

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ РЕГУЛЮВАННЯ  
ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОПОБУТОВОЇ  
ТЕХНІКИ

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма «Електропобутова техніка»

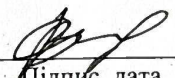
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
2 курсу група ЕТм-24

  
Підпис

Демко А.С.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Смутко С.В.

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. О.Тимошук  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

10 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і агрегатів, електромеханіки та енергетики

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 Електрика інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Спеціалізація \_\_\_\_\_

Освітня програма "Електропобудова техніка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

10 . 12 . 2025р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Демко Андрій Сергійович  
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка пристрою регулювання температури електропобудової техніки

керівник роботи Сидяк С.В., к.т.н., доц  
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи температурні режими побудових кроцесів

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

Вступ. 1. Оцінка та розбір наявних способів і інструментів для створення оперативних команд викидання та підтримки теплової режими. 2. Аналіз автоматизованого процесу вимірювання температурної режими. 3. Створення узагальненого для автоматизованого керування тепловою показниками побудових пристроїв. Висновки. Перелік джерел посилань. Додатки.

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

1. Способи теплообміну ДД
2. Алгоритм мікропроцесорного керування пристроєм вимірювання температури РР
- 3,4,5 пристрій автоматизованого регулювання температури ЕЗ
6. Система автоматизованого регулювання температури Е1
- Пристрій для контролю та регулювання температури Е1
- Пристрій автоматизованого регулювання температури Е1

### 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Збір та аналіз матеріалів за темою кваліфікаційної роботи	Вересень 2025	
2. Розробка алгоритму роботи програми	Вересень - жовтень 2025	
3. Розробка схеми електричної приймальної	Жовтень 2025	
4. Розробка календарної програми	Жовтень - листопад 2025	
5. Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	Листопад - грудень 2025р.	

Студент



Підпис

A. C. Демко

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис

C. B. Слутко

Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
освітньої програми Електропобутова техніка

1. Прізвище, ім'я та по батькові Демко Андрій Сергійович

2. Тема магістерської роботи Розробка пристрою регулювання температури електропобутової техніки

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Служко С.В., к.т.н., доцент

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 73

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: Вступ. 1. Оцінка та розбір наявних способів і інструментів для створення електронних каскадів визначення та підтримання температурного режиму. 2. Аналіз способів процесу вимірювання температурного режиму. 3. Створення устаткування для автоматизованого керування температурними показниками побутових приладів. Висновки. Перелік джерел посилань. Додатки.

Підпис студента 


" 23 " грудня 2025 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 5 від "29" 12 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 90/86  
Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -

Технічний секретар Буняк Л.В. 

" 29 " 12 2025 р.

## Зміст

	стор.
Вступ.....	6
1 Оцінка та розбір наявних способів і інструментів для створення апаратурних комплексів визначення та підтримання теплового режиму	8
1.1 Ключові ознаки, котрі стосуються концепції теплоти .....	8
1.2 Міри тепла та їхні позначення .....	12
1.3 Робота термометричних апаратур .....	14
1.4 Структурні схеми для визначення та контролювання тепла .....	17
1.5 Висновки до розділу .....	33
2 Аналіз автоматичного процесу вимірювання температурного режиму	35
2.1 Модель універсального вимірювача температури .....	33
2.2 Створення схем керування на основі мікропроцесорів для апаратури, що призначена для вимірювання теплових параметрів .....	39
2.3 Висновки до розділу .....	44
3 Створення устаткування для автоматичного керування тепловими показниками побутових приладів .....	46
3.1 Аналіз систем автоматизованого керування тепловими показниками .....	46
3.2 Розробка структурної схеми системи автоматичного контролю температури .....	48
3.3 Створення електричної принципової схеми системи для автоматичного контролю температури .....	50
3.4 Створення програмного забезпечення для автоматизованих температурних контрольних систем .....	59
3.5 Висновки до розділу .....	60

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка пристрою регулювання температури електропобутової техніки  Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Архувів
Розроб.		Демко А.С.					4	86
Перевір.		Смитко С.В.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Неймак В.С.						ХНУ. ЕТМ-24-1

Висновки .....	69
Перелік джерел посилання .....	70
Додатки .....	73

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Показник теплового стану, тобто температура, є однією з тих фізичних величин, які фіксуються найчастіше. Термодатчики, своєю чергою, становлять собою одну з найсуттєвіших категорій сенсорів, їхня значущість навіть вважається першорядною.

Вкрай важливо брати до уваги температурний режим у процесі контролю численних як природних, так і створених людиною явищ. Апаратура для вимірювання та підтримки заданої температури широко інтегрована у сферу техніки, а саме:

- у системах, призначених для обігріву приміщень;
- у різноманітних електронагрівальних пристроях;
- в охолоджувальному обладнанні, як-от холодильники та морозильні камери, а також під час промислового виготовлення;
- в процесі створення високочистих компонентів для інтегральних мікросхем;
- широкому колі інших виробничих та технологічних операцій;
- коли здійснюються наукові дослідження та досліди.

Зважаючи на велику кількість різноманітних завдань, де життєво необхідно володіти інформацією про температурні показники об'єктів, виникла потреба у створенні цілого спектру температурних сенсорів, призначених для різних цілей.

Добре відомими є ті перетворювачі температури, що функціонують шляхом зміни електричних параметрів, приміром, опору чи напруги. На часі, завдяки поступу в сфері електроніки та комунікаційних технологій, значно зросла популярність датчиків, які видають вихідний сигнал у цифровій формі. Застосування температурних сенсорів нерозривно пов'язане із необхідністю створення апаратури для роботи з їхніми вихідними даними. Таке обладнання

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

служує для маршрутизації сигналів від датчиків до систем керування (автоматики), а також для трансформації цих сигналів у формат, що легко сприймається оператором, наприклад, для відображення їх на індикаторах.

Окрім прямих термометричних вимірювань, температура може слугувати критерієм для опосередкованого визначення інших характеристик. Це стосується, скажімо, швидкості руху рідинних або газоподібних середовищ, а також урахування її впливу на такі властивості, як тиск, лінійні розміри чи об'єм.

Збільшення кількості виробників та розширення асортименту продукції, призначеної для фіксації, вимірювання, модифікації, опрацювання та контролю температурних режимів, однозначно підтверджує високу значущість цієї тематики.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

# 1 ОЦІНКА ТА РОЗБІР НАЯВНИХ СПОСОБІВ І ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ АПАРАТУРНИХ КОМПЛЕКСІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПІДТРИМАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

## 1.1 Ключові ознаки, котрі стосуються концепції теплоти

Температура — це фізична величина, яка слугує мірою теплового стану об'єкта. [1]. Співвідношення, що описує зв'язок між середньою кінетичною енергією трансляційно рухомих молекул та абсолютною температурою ідеального газу, задається формулою [2]

$$E = (3/2)kT, \quad (1.1)$$

де  $k = 1,380 \cdot 10^{-23}$  Дж·К<sup>-1</sup> – постійная Больцмана;

T – абсолютна температура тіла, К.

Коли об'єкти з різними тепловими станами стикаються, відбувається процес узгодження їх енергетичних рівнів, що, зрештою, веде до вирівнювання температур. Це означає, що об'єкт, який володіє більшою внутрішньою енергією, віддає частину цієї енергії об'єкту з нижчим температурним показником. З огляду на це, температура слугує характеристикою, що відображає як якісний, так і кількісний аспекти явищ теплообміну та перенесення тепла.

На протипагу таким фізичним характеристикам, як довжина чи маса, температура не є величиною екстенсивного (залежного від кількості) типу, а радше інтенсивною (активною чи інтенціональною) властивістю. Наприклад, якщо однорідне тіло розрізати навпіл, його маса також зменшиться вдвічі. Температура ж такою адитивною властивістю не володіє. Іншими словами,

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

якщо якась система досягла теплової рівноваги, кожен її елемент матиме ідентичний температурний рівень.

Серед семи фізичних величин, чії одиниці вимірювання були офіційно закріплені як фундаментальні на Генеральній конференції з мір та ваг, помітне місце займає температура. Її можна визначити як фізичну характеристику, що вказує на стан термодинамічної рівноваги певної замкненої системи, усі складові якої знаходяться у взаємному тепловому зв'язку. [3]. Коли система досягає стану рівноваги, вважається, що всі її складові частини мають однакову теплоту. У ситуації, коли система не врівноважена, між її фрагментами з різними тепловими показниками відбувається передача тепла. Вищу температуру характеризують ті об'єкти, чії молекули та атоми володіють більшою середньою кінетичною енергією. Наразі не існує загальновизнаних теоретичних конструкцій, здатних точно обчислити температурні параметри справжніх речовин чи матеріалів. Отже, явище теплової врівноваженості, яке є основою концепції температури, встановлюється шляхом емпіричних досліджень. Повна точність визначення теплової рівноваги досяжна лише для абстрактних систем. Як наслідок, ця фізична величина не може бути виміряна напряму, для неї неможливо встановити шкалу, пройти градування, нормування тощо.

Сформувати температурну шкалу можна двома способами: аналітичним та прикладним. Аналітичний підхід спирається на положення, що описують ідеальний газ, та принципи статистичної термодинаміки. Теоретично, теплота визначається як часткова похідна енергії об'єкта відносно його ентропії, спираючись на другий принцип термодинаміки. Температура, визначена таким чином, завжди має додатне значення; її іменують абсолютною або термодинамічною (позначається великою літерою  $T$ ). [4]. Шкала, що має відповідність до потреб, іменується термодинамічною температурною шкалою; вона слугує для опису теплового стану систем, котрі підкоряються загальновідомим чи навіть гіпотетичним (ідеалізованим) термодинамічним

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

принципам. Через це, застосування такої шкали для безпосереднього вимірювання температури утруднене.

Натомість, для практичних вимірювальних потреб розроблено та застосовується шкала, яка максимально точно відтворює термодинамічну температурну шкалу. Ця практична система відома як Міжнародна практична температурна шкала (МПТШ). [5]. Практична температурна шкала, що спирається на відтворювані рівноважні стани – так звані реперні точки. Одним із фундаментальних еталонів для визначення температури слугує платиновий термометр. Його завдання полягає у встановленні температурних значень у проміжках між цими реперними точками. Розрахунок температурного значення стає можливим, якщо відомий електричний опір платинового дроту. Еталонний платиновий термометр дає змогу відтворити температурну шкалу в діапазоні від 13,81 до 903,89 К.

Особливістю визначення температури є те, що це не є параметричною величиною, а радше активною характеристикою. На відміну від таких величин, як маса чи довжина, температура не володіє адитивністю. З огляду на це, її величину можна визначити лише шляхом реєстрації певних параметрів об'єктів (термометрів), котрі змінюються залежно від температури. Кожного разу, коли виконується процедура вимірювання, критично важливо забезпечити досягнення стану термодинамічної рівноваги між системою, температуру якої вимірюють, та самим вимірювальним приладом (термометром). [6].

Абсолютного еталону температури як такого не дано. Отже, вимірювання температурного показника можливе лише опосередковано, спираючись на ті фізичні характеристики об'єктів, які реально можна виміряти, і які залежать від цієї самої температури. Такі характеристики іменують термометричними. До них належать такі параметри, як довжина, об'єм, густина, термоелектрорушійна сила (ЕРС), електричний опір та низка інших. Пристрої, призначені для вимірювання температури, відомі як термометри.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перший апарат для визначення температури був представлений Галілеєм у 1598 році. Згодом термометри були вдосконалені працями М.В. Ломоносова та Фаренгейта, і тоді ж постали температурні шкали, зокрема Цельсія та Кельвіна. Вибір конкретної температурної шкали диктувався тими еталонними (реперними) точками, які були обрані за основу. Зміна термометричної властивості між вибраними реперними точками зазвичай наближено описувалась як лінійна залежність, хоча реальність цього твердження є дещо умовною. У 1848 році Кельвін запровадив термодинамічну шкалу, незалежну від фізичних властивостей речовин, але на практиці вона не набула значного поширення для щоденних вимірювань.

Насправді, перелік методів вимірювання, що реально використовуються, досить скромний, і останнім часом суттєво нових підходів у цій сфері практично не з'явилося; хіба що кварцовий термометр можна вважати новинкою, хоча у сфері вимірювання температури певний прогрес усе ж таки простежується. По-перше, сучасні електронні системи для обробки сигналів від вимірювальних приладів несподівано дали потужний імпульс динамічному вдосконаленню електричних термометрів контактного типу. Разом із цим, вони уможливили фіксацію навіть незначних потужностей випромінювання від об'єктів з невисокою температурою, використовуючи пірометри радіаційного принципу дії. По-друге, завдяки новітнім технологічним розробкам стало можливим виробництво сенсорних компонентів електричних контактних термодатчиків мікроскопічних габаритів. Це позитивно позначилося як на мінімізації зовнішніх збурень – викривлень теплового поля навколо датчика, так і на швидкості самого процесу вимірювання. На сьогоднішній день методика фіксації низьких температур уже перемістилася з царини наукових розробок у площину повсякденної практики.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 1.2 Міри тепла та їхні позначення

Вимірювання температури здійснюється відповідно до заданих температурних шкал. Під температурною шкалою ми розуміємо визначений функціональний числовий взаємозв'язок між температурою та величиною вимірювальної термометричної властивості. Звідси випливає, що температурну шкалу можна сконструювати, спираючись на будь-яку обрану термометричну властивість. Водночас, не існує такої термометричної властивості, яка б демонструвала лінійну зміну пропорційно до коливань температури у значному діапазоні.

На сьогодні для практичного застосування актуальною є Міжнародна практична температурна шкала зразка 1968 року. Вона базується на шести головних (первинних) та значній кількості додаткових (вторинних) еталонних точок, які відображають природні температури фазових переходів (переважно – точки кристалізації та точки кипіння), а також на рівняннях інтерполяції, що застосовуються у проміжках між цими точками. [6].

Орієнтирні значення температури являють собою фіксовані температурні позиції для конкретних субстанцій у стабільному стані, які можна повторити з високою точністю у будь-який момент. Для визначення проміжних значень між цими опорними точками застосовуються калібрувальні прилади, такі як платинові термометри опору, термоелектричні термометри (термопари), виготовлені з платинородієвих та платинових електродів, а також оптичні пірометри. Параметри, що фігурують у їхніх інтерполяційних формулах, можуть бути встановлені за допомогою цих еталонних точок (чи то державною метрологічною службою, чи самими виробниками обладнання).

Залежно від того, яке температурне значення приймається за нульову позначку, формується або шкала Кельвіна, або шкала Цельсія.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

Термодинамічна шкала Кельвіна стартує від абсолютної нульової точки і позначається символом Т. Базовою одиницею для вимірювання різниці температур (температурного інтервалу) є 1 Кельвін [К]. Одиниця 1 Кельвін [К], згідно її визначенню, відповідає 1/273,16 частці від термодинамічної температури потрійної точки води, величина якої практично не зазнає впливу зміни тиску:

$$1K = (T_{\text{потрійної точки}} - T_{\text{абсолютного нуля}}) / 273,16. \quad (1.5)$$

Система вимірювання Цельсія бере за свій початок місце, де лід перетворюється на рідину, і позначається символом t. Нульове значення за цією шкалою розташоване на 273,15 До вище абсолютної нульової позначки та на 0,01 К нижче потрійної точки, де вода перебуває у всіх трьох агрегатних станах, що являє собою одну з ключових еталонних меж. Значення, при яких вода закипає та лід плавиться, залежать від величини тиску p; якщо ж p дорівнює p<sub>0</sub>=1,013 бар, то ступінь за шкалою Цельсія встановлюється як

$$1^{\circ}C = (t_{\text{точка кипіння}} - t_{\text{таяння}}) / 100. \quad (1.2)$$

Одиницею шкали є градус Цельсія [З], рівний по величині Кельвіну [К].

З урахуванням вищевикладеного чисельне співвідношення має вигляд

$$t_{[^{\circ}C]} = T_{[K]} - 273,15. \quad (1.3)$$

У країнах, де мовою спілкування є англійська, доволі поширеним є застосування температурних шкал за Ренкіним [R] та Фаренгейтом [F]. Перехід між числовими показниками цих шкал здійснюється відповідно до таких правил перерахунку:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$t_{[^{\circ}C]} = \frac{5}{9}(T_{[K]} - 32) \text{ або } T_{[^{\circ}F]} = \frac{5}{9}(T_{[^{\circ}C]} + 32);$$

$$T_{[K]} = \frac{5}{9}T_{[^{\circ}R]} \text{ або } T_{[^{\circ}R]} = \frac{5}{9}T_{[K]}. \quad (1.4)$$

На сьогоднішня у множині промислових секторів залучається кількадесят різноманітних методів визначення теплового стану.

Апарат, призначений для контактного вимірювання температурного параметра, іменується термометром. У випадку, коли тепло визначається завдяки реєстрації електромагнітного випромінювання розігрітого об'єкта, такий прилад зветься пірометром.

### 1.3 Робота термометричних апаратур

Перш за все, важливо провести чітку межу між вимірювальними температурами методами, що застосовуються у наукових колах, та тими, що використовуються безпосередньо у виробничих умовах та промисловості. У процесі наукових розробок, де оперують термодинамічною шкалою температур, дослідники вдаються до газової, акустичної, шумової або магнітної термометрії. Додатково, у процесі визначення температури можна задіяти будь-які фізичні характеристики об'єктів чи матеріалів, чия величина змінюється залежно від температурного режиму.

Усі існуючі підходи до вимірювання температури, що використовуються у термометрії, загалом поділяються на дві великі категорії: ті, що вимагають безпосереднього контакту, та ті, що здійснюються дистанційно. [6]. Неметричні методи визначення температури об'єкта базуються на замірах його випромінювання, звідси й інша назва таких підходів — радіаційні. Увесь спектр термометрів, окрім тих, що функціонують на основі фотоєфекту, працює за принципом теплопередачі до чутливого елемента. Це призводить до

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

досягнення теплової рівноваги між об'єктом і приладом, що й дозволяє встановити його температуру.

