

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Радіoeлектроніки і телекомунікацій

(повне найменування інституту, факультету)

Мікро- та наноелектроніки

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Система регулювання температури на основі мікроконтролера АТmega328p

Виконав: студент(ка) IV курсу, групи РТ-318сп
Спеціальності 153 – “Мікро- та
наносистемна техніка”

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
“Мікро- та наноелектронні прилади та
пристрої”

Тарасов М.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сніжної Г. В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Манукян О. А.

(прізвище та ініціали)

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Радіoeлектроніки і телекомунікацій
 Кафедра Мікро- та наноелектроніки
 Ступінь вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 153 – “Мікро- та наносистемна техніка”
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) “Мікро- та наноелектронні прилади та пристрої”
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри мікро- та
наноелектроніки
 _____ Г. В. Сніжної
 « _____ » _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

_____ Тарасов Максим Олексійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) _____ Система регулювання температури на основі мікроконтролера АТmega328p

керівник проєкту (роботи) _____ Сніжної Геннадій Валентинович _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 17 » травня _____ 2021 року № 190

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 25 травня 2021 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) АЦП 24-розрядний, мікроконтролер atmega328p, РК-дисплей WH1602B .

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

Оглянуто основні можливості та застосування мікроконтролера.

Проведена розробка системи управління температурою на основі мікроконтроллера atmega328p

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

Презентація виконаної роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Сніжної Г. В., Завідувач кафедри МІНЕ		
Нормо-контроль	Коротун А. В., к.ф.-м.н., доцент каф. МІНЕ		

7. Дата видачі завдання «26» квітня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літературних джерел та ознайомлення зі статтями за заданою тематикою.	26.04 – 05.05	Виконано
2	Проектування системи регулювання температури.	06.05 – 12.05	Виконано
3	Виконання експериментальної частини роботи.	13.05 – 16.05	Виконано
4	Обробка результатів експериментів і визначення параметрів системи регулювання температури.	17.05 – 22.05	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки і презентації.	23.05 – 25.05	Виконано

Студент

_____ Тарасов М.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Сніжної Г. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 59 стор., 27 рис., 2 табл., 1 додаток, 10 джерел.

Здійснено розробку простої та ефективної керованої системи автоматичного регулювання (САР) температури в печах на основі мікроконтролера ATmega 328p. В розробці програмного забезпечення регулятора температури використано безкоштовне програмне забезпечення Arduino IDE. Розглянуто типові схеми електронних регуляторів температури, проаналізовано та розглянуто різні види температурних датчиків, їх недоліки та переваги. Проведено вибір основних компонентів керованого регулятора температури та організовано їх підключення до платформи Arduino Uno. Представлена функціональна схема регулятора температури, описані його основні функції.

Описується структура програмного коду в середовищі розробки ArduinoIDE.

Представлено рекомендації щодо використання результатів розробки.

РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ ДАТЧИК, НАГРІВАЛЬНА УСТАНОВКА, ТЕРМОПАРА, МІКРОКОНТРОЛЕР, ARDUINO.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.	6
ВСТУП.	.7
1 ОСНОВНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА.	8
1.1 Технічні характеристики мікроконтролера ATmega328	.8
1.2 Застосування управління температурними режимами на практиці .	12
1.3. Основні принципи побудови регуляторів температури.	.15
1.4 ПІД-регулятор та методи налаштування.	.24
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA328P.	.31
2.1 Огляд систем для моделювання.	.31
2.2 Математична модель САР.	35
2.3 Розробка структурної схеми системи автоматичного регулювання.	.41
2.4 Розробка алгоритму роботи САР.	.42
3 МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ ТА ЙОГО КОМПОНЕНТИ.	.44

3.1 Зовнішній датчик температури та блок індикації	44
3.2 Пульт управління та принцип його роботи.	47
3.3 Розробка принципової схеми.	49
3.4 Розробка програми.	50
3.5 Моделювання роботи системи.	52
ВИСНОВКИ.	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58
ДОДАТОК А	59

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

МК – мікроконтролер;

PIC – Peripheral Interface Controller;

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція;

ТКО – температурний коефіцієнт опору

SPI (Serial Peripheral Interface) – послідовний периферійний інтерфейс;

CAP – системи автоматичного регулювання;

РО – регулюючий орган

ВСТУП

Останні роки позначені масовим наповненням ринку всілякою автоматизованою апаратурою найрізноманітнішого призначення та складності від пластикової платіжної картки до холодильника, автомобіля і найскладніших установок. Це стало можливим завдяки мікроконтролерам (МК).

Мікроконтролери входять в усі сфери життєдіяльності людини, їх насиченість в нашому оточенні зростає з року в рік. Ще зовсім недавно розробнику електронних схем доводилося мати справу з безліччю електронних компонентів, розміщуючи їх з величезними труднощами на печатній платі. Найпоширенішим способом створення макета (прототипу) майбутнього пристрою був “живий”: підібравши електронні компоненти, розробник брав у руки паяльник і збирав на макетних платах окремі вузли або пристрій у цілому. Потім починався процес налагодження: виправлення помилок принципової схеми, встановлення режимів роботи та уточнення параметрів застосовуваних компонентів тощо.

На сьогоднішній день безліч різноманітних систем автоматизованого проектування та засобів розробки дозволяють значно спростити роботу розробника електронної апаратури, зменшивши при цьому матеріальні витрати, час виходу готової продукції та ризик при розробці. Застосування систем автоматизованого проектування та інших засобів дозволяє швидко отримувати зручні і надійні розробки. Найбільш численна група засобів розробки розрахована на роботу з мікроконтролерами, без яких зараз рідко обходиться створення нових пристроїв.

Метою дипломної роботи є проектування архітектури, розробка алгоритмів роботи та реалізація мікроконтролерної системи автоматичного регулювання (САР) температури в печах на основі мікроконтролера ATmega 328p.

1 ОСНОВНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА

1.1 Технічні характеристики мікроконтролера ATmega328

Мікроконтролери Гарвардської архітектури, вироблені американською компанією Microchip Technology Inc. Застосування мікроконтролерів при розробці електронної апаратури дозволяє значно спростити схемотехніку пристрою; уніфікувати елементну базу - один і той же контролер може застосовуватися для створення безлічі різних пристроїв; уніфікація, в свою чергу призводить до зниження вартості виробництва; підвищити гнучкість розробки.

Назва PIC є скороченням від Peripheral Interface Controller, що означає «периферійний інтерфейсний контролер». Назва пояснюється тим, що спочатку призначалися PIC для розширення можливостей вводу-виводу 16-бітних мікропроцесорів CP1600.

У номенклатурі Microchip Technology Inc. представлений широкий спектр 8-ми, 16-ти і 32-бітних мікроконтролерів та цифрових сигнальних контролерів маркою PIC.

Відмінною особливістю PIC-контролерів є хороша спадкоємність різних сімейств. Це і програмна сумісність (єдина безкоштовна середовище розробки MPLAB IDE, C-компілятори від GCC), і сумісність за виводами, за периферією, за напругами живлення, за засобами розробки, за бібліотеками і стеками найбільш популярних комунікаційних протоколів.

Номенклатура нараховує більше 500 різних контролерів з будь-якими варіаціями периферії, пам'яті, кількістю виводів, продуктивністю, діапазонами живлення і температури.

8-бітові мікроконтролери мають модифіковану Гарвардську архітектуру і діляться на 2 великих сімейства: PIC10/12/16 і PIC18. 8-бітні мікроконтролери PIC10/12/16 представлені двома базовими архітектурами ядра: BASELINE і MID-RANGE.

У новіших мікроконтролерах Microchip застосовує поліпшену архітектуру 8-бітних PIC мікроконтролерів середнього сімейства PIC12 і PIC16:

- збільшений об'єм пам'яті програм і даних
- більш глибокий і поліпшений апаратний стек
- додаткові джерела скидання
- розширена периферія, периферія включає модуль mTouch™ для створення сенсорних користувальницьких інтерфейсів
- зменшене час входу в переривання
- продуктивність збільшена на 50%, а розмір коду знижено на 40%
- 14 додаткових інструкцій, оптимізованих під C-компілятор - разом, 49 інструкцій.

Огляд мікроконтролера ATmega328

Контролер Arduino Uno 328 (ATmega328) - компактна плата мікроконтролера, що базується на Atmega328. По своїй суті - це спрощений аналог Arduino Nano, що дозволяє здешевити проект. ATmega328 працює на 16 МГц (0,5% допуску).

Характеристики:

Цифрові входи-виходи: 14

Аналогові входи: 8

Робоча напруга: 5 В

Частота роботи 16МГц

Рекомендована вхідна напруга: В 5-9

Захист від зворотної полярності і перенапруги

Світлодіоди статусу і живлення на платі

Підтримка автосброса

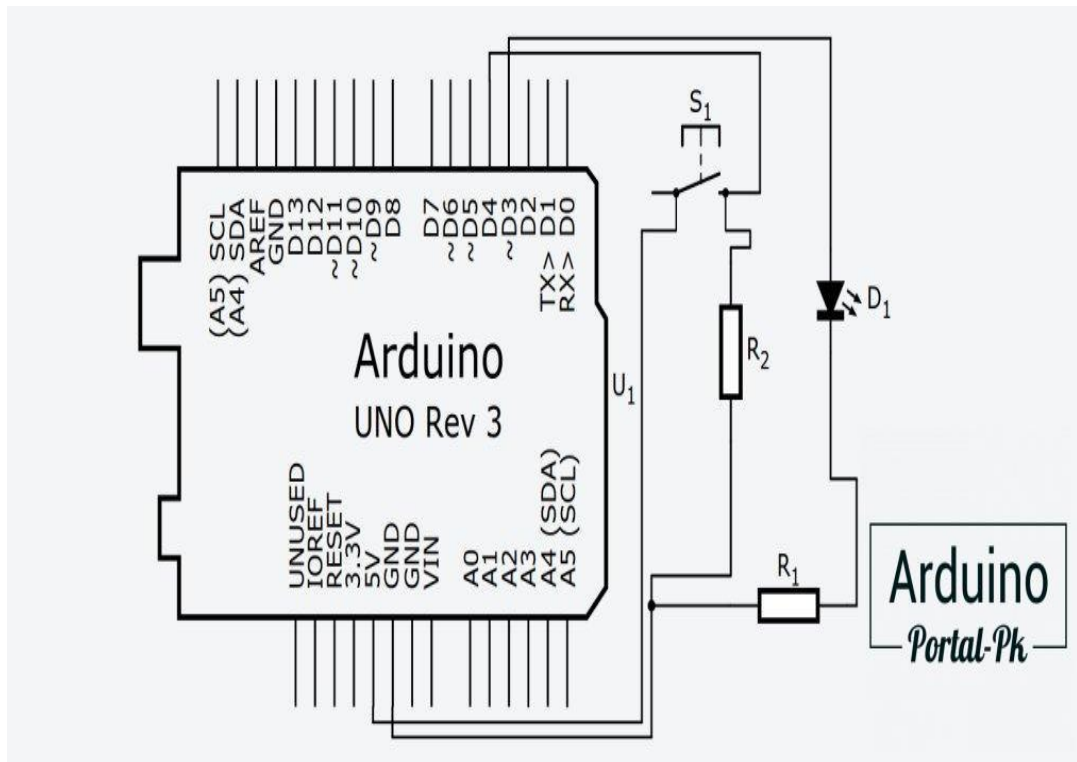


Рисунок 1.1. – Схема структурна мікроконтролера

Програмований чіп ATmega328P представлений 28-контактним мікроконтролером, що входить в сімейство AVR. Мікроконтролер добре знайомий власникам конструктора "Ардуіно", де використовується в якості основного компонента електронного набору. Однак Мікроконтролер ATmega328P здатний робити куди більше, ніж вичавлює з цього чіпа популярний Електронний конструктор «Arduino».

Традиційно програмування ATmega328P здійснюється через послідовний периферійний інтерфейс (SPI). Контактна шина на 3 провідника, плюс "земля". По шині даних слідує сигнали:

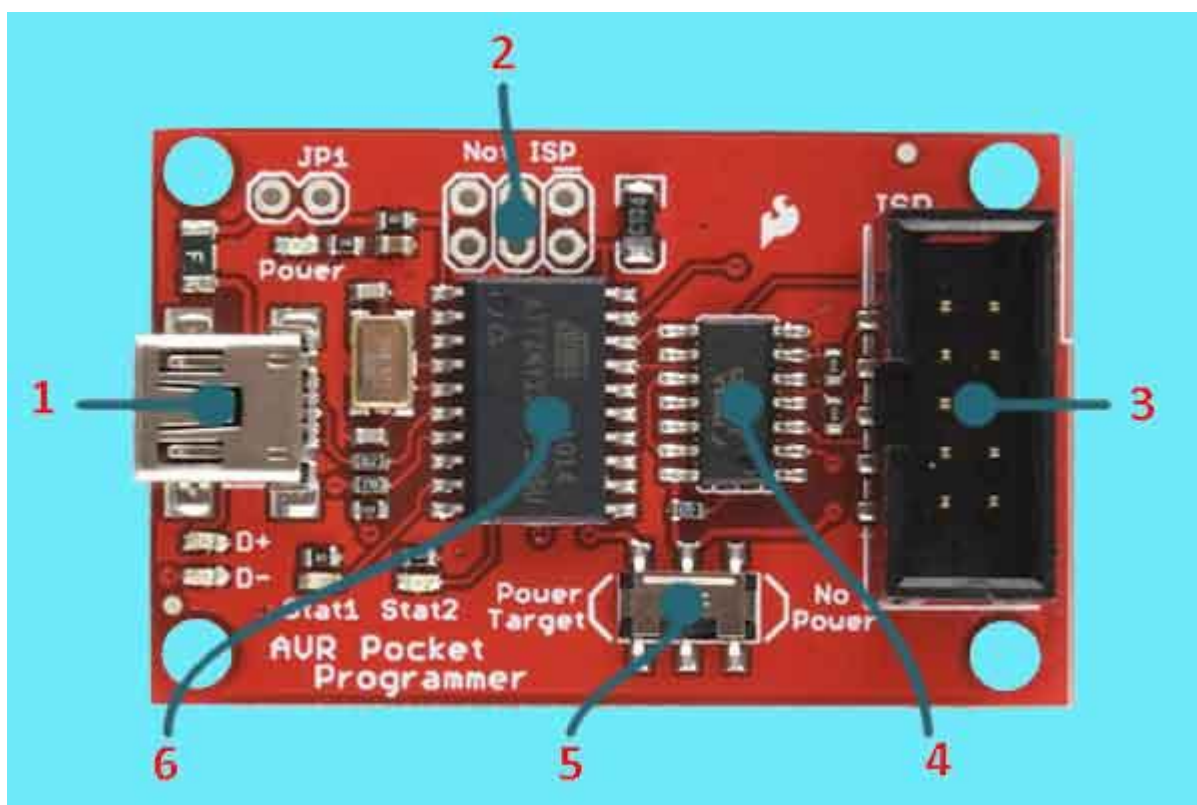
- 1) Вхід прийому даних (MOSI)
- 2) Вихід передачі даних (MISO)
- 3) Вхід синхронізації прийому (SCK)

Сигнал SCK (SCK) генерує провідний пристрій (програмер). Цим сигналом забезпечується синхронна прийом / передача між провідним і веденим пристроями.

