

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри
к.ф.-м.н., І.І. Чичура

«___» _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему:

РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ МУФЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОПЕЧІ

Виконав:

Мозер Віктор Антонович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник:

к.ф.-м.н., Цигика В.В., доц.
(вчене звання, ПІБ, посада)

_____ (підпис)

Ужгород – 2023

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет

Кафедра приладобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень «БАКАЛАВР»

Напрямок підготовки Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ст. викл. Ігор ЧИЧУРА.

“ 10 ” червня 2023р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ**

студенту Мозеру Віктору Антоновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема КБР «Регулятор температури муфельної електропечі»
керівник роботи Цигика В.В. канд. фіз.-мат. наук, доцент каф. ПБ
(вчене звання, ПБ, науковий ступінь)
затверджені Розпорядженням по ІТФ від “12” Травня 2023 року № 16.
2. Строк подання студентом роботи “12” червня 2023 року.
3. Вихідні дані до роботи: Виконати наступні завдання КБР: розглянути різновидності систем автоматичного керування, види регуляторів, типові схеми терморегуляторів, датчики температури та схеми їх включення, розробити схеми електричні структурну та принципову мікроконтролерного регулятора температури електропечі. Потужність нагрівача - 1 кВт, температура нагріву до 1100°C, максимальна відносна похибка вимірювання температури $\pm 5\%$, живлення приладу від мережі напругою 220 В $\pm 10\%$, частотою 50 ± 1 Гц.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, огляд науково-технічної літератури по темі КБР, розробка схеми

електричної структурної та схеми електричної принципової терморегулятора, висновки, перелік посилань, додатки.


5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
схема електрична структурна регулятора температури, схема електрична принципова.

7. Дата видачі завдання " 20 " лютого 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

/п	Назва етапів виконання КБР	Строк виконання етапів проекту	Примітка
	Огляд літератури	до 1/03/23	
	Розробка схеми електричної структурної	до 15/03/23	
	Вибір елементної бази	до 10/04/23	
	Розробка схеми електричної принципової	до 30/04/23	
	Робота над програмним забезпеченням	до 10/05/23	
	Оформлення креслень	до 25/05/23	
	Оформлення текстової частини	до 10/06/23	

Студент  Віктор МОЗЕР
(підпис) Ім'я ПРИЗВИЩЕ

Керівник КБР  Володимир ЦИГИКА
(підпис) Ім'я ПРИЗВИЩЕ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи: 44 с., 1 табл., 23 рис., 11 джерел.

АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ, РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

Об'єкт дослідження – системи автоматичного регулювання температури.

Мета роботи - розробка мікроконтролерного регулятора температури муфельної електропечі з потужністю нагрівача 1 кВт і максимальною температурою нагріву до 1100 °С.

В даній КБР розглянуто різновидності систем автоматичного керування, види терморегуляторів, датчики температури та схеми їх підключення.

Розроблено схему електричну структурну двопозиційного регулятора температури, вибрано необхідну елементну базу. Розроблено схему електричну принципову на основі мікроконтролера ATTINY13а, блок-схему алгоритму роботи програмного додатку, а також розглянуто питання програмування мікроконтролера в середовищі Ардуїно.

THE TEMPERATURE REGULATOR OF THE MUFFLE ELECTRIC FURNACE

ABSTRACT

Explanatory note to the qualifying bachelor thesis: 44 p., 1 chart, 23 draw., 11 sources.

AUTOMATIC CONTROL, TEMPERATURE REGULATOR,
MICROCONTROLLER, SOFTWARE.

The object of research is automatic temperature control systems.

The purpose of the work is the development of a microcontroller temperature regulator of a muffle electric furnace with a heater capacity of 1 kW and a maximum heating temperature of up to 1100 °C.

In this work, varieties of automatic control systems, types of thermostats, temperature sensors and their connection schemes are considered.

The electrical structural diagram of the two-position temperature regulator has been developed; the necessary element base has been selected. An electrical schematic diagram based on the ATTINY13a microcontroller, a block diagram of the software application algorithm, and the issue of programming the microcontroller in the Arduino environment have been developed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	(7)
1 ВИДИ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРІВ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ	(8)
1.1 Класифікація принципів автоматичного управління	(8)
1.2 Види та порівняльна характеристика регуляторів	(12)
1.3 Датчики температури.....	(14)
1.4 Типові схемні рішення регуляторів температури	(18)
2 РОЗРОБКА РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРИ МУФЕЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	(22)
2.1 Структурна схема терморегулятора.....	(22)
2.2 Вибір елементної бази.....	(24)
2.3 Розробка схеми електричної принципової.....	(32)
2.4 Відомості про програмне забезпечення.....	(35)
ВИСНОВКИ.....	(38)
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	(39)
ДОДАТКИ.....	(40)
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	
ДОДАТОК В	

КР.АКІТ.19050031. 01.000 ПЗ											
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата							
розробив		Мозер В.А..	<i>Мозер</i>	19.06.21	Регулятор температури муфельної електронечі						
Перевірив		Цигика В.В	<i>Цигика</i>	19.06.21							
Н. Контр.		Тютюников С.В.	<i>Тютюников</i>								
Затв.		Чичура І.І.	<i>Чичура</i>	19.06							
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Літера</td> <td style="width: 15%;">Аркуш</td> <td style="width: 15%;">Аркушівв</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">у</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> </table>	Літера	Аркуш	Аркушівв	у	4	40
Літера	Аркуш	Аркушівв									
у	4	40									
					УжНУ, ІТФ 4 курс гр. АКІТ						

ВСТУП

Муфельні електропечі застосовують в багатьох сферах науки, техніки, промисловості. Зокрема, муфельні печі використовують в лабораторних умовах для синтезу і відпалу зразків для аналізу та дослідження різних матеріалів, в промисловості - для випалювання кераміки, синтезу скла, термообробки металів та інших матеріалів, які потребують високих температур.

Одним із ключових вузлів установок термообробки є пристрій, який керує і підтримує задану температуру в муфельній печі, а саме, терморегулятор. Основними складовими будь-якого регулятора температури є датчик, що фіксує поточне значення температури, пристрій порівняння даної температури із заданим значенням, який формує сигнал керування, виконавчий регулювальний орган зміни надходження нагрівального агента у теплову установку.

В даній кваліфікаційній бакалаврській роботі розглянуто різновидності систем автоматичного керування, види терморегуляторів, датчики температури та схеми їх підключення. Головною метою при виконанні бакалаврської роботи було засвоєння відповідного вищеназваного теоретичного матеріалу та його практичне застосування у вигляді розробка схеми електричної структурної та принципової мікроконтролерного регулятора температури електропечі з потужністю нагрівача 1 кВт і максимальною температурою нагріву до 1100°C , який здійснює двопозиційне регулювання.

					КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ	Арк
						7
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1 Види терморегуляторів та їх реалізація

1.1 Класифікація принципів автоматичного управління.

Розглянемо питання класифікації принципів автоматичного управління та функціональних схем систем автоматичного управління (САУ). Будова САУ ґрунтується на принципах автоматичного управління за [1]:

- 1) відхиленням від установки або апертури;
- 2) збуренням (компенсуванням збурень);
- 3) комбінованим регулюванням;
- 4) адаптивним (самонастроювальним регулюванням).

В даній кваліфікаційній роботі застосовано перший з вищеперерахованих принципів, який базується на порівнянні вихідного сигналу з потрібним вхідним сигналом і визначенні відхилення між ними. Принцип управління за відхиленням реалізують замкнуті структури САУ із зворотнім зв'язком (рис 1.1).

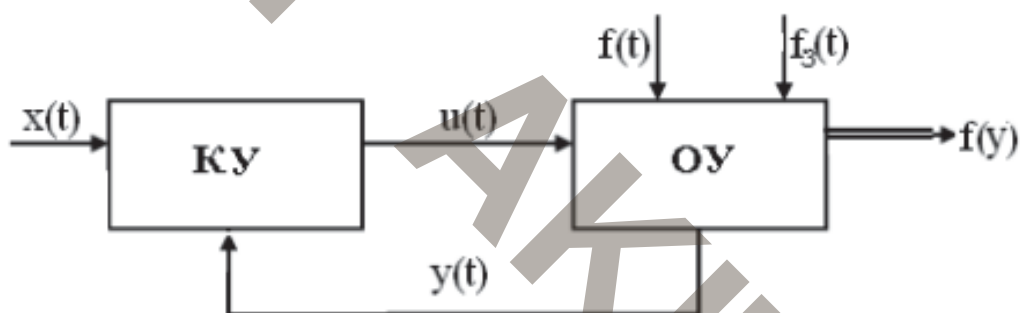


Рисунок 1.1 — Функціональна система САУ [1].