Принцип роботи механічних контактних термометрів ґрунтується на зміні габаритів речовини під впливом тепла. Дилатометри використовують розширення металевого стрижня при нагріванні, їхній діапазон застосування становить від мінус тридцяти до плюс ста п'ятдесяти градусів Цельсія. Біметалічні конструкції експлуатують різницю в термічному розширенні двох різних металів, що дає змогу охопити температури від мінус п'ятдесяти до шестисот градусів Цельсія. При купірувальному налаштуванні механічних термометрів можна досягти точності вимірювань від одного до трьох відсотків. У рідинних моделях задіяний ефект зміни об'єму рідини залежно від теплового режиму; різні рідини дозволяють працювати в широкому інтервалі — від мінус двохсот до тисячі градусів Цельсія. Дискретність шкали встановлюється відповідно до потрібної точності та діапазону, варіюючись дорівнюючи 0,1; 0,2; 0,5 або 1 Кельвіну.

Газові термометри слугують для реалізації термодинамічної шкали, демонструючи точність до однієї мілікельвіна в межах від мінус двохсот шістдесяти восьми градусів Цельсія (для гелію) та мінус ста сорока семи градусів Цельсія (для азоту) до плюс п'ятисот градусів Цельсія. Оскільки робочими речовинами є гази, близькі до ідеальних за властивостями, вони здатні забезпечити високу точність у наукових дослідженнях. Проте, витрати на розробку та подальше обслуговування таких приладів є значними. Залежно від конструктивного оформлення, похибка газових термометрів у промислових умовах вимірювання температури коливається від одного до трьох відсотків.

Для визначення температури за допомогою електричних контактних методів задіюють термометри опору та термопари. Термометри опору знаходять застосування у різних температурних межах, причому платинові термометри вирізняються найбільш значним діапазоном: від мінус 180 до плюс 850 градусів за Цельсієм. Точність показань, що забезпечується термоопорами,

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

сягає 0.1–0.5%. Окрему категорію серед термометрів опору становлять напівпровідникові терморезистори, робочий діапазон яких лежить у межах від мінус 100 до 400 градусів за Цельсієм. Дія термоелектричних датчиків базується на генерації різниці електричних потенціалів між двома різними металами, величина якої прямо залежить від температури. Термопари ефективні у межах від мінус 250 до 1600 градусів за Цельсієм. До електричних контактних способів також відноситься вимірювання за допомогою кварцових термометрів, принцип роботи яких ґрунтується на зміні резонансної частоти кварцового кристала відповідно до температури. Тут діапазон вимірювань обмежений: від мінус 80 до 250 градусів за Цельсієм, при цьому абсолютна похибка становить 0.02 К, а рівень нелінійності не перевищує 0,05%.

У сферах, де очікуються високі температури, застосовують пірометри — оптичні, що охоплюють діапазон від плюс 650 до 2500 градусів за Цельсієм, та радіаційні, які демонструють найширші вимірювальні межі: від мінус 50 до 2000 градусів за Цельсієм, а іноді й більше. [5].

Калібрування температурних датчиків робиться через зіставлення їхніх показників з даними еталонного приладу. Для цього застосовують спеціальне випробувальне обладнання – калібрувальні ванни або термостати. Завдяки цим пристроям можна стабільно підтримувати потрібний температурний режим протягом тривалого часу, змінюючи його в заданих робочих межах.

Методика вимірювання за допомогою електричних контактів охоплює ті температурні діапазони, з якими ми стикаємося як у повсякденному житті, так і в галузі невеликого промислового виробництва. Прикладами таких сфер є кондитерські цехи, холодильне обладнання, а також виробництво таких матеріалів, як асфальт чи бетон, та подібні виробництва.

					<i>MPMA 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

## 1.4 Структурні схеми для визначення та контролювання тепла

Створення апарату для вимірювань стартує від підбору датчика, що перетворює фізичну характеристику на електричний сигнал, та визначення необхідних компонентів для подальшої роботи з цим заміром.

У вісімдесятих роках минулого століття значної популярності набули вимірювальні системи, у яких були інтегровані керуючі міні-комп'ютери, відповідальні за фіксацію сигналів, регулювання ходу дослідження, збереження калібрувальних коефіцієнтів та аналіз зібраних даних. [6]. Ці системи спершу знаходили своє застосування переважно у сфері наукових студій. Сьогодні, завдяки суттєвому прогресу в сфері електронних обчислень та відповідних технологій, сучасні мікроконтролери здатні інтегруватися в широкий спектр промислових приладів для вимірювання, виконуючи ідентичні задачі щодо реєстрації даних, обробки сигналів та контролю за об'єктами.

Зосередимось на ключових аспектах, які потребують вирішення під час удосконалення схем вимірювання теплових параметрів та конструкцій приладів. Насамперед, це стосується вибору та належного обґрунтування застосовуваного методу вимірювання. З огляду на принципи визначення температури, що були розглянуті раніше, можна виділити як контактні, так і безконтактні підходи, які, своєю чергою, поділяються залежно від типу сенсора: електричні, механічні, пірометричні чи радіаційні перетворювачі. Другим важливим чинником є швидкодія та метрична точність (допустима похибка) вимірювань.

Конструктивні рішення приладу певним чином детерміновані межами діапазону температурних значень (або іншої теплової величини, що підлягає вимірюванню). Переважна більшість термометрів опору розробляється для роботи в межах від нуля до чотирьох сотень градусів Цельсія, тоді як електронні сенсори ефективні у проміжку від мінус п'ятдесяти до двохсот градусів за Цельсієм. Для роботи у високотемпературних умовах (до тисячі

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

градусів Цельсія) можуть бути використані специфічні пристрої, як-от терморезистори та термопари на базі платини та її сплавів. Ще одним аспектом у проєктуванні апаратури для вимірювання теплоти є визначення габаритів та ступеня дрібнодисперсності середовища, де відбувається відбір проби. Цей параметр має прямий вплив на динамічні характеристики вимірювання та час затримки, спричинений транспортуванням сигналу. Він змінює відповідність реальної роботи приладу до теоретичної теплофізичної моделі.

Термальні апарати мають властивість інерційності та затримки, що призводить до досить тривалого часу перехідних станів. Суть задачі керування температурою у цих пристроях полягає у контролі над тепловим потоком, який передається від теплоносія через огорожувальні конструкції безпосередньо до нагріваного елемента. Найчастіше застосовуваним методом керування є підтримання заданого температурного рівня апаратів через маніпулювання обсягом спожитої електричної енергії.

У більшості ситуацій для здійснення контролю над виробничими процесами активно використовуються системи автоматичного керування (САК). [9]. Призначення САК полягає - Збереження встановлених установок фізичних величин, які детермінують хід технологічної процедури. САК являє собою об'єднання об'єкта та апаратури для автоматизації, центральним елементом якої виступає самочинний керуючий пристрій. Величину, яку необхідно тримати на фіксованому значенні у ході операції, іменують змінною, що підлягає регулюванню.  $x_{вих}$ .

Контролер автоматичний підтримує встановлене значення контрольованої величини та генерує керуючий сигнал  $\mu$ , котрий впливає на об'єкт з метою нейтралізації впливу збурень. У випадку, коли фактичне значення контрольованої величини не збігається із заданим, їхня розбіжність формує регульовальну похибку.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Призначення автоматичного контролера полягає у досягненні потрібної якості регулювання. Вибір контролерів здійснюється з огляду на особливості регульованих об'єктів.

Ключовою властивістю, що характеризує контролер, є його закон регулювання. Цей закон демонструє, як саме реалізується регулюючий вплив  $\mu$  регулятора на об'єкт залежно від відхилення регульованого параметра  $\Delta x$ . З огляду на принцип реагування, регулюючі пристрої класифікують на такі, що мають неперервну та переривчасту (дискретну) дію. Регулятори з неперервним керуванням забезпечують плавне регулювання, що залежить від безперервної зміни показника контрольованої величини. Натомість, регулятори з дискретним керуванням коригують свою дію лише тоді, коли контрольований параметр досягає заздалегідь визначених порогових значень.

Далі проаналізуємо структурну схему системи автоматичного керування, зображену на рис. 1.1. На вузол зіставлення (ЕП) подається імпульс заданого  $x_{вх}$  та дійсного  $x_{вих}$  значень регульованої змінної. Сигнал відхилення  $D_X = x_{вх} - x_{вих}$  поступає на модуль, що складається з підсилювача сигналу (ПС) та елемента керування (ВУ). За його допомогою формується керуючий сигнал згідно з законом регулювання, та ланцюг від'ємного зворотного зв'язку (ПЗЗ), який відповідно може бути підсилювачем або більш складним елементом.

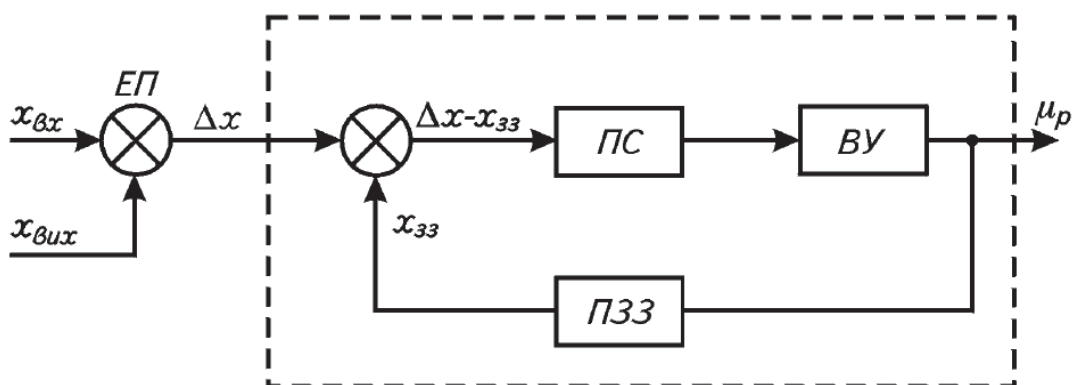


Рисунок 1.1 - Структурна схема автоматичного регулятора

Окрім об'єкта регулювання (ОР), автоматична система керування (АР) містить низку інших складових елементів, до яких, звісно, входить і вимірювальний прилад. До ключових із них належать автоматичний контролер (АР), виконавчий пристрій (ВМ) та регулюючий орган (РО).

Автоматичний коректор – це апарат, що генерує керівний вплив, дотримуючись визначеної схеми керування, та доводить його амплітуду до рівня, потрібного для взаємодії з виконавчими ланками.

Підсилювач являє собою компонент, де початковий та кінцевий параметри належать до однієї фізичної категорії, завдання якого — змінити кількісно вхідний параметр. Зміна вихідного імпульсу цього пристрою порівняно із вхідним реалізується завдяки використанню додаткової енергії, що має ту саму фізичну сутність, отриманої з допоміжного джерела. Підсилювачі класифікують за типом енергії на: механічні, гідродинамічні, пневматичні, електронні, магнітні та подібні. В системах автоматичного регулювання вельми часто знаходять застосування реле.

Реле визначається як апарат, у якому кінцевий параметр змінюється дискретно, коли вхідний параметр сягає певної границі. Оскільки за своєю природою, динамікою зміни та потужністю вхідні та вихідні величини є різнорідними, реле виступає одночасно як пристрій для трансформації та як підсилювач сигналів. Залежно від типу вхідного впливу, реле поділяються на: електромагнітні, пневматичні, гідравлічні, термічні, фотоелектричні, часові та інші. Серед усіх видів реле на даний момент найбільш затребуваними є електромагнітні.

Сучасні засоби контролю технічних процесів спираються на апаратуру мікропроцесорного типу та електронно-обчислювальні машини. Мікропроцесор являє собою програмоване цифрове обладнання, розроблене з метою опрацювання даних та регулювання процесу опрацювання. Його функціонування реалізується на одній чи сукупності інтегральних плат. Для реалізації функцій збору, аналізу інформації та впливу на керований об'єкт,

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

потрібно сформувати мікропроцесорний комплекс. У цьому комплексі ключова роль відводиться мікропроцесору, а також пристрою зберігання даних (ПЗ), інтерфейсу введення-виведення (ПВВ) та допоміжним вузлам.

Відомості, призначені для первинної обробки у мікропроцесорному комплексі (МПК), подаються у цифровому форматі, придатному для завантаження до МПК. З огляду на це, при побудові автоматизованої системи на основі МПК, невіддільною частиною стають апарати для взаємодії з об'єктом регулювання (ПЗО). Його місія полягає у автоматизованій трансформації даних, що отримуються від сенсорів, розміщених на керованих об'єктах (КО), а також у зворотному процесі передобробки командних сигналів, генерованих МПК, у форму, що є потрібною для керування виконавчими елементами, інсталюваними на об'єкті регулювання.

Слід уважно звернути увагу на те, що теплові системи властиві інерційність та часові затримки, що, своєю чергою, призводить до досить тривалих перехідних станів. Суть завдання керування температурним режимом у різноманітних пристроях полягає у моніторингу та зміні теплового потоку, що проходить через стінку від теплоносія до матеріалу, який підлягає нагріванню. У побутових електронагрівальних приладах найчастіше застосовується підхід, коли температуру в апараті підтримують стабільною, змінюючи при цьому обсяг споживаної електричної потужності.

Проведемо аналіз вже відомих варіантів конструкцій систем автоматичного регулювання температури.

У сфері технічних рішень давно застосовується електронний пристрій для контролю температури [7], Те, що стосується електротехніки й додатне для автоматизованого контролю та чіткого утримання встановленої температури у виробничих апаратах різноманітного технологічного призначення.

Схема блоку керування (як показано на рис. 1.2) складається з таких ключових компонентів: 1 – блок перетворення на трансформаторі; 2 – блок

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

випрямлення струму; 3 – блок стабілізації електричної напруги; 4 – блок синхронізації часових інтервалів; 5 – блок усунення зміщення (обнулення); 6 – блок генерації імпульсів; 7 – блок введення числового значення (задавання цифри); 8 – блок перетворення даних у цифровий формат; 9 – блок керування тиристором (семістором); 10 – сам тиристорний (семісторний) блок; 11 – блок зчитування показників теплового датчика; 12 – блок посилення сигналу; 13 – блок встановлення бажаної теплової величини; 14 – блок вибору вхідних сигналів (мультиплексор); 15 – блок зіставлення даних (порівняння); 16 – тригерний блок; 17 – блок генерації коливань (вібратор); 18 – блок керування роботою мультиплексора; 19 – блок відображення інформації (індикації); 20 – блок нагрівального елемента.

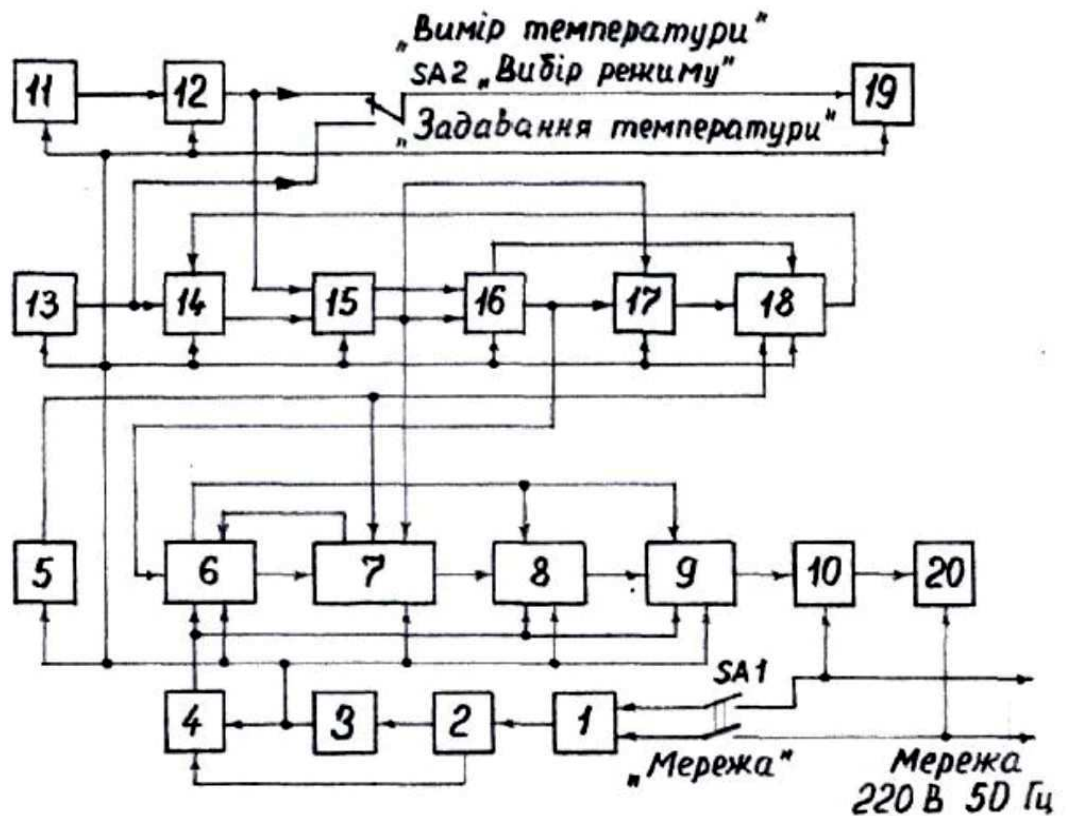


Рисунок 1.2 - Електронний регулятор температури [7]

У цю температурну регулюючу апаратуру додатково інтегровано та послідовно з'єднано наступні компоненти.