Вибір фізичних програмерів під AVR мікроконтролери

Існує маса програматорів, якими доступно програмувати ATmega328P і ATtiny45. Наприклад, професійна розробка "Atmel-ICE «від рідної чіпам компанії»Atmel".

Фірмовий програматор вважається кращим з усіх, придатних прошивати AVR і інші мікросхеми. На китайському AliExpress можна знайти за ціною від 4000 грн.і вище.



1 – вхідний інтерфейс USB; 2 – ISP колектор; 3 – вихідний інтерфейс ISP; 4 – буферні елементи 74AC125; 5 – перемикач режиму живлення; 6 – основний чіп ATtiny 2313

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд AVR Pocket Programmer

Для любителів-електронщиків цей варіант є витратним. Цьому логічним є більш простий вибір – USB програматор «AVR Pocket Programmer»(рис. 1.2)

Разів в п'ять дешевше професійної розробки «Atmel», цей девайс доступно купити. У продажу є інші, більш дешеві програматори (від 100 грн.), но не перевірені на практиці.

На крайній випадок нескладно зібрати програматор «AVR Pocket Programmer» своїми руками. Принципова схема приладу побудована на чипі ATtiny2313. зовнішні елементи – декілька резисторів, стабілітронів, світлодіодів.

Для управління нам насамперед потрібно знімати дані з датчика температури, в цьому нам допоможе LM358N. Нам відомо, що на виході термопари отримана напруга занадто низька, та Arduino не може його виміряти.

Для вирішення цієї проблеми нам потрібно зібрати підсилювач термопари, щоб вихідна напруга була близько 5 Вольт при 1000 градусах температури. Зроблено даний дослід на мікросхемі LM358 та зібрано підсилювач для термопари.

1.2 Застосування управління температурними режимами на практиці

З датчиками контролю температури ми зустрічаємось кожен день, починаючи від примітивних засобів контролю нагрівання, таких як в електрочайнику та утюзі (які складаються з двох металевих пластин з різними показниками температурного розширення), так і високоточні датчики температури в дослідницьких нагрівальних установках, та на виробництві.

На виробництві спецконструкцій одним із важливих технологічних процесів є регулювання температури печей, які використовуються при штамповці металевих виробів для їх нагріву з ціллю збільшення пластичності.

Об'ємну штамповку та інше, зв'язане з обробкою заготовок великих перетинів і розмірів, операцій проводять в гарячому стані при температурах в межах 850-1150°C. Тож, достатньо актуальною є проблема регулювання температури в печі, з використанням сучасних технічних засобів.

Встановлена мета обумовлює наступні завдання:

- проведення аналізу завдань САР;
- визначення архітектури та узагальненої структури САР;
- обґрунтування та вибір засобів реалізації САР;
- проектування структурних складових і алгоритмів роботи САР;
- проектування програмного забезпечення САПР;
- моделювання роботи САР.

Об'єктом дослідження є система автоматичного регулювання температури в печах.

Предметом дослідження є використання сучасних технологій для автоматизації процесу регулювання температури.

Системи автоматичного регулювання (САР) в літературі класифікуються як за методом управління, так і за функціональною ознакою [1].

Класифікація за методом управління відбувається на дві великі категорії: звичайні (або несамонастроювані) і самонастроювані (або адаптивні). У категорії звичайних (простих) системи не змінюють свою структуру в процесі управління. Вони є найбільш розробленими і широко застосовними в ливарних і термічних цехах. Їх також поділяють на три підкласу: системи регулювання розімкнуті, замкнуті і комбіновані. У свою чергу розімкнуті системи автоматичного регулювання поділяються на системи автоматичного регулювання жорсткого і по збуренню.

У перших систем регулятор впливає на об'єкт регулювання незалежно від отриманого результату, тобто значення регульованої величини і зовнішнього обурення на нього не впливають. А системи регулювання по збуренню працюють за принципом, коли керуючий вплив генерується в

залежності від зовнішнього збурення, яке впливає на об'єкт управління. У свою чергу, замкнуті системи автоматичного регулювання працюють за принципом відхилення. Головною рисою такої системи є зворотний зв'язок, по якій проходять сигнали. Це означає, що інформація про стан регульованої величини подається на елемент порівняння по зворотному каналу.

За своєю специфікою системи автоматичного регулювання призначені для вирішення таких завдань:

- стабілізація регульованої величини;
- зміна регульованої величини за відомою програмою (програмна САР);
- зміна регульованої величини за невідомою програмою (стежить САР).

При комбінуванні різних типів систем підвищується точність управління, тому що використовуються всі переваги систем управління по відхиленню і по збуренню. У таких системах дія неврахованих збурень компенсується або послаблюється управлінням по відхиленню.

Принцип дії САР полягає у виявленні відхилення регульованої величини, яка є показником роботи об'єкта або протікання процесу, від необхідного режиму і при цьому надаючи впливу на об'єкт або процес з метою усунення даних відхилень. Для цих цілей до регульованого об'єкту підключається автоматичний регулятор, який виробляє керуючий вплив на регулюючий орган. Керуючий вплив залежить від різниці між поточним значенням температури, вимірюваним датчиком, і встановленим (бажаним) її значенням.

В цьому випадку регульований об'єкт і автоматичний регулятор спільно утворюють систему автоматичного регулювання (САР), основною ознакою якої є наявність головного зворотного зв'язку, по якій регулятор контролює значення регульованого параметра.

САР застосовуються в різних сферах діяльності, а саме :

- в теплових пунктах котельних для підтримки температури води, що обігрівається в заданих межах;

- у теплицях для підтримки температури води, що використовується для підігріву ґрунту, повітря, а також для підтримки температури води, призначеної для поливу рослин;
- в печах, що призначаються для підтримки температури випічки, сушки, запікання тощо для різних технологічних процесів (випічка хлібобулочних виробів на комбінатах необхідно контролювати температуру тіста, щоб воно зійшло, та температуру запікання смаколиків, сушіння деревини, овочів, фруктів та інших виробів, запікання цегли, порцелянових виробів, сантехнічних та інших виробів);
- для підтримки мікроклімату в приміщеннях для людей, складських приміщеннях, холодильних і морозильних камерах як великих, так і маленьких;
- у системах підтримки температури розчинів, які повинні бути в заданих межах для нормального протікання певних технологічних процесів в хімічній промисловості.

1.3 Основні принципи побудови регуляторів температури

При побудові САР т використовуються автоматичні регулятори. Їх зазвичай класифікують за функціональними особливостями таким чином:

- позиційні (релейні);
- пропорційні (статичні);
- інтегральні (астатичні);
- ізодромні (пропорційно-інтегральні);
- ізодромні з попередженням і з першою похідною.

Позиційні це регулятори, де регулюючий орган може займати два або три певних положення. В електронагрівальних установках застосовуються дво - і трипозиційні регулятори. В експлуатації даний тип регулятора простий і надійний.

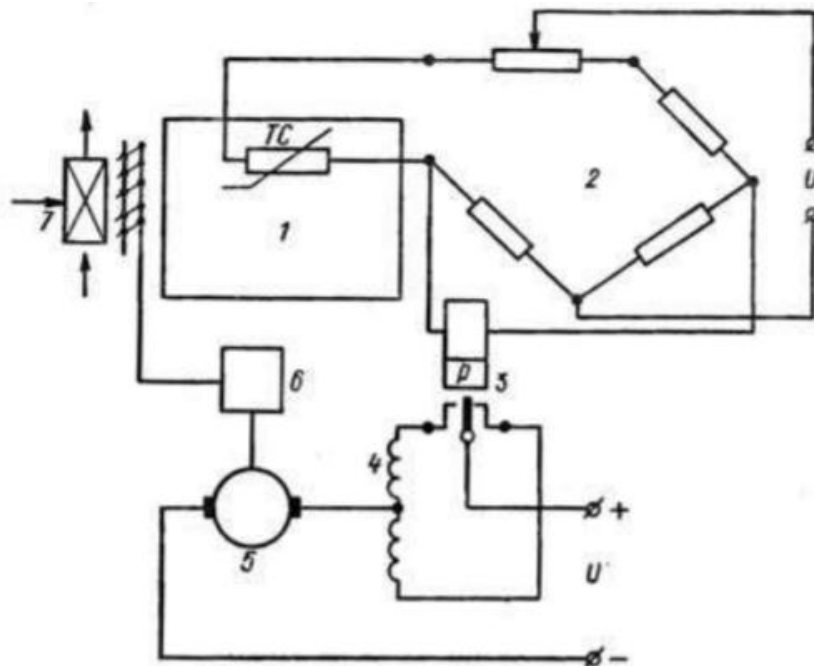


Рисунок 1.3 – Принципова схема двопозиційного регулятора температури повітря

На рис. 1.3 представлена принципова схема двопозиційного регулювання температури повітря, яка складається з: 1 – об'єкт регулювання, 2 – вимірювальний міст, 3 – поляризоване реле, 4 – обмотки збудження електродвигуна, 5 – явір електродвигуна, 6 – редуктор, 7 – калорифер

Особливістю двопозиційного регулювання температури є те, що кількість подаваного тепла може встановлюватися тільки на двох рівнях - мінімальному і максимальному. Мінімальна кількість тепла повинна бути менше необхідного для підтримки необхідної регульованої температури, а максимальне відповідно більше. Таким чином досягається ситуація, коли температура повітря коливається близько необхідного значення.

Іншими словами, в системі присутній так званий автоколивальний режим (рис. 1.4).

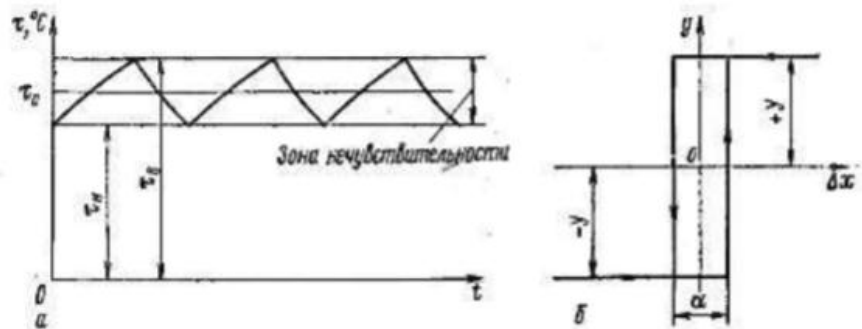


Рисунок 1.4 – Тимчасова характеристика двопозиційного регулювання (а) і статична характеристика двопозиційного регулятора (б)

Нижня і верхня межі зони нечутливості визначається лініями, яким відповідають температури Нижня t_n і верхня t_v . При зниженні температуру регульованого об'єкта до значення t_n відбувається миттєве збільшення кількості подачі тепла, після чого температура об'єкта буде зростати. Далі вона досягає верхнього значення t_v і відбувається миттєве зменшення кількості подачі тепла регулятором, що призводить в свою чергу до зниження температури.

Можна зменшити амплітуду коливань температури до нуля при $t_n = t_v$, зменшивши зону нечутливості. Але в цьому випадку подача тепла буде змінюватися з дуже великою частотою. Цього в реальних системах досягти неможливо, тому що у всіх звичайних об'єктах присутній запізнювання.

Тому процес протікання регулювання температури в них виглядає наступним чином:

Зниження температури об'єкта до нижнього значення t_n призводить до миттєвої зміни подачі тепла. Але оскільки в системі є запізнювання, то температура ще деякий час знижується. Але обігрів вже включений, отже, вона потім починає підвищуватися до максимального значення t_v . Досягнувши його, САР миттєво перемикає подачу тепла на зменшення. Через запізнювання температура все ще підвищується деякий час, а потім починає знижуватися, досягаючи мінімального заданого значення. І весь цикл повторюється.

Статична характеристика двопозиційного регулятора, наведена на рис. 1.4, показує, як регулюючий вплив на об'єкт приймає певні два значення: мінімальне і максимальне. В даному прикладі мінімум відповідає положенню повністю закритого повітряного клапана, а максимум відповідає повністю відкритому клапану.

