

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

(м. Київ)

Факультет інформаційних технологій та електроніки  
(повне найменування факультету)

Кафедра електронних апаратів  
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальності 171 – Електроніка  
(шифр і назва спеціальності)

на тему Розробка таймеру-терморегулятора температури в приміщенні

Виконав: студент групи Ел-19д

Тарасенко М. О. \_\_\_\_\_  
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник Самойлова Ж.Г. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри Паєранд Ю.Е. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Тюндер І.С. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Київ - 2023



СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

(м. Київ)

Факультет інформаційних технологій та електроніки

Кафедра електронних апаратів

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Спеціальність 171 – Електроніка  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Ю.Е. Паєранд  
“\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

\_\_\_\_\_ Тарасенко Микита Олегович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка таймеру-терморегулятора температури в приміщенні  
*керівник проекту* \_\_\_\_\_ Самойлова Жанна Георгіївна к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “16” 05 2023 року № 21/14.04

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 31.05.2023

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Аналітичний огляд

2) Розробка електричної схеми пристрою

3) Розрахунок вузлів та елементів пристрою

4) Розробка конструкції друкованого вузла

5) Розрахунок надійності пристрою

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

6. Дата видачі завдання 10.02.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд	15.02.23 – 28.02.23	
2	Розробка електричної схеми пристрою	01.03.23 – 15.03.23	
3	Розрахунок вузлів та елементів пристрою	16.03.23 - 15.04.23	
4	Розробка конструкції друкованого вузла	16.04.23 – 30.04.23	
5	Розрахунок надійності пристрою	01.05.23 – 15.05.23	
6	Оформлення і перевірка пояснювальної записки	16.05.23 – 31.05.23	

Студент Тарасенко М.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) Самойлова Ж.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 75 сторінок, 38 рисунків, 13 джерел.

Об'єктом проектування є таймер-терморегулятор температури в приміщенні.

Мета роботи – розробка таймеру-терморегулятора температури в приміщенні.

В процесі роботи проведені розробка структурної та принципової схем, розрахунок схеми блоку живлення, розроблені конструкції друкованої плати та вузлів, проведений розрахунок теплового режиму та надійності таймер-регулятора температури в приміщенні.

ТАЙМЕР-ТЕРМОРЕГУЛЯТОР, ПРИСТРІЙ, МІКРОСХЕМА, ЗМІННИЙ СТРУМ ЧАСТОТА, ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР, ДІОД, КОНДЕНСАТОР, ТРАНЗИСТОР, ДРУКОВАНИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, ТРАСУВАННЯ.

## Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Дослідження теоретичних основ роботи датчиків температури.....	10
1.1 Основні характеристики датчиків температури.....	10
1.2 Принцип роботи .....	17
Розділ 2 Аналіз елементарної бази.....	29
2.1 Аналіз основних елементів пристрою.....	29
Розділ 3 Розробка конструкції пристрою.....	34
3.1 Вибір типу і розмірів друкованої плати.....	34
3.2 Конструктивно-технологічний розрахунок друкованої плати.....	37
3.4 Розрахунок по помтійному струму.....	42
3.5 Розрахунок по змінному струму.....	44
3.6 Розміщення елементів і трасування.....	46
3.7 Аналіз і розрахунок технологічності конструкції.....	48
3.8 Розрахунок надійності елементів друкованої плати з обліком пайки.....	50
Загальні висновки по роботі.....	55
Перелік посилань.....	56

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АВ - аксіальний вивод;

АСУ ТП - автоматизована система керування технологічним процесом;

ДЖ - джерело живлення;

ДП - друкована плата;

ЕОМ - електронно-обчислювальна машина;

ЕРЕ - електрорадіоелемент;

КД - конструкторська документація;

КПМ - компонент поверхневого монтажу;

ОВ - осьовий вивод;

РЕА - радіоелектронна апаратура;

САПР - система автоматизованого проектування;

ТКР - температурний коефіцієнт розширення;

## Вступ

Вимірювання є єдиним способом отримання кількісної інформації про величини, що характеризують конкретні фізичні явища або процеси. Тому розробка нових приладів, машин, механізмів, приладів, а також безпосереднє впровадження складних технологічних процесів у сучасній промисловості пов'язане з необхідністю вимірювання багатьох фізичних величин.

При цьому число вимірюваних механічних, теплових, хімічних або акустичних величин, тобто так званих неелектричних величин, що цікавлять науку і виробництво, багаторазово перевищує всі можливі електричні і магнітні величини.

Таким чином, вимірювання неелектричних величин досягло в даний час високого рівня розвитку і є найбільшою і розвиненою галуззю сучасної вимірювальної техніки, а виробництво засобів вимірювання різних фізичних величин - основну частину приладобудування. промисловість.

Поняття температури виникло з відчуттів людини, а саме того, наскільки нагріваються чи, навпаки, охолоджуються навколишні тіла. І лише завдяки вимогам науки і техніки до кількісного визначення температури було



сформульовано більш точне поняття температури. Згідно з визначенням Максвелла, температура тіла - це його тепловий стан, який розглядається з точки зору його здатності передавати тепло іншим тілам.

З іншого боку, температуру можна визначити як міру тепла тіла або предмета. Перші прилади для вимірювання температури, що з'явилися в XVI столітті, дозволили виділити температуру як особливу фізичну величину, значення якої визначалося залежністю властивостей тіла від температури, тобто скажімо масштабом цієї властивості.

Підвищення ефективності промислових об'єктів пов'язане з удосконаленням як самих технологічних процесів, так і процесів управління ними. Важливим фактором, що ускладнює побудову систем керування, є те, що технологи, які знають, що вимірювати на об'єкті, як правило, не поінформовані про можливості сучасної вимірювальної техніки.

Температура є одним з найважливіших параметрів у лабораторних експериментах і технологічних процесах багатьох виробництв. За оцінками вітчизняних і зарубіжних спеціалістів, технічні вимірювання температури становлять 40-50% від загальної кількості всіх вимірювань. Тому якість контролю температури часто визначає успіх виробничого процесу.

Для короткого огляду методів вимірювання температури необхідно чітко розмежовувати наукові та промислові методи та практичні прийоми. Для вимірювання можна використовувати всі твердих, рідких і газоподібних речовин, які змінюються з температурою, фізичний або хімічний склад тощо.

Багато параметрів об'єктів можна виміряти тільки за допомогою складного і дорогого обладнання або жорсткої стабілізації параметрів середовища, що дуже несприятливо в технічній або науковій діяльності.

Метою дипломної роботи розробка таймеру-терморегулятора температури в приміщенні було створення автоматичного приладу вимірювальних елементів – електронного термометра. Цей термометр можна використовувати в різних температурних режимах від  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## **Розділ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ РОБОТИ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ**

### **1.1 Основні характеристики датчиків температури**

Серед широкого діапазону параметрів вимірювання одним із основних є температура. Її вимірювання необхідне у всіх складних технологічних процесах. Широкий вибір датчиків температури, що працюють на різних фізичних принципах і виготовлених з різних матеріалів, дозволяє вимірювати її навіть у самих важкодоступних місцях - там, де неможливо виміряти інші параметри.

Датчики (в літературі їх ще часто називають вимірювальними перетворювачами), інакше кажучи, датчики є елементами багатьох систем автоматизації - вони використовуються для отримання інформації про систему або системні параметри контрольованого пристрою.

Датчик - це елемент вимірювального, сигналізаційного, регулюючого або контролюючого пристрою, який перетворює контрольовану величину (температуру, тиск, частоту, інтенсивність світла, електричну напругу, силу струму тощо) у сигнал, придатний для вимірювання, передачі, зберігання, обробки. ,

записуючи та іноді впливаючи на керовані процеси. Простіше кажучи, датчик – це пристрій, який перетворює вхідну дію будь-якої фізичної величини в зручний сигнал для подальшого використання.

Основою роботи всіх датчиків температури, які використовуються в системах автоматизації, є принцип перетворення вимірної температури в електричну величину. Це пов'язано з наступними позитивними характеристиками електричних вимірювань: зручно передавати електричні величини на відстань, при цьому передача здійснюється на високій швидкості; електричні величини є універсальними в тому сенсі, що вони довільні

Інші величини можуть бути перетворені в електричні і навпаки; буде точно перетворено в цифровий код і досягне високої точності, чутливості та швидкості вимірювальних засобів.

Типовий контактний датчик температури складається з наступних компонентів:

1. Чутливий елемент: матеріал, який реагує на зміну власної температури. Хороший елемент має низьку питому теплоємність, малу масу, високу теплопровідність і високу (передбачувану) чутливість.

2. Контакти: провідні пластини або дроти, які з'єднують чутливий компонент із зовнішнім електронним ланцюгом. Контакти повинні мати мінімально можливу теплопровідність і електричний опір. Крім того, вони часто відіграють а) роль а) опорної конструкції.

3. Захисний корпус: корпус або спеціальне покриття, яке фізично відокремлює чутливий компонент від його оточення. Хороший корпус має низький термічний опір (високу теплопровідність) і хороші діелектричні властивості. Він повинен бути водонепроникним, щоб вода та інші фактори навколишнього середовища не впливали на роботу чутливого елемента.

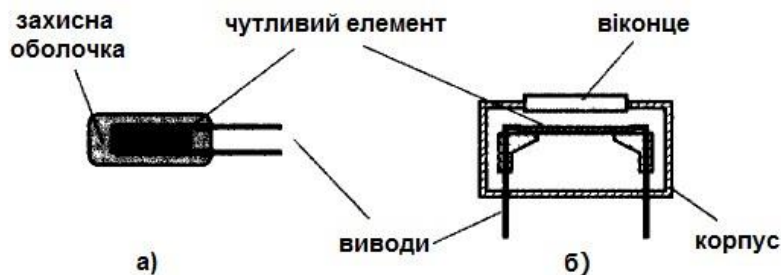


Рис. 1.1 - Основні конструкції датчиків температури: а) - контактний датчик, б) – безконтактний датчик (детектор теплового випромінювання)

Рис. 1.1 зображено безконтактний датчик температури, який є оптичним детектором теплового випромінювання. Він також містить чутливий елемент, який реагує на зміни власної температури.

Основною відмінністю контактних датчиків від безконтактних є спосіб передачі тепла від об'єкта до елемента: в контактних датчиках діє механізм теплопровідності фізичним контактом, у безконтактних - теплопередача випромінюванням або оптичним методами. Для збільшення швидкості роботи датчиків теплового випромінювання товщина чутливого елемента зменшується до мінімуму, а для підвищення чутливості збільшується площа його поверхні. Крім чутливого елемента, безконтактний датчик температури може містити оптичне вікно та інтегральну схему інтерфейсу. Внутрішній корпус датчика зазвичай заповнений сухим повітрям або азотом.

Всі датчики температури можна розділити на два класи: абсолютні і відносні датчики. Абсолютні датчики вимірюють температуру відносно абсолютного нуля або будь-якої іншої точки на температурній шкалі, наприклад  $0^{\circ}\text{C}$  ( $273,15^{\circ}\text{K}$ ),  $25^{\circ}\text{C}$  тощо. Прикладами абсолютних датчиків є термістори та RTD. Відносні датчики вимірюють різницю температур між двома об'єктами, один з яких називається еталонним. Типовим представником відносних датчиків є термопара.

Кожен датчик, включаючи датчик температури, можна описати поруч із характеристиками, сукупність яких дозволяє порівнювати датчики між собою та свідомо вибрати датчики, які найбільш підходять для конкретних завдань.

1. Функція перетворення (рангова характеристика) – це функціональна залежність її початкового значення від вимірюваної величини:

$$y=f(x)(1,1)$$

Залежність виражається в номінальних значеннях:  $y$  - в одиницях вихідного сигналу або параметрів датчика,  $x$  - в одиницях вимірюваної величини.

Для датчиків температури - Ом/°C або мВ/К.

2. Чутливість - відношення збільшення вихідного значення датчика до збільшення його вхідного значення:

$$S = dy/dx(1,2)$$

Для лінійної частини функції перетворення чутливість датчика постійна. Чутливість датчика характеризує ступінь досконалості процесу перетворення в нього вимірюваної величини.

3. Поріг чутливості - це мінімальна зміна вхідного значення, яке можна достовірно виявити. Поріг чутливості пов'язаний як з природою самої вимірюваної величини, так і з досконалістю процесу перетворення вимірюваної величини в датчику.