Датчик температурного вузла підключено до входу підсилювального вузла; підсилювальний вузол – до мінусового входу вузла компаратора; вихід пуску компаратора – до входу пуску спускового вузла (тригера); вихід дозволу тригера – до першого входу дозволу генераторного вузла; вихід низькочастотних імпульсів генератора – до входу підрахунку лічильників вузла цифрового налаштування; паралельні виходи лічильників цифрового налаштування – до паралельних входів лічильників вузла цифрового перетворення; вихід переносу лічильників цифрового перетворення – до входу відновлення вузла керування симістором; вихід вузла керування симістором – до входу симісторного вузла. При цьому: вихід підсилювального вузла також з'єднано через перші контакти перемикача "Вибір режиму" у режимі "Вимірювання температури" з входом індикаційного вузла; вихід вузла задавання температури з'єднано через другі контакти перемикача "Вибір режиму" у режимі "Задавання температури" з входом індикаційного вузла; вихід вузла задавання температури також підключено до інформаційного входу мультиплексорного вузла; інформаційний вихід мультиплексора з'єднано з плюсовим входом компаратора; вихід пуску компаратора також підключено до входу прямого та зворотного рахунку імпульсів лічильників вузла цифрового налаштування, а також до входу дозволу одновібраторного вузла; вихід відновлення компаратора підключено до входу відновлення спускового вузла; вихід дозволу тригера також з'єднано з входом пуску одновібраторного вузла; вихід зміни напрямку підрахунку імпульсів тригера підключено до входу прямого та зворотного рахунку імпульсів лічильника вузла керування мультиплексором; імпульсний вихід одновібраторного вузла підключено до входу підрахунку лічильника вузла керування мультиплексором; паралельні виходи лічильника вузла керування мультиплексором підключено до паралельних входів мультиплексорного вузла; вихід переносу лічильників цифрового налаштування з'єднано з другим входом дозволу генераторного вузла; вихід вузла обнулення підключено до входу обнулення лічильників

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

цифрового налаштування та до входу обнулення лічильника вузла керування мультиплексором; незгладжений вихід випрямного вузла підключено до входу формування синхроімпульсів вузла синхронізації; вихід сформованих синхроімпульсів вузла синхронізації з'єднано з входом синхронізації генераторного вузла, також з входом фіксації запису інформації лічильників цифрового перетворення та з входом пуску вузла керування симістором; вихід високочастотних імпульсів генератора підключено до входу підрахунку лічильників цифрового перетворення та до входу заповнення вузла керування симістором.

Ключовою метою розробки цієї системи є досягнення збільшення терміну служби об'єднаних нагрівальних приладів; розширення межі регульованих значень; забезпечення плавної (під час набору температурного значення), пропорційної, а також миттєвої (при досягненні температури 50 градусів) регуляції; а також спрощення та підвищення зрозумілості інтерфейсу керування.

Раніше відомий регулятор температури [8]. На схемі (рис.1.3) Представлено термоголове устаткування, що складається з блоку електроживлення 5, котрого вихідні клеми підключено до входу датчика температури 6, першого входу мікропроцесорного блоку управління 1 та першого входу підсилювального каскаду 2. Вивід підсилювача 2 іде до модуля регулювання клапанів 3, а його вихід, своєю чергою, під'єднаний до вводу нагрівального елемента 4. Вхід частотного модулятора 7 з'єднано з термодатчиком 6, а його вихід – з другим входом мікропроцесора 1. Третій вхід мікропроцесора 1 підключено до задаючого елемента 9. Перший вихід мікропроцесора 1 забезпечує живленням індикаційний пристрій 8, а другий – вхід підсилювача 2.

При активації струмопостачання 5, живлення надходить до мікроконтролера 1 та температурного датчика 6. Частотний модулятор 7 здійснює трансформацію напруги, що надходить від термоперетворювача 6

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

(який є по суті змінним опором, залежним від температури), у серію імпульсних сигналів. Мікроконтролер 1 потім підраховує ці імпульси, встановлюючи фактичне значення температури, котре порівнюється із заданим значенням, встановленим на пристрої керування 9.

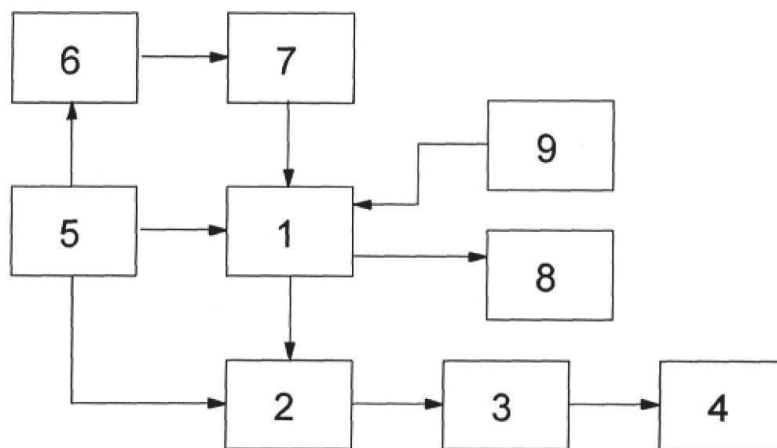


Рисунок 1.3 –Регулятор температури

У випадку, якщо задавальний пристрій 9 не отримав вхідного значення температури, на дисплеї 8 з'явиться напис "ERROR", а живляча напруга не надходитиме до нагрівального елемента 4. Натомість, коли пристрій 9 отримає задану температуру, мікропроцесор 1 випромінює керуючий сигнал. Цей сигнал спершу посилюється підсилювальним модулем 2, а потім прямує до виконавчого блоку клапанів 3, який забезпечує необхідну напругу для нагрівального елемента 4.

Посилувач 2 виконує функцію узгодження між вихідними параметрами мікропроцесора 1 та вхідними вимогами блоку керування клапанів 3.

Виконавчий блок клапанів 3 здійснює модуляцію напруги, що подається до нагрівального пристрою 4. Бажана температура задається через пристрій 9. Фактичне значення температури, отримане від датчика температури 6, відображається на індикаційному блоці 8.

Завдяки інтеграції додаткових компонентів та взаємозв'язків у цій системі, стає можливим вимірювання температури та водночас спрощується

загальна будова. Це, у свою чергу, гарантує вищу надійність експлуатації, покращує ступінь точності контролю температурного режиму, а також призводить до економії енергоресурсів та мінімізації апаратних витрат.

Ознайомимося з терморегулятором [9]. Він має джерело струму, яке підключене своїми вихідними клемми до входу терморезистора, а також до першого входу блоку вентилів, які можна контролювати. Вихід цього блоку вентилів веде до входу нагрівального елемента. У цій системі також інтегровано схему керування. Окрім того, додано мікроконтролер.

Структурна схема запропонованого апарату наведена на рисунку 1.4. Дана система включає у свій склад першоджерело струму позначене цифрою 1, мікроконтролерний пристрій під номером 2, термістор 3, який підключається своїм входом до першоджерела струму 1, а вихід його вже інтегрований із мікроконтролером 2. Також тут присутній електронний датчик температури цифрового типу 4, що має зв'язок із мікроконтролером 2. Окрім того, є індикатор 5 та сукупність регульованих клапанів 6, чії входи отримують живлення від виходу першоджерела струму 1 та сигнали від виходу мікроконтролера 2. Вихід блоку регульованих клапанів 6 веде до вхідного порту нагрівального елемента 7. Схема керування 8 має пряме підключення до одного із вхідних каналів мікроконтролера 2, тоді як один із вихідних портів мікроконтролера 2 забезпечує живленням підсилювач струму 9.

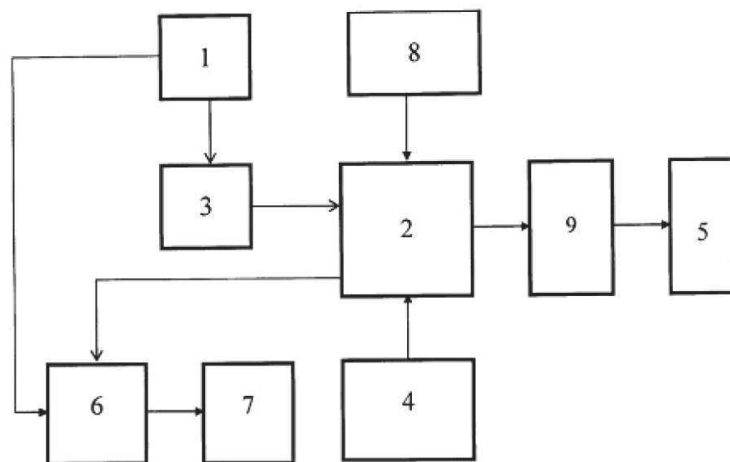


Рисунок 1.4 – Структурна схема регулятора температури

Описаний апарат функціонує наступним чином.

Коли живлення подається від джерела 1, мікроконтролер 2 сканує напругу, що надходить з терморезистора 3. Ця напруга формується завдяки сталому струму, який генерує джерело 1, протікаючи через датчик. Якщо такий сигнал присутній, система вважає, що взаємодіє саме з цим типом сенсора. У ситуації, коли напруга від терморезистора 3 не фіксується, мікроконтролер 2 автоматично переключасться на роботу з цифровим термодатчиком 4.

Після визначення активного датчика, апаратура проводить діагностику індикатора 5, послідовно висвічуючи цифри від нуля до дев'яти на трьох сегментах. Якщо цифровий датчик температури 4 не підключений, на індикаторі 5 відображається показник температури "00С", а у разі замикання цифрових ліній – напис "Err". У разі обриву у колі терморезистора 3 на екрані 5 з'явиться напис "Out", а при виникненні короткого замикання – "Sht".

У схемі реалізовано модуль із керованими клапанами 6, призначений для контролю температури нагрівального елемента 7. Він змінює ефективну середню напругу, що подається на нагрівач 7, відповідно до команд, які надходять від мікроконтролера 2.

Блок керування 8 відповідає за встановлення потрібних температурних меж для нагрівального елемента 7.

За наявності сигналу "Set max" за допомогою кнопок "Вгору" або "Вниз" встановлюється гранично допустиме значення температури елемента 7. Аналогічна процедура, за умови сигналу "Set min", застосовується для фіксації мінімального значення температури елемента 6.

Струмові підсилювачі під номером дев'ять слугують для забезпечення належного узгодження між мікроконтролером, позначеним цифрою два, та індикаторним елементом, що має позначення п'ять.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Пристрій, що пропонується до уваги, знаходить своє застосування у процесі визначення температурних значень для твердих об'єктів, рідких субстанцій і газоподібних середовищ. Потім отримані результати вимірювань будуть показані на трирозрядному світлодіодному індикаторі, складеному із семи сегментів. Крім того, передбачена можливість утримувати температуру в заданих межах, активуючи функцію нагріву чи охолодження через відповідний виконавчий механізм (вмикаючи чи вимикаючи його). Апарат також невідмінно моніторить стан ланцюга, до якого підключені датчики температури, і має здатність функціонувати як з терморезисторами, так і з цифровими температурними сенсорами.

Пристрій, призначений для контролю та встановлення температурного режиму [10], складається з таких елементів: термостат 1, який має внутрішню камеру 2; пристрої нагріву 3; чутливий елемент для вимірювання температури 4; датчик для фіксації температури оточення 5; енергонезалежна пам'ять з можливістю перезапису (ППЗП) 6; пристрій для встановлення бажаного значення температури 7; керуючий модуль 8; вузол сумування 9; блок перетворення аналогового сигналу в цифровий (АЦП) 10; блок перетворення цифрового сигналу на аналоговий (ЦАП) 11; пара нагрівальних елементів 12, які обслуговують відповідно датчик температури та датчик температури навколишнього середовища; пара блоків для виконання операцій віднімання 13; пристрій для встановлення цільової температури 14, що стосується нагрівальних елементів датчика температури та датчика температури навколишнього середовища; а також сигналізатор робочого стану 15 (див. рис. 1.5).

Основна мета, яку ставили перед собою під час проектування цього апарату, полягала у збільшенні його стійкості шляхом верифікації коректної роботи як основного термічного сенсора, так і того, що відповідає за моніторинг температури оточуючого середовища.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

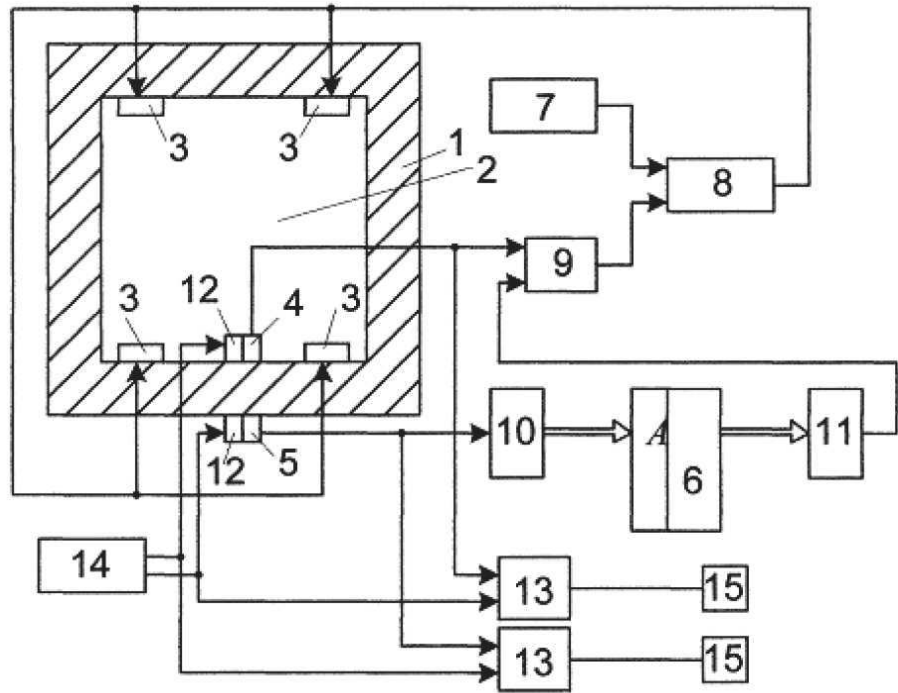


Рисунок 1.5 - Пристрій для регулювання температури

Досягнення поставлених цілей реалізовано таким чином: вимірювальний елемент температури (датчик) підключено до одного з портів суматора, вихід якого, своєю чергою, веде до одного з портів регулятора. Інший порт цього регулятора з'єднаний із вихідним сигналом задавача бажаної температури, а далі послідовно розташовані аналого-цифровий конвертер, програмована постійна пам'ять та цифро-аналоговий конвертер. Вихід ЦАП підключено до іншого порту суматора. При цьому вихід датчика зовнішньої температури скерували на вхід ЦАП.

Згідно з концепцією корисної моделі, додатково інтегровано два нагрівальні елементи: один для основного датчика температури, інший – для датчика температури довкілля. Передбачено пристрій задання температури для обох цих нагрівачів. Включено два модулі визначення різниці (блоки вирахування), входи яких отримують сигнали від задавача температури для нагрівачів і відповідні сигнали від датчиків температури та зовнішньої

температури. Виходи цих модулів різниці підключено до індикатора робочого стану системи.

Апарат для самостійного керування тепловими показниками [11], що належить до сфери автоматизованих систем і може застосовуватися з метою задання, коригування й утримання теплоносія об'єкта у визначених межах за допомогою електронних компонентів.

Цей механізм (див. рис. 1.6) складається із сенсорів теплоти 1 та 2, вимірювача сили струму 3, чутливого елемента фіксації нульового перетину 4, модуля розпізнавання фази мережі змінного струму 5, електронно-обчислювальної машини 6, механічного автомату обмеження струму для розриву ланцюга живлення 7, електронного перемикача 8, світлової панелі індикації 9, пристрою введення даних (клавіатури) 10, нагрівального елемента електричного типу 11, а також блока забезпечення постійного електроживлення 12.

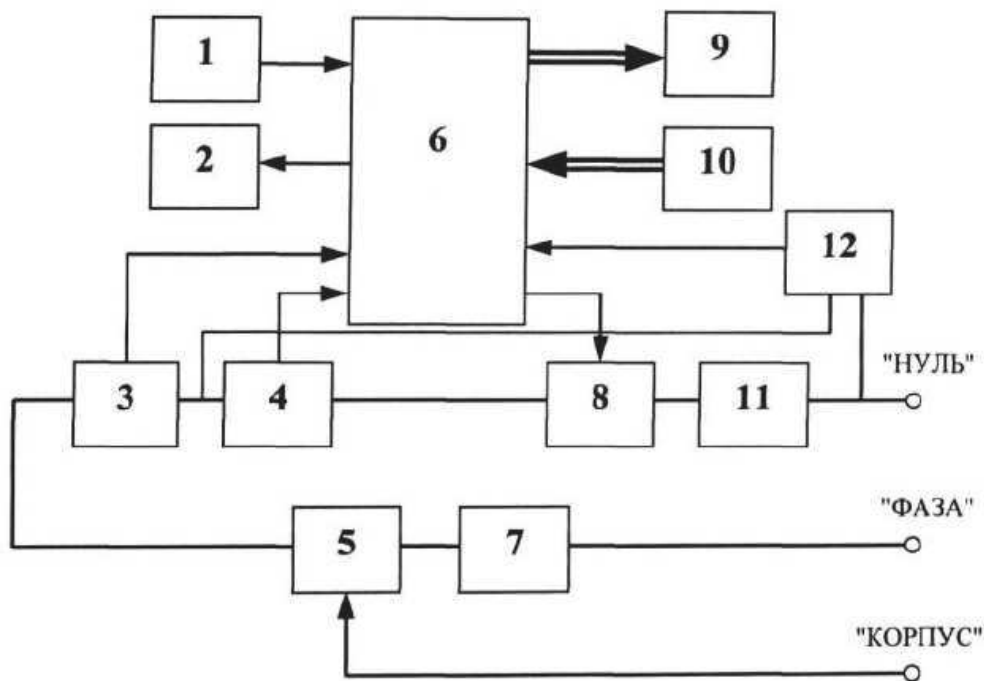


Рисунок 1.6 - Пристрій для автоматичного регулювання температури

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Згідно з концепцією розробки, закладено мету сформувавши прилад, який би вирізнявся високою результативністю, будучи при цьому мініатюрним, простим у виготовленні та модернізації, надійним і довговічним у процесі функціонування, з функцією точного налаштування оптимальних електричних параметрів та температурних умов для нагрівальних компонентів у процесах виходу на робочий стан, досягнення його та стабільного підтримання, що принципово відрізняє його від існуючих аналогів. Це досягається завдяки інтеграції таких елементів: електромеханічного реле для розривання ланцюга змінного струму, модуля визначення фази мережі змінного струму, сенсора відбору струму нагрівального елемента, реалізованого через датчик струму на базі ефекту Холла, детектора перетину нульової позначки, електронного комутатора з гальванічною розв'язкою, де роль якого виконує оптосимістор, сенсорів температурного режиму, представлених інтегральними напівпровідниковими датчиками, апаратно-програмного комплексу (далі – ЕОМ), роль якого виконує мікроконтролер, візуалізаційного дисплея, панелі керування (клавіатури), а також джерела постійного струму для живлення, яке забезпечує живленням як ЕОМ, так і сенсорів. При цьому, до аналогових портів (входів) ЕОМ підключено температурні датчики та сенсор струму; до цифрових входів підключено клавіатуру та детектор нульового перетину; до цифрових виходів підключено візуалізаційний дисплей та електронний комутатор; а програмне забезпечення, що регламентує роботу приладу, зберігається у внутрішній електронній пам'яті ЕОМ.