Така структура САУ складається з двох функціонально пов'язаних компонентів:

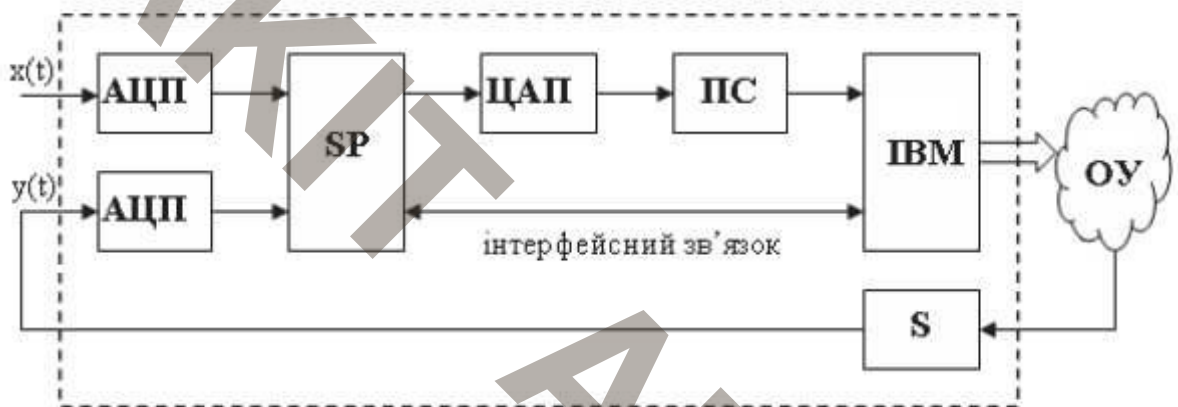
- а) керованого об'єкта управління (ОУ);
- б) контролера управління (КУ), який виконує функції регулятора.

Математичне описання «норми» стану ОУ полягає в отриманні рівнянь станів КУ, які функціонально зв'язують функцію керування $u(t)$ з усіма іншими функціями впливу та реакції ОУ; $x(t)$, $f(t)$, $f(y)$, $y(t)$, де t - час; $x(t)$ – функція управління (уставка або апертура); $u(t)$ -керуюча функція; $f(t)$ та $f(y)$ – вхідна та

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

вихідна функції ОУ; $f_3(t)$ – функція вхідного випадкового збурення; $y(t)$ – інформаційна функція контролю відхилення стану ОУ, за якою виконується регулювання [1].

Контролер автоматичного управління складається з АЦП (виконує перетворення аналогових сигналів у цифрові), спецпроцесора SP (виконує функції порівняння заданого стану "норми" ОУ ($x(t)$) з реальним $y(t)$ та реалізує закон регулювання), ЦАП (перетворює цифрові дані в аналогові), підсилювача ПС, інтерфейсного виконавчого механізму ІВМ (виконує управління об'єктом), сенсора S (перетворює регульований параметр ОУ в електричний сигнал) (рис 1.2) [1].



Рисинук 1.2 — Структура контролера управління (автоматичного регулятора) [1].

На рис. 1.3 фігурує функціональна схема САУ за відхиленням. Особливістю такої САУ є наявність сенсора у зворотньому зв'язку функції станів ОУ $y(t)$ та процесора, який виконує управління об'єктом згідно заданої уставки $x(t)$. Основною особливістю і перевагою САУ, які працюють згідно принципу керування за відхиленням є реагування на відхилення дійсного значення регульованої величини незалежно від причин, що привели до такого відхилення. Тому точність керування є високою, особливо у динамічному режимі.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

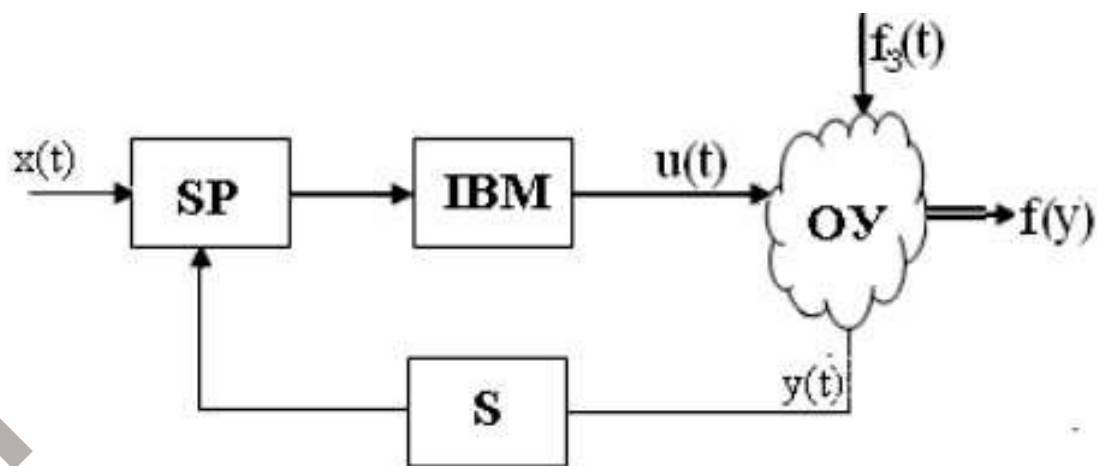


Рисунок 1.3 — Функціональна схема САУ згідно принципу керування за відхиленням [1].

Як відомо з навчальної літератури стосовно САУ, для характеристики елементів автоматики обирають одну вхідну ($X_{\text{вх.}}$) і одну вихідну ($X_{\text{вих.}}$) величину. Статична характеристика елемента – це залежність вихідної величини від вхідної $X_{\text{вих}} = f(X_{\text{вх}})$. Її визначають для усталених режимів процесу. Різновидності статичних характеристик: неперервні та релейні (двопозиційні).

Двопозиційний регулятор (ДР) є одним з простих та широко використовуваних типів регуляторів в автоматичному керуванні. Він також називається реле-регулятором або регулятором зі сполученням вимикач-перемикач. Такі регулятори також називають регуляторами, що працюють за принципом «так – ні», або за законом регулювання «0 – 1» [1]. ДР є простими, надійними, дешевими та можуть бути легко налаштованими для більшості процесів, мають високу швидкість спрацьовування. На рис.1.4 наведено структурну схему ДР [2]. Реалізація двопозиційного регулювання може бути здійснена, наприклад, за допомогою контактних і безконтактних релейних елементів.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата



Рисунок 1.4 — Структурна схема двопозиційного регулятора:

ϵ – вхідний вплив на регулятор; X_p – вплив ДР на об’єкт [2].

До релейних систем регулювання відносять не лише системи, що містять саме реле, а будь-які системи, в склад яких входять ланки будь-якої фізичної природи, що мають статичні характеристики релейного типу, коли вихідна величина ланки змінюється стрибкоподібно при безперервній зміні вхідної величини. Наявність у замкнених автоматичних системах елементів з нелінійними характеристиками є причиною виникнення в них режиму автоколивань.

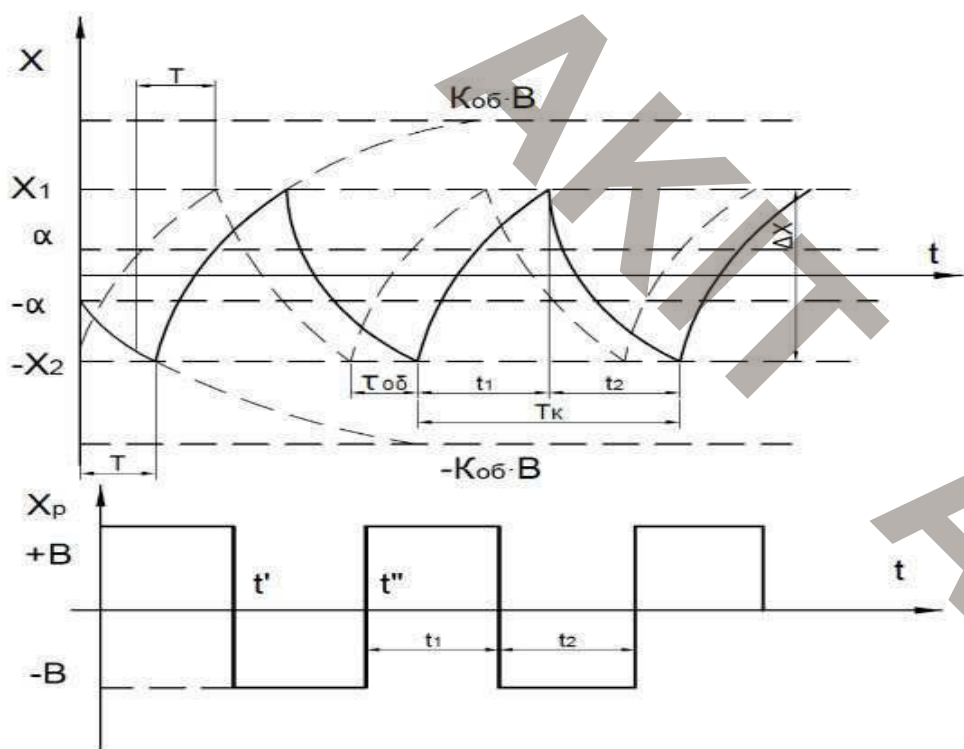


Рисунок 1.5 — Теоретичний перехідний процес в системі з ДР [2]

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

1.2 Види та порівняльна характеристика регуляторів

Окрім статичних слід враховувати і динамічні характеристики перетворювальних ланок, які характеризуються передаточними функціями в формі перетворення Лапласа. Передаточною функцією окремої ланки САУ $W(p)$ називають відношення вихідного зображення по Лапласу $Q(p)$ до вхідного зображення $P(p)$ оригіналу функції $x(t)$ [1].