4. Межа перетворення - максимальне значення вимірюваної величини, яке можна виміряти без незворотних змін датчика внаслідок експлуатаційних впливів. Верхня межа вимірювання датчика зазвичай принаймні на 10% нижча за межу перетворення.

5.) Метрологічні характеристики - визначаються конструктивно-технологічними особливостями датчика, стабільністю властивостей використовуваних матеріалів, характеристиками процесів взаємодії датчика з вимірюваним об'єктом.

У свою чергу, метрологічні характеристики визначають характер і величину похибок вимірювань датчика. Деякі помилки можуть бути випадковими і враховуються методами математичної статистики. Систематичні похибки можна описати аналітично та виключити з результатів вимірювань.

Основними видами систематичних помилок є:

- похибки внаслідок нелінійності функції перетворення характеристики напівпровідникових датчиків температури;

- помилки, викликані зміною функції перетворення в результаті зміни напрямку вхідної величини (для датчиків температури це нагрів і охолодження);
- помилки, що виникають внаслідок несумісності динамічних можливостей датчика швидкості під впливом вхідного значення. Це можна пояснити введенням коефіцієнта теплової інерції;
- додаткові похибки, що є наслідком різниці в умовах роботи датчика порівняно з тими, в яких визначалася його функція перетворення;
- похибки, зумовлені нестабільністю функції перетворення внаслідок процесів старіння матеріалу.

6. Надійність - розглядається у двох аспектах: механічна надійність і метрологічна надійність.

7. Експлуатаційні характеристики - до них відносяться: вага, розміри, споживана потужність, міцність електричної ізоляції, прикладені номінальні напруги, а також стійкість до агресивного середовища, усіх видів випромінювань, іскробезпека тощо.

8. Ціна та можливість масового виробництва.

Кремній широко використовується у виробництві датчиків температури з позитивним температурним коефіцієнтом (РТС). Сьогодні кремнієві датчики опору часто інтегруються в мікроструктури для температурної компенсації або прямого вимірювання температури. Існують також дискретні кремнієві датчики, такі як датчики температури Philips КТУ.

Такі датчики мають досить хорошу лінійність (яку можна покращити простими схемами термокомпенсації) і високу довгострокову стабільність (зазвичай  $\pm 0,05$  К/рік). ПТК кремнієвих резисторів дозволяє використовувати їх в системах, що забезпечують безпеку нагрівальних приладів: підвищення середньої температури (до  $200^{\circ}\text{C}$ ) призводить до підвищення їх опору, завдяки чому виконується функція самозахисту. .

Чистий кремній, будь то монокристалічний або полікристалічний, сам по собі має негативний температурний коефіцієнт опору (ТСО). Однак при легуванні

допантами n-типу в певному інтервалі температур його температурний коефіцієнт стає додатним (рис. 1.2).

Цей ефект пояснюється зменшенням рухливості носіїв заряду зі зниженням температури. При високих температурах кількість вільних носіїв заряду збільшується за рахунок спонтанно утворених носіїв, так що в цьому діапазоні температур домінують природні напівпровідникові властивості кремнію.

Так, при температурах нижче  $200^{\circ}\text{C}$  питомий опір кремнію дорівнює ПТК, а при температурах вище  $200^{\circ}\text{C}$  він стає негативним КТУ. Сенсор виготовлено з кристала кремнію n-типу з розмірами  $500 \times 500 \times 240$  мкм. металізований з одного боку та з контактною площадкою з іншого боку.

При такій конструкції датчика буде створюватися ефект «розтягування» опору, в результаті чого всередині кристала встановлюється конічний розподіл струму, що значно знижує залежність характеристик від допусків виготовлення.

При великих струмах і високих температурах датчик КТУ стає чутливим до напрямку струму.

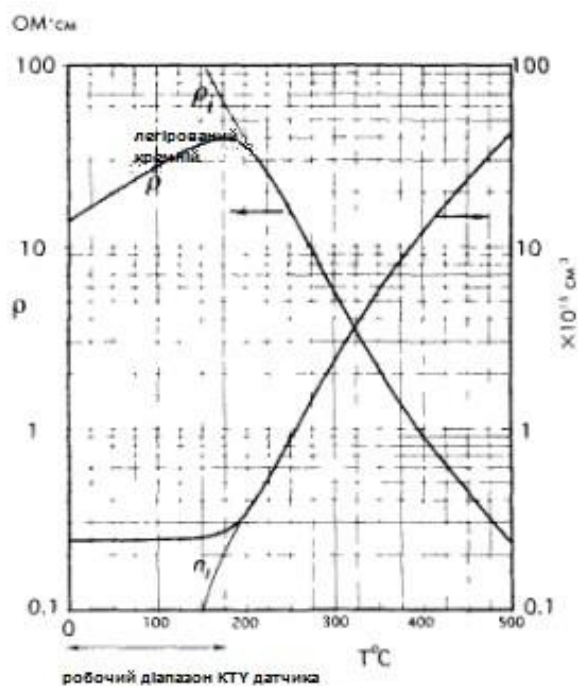


Рис. 1.2 - Питомий опір і кількість вільних носіїв заряду в кремнії, легуючому леуючими добавками n-типу

Типова чутливість кремнієвого датчика РТК становить близько  $0,7\%/^{\circ}\text{C}$ .  $t$ , оскільки при зміні температури на  $1^{\circ}\text{C}$  його опір змінюється на  $0,7\%$ .

добре, функція КТҮ датчика може бути апроксимована поліномом другого порядку:

$R_T = R_0 [1 + A(T - T_0) + B(T - T_0)^2]$ , де  $R_0$  і  $T_0$  – опір в Омх і температура в К, виміряні в точці. Наприклад, робочий діапазон датчиків КТҮ-81 становить  $55 + 150^\circ\text{C}$ ,  $A = 0,007874 \text{ K}^{-1}$ ,  $B = 1,874 \times 10^{-5} \text{ K}^{-2}$ . На рисунку 1.3 показана типова передатна функція кремнієвого резистивного датчика.

Термостати (або терморегулятори) - це пристрої, які використовуються як в побутових приладах, так і в промислових установках. Існують різні типи термостатів, які відрізняються за принципом регулювання: регулятори з механічним керуванням; регулятори з електромеханічним керуванням; регулятори з електронним управлінням і ручним налаштуванням режиму; програмовані регулятори з електронним управлінням по заданій програмі режимів опалення.

Перший тип пропонує можливість встановити постійну температуру, яка буде підтримуватися до моменту зміни режиму вручну. Регулювання таких пристроїв здійснюється поворотом ручки, встановленої на корпусі (рис. 1). Ці прилади мають досить високу похибку, але через помірну вартість користуються великим попитом.



Рис. 1.3 - Механічні термостати з датчиками температури.



Електронні термостати оснащені дисплеєм, на якому відображається поточна температура. Такі прилади коштують дорожче, але мають високу точність. Крім того, часто є можливість програмувати режими нагріву.



Рис. 1.4 - Приклад електронного термостата з дисплеєм

Існують також універсальні терморегулятори, які підключаються практично до будь-якого обладнання. Ці пристрої не мають власного корпусу і являють собою електронну плату з невеликим дисплеєм, на якому відображається поточна температура. Їх можна прикріпити практично скрізь. Такі пристрої можуть керувати системами опалення або охолодження.

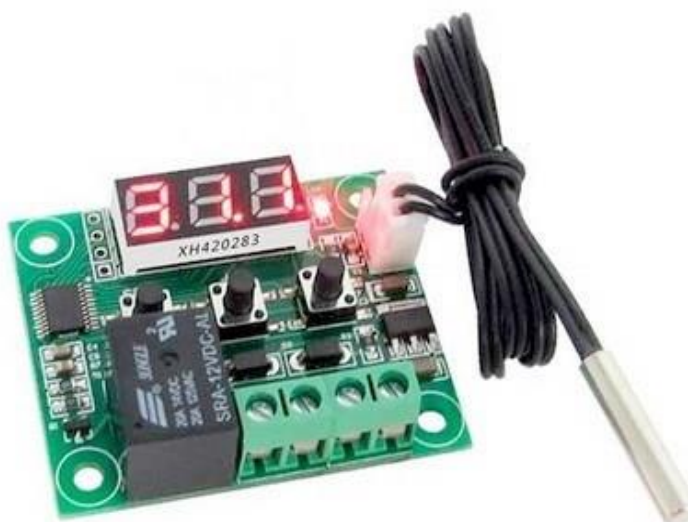


Рис.1.5 - Універсальний терморегулятор

## 1.2 Принцип роботи терморезистора

Температура є макроскопічною ознакою макросистеми. Вона чисельно пропорційна середній кінетичній енергії молекул речовини на один ступінь свободи.

Термометр — це макроскопічна система, яка при теплообміні або поглинанні може змінювати лише один макроскопічний параметр. Цей параметр називається тепловим параметром термометра.

В основі роботи термометрів лежить перетворення виміряних температур в електричні величини. Все це пояснюється наступними причинами: електричні величини легко передаються з великою швидкістю на значні відстані. Виміряну температуру можна перетворити в цифровий код, що забезпечує високу швидкість вимірювання, чутливість.

Для вимірювання температури контактним методом використовуються такі термометри:

- опору (використовується залежність електричного опору речовини від її температури);
- манометричні (використовують залежність тиску газу або насиченості парів рідини від температури);
- розширення (температура вимірюється від теплового розширення рідин або твердих тіл);
- термоелектричний (заснований на вимірюванні термоелектричної сили, що виникає в місці контакту двох провідників).

Для безконтактного вимірювання температури використовуються пірометри:

- колір (заснований на вимірюванні співвідношення енергій, які випромінює тіло в різних спектральних діапазонах);
- яскравість (температура вимірюється яскравістю нагрітого тіла в заданому вузькому діапазоні довжин хвиль);
- випромінювання (температура вимірюється тепловою дією сумарного випромінювання нагрітого тіла у всьому діапазоні довжин хвиль).

Залежно від характеру отримання інформації розрізняють пірометри для вимірювання локальної температури в точці об'єкта і для аналізу температурних полів.

Термін «термістор» або «термістор» є поєднанням двох слів: «термічний» і «резистор». Термістори відносяться до класу датчиків абсолютної температури, показання яких відповідають шкалі абсолютної температури. Всі терморезистори поділяються на дві категорії:

- з негативним температурним коефіцієнтом опору;
- позитивний температурний коефіцієнт опору.

Опір терморезистора залежить від температури. Він виготовлений із оксидів металів, стиснутих у сферу, диск або циліндр, а потім укладених у такий матеріал, як скло. Для термістора з негативним температурним коефіцієнтом опору опір зменшується з підвищенням температури. І навпаки, при зниженні температури опір зростає. Цей тип термістора є найбільш поширеним. Термістор із позитивним температурним коефіцієнтом опору працює дещо інакше. При підвищенні температури опір збільшується, а при зниженні температури опір зменшується.

Цей тип термістора є поширеним використовується як запобіжник. В діапазоні від 0 °С до 650 °С в якості еталонних вимірювальних датчиків використовуються платинові терморезистори, похибка каліброваних характеристик платинових термоперетворювачів не перевищує 0,001 °С.

Залежність опору платинових термісторів від температури можна визначити за формулами:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \text{ при } 0 < t < 650^\circ\text{C}, \quad (1.1)$$

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t-100)] \text{ при } -200^\circ\text{C} < t < 0^\circ\text{C}, \quad (1.2)$$

Платинові терморезистори володіють високою стабільністю і великою відтворюваністю характеристик. Недоліками є велика ціна та не лінійність перетворення.