Даний підхід дає змогу суттєво спростити схемотехніку апарату, зменшити його габаритні розміри, а також наростити його стійкість до збоїв та рівень безпеки експлуатації.

Апаратно-програмний ансамбль для термального контролю [12] може знайти застосування у справах автоматизованого регулювання теплового режиму під час проведення навчального процесу, наукових дослідів, а також лабораторних і демонстраційних занять у закладах вищої освіти.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

Робота цього апаратно-програмного ансамблю для контролю температури (як зображено на мал. 1.7) відбувається таким чином. Спершу подається живлення на усю систему (зокрема, на блок живлення 10 та комп'ютер 12), після чого на комп'ютері 12 запускається відповідне програмне забезпечення. Через USB-кабель енергія надходить до модуля контролю та керування 6, де програмно інтегровані такі компоненти: задавач, аналогово-цифровий конвертер (АЦП) та сам контролер. Задавач фіксує бажане температурне значення у всьому апаратно-програмному комплексі для термального регулювання. АЦП відповідає за перетворення сигналів, отриманих від термоелектричного перетворювача 7, у кількісні показники температури. Контролер здійснює безпосереднє управління температурою. Якщо виникає потреба змінити параметри в блоці контролю та керування 6, дані транслюються з програми на комп'ютері 12 за допомогою USB-з'єднання. Таким чином, задавач, АЦП та контролер являють собою програмні складові блоку контролю та керування 6, якими можливо оперувати через комп'ютер 12. Інформація від термоелектричного перетворювача 7, пройшовши через дільник напруги, потрапляє на аналоговий вхід блоку контролю та керування 6, де відбувається її програмна конвертація у температурні одиниці. Базуючись на отриманих відомостях, блок контролю та керування 6 формує вихідний сигнал, який спрямовується до нагрівального елемента 3 через узгоджувальну схему 5. У випадку потреби створити зовнішнє збурення (наприклад, подати прохолодне повітря до апаратної установки), задіюється вентилятор 8, який підключений через узгоджувальну схему 9 і активується натисканням кнопки 11.

Прилад еталонний термометричний 13 дає змогу моніторити невідповідності у функціонуванні програмного забезпечення. Окрім того, процес управління також контролюється програмними засобами. У випадку збою якихось компонентів, нагрівальний елемент 3 припиняє свою роботу, щоб запобігти розвитку нештатних обставин.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

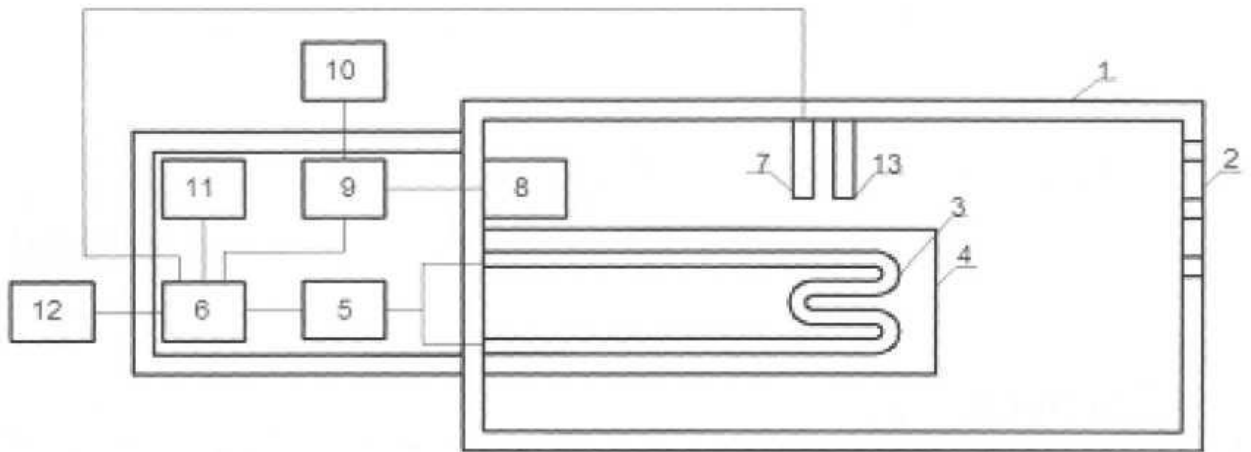


Рисунок 1.7 - Програмно-апаратний комплекс для регулювання температури

Цей набір інструментів (або система) дає змогу залучати різноманітне обчислювальне обладнання для виконання дослідів. Крім того, він відкриває можливості для здійснення широкого спектру лабораторних випробувань, а до купи з цим — обробки здобутої інформації шляхом створення математичних моделей процесів, проведення статистичної оцінки, прогнозування потенційного розвитку подій, а також встановлення рівня їхньої сталості (надійності).

### 1.5 Висновки до розділу

У цьому розділі докладно проаналізовано ключові аспекти, що стосуються сутності температури, включаючи шкали та одиниці її вимірювання, а також принцип функціонування апаратури, призначеної для її визначення.

Окрему увагу приділено першочерговим проблемам, які необхідно врегулювати під час раціоналізації схем термометрії та компонування вимірювальних приладів.

Оглянувши та проаналізувавши конструктивні рішення систем автоматичного контролю температури (САКТ), ми змогли визначити їхні специфічні характеристики, ретельно розглянувши як позитивні, так і слабкі сторони.

Підсумовуючи, було встановлено, що існує нагальна потреба у створенні такої САКТ, яка гарантуватиме найвищу якість реалізації технологічних процесів, де критично важливим є стабільне підтримання заданих температурних параметрів.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34

## 2 АНАЛІЗ АВТОМАТИЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ

### 2.1 Модель універсального вимірювача температури

Блок-схеми, показані на малюнках 2.1 та 2.2, призначені для визначення передавальної функції мікропроцесорних засобів вимірювання температури (МПВТ). На рисунку 2.1 детально представлена конфігурація мостової схеми. У плечі, де розміщено первинний перетворювач (датчик), встановлено еталонний резистор, тоді як інше плече моста складається з резистивних елементів та. Розподіл електричного струму по гілках моста відбувається обернено пропорційно електричному опору відповідних протилежних гілок [8]:

$$I_1 = \frac{I \times (R_1 + R_2)}{R + R_T + R_1 + R_2}, \quad (2.1)$$

$$I_2 = \frac{I \times (R + R_T)}{R + R_T + R_1 + R_2}. \quad (2.2)$$

На схемі показано напруги, які знімаються,  $U_{REF}$ . Напруга, що береться з діагоналі мосту, надходить на опорний вхід аналого-цифрового перетворювача АЦП і напруга, що вимірюється  $U_{MSR}$  температурного датчика  $R_T$  подається на вимірювальний вхід:

$$U_{REF} = I_1 R = \frac{I \times (R_1 + R_2)}{R + R_T + R_1 + R_2} R, \quad (2.3)$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$U_{MSR} = I_1 R_T - I_2 R_2 = \frac{I \times (R_1 + R_2)}{R + R_T + R_1 + R_2} R_T - \frac{I \times (R + R_T)}{R + R_T + R_1 + R_2} =$$

$$= \frac{I \times (R_1 R_T + R R_2)}{R + R_T + R_1 + R_2} \quad (2.5)$$

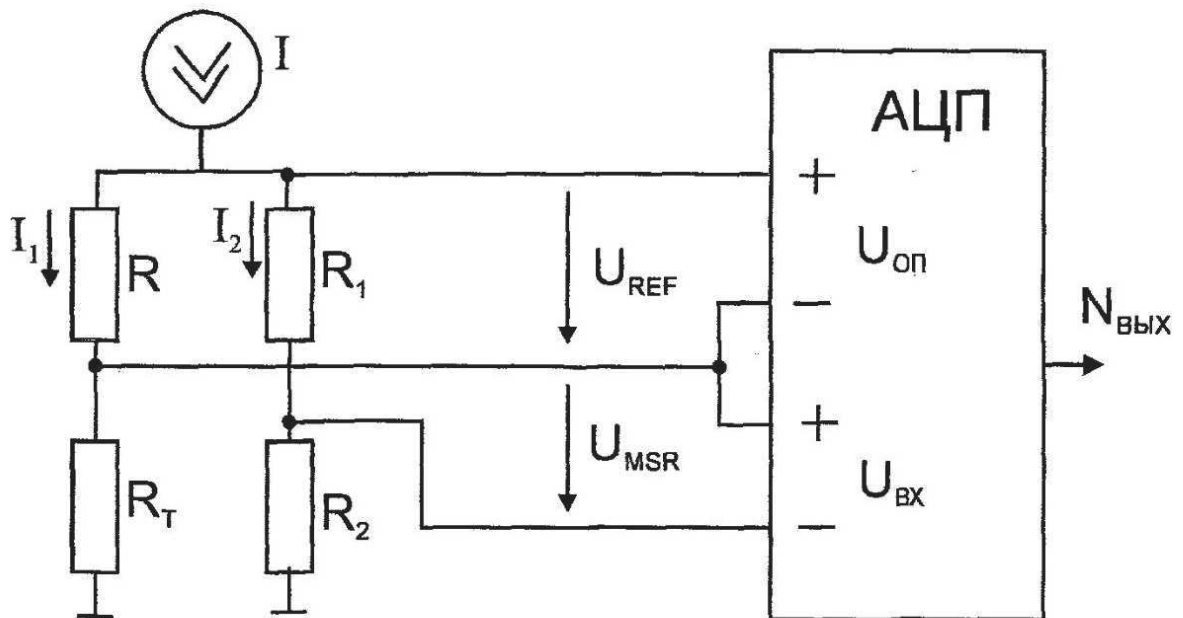


Рисунок 2.1 - Функціональна схема підключення датчика в МПВТ

АЦП виконує операцію розподілу над вхідними сигналами

$$N_1 = U_{MSR} \cdot \frac{1}{U_{REF}} \times K_{АЦП}, \quad (2.6)$$

де  $K_{АЦП}$  - коефіцієнт трансформації, обумовлений характеристиками вимірювальної конфігурації.

Усунення цієї залежності забезпечується схемою, зображеною на рисунку 2.2, де функцію розподілу виконує мікропроцесор (або мікроконтролер) — МП(МК), котрий також відповідає за керування

мультиплексором задля забезпечення перетворення потрібних сигналів у цифровий формат.

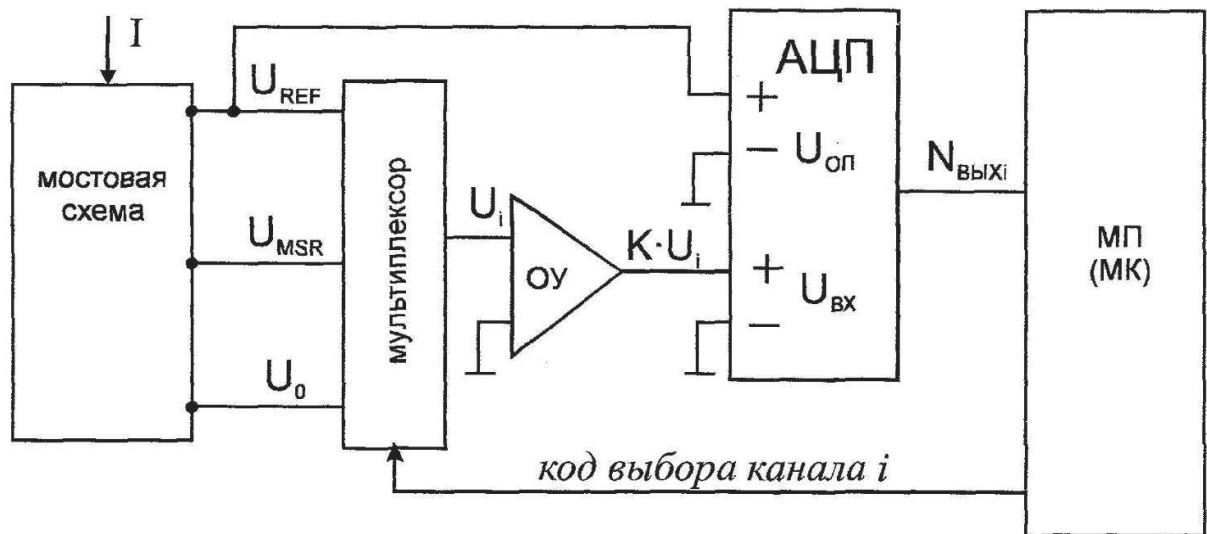


Рисунок 2.2 - Функціональна схема каналу вимірювання

Виконання операції поділу всередині мікроконтролера дає змогу забезпечити стабільність роботи аналого-цифрового перетворювача (АЦП) із використанням референсного входу [60]. При цьому, для інтегрування перетворювача напруга-частота (ПНЧ) необхідно задіяти лише одну контактну точку мікроконтролера. Завдяки виконаному аналого-цифровому перетворенню, вихідний код демонструє пряму пропорційність  $N_{вих}$  каналу лінеаризації характеристики мостової схеми включення, що стосується каналу вимірювання сигналу від термістора, успішно подолано.:

$$N_{вих} = U_i \times K \times K_{АЦП}, \quad (2.7)$$

де  $K$  - коефіцієнт підсилення ОУ,  $U_i$  - напруга  $i$ -го каналу вимірювальної схеми,  $i=2$  для сигналу датчика й  $i=1$  для каналу опорного сигналу.

По завершенні розподілу у мікроконтролері, код, що стосується температури

$$N_T = \frac{N_{вих1}}{N_{вих2}} = \frac{U_{MSR}}{U_{REF}} = \frac{R_1 R_T - R R_2}{R(R_1 + R_2)} = A R_T + B, \quad (2.8)$$

де  $A = \frac{R_1}{R(R_1 + R_2)}$ ,  $B = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ,  $R_T = W_T(T) \cdot R_O$ ,  $W_T(T)$  - НСХ

використовуваного опору,  $R_O$  - його опір при  $0^\circ\text{C}$ .

Калібрування мосту реалізується у вбудованому контролері шляхом фіксації невідповідності мосту. при  $0^\circ\text{C}$  с наступним обліком його у вимірюваннях. Тому досить установити опір  $K = 50$  Ом, Здійснити вивірене вимірювання та зафіксувати показник вхідного сигналу, вважаючи його за еталонне (нульове) значення.

Через те, що перетворювальна функція МПВТ є лінійною, чутливість

$$S = \Delta N_{вих} / \Delta R_{вх} = A, \quad (2.9)$$

фіксована у цілому ряді значень, що підлягають вимірюванню, та встановлює коефіцієнт пропорційності для МПВТ.

Вибір датчика зазвичай має вирішальне значення для визначення часових характеристик вимірювання. Щодо більшості технологічних процесів у цьому температурному інтервалі, першочерговими критеріями є саме надійність обладнання та його ціна. [33,55].

У вимірювальному приладі для температури, інтервал, протягом якого здійснюється програмне визначення показника термоопору, фіксується як  $\tau_1 = 1$  с. Водночас, се наводить забезпечення розрядності цифрового кодування результатів замірів завдяки використанню ПНЧ

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$N = \log_2(F \times \tau_1) = \log_2(50 \cdot 10^3 \text{ Гц} \times 1\text{с}), \quad (2.10)$$

де  $F$  - максимальна вихідна частота при 1000°C.

## 2.2 Створення схем керування на основі мікропроцесорів для апаратури, що призначена для вимірювання теплових параметрів

Використання мікроконтролера тягне за собою необхідність програмування архітектури апаратної частини, що була описана раніше. З огляду на цю архітектуру, програмне забезпечення також доцільно структурувати як набір окремих модулів, кожен з яких реалізує певну функціональність. Програмна реалізація мусить строго відповідати проектній схемі пристрою, так що вилучення будь-якого компонента з апаратної схеми повинно спричинити усунення відповідного функціонального сегменту з коду.

Ключові складові цього програмного забезпечення, як це ілюструє рис. 2.3, включають: модуль збору температурних даних 1, модуль парсингу кодів та модуль взаємодії з користувачем 3. Кожен із зазначених модулів функціонує ізольовано від інших: він самостійно приймає вхідні сигнали, проводить необхідні обчислення та формує вихідний результат. [8]. Передача інформації між модулями відбувається за допомогою оперативної пам'яті (ОЗП) мікроконтролера. У цій ОЗП зберігаються транзиторні дані – змінні та тимчасові величини. Сталі величини та налаштування апарату, визначені користувачем, вносяться до пам'яті. На підставі цих даних були спроектовані методи управління для зазначених модулів.

