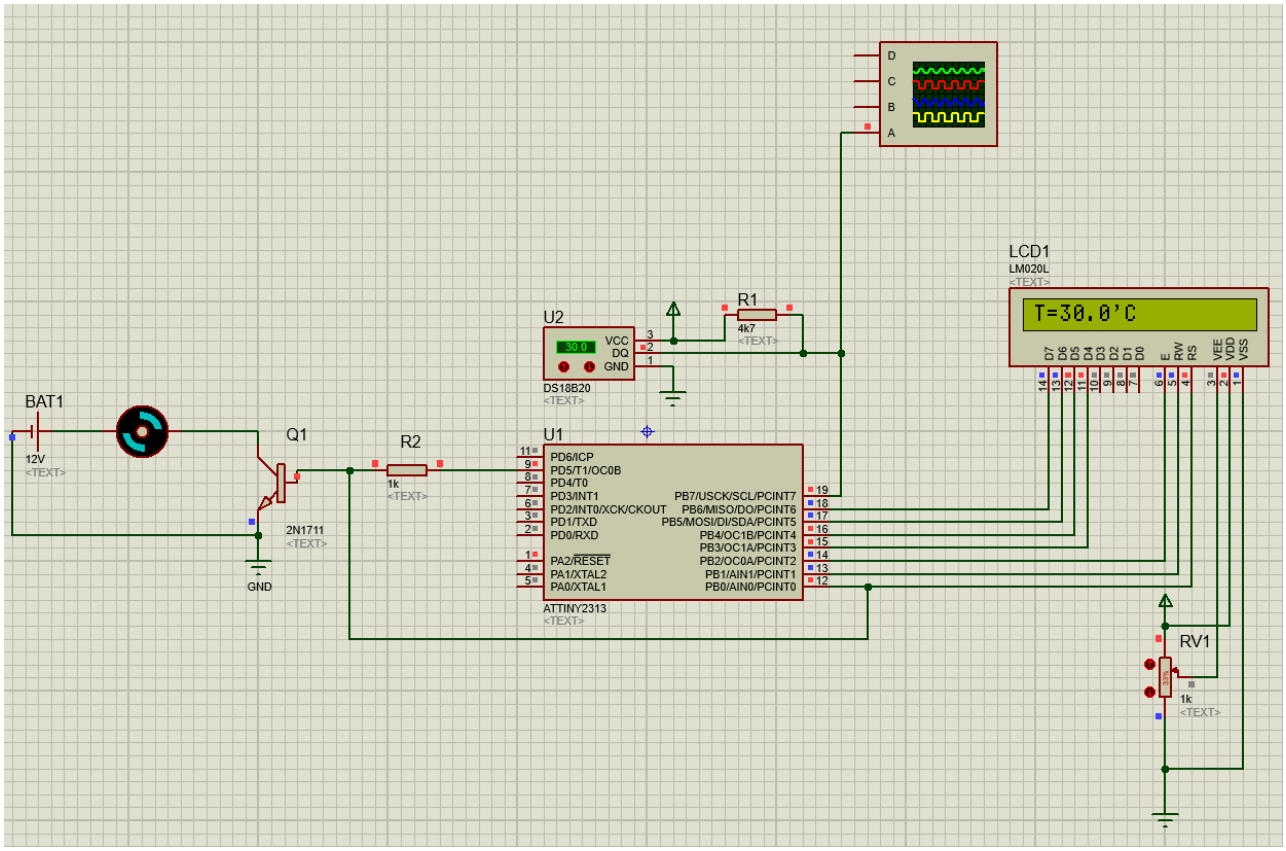


Рисунок 2.14 – Схема пристрою контролю нагріву електронних компонентів

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1 Дослідження різних видів датчиків за критеріями

Вибір оптимального датчику температури для пристрою контролю нагріву електронних компонентів, найбільшою мірою залежить від вибору задач, які він має виконувати.

Порівняємо ці умови за наступними критеріями:

- за діапазоном вимірювання температури
- габаритними розмірами.

При створенні цього приладу важливо дотримуватися певних вимог, що дозволяють більш продуктивно працювати над його розробкою:

- простота керування;
- невисока вартість.

При проєктування системи доводиться дотримуватись балансу між розмірами і вартістю з одного боку та гнучкістю і продуктивністю з іншого.

Для різних додатків оптимальне співвідношення цих та інших параметрів може відрізнятись дуже сильно. Тому існує великий вибір типів датчиків, що відрізняються параметрами, габаритами, ціною ін..

Проаналізуємо чотири варіанти датчиків (табл.3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл.3.2).

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти вибору датчика

Датчик		Тип інтерфейса
A	DS18B20	1-Wire
B	DHT22 (AM2302)	1-Wire
	SHT31	I2C
D	MAX31850	1-Wire

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні значення

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (таблиця 3.3),

У матриці прийняті наступні позначення:

i – номер критерію;

при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3) i = 1, 2, 3, 4, 5, 6;

X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага і- критерію в глобальному критерії:

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\Pi_{i=1}^{6}\omega_i}}{\sum\sqrt[6]{\Pi_{i=1}^{6}\omega_i}}, \sum - \text{сума по стовпці } \sqrt[6]{\Pi_{i=1}^{6}\omega_i}$$

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\Pi_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
1. Габарітні розміри	1	3	5	7	1/3	3	2,172	0,93
2. Швидкодія	1/3	1	3	5	1/5	3	1	0,67
3. Точність вимірювання	1/5	1/3	1	3	1/7	5	0,723	0,52
4. Вартість	1/7	1/5	1/3	1	1/9	7	0,530	0,42
5.Діапазон вимірювання	3	5	7	9	1	1/5	2,395	1,95
6. Тип інтерфейсу	1/3	1/3	1/5	1/7	5	1	0,501	0,48
Σ								4,97