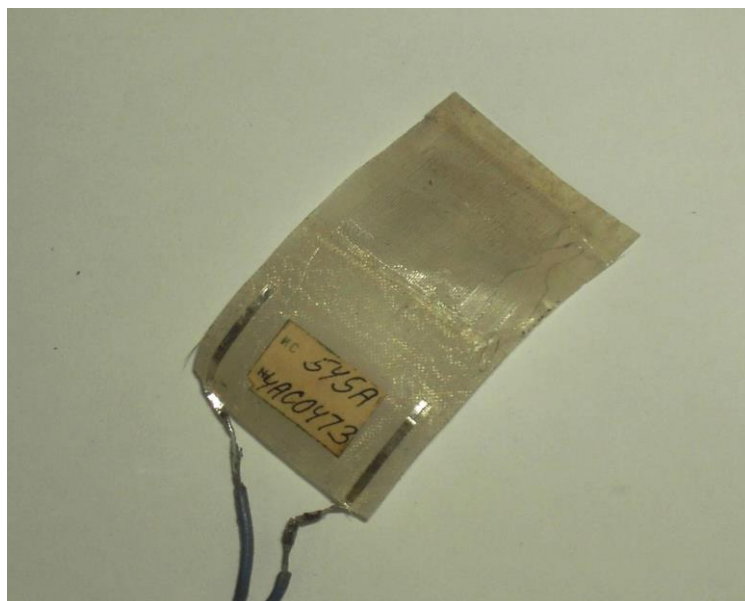


Рис.1.6 - Платиновий терморезистор плівкового типу

На відміну від металів багато напівпровідників і оксидів мають негативний температурний коефіцієнт опору. Залежність між величиною опору і температурою часто нелінійна.

Прикладом негативного термометра ТКО є германієвий (Ge) термометр опору.

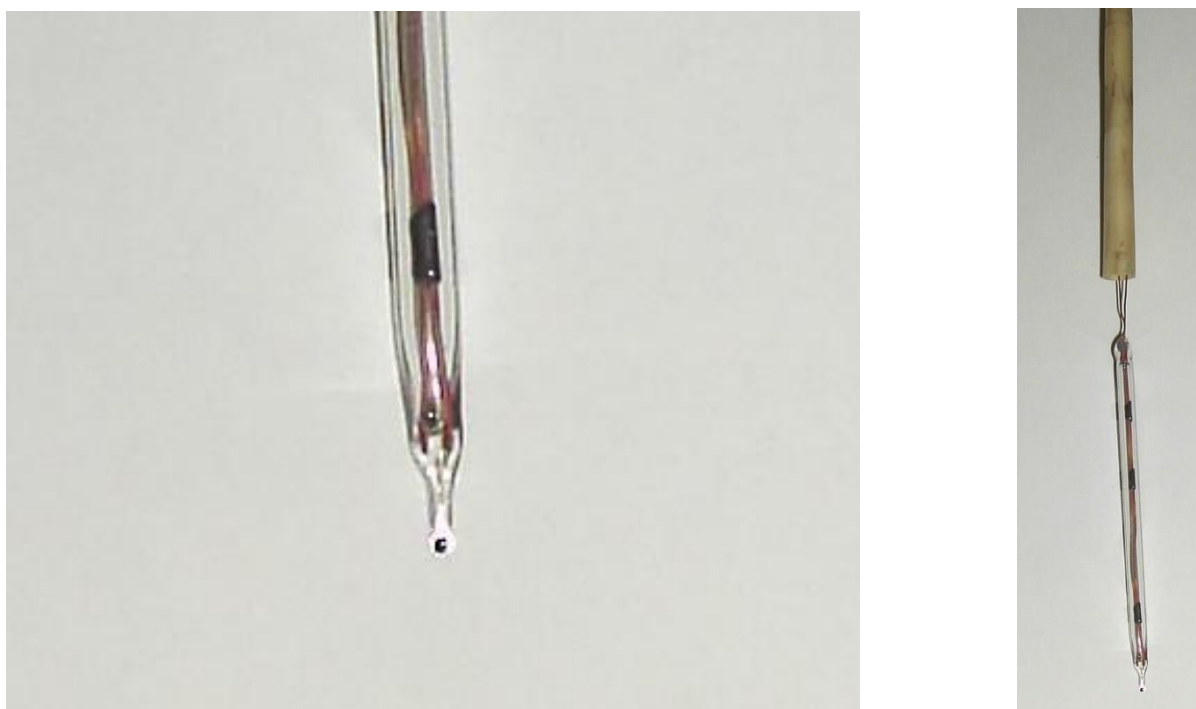


Рис.1.7 - Напівпровідниковий германієвий термометр опору

Напівпровідникові термопари широко використовуються для вимірювання низьких температур (від 0,1 К до 100 К) завдяки своїй високій чутливості. Це напівпровідникові пластини різної форми з прикріпленими металевими контактами, які зазвичай поміщені в захисні кришки. Прецизійні германієві термопари застосовуються в діапазоні температур від 4,2 К до 13,8 К. Напівпровідникові терморезистори не можна використовувати при температурах вище 100 К, оскільки їх стабільність також змінюється з підвищенням температури.

Питома електропровідність власного напівпровідника визначається класичним співвідношенням:

$$\sigma = n_0 \mu_{nq} + p_0 \mu_{pq} \quad (1.3)$$

де  $n_0$ ,  $p_0$  – рівноважна концентрація електронів і дірок;  $\mu_n$ ,  $\mu_p$  – рухливість електронів і дірок.

Для легованих напівпровідників концентрація основних носіїв завжди значно вища за концентрацію неосновних.

Рухливість носіїв при нагріванні змінюється порівняно незначно (за степеневим законом  $\sim T^3$ ), а концентрація змінюється дуже сильно (за показником степеня). Для власного напівпровідника концентрація носіїв заряду визначається таким співвідношенням:

Оскільки провідність напівпровідника безпосередньо залежить від кількості вільних носіїв заряду, то залежність провідності напівпровідника від температури подібна до температурної залежності концентрації основних носіїв.

Термопари є одними з найбільш часто використовуваних термодатчиків для кількісного вимірювання температури. Їх широке застосування для вимірювання температури є результатом низької вартості, надійності та широкого діапазону вимірюваних температур.

Як показано на рис. 1.8., термопара складається з двох дротів 3 і 4, які відрізняються фізичними властивостями. Коли між двома спаями існує різниця температур, через ланцюг протікає невеликий струм, який вперше виявив Зеєбек у 1823 році. Цей струм пропорційний різниці температур між двома спаями, що часто називають «ефектом Зеєбека».

Причиною такого ефекту є різні значення роботи виходу електронів і різна концентрація вільних електронів у контактуючих металах. Термопари є єдиними датчиками температури, здатними вимірювати температуру до 2300 °С. Розроблено багато типів термопар, які класифікуються різними способами.

Отже, опір напівпровідника буде залежати від температури за таким законом:

$$\Delta E \text{ В}$$

$$R = N_i \cdot e k T = N_i \cdot e T \quad (1.4)$$

де  $T_1, T_2$  – початкова та кінцева температури робочого діапазону температур;

$R_1$  і  $R_2$  – опір термістора при температурах  $T_1$  і  $T_2$ .

комбінації двох різних ниток (табл.1). Вибір конкретної термопари залежить від необхідного температурного діапазону, вартості, хімічної стійкості, сумісності матеріалів і механічних обмежень. Крім того, термопари характеризуються високою лінійністю і високою точністю вимірювань.

Таблиця 1.1. Стандартні термопари

Тип	Температурний діапазон	Матеріал
Т	Від -262°C до +850°C	Мідь / мідно-нікелевий сплав (константан)
J	Від -196°C до +700°C	Залізо / константан
Е	Від -268°C до +800°C	Нікель-хромовий сплав (хромель) / константан
К	Від -250°C до +1100°C	Хром / нікель-алюмінієвий сплав (алюмель)
Н	Від 0°C до +1250°C	Нікель-хром кремній / нікель-кремній–магнієвий сплав
В	Від +100°C до +850°C	Платина –30% родій/платина –60% родію

S	Від 0°C до +1500°C	Платина–10% родій/платина
R	Від 0°C до +1600°C	Платина – 13% родію/платини

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  константи, визначені вимірюванням термоЕРС при трьох відомих температурах;  $t$  – температура робочого спаю, °C.

Схеми підключення термопар наведені на рис. 6. У першому варіанті підключення (а), хоча точки мають однакову температуру, вони з'єднані різними проводами, що може спричинити некомпенсовану термоЕРС, яка, в свою чергу, впливає на кінцевий результат вимірювання.

Для точних вимірювань в лабораторних умовах прилад підключають подальше від термоелектрода. При цьому термопари («носія») підтримується постійною. Таке з'єднання компенсує зайву термо, яка виникає в місці з'єднання термоелектрода з приладом. Підключення термопари таким чином називається диференціальним.

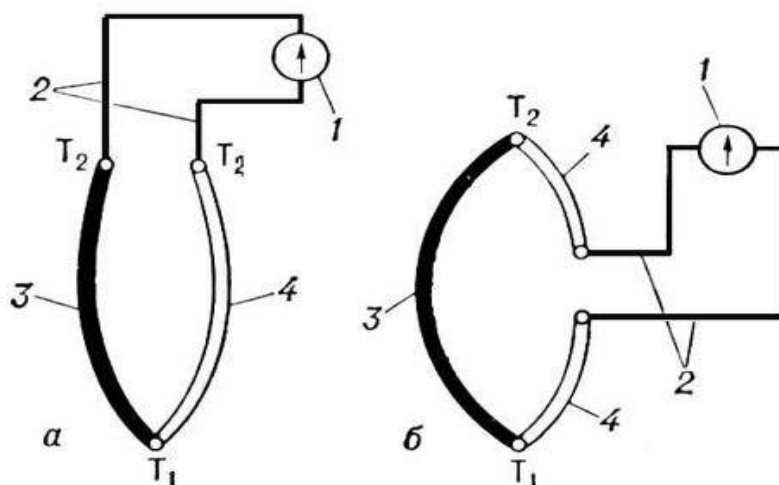


Рис. 1.8- Способи підключення термопари

Для розрахунку сумарної термоерс в ланцюзі диференціальної термопари необхідно знати температуру одного з спаїв. Раніше холодні з'єднання занурювали в ємність з водою та колотим льодом (рис. 1.8), щоб підтримувати температуру 0 °C. (звідси назва «холодний спай»), але це дуже незручно, а для багатьох практичних схем взагалі неможливо. На практиці температура холодного спаю контролюється додатковим датчиком, наприклад термістором.

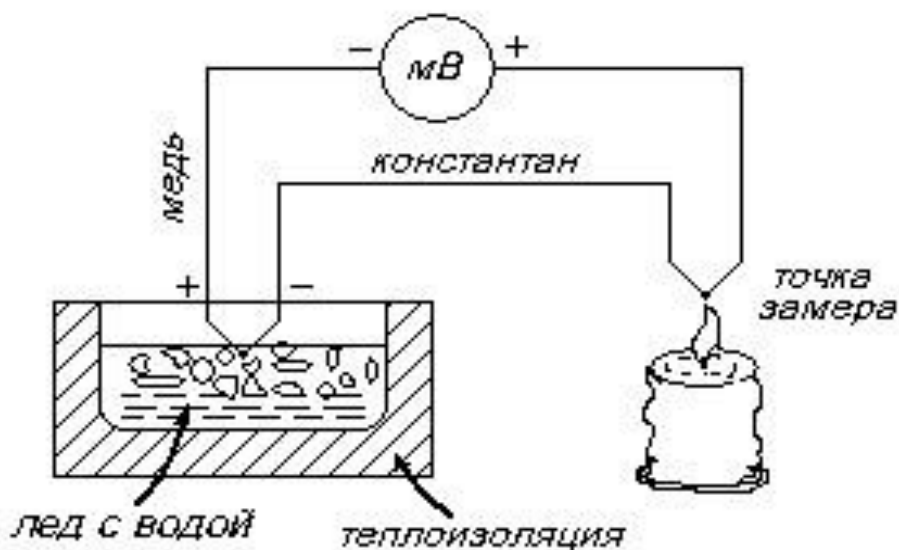


Рис. 1.9 - Схема застосування диференціальної термопари.

Залежність значення електромагнітного поля термопари від температури, а також опір металевого термометра опору від температури не є лінійними в широкому діапазоні температур, але в певному діапазоні їх можна вважати лінійними і використовувати лінійні залежності для розрахунків.



Рис.1.10 - Проста конструкція термопари (а); вид контакту термопари (б)

На малюнку 1.10 зображено енергетичні графіки двох металів з різними продуктами виходу. На рисунку 1.10 показані енергетичні графіки металів, які не контактують, а на малюнку – енергетичні графіки металів, що контактують.