Процедура цифрової обробки (див. рис 2.4) впроваджується у вузлі визначення значень та відповідає за обчислення величини, яка підлягає вимірюванню. Дані, що надходять на вхід вимірювального вузла, – це коди,

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

отримані від аналого-цифрового перетворювача, а результатами роботи є коди вимірюваної величини. Цей модуль виконує математичну модель, деталізовану у п. 2.1, і проводить вирівнювання сигналу з вимірювальної схеми, відповідно до методики, викладеної у пункті 2.3. Після цього проводиться розрахунок значення функції корекції для здійснення лінеаризації.

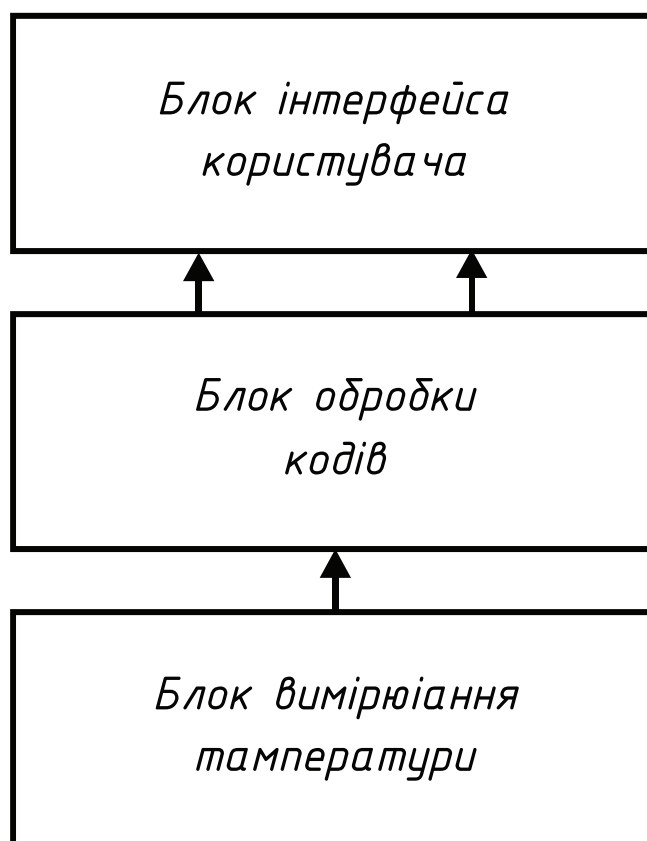


Рисунок 2.3 - Структурна схема програми мікропроцесорного керування пристроєм вимірювання температури

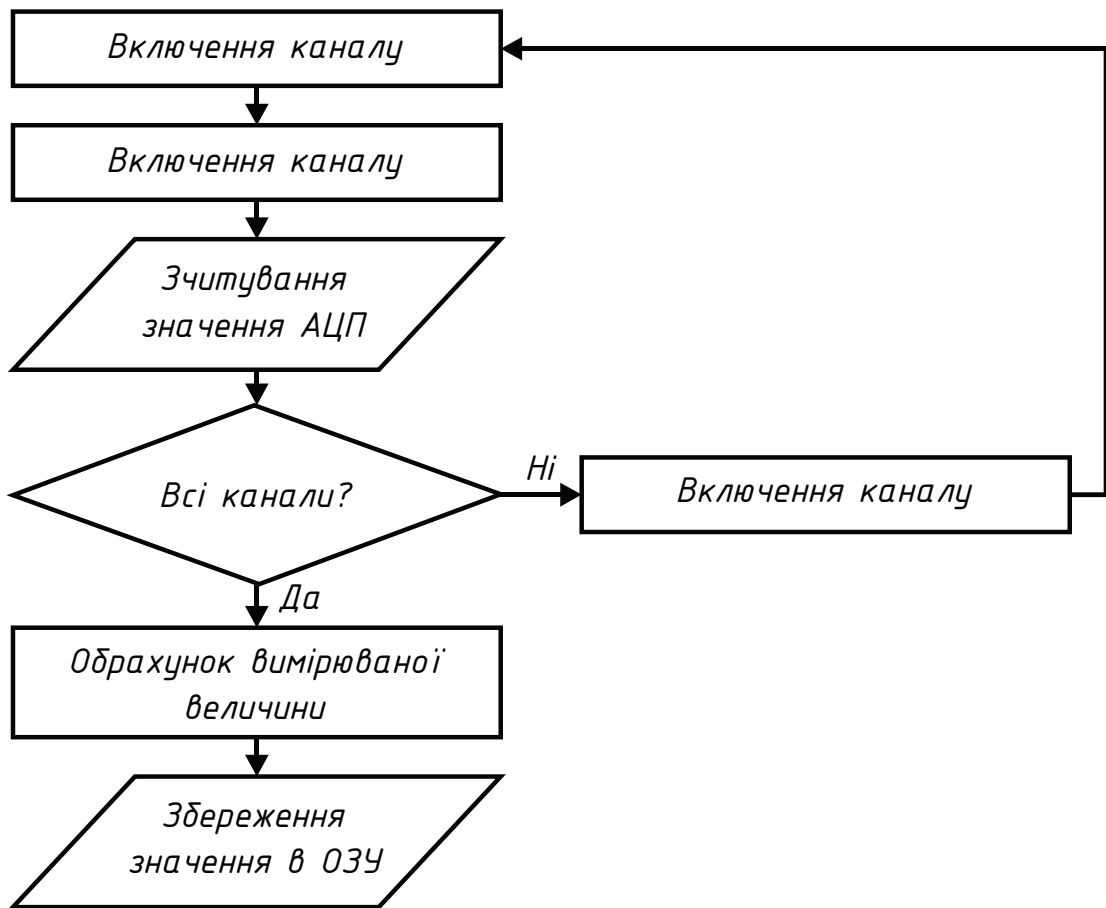


Рисунок 2.4 - Алгоритм роботи блоку вимірювання

Секція взаємодії з оператором слугує для налаштування роботи апаратури. Користувач вводить необхідні параметри корекції через клавіатурний пристрій. Фінальні дані, що видаються цією секцією, заносяться до постійної енергонезалежної пам'яті, аби мати змогу застосовувати їх при подальшому увімкненні обладнання. Дані кодуються у формі двійково-десятькового представлення. Сама секція взаємодії складається з двох частин: модуля відображення (алгоритмічна схема якого ілюстрована на рисунку 2.5) та модуля вводу (алгоритм якого показано на рисунку 2.6).



частоти. Додатково, цей модуль відповідає за відлік часу, трансформацію даних із представлення методом рухомої коми у формат із фіксованою комою, та інші операції. Схематичне зображення найпростішого варіанту здійснення алгоритму наведено на рис. 2.7.

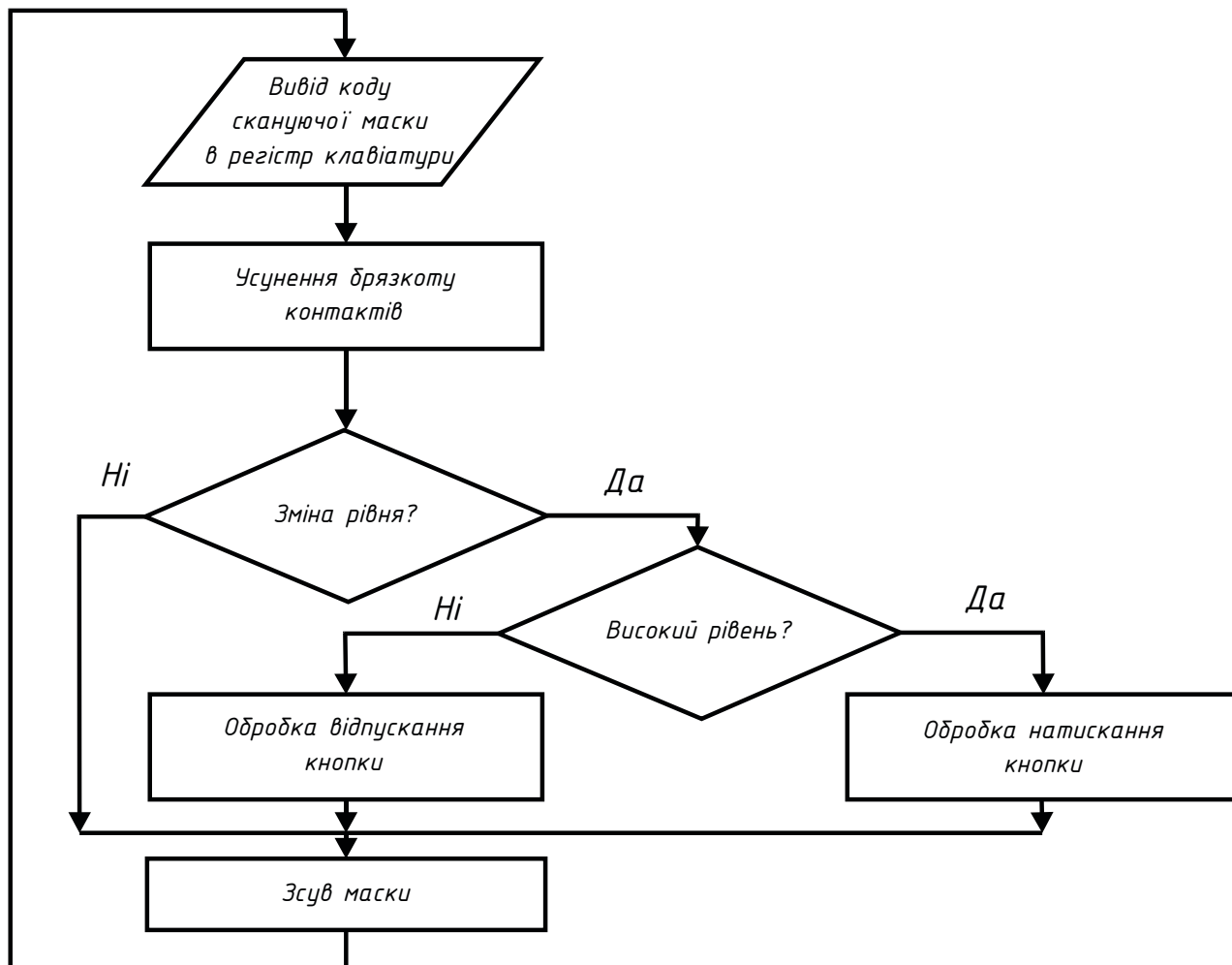


Рисунок 2.6 - Алгоритм роботи блоку введення

Вихідні коди блоків тримаються у спільнім просторі пам'яті, аби їх можна було швидко переробляти у вигляд інших блоків. Як приклад, початкова вартість блока виміру подається у двійковому записі, та для показу її на дисплеї треба змінити її на двійково-десятичний.

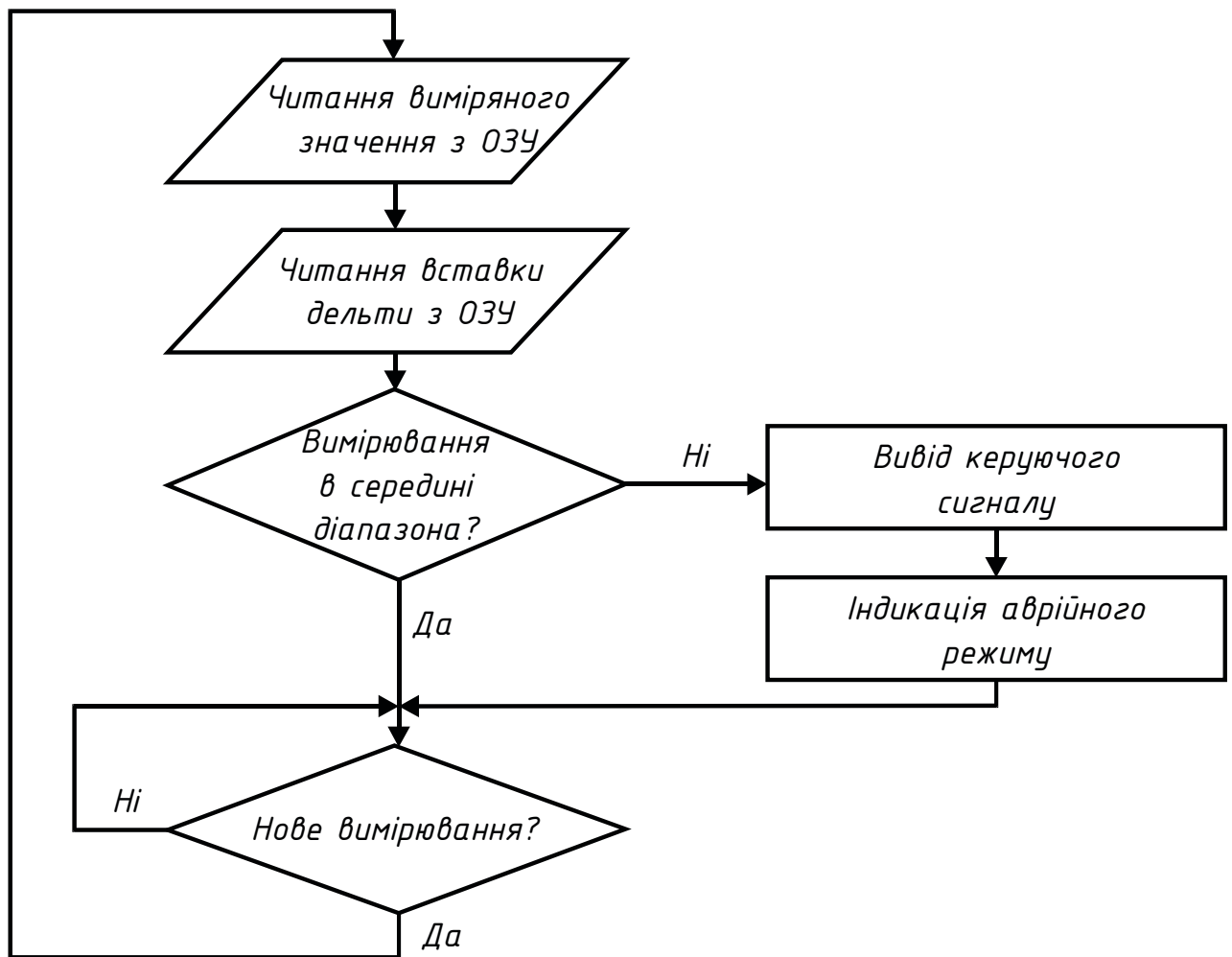


Рисунок 2.7 - Приклад алгоритму роботи блоку обробки кодів

Отже, цілком розроблений комплекс алгоритмів, щойно ми його розглянули, дозволяє створення алгоритму нагляду за МПВТ.

### 2.3 Висновки до розділу

У цьому розділі детально опрацьовано математичну модель, що лежить в основі універсального приладу для визначення температури.

Було створено цілісний комплекс алгоритмічних рішень, що уможливило конструювання алгоритму, яким керуватиме мікропроцесор для функціонування даного температурного вимірювального апарату.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

### 3 СТВОРЕННЯ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ

#### 3.1 Аналіз систем автоматизованого керування тепловими показниками

Нагрівальні складові досить часто задіюються у електроприладному обладнанні, що використовується як у домашньому господарстві, так і на виробництві. До подібних пристроїв належать апарати для сушіння лакофарбових покриттів, сушарки для овочевих та фруктових культур, сушильні машини для шкіри та склеєних елементів, а також пристрої для сушіння текстилю, водогрійні прилади та нагрівачі для різних рідин. У цих машинах конфігурація нагрівальних елементів варіюється, що зумовлено способом відведення теплової енергії та типом оброблюваної сировини. Як нагрівальні прилади можуть використовуватися стандартні ТЕНи, ребристі ТЕНи, керамічні нагрівачі, спіралі з відкритим типом роботи та спіралі, поміщені у скляні колби з вакуумом або певними інертними газами [16]. Відповідно, і системи, що керують роботою нагрівачів, відрізняються між собою і залежать від необхідної точності температурного контролю в зоні нагріву, теплової інертності системи, а також від типу безпосередньо нагрівача. Загалом їх можна класифікувати на дві основні категорії: методи регулювання за допомогою дискретного живлення та методи із застосуванням плавних змін напруги або сили струму. Дискретне живлення означає циклічне повторення подачі та припинення напруги на прилад. Плавне живлення може бути досягнуте шляхом зміни напруги живлення через подільник напруги, або за допомогою електронних методів. Одним із таких електронних методів керування напругою є фазово-імпульсний спосіб. Його принцип полягає в тому, що напруга живлення подається на прилад за допомогою електронного ключа, яким можна керувати. Цей ключ активується з частотою, що відповідає

										Арк.
										46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

МРМА 25.00.00.000 ПЗ



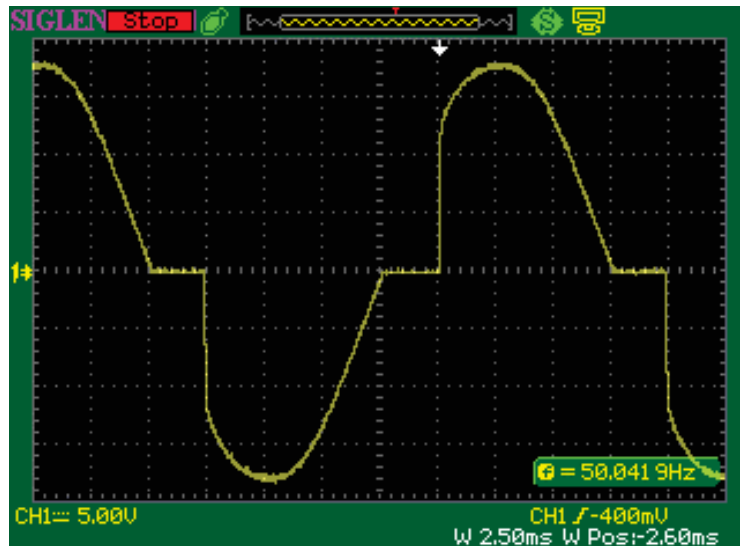


Рисунок 3.2 – Осцилограма лінії живлення споживач

Ось перелік завдань, що постають перед нами стосовно створення системи автоматичного контролю температури (САКТ):

- створити структурну діаграму, а відштовхуючись від неї, визначити ключові компоненти апаратної частини та розробити детальну електричну схему.