Порівняння проводимо так: відносна вага кожного критерію самого до себе дорівнює 1. Почнемо, наприклад, з критерію «габарітні розміри»: відносно критерію «вартість» він має значну перевагу (за табл.2 оцінка – 7), тоді в 4-й строці, 1-му стовпчику ставимо 7, а в 1-й строці, 4-му стовпчику ставимо 1/7;

- відносно критерію «швидкодія» він має помірну перевагу (за табл.2 оцінка – 3), тоді в 4-й строці, 2-му стовпчику ставимо 3, а в 2-й строці, 4-му стовпчику ставимо 1/3;

- відносно критерію «точність вимірювання» він має сильну перевагу (за табл.2 оцінка – 5), тоді в 4-й строці, 3-му стовпчику ставимо 5, а в 3-й строці, 4-му стовпчику ставимо 1/5; і т. д. порівнюємо цей критерій з іншими.

Так само порівнючи кожний критерій з іншими, заповнюємо таблицю 3.

Далі в кожній строчці перемножуємо усі 6 значень і беремо з цього добутку корінь 6-го ступеню – так заповнюємо стовпчик $\sqrt[6]{\Pi_{i=1}^{6}\omega_i}$; знаходимо суму по цьому стовпчику $\sum$, знаходимо

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\Pi_{i=1}^{6}\omega_i}}{\sum\sqrt[6]{\Pi_{i=1}^{6}\omega_i}}$$

для кожної строки і заповнюємо стовпчик X_i.

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (таблиці 4, 5, 6, 7, 8, 9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію , то і = 1, 2, 3, 4;

$X_i = \frac{\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}}{\sum\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}}$; $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «габаритні розміри»

Датчик	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}$.	X_i
A	1	3	5	7	3,20	0,57
B	1/3	1	3	5	1,49	0,29
C	1/5	1/3	1	3	0,66	0,17
D	1/7	1/5	1/3	1	0,31	0,08
Σ					5,66	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Датчик	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}$.	X_i
A	1	5	7	9	4,21	0,57
B	1/5	1	3	5	1,31	0,27
C	1/7	1/3	1	3	0,61	0,15
D	1/9	1/5	1/3	1	0,29	0,08
Σ					6,42	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «точність вимірювання»

Датчик	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}$.	X_i
A	1	7	9	5	3,72	0,60
B	1/7	1	3	4	1,39	0,25
C	1/9	1/3	1	2	0,63	0,11
D	1/5	1/4	1/2	1	0,30	0,08
Σ					6,04	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Датчик	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}$.	X_i
A	1	1/3	5	7	3,40	0,31
B	3	1	1/5	2	1,62	0,18
C	1/5	1/7	1	3	0,75	0,10
D	1/7	1/2	1/3	1	0,23	0,08
Σ					6	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «діапазон вимірювання»

Датчик	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}$.	X_i
A	1	5	7	9	3,35	0,47
B	1/5	1	1/3	2	1,49	0,11
C	1/7	1/3	1	3	0,57	0,09
D	1/9	1/2	1/5	1	0,34	0,05
Σ					5,75	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «тип інтерфейсу»

Датчик	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\Pi_{i=1}^{4}\omega_i}$.	X_i
A	1	3	5	7	4,09	0,57
B	1/3	1	3	4	1,48	0,24
C	1/5	1/3	1	2	0,57	0,12
D	1/7	1/4	1/2	1	0,28	0,08
Σ					6,42	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний пріоритет
Вага	0,19	0,13	0,10	0,08	0,40	0,10	
DS18B20	0,57	0,57	0,60	0,31	0,47	0,57	0,464
DHT22	0,29	0,27	0,25	0,18	0,11	0,24	0,229
SHT31	0,17	0,15	0,11	0,1	0,09	0,12	0,117
MAX31850	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,08	0,09

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій (табл.3.10) видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта датчика температури DS18B20.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

На ділянці з розробки та дослідження системи адаптивного керування датчиком випромінювання, план якої наведено на рисунку 4.1, основна частина робіт проводилася на персональному комп'ютері (ПК) і стенді з програмова- ними пристроями.

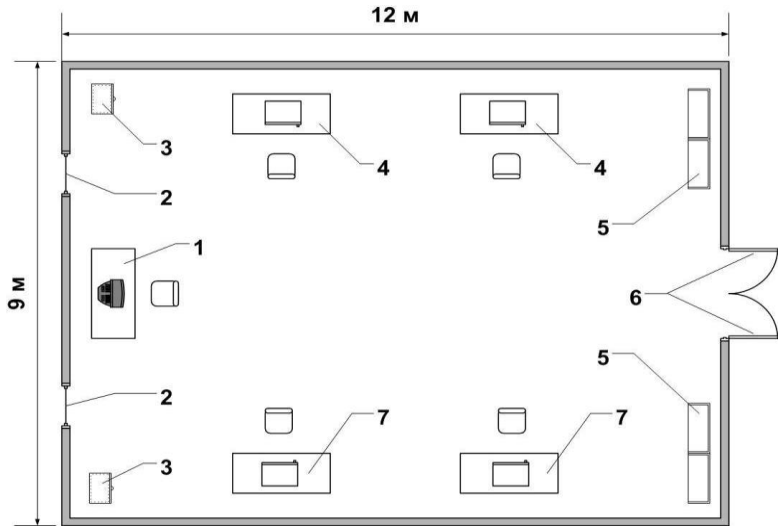


Рисунок 4.1 – План ділянки з розробки та дослідження системи адаптивного керування датчиком випромінювання: 1 – робоче місце оператора ПК; 2 – вікно; 3 – тумба; 4 – робоче місце програміста; 5 – шафа; 6 – двері; 7 – робоче місце з відладки

Всі зазначені види робіт проводились у спеціально відведеному для цього приміщенні. Висота приміщення – 3м. Т.ч., частина об'єму, яка дово-

диться на одну людину, при тому що в лабораторії знаходиться і працює 5 виконавців, складає приблизно 64 м^3. Це відповідає вимогам, згідно яких мінімальний об’єм приміщення при виконанні робіт на ПК повинен становити 20 м^3[11].

Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані комп'ютери, приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані ПК

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата подаваного в приміщення свіжого повітря, м^3 /на одну людину в годину
об’єм до 20 м^3 на людину	не менш 30
об’єм до 40 м^3 на людину	не менш 20
об’єм більш 40 м^3 на людину	природна вентиляція

Сьогодні загальноприйнятою є класифікація небезпечних і шкідливих чинників, які за характерними видами дій, що впливають на організм людини, підрозділяються на фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні.

При проведенні робіт з розробки датчика вимірювання температури виявлена можливість наступних небезпечних та шкідливих факторів на оператора ПК:

- вплив електромагнітних випромінювань відео дисплейних терміналів;

- можливість ураження електричним струмом при експлуатації електричних пристроїв до 1000 В;

- підвищений рівень статичної електрики;

- виникнення зорової втоми при недостатній освітленості на робочому місці;

- несприятливі параметри мікроклімату;

- небезпека виникнення пожеж.

- статичні фізичні перевантаження;

- нервовопсихічні перевантаження: розумова перенапруга; перенапруга аналізаторів.

ПК є джерелами таких випромінювань як: м'якого рентгенівського; ультрафіолетового 200 – 400 нм; видимого 400 – 00 нм; ближнього інфрачервоного 700 – 050 нм; радіочастотного 3 кГц – 30 МГц; електростатичних полів.

При експлуатації монітор ПК випромінює м'яке рентгенівське випромінювання. Небезпека цього виду випромінювання пов'язана з його здатніс-тю вражати поверхневий шкірний покрив. Максимальний рівень рентгенів-ського випромінювання на робочому місці біля ПК зазвичай не перевищує 10 мкбер / год., а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випроміню-вань від екрану монітора знаходиться в межах 10 ... 100 мВт/м^2.

УФ - випромінювання у великих дозах призводить до дерматиту шкіри, головний біль, різі в очах. Інфрачервоне випромінювання призводить до перегріву тканин людини (особливо кришталика ока), підвищення температури тіла.

Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більше 20 кВ/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500В.

У виробничих приміщеннях, в яких робота на ВДТ і ПК є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робочих місцях повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, що діють [11].

Недостатня освітленість робочої зони природним світлом виникає внаслідок недостатньої площі світлових прорізів, їхнього забруднення, а також нераціонального розташування робочого стола щодо джерел природного світла.

При роботі з ПК застосовують клавішний ввід. Робочі цикли при роботі на клавішних апаратах, як правило, багаторазово повторюються. Велике їхнє число за робочу зміну приводить до нервово-м'язового стомлення, що може

бути основним фактором м'язової перенапруги й виникнення професій- них захворювань рук.

Нервова перенапруга обумовлена напругою уваги. Часта й тривала перенапруга може служити джерелом ряду захворювань серцево-судинної, нервової, зорової й іншої систем організму.

Зорова робота вимагає частого перемикання з однієї поверхні на іншу, що відбувається на тлі нерівномірних яскравістей. Особливо несприятливі такі перепади яскравості, які викликають сліпучий ефект. Від сліпучої дії сві- тла спочатку найбільше всього погіршується контрастна чутливість ока, а потім гострота зору. При незадовільному розподілі яскравості в освітленому просторі виникає відчуття зорового дискомфорту. Дискомфортні умови для роботи ока можуть виникнути не тільки в результаті більших яскравістей у полі зору, але й внаслідок недостатньої освітленості поля зору.

ПК, друкуючі пристрої, обладнання для кондиціонування повітря, вентилятори систем охолодження і трансформатори в самих ПК є також джерелами шумів та вібрацій. У лабораторних приміщеннях освітніх установ, де розташовані ПК, рівні шуму та вібрації не повинні перевищувати допустимих значень, установлених діючими санітарно - епідеміологічними нормативами для житлових і громадських будівель. Тривала дія шуму високої інтенсивності (вище 80 дБ) призводить до патологій слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу веде до виробничих помилок.

Рівень шуму на робочому місці, при роботі за комп'ютером, не повинен перевищувати 50 дБ, а при наявності друкуючого пристрою не більш 75 дБ. Вібрація може викликати деякі професійні захворювання, при яких змінюються фізіологічні та психічні функції організму.

Т. ч., у лабораторному приміщенні при дослідницькій роботі на ПК на людину впливають різні виробничі фактори, які в основному негативновпливають на її здоров'я і можуть викликати професійні захворювання [11].

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основним методом захисту від впливу статичної електрики є заземлення периферійного обладнання, а також контроль вологості повітря в приміщенні. У разі відсутності природного освітлення використовується штучне освітлення. Для загального освітлення зазвичай застосовують лампи денного світла, оскільки їх спектр максимально наближений до природного.

Щоб уникнути негативного впливу статичних фізичних перевантажень, робоче місце має бути організоване так, щоб забезпечити комфортні умови роботи. Дисплей слід встановити на такій висоті й під таким кутом, щоб уникнути напруження м’язів шиї, зберігаючи її в природному положенні. Клавіатуру слід розмістити так, щоб до неї не доводилося тягнутися, а руки не перебували в підвішеному стані або перенапруженні. Варто уникати тривалого перебування в одній позі. Щогодини потрібно робити 15-хвилинну перерву для виконання інших завдань або проведення розминки.