Пропорційний або П-регулятор. Даний вид перетворювальної ланки змінює значення керованого процесу $x(t)$ пропорційно його відхиленню по амплітуді $\Delta x(t)$.

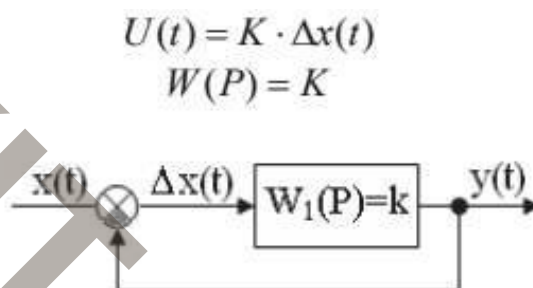


Рисунок 1.6 — Схема П-регулятора [1].

Пропорційний регулятор (Р-регулятор) є одним з основних типів регуляторів і використовується для керування системами зворотного зв'язку. Він реагує на відхилення вимірюваного параметра пропорційно до величини відхилення.

Пропорційно-інтегральний або ПІ-регулятор. ПІ-регулятор включає дві компоненти (пропорційну та інтегруючу ланку) і змінює керований параметр $x(t)$ пропорційно суми відхилення $x(t)$ та інтегралу цього відхилення згідно функції:

$$V(t) = k[\Delta(t) + \frac{1}{T} \int_0^t \Delta(t) dt] \quad (1.1)$$

де k – коефіцієнт підсилення; T – стала часу інтегрування.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

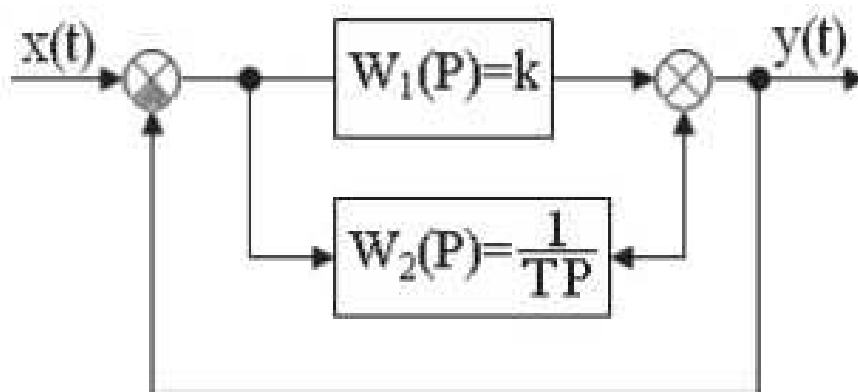


Рисунок 1.7 — Схема ПІ-регулятора [1].

Пропорційно-інтегральний-диференціальний або ПІД-регулятор. ПІД регулятор змінює керований параметр $x(t)$ пропорційно суми:

$$V(t) = k[\Delta x(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x(t) dt + T_g \frac{d\Delta x(t)}{dt}] \quad (1.2)$$

де T_i , T_g - відповідно сталі інтегрування та диференціювання ланок регулятора.

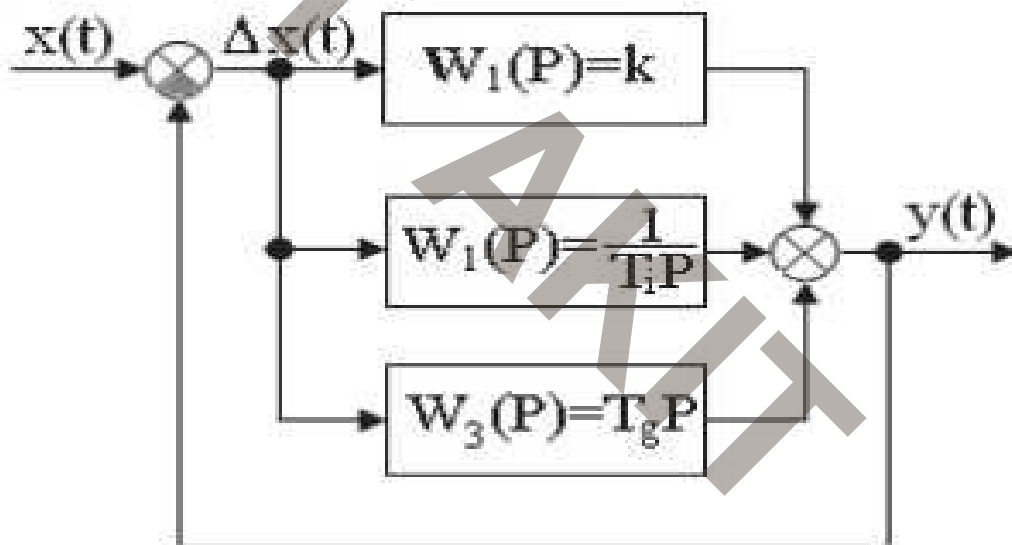


Рисунок 1.8 — Схема ПІД-регулятора [1].

Такі регулятори забезпечують найбільшу точність керування порівняно з попередніми за рахунок сумісного використання переваг як пропорційної, так і інтегральної та диференціальної перетворювальних ланок. Зокрема, пропорційна дія реагує на поточне значення відхилення між вимірюваною і заданою величиною, інтегральна дія враховує накопичену помилку в часі, диференціальна -

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

допомагає контролювати реакцію системи на зміни відхилення і попереджає появу перерегулювання. Коефіцієнти інтегрального (K_i) та диференціального впливу (K_d) визначаються експериментально або на підставі теоретичного аналізу системи [1, 3].

1.3 Датчики температури

Існує багато різних типів датчиків температури, які використовуються для вимірювання температурних значень в різних температурних діапазонах. Ось кілька поширених типів датчиків температури.

Термістор. Термістори є резистивними датчиками температури, що змінюють свій опір в залежності від температури. Зазвичай використовуються два типи термісторів: NTC (Negative Temperature Coefficient - коефіцієнт від'ємної температурної залежності) та PTC (Positive Temperature Coefficient - коефіцієнт позитивної температурної залежності). NTC термістори зменшують свій опір зі збільшенням температури, тоді як PTC термістори збільшують свій опір зі збільшенням температури. Термістори зазвичай мають вузький діапазон вимірювання, але їх вигода полягає в простоті використання і доступності [4].

Терморезистор або RTD (Resistance Temperature Detector). Терморезистор є іншим резистивним датчиком температури, який використовує зміну опору для вимірювання температури. RTD мають високу точність і стабільність, але вони зазвичай дорожчі ніж термістори. В діапазоні від 0°C до 650°C терморезистори з платини використовують як еталонні датчики вимірювань, похибка градуїрованої характеристики платинових терморезисторів не перевищує $0,001^{\circ}\text{C}$ [4].

Залежність опору платинових терморезисторів від температури можна визначити формулами:

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

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

Платинові терморезистори рис 1.11 володіють високою стабільністю і великою відтворюваністю характеристик. Недоліками є велика ціна та не лінійність перетворення [4].

									Арк
									14
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата					

Термопара. Термопара є одним з найбільш поширених типів датчиків температури. Вона складається з двох різних металевих провідників, з'єднаних в одній точці. Працює на принципі термоелектричного ефекту (ефект Зеебека). А саме, генерує мілівольтний сигнал, залежний від різниці температур між гарячим і холодним спаями. Термопари добре працюють в широкому діапазоні температур і мають високу точність [4].

Причиною виникнення термоелектричного ефекту є різні значення роботи виходу електрона і різні концентрації вільних електронів у контактуючих металах. Термопари єдині температурні датчики, що дозволяють вимірювати температуру до 2300°C. Розроблено багато типів термопар, які класифікуються залежно від комбінацій двох різних проводів (табл.1). Вибір певної термопари залежить, насамперед, від необхідного температурного діапазону вимірювання.

Таблиця 1 — Стандартизовані термопари

Тип	Роз мір	Діапазон ° С
J (залізо і константан)	8	-57 до 760
	14	-57 до 593
	20	-57 до 482
K (хромель і алюмель)	24	-57 до 371
	8	-57 до 1260
	14	-57 до 1093
	20	-57 до 982
N (ніхросил і нісил)	24	57 до 870
	8	-57 до 1260
	14	-57 до 1093
	20	-57 до 982
T (мідь і константан)	24	-57 до 870
	14	-57 до 371
	20	-57 до 260
	24	-57 до 200

Схеми підключення термопари зображені на рис. 1.9. У першому варіанті підключення (а) хоч точки і знаходяться за однакової температури, але з'єднані різнорідними провідниками, що в результаті може викликати некомпенсовану термо-ЕРС, що у свою чергу впливає на кінцевий результат вимірювань. При точних вимірюваннях у лабораторних умовах прилад підключається в розрив одного термоелектрода (електрода 4 на рис.1.9). Температуру вільного кінця термопари («опорного») при цьому підтримують постійною. Таке підключення компенсує непотрібну термо-ЕРС, що виникає у точках під'єднання термоелектрода з приладом. Підключення термопари таким способом називається диференціальним [4].