Метали обмінюються електронами, і оскільки енергія Фермі  $E_{FB} > E_{FA}$  і робота виходу  $\chi_A < \chi_B$ , переважними переходами будуть електронні переходи від металу В до металу А, що дає шар загальної товщини  $d$ , у металі А – негативний потенціал, і в металі В - позитивний . Між металами виникне контактна різниця потенціалів  $V_K$ , яка дорівнює різниці робіт, виконаних металами.

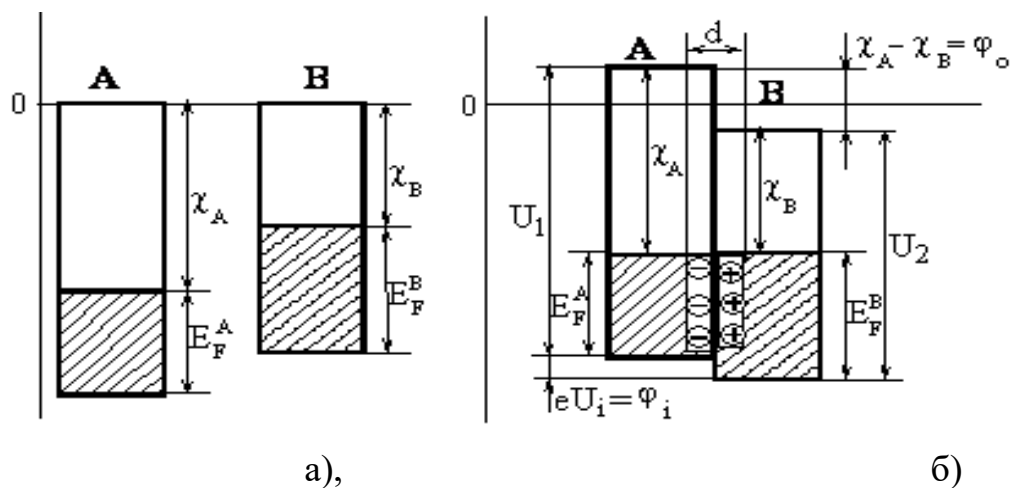


Рис.1.11 - Енергетична діаграма контакту двох металів

Рис. 1.12 зображено електричне коло двох різних провідників з контактами на протилежних кінцях.

При однаковій температурі контактів А і В різниці потенціалів ПЧ на кожному контакті однакові за величиною і спрямовані назустріч один одному (рис. 1.12, а). Потенціали зрівноважені, а повна електрорушійна сила в ланцюзі дорівнює нулю.

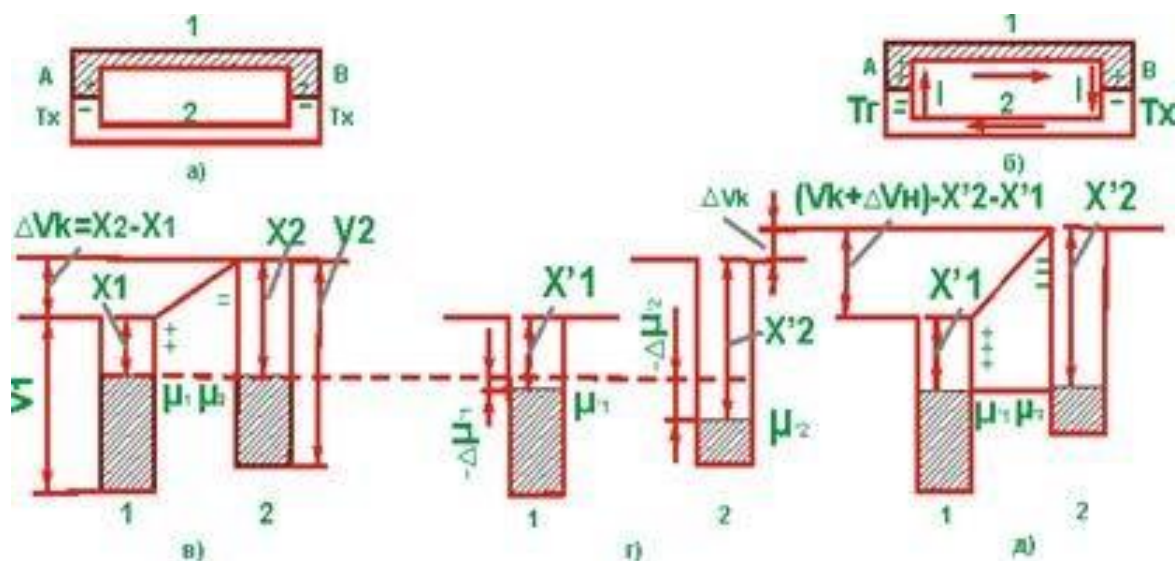


Рис. 1.12 - Поява термоелектрорушійної сили в термопарі

Давайте нагріємо контакт А і залишимо контакт В холодним. На контакті А енергетичний графік зміниться: різниця потенціалів контакту буде іншою, ніж на холодному контакті В, в колі з'явиться ЕРС.

ЕРС повного кола буде дорівнювати різниці ЕРС, створеної холодним і гарячим спаями, яка, у свою чергу, пропорційна різниці температур між спаями.

Якщо один спай двох металів (1 і 2) термопар має температуру XX, а інший - XX (тоді як, наприклад, XX > XX), то має місце

ТермоЕРС  $E_{1-2}$ :

$$E_{1-2} = \alpha_{1-2} (T_G - X) \quad (1,6)$$

Таблиця 1.2. ТермоЕРС деяких термопар для різниці температур 100К (температура холодного спаю 0 0С).

Термопара	$E_{1-2}$ , мВ
Залізо – константан	5,37
Мідь – константан	4,25
Ніхром – нікель	4,1
Ніхром – константан	6,21
Платина – платиноводій	0,643
Залізо – мідь	1,05

Недоліком термометрів опору є необхідність введення датчика в досліджуване середовище. Відповідно може змінитися точність отриманих даних, що призведе до більш швидкого виходу датчика з ладу та погіршення його властивостей.

Ці дефекти відсутні в пірометрах - безконтактних датчиках, реєстрації випромінювання нагрітих тіл. Усі теплові випромінювання характеризуються кількістю енергії, яку випромінює тіло на одиницю площі за одиницю часу, а також на одиницю відповідного діапазону довжин хвиль.

Ця характеристика є спектральною щільністю і називається спектральною яскравістю. Закони теплового випромінювання чітко визначені лише для

абсолютно чорного тіла. Залежність спектральної яскравості абсолютно чорного тіла від температури і довжини хвилі виражається формулою:

$$R_{\alpha} = A\alpha^{-5}(eB/(\alpha T) - 1)^{-1}, (1,8)$$

де  $\alpha$  – довжина хвилі;

$T$  - абсолютна температура;  $A$  і  $B$  константи.

Коли об'єкт, температуру поверхні якого необхідно виміряти пірометром, піднімають, оптична система реєструє енергію, випромінювану цим об'єктом. Потім випромінювання направляється на детектор, елемент, який дуже чутливий до радіаційних хвиль. Вихід детектора відповідає температурі об'єкта, викликаній випромінюванням. Температура детектора, який аналізується за допомогою рівня випромінювання, прямо пропорційна температурі об'єкта.

Випромінювання, що випускається вимірюваним об'єктом, фактична температура якого повинна перевищувати абсолютну температуру (-273,15 градусів за Цельсієм). Це випромінювання в електромагнітному спектрі називається інфрачервоним світлом. Випромінювана енергія використовується для визначення температури об'єкта і перетворюється детектором в електричні сигнали.

Для визначення температури різних об'єктів пірометри діляться на два види:

- оптичні пірометри;
- Інфрачервоні/радіаційні пірометри.

Оптичні пірометри — це один із типів пірометрів, який використовується для виявлення теплового випромінювання у видимому діапазоні. Температура вимірюваних гарячих об'єктів залежатиме від випромінюваного ними видимого світла. Оптичні пірометри здатні забезпечити візуальне порівняння каліброваного джерела світла з поверхнею досліджуваного об'єкта.

Наприклад, якщо температура дроту та поверхні об'єкта однакові, інтенсивність теплового випромінювання, яке створюється дротом, зливається з поверхнею цільового об'єкта і стає невидимим. Коли цей процес відбувається, струм через дріт перетворюється на рівень температури.

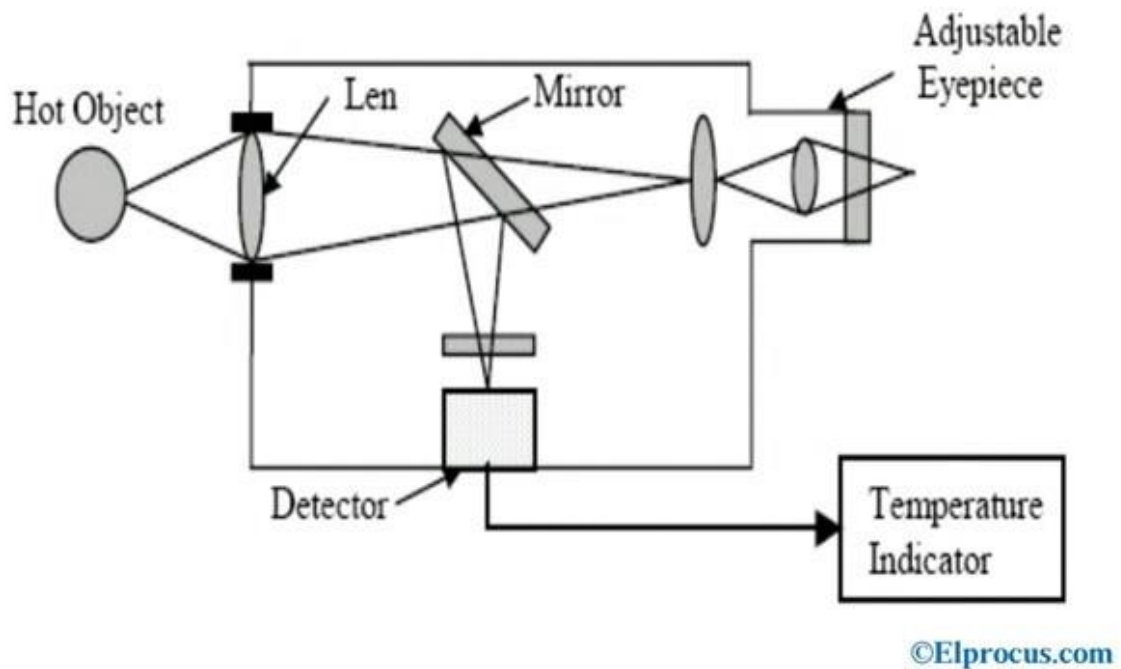


Рис. 1.13 - Конструкція оптичного пірометра

Інфрачервоні або радіаційні пірометри призначені для виявлення теплового випромінювання в інфрачервоному спектрі, який зазвичай становить від 2 до 14 мкм. Він вимірює температуру об'єкта на основі інтенсивності випромінювання. Це випромінювання може бути спрямоване на термопару для перетворення в електричні сигнали, оскільки термопара здатна генерувати більший струм, що дорівнює випромінюваному теплу. Інфрачервоні пірометри виготовлені з піроелектричних матеріалів, таких як полівініліденфторид, тригліцинсульфат і танталат літію.