- здійснити дослідження методів управління для системи автоматичного регулювання температури та підтримання заданого температурного режиму всередині опалювальних пристроїв, беручи до уваги їхнє функціональне призначення.

- створити програмну оболонку (софт) відповідно до кожного з розглянутих варіантів керуючих алгоритмів.

### 3.2 Розробка структурної схеми системи автоматичного контролю температури

Виходячи з поставлених цілей, було створено структурну діаграму вузла контролю потужності для нагрівального обладнання.

Структурна схема системи автоматичного терморегулятора проілюстрована на рисунку 3.3.

Функціонування цього автоматизованого керуючого модуля відбувається таким чином. Електроспоживач підключається до електромережі за допомогою симісторного комутатора або твердотільного реле РТ, яким керує мікроконтролер МК. На лінії вводу живлення встановлено вузол виявлення перетину "нуля". Цей вузол являє собою механізм, що фіксує той момент, коли зміннострумова синусоїда перетинає нульову лінію, іншими словами, точку, де електрична напруга  $U=0$ . Мікроконтролер (МК) приймає цей сигнал, а вихідна напруга, що подається на нагрівальний елемент, а отже, і його потужність, модифікується залежно від заданого температурного рівня. Після того, як сигнал перетне нульову позначку, МК вичікує визначений інтервал часу, а потім генерує імпульс управління, який надходить на керуючий вхід тиристора РТ. Це призводить до спрацьовування твердотільного реле, і нагрівальний пристрій отримує живлення (рис.3.2).

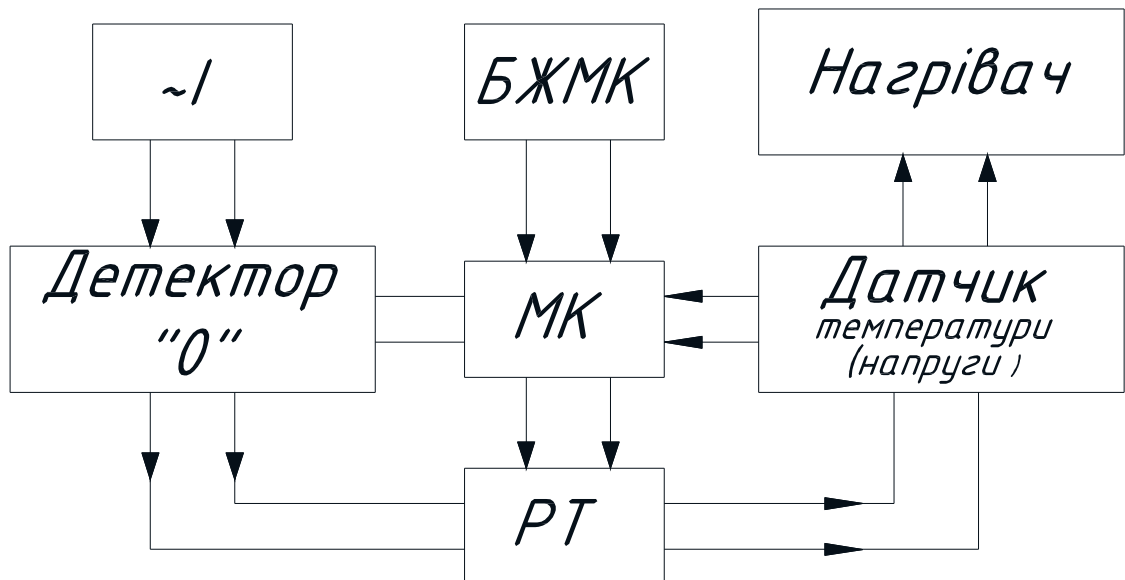


Рисунок 3.3 – Структурна схема блоку систем автоматизованого регулятора температури

Коли симістор перетинає нульову позначку, він вимикається, і процес повторюється.

Щоб регулювати рівень теплоти, у цій схемі інтегровано пристрій вимірювання температури. Як такий сенсор може бути використана термопара, а також аналоговий або цифровий вимірювальний компонент [18]. Сигнал, отриманий від сенсора, надходить до аналого-цифрового модуля мікроконтролера, де його зіставляють із заздалегідь встановленим значенням. Якщо зафіксована температура перевищує задану норму, програмним шляхом коригується часовий інтервал між перетином синусоїдою нуля та подачею керуючого сигналу, який активує симістор; як наслідок, потужність, що подається на нагрівальний елемент, зменшується. Якщо ж зафіксовано, що температура є нижчою за встановлену, контролер скорочує цю затримку між нульовим переходом та подачею керуючого імпульсу. Швидке прогрівання може бути реалізоване програмно, якщо усунути затримку між цими двома подіями, що по суті означатиме пряме живлення від мережі.

### 3.3 Створення електричної принципової схеми системи для автоматичного контролю температури

Спираючись на надану структурну діаграму, постає потреба у визначенні ключових блоків автоматизованого регулятора температури, а також у підборі відповідної компонентної бази.

Як основний обчислювальний блок, пропонується використати мікроконтролер STM32F105RTC6 [19].

Рисунок 3.4 демонструє спосіб, у який цей мікроконтролер буде інтегрований у систему: підключення до джерела живлення та забезпечення комунікаційних зв'язків із рештою складових частин схеми автоматичного контролю температури нагрівальних пристроїв.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Живлення для мікроконтролера STM32F105RTC6 забезпечується кількома рівнями напруги, а саме: VDD, VDDA та VBAT.

Виводи ж VSS і VSSA нерозривно з'єднані з нульовим потенціалом, тобто з "землею" (GND).

На входи, позначені VDD, подається основна робоча напруга для мікроконтролера, яка має бути рівною 3,3 В. Водночас, на виводи VDDA подається окрема напруга, призначена для живлення аналого-цифрового перетворювача.

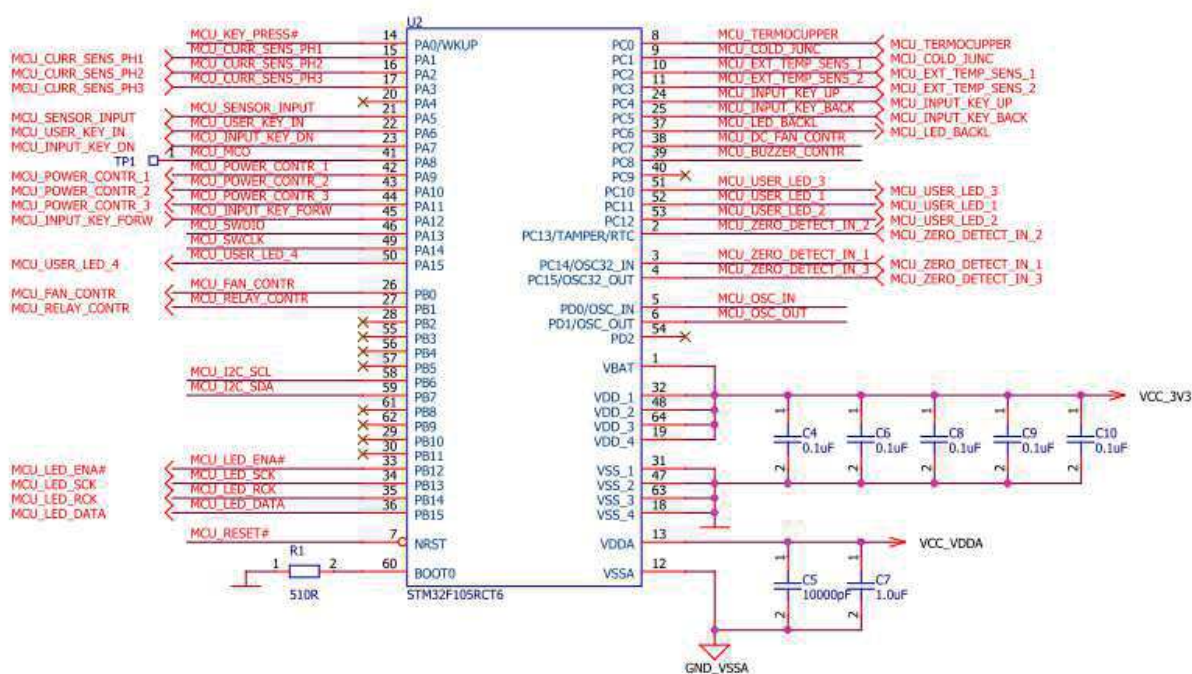


Рисунок 3.4 – Схема підключення мікроконтролера

Кожен окремих вихід напруги живлення, зокрема VDD та VDDA, проходить додаткове шунтування за допомогою конденсаторів C4 по C10. Для забезпечення адекватної функціональності процесора передбачено використання зовнішнього тактового сигналу від B1 – кварцового резонатора, налаштованого на частоту 8 МГц. Схема підключення цього зовнішнього тактового джерела відображена на рисунку 3.5.

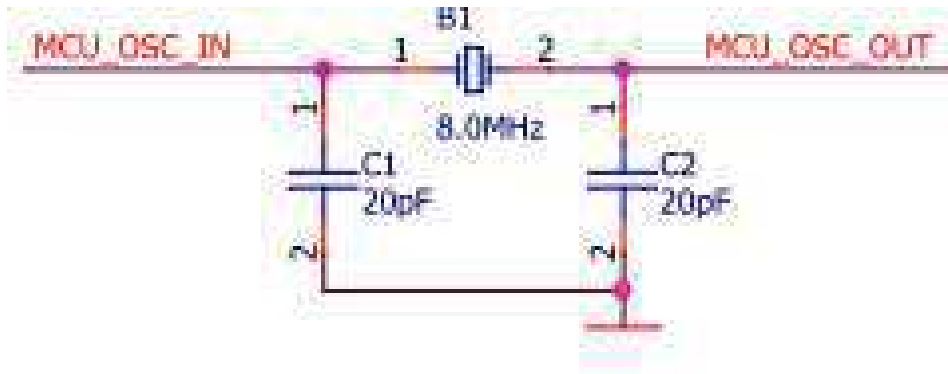


Рисунок 3.5 – Підключення зовнішнього джерела тактових сигналів

Аби унеможливити несанкціоноване перезавантаження центрального процесора, вихід RESET зафіксовано на високому логічному рівні, а також додано розв'язувальний конденсатор (як показано на рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Схема захисту від самовільного перезавантаження

Аби змонтувати детектор з маркуванням «0», який є незалежною складовою частиною схеми, передбачено його з'єднання з контролером за допомогою спеціального буфера. Усі його комунікаційні лінії забезпечено підтягуванням до високого логічного потенціалу, а вхідні імпульси додатково фільтруються конденсаторами (див. рис. 3.7).

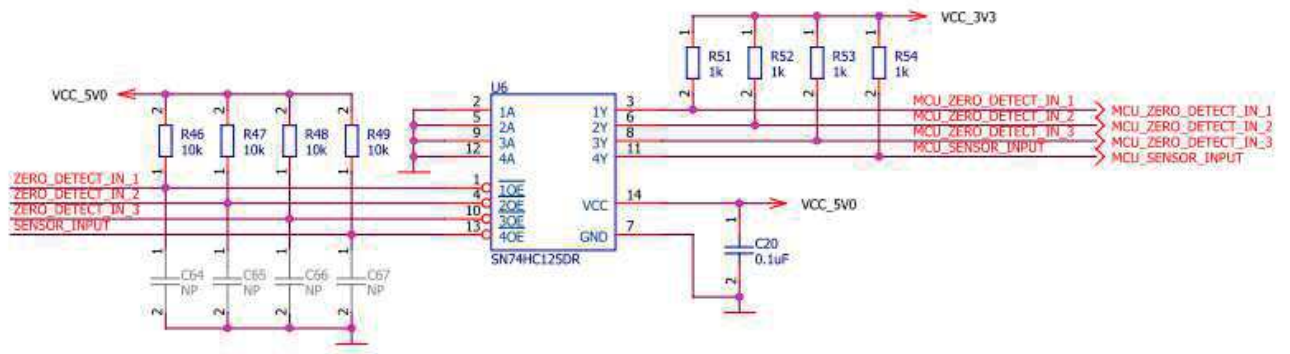


Рисунок 3.7 – Схема буфера для підключення детектора «0»

Оскільки живлення апарату береться прями́сінько з електромережі, чия напруга може бути непередбачуваною та відрізнятися по кожній з фаз. У цій схемі закладено функцію вимірювання напруги. Заводськими налаштуваннями, складові частини вимірювального блоку не припаяні, що зроблено з розрахунку на отримання найкращого та сталого електроживлення. Схема для визначення рівня напруги на одній фазі зображена на рисунку 3.8.

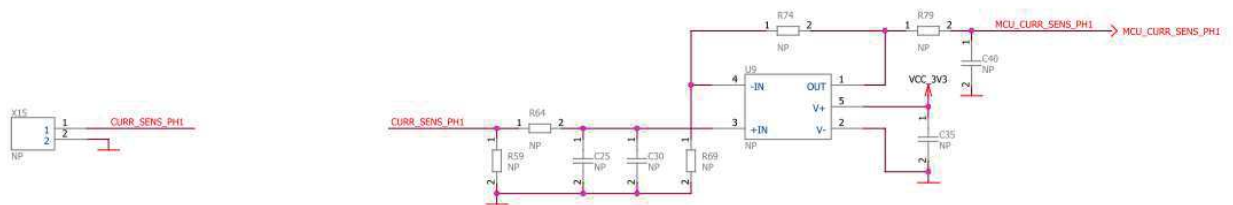


Рисунок 3.8 – Схема вимірювання рівня напруги на 1 фазі

Як уже було зазначено, для коректної роботи системи критично важливо підтримувати стабільне електроживлення для окремих блоків, а саме на рівнях 12, 5 та 3,3 В. Принципові електричні схеми цих вузлів представлені на рисунках 3.9 та 3.10.

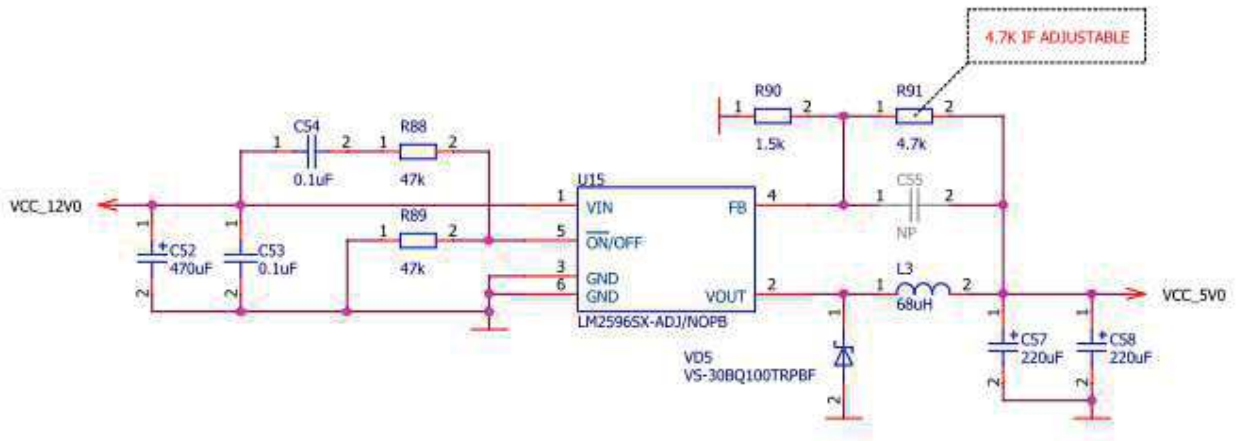


Рисунок 3.9 – Схема блоку живлення напругою 5В

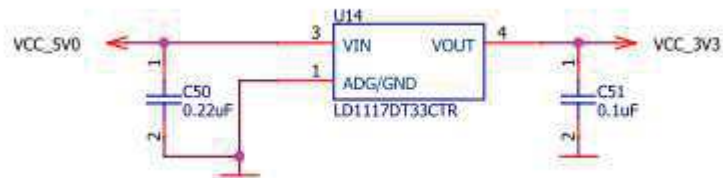


Рисунок 3.10 – Схема блоку живлення напругою 3,3 В

Щоби забезпечити живлення аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера (МК) згідно з технічними вимогами, залучення індуктивності та шунтуючого конденсатора є обов'язковим. На рисунку 3.11 представлена принципова схема цього вузла живлення АЦП.

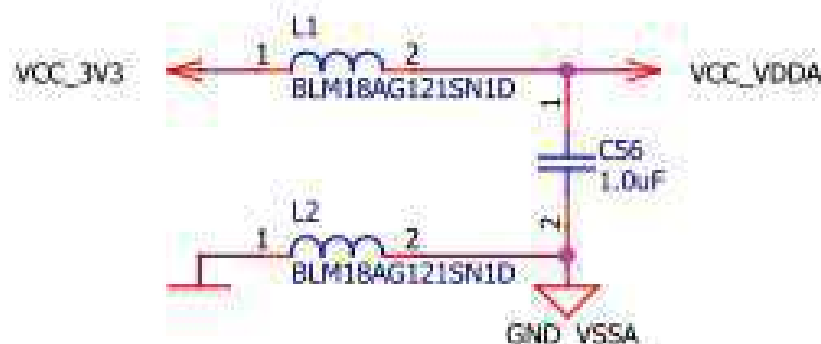


Рисунок 3.11 – Схема блоку живлення АЦП

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Аби визначити, коли саме синусоїдальний сигнал перетне позначку «нуль», спершу треба перетворити цей змінний струм на односпрямований, залишивши лише його додатну півхвилю. Для реалізації цього завдання використовується діодний міст. Структурна схема, що формує вхідний сигнал детектора нуля, зображена на рисунку 3.12.