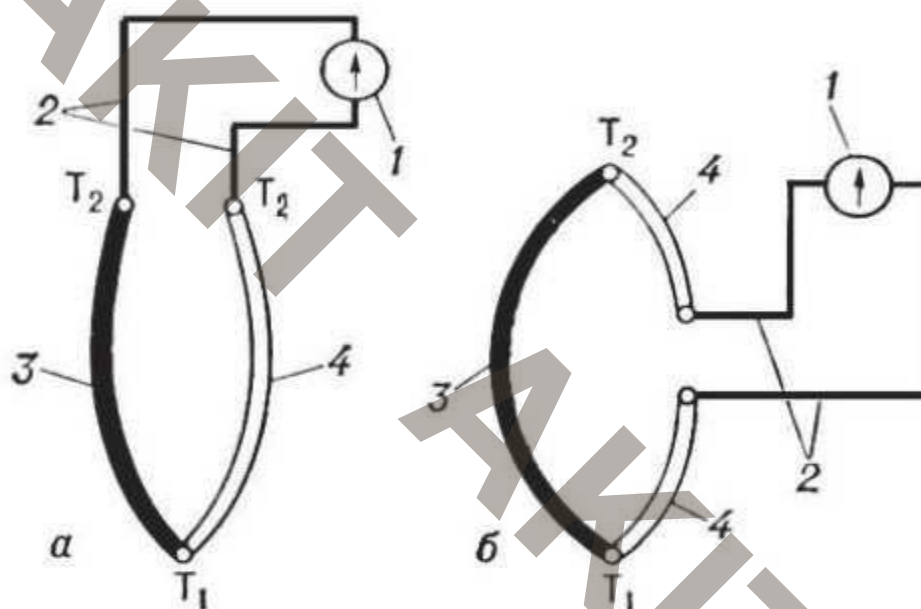


Рисунок 1.9 — Способи підключення термопари [4].

Для розрахунку сумарної термо-ЕРС в ланцюзі диференціальної термопари необхідно знати температуру одного з спаїв. Для цього можна застосовувати термостат з льодом для підтримки температури в 0°C . (рис.1.10). В сучасних терморегуляторах вплив зміни температури холодного спаю на вимірювання компенсують, наприклад, за допомогою терморезистора [4].

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

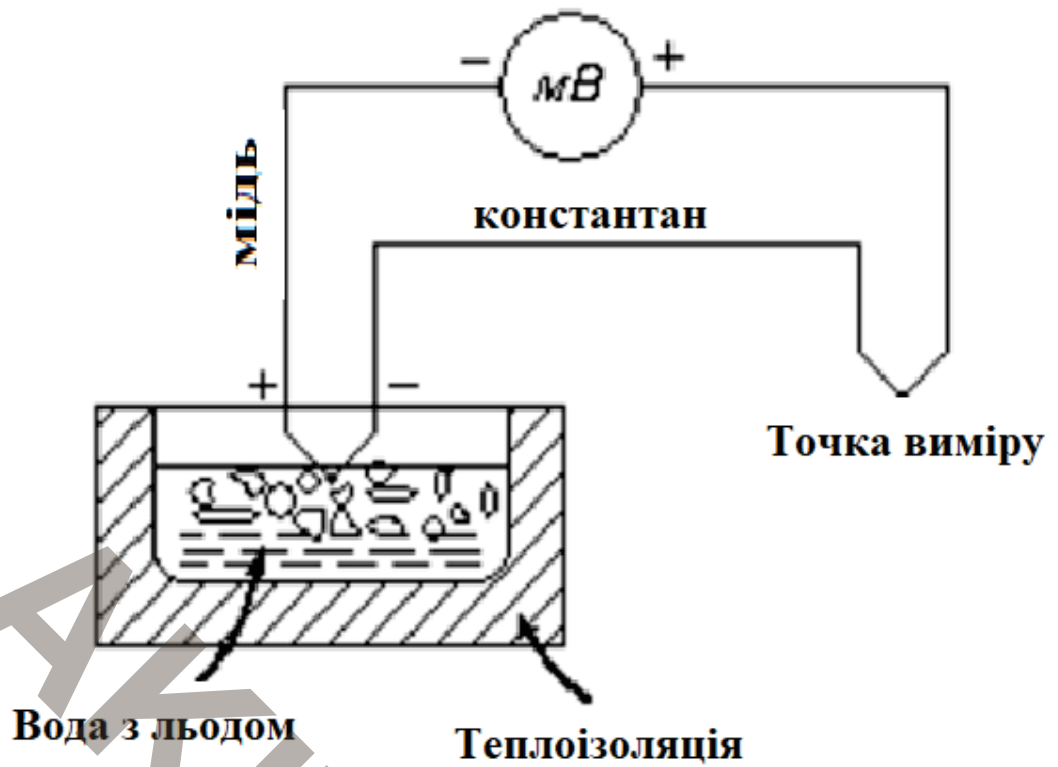


Рисунок 1.10 — Схема застосування диференційної мідь-константанової термопари із термостатуванням холодного спаю [4].

Варіант конструктивного виконання термопари та вигляд її «гарячого», тобто, робочого спаю наведено на рис 1.11 а) та б), відповідно.



Рисунок 1.11 — а) варіант конструктивного виконання термопари б) типовий вигляд робочого спаю.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ

Арк

17

Слід зауважити, що в багатьох випадках застосовують також безконтактні методи вимірювання температури за допомогою пірометрів, інфрачервоних датчиків. Наприклад, інфрачервоні датчики вимірюють теплове випромінювання тіл або поверхонь для визначення їх температури [4].

1.4 Типові схемні рішення регуляторів температури

Промисловість випускає значну номенклатуру регуляторів температури з широким спектром функціональних можливостей щодо реалізації законів регулювання, підбору коректуючих коефіцієнтів, що дає можливість прецизійного регулювання температури об'єкта. Як правило, це складні універсальні пристрої, які розробляються колективом інженерів відповідних конструкторських бюро. Поряд з тим, є багато розробок більш вузького застосування, які пропонуються в технічній літературі окремими авторами. В минулі роки вони виконувалися на базі дискретних елементів, пізніше – на аналогових і цифрових мікросхемах. В даний час розробляються, як правило, мікроконтролерні терморегулятори, що, з одного боку, дає можливість певного спрощення схемотехнічної реалізації, але, з іншого боку, потребує розробки та інсталяції необхідного програмного забезпечення. Нижче розглянуто приклади подібних розробок.

Універсальний термостат на мікроконтролері PIC16F628 запропоновано в роботі [5], схема електрична принципова даного пристрою наведена на рис. 1.12. Даний регулятор розроблено для температурного діапазону від -25°C до $+75^{\circ}\text{C}$ з кроком $0,25^{\circ}\text{C}$. В пристрої передбачена можливість регулювання температурного гістерезису комутації виконавчого елемента даної системи автоматичного управління. Надто малий гістерезис призводить до дуже стабільної температури, але має суттєвий недолік: система нагрівання або охолодження вмикається і вимикається з високою частотою, що зазвичай призводить до додаткового зношування компресора (охолодження). Гістерезис можна регулювати від $0,1^{\circ}\text{C}$ (дуже стабільна температура) до 10°C (практично ніякого контролю) з кроком $0,1^{\circ}\text{C}$ [5].

									Арк
									18
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ				

Налаштування термостата можуть бути змінені за допомогою 3-х кнопок, а вся інформація відображається на рідкокристалічному екрані розміром 2 × 16 символів. Налаштування зберігаються в EEPROM всередині мікроконтролера PIC. Під час нормальної роботи РК-екран використовується для відображення фактичної температури [5].