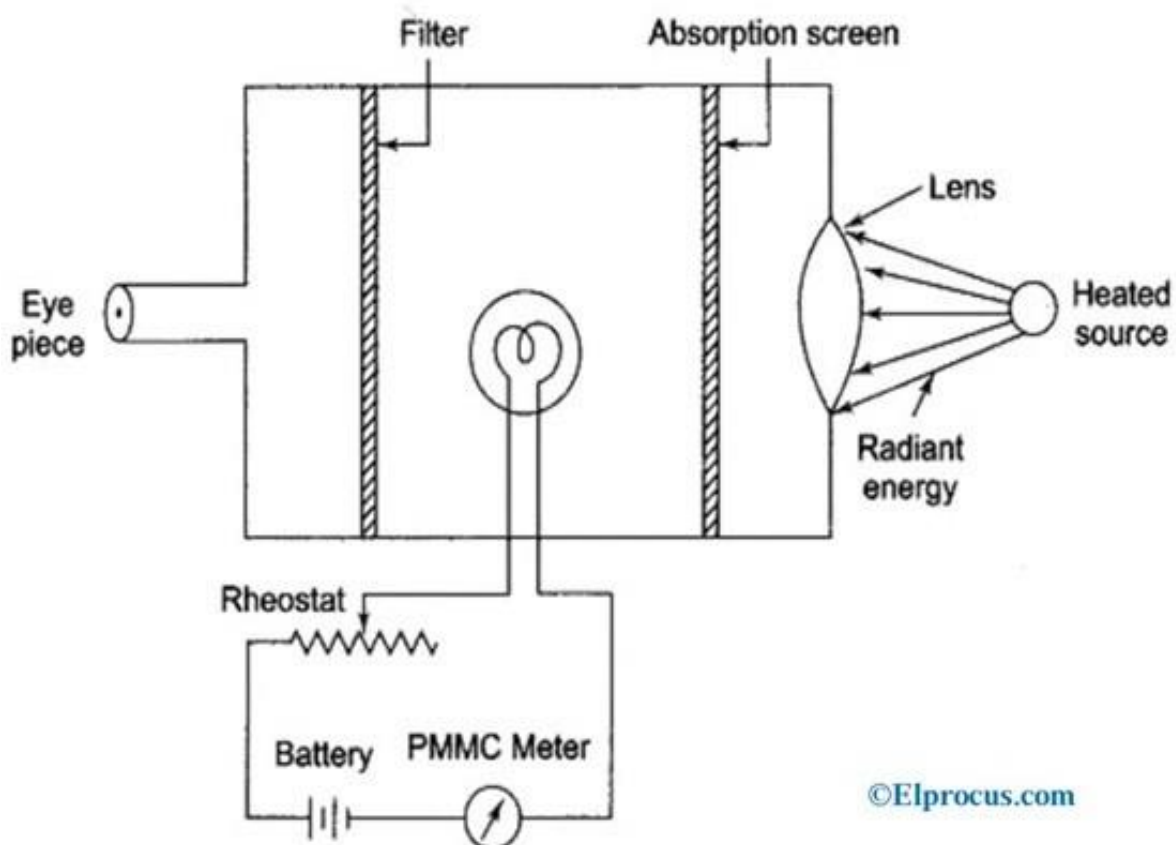


Рис.1.14 - Будова інфрачервоного пірометра

Перевагою пірометрів є можливість вимірювання температури без безпосереднього контакту з досліджуваним об'єктом, швидкодія та вимірювання температур на різних відстанях навіть рухомих об'єктів. Недоліками можна вважати велику вартість та те, що на точність вимірювання може вплинути пил, дим та теплове випромінювання.

## 2. АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

### 2.1 Аналіз основних компонентів пристрою

Існує багато способів вимірювання температури за допомогою різних датчиків. Широко використовується широкий спектр датчиків температури, які

працюють на різних принципах і використовуються в багатьох областях для регулювання та контролю температури.

Точні вимірювання температури необхідні для забезпечення максимальної теплової потужності в перетворювачах сонячної енергії, вимірювання температури сприяють енергозбереженню вдома та на робочому місці. Температура складання компонентів SMD при виробництві електронних пристроїв повинна бути в певних межах. Таким чином, завданням роботи є розробка ефективного регулятора температури на основі сучасних елементарних принципів.

Розрізняють кілька типів терморегуляторів: механічні, електромеханічні, на основі спеціалізованих контролерів і програмовані мікроконтролерні термостати. Структуру регульованого терморегулятора можна представити у вигляді узагальненої структурної схеми 2.1.



Рис. 2.1 – Функціональна схема керованого термостата.

Терморегулятор на основі програмованого мікроконтролера є найбільш придатним для експериментальної опалювальної установки, оскільки він має широкі можливості та конструктивну універсальність, не потребує значних конструкційних змін у конфігурації датчиків, можливе виявлення помилок, що є результатом збоїв терморегуляції процесу, програмування. для заданих завдань можливо.

З наявних датчиків температури вибираємо термопару. Термопари характеризуються достатньою чутливістю в широкому діапазоні температур, стабільністю калібрування, відносно малою інерційністю, вони прості, надійні і можуть бути розміщені в безпосередньому контакті з вимірюваним об'єктом.

Встановити температуру лабораторного обігрівача простіше за допомогою електромагнітного реле. Це рішення просте і надійне. На відміну від оптореле та подібних рішень, електромагнітне реле не вимагає додаткового пасивного чи активного охолодження.

Нагрівальний елемент може бути у формі резистивних нагрівальних елементів (наприклад, ніхромових спіралей) або у формі інфрачервоних нагрівальних елементів.

Обігрівач живиться переважно від промислової мережі 220 В, 50 Гц, також можна регулювати швидкість нагріву, перемикаючи різні комбінації підключення ТЕНів (послідовне, паралельне, вибіркоче).

### **Мікроконтролер ATmega8-16pu**

Основним елементом терморегулятора є програмований мікроконтролер. На ринку доступно багато типів мікроконтролерів. Програмовані мікроконтролери Atmega є одними з найпопулярніших. Для нашої розробки може бути використаний мікроконтролер типу ATmega8-16pu, який представлений у двох різних корпусах: DIP28 і TQFP32.

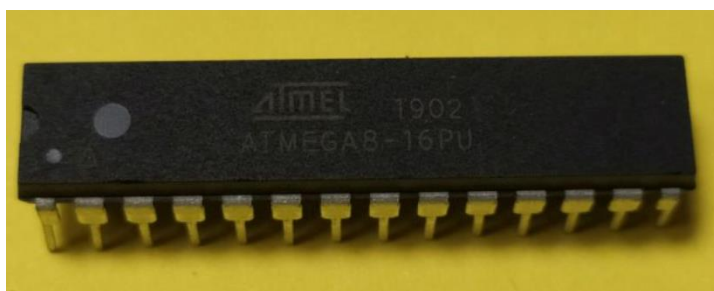


Рис. 2.2 – Конструкція корпусу мікроконтролера ATmega8-16pu DIP-28

ATmega8-16pu (рис. 2.3) — малопотужний 16-розрядний мікроконтролер, розроблений на базі архітектури AVR RISC.

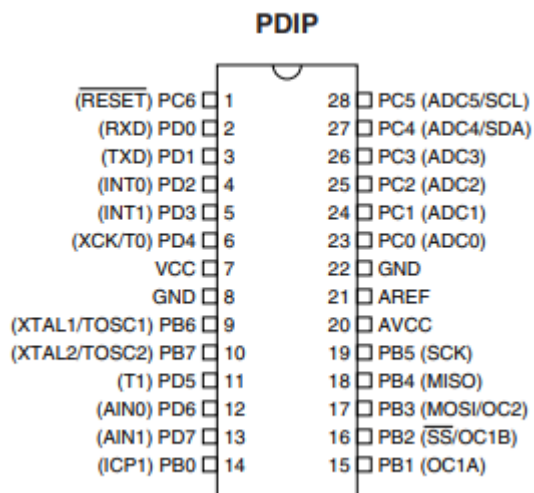


Рис.2.3 - Мікросхема мікроконтролера АТмега8-16ру

Характеристики роботи та конструкція (рис. 2.3) мікроконтролера АТмега8-16ру.

- Високопродуктивний 8-розрядний малопотужний мікроконтролер AVR;
- Розширена RISC архітектура;
- 130 потужна інструкція - запустить більшість годинників;
- 32 x 8 робочих регістрів загального призначення;
- Повністю статична робота;
- Пропускна здатність до 16 MIPS на 16 МГц;
- 2-тактний мультиплікатор на мікросхемі;
- Елементи енергонезалежної пам'яті з підвищеним опором;
- 8К байт внутрішньої флеш-пам'яті, що самопрограмується;
- 512 байт EEPROM;
- Внутрішня SRAM 1К байт;
- Цикли запису та стирання: 10 000 спалахів / 100 000 EEPROM;
- Додатковий розділ коду запуску з незалежними блоками блоків;
- внутрішньосистемне програмування за допомогою вбудованого завантажувача;



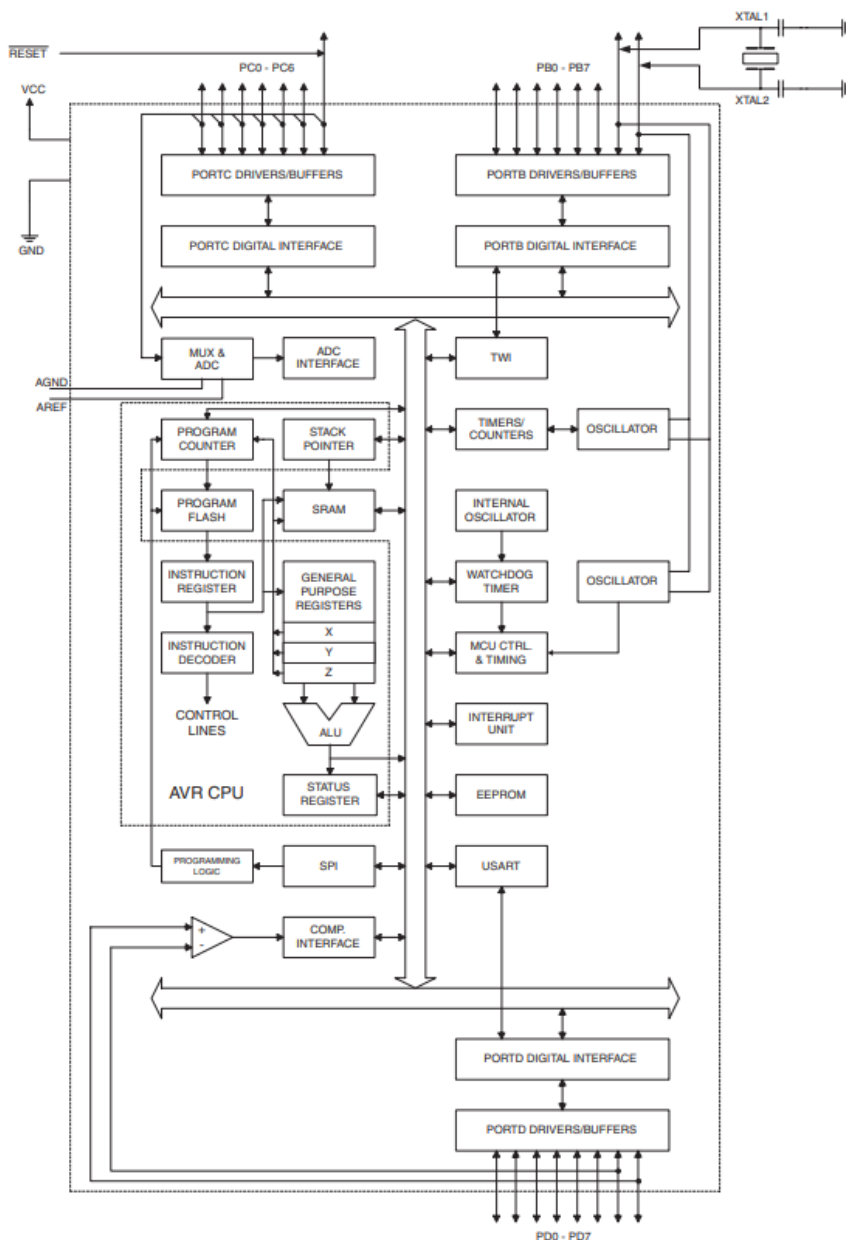


Рис. 2.4 - Структурна схема мікроконтролера АТмега8-16ри

- Робоча напруга 4,5 - 5,5 В;
- Діапазон температур: від -40 °С до 85 °С;
- Споживана потужність при 1 МГц, 1,8 В, 25 °С;
- Активний режим: 0,2 мА;
- Вимкнений режим: 0,1 мкА;
- Режим енергозбереження: 0,75 мкА (включаючи 32 кГц RTC).

### Термопара типу К

Роль датчика температури виконує термопара типу К, яка може забезпечувати діапазон вимірюваних температур від -250°С до +1100°С.



Рис.2.5 - Термопара типу-K (хромель-алюмелева)

Перевагами використання хром-алюмінієвої термопари є:

- широкий діапазон робочих температур, це найвища температура контактних датчиків.
- з'єднувач термопари можна безпосередньо заземлити або розмістити в прямому контакті з вимірюваним об'єктом.
- простота виготовлення, надійність і міцність конструкції, недорога.