Для запобігання перенапруженню органів зору необхідно регулювати яскравість екрану. Параметри яскравості повинні бути налаштовані таким чином, щоб забезпечити комфортний рівень зорового сприйняття. Оптимальним є рівень яскравості, який підтримує контрастну чутливість ока, гостроту зору та швидкість розпізнавання інформації. Нижній межовий рівень комфортної яскравості становить 30 кд/м², тоді як верхня межа визначається граничною сліпучою яскравістю. Яскравість об'єктів на екрані має бути узгоджена із загальним фоном і навколишнім освітленням. Для прямого контрасту яскравість повинна перебувати в межах 75-80%, а для зворотного – 85-90%, із можливістю регулювання.

Важливим є також оптимальне співвідношення яскравостей між екраном, його безпосереднім оточенням та віддаленим фоном, яке має становити 5:2:1. Відстань для комфортного зчитування інформації з монітора має бути не менше 400 мм.

Оскільки монітор є джерелом електромагнітних і електростатичних полів, при їх підвищеному рівні рекомендується обмежувати час роботи за комп'ютером, робити перерви тривалістю 15 хвилин після кожних 1,5 годин роботи, а також використовувати захисні екрани. У робочій зоні не слід розташовувати монітори впритул, а невикористовувані пристрої слід вимикати.

Для зниження шумового впливу приміщення з комп'ютерною технікою бажано оснащувати звукопоглинальними матеріалами для обшивки стін і стелі. Крім того, можна використовувати різні звукопоглинаючі пристрої. Зменшення шуму в джерелах випромінювання можна досягти шляхом застосування м’яких синтетичних килимків або гумових прокладок товщиною 6-8 мм під ніжками столів.

Отже, для забезпечення безпечних умов роботи користувачів, приміщення, де розташовані комп'ютери, повинно відповідати чинним санітарно-епідеміологічним нормам. [12].

4.3 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, де робота за відеотерміналами та персональними комп’ютерами є основною (диспетчерські, операторські, розрахункові кабінети, пости управління, зали обчислювальної техніки тощо), повинні бути забезпечені оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 4.2.

Як зазначено в таблиці 4.2, до категорії 1а належать роботи, які виконуються сидячи та не потребують значного фізичного навантаження, з витратою енергії до 120 ккал/год. До категорії 1б відносяться роботи, що виконуються в положенні сидячи, стоячи або пов’язані з ходьбою, супроводжуються певним фізичним навантаженням, при якому витрата енергії становить від 120 до 150 ккал/год.

Таблиця 4.2 - Рекомендовані параметри мікроклімату для приміщень із відеотерміналами та ПК

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більш)	Відносна вологість повітря %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1

Таким чином, лабораторія, призначена для розробки та дослідження датчика тонів Короткова, належить до категорії 1а. При цьому рівні позитивних і негативних аероіонів у повітрі лабораторії мають відповідати встановленим нормам, зазначеним у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Допустимі рівні іонізації повітря у приміщеннях під час роботи з відеотерміналами та персональними комп'ютерами

Рівні	Кількість іонів в 1 $см^3$ повітря	
	n^+	n^-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Під час виконання робіт із розробки та дослідження датчика тонів Короткова необхідно забезпечити належну чистоту повітря та підтримання встановлених метеорологічних умов у виробничих приміщеннях, що досягається за допомогою вентиляційних систем. Вентиляція забезпечує видалення забрудненого чи нагрітого повітря з приміщення та подачу свіжого повітря.

У лабораторії застосовується механічна припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція, при цьому притік повітря має становити 95% від обсягу витяжки. Решта 5% повітря надходить із сусідніх, чистіших приміщень.

Рівень шуму на робочому місці під час виконання завдань із розробки та тестування датчика тонів Короткова не повинен перевищувати 50 дБ.

Освітленість робочої зони, зокрема поверхні столу, де розташовані документи, має складати 400 лк. Слід мінімізувати пряму блискучість від джерел світла. Яскравість освітлюваних поверхонь, таких як вікна чи світильники, у полі зору не повинна перевищувати 200 кд/м².

Відбиту блискучість на робочих поверхнях, таких як екран, стіл чи клавіатура, необхідно знижувати завдяки правильному розташуванню світильників та вибору оптимального положення робочого місця щодо джерел природного й штучного освітлення. Яскравість відблисків на моніторах не повинна перевищувати 40 кд/м², а яскравість стелі, за наявності системи відбитого світла, має бути не більше 200 кд/м².

Індекс засліплення для загальних джерел штучного освітлення в лабораторії не повинен перевищувати 40. Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50 до 90 градусів по вертикалі має бути не більше 200 кд/м², а захисний кут світильників – не менше 40 градусів.

Світильники для локального освітлення повинні бути обладнані непрозорими відбивачами із захисним кутом не менше 40 градусів. Коефіцієнт пульсації світла не має перевищувати 5%, що досягається застосуванням газорозрядних ламп у світильниках загального та локального освітлення, оснащених високочастотними пускорегулюючими пристроями.

У лабораторії джерелами шуму є елементи комп'ютерної техніки. Нормативний рівень шуму для роботи операторів ПК становить 50 дБ, і в досліджуваній лабораторії цей показник не перевищує встановлених норм.

4.4 Електробезпека

На підставі ППЕ-87 дане приміщення за ступенем небезпеки поразки електричним струмом відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки електричним струмом, так як умови, що створюють підвищену небезпеку поразки електричним струмом (вологість,

струмоведучий пил, висока температура, можливість одночасного торкання до струмоведучих частин і заземлення) відсутні .

Джерелами електронебезпеки в приміщенні лабораторії є: електропроводка; розетки і вилки для підключення ПК до електричної мережі; ПК і програматори; вимикачі освітлення; освітлювальні прилади.