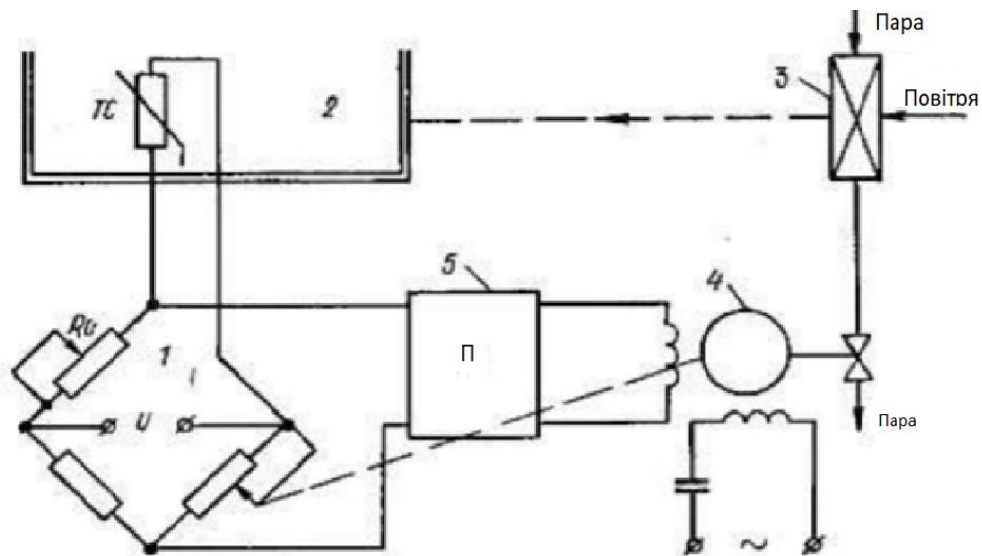
У випадках, коли необхідно досягти високої точності регулювання або коли не можна допускати появу автоколивального процесу, використовують пропорційні (статичні) регулятори температури, в яких положення регулюючого органу (y) прямо пропорційно значенню регульованого параметра (x): $y = k_1 x$, де k_1 - коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт посилення регулятора).

Така пропорційність є в разі, поки регулюючий орган не досягне своїх крайніх положень (кінцевих вимикачів). Швидкість переміщення регулюючого органу прямо пропорційна швидкості зміни регульованого параметра.

Принципова схема системи автоматичного регулювання температури повітря в приміщенні за допомогою пропорційного регулятора представлена на рис. 1.5. У цій схемі температура вимірюється за допомогою термометра опору ТС, який є плечем вимірювального моста 1.

У пропорційному регулюванні через жорсткий зворотній зв'язок кожному положенню регулюючого органу відповідає своє рівноважне значення регульованої температури.

Для пропорційного (статичного) регулятора характерна залишкова нерівномірність регулювання.



1-вимірювальний міст, 2-об'єкт регулювання, 3-теплообмінник, 4-
конденсаторний двигун, 5-фазочутливий підсилювач

Рисунок 1.5 – Схема пропорційного регулювання температури повітря

Якщо відхилення навантаження від заданого значення (t_1) буде відбуватися стрибкоподібно, то регульований параметр прийме після закінчення деякого моменту часу (t_2) нове стале значення, що ілюструється на рис. 1.6. Така ситуація можлива лише при новому положенні регулятора, а, отже, і при новому значенні регульованого параметра, що відрізняється від заданого на величину δ .

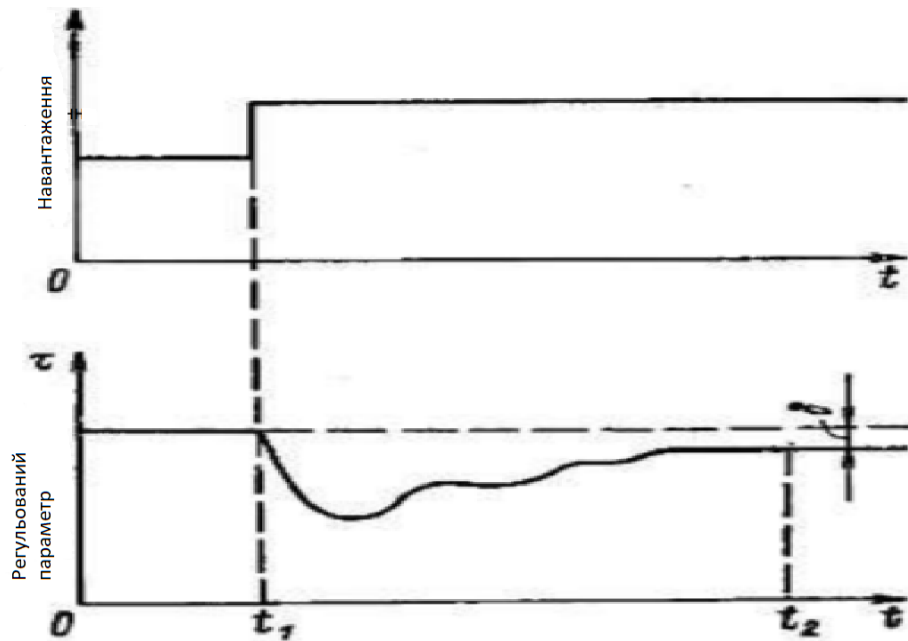


Рисунок 1.6 – Часові характеристики пропорційного регулювання

У пропорційних регуляторів є недолік, який полягає в тому, що кожному певному значенню параметра ставиться у відповідність тільки одне певне положення регулюючого органу. Таким чином, при зміні навантаження (витрати тепла) для здійснення підтримки заданого значення параметра (температури) необхідно, щоб регулюючий орган зайняв інше положення, в якому навантаження має нове значення. Оскільки при використанні пропорційного регулятора даної зміни неможливо досягти, то через це може виникнути додаткове відхилення регульованого параметра.

В інтегральних (астатичних) регуляторах при відхиленні параметра від заданого значення РО переміщається не дуже швидко і в одному напрямку (в межах робочого ходу), поки параметр знову не досягне необхідного значення.

Після того, як параметр переходить через вказане значення, змінюється напрямок ходу регулюючого органу на протилежне.

Інтегральні регулятори електричної дії мають ту властивість, що в них створюється штучно зона нечутливості, в межах не викликає переміщень регулюючого органу, а, отже, немає ніякої зміни регульованого параметра.

В інтегральних регуляторах швидкість переміщення регулюючого органу може бути змінною або постійною. У таких регуляторах немає пропорційного зв'язку між усталеними значеннями регульованого параметра і положенням РО.

Принципова схема системи автоматичного регулювання температури за допомогою інтегрального регулятора показана на рис. 1.7. Тут, на відміну від схеми П-регулювання температури, показаного на рис. 1.5, немає наявності жорсткого зворотного зв'язку.

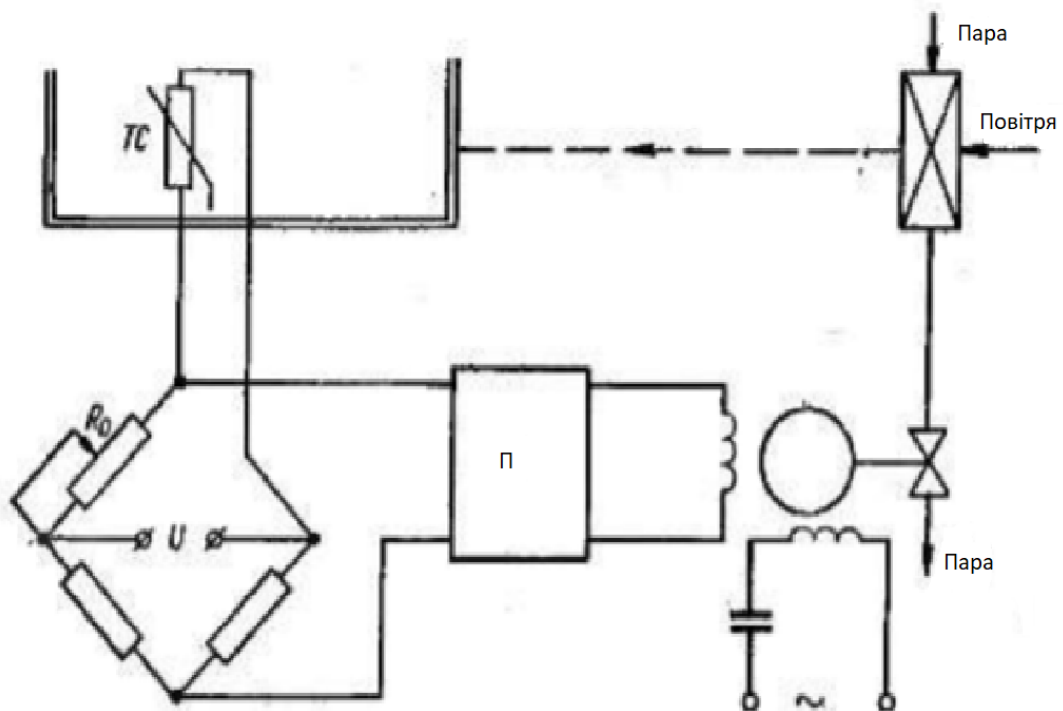


Рисунок 1.7 – Схема інтегрального регулювання температури повітря

В І-регуляторе швидкість регулюючого органу прямо пропорційна величині відхилення регулюємого параметру.

На рис. 1.8 представлені тимчасові характеристики процесу інтегрального регулювання температури в разі стрибкоподібної зміни навантаження (витрати тепла). З графіка спостерігаємо, що при інтегральному регулюванні регульований параметр досить повільно повертається до необхідного значення. Існують також регулятори, які мають властивості як пропорційного, так і інтегрального (ПІ) регуляторів. Вони

називаються ізодромні (пропорційно-інтегральні) регулятори. У таких регуляторах швидкість переміщення регулюючого органу залежить і від швидкості і від величини відхилення регульованого параметра від заданого значення.

Процес регулювання здійснюється наступним чином. Спочатку в залежності від величини відхилення регульованого параметра проводиться переміщення регулюючого органу – таким чином здійснюється пропорційне регулювання. Далі для усунення залишкової нерівномірності регулюючий орган виробляє додаткове переміщення, тобто виконується інтегральне регулювання.

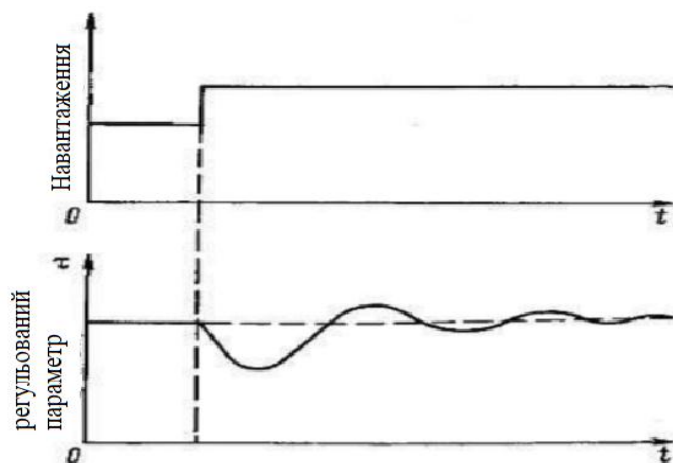


Рисунок 1.8 – Часові характеристики інтегрального регулювання

Схема пропорційно-інтегрального регулювання температури повітря представлена на рис. 1.9. Як видно з рисунка, ізодромна система регулювання синтезується зі схеми пропорційного регулювання (рис. 1.5) заміною жорсткого зворотного зв'язку на гнучку зворотний зв'язок, яка йде від регулюючого органу до опору зворотного зв'язку. В цьому випадку електричний сигнал зворотного зв'язку в ПІ-системі реалізується потенціометром через контур, що містить опір R і ємність C .

Протягом перехідних процесів сигнал зворотного зв'язку разом з сигналом відхилення параметра впливає на наступні елементи системи (Підсилювач, електродвигун). При нерухомому регулюючому органі, в якому б положенні він не знаходився, у міру заряду конденсатора з сигнал зворотного зв'язку загасає (в сталому режимі він дорівнює нулю).

Для ізодромного регулювання характерно, що нерівномірність регулювання (відносна помилка) зі збільшенням часу зменшується, наближаючись до нуля. При цьому зворотний зв'язок не буде викликати залишкових відхилень регульованої величини.

Таким чином, ізодромне регулювання призводить до значно кращих результатів, ніж пропорційне або інтегральне (не кажучи вже про позиційне регулювання). Пропорційне регулювання у зв'язку з наявністю жорсткого зворотного зв'язку відбувається практично миттєво, ізодромне - уповільнено.

При використанні ПІД регуляторів вихідна потужність дорівнює сумі трьох складових: пропорційної, інтегральної і диференціальної.

Чим більше коефіцієнт пропорційності, тим менше вихідна потужність при одній і тій же помилці регулювання, чим більше постійна часу інтегрування, тим повільніше накопичується інтегральна складова, чим більше постійна часу диференціювання, тим сильніше реакція системи на збурює вплив.

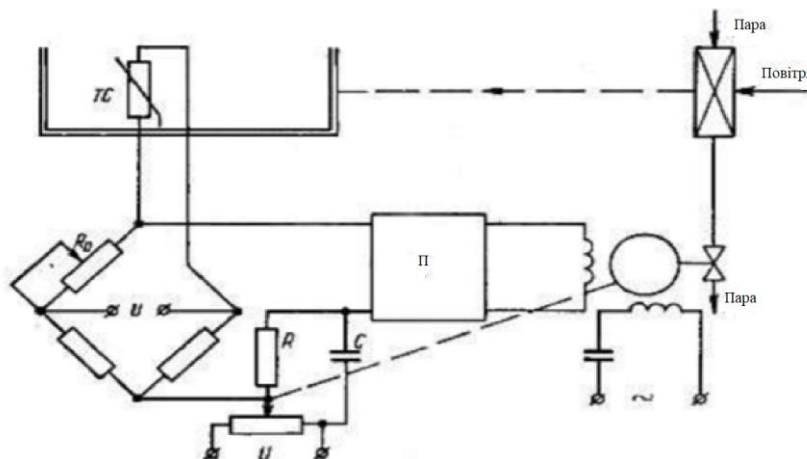


Рисунок 1.9 – Схема пропорційно-інтегрального регулювання

температури повітря

ПД-регулятор застосовується в інерційних системах з відносно малим рівнем перешкод вимірювального каналу. Перевагою ПД регулятора є швидкий вихід на режим, точне утримання заданої температури і швидка реакція на збурюючі впливи.