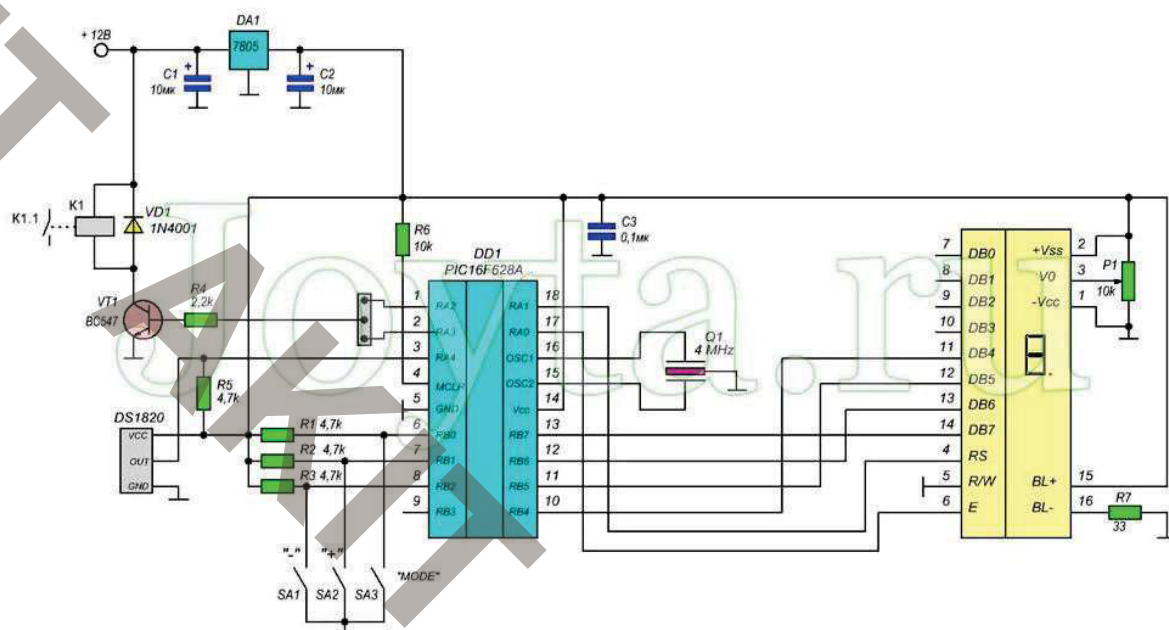


Рисунок 1.12 Схема електрична принципова універсального термостату [5].

Основний компонент у цій схемі – мікроконтролер PIC16F628. Як датчик температури вибраний DS1820. Джерелом тактових імпульсів для мікроконтролера є керамічний резонатор на 4 МГц із вбудованими конденсаторами. Управління охолодженням та нагріванням здійснюється шляхом програмування мікроконтролера. Очевидно, що при охолодженні система повинна включатися, коли температура надто висока, а при нагріванні необхідно вживати відповідних заходів, коли температура може стати надто низькою[5].

Порядок налаштування термостата за допомогою 3-х кнопок наступний. Утримуємо кнопку « Mode », доки не з'явиться напис « set temperature », після чого можна покроково встановити бажану температуру за допомогою кнопок + та - . Повторним натисканням кнопки " Mode " можна встановити бажаний гістерезис за допомогою кнопок + та - . Гістерезис 1° С означає, що при заданому значенні температури 20° С і нагріванні вихід стає активним, коли температура

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата
-----	-----	---------	--------	------

падає нижче 19°C ($20 - 1$) і відключитися, коли температура досягає 21°C ($20 + 1$) [5].

Двопозиційний принцип регулювання температури застосовано також в терморегуляторі [6]. В даній розробці застосовано мікроконтролер PIC16F676, характеристики якогонайбільш оптимально підходять для створення вимірювальних пристроїв та пристроїв автоматики [6]. Для генерації тактової частоти застосовано кварцовий резонатор 20 МГц. Індикація температури реалізована в динамічному режимі на трирозрядному світлодіодному індикаторі із спільним катодом, управління сегментами якого здійснено через мікросхему зсуваючого регістра 74НС164.

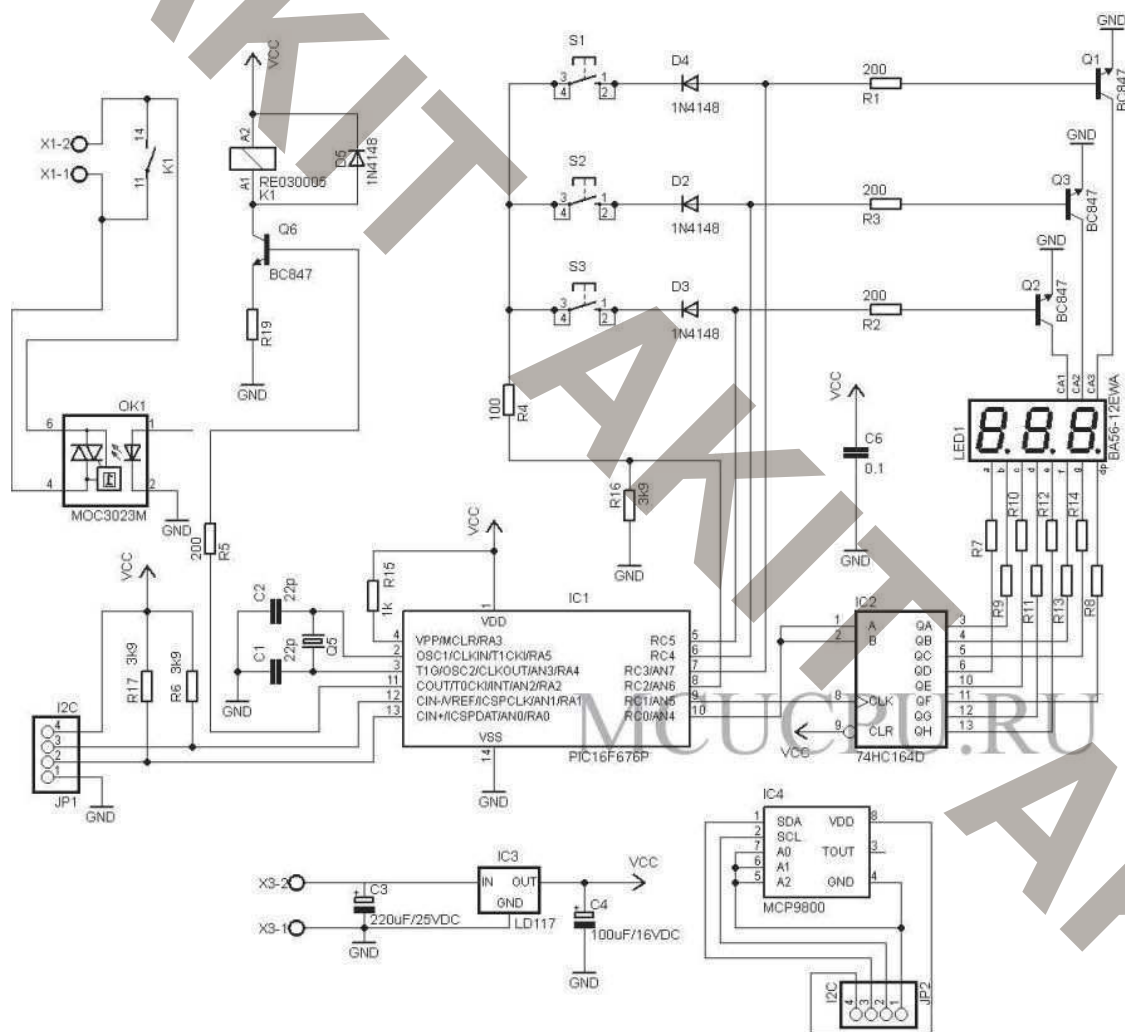


Рисунок 1.13 – Схема електрична принципова терморегулятора [6].

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Температуру вимірює датчик з цифровим виходом МСР9800 з абсолютною похибкою 0,5 градуса. Підключення до контролера виконано по шині I2C. Комутацію в колі нагрівача здійснює мініатюрне електромагнітне реле серії RE03. Зокрема, модель RE032005, напруга спрацювання якої складає 5 В, здатна комутувати навантаження в колі змінного струму напругою 230 В і силою струму 6 А. Задання температури спрацювання реле здійснюють 3 кнопки. Кнопка S3 при тривалому утриманні переводить керуючу програму в режим установки температури. Кнопки S1, S2 призначені для збільшення і зменшення температури стабілізації. Крок зміни задатчика рівний роздільній здатності датчика (в даному випадку 0,5 °С). Діапазон зміни температури – від 0 до 99,9 °С. Для виходу з режиму задатчика слід знову тривало утримувати кнопку S3 [6].

					<i>КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

2. Розробка регулятора температури муфельної печі

2.1 Схема електрична структурна терморегулятора

В даній кваліфікаційній роботі застосовано принцип автоматичного управління за відхиленням від заданого значення, який базується на порівнянні вихідного сигналу із заданим вхідним сигналом. Схему електричну структурну регулятора температури муфельної печі, яка реалізує замкнену САУ із зворотнім зв'язком, наведено на рис 2.1.