Струми статичної електрики, які виникають в процесі роботи комп'ютера на корпусах монітора, системного блоку і клавіатури, можуть призводи- ти до розрядів при дотику до цих елементів. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але можуть призвести до виходу з ладу комп'ютера. Для зниження величин струмів статичної електрики використовуються нейтралізатори, місцеве і загальне зволоження повітря, використання покриття підлог з антистатичним просоченням.

Так як, у лабораторному приміщенні для дослідницької роботи, окрім ПК, розташована велика кількість електричного обладнання то його слід віднести до групи приміщень з підвищеною небезпекою [13].

Поразка електричним струмом може відбутися в результаті несправних розеток і вилок ПК, а також пристроїв місцевого освітлення, короткого замикання.

Для захисту від електротравм у приміщенні слід використовувати сховану, добре ізольовану електропроводку. Розподіл енергії здійснюється за допомогою розподільного щита з ізольованими кабелями і розетками, що виключають можливість короткого замикання. Розподільний щит має запобіжники, що спрацьовують при критичному режимі роботи. Персонал, що обслуговує ПК, зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робо- чому місці і перевірку знань правил техніки безпеки.

ГОСТ 12.1.038-82 установлює гранично припустимі рівні напруг дотику (В), і струмів (мА), що протікають через тіло людини, призначені для проєктування способів і засобів захисту людей при взаємодії з електроустановками виробничого і побутового призначення постійного і змінного струму частотою 50 і 400 Гц.

4.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково має бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і вказує місця розташування пожежної техніки.

Евакуація із лабораторного приміщення, у разі надзвичайної ситуації, проводиться способом, який передбачає організоване виведення людей із приміщення через усі можливі виходи пішим ходом по заздалегідь розроблених маршрутах. У лабораторному приміщенні має бути присутній план евакуації та закріплена відповідальна особа за пожежну безпеку. Горючими компонентами у лабораторному приміщенні з ПК є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, перфокарти і перфострічки, ізоляція кабелів і ін. Джерелами запалювання у лабораторному приміщенні можуть бути електричні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються

сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції.

Для відводу надлишкової теплоти від ПК служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості лабораторних приміщень встановлена категорія пожежної небезпеки В [14].

Висновки та рекомендації

У ході виконання роботи було проведено детальне вивчення існуючих методів температурного моніторингу, що дозволило вибрати оптимальний підхід для створення пристрою, який базується на принципі напівпровідникового вимірювання. Датчик DS18B20 забезпечує високу точність вимірювань, простоту інтеграції з мікроконтролерам через протокол 1-Wire, а також дозволяє передавати дані без додаткової обробки.

Визначено критичну температурну межу для основних типів компонентів, яка становить 75°C, після якої їх характеристики можуть погіршуватися, а робота ставати нестабільною. Це дозволило встановити допустимі температурні режими, за яких забезпечується надійна робота системи, і реалізувати механізми захисту, такі як активація охолодження.

Функціональна схема включає блок джерела живлення, мікроконтролер, датчик температури, індикатор, компаратор та кулер. Контроль температури системи забезпечується управлінням роботою кулера, який вмикається при 30°C на 25 %, при 45°C на 50%, при 60°C на 75% та при 75°C на 100%. Таким чином, швидкість обертання кулера автоматично регулюється відповідно до температури для ефективного охолодження, а також енергозбереження при низьких температурах.

Обрано мікроконтролер ATtiny2313, який забезпечує ефективне ШІМ-керування кулером завдяки апаратній підтримці ШІМ, достатній кількості портів вводу/виводу, підтримці протоколу OneWire для роботи з датчиком DS18B20, 2 КБ флеш-пам’яті для коду і низьку вартість.

Розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера у середовищі Microchip Studio, що забезпечує реалізацію алгоритму роботи пристрою.

Схему було перевірено в програмному середовищі Proteus, що дозволило підтвердити її працездатність та відповідність заданим вимогам.

Розроблений пристрій здатний ефективно контролювати температуру електронних компонентів, забезпечуючи їхню надійну та безпечну роботу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів : навчальний посібник. Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. 90 с.

2. Бурштинський М.В., Хай М.В. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги. Підручник. Львів : ТзОВ „Простір М", 2013. 602 с.

3. DipTrace. Посібник користувача. Novarm Ltd, 2016. 25 с.

4. Adams T. M. Introductory MEMS: Fabrication and Applications, 2010. 444 с.

5. Beeby S., Ensell G., Kraft M., White N. MEMS Mechanical Sensors. Artech House, 2004. 281 с.

6. Резнев А. А., Вернер В. Д.. Тенденції розвитку МЕМС. Аміант, 2010. 572 с.

7. Паначевний Б.І. Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка : навч. посіб. Київ : Каравела, 2009. 296 с

8. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електротехніка та мікросхемотехніка : теорія і практикум: навч. посіб. Київ : Каравела, 2004. 432 с.

9. Сіроткін С. В., Коломієць А. М. Методи вимірювання температури: основи теорії, практичне застосування та перспективи розвитку. – Київ: Наукова думка, 2020. – 284 с.

10. Павленко В. І., Кучеренко О. С. Основи розробки пристроїв контролю нагріву електронних компонентів. – Харків: Технічна книга, 2018. – 312 с.

11. Правила експлуатації електрозахисних засобів: НПАОП 40.1-1.07-01. Мінсоцполітики України, 2001. 30 с.

12. Громадський Ю.С., Шелудько Б.І., Розинський Д.Й. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Мінбуд України, 2006. 30 с.

13. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05 березня 2015 р. за № 252/26697. С. 18-20

14. В.М. Москальова. Охорона праці. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП , 2009. 150 с.