1.4 ПД-регулятор та методи налаштування

Основні якісні показники формуються виходячи з вимог до форми реакції замкненої системи на ступінчасту зміну уставки.

Вибір критерію якості регулювання залежить від мети, для якої використовується регулятор. Метою може бути :

- підтримка постійного значення параметра (наприклад, температури);
- спостереження за зміною уставки або програмне управління;
- управління демпфером в резервуарі з рідиною тощо.

Для того чи іншого завдання найбільш важливим фактором може бути:

- форма відгуку на зовнішні збурення (установку, перерегулювання, час відгуку і т. д.);
- форма відгуку на шуми вимірювань;
- форма відгуку на сигнал уставки;
- працездатність по відношенню до розкиду параметрів об'єкта управління;
- економія енергії в керованій системі;
- мінімізація шумів вимірювань.

Для класичного ПД-регулятора параметри, які є кращими для стеження за уставкою, в загальному випадку відрізняються від параметрів, кращих для ослаблення впливу зовнішніх збурень. Для того щоб обидва

параметри одночасно були оптимальними, необхідно використовувати під регулятори з двома ступенями свободи.

Для оцінки якості регулювання в замкнутій системі з під-регулятором зазвичай використовують ступінчасте вхідний вплив і ряд критеріїв для опису форми перехідного процесу:

- максимум помилки регулювання і момент часу, при якому помилка досягає цього максимуму;
- інтегрована абсолютна помилка;
- інтеграл від квадрата помилки;
- декремент загасання;
- статична похибка;
- час встановлення із заданою похибкою (час, після закінчення якого похибка регулювання не перевищує заданого значення);
- перерегулювання ;
- час наростання ;
- період загасаючих коливань.

Наведені критерії використовуються для оцінки якості реакції як на зміну уставки, так і на вплив зовнішніх збурень і шумів вимірювань.

Вибір параметрів регулятора

Після розрахунку параметрів регулятора зазвичай потрібно його ручне підстроювання для поліпшення якості регулювання. Для цього використовується ряд правил, добре обґрунтованих теоретично .

Всі аналітичні (формульні) методи Налаштування регуляторів засновані на апроксимації динаміки об'єкта моделлю першого або другого порядку із затримкою. Причиною цього є неможливість аналітичного розв'язку систем рівнянь, яке необхідне при використанні моделей вищого порядку. В останні роки у зв'язку з появою потужних контролерів і персональних комп'ютерів отримали розвиток і поширення чисельні методи оптимізації. Вони є гнучким інструментом для оптимальної настройки

параметрів регулятора для моделей будь-якої складності і легко враховують нелінійність об'єкта управління і вимоги до працездатності.

Розглянемо такі методи налаштування параметрів регулятора:

1) налаштування параметрів регулятора за методом Збіглер і Нікольса

Вперше методику розрахунку параметрів під-регуляторів запропонували Зіглер і Нікольс в 1942 році [3]. Ця методика дуже проста і дає не дуже хороші результати. Однак вона досі часто використовується на практиці, хоча до теперішнього часу з'явилося безліч більш точних методів.

Зіглер і Нікольс запропонували два методи налаштування під-регуляторів. Один з них заснований на параметрах відкликання об'єкта на одиничний стрибок, другий – на частотних характеристиках об'єкта управління.

Для розрахунку параметрів ПІД-регулятора за першим методом Зіглера-Нікольса використовуються всього два параметри:

A і L . формули для розрахунку коефіцієнтів ПІД-регулятора наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – формули для розрахунку коефіцієнтів регулятора методом

Зіглера-Нікольса за відкликанням на стрибок

Регулятор	K	T_i	T_d
П	$1/a$	-	-
ПИ	$0,9/a$	$3L / K$	-
ПІД	$1,2/a$	$0,9 L / K$	$0,5L / K$

Метод Зіглер-Нікольса дає параметри, далекі від оптимальних. Це пояснюється не тільки спрощеністю самого методу (він використовує тільки 2 параметри для опису об'єкта), але і тим, що параметри регулятора в цьому методі визначалися Зіглером і Нікольс, виходячи з вимоги до декременту загасання, Рівного 4, що і дає повільне згасання процесу коливань.

Метод Зіглер-Нікольса ніяк не враховує вимоги до запасу стійкості системи, це є другим його недоліком. Судячи з повільного згасання перехідного процесу в системі, цей метод дає дуже малий запас стійкості.

Другий метод Зіглер-Нікольса (частотний метод) в якості вихідного даних для розрахунку використовує частоту ω_{180} , на якій зрушення фаз в розімкнутому контурі досягає 180° , і модуль коефіцієнта петльового посилення на цій частоті K_{180} .

Точність налаштування регулятора і недоліки обох методів Зіглер-Нікольса однакові.

2) Налаштування параметрів регулятора за методом CHR

На відміну від Зіглер і Нікольса, які використовували в якості критерію якості Налаштування декремент загасання, рівний 4, Chien, Hrones і Reswick (CHR) [6] використовували критерій максимальної швидкості наростання при відсутності перерегулювання або при наявності не більше 20%-го перерегулювання. Такий критерій дозволяє отримати більший запас стійкості, ніж в методі Зіглер-Нікольса.

Метод CHR дає дві різні системи параметрів регулятора.

Одна з них отримана при спостереженні відгуку на зміну уставки, друга - при спостереженні відгуку на зовнішні збурення (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – формули для розрахунку коефіцієнтів регулятора методом CHR з відкликання на зміну уставки

Регулятор	Без перерегулювання			З 20%-ним		
	K	T_1	T_4	K	T_1	T_4
П	0,3/	-	-	0,7/	-	-
ПИ	0,35	$1,2L$	-	0,6/	$1,0L$ /	-
ПИД	0,6/	$1,0 L$	0,5	0,95/	$1,4L$ /	$0,47 L$

Метод CHR використовує апроксимацію об'єкта моделлю першого порядку із затримкою. У CHR використовуються ті ж вихідні параметри a і L , що і в методі Зіглер-Нікольса.

3) Ручна настройка ПД-регулятора

Розрахунок параметрів за формулами не може дати оптимальної настройки регулятора, оскільки аналітично отримані результати ґрунтуються на сильно спрощених моделях об'єкта. Зокрема, в них не враховується завжди присутня нелінійність типу «обмеження» для керуючого впливу. Крім того, моделі використовують параметри, ідентифіковані з деякою похибкою. Тому після розрахунку параметрів регулятора бажано зробити його підстроювання. Підстроювання можна виконати на основі правил, які використовуються для ручного налаштування.

Ці правила отримані з досвіду, теоретичного аналізу та чисельних експериментів. Вони зводяться до наступного:

- збільшення пропорційного коефіцієнта збільшує швидкодію і знижує запас стійкості;
- зі зменшенням інтегральної складової помилка регулювання з плином часу зменшується швидше;
- зменшення постійної інтегрування зменшує запас стійкості;
- збільшення диференціальної складової збільшує запас стійкості і швидкодію.

Відзначимо, що застосування правил можливе тільки після попереднього налаштування регулятора за формулами. Спроби налаштувати регулятор без початкового наближеного розрахунку коефіцієнтів можуть бути безуспішними.

Принципи застосування ШІМ для управління обладнанням

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) - процес управління потужності методом пульсуючого включення і відключення приладу.

Для ШІМ-сигналу можна виділити дві основні характеристики:

1. Частота імпульсів - від неї залежить робоча частота перетворювача. Типові частоти вище 20 кГц, фактично 40-100 кГц.

2. Коефіцієнт заповнення і шпаруватість. Ці дві суміжних величини характеризують одне і те ж. Коефіцієнт заповнення може каратися буквою S , а шпаруватість D .

$$S = 1 / T, \quad (1.1)$$

де T - період сигналу,

$$T = 1 / f,$$

$$D = 1 / S.$$

Коефіцієнт заповнення-частина часу від періоду, коли на виході контролера формується керуючий сигнал (завжди менше 1). Шпаруватість завжди більше 1. При частоті 100 кГц період сигналу дорівнює 10 мкс, а ключ відкритий протягом 2.5 мкс, тоді коефіцієнт заповнення - 0.25, у відсотках - 25%, а шпаруватість дорівнює 4 (рис. 1.10).

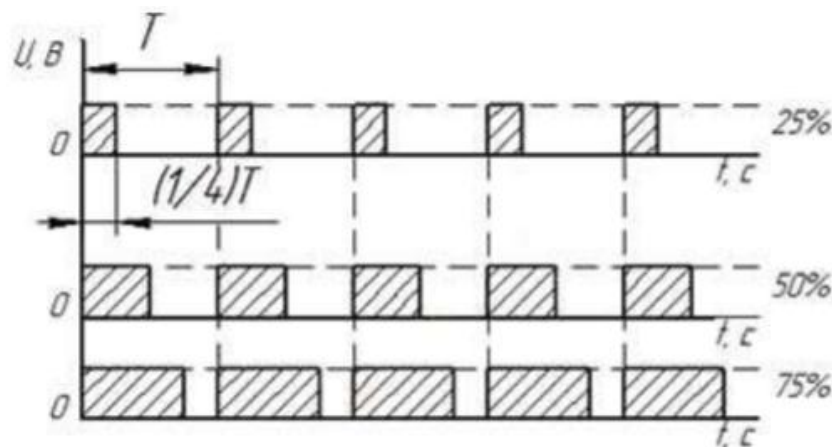


Рисунок 1.10 ШІМ-сигнали при різних значеннях S

Перевага застосування імпульсного управління перед лінійним це більш високий ККД (більше 80, а в даний час і 90%).

Алгоритм широтно-імпульсної модуляції застосовується для плавної зміни потужності на навантаженні, що надходить від джерела живлення. Наприклад, з метою регулювання швидкості обертання валу двигуна; плавності зміни яскравості освітлення або температури нагріву. Особливою широкою сферою застосування ШІМ є імпульсні джерела живлення і автономні інвертори.

В даний час є велика кількість мікроконтролерів, які мають вбудований вихід для ШІМ, який використовується для різних схем управління.

Під-імпульсне регулювання застосовується для управління інтегральними виконавчими механізмами, реверсивними електродвигунами, насосами та іншим обладнанням. При під-ШІМ регулювання можна отримати більш точне і ненаголошене регулювання ніж з 2х позиційним, як при виході на завдання так і підтримки заданої температури.

2 РОЗРОКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЛЕРА АТМЕГА328P

2.1 Огляд систем для моделювання

Процес проектування будь САР можна розділити на кілька етапів:

- аналіз об'єкта управління;
- побудова його математичної моделі;
- синтез структури системи управління;
- вибір типових регуляторів;
- оцінка якості роботи обраної системи управління;
- програмна реалізація отриманого алгоритму;
- налагодження програми на контролері.

Лінеаризація математичної моделі або неможлива, або небажана, оскільки найчастіше об'єкти управління істотно нелінійні. І спроби лінеризувати таку систему призведе до зниження ступеня відповідності оригіналу і моделі. Подібне спрощення може привести до того, що отримана при такому синтезі САР виявиться нездатною управляти даними технологічним об'єктом. І може бути і таке, що модель досить добре описує об'єкт, але виникають складнощі при програмній реалізації даної системи управління.

Налагодження програми управління при роботі на об'єкті небажана, а іноді і неможлива з кількох причин:

- різноманіття зворотних зв'язків і складність налаштування самої системи;
 - необхідність ефективних засобів моніторингу та збору даних;
 - ймовірність пошкодження об'єкта внаслідок логічних помилок у програмному забезпеченні;
- тощо.

Саме тому весь процес проектування САР зазвичай ділять на два етапи:- теоретичний аналіз, синтез, моделювання;

- практична реалізація системи управління та її налагодження.

На сьогоднішній день на ринку існує досить багато засобів, що дозволяють розробнику вирішувати проблеми першого етапу, такі як програмні комплекси Matlab, Lab-VIEW, NI Multisim .

Набір програмних засобів для вирішення завдань другого етапу менш обмежений

– Matlab (Simulink), NI Multisim, LabVIEW, Proteus [4].

Пакет для моделювання електронних схем Ni Multisim містить готові бібліотеки, в яких є 68 моделей мікроконтролерів і 60 моделей мікропроцесорів. Однак ці мікросхеми можуть бути використані тільки для побудови принципової схеми і подальшої розводки друкованої плати за допомогою програми Ultiboard, що входить до складу пакету програм NI Multisim.

Спроба провести моделювання такої схеми не призведе до успіху через відсутність spice-моделей цих елементів.

Для моделювання роботи мікроконтролерів передбачена окрема бібліотека MCU, у складі якої всього чотири типи мікроконтролерів: 8051, 8052, PIC16F84 і PIC16F84A. крім мікроконтролерів, в цій бібліотеці міститься 6 мікросхем оперативної пам'яті (RAM) і 32 мікросхеми програмованих ПЗУ (CMOS EPROM і CMOS PROM). Що також не сприяє гнучкому проектуванню будь-яких мікроконтролерних пристроїв.

Фірма National Instruments випускає великий асортимент модулів для роботи з пакетом LabVIEW, які дозволяють проводити збір, обробку та аналіз даних самого різного роду, розробляти системи управління різними об'єктами. Однак даний підхід має ряд недоліків.