### **Релейний модуль**

Релейний модуль, який має можливість змінювати полярність керуючого сигналу, а для керування достатньо 5 мА на один керуючий сигнал..

Контакти релейного модуля (рис. 2.6)

- DC(-, +): негативний вхід і позитивний вихід джерела живлення;
- VREF: контроль полярності керуючого сигналу; - CH1: керуючий сигнал.



Рис. 2.6 - Релейний модуль

Реле також можна керувати шляхом подачі напруги на входи VREF і CH1. Значення подається напруги можуть коливатися від 2,5 В до 250 В. Полярність при підключенні може бути будь-якою.

Характеристики реле.

- Робоча напруга котушки: 250В;
- Опір котушки: 150 Ом;
- Струм споживання: 185мА;
- Номінальний струм котушки: 77 мА;
- Максимальний струм комутації: 30А;
- Максимальна напруга комутації: 250 В (DC), 250 В (AC);
- Робоча температура: від -25 °С до 70 °С;
- Час спрацьовування: 10 мс;
- Час спрацьовування: 5 мс; - Розміри – 21,3x16,2x21мм; - Вага: 14 грам.

Перевагами такого електромагнітного реле є низька вартість, комутація великого навантаження при невеликих габаритах пристрою і малій кількості виділеного тепла.

### **3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ**

#### **3.1. Вибір типу і розмірів друкованої плати**

Основним конструктивним елементом електронної обчислювальної апаратури (ЕОА) є друкована плата (ДП). Застосовують ДП для здійснення електричних з'єднань та в якості несучих конструкцій. Друкована плата містить друковані провідники, контактні майданчики та різні отвори (монтажні, перехідні, крепіжні). Основою будь-якої ДП являється ізоляційна підставка.

Друковані плати діляться на декілька типів;

- Одностороні;
- Двостороні;
- Багатошарові.

Одно- і двошарові друковані плати застосовуються в апаратурі на дискретних ЕРЕ. Багатошарові зазвичай використовують в апаратурі на мікросхемах.

Багатошарові друковані плати (БДП) мають більш щільне розміщення друкованих провідників ніж одно- та двошарові ДП.

Кількість шарів БДП залежить від кількості ЕРЕ та виду їх монтажу. Кожен шар плати провідники виконують певні функції – сигнальні кола, або кола живлення та землі. Зазвичай сигнальні кола розміщують на зовнішній стороні ДП. Це зроблено для більшої ремонтпридатності плати.

Зв'язок між різними шарами БДП здійснюється за допомогою перехідних отворів.

Згідно з вимогами технічного завдання монтаж елементів повинен бути на двостороній платі (100x130мм), що обумовлено кількістю та типом монтажу ЕРЕ. Клас точності був вибраний четвертий. Крок координаційної сітки був вибраний 000625мм.

Найбільш поширеним методом виготовлення ДП є метод металізації наскрізних отворів. Перехідні отвори будуть забезпечувати електричне з'єднання різних сторін ДП. Перехідні отвори робляться шляхом осадження в них міді, яка замикається з оголеними після свердління шарами провідників, які проводять електричний струм.

Найбільш поширеною діелектричною підставою зараз являється стеклотекстоліт. Начіпні елементи будуть розташовані з однієї сторони ДП.

Для розрахунку площі друкованої плати скористуємося формулою;

$$S = K_3 * \Sigma (n_i * S_i), \quad (3.1)$$

де  $K_3$  - коефіцієнт втрат площі ( $K_3 = 1 \dots 3$ ), виберемо  $K_3 = 3$ ;  $S_i$  - установча площа  $i$  - го навісного елемента.

З формули (3.1) отримуємо, що площа друкованої плати блоку настройки дорівнює

$$S = 3 \cdot (28 + 36 + 344 + 800 + 360 + 40 + 150 + 300 + 400 + 168 + 455 + 40 + 80) = 9603 \text{ мм}^2$$

Де 28 - площа кварца SMAQ5032A;

36 – площа BC557B;

344 – Площа реле;

800 – площа дисплею;

360 – площа клемника на 2 зажими;

40 – площа KIA7805API;

150 – площа резистору R1;

300 – площа резисторів R2 - R12;

400 – Площа трансформатору;

168 – площа клемника на 4 зажими;

455 – площа мікроконтролеру ATmega8-16ри;

40 – площа конденсаторів C1-C4;

80 – площа діоду 1n4007.

Відповідно до розрахунків розмір друкованої плати матиме розмір 130x100 мм.

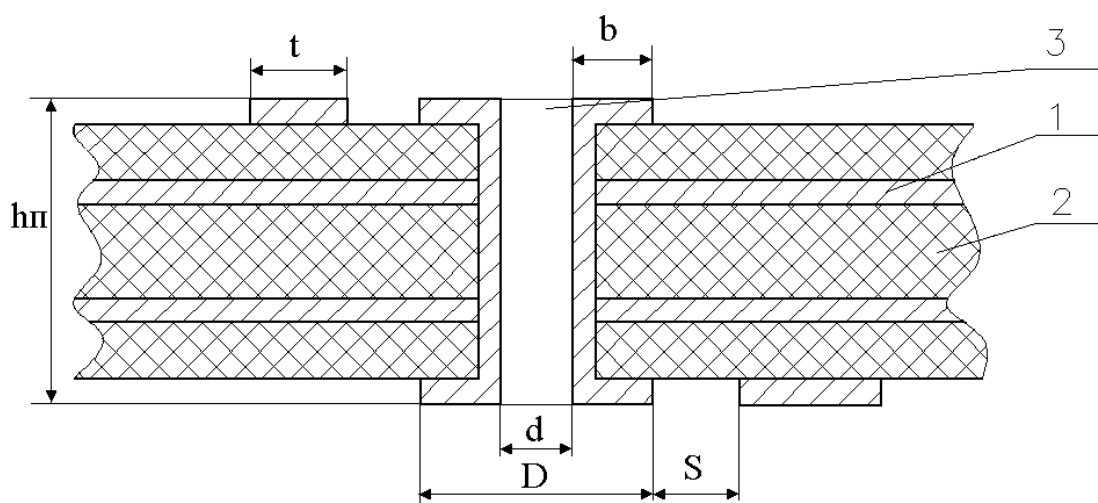
У процесі конструювання ДП виконуються наступні розрахунки:

- конструктивно - технологічний;
- розрахунок по постійному струму (статичний);
- розрахунок за змінним струмом (динамічний).

### 3.2 Конструктивно - технологічний розрахунок друкованої плати

При виконанні конструктивно-технологічного розрахунку друкованого монтажу потрібно враховувати похибки виробництва рисунка провідних елементів, базування, свердління і т.п.

На рисунку 3.1 наведені позначення, що використовуються при розрахунку, та графічне зображення багатошарової ДП.



- 1 – провідний шар;
- 2 – діелектрична прокладка;
- 3 – металізований отвір.

Рисунок 3.1 – Багатошарова друкована плата

Розрахунок будемо проводити за методикою[4], так як на проєктованій ДП є монтажні отвори для кріплення НЕ, підведення виводів ігнальних кіл та перехідні металізовані отвори.

У таблиці 3.1 вказані дані для розрахунку

Таблиця 3.1 Граничні значення основних параметрів друкованого монтажу

Найменування розрахункового елемента	позначення	Значення параметрів для четвертого класу точності ДП
Ширина провідника, мм	$T_M$	0,15
Відстань між краями сусідніх елементів рисунка, що проводить, мм	$S_M$	0,15
Відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати	$I$	0,25
Ширина гарантійного паска, мм	$B_M$	0,05

Визначити мінімальний діаметр перехідного отвору можна за формулою:

$$d_{по} \geq I * h_{п} \quad (3.2)$$

$$d_{по} \geq 0,25 * 1,6 = 0,4 \text{ мм};$$

Діаметр перехідного отвору візьмемо  $d_{по} = 0,5 \text{ мм}$ .

Мінімальне значення монтажного отвору - зі співвідношення (2.3):

$$d_{мо} \geq d_B + |\Delta d_{но}| + \Delta \quad (3.3)$$

де  $h_{\text{П}}$  - товщина друкованої плати ( $h_{\text{П}} = 1,6$  мм).

$d_{\text{В}}$  - максимальне значення діаметра націпного елемента;  $d_{\text{НО}}$  - нижнє граничне відхилення номінального значення діаметра отвору (таблиця 3.2);  $\Delta$  - зазор між выводами і монтажним отвором для пайки ( $\Delta = 0,1 \dots 0,4$  мм);

$$d_{\text{МО1}} \geq 0,5 + 0,10 + 0,4 = 1,0 \text{ мм};$$

$$d_{\text{МО2}} \geq 0,8 + 0,10 + 0,3 = 1,2 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр монтажного отвору  $d_{\text{МО1}} = 1,0$  мм,  $d_{\text{МО2}} = 1,2$  мм.

В таблиці 3.2 наведені допустимі похибки виконання конструктивних елементів

Таблиця 3.2 Допустимі похибки виконання конструктивних елементів

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Допуск на отвір без металізації	$\Delta d$	+0,05; -0,1 +0,10; -0,15
При $1 \leq \varnothing$ мм		
При $\varnothing > 1$ мм		
Допуск на ширину провідника	$\Delta t$	±0,03 ±0,05
Без покриття		
З покриттям		
Допуск при розташуванні отворів	$\delta d$	



При розмірі ДП, мм 180 <math>\leq L </math> 360		0,08
Допуск на розташування контактних площадок, мм при 180 <math>\leq L </math> 360	$\delta_p$	0,35
Допуск на розташування провідників	$\delta_l$	0,05

Розрахунок номінального значення ширини провідника проведемо за формулою;

$$t = t_M + |\Delta t_{HO}| \quad (3.4)$$

де  $t_M$  - мінімальна допустима ширина провідника (таблиця 3.1);

$|\Delta t_{HO}|$  - нижнє граничне відхилення ширини провідника (таблиця 3.2);

$$t = 0,15 + 0,05 = 0,2 \text{ мм};$$

Приймаємо  $t = 0,2$  мм.

Розрахунок мінімальної відстані між елементами рисунка провідника визначемо за формулою:

$$S = S_M * \Delta t_{BO} \quad (3.5)$$

де  $S_M$  - мінімально допустима відстань між сусідніми елементами рисунка, що проводить (таблиця 2.2);

$t_{BO}$  - верхнє граничне відхилення ширини провідника (таблиця 3.2);

$$S = 0,15 + 0,05 = 0,2 \text{ мм};$$

Приймаємо  $S = 0,2$  мм.

Розрахунок мінімального діаметра контактної площадки роблять за формулою:

$$D = (d_{MO} + \Delta d_{BO}) + 2 * b_M + \Delta t_{BO} + 2 * \Delta d_{TP} + \sqrt{\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{HO}^2} \quad (3.6)$$

де  $d_{BO}$  - верхнє граничне відхилення діаметра отвору (таблиця 3.2);  $d_{TP}$  - глибина підтравливання діелектрика для багатошарових друкованих плат (приймається рівною 0,03).

$$D1 = (1 + 0,05) + 2 * 0,05 + 0,05 + 2 * 0,03 + \sqrt{(0,08^2 + 0,35^2 + 0,05^2)} = 1,62 \text{ мм};$$

$$D2 = (1,2 + 0,1) + 2 * 0,05 + 0,05 + 2 * 0,03 + \sqrt{(0,08^2 + 0,35^2 + 0,05^2)} = 1,87 \text{ мм};$$

Приймаєм  $D1 = 1,6 \text{ мм}$ ,  $D2 = 1,9 \text{ мм}$ .

Виконаємо розрахунок мінімальної відстані для прокладки  $n$  - ої кількості провідників з контактними майданчиками діаметрів  $D1$  і  $D2$

$$l = \frac{D1 + D2}{2} + t_M * n + S * n + \delta l \quad (3.7)$$

де  $n$  - кількість провідників ( $n = 1$ );

$$l = (1,6 + 1,9) / 2 + 0,15 * 1 + 0,2 * (1 + 1) + 0,05 = 2,2 \text{ мм};$$

За допомогою виконаних розрахунків можна зробити вивід, що відстані між контактними площадками буде достатньо для прокладання одного провідника з

урахуванням обмежень друкованого монтажу. Саме тому підрізати контактні площадки не потрібно.