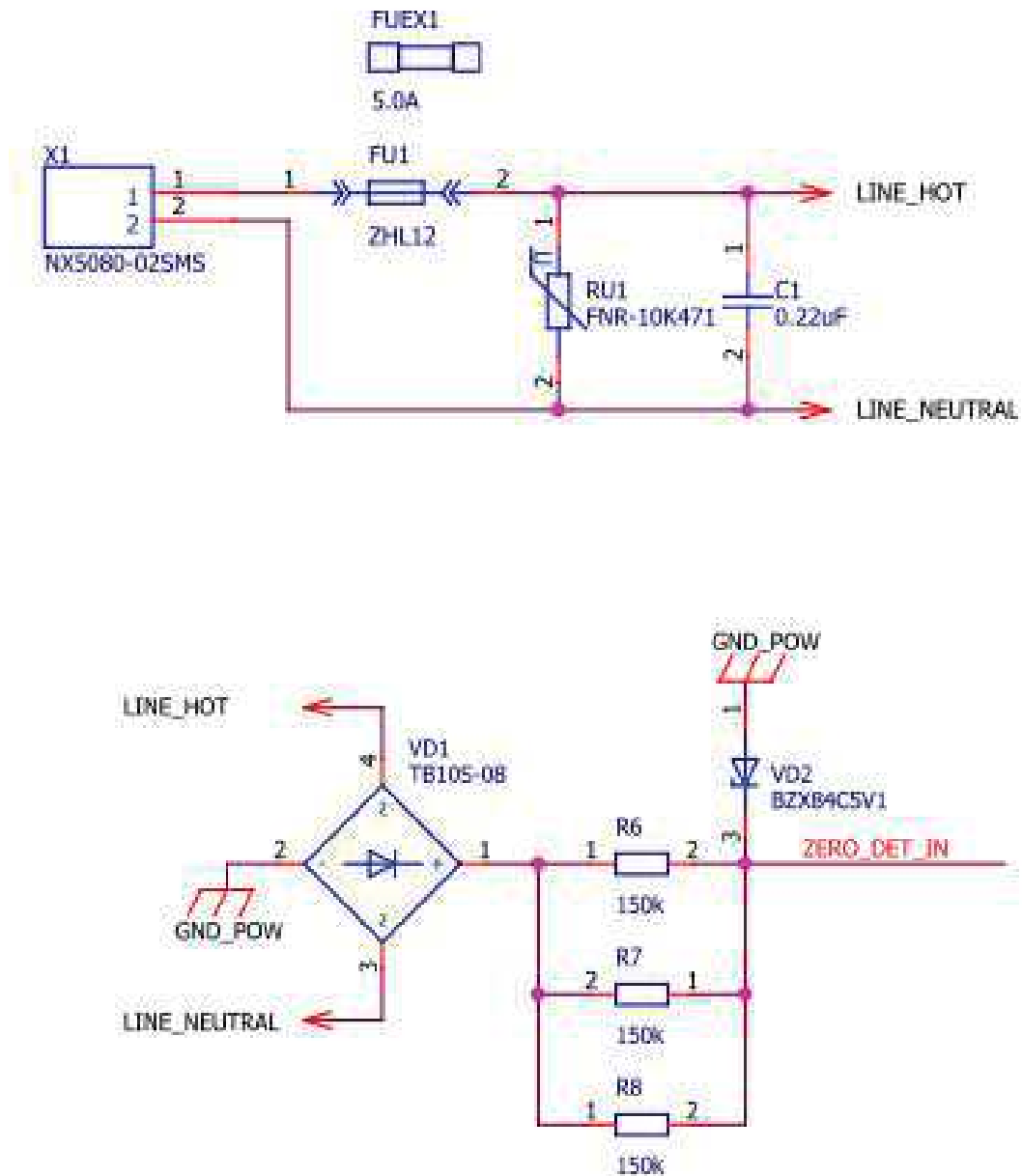


Рисунок 3.12 – Схема формування вхідного сигналу детектора «0»

Позитивні напівхвилі, що надійшли, треба пропустити крізь логічні елементи. Вони мають згенерувати імпульс напруги з наростаючим краєм, який далі слугуватиме керуючим сигналом для мікроконтролера. Для ізоляції напруги живлення від цифрової секції у схемі використано оптосимістор моделі 4N26. Коли керуючий імпульс проходить, то по лінії зв'язку ZERO\_DET\_OUT генерується сигнал "0", який спрямовується на вхід мікроконтролера. Після цього все керування перебирає на себе МК, діючи відповідно до попередньо розробленого алгоритму та програмного забезпечення. Схема електроживлення для аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) зображена на рисунку 3.13.

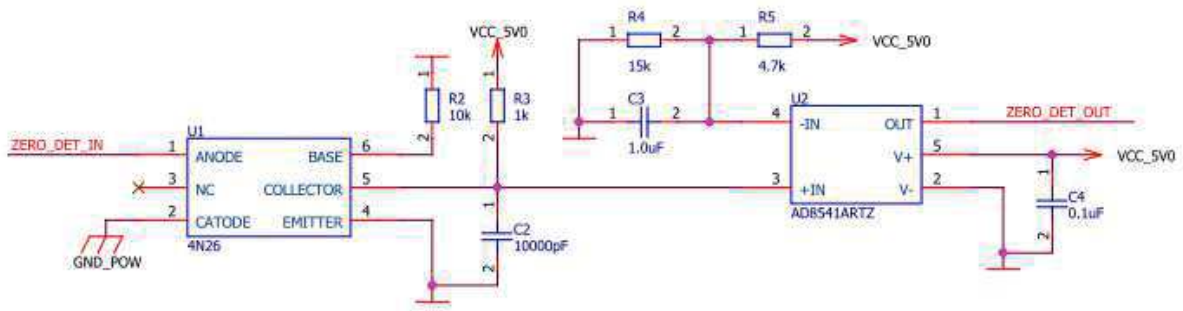


Рисунок 3.13 – Схема блоку живлення АЦП

Відповідно до нормативів, що висуваються до комплексів, призначених для автоматизованого контролю та регулювання температурних показників опалювальних пристроїв (КАТРО), на підставі створених структурної та електричної схем були проектувані й збиралися друковані плати. Усі плати, що входять до складу системи контролю, розподілено на чотири ключові модулі.

Перший із них — це плата, що забезпечує електроживлення, яка формує на виході напругу 12В, ілюстрація якої наведена на схемі рисунка 3.14.

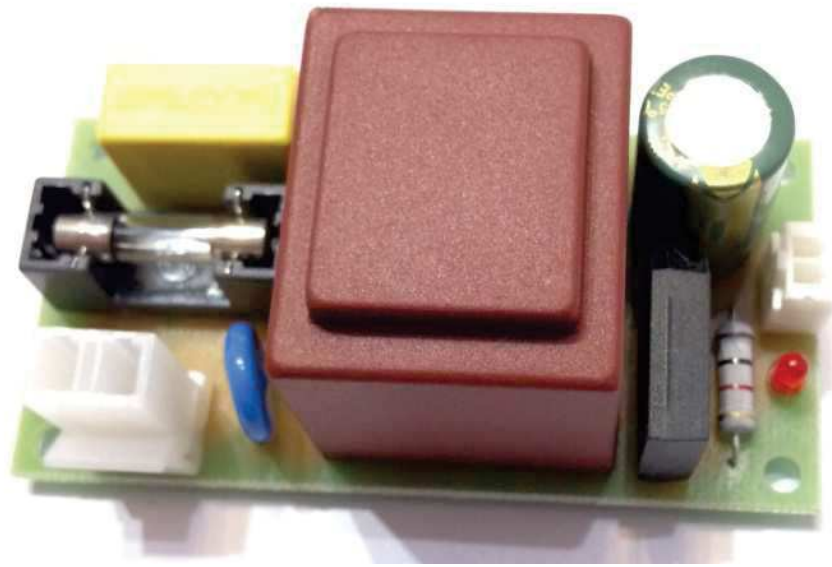


Рисунок 3.14 – Блок живлення САРТ

Другий вузол складає плата контролю (зображено на рис. 3.15), яка включає в себе мікропроцесорний блок, компоненти живлення для мікроконтролера, усі обов'язкові порти введення/виведення та світлові індикатори, а також потрібні логічні схеми й механізм захисту.



Рисунок 3.15 – Головна плата управління САРТ

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Третій блок, а саме плата виявлення моменту, коли синусоїда перетинає нульову позначку, зображений на схемі рисунка 3.16.



Рисунок 3.16 – Плата детектора «0»

Блок номер чотири – це плата, призначена для виведення показників системи, котра у своїй структурі має енкодер, необхідний для коригування згаданих параметрів (див. рис. 3.17).

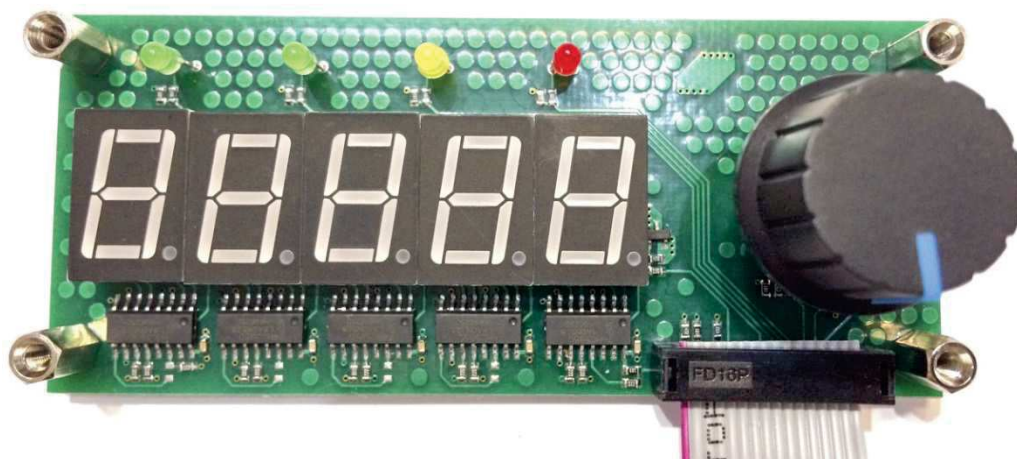


Рисунок 3.17 – Плата індикації та налаштувань параметрів САРТ

### 3.4 Створення програмного забезпечення для автоматизованих температурних контрольних систем

Ваше рішення стосовно того, який саме алгоритм застосувати для регулювання температури у нагрівальній камері чи безпосередньо в самому нагрівальному елементі, буде обумовлене низкою наступних аспектів:

- необхідна точність підтримання температури у встановлених межах;
- температурний діапазон, у якому має відбуватися робота;
- характеристики та теплова накопичувальна здатність (інерційність) самого нагрівального приладу;
- теплова інерційність усієї системи загалом.

Давайте детально розглянемо кожен із цих визначальних моментів.

Найпершим критерієм є вимога до того, наскільки точно слід утримувати температуру в заданому інтервалі, оскільки саме цей фактор спершу визначатиме, який тип нагрівального обладнання буде обрано, а також дозволить спрогнозувати теплову інерційність апаратури вже на етапі розробки проекту.

Ось, наприклад, коли овочі та фрукти сушаться у промислових чи побутових сушильних апаратах, цілком реально підтримувати заданий температурний режим із похибкою у межах двох-трьох градусів. Подібні невеликі відхилення практично не матимуть помітного впливу на кінцеву якість висушеної продукції. У подібних умовах варто зосередитись на забезпеченні якісної теплоізоляції нагрівального відсіку, щоб мінімізувати його теплову інертність. Найефективніше контролювати температуру в заданому діапазоні можна за допомогою простих послідовностей увімкнення та вимкнення ТЕНів.

Проте, якщо цю саму камеру використовувати для сушіння лакофарбових покриттів, виникає гостра потреба у швидкому конвекційному відведенні та видаленні випарів розчинників через вентиляційну систему.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

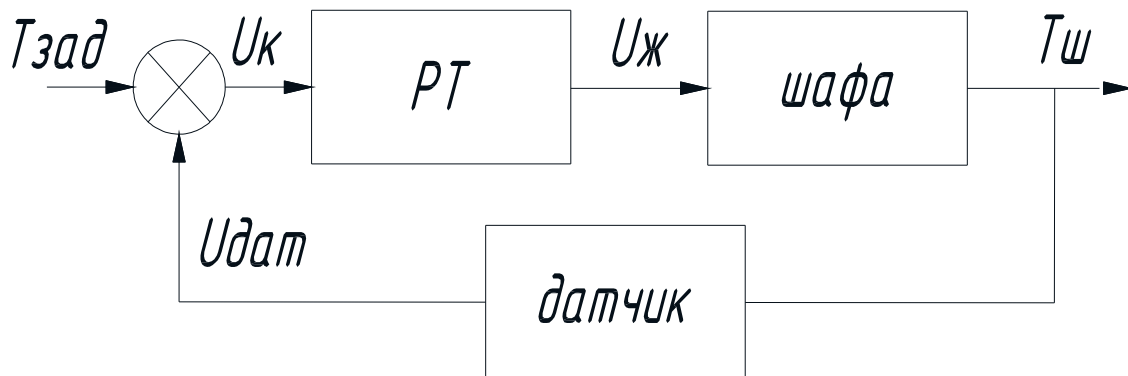
Більше того, критичним стає утримання температури із точністю до одного градуса Цельсія. За таких умов теплова інерція камери істотно зростає, і контролювати її простим циклічним подаванням живлення вже не вийде. Тому доцільніше використовувати метод безперервної стабілізації температури, регулюючи рівень напруги, що подається на нагрівальні елементи.

З проведеного лаконічного огляду випливає, що універсального, єдино вірного методу управління не знайти. Вибір цілком обумовлений специфічними вимогами до технічних характеристик ізолюючого простору та технологічних умов виробничого циклу.

Щоб втілити в життя перший варіант алгоритму регулювання системи автоматичного регулювання температури (САРТ), який базується на періодичному вмиканні та вимиканні енергоживлення ТЕНів, буде достатньо налаштувати апаратне переривання за часовим лічильником (таймером) мікроконтролера з чітко визначеною тривалістю циклу. У цьому сценарії з розробленого набору обладнання залучатимуться блок живлення, плата для контролю та плата для відображення інформації і внесення коректив. Немає необхідності задіювати детектор "нульового" переходу. Керування може бути реалізоване згідно зі схемою, ілюстрованою на рисунку 3.18.

Ця система належить до розряду систем із програмно-реалізованим контролем, де поєднані як цифрові, так і релейні методи обробки інформації [21]. Контрольованим об'єктом, для прикладу, може слугувати промислова камера (шафа). Параметром, який постійно моніториться, є тепловий стан всередині цієї камери, позначений як Тш. Зчитування температурних даних здійснюється за допомогою відповідного сенсорного елемента.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



Рисунку 3.18 – Структурна схема САК

Інформація від сенсора, чи то в цифровій, чи то в аналоговій формі, залежно від його конструкції, надходить до ланки порівняння. У нашому сценарії цією ланкою є мікроконтролер (МК). Він зіставляє отриману величину з попередньо встановленим значенням, і результатом є керуючий сигнал, що має вигляд напруги  $U_k$ . Цей керуючий сигнал може мати лише два дискретні стани: логічний нуль («0») або логічна одиниця («1»), і він подається на твердотільне реле, котре, своєю чергою, комутує живлення нагрівальних елементів. Таким чином, ця система являє собою релейний контур автоматичного регулювання, де нагрів або вимикається, або вмикається залежно від того, як співвідносяться встановлене та фактично замірйане значення температури.

Виходячи з цього, програмне забезпечення для втілення такого алгоритму буде найбазовішим можливим рішенням. Воно зводиться до генерації мікроконтролером високого чи низького логічного рівня на своєму виході, який контролює роботу твердотільного реле (див. РИС. 3.3), залежно від співвідношення між бажаним і фактичним рівнем вимірюваного параметра.

Цей керуючий алгоритм для САК є доречним для апаратури, яка характеризується малою тепловою інертністю, як елементів нагріву, так і всієї

системи загалом, за умови забезпечення стабілізації температури у заданих межах.

Якщо ж апаратура відзначається значною тепловою інерцією, або ж її інертність здатна змінюватися під час експлуатації через вплив зовнішніх чинників, доцільніше використовувати безперервне живлення нагрівальних елементів, а налагодження температури здійснювати шляхом варіації напруги живлення.

Для здійснення корекції напруги живлення використовуються пристрої, відомі як диммери напруги, які можуть функціонувати відповідно до конфігурацій підключення, зображених на схемі у рисунку 3.19.