Перший з них це висока вартість програмного забезпечення та апаратних засобів, особливо на пакети для промислового застосування, які, на відміну від пакетів, призначених для навчання, володіють достатньою функціональністю і більш широкими можливостями.

Другим недоліком є те, що найчастіше програмна підтримка здійснюється для плат і модулів конкретних виробників, що не дає розробнику можливості вибору.

Одним з найкращих рішень для проведення моделювання є застосування інтегрованого середовища для розробки електронних пристроїв, в т.ч. на мікроконтролерах Proteus.

Вона має такі відмінні риси:

- Розробка схеми електричної принципової (введення в графічному редакторі);
- моделювання схеми з використанням різноманітних віртуальних приладів;
- розробка друкованої плати, включаючи 3D-візуалізацію її збірки;
- можливості налагодження мікропрограмного забезпечення:
- спільне моделювання роботи мікроконтролера, виконуючого задану програму, і оточуючих його аналогової і цифрової схем;
- широкі налагоджувальні можливості, в т. ч. доступ до вмісту регістрів і пам'яті, завдання точок зупинки програми, покрокове виконання;
- налагодження на рівні вихідного коду (Сі, Бейсік, Асемблер, в залежності від типу використовуваного для налагодження файлу з випробовуваним мікропрограмним забезпеченням).

Система здійснює підтримку декількох сімейств мікроконтролерів від різних виробників, в т. ч.:

- PIC12, PIC16, PIC18 і PIC24 (Microchip);
- 8051/8052, в т. ч. похідні від них, що випускаються Philips і Atmel;
- AVR, Tiny AVR і Mega AVR (Atmel);
- ARM7, в т. ч. LPC2000 (NXP);
- HC11 (Freescale) і мікроконтролерні модулі BASIC Stamp (Parallax).

Також ведеться робота по додаванню підтримки інших МК.

Переваги використання даної інтегрованого середовища, наступні:

- виконання всіх етапів розробки електронного пристрою на основі мікроконтролера в єдиному середовищі;
- можливість написання, Налаштування та тестування мікропрограмного забезпечення ще до фізичного виготовлення дослідного зразка системи;
- прискорює процес розробки електронного пристрою;
- підтримка спільної роботи з апаратними пристроями, підключеними через порт комп'ютера.

Розробники системи пропонують безліч комерційних виконань, що розрізняються можливостями програми для розробки друкованих плат і підтримуваними сімействами мікроконтролерів при моделюванні роботи схеми, а також дають 20%-у знижку на будь-яку комерційну версію для навчальних закладів. Для ознайомлення ними пропонується демонстраційна версія, в якій є ряд обмежень.

Середовище розробки Atmel Studio (AVR studio) для мікроконтролерів AVR і Arduino.

З 2004 для мікроконтролерів фірми ATMEL отримали потужний програмний пакет AVR studio. В 2012 році, в неї була додана підтримка розробки для мікроконтролерів архітектури ARM, також випускаються фірмою Atmel, і середовище розробки отримала нову назву Atmel Studio. Поточна версія (Atmel Studio 7) підтримує всі випускаються на сьогоднішній день фірмою Atmel мікроконтролери архітектур AVR, AVR32 і ARM і засоби розробки.

Atmel Studio містить в собі менеджер проектів, редактор вихідного коду, інструменти віртуальної симуляції і внутрішньосхемної налагодження, дозволяє писати програми на асемблері або на C/C++.

Характеристики AVR Studio:

- 1) інтегрований компілятор C/C++;
- 2) інтегрований симулятор;

3) за допомогою плагіна можлива підтримка компілятора GCC у вигляді збірки WinAVR;

3) Підтримка інструментів Atmel, сумісних з 8-розрядної AVR архітектурою, в тому числі AVR ONE!, JTAG ICE mkii, JTAG ICE mkII, AVR Dragon, AVRISP, AVR ISPmkII, AVR Butterfly, STK500 і STK600;

4) Підтримка плагіна AVR RTOS;

5) Підтримка AT90PWM1 та ATtiny40;

6) інтерфейс командного рядка з підтримкою TPI.

2.2. Математична модель САР

Складемо математичну модель САР температури електропечі, яку можна представити наступною структурною схемою (рис. 2.1).

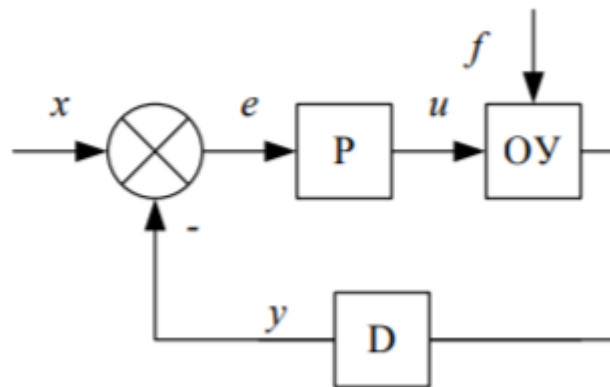


Рисунок 2.1 – Структурна схема САР температури

Відомо, що будь-яка система управління має наступні елементи:

- регулятор (P);
- об'єкт управління (ОУ);
- датчик температури (Д);
- вихідна величина y ;
- задане значення x ;

- вхідний сигнал збуджуючого впливу f ;
- сигнал відхилення $e = x - y$;
- сигнал управління u .

У нашій системі сигнал від датчика (вимірюване значення) - це сигнал y ; бажане значення температури x задається за допомогою кнопок управління;

вхідний сигнал обурює впливу f - це зовнішні параметри, що впливають на стан об'єкта управління (передача тепла через стінки печі і т.п.). Регулятор P - це мікроконтролер, який розраховує керуючий вплив на виконавчі пристрої об'єкта управління. В ході вивчення роботи системи і на основі аналізу характеристик законів регулювання був обраний закон під-регулювання, так як він може забезпечити більшу точність регулювання при великих, але плавних змінах навантаження. І-регулятор має великий час регулювання, що неприпустимо для систем подібного роду.

Розглянемо докладніше модель ПД регулятора.

Він складається з 3-х елементів:

- пропорційного (П);
- інтегруючого (І)
- дифференціюючого (Д).

У п-регуляторі сигнал управління (u) прямо пропорційний значенню сигналу відхилення (e):

$$u_n = k_n e(t), \quad (2.1)$$

де k_n - коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт посилення регулятора).

Чим більше відхилення, тим більше вихід саме за даним значенням. Тобто статична помилка дорівнює відхиленню регульованої величини. Тут присутня ймовірність, що система ніколи не стабілізується на заданому значенні. Збільшення коефіцієнта посилення збільшує різницю між входом і

виходом, при цьому зменшується статична помилка. Але зростання цього коефіцієнта може привести до автоколивань в системі, а подальше його збільшення призведе до втрати стійкості.

В і-регуляторі сигнал управління пропорційний інтегралу від сигналу відхилення (e). Система при такому законі астатична, тобто обурення відбувається на тій ділянці системи, яка знаходиться за інтегруючою ланкою. Але при цьому динамічні властивості системи з і-законом зазвичай гірше ніж у системи П-управління.

Закон І-регулятора:

$$u_u = k_u \int_0^t e(t) dt, \quad (2.2)$$

де k_u и k - коефіцієнт посилення регулятора. Швидкість зміни виходу Регулятора пропорційна сигналу відхилення. Зазвичай на практиці підсилювальні властивості І-регулятора характеризує часом ізодрому:

$$T_u = 1/k_u. \quad (2.3)$$

Час ізодрому показує, за який час вихід регулятора зміниться на 100% при стрибкоподібній зміні вхідного сигналу на 100%. Таким чином, T_u характеризує швидкодію регулятора. Зі зменшенням зростає коливальність перехідного процесу. При занадто малих значеннях система регулювання може перейти в нестійкий стан. Якщо навантаження об'єкта змінюється часто і різко, і при цьому об'єкт має істотне запізнення, то в закон регулювання вводять диференціальну складову, тобто впливають на регулюючий орган додатково за величиною першої похідної від зміни регульованого параметра.

Сигнал Регулятора (u) залежить від похідної від сигналу відхилення (від швидкості зміни цього сигналу):

$$u_D = k_D \frac{de(t)}{dt}, \quad (2.4)$$

де k_D - коефіцієнт посилення регулятора.

Д-регулятор характеризується постійною часу диференціювання - це інтервал часу між моментами досягнення регулюючим органом однакового положення при наявності диференціальної складової і без неї.

Диференціююча Ланка обчислює швидкість зміни сигналу відхилення, тобто прогнозує напрямок і величину його зміни. Якщо вона позитивна, то сигнал відхилення зростає, і диференціює частина разом з іншими складовими регулятора збільшує вплив регулятора на об'єкт.

Якщо негативна-зменшується вплив на об'єкт.

Сума трьох регуляторів П, І і Д дає ПІД-регулятор:

$$u = k_n e(t) + k_u \int_0^t e(t) dt + k_D \frac{de(t)}{dt}. \quad (2.5)$$

Вихідний сигнал ПІД-регулятора (u) залежить від сигналу відхилення регулювання (e), від інтеграла від цього сигналу і від похідної від нього. Традиційно модель електропечі (ЕП) представляють у вигляді лінеаризованої Ланки з передавальною функцією :

$$W_{oy}(p) = \frac{k_{oy}}{T_{oy}p + 1}, \quad (2.6)$$

де

k_{oy} - коефіцієнт передачі печі;

T_{oy} -- постійна часу печі.

Таке уявлення електропечі як об'єкта управління дозволяє вирішувати ряд завдань при моделюванні систем управління і регулятора температури.

З урахуванням того, що настройка параметрів регуляторів температури ЕП для кожної нової печі вручну трудомістка і фінансово витратна операція, виходить доцільним розробка уточненої моделі печі, що враховує теплотехнічні параметри окремих елементів печі і зв'язку між ними.

За довідником [6] визначаємо, що для електропечей, що використовуються на даному виробництві, параметри лінеаризованої ланки описуються наступною передавальною функцією:

$$W_{oy}(p) = \frac{950}{180p + 1}, \quad (2.7)$$

яку і будемо застосовувати в даній розробці.

Побудуємо в програмному пакеті MATLAB перехідну характеристику системи (рис. 2.2)

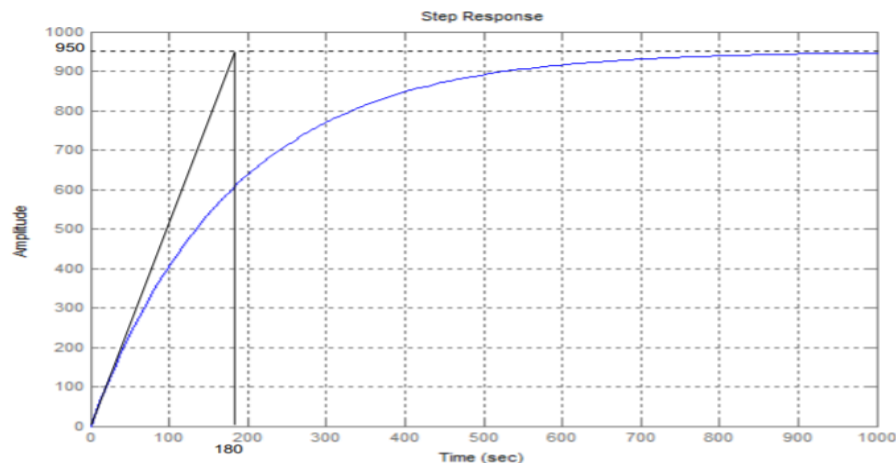


Рисунок 2.2 – Графік перехідного процесу в програмному пакеті MATLAB

Використовуючи описані раніше методики складаємо модель системи і знаходимо оптимальні параметри ПД регулятора (рис. 2.3, 2.4).