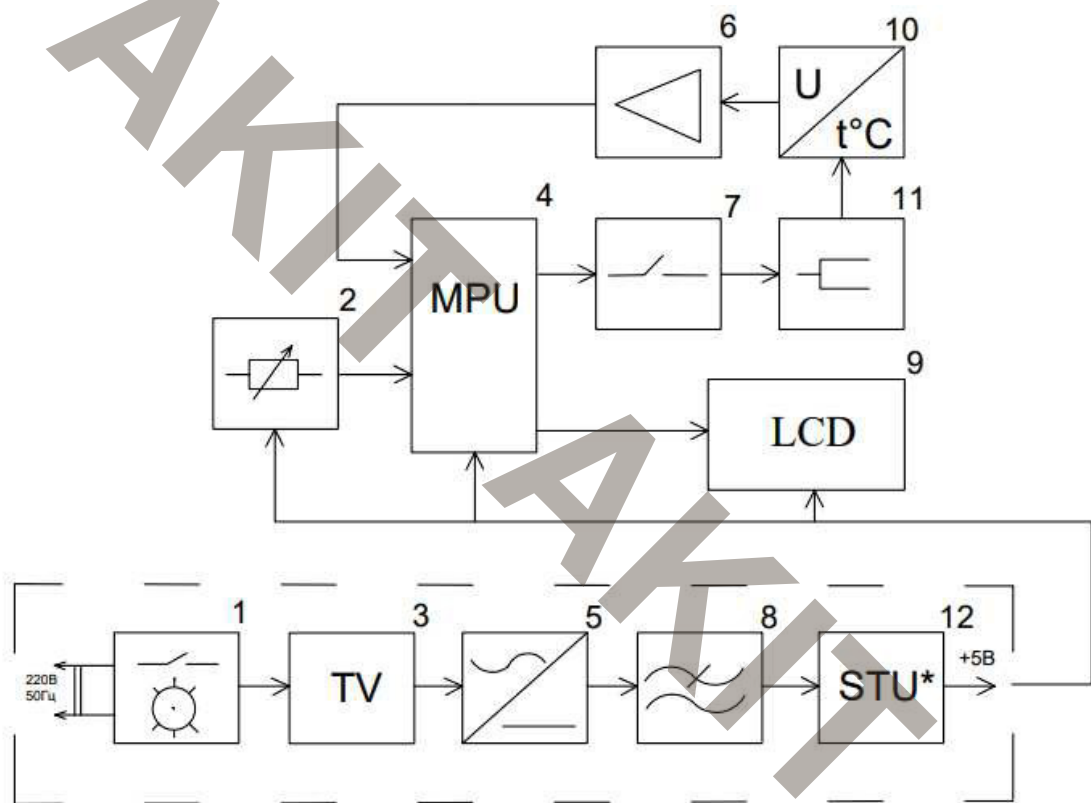


Рисунок 2.1 — Схема електрична структурна терморегулятора.

Перелік складових елементів схеми:

1. Вузол індикації та комутації блоку живлення
2. Задатчик температури
3. Силовий трансформатор
4. Мікроконтролер
5. Містковий випрямляч

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Маса: 5г

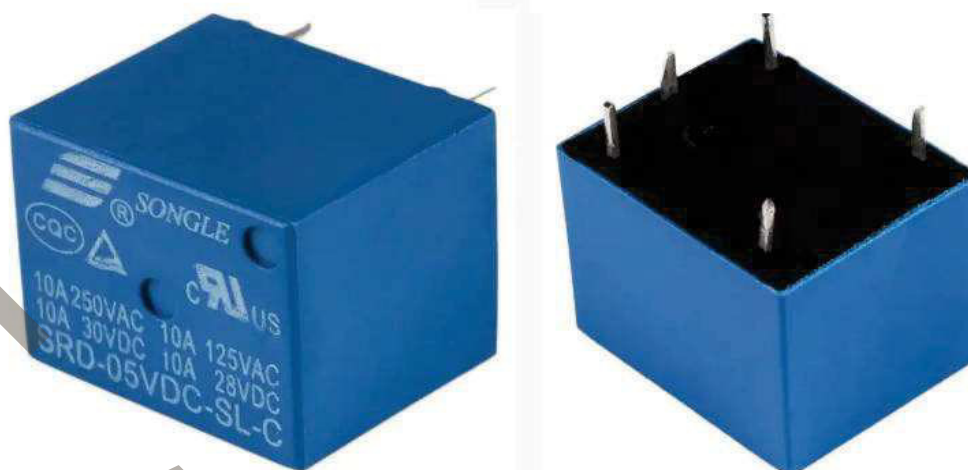


Рисунок 2.2 — Електро механічне реле

2.2.2 LCD дисплей та модуль ІІС І2с SPI

LCD дисплей (Рис.2.3), з можливістю підключення до Arduino. Має два рядки, в кожному по 16 символів.

Характеристики LCD дисплея.

Розміри 80мм x 36 мм;

Температура роботи від 0°C до 50°C;

Блакитна підсвітка;

Білий колір символів;

Розмір символів 4,35 x 2,95мм;

Формат дисплею 16 x 2;

Розміри точок 0,5мм x 0,5мм;

інтерфейс HD44780;

Видима область 64,5 x 13,8мм;

Напруга живлення 5В.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ

Арк

25

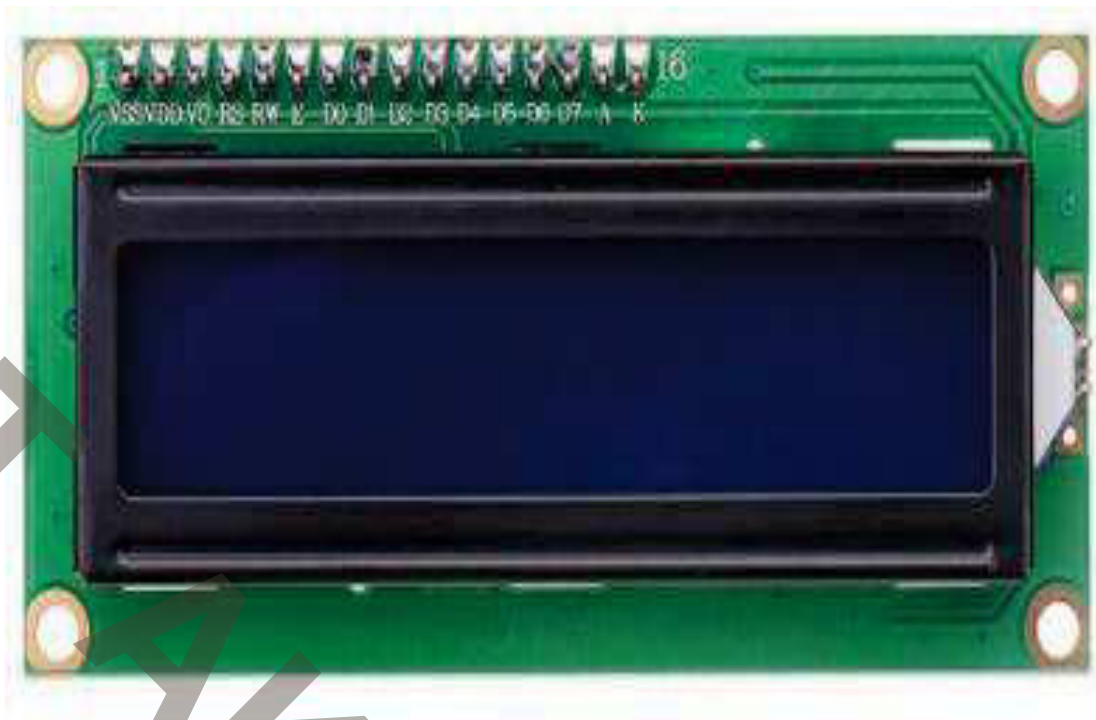


Рисунок 2.3 — LCD дисплей

I2C інтерфейсний модуль (Рис.2.4) на мікросхемі PCF8574T розширює кількість портів введення або виводу для контролерів Arduino, мікроконтролерів STM8 і STM32 і мінікомп'ютерів Raspberry Pi і Orange Pi. Можна використовувати як інтерфейсну плату для підключення LCD 1602 і 2004, а також як самостійний пристрій. Щоб регулювати контрастність зображення встановлений змінний резистор. Для нормальної роботи дисплея потрібно відрегулювати його контрастність. При використанні інтерфейсного модулю як розширювача портів введення або виводу слід враховувати те, що вихід P3 має інверсний вихід з відкритим колектором.

Характеристики інтерфейсного модуля I2C.

- Мікросхема інтерфейсу: PCF8574AT
- Інтерфейс: I2C;
- Діапазон адрес I2C:
- PCF8574T - 0x20-0x27;
- PCF8574AT - 0x38-0x3f.
- Кількість можливих підключень однотипних модулів: 8;

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

малопотужними пристроями, що працюють від акумуляторів, портативним обладнанням, обладнанням для збору даних, тощо.



Рисунок 2.5 — Операційний підсилювач MCP601

Низький вхідний струм зсуву: 1 пА (тип.)

Низький струм спокою: 230 мкА

Низька вхідна напруга зміщення: 2 мВ (макс.)

2.2.4 Мікроконтролер ATtiny13A [9, 10].

ATtiny13 - низько споживаючий 8 бітний КМОП мікроконтролер з AVR RISC архітектурою. Виконуючи команди за один цикл, ATtiny13 досягає продуктивності 1 MIPS при частоті задаючого генератора 1 МГц, що дозволяє розробнику оптимізувати відношення споживання до продуктивності.