ДОДАТОК А

Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	Резистори		
R1	ОМЛТ-0,125-4,7 кОм ±5%	1	
R2	ОМЛТ-0,125-1 кОм ±5%	1	
RV1	ОМЛТ-0,125-1 кОм ±5%	1	Змінний
	Транзистори		
VT1	2N1711	1	
	Мікросхеми		
IC1	ATTINY2313	1	
IC2	DS18B20	1	
IC3	Noctua NF-A4x20 PWM	1	
	Дисплей		
HG1	HD44780	1	

Зм.	Лист	№докум.	Підпис	Дата	ІНКІ 8.1763 КР			
						Літ	Маса	Масштаб
Розроб.		Корнієнко М.Ю.			Перелік елементів схеми			
Керівник		Ніконова А.О.				Лист 1	Листів 1	
Консульт.		Ніконова А.О.						
Н.контрол.		Верьовкін Л.Л.				ІНКІ 8.1763 КР		
Затвердив		Критська Т.В.						

ДОДАТОК Б

«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Науково-дослідна частина
Наукове товариство
студентів, аспірантів і докторантів
Рада молодих вчених

РАДА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ЗНУ

НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ЗНУ

ЗБІРНИК
наукових праць студентів,
здобувачів PhD, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2024»

Том V

«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету»

Запоріжжя
2024

Корнієнко Максим
магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні
Наук. кер.: канд. тех. наук, доц. Ніконова А.О.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

На ранніх стадіях проектування електронної апаратури (РЕА) дуже важливим є ухвалення правильних конструктивних рішень, що забезпечують нормальні теплові режими. Необхідно це насамперед для того, щоб уникнути надалі суттєвих переробок виробів та наблизитися до оптимальних рішень.

Метою цієї роботи є дослідження методів визначення теплових режимів на ранніх стадіях проектування РЕА при використанні стандартних конструкцій, що дозволяє забезпечити заданий тепловий режим в умовах обмеженості вихідних даних та розробка приладу вимірювання температури електронних компонентів.

Тепловий режим електронних компонентів є ключовим фактором для їхньої ефективності. Більшість фізичних процесів, пов'язаних з виникненням відмов, залежать від температури. Ці процеси є термічно активованими, тобто вони відбуваються лише при певних температурних умовах і стають більш інтенсивними при збільшенні температури компонента.

Тепловізійний метод дозволяє аналізувати поведінку друкованих плат та їх компонентів при будь-яких умовах роботи, включаючи динамічні процеси, що відбуваються з ними. Це допомагає правильно розташовувати та складати компоненти, виявляти дефекти монтажу та проблеми в роботі елементів управління РЕА. Використання термографії для моніторингу нестаціонарних теплових полів дозволяє досліджувати перехідні теплові процеси, що виникають при включенні та вимкненні електронної апаратури, а також при зміні режимів роботи [1].

Термографія дозволяє виявляти різноманітні дефекти компонентів друкованих плат, які часто зустрічаються, такі як невдале розташування елементів на платі, пробої конденсаторів (особливо в інтегральних схемах), інші проблеми з навісними елементами, неправильне підключення елементів у схемі, неякісний монтаж, дефекти друкованої плати (наприклад, низька якість металізації або розшарування), проблеми з p-n переходами у напівпровідникових елементах, неоднорідність складу вихідного матеріалу, тріщини, газові бульбашки між кристалом та основою, а також дефекти в системах тепловідведення і дифузійного зварювання.

На рис. 1 для найбільш поширеного повітряного охолодження РЕА показана блок-схема визначення теплового режиму [2].

Така реалізація моделі стосовно стандартної НК дозволяє:

- вибрати спосіб охолодження: природне повітряне або примусове повітряне;
- врахувати загальні варіанти конструкторської реалізації у стандартній НК обраного способу охолодження;
- отримати загальні рекомендації щодо прийняття рішень щодо вибору характеристик засобів забезпечення теплового режиму, при яких температура тепловиділяючих елементів у стандартної НК не перевищуватиме допустиме значення: орієнтація НК у просторі, конструкція перфорації корпусу НК, конструкція ребра корпусу НК, параметри вентиляторів, теплообмінників, кондиціонерів та їх розміщення у НК.

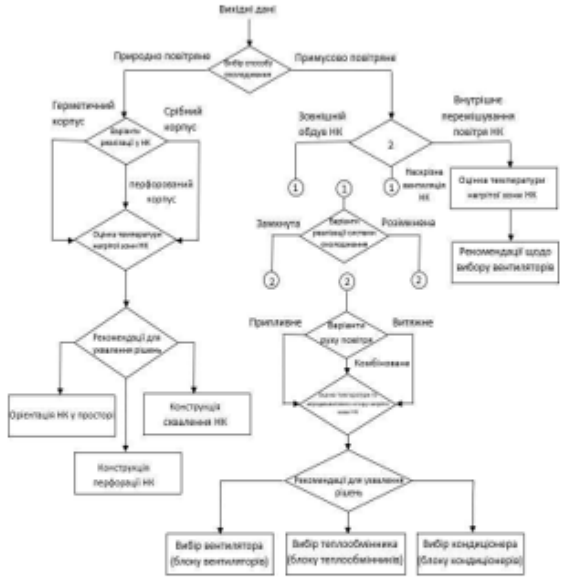


Рисунок 1 – Блок-схема визначення теплового режиму

Для охолодження електронних компонентів використовуються різні методи, такі як вентилятори, теплові трубки, тепловідведення, радіатори та рідинне охолодження. При розробці РЕА важливо правильно обирати метод охолодження залежно від типу компонентів, їхньої потужності та умов експлуатації.

Література

1. Паначевний Б.І. Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка : навч. посіб. Київ : Каравела, 2009. 296 с.
2. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електротехніка та мікросхемотехніка : теорія і практикум: навч. посіб. Київ : Каравела, 2004. 432 с.