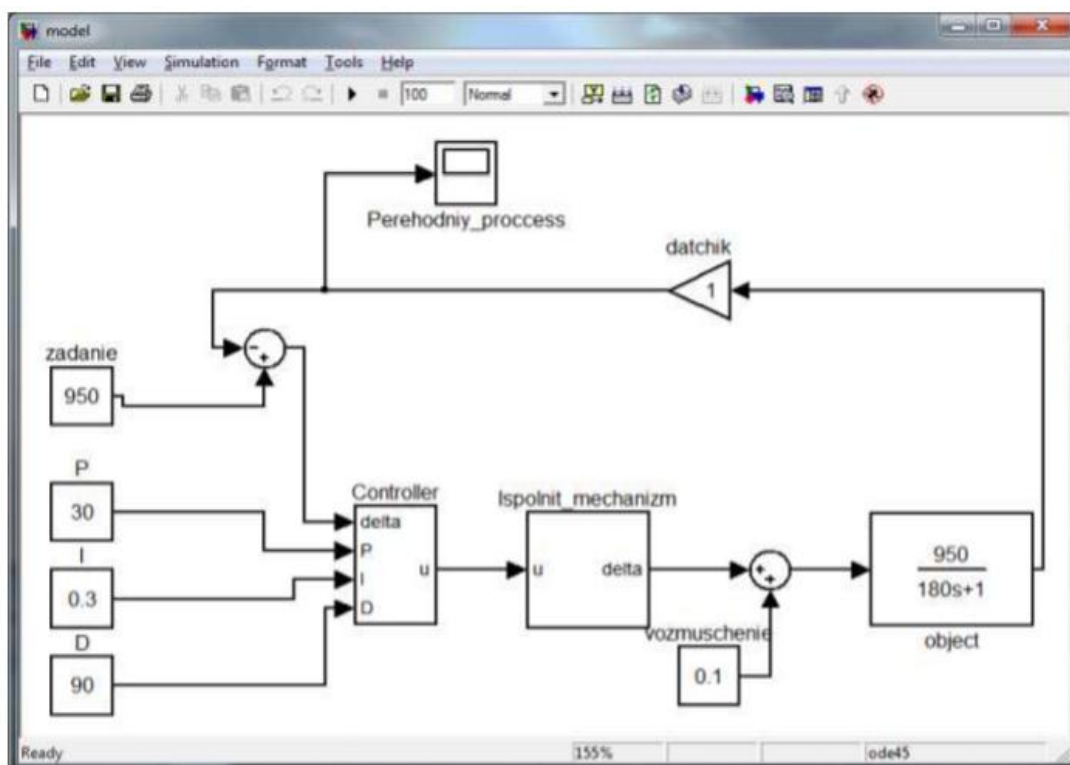


Рисунок 2.3 – Схема моделювання ПД-регулятора печі

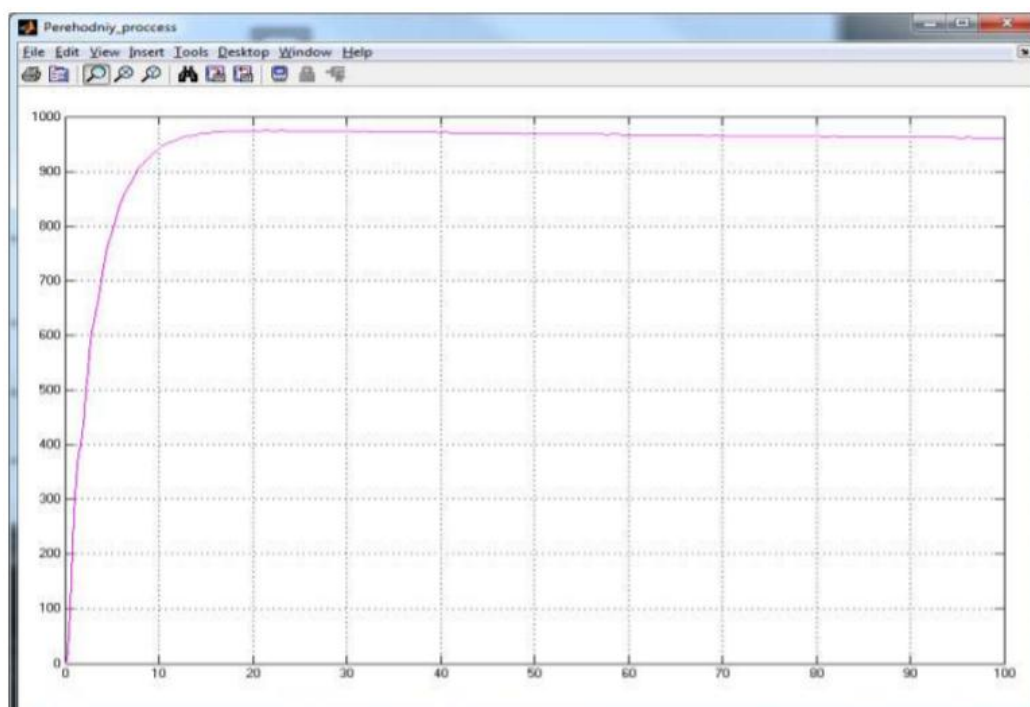


Рисунок 2.4 – Результат моделювання ПД-регулятора печі

2.3 Розробка структурної схеми системи

Оскільки в даній системі виконується розробка системи автоматичного регулювання температури на базі мікроконтролера, то структурна схема такої системи повинна містити наступні елементи (рис. 2.5):

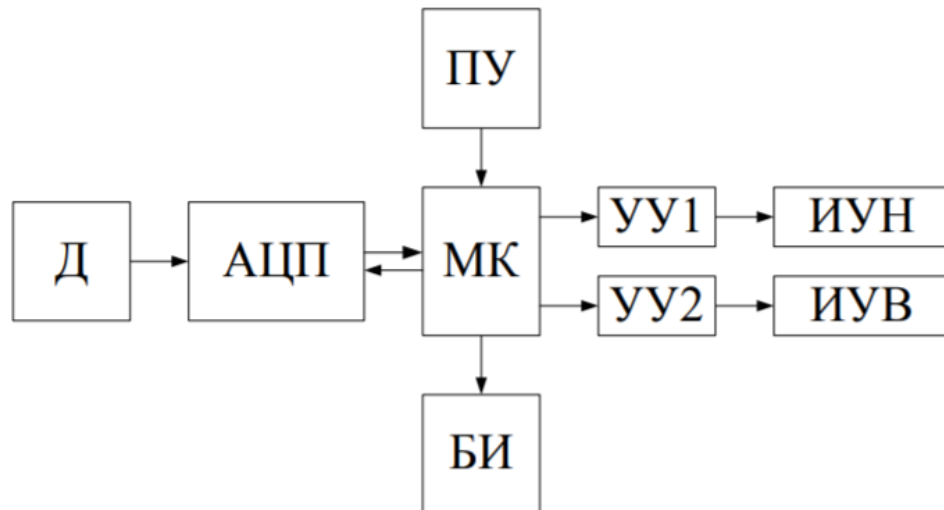


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи

- датчик температури (Д);
- АЦП;
- Мікроконтролер (МК);
- підсилювальний пристрій (УУ);
- виконавчий пристрій – нагрівач (ИУН);
- виконавчий пристрій-вентилятор (ИУВ);
- блок індикації (Бі)
- пульт управління (ПУ).

Розглянемо призначення кожного елемента.

Датчик вимірює температуру, перетворює її значення в електричний сигнал, який за допомогою АЦП перекладається в цифровий вигляд. Після АЦП цей сигнал надходить в мікроконтролер у вигляді двійкового коду.

Мікроконтролер є головним елементом, в ньому виконується програмна обробка отриманих від датчика даних і вироблення керуючого впливу на виконавчі пристрої.

Для посилення отриманого керуючого сигналу по потужності і напрузі потрібно підсилювальний пристрій (УУ). Виконавчий пристрій змінює свій стан (включає і відключає тенти, вентиляцію, в залежності від конкретної реалізації системи) з метою зміни стану об'єкта, в якому вимірюється температура.

2.4 Розробка алгоритму роботи

Згідно з цим Законом управління алгоритм роботи розробленої системи буде такий (рис . 2.6). Таким чином, при включенні системи відбувається ініціалізація всіх параметрів системи. Далі в циклі відбувається опитування клавіатури і генерування керуючого впливу за результатами опитування датчика. Якщо натиснута кнопка клавіатури блоку управління, то з'ясовуємо, яка саме. Якщо кнопка збільшення, то задане значення температури збільшуємо, в іншому випадку-зменшуємо.

Опитування датчика дає його поточне значення, за яким в МК обчислюються складові для під регуляторів, сума яких і дає управління виконавчими пристроями.

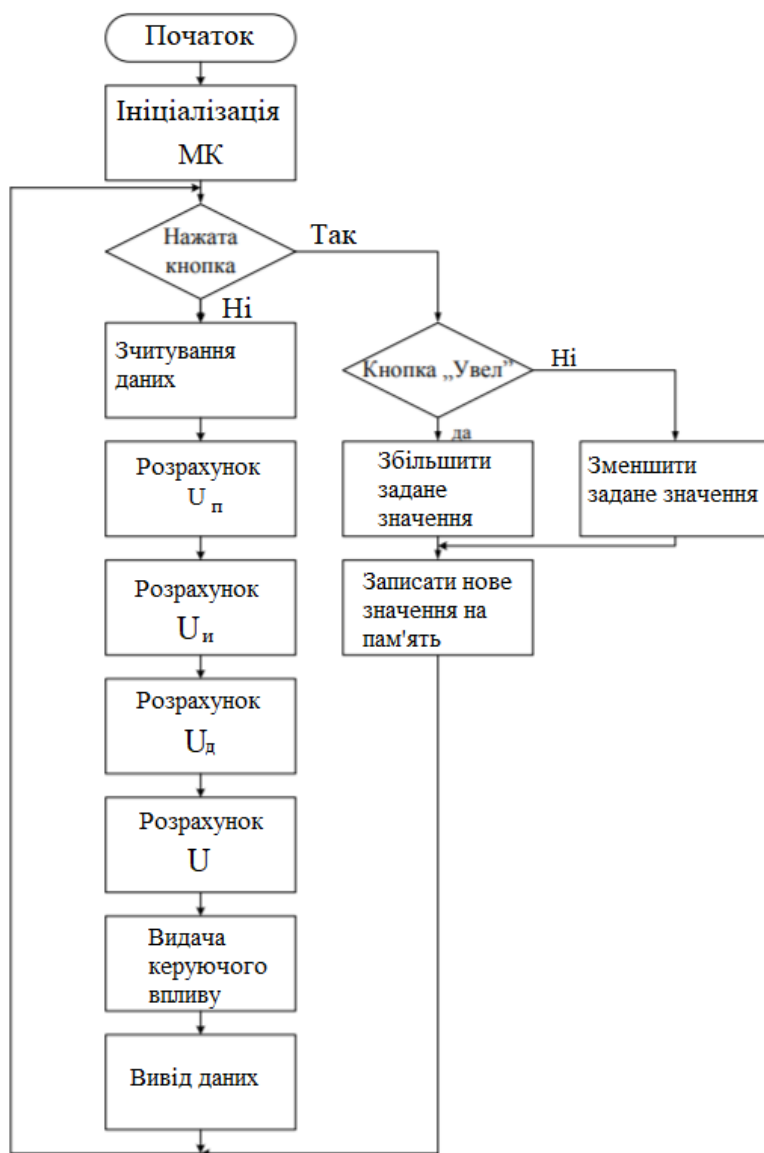


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи системи

З МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРИ ТА ЙОГО КОМПОНЕНТИ

3.1 Зовнішній датчик температури та блок індикації

Розглянемо датчик температури. Для того, щоб правильно вибрати датчики температури, необхідно розуміти, для яких вимірювань вони призначені, і наскільки достовірний буде результат вимірювання.

Найбільш часто для вимірювання температури застосовують такі типи датчиків: термістори, цифрові напівпровідникові датчики, термопари і термоперетворювачі опору. Для реалізації даної системи необхідно використовувати термопари, які є самими високотемпературними контактними датчиками.

Принцип дії термопар заснований на термоелектричному ефекті, відкритим німецьким фізиком Томасом Зеєбеком в 1821 р. Якщо з'єднати два різнорідних провідника і підтримувати місця з'єднання при різних температурах, то між кінцями виникне електрорушійна сила (термо-ЕРС). Такі сполуки називаються термопарами. Величина виникає термо-ЕРС залежить від матеріалу провідників і різниці температур між спаями. У невеликому діапазоні температур термо-ЕРС пропорційна різниці температур.

Головною перевагою термопар є великий температурний діапазон вимірювання від -200°C до 2500°C , а також простота і міцність конструкції, і невисока ціна. Основні недоліки термопар-точність вимірювання від 1°C , необхідність компенсації температури холодного спаю, нелінійна залежність напруги на виході термопари від температури.

Різновидів термопар існує досить багато, але найбільше поширення набули хромель-алюмелеві (тип К) термопари, через свою дешевизну і практично лінійної зміни термо-ЕРС (рис. 3.8). Цей вид термопар найчастіше використовують в САР температури при нагріванні і плавленні металу.

Таким чином, значення термо-ЕРС необхідно помножити на коефіцієнт, відповідний обраної термопарі, і отримати температуру, при цьому немає необхідності мати великі таблиці даних або апроксимувати отримані значення. Оскільки обраний Мікроконтролер має вбудований АЦП, то окремо ставити АЦП немає необхідності.

Для підключення датчика температури у вигляді термопарі до входу АЦП на МК необхідно мати підсилювальний пристрій, який перетворює рівень сигналу від датчика до рівня перетворення АЦП

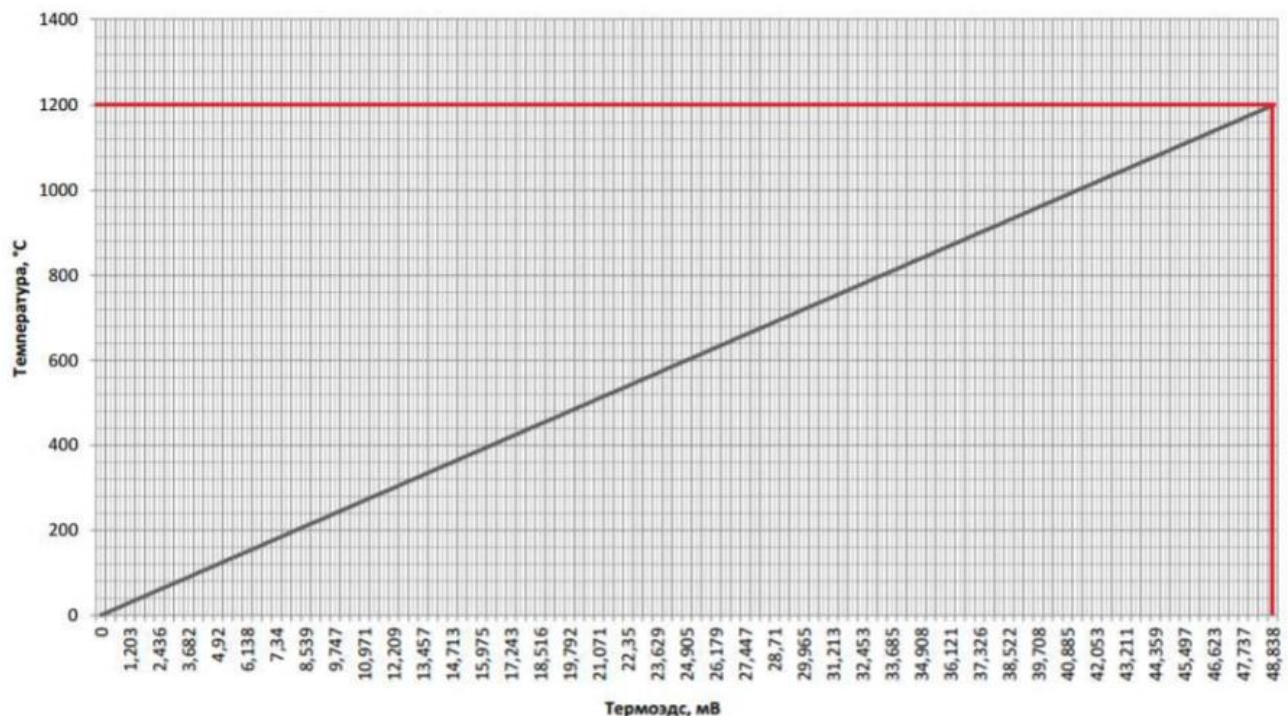


Рисунок 3.1 – Зміна термоЕРС хромель-алюмелевих термопар (к-тип)

