

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ ФАКУЛЬТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ КАФЕДРА
ПРОГРАМУВАННЯ ТА МАТЕМАТИКИ

До захисту допускається
В.о. завідувач кафедри
_____ Лифар В.О.
« ____ » _____ 2019 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

_____ бакалавр _____

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

НА ТЕМУ:

**Комп'ютерна система контролю температури з цифровим
пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором**

Керівник роботи:

Захожай О. І.

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Студент

Засько І.В.

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Група:

_____ СКС-16у _____

ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ І ОЦІНЮВАННЯ
дипломної роботи студента гр. СКС-16у Засько І.В.

Науковий керівник

Доцент, к.т.н.

Захожай О.І.

Оцінка наукового керівника: _____

Рецензент

ПІБ, місто роботи, посада

Оцінка рецензента: _____

Кінцева оцінка за результатами захисту:

Голова ЕК

Меняйленко О.С.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Інформаційних технологій та електроніки

Кафедра програмування та математики

Освітньо-кваліфікаційний

рівень бакалавр

Напрямок підготовки 6.050102 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва)

Спеціальність _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. завідувач кафедри _____

В.О. Лифар

« _____ » _____ 20__ р

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Засько Ігор Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система контролю температури з
цифровим пропорційно-інтегрально-диференціальним регулятором

керівник проекту (роботи) Захожай О.І. кандидат технічних наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " " _____ 2019р. № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Мікроконтроллер ATMEGA8, система
програмування Proteus 8.6

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити) Аналітичний огляд. Ручна настройка пропорційно-
інтегрально-диференціального регулятора. Огляд систем для
моделювання. Розробка апаратно-програмного забезпечення.

Моделювання роботи пристрою. Конструкторська розробка. Висновки.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Складання плану роботи	11.02.2019 15.02.2019	
2	Аналіз літератури	18.02.2019 01.03.2019	
3	Вивчення і підбирання матеріалу	04.03.2019 15.03.2019	
4	Написання розділів	18.03.2019 12.04.2019	
5	Написання програмного коду	15.04.2019 10.05.2019	
6	Оформлення пояснювальної записки	13.05.2019 24.05.2019	
7	Оформлення графічного матеріалу	27.05.2019 31.05.2019	
8	Підготовка доповіді і слайдів для презентації	03.06.2019 14.06.2019	

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: «Комп'ютерна система контролю температури з цифровим ПД (пропорційно-інтегрально-диференціальний) регулятором». Обсяг роботи 61 сторінку, вона містить 20 рисунків, 2 таблиці, 20 джерел літератури.

Мета роботи - проектування архітектури, розробка алгоритмів роботи і реалізація комп'ютерної системи контролю температури з цифровим ПД регулятором.

Об'єкт дослідження - комп'ютерна система контролю температури з цифровим ПД регулятором.

Предмет дослідження - методи і алгоритми контролю та регулювання температури в режимі реального часу.

В процесі роботи виконані наступні завдання:

- проведено аналіз задач системи;
- визначено структуру системи;
- обґрунтовано і вибрано засоби реалізації системи;
- спроектовані структурні складові та алгоритми роботи системи;
- спроектовано програмне забезпечення системи;
- промодельовано роботу системи.

Ключові слова: ДРУКОВАНА ПЛАТА, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПД РЕГУЛЯТОР, PROTEUS.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналітичний огляд	10
1.1 Дослідження галузі використання	10
1.2 Класифікація системи контролю температури.....	12
1.3 Особливості розрахунку параметрів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора	15
1.3.1 Критерії якості регулювання.....	15
1.3.2 Вибір параметрів регулятора	16
1.3.3 Налаштування параметрів регулятора за методом Зіглер і Нікольса.....	17
1.3.4 Налаштування параметрів регулятора за методом Chien, Hrones і Reswick.....	18
1.3.5 Ручна настройка пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора	19
1.4 Принципи застосування широтно-імпульсна модуляція для керування обладнанням.....	21
1.5 Огляд існуючих технічних рішень системи контролю температури	22
1.5.1 Загальні принципи побудови системи контролю температури.....	22
1.5.2 Модуль регулювання температури бойлера EV91B.....	24
1.5.3 Система автоматичного регулювання PT-2.....	26
1.5.4 Термостат з капіляром KTS.....	27
1.5.5 Накладний термостат WTC	27
1.5.6 Подвійний погрузний термостат TRR100	28
1.6 Огляд систем для моделювання	29
1.7 Актуальність розробки.....	33
2 Розробка апаратно-програмного забезпечення	34
2.1 Розробка апаратної частини.....	34
2.1.1 Розробка структурної схеми системи.....	34