ДОДАТОК В

Програмний код управління мікроконтролером системи контролю нагріву електронних компонентів

```
#define F_CPU 8000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include "ds18b20.h"
#include "LCD.h"
// 123.4
// numbers[0] = 123
// numbers[1] = 4
inline void explodeDoubleNumber(int* numbers, double flt) {
	numbers[0] = abs((int) flt);
	numbers[1] = abs((int) ((flt - ((int) flt)) * 10));
}
inline void printTemp(double d) {
	char text[17] = "T=";
	int fs[2];
	char num[5];
	explodeDoubleNumber(fs, d);
	if (d < 0) {
		strcat(text, "-");
	}
	itoa(fs[0], num, 10);
	strcat(text, num);
	strcat(text, ".");
	itoa(fs[1], num, 10);
	strcat(text, num);
	strcat(text, "'C");
	lcdClear();
	lcdGotoXY(0, 0);
	lcdPuts(text);
}
int main(void) {
	_delay_ms(100);
	lcdInit();
	lcdClear();
	lcdSetDisplay(LCD_DISPLAY_ON);
	lcdSetCursor(LCD_CURSOR_OFF);
	while (1) {
		double d = getTempDS18B20();
		printTemp(d);
		_delay_ms(1000);
	}
}
void lcdSendNibble(char byte, char state);
char lcdGetNibble(char state);
char lcdRawGetByte(char state);
void lcdRawSendByte(char byte, char state);
char lcdIsBusy(void);
```

```
void lcdInit(void);
void lcdSetCursor(char cursor);
void lcdSetDisplay(char state);
void lcdClear(void);
void lcdGotoXY(char str, char col);
void lcdDisplayScroll(char pos, char dir);
void lcdPuts(char *str);
void lcdPutsf(char *str);
void lcdPutse(uint8_t *str);
void lcdLoadCharacter(char code, char *pattern);
void lcdLoadCharacterf(char code, char *pattern);
void lcdLoadCharactere(char code, char *pattern);

#endif /* LCD_H_ */
#define F_CPU 11059200UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <avr/eeprom.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include "LCD.h"
 */
void lcdSendNibble(char byte, char state) {
  LCDCONTROLDDR  |= 1 << LCD_RS | 1 << LCD_RW | 1 << LCD_E;
  LCDDATADDR  |= 1 << LCD_D4 | 1 << LCD_D5 | 1 << LCD_D6 | 1 << LCD_D7;
  LCDCONTROLPORT  &= ~(1 << LCD_RW);
  if (state) {
    LCDCONTROLPORT  |= 1 << LCD_RS;
  } else {
    LCDCONTROLPORT  &= ~(1 << LCD_RS);
  }
  LCDCONTROLPORT  |= 1 << LCD_E;
  LCDDATAPORT  &= ~(1 << LCD_D4 | 1 << LCD_D5 | 1 << LCD_D6 | 1 << LCD_D7);
  if (byte & (1 << 3)) {
    LCDDATAPORT  |= 1 << LCD_D7;
  if (byte & (1 << 2)) {
    LCDDATAPORT  |= 1 << LCD_D6;
  }
  if (byte & (1 << 1)) {
    LCDDATAPORT  |= 1 << LCD_D5;
  }
  if (byte & (1 << 0)) {
    LCDDATAPORT  |= 1 << LCD_D4;
  }
  _delay_us(LCD_STROBEDELAY_US);
  LCDCONTROLPORT  &= ~(1 << LCD_E);
}
char lcdGetNibble(char state) {
  char temp = 0;
  LCDCONTROLDDR  |= 1 << LCD_RS | 1 << LCD_RW | 1 << LCD_E;
  LCDCONTROLPORT  |= 1 << LCD_RW;
  if (state) {
    LCDCONTROLPORT  |= (1 << LCD_RS);
  } else {
    LCDCONTROLPORT  &= ~(1 << LCD_RS);
  }
  LCDCONTROLPORT  |= 1 << LCD_E;
  LCDDATADDR  &= ~(1 << LCD_D4 | 1 << LCD_D5 | 1 << LCD_D6 | 1 << LCD_D7);
```

```
  LCDDATAPORT  |= 1 << LCD_D4 | 1 << LCD_D5 | 1 << LCD_D6 | 1 << LCD_D7;
  _delay_us(LCD_STROBEDELAY_US);
  LCDCONTROLPORT  &= ~(1 << LCD_E);
  if (LCDDATAPIN  & (1 << LCD_D7)) {
   temp |= 1 << 3;
  }
  if (LCDDATAPIN  & (1 << LCD_D6)) {
   temp |= 1 << 2;
  }
  if (LCDDATAPIN  & (1 << LCD_D5)) {
   temp |= 1 << 1;
  }
  if (LCDDATAPIN  & (1 << LCD_D4)) {
   temp |= 1 << 0;
  }
  return temp;
}
 */
charlcdRawGetByte(charstate){
  chartemp = 0;

  temp |= lcdGetNibble(state);
  temp = temp << 4;
  temp |= lcdGetNibble(state);
  return temp;
}
void lcdRawSendByte(charbyte, charstate) {
  lcdSendNibble((byte >> 4), state);
  lcdSendNibble(byte, state);
}
 */
charlcdIsBusy(void) {
  /*
    if (lcdRawGetByte(LCD_COMMAND)  & (1<<7))
      return 0xff;
    else
      return 0x00;
   */
  _delay_ms(DELAY);
  return 0x00;
}
void lcdInit(void) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdSendNibble(0b0010, LCD_COMMAND);
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b00101000, LCD_COMMAND);
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b00000001, LCD_COMMAND);
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b00000110, LCD_COMMAND);
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b00001100, LCD_COMMAND);
}

void lcdSetCursor(char cursor) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte((0b00001100 | cursor), LCD_COMMAND);
}
```

```