Для цих цілей використовуємо стандартну схему неінвертуючого включення операційного підсилювача (рис. 3.9), для якого відношення вхідної і вихідної напруг описується наступною формулою:

$$K_{yc} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.1)$$

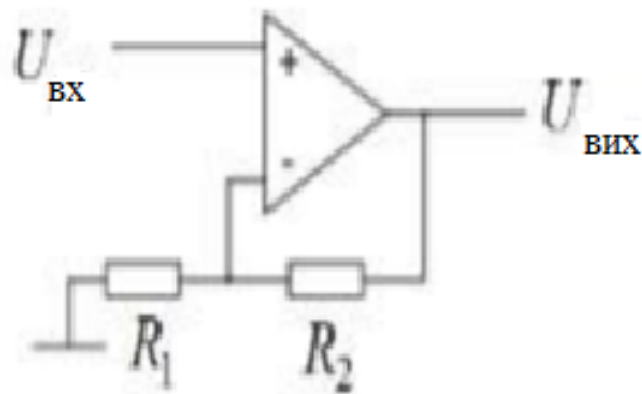


Рисунок 3.2 – Схема посилювача для датчика

Від значень резисторів зворотного зв'язку R_1 і R_2 залежить коефіцієнт посилення сигналу. Величину посилення сигналу потрібно підбирати з урахуванням опорного напруги, яке будемо брати від напруги живлення мікроконтролера 5В. будемо вважати, що діапазон вимірюваних температур дорівнює 1200 °С. При цьому значенні температури на виході термопарі буде потенціал приблизно 48,8 мВ (див. 3.8). Це значення повинно відповідати напрузі в 5В на вході АЦП. Отже, коефіцієнт посилення дорівнює

$$K_{yc} = \frac{5}{0,0488} = 102,5. \quad (3.2)$$

Тоді резистори виберемо з такого співвідношення:

$$\frac{R_2}{R_1} = 101,5. \quad (3.2)$$

Обираючи $R_1=1\text{кОм}$, отримуємо $R_2=100\text{ кОм}$

Далі на розгляді блок індикації.

Для реалізації блоку індикації доцільно використовувати рідкокристалічний індикатор. Візьмемо широко поширений дворядковий індикатор WH1602B (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Рідкокристалічний індикатор WH1602B

Індикатори такого типу вже протягом декількох років є невід'ємною частиною сучасної електронної продукції, і не тільки на вітчизняному ринку. Вони дешеві, дуже поширені, їх різноманітність надає розробнику вибрати відповідний в залежності від експлуатаційних умов. Їх відмінність полягає в діапазонах робочих температур, кількістю рядків для відображення інформації, кількістю знакомісць в рядку, стандартними з яких має значення 8, 12, 16, 20, 24 і 40 символів на один рядок, так само розрізняються розмірами символу, його дозволом, розмірами самого дисплея і т. д.

3.2 Пульт управління та принцип його роботи

В якості пульта управління необхідно використовувати кнопки «збільшити «і» зменшити», натискаючи на які можна змінювати задане значення температури.

Підсилювальні пристрої призначені для посилення по потужності і по напрузі сигналів з виходів управління контролера.

В якості таких пристроїв візьмемо мікросхему ULN2003 [10], яка являє собою набір потужних ключів і призначена для застосування в ланцюгах індуктивних навантажень, для управління навантаженням значної потужності, включаючи електромагнітні реле, двигуни постійного струму, Електромагнітні клапани, в схемах управління різними двигунами та ін.

Мікросхема ULN2003а (рис. 3.11) - це транзисторна збірка Дарлінгтона з вихідними ключами підвищеної потужності. При зворотних викидах напруги від індуктивного навантаження може статися поломка керуючих електричних ланцюгів. Дану проблему вирішують захисні діоди, які розташовані на виходах збірки. Кожен канал (пара Дарлінгтона) в ULN2003 розрахований на навантаження 500 мА і витримує Максимальний струм до 600 мА. Для полегшення розводки друкованої плати в корпусі мікросхеми всі входи і виходи розташовані один навпроти одного.

ULN2003 відноситься до сімейства мікросхем ULN200X. вибір версії цієї мікросхеми залежить від логіки з якою буде проводитися робота. Зокрема, мікросхема ULN2003 призначена для роботи з TTL логікою (5В) і логічних пристроїв CMOS.



Рисунок 3.4-Мікросхема ULN2003а

Застосування ULN2003 доречно в схемах управління широким спектром навантажень, як релейних драйверів, лінійних драйверів, драйверів дисплея тощо. ULN2003 також використовується в драйверах крокових двигунів.

Характеристики ULN2003:

- Номінальний струм колектора одного ключа-0,5 А;
- Максимальна напруга на виході до 50 В;
- захисні діоди на виходах;
- вхід адаптований до всіляких видів логіки;
- можливість застосування для управління реле.

3.3 Розробка принципової схеми

Поєднуючи всі вибрані елементи принципової схеми згідно розробленої раніше структурної схеми, отримуємо схему електричну принципову, представлену в додатку А.

Суть роботи цієї схеми в наступному:

Сигнал з термопари (датчика температури) через роз'єм X1 надходить на підсилювач DA1, зібраний на мікросхемі операційного підсилювача (ОУ) LM358N по рис. 3.3.

Так як при даному підключенні до ОУ резистори по входів повинні бути однакові, а на інвертуючому вході паралельно підключені резистори R2,R3,R4 номіналом 1, 5.1 і 100 кОм, то еквівалентний опір на цьому вході приблизно дорівнює 1 кОм. Тому номінал R1 також дорівнює 1 кОм. Ланцюг R5C1-це низькочастотний фільтр, застосований для усунення шумів, які є у ОУ, і ослаблення наведень, які можуть потрапити на його вхід.

Посилений сигнал подається на аналоговий вхід мікроконтролера DD1, на вхід АЦП, де перетворюється в цифровий код.

Далі програмно визначаються керуючі впливу на виконавчі механізми-нагрівач і вентилятор, які посилюються за допомогою перетворювача DD1 ULN2003, і подаються на вихідний роз'єм схеми X2.

Потрібна інформація відображається за допомогою РКІ HL1.

Для установки і корекції заданого значення температури використовуються кнопки S1, S2.

3.4 Розробка програми

Програма написана мовою C в компіляторі CodeVisionAVR для моделювання в програмі-емуляторі Proteus (рис. 3.5).

Інтегроване середовище CODEVISION AVR являє собою кросскомпілятор мови C, орієнтований на сімейство мікроконтролерів AVR і містить:

- графічну оболонку для управління ресурсами проекту;
- текстовий редактор вихідного модуля програми;
- крос-компілятор;
- відладчик, програматор;
- автоматичний генератор програмного коду;
- термінал для роботи з послідовним інтерфейсом RS232C (USART).

Отриманий в результаті компіляції вихідного коду програми на мові C [10] виконуваний модуль (файл прошивки) може бути безпосередньо записаний в пам'ять програм мікроконтролера.

У середовищі CODEVISION AVR кожна програма для мікроконтролера оформляється у вигляді проекту, що представляє собою сукупність файлів, що містять вичерпну інформацію для програматора. Файли кожного проекту зберігаються в окремій папці.

Фрагмент тексту програми представлений в додатку А.

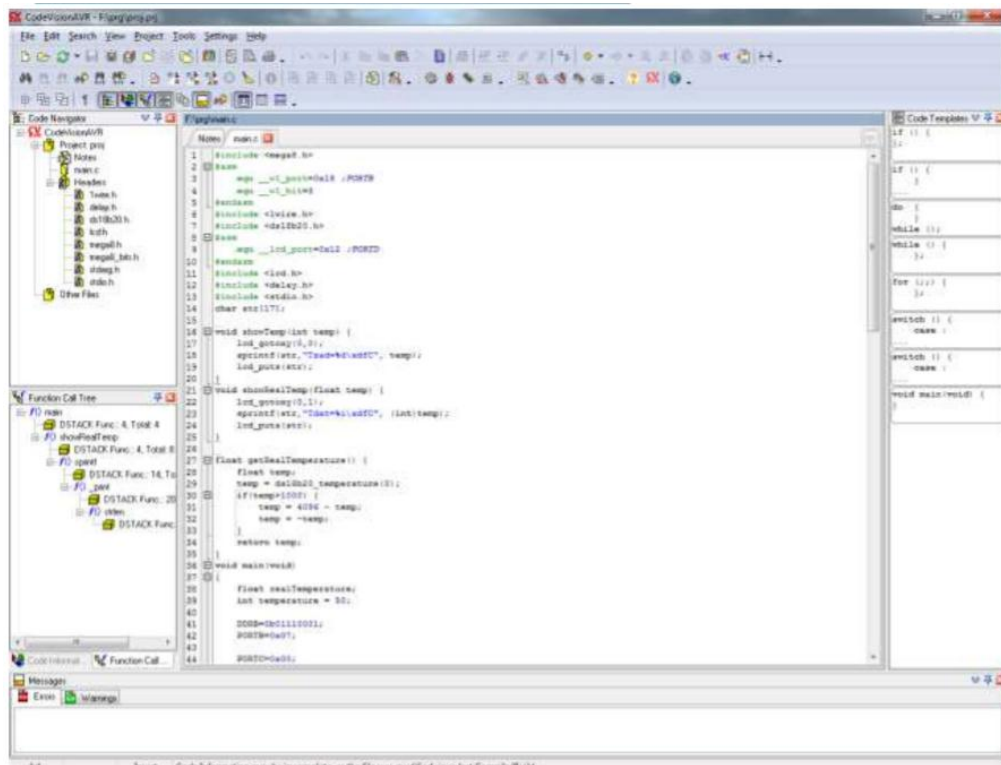


Рисунок 3.5 – Вікно компілятора CodeVisionAVR з програмою керування

При розробці основної керуючої програми будемо використовувати функцію обчислення керуючого впливу ПІД регулятора:

```
void useHeater(float realTemperature, int temperature) {
// функція генерування керуючого впливу на нагрівач і вентилятор
Error = temperature - realTemperature;
P_Term = Kp * Error; // визначення пропорційної складової
if (Integral > MaxIntegral) {Integral = MaxIntegral;}
else if (Integral < - MaxIntegral) {Integral = - MaxIntegral;}
else Integral += Error;
I_Term = Ki * Integral; // визначення інтегральної складової
D_Term = Kd * (PrevValue - realTemperature); // визначення
диференціальної складової
PrevValue = realTemperature; // збереження значення температури як
попереднього
```