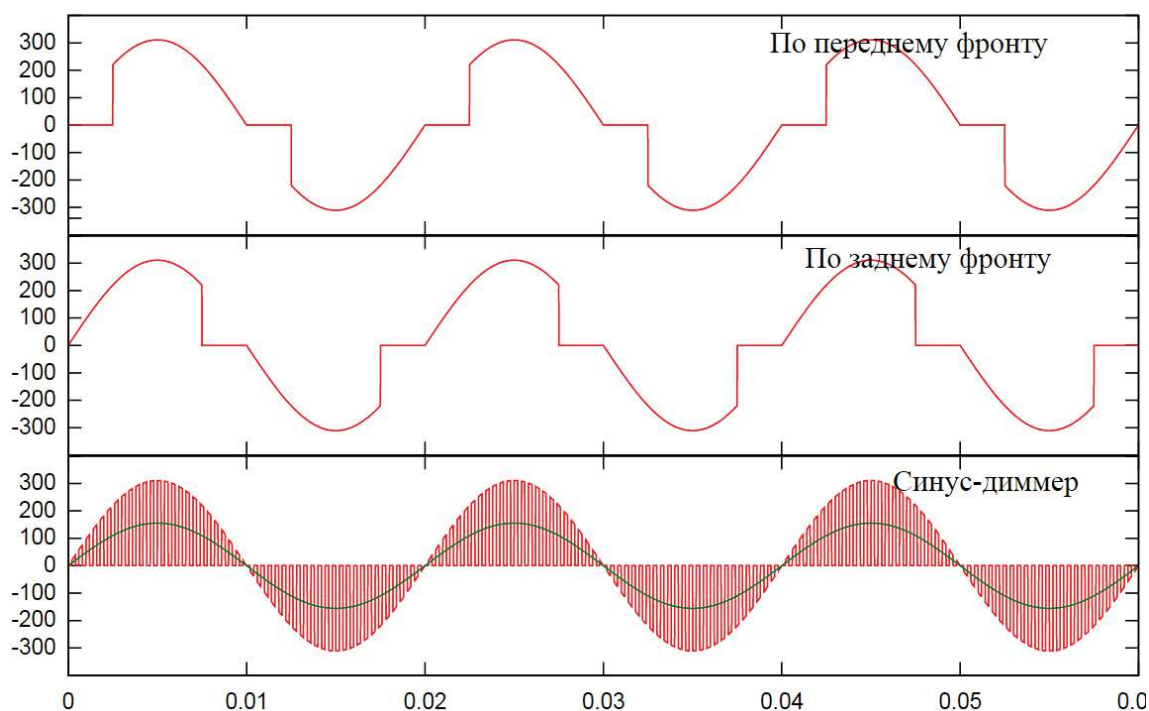


Рисунок 3.19 – Можливі схеми включення димера напруги

Досліджений нами метод регулювання, що оперує переднім фронтом, узгоджується з проектом силового регулятора, який ми створили. Він базується на властивості ключа на базі симістора: він може увімкнутися у будь-якій точці кута повороту і вимкнутися лише під час перетину фазової напруги нульового

значення. Натомість другий та третій варіанти керування стають доступними виключно за умови застосування транзисторної реалізації, що зумовлює необхідність іншої архітектури схеми та відповідного програмного забезпечення. У межах цієї магістерської кваліфікаційної роботи ми зосередимося на першому способі регулювання, який стосується напруги живлення.

Програмна реалізація цього керуючого впливу може бути виконана двома основними методами: по-перше, за допомогою фазово-імпульсної модуляції, і по-друге, використовуючи процедуру, подібну до алгоритму Брезенхема.

Фазо-імпульсний спосіб регулювання детально викладено у параграфі 3.1. Його впровадження вимагає залучення усіх розроблених компонентів САРТ. Для програмної реалізації потрібно володіти інформацією про частоту мережевої напруги, яка у нашій ситуації фіксована і становить 50 Гц, а також визначитися з методом керування: чи то за рівнем живлення, чи то за температурою. Зупинимося на методі керування. Температурний режим моніториться за допомогою терморезистора або датчика — аналогового чи цифрового. Кінцевий трансформований сигнал від сенсора обробляється мікроконтролером (МК) та зіставляється із встановленим значенням; якщо поточна температура нижча за задану, виникає потреба у підвищенні напруги, що подається на нагрівальний прилад. У ситуаціях, коли як нагрівачі використовуються кварцово-галогенні або теплові лампи, існує опція контролю інтенсивності світлового потоку за допомогою вимірювальних приладів або ж емоційно (спираючись на досвід оператора). Суб'єктивний спосіб оцінки яскравості, наприклад, може бути встановлений на певному рівні. У будь-якому варіанті контролю вихідної величини, керуючий сигнал матиме форму напруги живлення цих компонентів. Для корекції потужності теплового випромінювання необхідно змінити рівень робочої напруги на визначену величину. При мережевій частоті 50 Гц тривалість однієї напівовнісинусоїди

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

знаходяться у межах 10 мс. Якщо потрібно відрегулювати напругу живлення у діапазоні від 10 до 100 відсотків, слід забезпечити відкриття симістора із затримкою, яка варіюється від 9 до 0 мс. Відстеження моменту проходження синусоїди через нульове значення реалізується за допомогою плати моніторингу (див. рис. 3.16).

Зміна робочої напруги відповідно до закону Ома спричинить зміну величини струму [22]:

$$I = U/R \quad (3.1)$$

Зміна потужності електричного струму спричинить зміну обсягу теплоти, що вивільняється у нагрівальному елементі, відповідно до формулювання закону Джоуля-Ленца [16]:

$$Q = I^2 R t \quad (3.1)$$

Принцип фазово-імпульсного керування полягає у встановленні часового інтервалу від перетину нульової позначки до моменту подачі живлення, і, на відміну від методу Брезенхема, не вимагає подальшого детального аналізу.

Метод Брезенхема (див. [21]) традиційно використовується у сфері комп'ютерної графіки, однак його потенціал поширюється і на управління потужністю елементів нагріву через варіації середнього рівня напруги. Завданням алгоритму Брезенхема є визначення відповідних пікселів двовимірної сітки (растру), які слід активувати (зафарбувати), аби максимально точно візуалізувати пряму лінію між двома заданими координатами.

Його ключовий аспект полягає у необхідності для кожної вертикальної координати X (як показано на ілюстрації 3.20) знайти горизонтальну

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

координату  $Y$ , що знаходиться найближче до лінії, і відповідно зафіксувати цю точку.

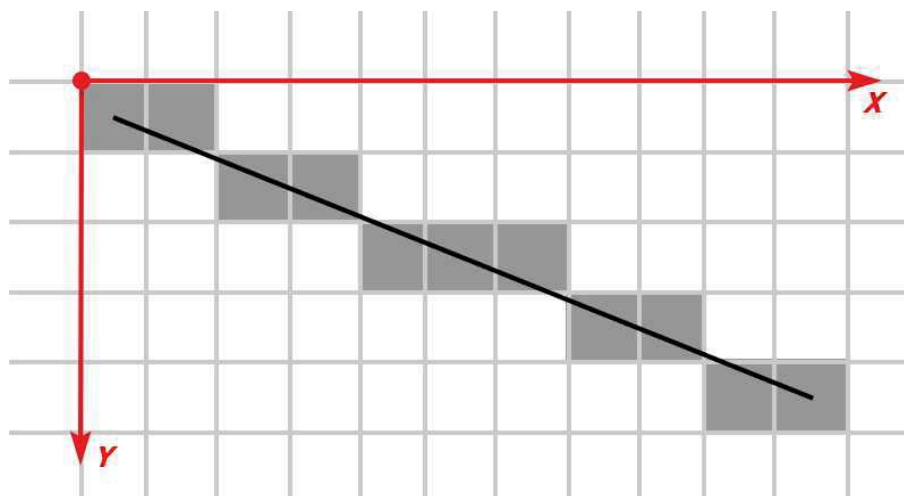


Рисунок 3.20 – Викреслювання лінії за алгоритмом Брезенхема

У праці [21] детально викладено застосування цього алгоритму для регулювання нагрівальних пристроїв. Основний принцип роботи ілюструє малюнок 3.21.

Згідно з рисунком 3.21, коригування потужності, що виділяється нагрівальним елементом, досягається модифікацією напруги живлення. Примітно, що це регулювання реалізується не шляхом затримок після перетину нульової позначки перед увімкненням симістора, а застосуванням пропусків окремих напівхвиль синусоїдального сигналу згідно з певною схемою. Якщо кількість пропущених напівхвиль зростає, середній рівень напруги, що подається на нагрівачі, зменшується, що, у свою чергу, веде до пропорційної зміни обсягу теплової енергії, яка ними генерується.



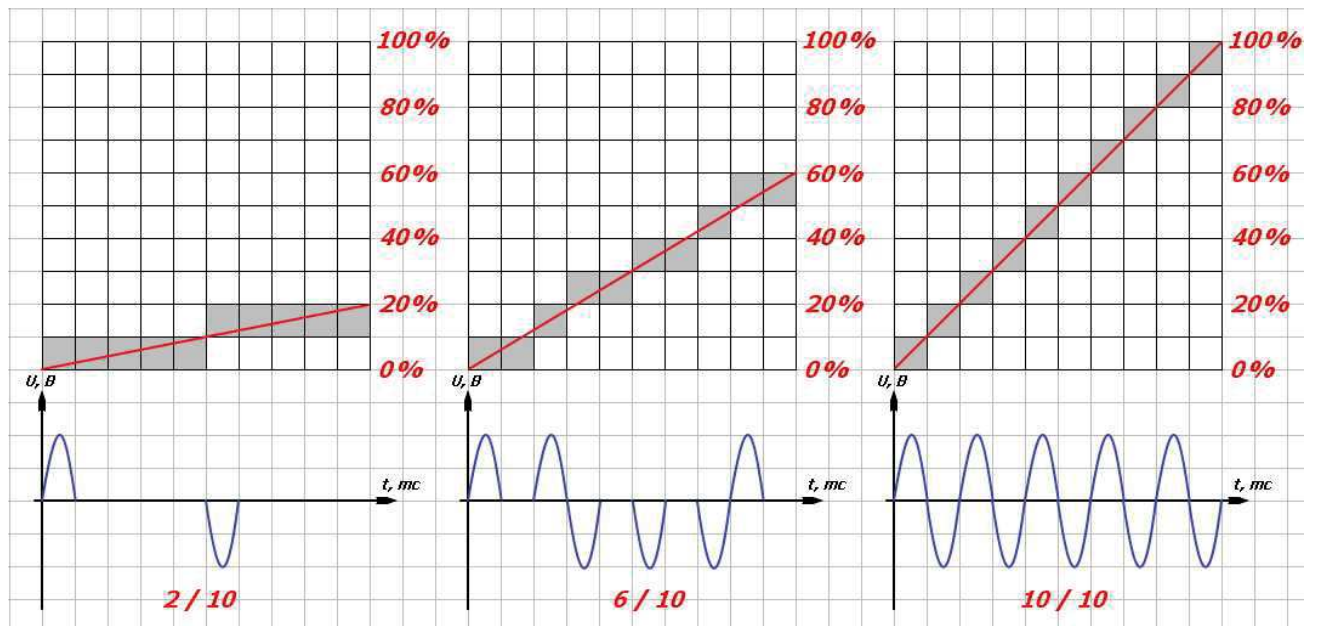


Рисунок 3.22 – Зміна потужності напруги живлення споживача за алгоритмом Брезенхема

Зображення 3.22 демонструє, що симісторний перемикач на платі управління слід активувати у мить, коли розгортка змінює рівень по вертикальній осі. Розмикання ж цього симістора відбувається при наступному проходженні через нульове значення. Якщо ж часовий інтервал збільшити до однієї мілісекунди, ми отримаємо сітку розміром сто на сто елементів та крок зміни вихідної потужності один відсоток.

Втілення цього алгоритму із застосуванням програмних засобів є більш заплутаним, порівняно з фазо-імпульсним методом регулювання.

Керуюча програма включає спеціальний бібліотечний файл, а також секцію головної програми, де здійснюється звернення до функцій, детально викладених у цій бібліотеці.

Повний опис програми управління для САРТ представлений у Додатку А.

### 3.5 Висновки до розділу

1) Завершивши роботу над цим розділом, ми досягли наступних здобутків:

2) Були чітко окреслені цілі й завдання, необхідні для створення системи, яка автоматично контролюватиме температуру;

3) Створено загальну архітектурну модель САРТ. На базі цієї моделі підібрано ключові компоненти та розроблено деталізовану електричну схему;

4) Проведено ґрунтовний аналіз того, як саме алгоритми управління САРТ повинні працювати, аби гарантувати стабільну температуру всередині нагрівальних пристроїв, враховуючи їхнє конкретне призначення;

5) На основі кожного із розглянутих методів керування було розроблено відповідне програмне забезпечення.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

## ВИСНОВКИ

Під час роботи над темою магістерської роботи було досліджено ключові параметри, що стосуються поняття температури, а також визначено температурні шкали й одиниці для її вимірювання, включно з принципами роботи приладів, призначених для цього.

Було опрацьовано головні аспекти, які потребують вирішення у процесі вдосконалення тепловимірювальних установок та конструкцій апаратури.

За підсумками вивчення та аналізу вже існуючих конструкцій систем автоматизованого контролю температури, було виявлено їхні специфічні риси, а також проведено розбір сильних та слабких сторін.

Дійшли висновку про необхідність розробки та детального вивчення конструкції, яка гарантуватиме належне здійснення технологічних операцій, де критично важливим є підтримання заданих температурних умов.

Було розглянуто математичний опис універсального апарату для вимірювання температури. Сформовано повний комплект алгоритмів, що дає змогу створити алгоритм управління пристроєм вимірювання температури за допомогою мікропроцесора.

Сформовано висновок про слушність розробки системи автоматичного регулювання температури (САРТ), яка забезпечить високу якість виконання технологічних процесів, що вимагають стабільного температурного режиму.

На базі розроблених структурної та електричної принципової схем САРТ були виготовлені друковані плати, придатні для використання як у побутових, так і у промислових умовах.

Було створено програмне забезпечення для САРТ, яке надає можливість коригувати рівень напруги, що подається на нагрівальні елементи, залежно від фіксованої температури всередині нагрівальної камери, використовуючи методи фазово-імпульсного керування або алгоритм Брезенхема.

					<i>МРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ладанюк А.П. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів / А.П. Ладанюк // К.: Інтегр. Логістик Україна. – 2015. – 408 с.
2. Основи метрології та вимірювальної техніки : навч. посіб. у 2 т. / В.Д.Ціделко, Н.А.Яремчук, С.А.Затока та ін. – Т. 2. – К. : НТУУ “КПІ”, 2015. – 268 с.
3. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В. В. Кухарчук та ін.- Харків : НТУ “ХПІ”, 2020. - 165 с.
4. Теплотехнічні вимірювання, метрологія та стандартизація : лабораторний практикум /О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 110 с.111 сторінок
5. Quinn. Temperature. - Monographs in physical measurement. Academic Press. London, New York, Paris, San Diego, San Francisco, Sydney, Tokyo, Toronto, 1983.
6. Курилов А. Ф. Теплотехнічні вимірювання і прилади : навч. посіб. / А. Ф. Курилов, В. М. Козін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 189 с.
7. Ельперін, О.М. Автоматизація виробничих процесів: Підручник / Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед — К.: Видавництво Ліра-К, 2015 — 300 с.
8. Новацький А.О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Підручник. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2020. — 361 с.
9. Автоматизація виробничих процесів :підручник / О. І. Черевко, Л. В. Кіптела, В. М. Михайлов, О. Є. Загорулько; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2014. – 186 с.
10. Патент на винахід 114431 UA, МПК G05B 11/00, G05B 13/04, G05D 23/30 (2006.01) Регулятор температури електронний / Мельникович Д.І.; - № а 2015 04852 ; заявл. 12.06.2017; опубл. 25.11.2017, Бюл. № 11, 2017 р.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

11. Патент на корисну модель 104012 UA, МПК G05D 23/19 (2006.01) Регулятор температури / Осадчук О.В., Семенов А.О., Коваль К.О., Кулик Я.М., Слободяник О.С. ; заявник Вінницький національний університет - № у 2015 06241 ; заявл. 24.06.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1, 2016 р.

12. Патент на корисну модель 71146 UA, МПК G05D 23/19 (2006.01) Регулятор температури / Бітченко О.М., Коняхін Г.Ф., Тичинська О.В. ; заявник Українська інженерно-педагогічна академія - № у 2011 13210 ; заявл. 09.11.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13, 2012 р.

13. Патент на корисну модель 17919 UA, МПК G05D 23/19 (2006.01) Пристрій для регулювання температури / Нарожний В.В., Бандура І.М., Кравченко О.М.; заявник Національний аерокосмічний університет ім М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут» - № у 200604543; заявл. 25.04.2006; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.

14. Патент на корисну модель 36172 UA, МПК G05D 23/00 (2006.01) Пристрій для регулювання температури / Любчик В.Р., Горященко К.Л., Рибалко О.П.; заявник Любчик В.Р., Горященко К.Л., Рибалко О.П. - № у 200807449; заявл. 30.05.2008; опубл. 10.10.2006, Бюл. № 19, 2008 р.

15. Патент на корисну модель 107781 UA, МПК G05D 23/00 (2006.01) Програмно-апаратний комплекс для регулювання температури / Смолянкін О.О., Захарчук О.Б. ; заявник Луцький національний університет - № у 2015 11812 ; заявл. 30.11.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12, 2016 р.

16. Федік Л. Ю. Виробничі процеси і обладнання об'єктів автоматизації: навч. посіб. / Л. Ю. Федік, Л. О. Гуменюк, П. О. Гуменюк. – Луцьк: Вежа-Друк, 2020. – 287 с

17. Контролер з подвійною функцією налаштування PID регулятора. Серія TZN/TZ. Технічний опис. Autonics. 22 с.

18. Solid state relays industrial, 1-phase analog switching type RM1E. Техническое описание. Carlo Gavazzi. 4 с.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Ремонт, монтаж та експлуатація технологічного обладнання легкої промисловості. Методичні вказівки до курсового проектування для студентів спеціальності “Обладнання легкої промисловості та побутового обслуговування” / М.Є. Скиба, В.І. Іщук, Ю.О. Заїчко. – Хмельницький: ТУП, 2002. – 56 с.

20. ІІ Лісовий — Аналогова та інтегральна схемотехніка : навчальний посібник / [В. М. Кичак, В. Д. Рудик, А. О. Семенов, О. О. Семенова]. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 267 с

21. Алгоритмізація та програмування : підручник / О.Г. Трофименко, Ю.В. Прокоп, Н.І. Логінова, О.В. Задерейко. 2-ге вид. перероб. і доповн. Одеса : Фенікс, 2019. – 477 с.

22. Цифрові та аналогові системи передачі: Підручник для вузів / Іванов В.І., Гордієнко В.М., Попов Г.Н. та ін; Під ред.Іванова В.І. .- М.: Радіо і зв'язок, 2007 .- 232с.: Іл. .- Бібліогр.: С.229-230 .- ISBN 5-256-01226-6.

23. Методи та засоби експериментальних досліджень : Навчальний посібник / Параска Г.Б., Прибега Д.В., Майдан П.С. - Київ : Кондор-Видавництво, 2017. – 138 с.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Додатки

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73