AVR ядро об'єднує систему команд і 32 робочих регістра загального призначення. Всі 32 регістра безпосередньо пов'язані з арифметико-логічним пристроєм (АЛУ), що дозволяє одержати доступ до двох незалежних регістрів при

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ

Арк

28

є) Таймери/лічильники: він має 8-бітний таймер/лічильник із можливістю ШІМ (широтно-імпульсної модуляції).

ж) АЦП: містить 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач із чотирма каналами.

з) Зв'язок: він не має вбудованої апаратної підтримки для протоколів зв'язку, таких як UART, SPI або I2C.

и) Робоча напруга: може працювати в діапазоні напруг від 1,8 В до 5,5 В

Atiny13A часто використовується в програмах з низьким енергоспоживанням, де його невеликий розмір і низьке енергоспоживання роблять його придатним для різноманітних вбудованих систем і проектів.



Рисунок 2.7 — Мікроконтролер Atyni13A

Управління периферійними пристроями: ATtiny13A може використовуватися для керування різними периферійними пристроями, такими як світлодіоди, дисплеї, кнопки, реле, двигуни та інші актуатори. Він може бути програмований для виконання конкретних функцій та реагування на зовнішні сигнали.

Вимірювання та контроль сигналів: Мікроконтролер може виконувати функції вимірювання та контролю аналогових та цифрових сигналів. Наприклад, він може використовуватися для вимірювання температури, освітленості, напруги або виконання інших типів сенсорних завдань.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

2.2.5 Термопара К-типу (ТХА - хромель-алюмель) [11].

Термопара типу К (ТХА) рис 2.8 є однією з найпоширеніших типів термопар. Вона складається з двох провідників - хромель (NiCr) та алюмель (NiAl). Робоча напруга термопари типу К залежить від різниці температур між холодним і гарячим спаями. Залежність термоелектрорушійної сили від температури для різних типів термопар наведено на рис 2.9.

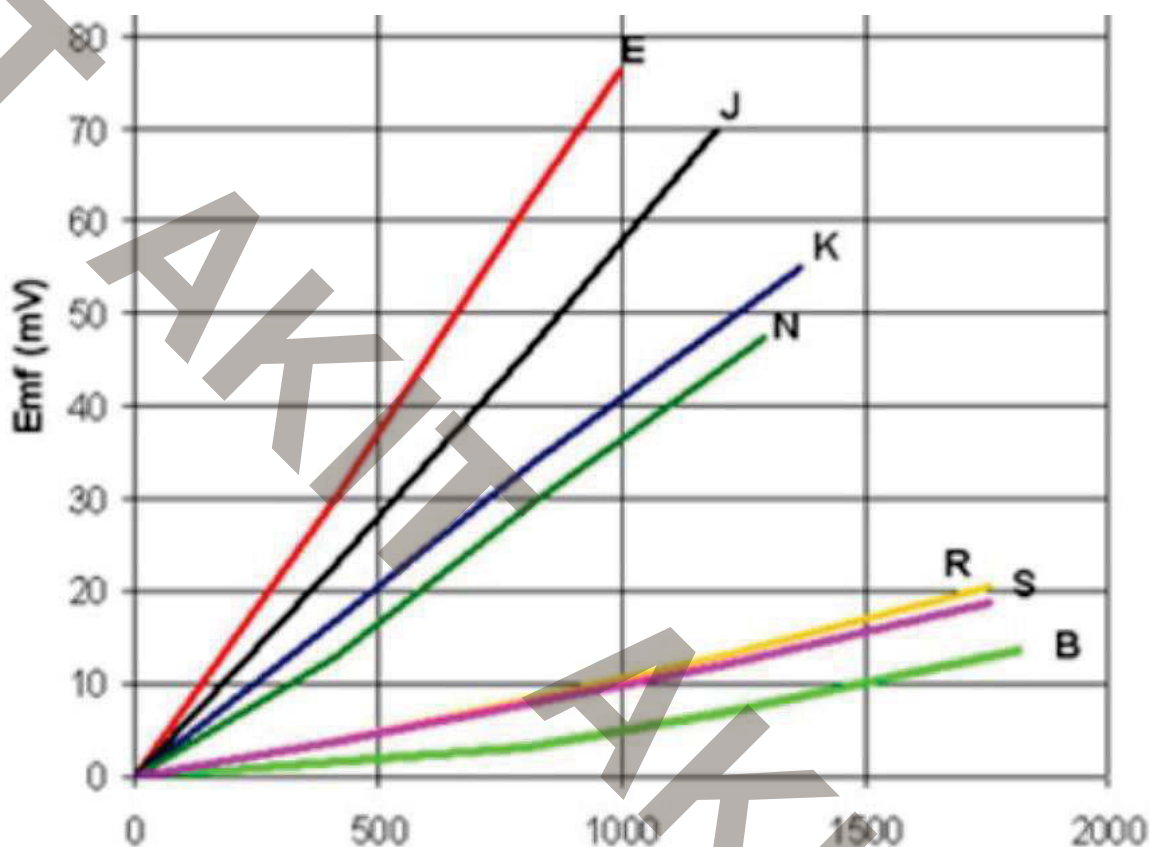


Рисунок 2.8 – Залежність термо-е.р.с. від температури для різних типів термопар

Основні характеристики термопари типу К (ТХА) наступні:

Робоча напруга: приблизно 4 мВ при різниці температур 100 градусів Цельсія.

Номинальний діапазон температур: зазвичай використовується в діапазоні від -200 до 1200 градусів Цельсія.

Точність: залежить від конкретної реалізації термопари та умов вимірювання, але зазвичай відносна похибка не більше $\pm 0,75\%$ (залежно від температури).

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Застосування: Використовується в широкому спектрі промислових застосувань для вимірювання температури, зокрема в нафтогазовій промисловості, хімічному виробництві, металургії, печах, котлах тощо.

Переваги: Добре витримує високі температури, має досить високу точність, широкий діапазон вимірювання.

Ізоляція. Внутрішня ізоляція: склотканина. Зовнішнє екранування: металевий екран. Діаметр 6 мм, довжина ~0.5 м.

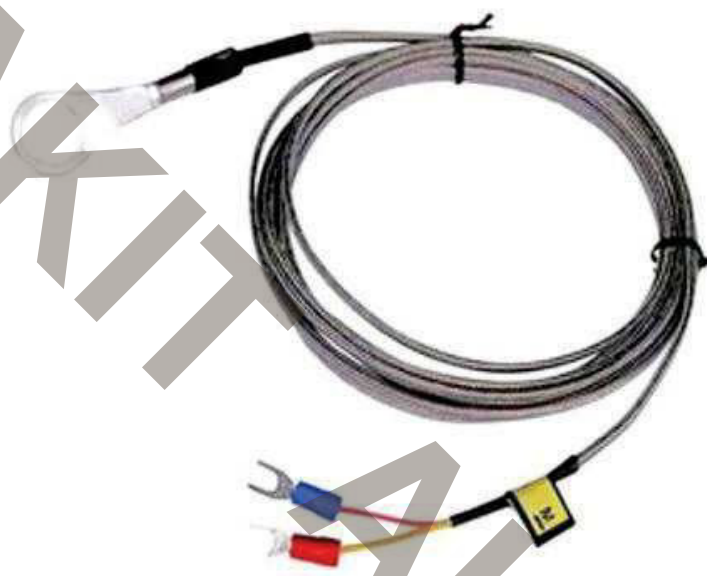


Рисунок 2.8 — Термопара типу К (ТХА)

2.3 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова розроблена згідно вище наведеної структурної схеми терморегулятора і вибраної елементної бази. Дану схему наведено на рис. 2.9.

Мікроконтролер АТТІNY13а (DD1) порівнює аналоговий сигнал задатчика температури із сигналом зворотного зв'язку, який представляє собою підсилену термоелектрорушійну силу термопари типу К. Коефіцієнт підсилення по напрузі

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

неінвертуючого операційного підсилювача МКР601 (DA1) $k_u \approx R_4/R_1$.

Сигнал датчика температури формується подільником напруги, для реалізації якого застосовано потенціометр R_2 . Якщо сигнал кола датчика температури нижче вихідної напруги подільника R_2 , мікроконтролер формує управляючий сигнал, який поступає на базу транзисторного ключа, виконаного на VT1 і вмикає реле в колі нагрівача муфельної електропечі R_7 .

Мікроконтролер АТТІNY13а використовується не тільки для управління всією системою контролю температури, але й здійснює комунікацію з модулем ПС I2C SPI і таким чином передає дані на LCD дисплей, який використовується для відображення інформації про температуру електропечі в режимі реального часу. Модуль, через який мікроконтролер передає дані на дисплей, представляє собою послідовний зсуваючий регістр. Цей модуль дозволяє передавати дані та команди між мікроконтролером і LCD дисплеєм за допомогою I2C або SPI інтерфейсу.

На дисплеї відображається поточна температура, але можливе представлення також додаткової інформації, наприклад, повідомлення про помилки, тощо.