Після аналізу проведених конструктивно-технологічних розрахунків, можна виділити декілька основних параметрів друкованого монтажу;

- Діаметри перехідних отворів 0,5 мм;
- Діаметри монтажних отворів 1 мм та 1,2 мм;
- Номінальна ширина провідника 0,3 мм;
- Діаметр контактних площадок 1,6 мм та 1,9мм;
- Номінальна відстань між елементами рисунка, який проводить струм, 0,2 мм.

### 3.4 Розрахунок по постійному струму

Опір провідників, перевантажувальна здатність провідників по струму та діелектрична міцність являються дуже важливими показниками електричних друкованих плат.

Розрахуємо перетин провідника сигнального кола:

$$S_{\geq} \rho l * I * l / U_R \quad (3.8)$$

де  $\rho$  - опір провідника  $Om * мм^2 / м$ ;

$h_{\phi}$  – товщина фольги провідника;

$b_{пр}$  – ширина провідника;

$l$  - довжина провідника, м;

$I$  - струм, А.

За допомогою цієї формули порахуємо мінімальний перетин провідника в основній частині.

$$S \geq \rho * I * l / U_R = 0,017 * 0,4 * 0,392 / 0,4 = 0,0066 \text{ мм}^2$$

$$t \geq \frac{S1_c}{h_{TM}} = \frac{0,0066}{0,035} \geq 0,18 \text{ мм} \quad (3.9)$$

З конструкторських міркувань рийmemo ширину провідника в основній частині 0.3 мм.

На контактах реле струм може досягати 10 А, тому визначимо ширину провідника на силових контактах реле за формулою (3.8):

$$S \geq \rho * I * l / U_R = 0,017 * 10 * 0,2 / 0,4 = 0,0085 \text{ мм}^2$$

Ширину провідників визначемо за формулою (3.9):

$$t \geq \frac{S1_c}{h_{TM}} = \frac{0,085}{0,035} \geq 2,42 \text{ мм}$$

З міркувань що до надійності друкованої плати прийmemo ширину провідника 4.5 мм.

Розрахуємо ширину провідника кола живлення і землі при  $U = 220\text{В}$ :

$$S \geq \rho * I * l / (0,015)U. = 0,017 * 0,008 * 0,2 / (0,015 * 220) = 3.5 \text{ мм}^2$$

Мінімальна ширина провідника кола живлення та землі:

$$b \geq \frac{S}{h_{\phi}} = \frac{3.5}{0,035} = 1,1 \text{ мм}$$

Прийmemo ширину кола живлення 2 мм.

Отримані результати показують здатність приладу працювати з точки зору навантаження провідників по току.

### 3.5 Розрахунок по змінному струму

При наявності високочастотних імпульсів в друкованих провідниках через наявність індуктивного опору, індуктивності та ємності провідників можуть з'являтися перехідні перешкоди. За допомогою розрахунку по змінному струмі можна порахувати максимальну довжину провідників та наскільки близько вони можуть бути одне до одного.

Розрахуємо допустиму довжину паралельно розташованих сигнальних провідників:

$$l_{\text{д}} = \frac{0,5 * l_{\text{сд}} * l_{\text{мд}}}{l_{\text{сд}} + l_{\text{мд}}} \quad (3.10)$$

де  $l_{\text{сд}}$  - допустима довжина паралельно розташованих провідників при впливі тільки ємнісного паразитного зв'язку.

$l_{\text{мд}}$  - допустима довжина паралельно розташованих провідників при впливі тільки індуктивного паразитного зв'язку.

Довжину паралельно розташованих провідників розрахуємо за формулою

$$l_{\text{сд}} = \frac{C_{\text{д}}}{C_{\text{п}}} \quad (3.11)$$

Де  $C_{\text{д}}$  – допустима ємність паразитного зв'язку. Вона визначається поміхостійкістю мікросхем ( $C_{\text{д}} = 50$  пФ);

$C_{\text{п}}$  – погонна ємність пФ /см.

Визначити  $C_{\text{п}}$  можна за формулою

$$C_{\text{п}} = K_{\text{п}} * E' \quad (3.12)$$

Де  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт пропорції = 0,2;

$E$  – діелектрична проникність середовища.

Якщо провідники розташовані на поверхні плати,  $E$  рахується за формулою;

$$E' = \frac{E_0 + E}{2} \quad (3.13)$$

Де  $E_0$  – діелектрична проникність лаку або повітря. Якщо друкована плата покрита шаром лаку, то  $E_0 = 4$ ;

$E$  – діелектрична проникність матеріалу плати  $E = 6$ .

Проведемо розрахунок діелектричної проникності плати за формулою (3.13)

$$E' = \frac{4 + 6}{2} = 5$$

Для визначення погонної ємності  $C_{II}$  скористаємося формулою (3.12);

$$C_{II} = 0,2 * 5 = 1 \text{ нФ/см}$$

За формулою (2.13) визначимо допустиму довжину паралельно розташованих провідників при впливі лише ємнісного паразитного зв'язку:

$$l_{сд} = \frac{50 \text{ нФ}}{1 \text{ нФ/см}} = 50 \text{ см}$$

Розрахуємо допустиму довжину паралельно розташованих сусідніх провідників при впливі тільки індуктивного паразитного зв'язку;

$$l_{сд} = \frac{U_{ПВ} - U_0}{\Delta I} \cdot \frac{1}{K_3} \cdot \frac{1}{t_{ЗСР}}, \quad (3.14)$$

де  $U_{ПВ}$  - значення завадостійкості мікросхем В ( $U_{ПВ} = 0,4 \text{ В}$ );

$U_0$  - напруга логічного нуля, наведеного в ТУ, В ( $U_0 = 0,4 \text{ В}$ );

$\Delta I$  - перепад струму в колі живлення при перемиканні ІС ( $= 0,01 \text{ А}$ );

$t_{ЗСР}$  - середній час затримки ( $t_{ЗСР} = 14 \text{ нс}$ );  $K_3$  - коефіцієнт запасу ( $K_3 = 0,7$ )

Для вирішення можна використовувати метод Ньютона. Після трьох кроків вирішення отримуємо, що  $l_{сд} \approx 200 \text{ см}$ .

За формулою (2.12) визначимо допустиму довжину паралельно розташованих сигнальних провідників:

$$l_d = \frac{0,5 * 200 * 50}{200 + 50} \approx 20 \text{ см}$$

Після всіх розрахунків можна зробити вивід що довжина паралельних сигнальних провідників повинна буде менше ніж 20 см.

Конструкторські особливості приладу з точки зору ЕМС:

- Вихідні і вхідні кола повинні бути екранізовані одне від одного або бути максимально далекі одне від одного;
- Провідники нульового кола та кола живлення не повинні мати замкнуту форму.

Розробка друкованої плати та її трасування були виконані в програмі easyEDA.

### 3.6 Розміщення елементів і трасування

Розміщення елементів на друкованій платі здійснено відповідно до ОСТ.4ГО.010.030 і ОСТ.4ГО.010.009. При розташуванні націпних елементів (НЕ) потрібно дотримуватися технічних вимог, що пред'являються до пристрою (автоматизованої збірки, пайки, контролю, ремонтпридатність).

Розташування елементів виконано за допомогою ЕОМ в середовищі графічного редактора easyEDA.

Перш за все на схемі розміщуються елементи з найбільшою кількістю з'єднань. Для зменшення сумарної довжини друкованих провідників елементи розташовані близько до з'єднувачів. Після цього розміщувались елементи з меншою кількістю з'єднань, до тих пір поки не були розміщені всі елементи.

При розробці бажано прагнути до лінійного встановлення елементів для облегшення їх монтажу при автоматизованій збірці. Також елементи розташовувались паралельно по X або Y для облегшення монтажу.

Трасування друкованої плати полягає у визначенні геометрії ДП, що реалізує поєднання електричних компонентів.

Перелік вихідних даних трасування;

- Електрична схема принципова;
- Основні параметри друкованого монтажу;
- Результати компоновання елементів схеми.

При розробці нескладних пристроїв використовується спосіб, при якому для пов'язання між собою електричних компонентів виконується по найменшому шляху. Недоліками цього методу являються;

- Надмірна заплутаність друкованих провідників;
- Збільшення довжини провідників;
- Перехід до багат шарових друкованих плат.

При необхідності друковані провідники можуть переходити на інший бік ДП за допомогою перехідних отворів. При цьому може змінюватись напрямок друкованого провідника. Метод допускає зміну напрямку на кут, кратний 45 до початкового напрямку. Це робиться для того щоб уникнути необґрунтованого збільшення довжини провідного шару. Збільшення довжин трас може досягати 1.4 довжини найкоротшої відстані між коментованими точками, і наявність перехідних отворів є недоліками цього методу.

Трасування друкованого монтажу проводиться у 2 етапи;

- Розводка шин живлення та землі;
- Розводки сигнальних компонентів.

Про розробці ДП шини живлення були розташовані на різних сторонах ДП. Це було зроблено для забезпечення хорошої ємнісної розв'язки між шарами,



високої характеристики друкованого монтажу та найменшого хвильового опору.

Контактні площадки ДП були спроектовані таким чином, щоб забезпечувати максимальну площу контакту друкованого провідника для контактами радіоелементів.

### 3.7. Аналіз і розрахунок технологічності конструкції

Комплексна оцінка технологічності конструкції заснована на визначенні чисельних значень конструкторських та технологічних показників, що характеризують можливість виробництва виробів із застосуванням засобів механізації та автоматизації.

Початкові дані:

схема електрична принципова;

перелік елементів;

розрахунок коефіцієнта стандартизації деталей

$$K_{ст} = \frac{D_{ст}}{D} \quad (3.15.)$$

де  $D_{ст}$  – кількість стандартних деталей у виробі;  $D$  - загальна кількість деталей у виробі.

$$K_{ст} = 26/26 = 1,0$$

розрахунок коефіцієнта уніфікації деталей;

$$K_y = \frac{D_y}{D} \quad (3.16.)$$

де  $D_y$  - кількість уніфікованих деталей у виробі;  $D$  - загальна кількість деталей у виробі.

$$K_y = 0/26 = 0$$

розрахунок коефіцієнта повторення ЕРЕ;

$$K_{\text{повтЕРЕ}} = 1 - \frac{N_{\text{тЕРЕ}}}{N_{\text{ЕРЕ}}} \quad (3.17.)$$

де  $N_{\text{т. ЕРЕ}}$  - загальна кількість типорозмірів ЕРЕ у виробі;  $N_{\text{ЕРЕ}}$  - загальна кількість ЕРЕ.

$$K_{\text{пов. ЕРЕ}} = 1 - 12/26 = 0,54$$

розрахунок коефіцієнта повторення мікросхем;

$$K_{\text{повтІМС}} = 1 - \frac{N_{\text{сх}}}{N_{\text{сх}} + N_{\text{ЕРЕ}}} \quad (3.18.)$$

де  $N_{\text{сх}}$  - загальна кількість мікросхем у виробі;  $N_{\text{ЕРЕ}}$  - загальна кількість ЕРЕ, що входять до складу ІМС.

$$K_{\text{повт. ІМС}} = 1 - (1/(1+26)) = 0,96$$

розрахунок коефіцієнта застосування оригінальних ЕРЕ;

$$K_{\text{повторигЕРЕ}} = 1 - \frac{N_{\text{оригЕРЕ}}}{N_{\text{тЕРЕ}}} \quad (3.19.)$$

де  $N_{\text{ориг. ЕРЕ}}$  – число оригінальних ЕРЕ у виробі;  $N_{\text{т. ЕРЕ}}$  - загальна кількість типорозмірів ЕРЕ.

$$K_{\text{повт. ориг. ЕРЕ}} = 1 - 0/6 = 1$$

розрахунок комплексного показника технологічності конструкції;

$$P_k = \sum_{i=1}^5 k_i \cdot a_j \quad (3.20.)$$

де  $k_i$  – частковий показник технологічності конструкції;  $a_j$  – ваговий показник технологічності конструкції.

$$a_{j1}=0,1; a_{j2}=0,2; a_{j3}=0,1; a_{j4}=0,2; a_{j5}=0,1.$$

$$P_k = \sum_{i=1}^5 k_i \cdot a_j \quad (3.21.)$$

$$P_k = 1,0 \cdot 0,1 + 0 \cdot 0,2 + 0,54 \cdot 0,1 + 0,96 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,1 = 0,446$$

Розрахункове значення  $P_k$  порівнюється з нормативним ДП, який для серійного виробництва змінюється 0,5-0,8. Для настановної серії 0,45-0,75. Досвідчена серія 0,4-0,7. Аналіз показав, що з  $P_k = 0,446$  виробництво є настановним.