Out = P_Term + I_Term + D_Term; // обчислення значення суми складових регулятора

// визначення сигналу на виході з МК для ШІМ і вентилятора

```
if(realTemperature > temperature) {
```

```
PORTB|=1<<4;
```

```
OCR2 = 0;
```

```
} else {
```

```
PORTB&=~(1<<4);
```

```
if(Out > 0xFF) {
```

```
OCR2 = 0xFF;
```

```
}
```

```
else if(Out < 3) {
```

```
OCR2 = 0;
```

```
}
```

```
else {
```

```
OCR2 = Out;
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

3.5 Моделювання роботи системи

Для проведення моделювання розробленої системи скористаємося інтегрованим середовищем для розробки електронних пристроїв на мікроконтролерах Proteus.

Для проведення тестування збираємо спрощений варіант схеми, з використанням цифрового датчика температури. Це дасть можливість в процесі моделювання змінювати показання датчика і дивитися на зміну керуючих сигналів на виконавчі механізми.

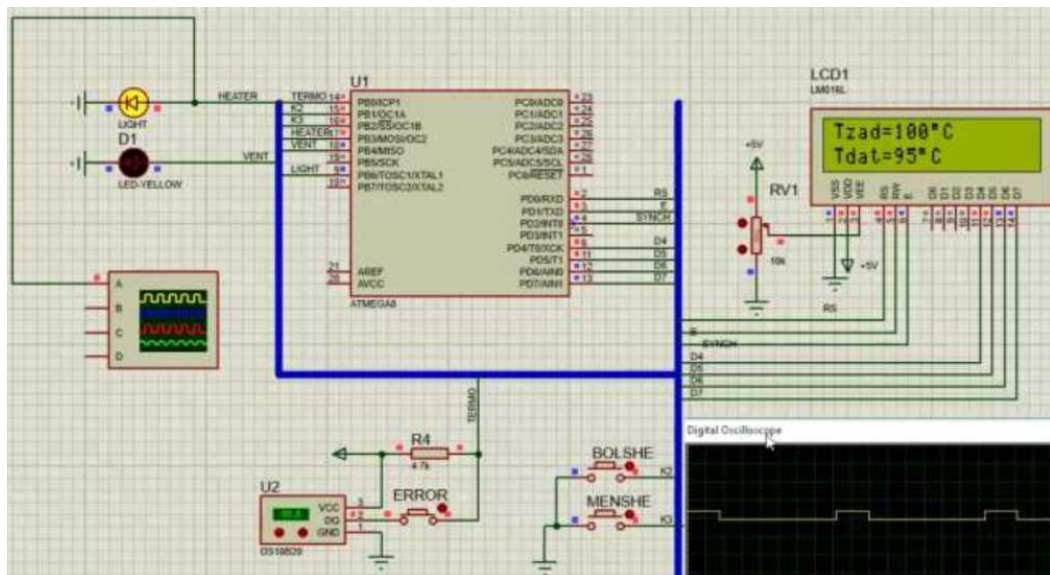


Рисунок 3.7 - Моделювання роботи схеми при $T_{дат} < T_{заданої}$

Якщо виміряна температура менше заданої (рис. 3.7), то керуючий вплив являє собою набір імпульсів з більшою довжиною, яка зменшується, як тільки температура датчика наближається до заданої (рис. 3.8, 3.9).

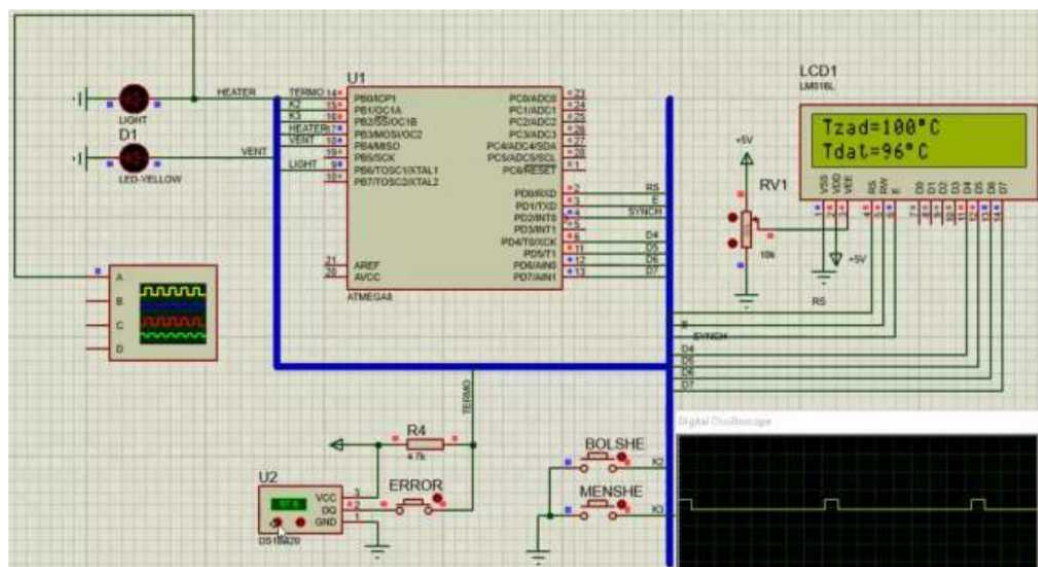


Рисунок 3.8 - Моделювання роботи схеми при $T_{дат} < T_{заданої}$

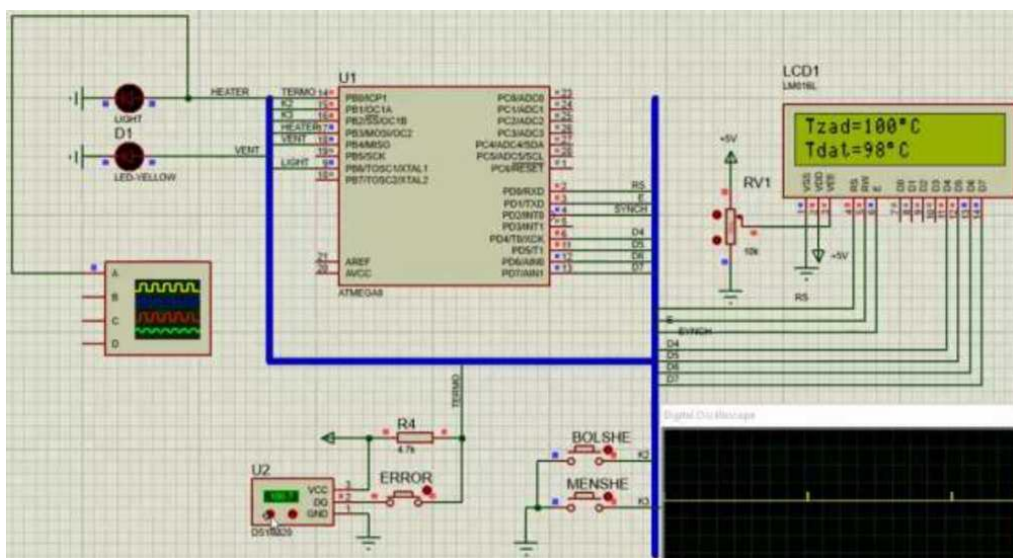


Рисунок 3.9 - Моделювання роботи схеми при $T_{\text{даг}} < T_{\text{заданої}}$

Натискаючи на датчику температури кнопки « + "i" », можемо змінювати його показання. Як тільки температура майже доходить до заданого рівня, включення нагрівача відбувається зовсім на короткі інтервали. Збільшимо показання датчика температури (рис. 3.10) так, що вона буде більше заданої. Тоді включається вентилятор.

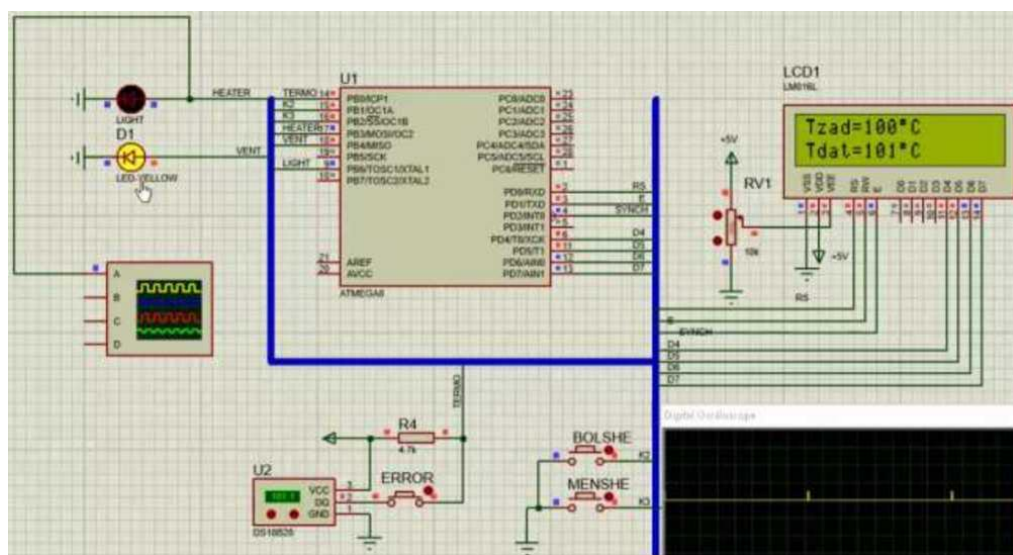


Рисунок 3.10 - Моделювання роботи схеми при $T_{\text{дат}} > T_{\text{заданої}}$

При зниженні температури, що показується датчиком, відбувається знову збільшення тривалості імпульсів на ШІМ для нагрівача (рис. 3.11). Таким чином, відбувається регулювання із застосуванням ПІД регулятора, яке залежить від поточного значення температури і попереднього. В результаті проведеного моделювання переконуємося в нормальному функціонуванні системи згідно завдання.

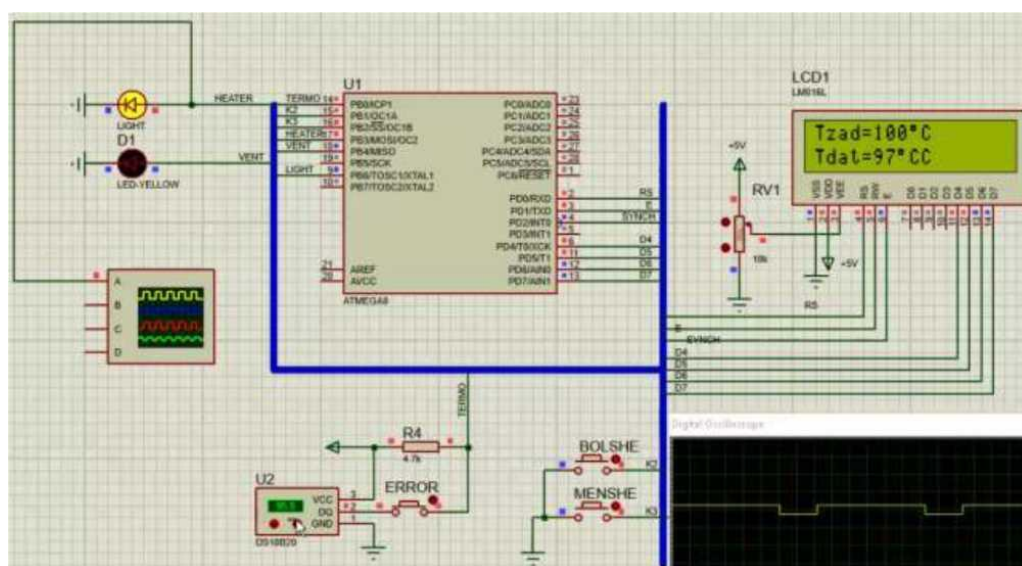


Рисунок 3.11 - Моделювання роботи схеми при зниженні вимірюваної температури нижче заданої

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті розглянуті види існуючих терморегуляторів та датчиків температури, і описано принципи їх роботи. Обрано управляючий компонент для регулятора температури на основі мікроконтролера ATmega328. Написано програмний код, за допомогою якого реалізовано управління температурою в залежності від показань термопари. Організовано відображення інформації на дисплеї.

Розроблений регулятор температури для нагрівальної установки відповідає вимогам завдання на дипломне проектування.

Основні переваги розробленого регулятора - достатня точність установки температури та можливість регулювати температуру у широкому діапазоні, простота реалізації схеми, мала вартість, висока надійність та ремонтпридатність. Розроблена система виконує основні функції прикладної моделі, яка дозволить провести аналіз основних характеристик технологічного процесу і налаштування необхідних параметрів системи без значних витрат і зусиль.

В результаті дослідження написана програма, що забезпечує обмін даними між мікроконтролером і датчиком температури, автоматичне регулювання технологічним процесом на основі ПД-регулювання і ШІМ.

За результатами моделювання отримано, що в порівнянні з двопозиційним регулюванням температури, алгоритм автоматичного управління температурою за допомогою ПД регулювання підтримує її в заданому діапазоні з великим ККД. Так, двопозиційне регулювання включає нагрів після зниження температури менше нижньої межі діапазону, а вимикає при переході через верхній діапазон, що призводить до перевитрати електроенергії. ПД-регулювання дозволяє "спрогнозувати" зміну температури і переключити обладнання до досягнення граничних діапазонів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Геращенко, О. А.** Температурные измерения: Справочник [Текст] / О. А. Геращенко, А. Н. Гордов, Б. И. Стадник, В. И. Лах, Я. Т. Луцик, Н. А. Ярышев, А. К. Еремина. – К.: Наук. думка, 1989. — 494 с.
2. **Воронов, А.А.** Основы теории автоматического управления: Особые линейные и нелинейные системы [Текст] / А.А. Воронов. - 2-е изд., перераб. - М.: Энергия. 1981. – 304с
3. **Денисенко, В.В.** ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Часть 1 [Текст] / В.В. Денисенко. - СТА, No4, 2006. - С. 45-50.
4. What is Pyrometer : Working Principle and Its Types [Електроний ресурс]. - Режим доступа: <https://www.elprocus.com/what-is-pyrometer-working-principle-and-its-types>
5. **Токарев, Л.Н.** Физические процессы в электрических машинах и системах [Текст] / Л.Н. Токарев. - СПб: Литера, 2008. - 216 с.
6. **Макаров, С.Л.** Arduino Uno и Raspberry Pi 3. От схемотехники к интернету вещей [Текст] / С.Л. Макаров. - М.: ДМК Пресс, 2018. - 204 с.: ил.
7. **Иващенко, Н.Н.** Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: Учебник для вузов [Текст] / Н.Н. Иващенко. - М.: Машиностроение, 1978. - 736 с.
8. Proteus [Електроний ресурс]. - Режим доступа: <https://www.labcenter.com/> - Заглавие с экрана.
9. Сила [Електроний ресурс]. - Режим доступа: <https://zetsila.ru/микроконтроллеры-avr-программирование/>
10. Arduino + [Електроний ресурс]. - Режим доступа: <https://arduinoplus.ru/avr-studio-sreda-razrabotki/>

ДОДАТОК А

Фрагмент коду програми

```

}
void showRealTemp(float temp) {
    // вывод данных о измеренное значение температуры
    lcd_gotoxy(0,1); // позиция курсора
    sprintf(str,"Tdat=%i\xdfC", (int)temp);
    lcd_puts(str); // вывод сообщения
}
void useHeater(float realTemperature, int temperature) { // функция
генерирования управляющего воздействия на нагреватель и вентилятор
    Error = temperature - realTemperature;
    P_Term = Kp * Error; // определение пропорциональной составляющей
    if (Integral > MaxIntegral) {Integral = MaxIntegral;}
    else if (Integral < - MaxIntegral) {Integral = - MaxIntegral;}
    else Integral += Error; I_Term = Ki * Integral; // определение интегральной
составляющей D_Term = Kd * (PrevValue - realTemperature); // определение
дифференциальной составляющей
    PrevValue = realTemperature; // сохранение значения температуры как
предыдущего
    Out = P_Term + I_Term + D_Term; // вычисление значения суммы
составляющих регулятора
    // определение сигнала на выходе из МК для ШИМ и вентилятора
    if(realTemperature > temperature) {
        PORTB|=1<<4;
        OCR2 = 0;
    } else {
        PORTB&=~(1<<4);
    }
}

```