Блок живлення включає інтегральний стабілізатор DA2, для зменшення пульсації напруги +5 В на виході стабілізатора застосовано конденсатор фільтра C_3 . Детальні відомості про комплектуючі блоку живлення та інші складові схеми електричної принципової містить перелік елементів, наведений в додатках.

									Арк
									33
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ				

2.4 Відомості про програмне забезпечення

Алгоритм роботи програми наведено на рис. 2.10.

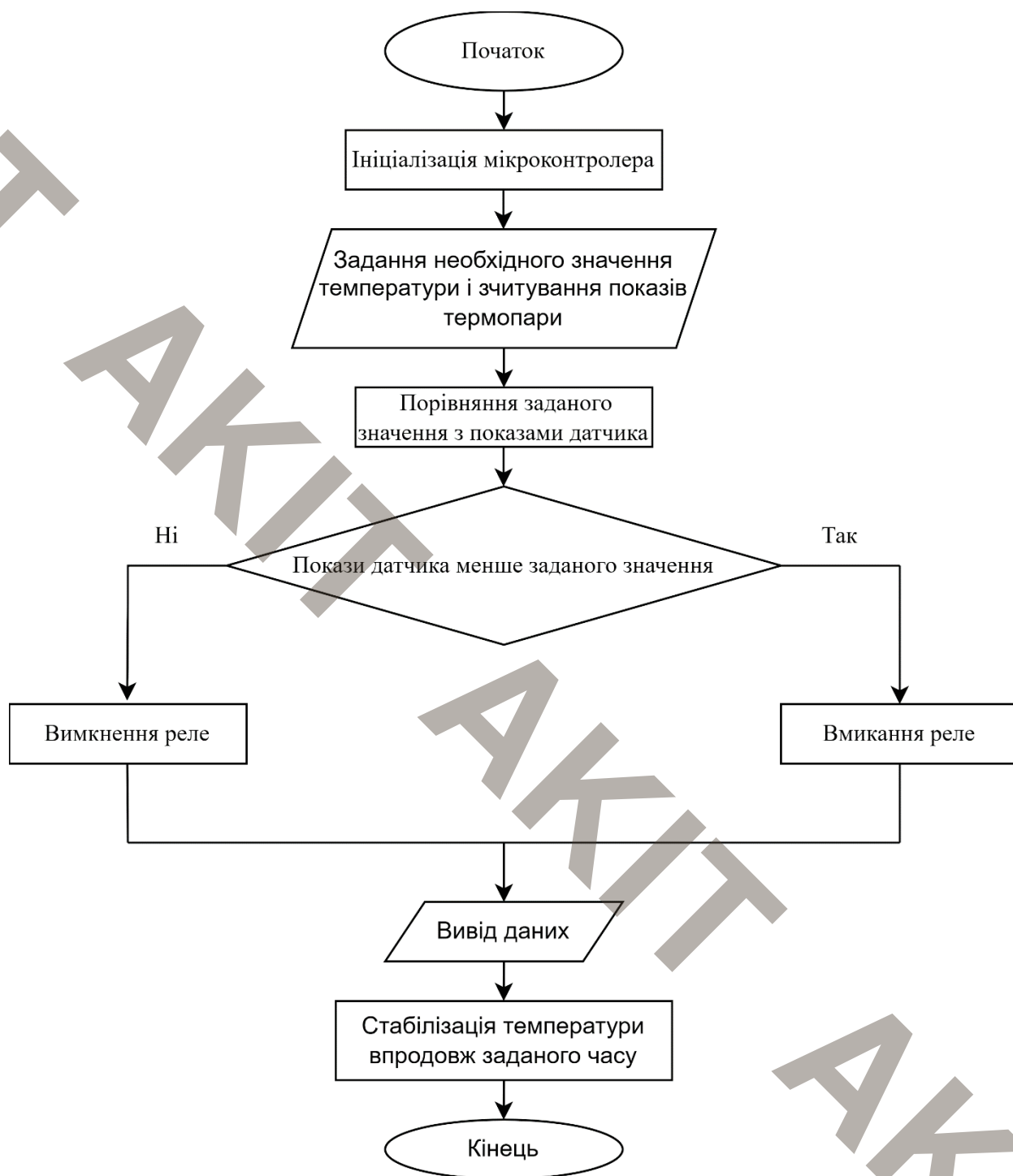


Рисунок 2.10 — Блок-схема алгоритму роботи програмного додатку.

Блок "Ініціалізація мікроконтролера": цей блок включає ініціалізацію всіх необхідних ресурсів мікроконтролера, включаючи піни введення/виведення (I/O), АЦП (аналого-цифровий перетворювач) та інші параметри.

Блок "Задання та зчитування температури": в цьому блоку виконується зчитування аналогових сигналів з термопари і датчика температури за допомогою АЦП мікроконтролера.

Блок "Порівняння заданого значення температури з показами датчика": зчитані значення температури порівнюються із заданим значенням за допомогою логічного блоку порівняння для визначення, чи перевищує поточна температура задану.

Наступна складова - "Покази датчика менше заданого значення": в залежності від результатів порівняння, цей блок управляє включенням або виключенням реле, яке відповідає за комутацію в колі нагрівального елемента.

Блок "Виведення даних": цей блок виводить поточне значення температури на дисплей для відображення користувачу.

Блок "Стабілізація температури впродовж заданого часу". Після виконан всіх необхідних дій, даний блок забезпечує повернення до блоку зчитування показів термопари для продовження моніторингу температури і реалізації двопозиційного регулювання до тих пір, поки не відбудеться зміна заданого значення температури нагріву електродвигуна.

Як вже зазначалося, завдяки наявності послідовного зсуваючого регістру підключення LCD дисплею до мікроконтролера здійснюють лише двома провідниками. Приклад необхідної програми:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Ініціалізуємо об'єкт LCD з вказаною адресою
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
void setup()
{
// Ініціалізуємо зв'язок I2C
```

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної кваліфікаційної бакалаврської роботи було виконано наступні завдання .

- Здійснено огляд науково-технічної літератури по темі роботи, а саме: розглянуто класифікацію систем автоматичного управління, види регуляторів, різновидності датчиків температури, типові схемні рішення тероморегуляторів.
- Розроблено схему електричну структурну двопозиційного регулятора температури, вибрано необхідну елементну базу.
- Розроблено схему електричну принципову на основі мікроконтролера АТТІNY13а, який здійснює обробку вхідної інформації, формує сигнали управління реле, виводить поточне значення температури на LCD дисплей.
- Розроблено блок-схему алгоритму роботи програмного додатку, розглянуто питання програмування мікроконтролера в середовищі Ардуїно.

Враховуючи обсяг проведеної роботи і отримані результати слід зробити висновок, що завдання КБР по розробці регулятора температури муфельної електропечі потужністю 1 кВт і з максимальною температурою нагріву 1100 °С було виконано повністю.

					КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		38

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Опорний конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного управління» / Укл.: Николайчук Я.М., Возна Н.Я.– Тернопіль: Гал-друк, 2015. – 59 с. с. (9-12, 22-26, 34-37).
2. Дослідження двопозиційного регулювання температури електропечі. Методичні вказівки. / Укл.: Єрощенко С. А., Шаройко Н.А. та ін. Харків, Українська державна академія залізничного транспорту, 2014, 23 с.
3. Цигика В. В. Регулятор температури для реалізації лінійного нагріву. / В. В. Цигика // Actual scientific research in the modern world // International science journal. — Pereiaslav, 2023. — Issue 4(96). Part 1. — p.183-185.
4. Метрологія та вимірювальна техніка. Підручник. / За ред. проф. Є. С. Поліщука. – Львів: видавництво Львівської політехніки, 2012. - 544 с.
5. Універсальний термостат на мікроконтролері PIC16F676 [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://kopterinfo.ru/regulyator-temperature-na-kontrollere-skema>.
6. Терморегулятор на мікроконтролері PIC16F628 [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://mcucpu.ru/index.php/project2/automatic/133-termoregulyator-na-mikrokontrollere-pic16f676>
7. Реле. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://freebuy.in.ua/ua/p442502984-rele-srd-5vdc.html>.
8. Операційний підсилювач. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://imrad.com.ua/ua/mcp601-i-p-6>
9. АТТΥNI13A. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://static.chipdip.ru/lib/138/DOC012138501.pdf>.
10. Мікроконтролер АТtinу програмується в середовищі Ардуїно [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://habr.com/ru/articles/234477/>
11. Термопара [Електронний ресурс]. – режим доступу: https://geekmatic.in.ua/termopara_kupit_k_type_50mm_2m.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Додатки

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КБР.ПБ.19050031. 01.000 ПЗ

Арк

40

Додаток А. Відомості про програмування в середовищі Ардуїно

АКІТ

АКІТ

АКІТ

АКІТ

Додаток Б. Перелік компонентів

АКІТ
АКІТ
АКІТ
АКІТ
АКІТ

Додаток В. Схема електрична структурна

АКІТ
АКІТ
АКІТ
АКІТ

Додаток Г. Схема електрична принципова

АКІТ
АКІТ
АКІТ
АКІТ