void lcdSetDisplay(char state) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte((0b00001000 | state), LCD_COMMAND);
}
void lcdClear(void) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b00000001, LCD_COMMAND);
}
void lcdGotoXY(char str, char col) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte((0b10000000 | ((0x40 * str) + col)), LCD_COMMAND);
}
void lcdDisplayScroll(char pos, char dir) {
  while (pos) {
    while (lcdIsBusy());
    lcdRawSendByte((0b00011000 | dir), LCD_COMMAND);
    pos--;
  }
}
void lcdPuts(char *str) {
  while (*str) {
    while (lcdIsBusy());
    lcdRawSendByte(*str++, LCD_DATA);
  }
}

void lcdPutsf(char *str) {
  while (pgm_read_byte(str)) {
    while (lcdIsBusy());
    lcdRawSendByte(pgm_read_byte(str++), LCD_DATA);
  }
}
void lcdPutse(uint8_t *str) {
  while (eeprom_read_byte(str)) {
    while (lcdIsBusy());
    lcdRawSendByte((char) (eeprom_read_byte(str++)), LCD_DATA);
  }
}
void lcdLoadCharacter(char code, char *pattern) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte((code << 3) | 0b01000000, LCD_COMMAND);
  for (char i = 0; i <= 7; i++)  {
    while (lcdIsBusy());
    lcdRawSendByte(*pattern++, LCD_DATA);
  }
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b10000000, LCD_COMMAND);
}
void lcdLoadCharacterf(char code, char *pattern) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte((code << 3) | 0b01000000, LCD_COMMAND);
  for (char i = 0; i <= 7; i++)  {
    while (lcdIsBusy());
    lcdRawSendByte(pgm_read_byte(pattern++), LCD_DATA);
  }
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b10000000, LCD_COMMAND);
}
```

```
void lcdLoadCharactere(char code, char *pattern) {
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte((code << 3) | 0b01000000, LCD_COMMAND);
  for (char i = 0; i <= 7; i++) {
    while (lcdIsBusy());
    lcdRawSendByte(eeprom_read_byte(pattern++), LCD_DATA);
  }
  while (lcdIsBusy());
  lcdRawSendByte(0b10000000, LCD_COMMAND);
}#ifndef DS18B20_H_
#define DS18B20_H_
#include <avr/io.h>
#define DS18B20_PORT PORTB
#define DS18B20_DDR DDRB
#define DS18B20_PIN PINB
#define DS18B20_DQ PB7
#define DS18B20_CMD_CONVERTTEMP 0x44
#define DS18B20_CMD_RSCRATCHPAD 0xbe
#define DS18B20_CMD_WSCRATCHPAD 0x4e
#define DS18B20_CMD_CPYSCRATCHPAD 0x48
#define DS18B20_CMD_RECEEPROM 0xb8
#define DS18B20_CMD_RPWRSUPPLY 0xb4
#define DS18B20_CMD_SEARCHROM 0xf0
#define DS18B20_CMD_READROM 0x33
#define DS18B20_CMD_MATCHROM 0x55
#define DS18B20_CMD_SKIPROM 0xcc
#define DS18B20_CMD_ALARMSEARCH 0xec
#define DS18B20_STOPINTERRUPTONREAD 1
//functions
extern double getTempDS18B20();

#endif
uint8_t resetDS18B20() {
  uint8_t i;
  DS18B20_PORT &= ~(1 << DS18B20_DQ);
  DS18B20_DDR |= (1 << DS18B20_DQ); //
  _delay_us(480);
  _delay_us(60);
  _delay_us(420);
  //return the read value, 0=ok, 1=error
  return i;
}
inline void writeBitDS18B20(uint8_t bit) {
  DS18B20_PORT &= ~(1 << DS18B20_DQ);
  DS18B20_DDR |= (1 << DS18B20_DQ);
  _delay_us(1);
  if (bit) {
    DS18B20_DDR &= ~(1 << DS18B20_DQ);
  }
  _delay_us(60);
  DS18B20_DDR &= ~(1 << DS18B20_DQ);
}
uint8_t readBitDS18B20(void) {
  uint8_t bit = 0;
  DS18B20_PORT &= ~(1 << DS18B20_DQ);
  DS18B20_DDR |= (1 << DS18B20_DQ);
  _delay_us(1);
```

```
  DS18B20_DDR &= ~(1 << DS18B20_DQ);
  _delay_us(14);
  if (DS18B20_PIN & (1 << DS18B20_DQ)) {
    bit = 1;
  }

  _delay_us(45);
  return bit;
}
void writeByteDS18B20(uint8_t byte) {
  uint8_t i = 8;
  while (i--) {
    writeBitDS18B20(byte & 1);
    byte >>= 1;
  }
}
uint8_t readByteDS18B20(void) {
  uint8_t i = 8, n = 0;
  while (i--) {
    n >>= 1;
    n |= (readBitDS18B20() << 7);
  }
  return n;
}
double getTempDS18B20() {
  uint8_t temperatureL;
  uint8_t temperatureH;
  double retd = 0;
  if (DS18B20_STOPINTERRUPTONREAD  == 1) {
    cli();
  }
  resetDS18B20();
  writeByteDS18B20(DS18B20_CMD_SKIPROM);
  writeByteDS18B20(DS18B20_CMD_CONVERTTEMP);
  while (!readBitDS18B20());

  resetDS18B20();
  writeByteDS18B20(DS18B20_CMD_SKIPROM);
  writeByteDS18B20(DS18B20_CMD_RSCRATCHPAD);
  temperatureL = readByteDS18B20();
  temperatureH = readByteDS18B20();
  if (DS18B20_STOPINTERRUPTONREAD  == 1) {
    sei();
  }
  retd = ((temperatureH << 8) + temperatureL) * 0.0625;
  return retd;
}
```