### **3.8. Розрахунок надійності елементів друкованої плати з обліком пайки**

Надійність елементів схеми є властивістю пристрою виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у допустимих межах, відповідних прийнятним режимом та умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування.

Інтенсивність відмов пристрою є сума інтенсивності відмов всіх елементів, що входять до нього.

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot N_i \quad (3.22.)$$

де  $\lambda_i$ - Інтенсивність відмови елемента і-ого типу;  $N_i$  - кількість елементів з інтенсивністю відмови  $\lambda_i$

Імовірність безвідмовної роботи пристрою - є ймовірність того, що безвідмовно будуть працювати всі елементи, що входять до цього пристрою.

$$P_{0(t)} = e^{-\lambda_0 \cdot t} \quad (3.23.)$$

де  $e$  - основа натурального логарифму,  $\lambda_0$  - Сумарна інтенсивність відмов всіх елементів схеми,  $t$  - час напрацювання на відмову;  $T$  - середнє напрацювання на відмову.

$$T = \frac{1}{\lambda_0} \quad (3.24.)$$

Годин

$$\lambda_0 = \sum \lambda_i \cdot N_i \cdot K_H \cdot K_T \cdot 10^{-6} \text{ (год}^{-1}\text{)} \quad (3.25.)$$

Де  $K_H$  - коефіцієнт електричного навантаження;  $K_T$  - Коефіцієнт температурного режиму

Контрольовані параметри та формули обчислення коефіцієнтів навантаження для основних електрорадіовиробів (ЕРІ) наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Коефіцієнти навантаження компонентів,  $K_H$ 

Компоненти	Контрольовані параметри		Коефіцієнт навантаження $K_H$			Рекомендовані значення в режимах	
						імпульсний	Статистичний
Мікросхеми	Вхідний	струм		$n$			
	мікросхем,	на		$\sum_{i=1}^n I_{вхі}$	-	-	
	включених			$i=1$			
	виході, $I_{вхі}$			$I_{вих\max}$			
	Максимальний						
	вихідний струм						
	$I_{вих\max}$						
	Число навантажених						
	входів $n$						
Транзистори	Потужність			$P_K / P_{кдоп}$	0,5	0,2	
	,						
	Що розсіюється на						

	коллекторе , $P_k$						
Напіпровідникові діоди	Зворотня напруга $U_o$		$U_o / U_{доп}$		0,5	0,2	
Конденсатори	Напруга на обкладинках $U$	на	$U / U_{доп}$		0,7	0,5	
Резистори	Потужність, що розсіюється $P$		$P / P_{доп}$		0,6	0,5	
Трансформатори	Струм навантаження $I_H$		$I_H / I_{Hдоп}$		0,9	0,7	
Електричні з'єднувачі	Струм $I_k$		$I_k / I_{kдоп}$		0,8	0,5	

Таблиця 3.4. Інтенсивність відмов елементів.

Найменування та тип елемента	$\lambda_i \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1})$	$N_i$	$K_H$	$K_T$	$\lambda_i \cdot N_i \cdot K_H \cdot K_T \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1})$
Мікросхеми:					
АТmega8L-8PU	0,013	1	1	1	0,013
Е30361-L-K-O-W	0,4	1	1	1	0,4
	0,4	2	1	1	0,8
Резистори	0,5	13	0,6	1	3,9
Конденсатори	0,55	3	0,7	1	1,155

Транзистор	0,5	1	1	1	0,5
Кнопки	0,4	2	1	1	0,8
Термопара	0,03	1	0,6	1	0,018
Пайки друкарського монтажу	0,01	24	1	1	0,24
Разом: $\lambda_o = 7,836 \times 10^{-6}, (\text{ч}^{-1})$					

$$P(t) = 2,7^{-7,836} \times 10^{-6} \times 10000 = 0,84$$

$$T = 10^6 / 7,836 = 127616 \text{ (ч)}.$$

Розрахункові значення ймовірності відмови  $Q(t)$ :

$$Q(t) = |1 - 0,99| = 0,01$$

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дипломній роботі було розроблено таймер-терморегулятор температури в приміщенні . Також було обрано технічні параметри елементної бази таймер-терморегулятор температури в приміщенні. У проведеній роботі з аналізу технічного завдання були проаналізовані умови експлуатації розроблюваного пристрою, його застосування й принцип роботи. Основною частиною пристрою є мікросхема.

У конструктивній частині було обрано матеріал друкованої плати. Після вибору матеріалу розраховані параметри таймер-терморегулятор температури в приміщенні та отримані наступні значення:

1. Розрахунок надійності елементів друкованої плати з урахуванням паяння – 127616 год.

2. Габаритні розміри друкованої плати – 100 x 85 мм.

За результатами розрахунків параметрів друкованого монтажу з урахуванням технологічних можливостей виробництва був обраний третій клас точності плати. Конструкторсько-технологічний розрахунок був уточнений перевірочними розрахунками по постійному струму.

Був розрахований комплексний показник технологічності блоку.

Виконані трасування, одержані креслення і конструкторська документація. Креслення друкованої плати й складальне креслення представлені в графічній частині проекту.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Горобец А. И. и др. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы). – К.: Техніка, 1985. – 312 с.
2. Практическое пособие по конструированию РЭА / В.Т.Белинский, А.Б.Грозин ;под ред. К.Б.Круковского-Синевича, Ю.Л.Мазора.-К.:Вища шк., 1992.-494с.
3. Справочник конструирования РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламов. – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с.
4. Шерстнев В. В. Конструирование и микроминиатюризация ЭВА: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
5. Преснухин Л. Н., Шахнов В. А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1986. – 572 с.
6. Технологія и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов /А.П. Достанко, Ш.М.Чабдарова.- М.: Радио и связь, 1989. -624с.
7. Технологія ЭВА, оборудования и автоматизация: учебное пособие для студентов вузов специальности "Конструирование и производство ЭВА" / Алексеев В. Г., Гриднев В. Н., Нестеров Ю. И. и др. – М.: Высшая школа, 1984. – 392 с.
8. Автоматизация и механизация сборки и монтажа узлов на печатных платах / Под ред. Журавского В. Г. – М.: Радио и связь, 1988. – 280 с.
9. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Н. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1976. – 232 с.
- 10.Скрипников Ю.Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов.М.- Энергия,1973.-48с.
- 11.Голенкевич Т. А. Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
- 12.Яншин А. А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА. – М.: Радио и связь, 1983. – 312 с

- 13.Иыуду К.А. Надежность, контроль и диагностика вычислительных систем и машин: Учебное пособие для вузов. -М.: Высш.шк.,1989.-216с.
- 14.Конструирование радиоэлектронной и электронной вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д.Князев, Л.Н.Кечиев. –М.:Радио и связь,1989. –224с.
- 15.Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э. Т. Романычева и др.; Под ред. Э. Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
- 16.Усатенко С.Т., Каченюк Т.К. Выполнение электрических схем по ЕСКД:Справочник.-1989.-325с.
- 17.Методические указания по дипломному проектированию для студентов всех форм обучения специальности 7.091.001 “Производство электронных средств” /Составители М.И. Хиль, А.И. Рязанцев, А.П. Арушанов, Т.И. Лиманский, Е.П. Герасименко, С.Н. Ганжа – Северодонецк, СТИ, 2000. - 64 с.
- 18.Методические указания к выполнению лабораторных работ курсов “Автоматизация технологического проектирования ЭА”, “Автоматизация конструкторско –технологического проектирования БЭА” / Сост. Е.П.Герасименко.- Северодонецк, СТИ, 2000.-57с.
- 19.Руководство по ремонту и каталог запчастей автомобилей ВАЗ-2110, ВАЗ-2111 и ВАЗ-2112 / С.Н.Волгин, А.П.Игнатов, С.Н.Косарев, К.В.Новокшенов, К.Б.Пятков, В.А.Яметов – М.: Издательский Дом Третий Рим, 2000. – 288 с.
- 20.Методичні вказівки до лабораторних робіт із дисципліни “Основи конструювання побутової електронної апаратури” / Автор: Ганжа С.М. – Северодонецьк: СТІ, 2004р. – 40 с.
21. Ткачук К.Н., Сабарно Р.В. и др. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности. –К.: "Выща школа", 1988. – 240с.
- 22.Охрана труда в электроустановках. Под ред. Князевского Б.А. – М.:»Энергоатомиздат», 1983. – 374 с.
- 23.12.0.002-80 ССБТ. Основные понятия. Термины и определения
- 24.12.0.009-76 ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения
- 25.12.1.033-81 ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения

- 26.12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 27.12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 28.12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
- 29.12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
- 30.12.1.012-78 ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности
- 31.12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
- 32.СНиП II-4-79 Естественное и искусственное освещение
- 33.12.1.044-89 ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
- 34.ОНТП 24-86 Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности
- 35.12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
- 36.12.4.009-83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.
- 37.12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
38. Охрана труда в химической промышленности. Учебник для вузов. Под ред. Макарова Г.В. – М.: «Химия», 1989. – 450с.
39. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник, Под ред. Баратова А.Н., в 2-х томах, М.: Химия, 1990.- 244с.
- 40.Добровольский А.А., Переслыцких Ф.Ф.. Пожарная техника. Справочник. К.: Техника, 1981. – 235 с.
- 41.Технико-экономическое обоснование дипломных проектов: Учебное пособие для вузов/ Под ред. В.К. Беплетова – М.: Высш. шк. 1991.
- 42.Методичні вказівки для виконання економічної частини дипломних проектів для студентів факультету КЕТ. – Сєверодонецьк, СТІ, 2010.

### **Список використаних джерел**

1. Агалакова, Л.М., Фрід, А.І., Шаймарданов Ф.А. Самонастроюється коригуючий пристрій постійної часу термоперетворювача // Контрольно-вимірювальна техніка.-Львів: Изд. «Вища школа».-1983 №33.- С.93-98.
2. Добрянський, Г.В., Мартянова Г.С. Динаміка авіаційних ВМД. - М.: Машинобудування, 1989. - 240 с.
3. Кудрявцев, А.В., Петунін, В.І., Шаймарданов, Ф.А. Про підвищення динамічної точності визначення температури газів за турбіною газотурбінного

двигуна // Методи та засоби машинної діагностики газотурбінних двигунів та їх елементів: Тез. доп. Всесоюз. наук. конф. Том 2. - Харків, 1980. - С. 50-51.

4. Подкучаев, В. А. Теорія автоматичного управління (аналітичні методи): підручник для вузів. М.: 2011. 392 с.

5. Принципи побудови та проектування самонастроювання систем управління / Б.М. Петров, В.Ю. Рутківський, І.М. Крутова та інших. – М.: Машинобудування, 1972. – 260 з.

6. Стенін В. А. Елементи систем контролю СЕУ: навчальний посібник 2008р. - 104с.

7. Р.К. Сафіцлін. Основи автоматики та автоматизації процесів: навчальний посібник 2013р.- 187с.

8. В.В. Шершун Авіційні прилади та виснажливі системи.: навчальний посібник 1970р. -168С.

9. Температурні виміри: Довідник / О. А. Геращенко, О. М. Гордов, Б. І. Стадник, В. І. Лах, Я. Т. Луцик, Н. А. Яришев, А. К. Єрьоміна. - К.: Наук. думка, 1989. - 494 с.

10. "What is Pyrometer: Working Principle and Its Types". URL: <https://www.elprocus.com/what-is-pyrometer-working-principle-and-its-types> (дата доступу 18.05.2020).

11. Application of Thermo-Fluidic Measurement Techniques. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012809731100006X> (дата доступу 25.05.2020).

12. Високоточний терморегулятор для термостата на ШІМ-контролері. URL: <http://radioamator.ru/avtomatika/termoregulatory-termostaty/1815vysokotochny-termoregulyator-dlya-termostata-na-shimkontrollere>

13. Плата Arduino UnoR3: схема, опис, підключення пристроїв. URL: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/>