2.1.2 Розробка принципової схеми системи	36
2.1.3 Опис роботи схеми.....	39
2.2 Розробка програмної частини.....	40
2.2.1 Розробка алгоритму роботи системи.....	40
2.2.2 Опис програми.....	45
3 Моделювання роботи пристрою	50
4. Конструкторська розробка	54
4.1 Розрахунок конструкції друкованого вузла	54
4.2 Розробка конструкції друкованого вузла	56
4.3 Розрахунок надійності пристрою	59
Висновки	62
Перелік літератури	64
Додатки.....	8

ВСТУП

На даний момент через погану роботу житлово-комунального господарства широко застосовуються нагрівачі води для побутових потреб – бойлери. При виробництві даних пристроїв виробники намагаються створити таку систему управління нагрівом води, яка б утримувала температуру на потрібному рівні заданий час, а також витратила б на це найменшу кількість енергії.

При цьому розробники повинні враховувати, що система нагрівання води є дуже інертною, тобто вода продовжує нагріватись після відключення нагрівача через його повільне остигання, і навпаки – продовжує остигати, поки нагрівач не нагріється до потрібної температури. Для оптимальної роботи нагрівача використовуються різноманітні регулятори, призначенням яких є визначення моментів часу для включення та відключення нагрівача з метою найкращого використання енергоресурсів та отримання води потрібної температури.

Регулятори можуть бути як прості, двопозиційні, що включають нагрівач у випадку, коли температура менше заданої, та відключають у іншому, так і більш складні, що реалізують різні закони керування (П, І, Д, ПІ, ПІД). Кожний з цих регуляторів є оптимальним для певного процесу та поганим для іншого.

Отже, актуальним буде застосування цифрового інтелектуального регулятора, який би враховував ці нюанси, та реалізував би потрібний алгоритм нагрівання води.

Метою дипломної роботи є проектування архітектури, розробка алгоритмів роботи і реалізація апаратно-програмного забезпечення системи контролю температури з цифровим ПІД регулятором.

Встановлена мета обумовлює наступні завдання:

- проведення аналізу завдань системи;

- визначення архітектури та узагальненої структури системи;
- обґрунтування і вибір засобів реалізації системи;
- проектування структурних складових і алгоритмів роботи системи;
- проектування програмного забезпечення системи;
- моделювання роботи системи.

Об'єктом дослідження є комп'ютерна система контролю температури з цифровим ПД регулятором.

Предметом дослідження є методи і алгоритми контролю та регулювання температури в режимі реального часу.

В першому розділі виконано дослідження галузі використання, методики розрахунку параметрів регулятора, огляд існуючих технічних рішень.

В другому розділі виконано розробку апаратної та програмної частин системи, а саме: розроблено структурну та принципову електричні схеми, алгоритм роботи системи та програмне забезпечення для його реалізації.

В третьому розділі проведено моделювання системи у пакеті Proteus з докладним описом результатів моделювання.

В четвертому розділі виконано розробку друкованої плати та розрахунок показників надійності.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Дослідження галузі використання

Системи контролю температури (СКТ) застосовуються для регулювання температури в різних об'єктах управління [1]. У сучасних системах автоматичного управління (САУ) такі СКТ є підсистемами, поряд з підсистемами контролю за рівнем, тиском та іншими параметрами технологічного процесу або об'єкту.

Принцип дії СКТ полягає в тому, щоб виявляти відхилення регульованої величини, яка характеризує роботу об'єкта або протікання процесу від необхідного режиму і при цьому впливати на об'єкт або процес так, щоб усувати ці відхилення.

Для здійснення автоматичного контролю та регулювання до регульованого об'єкту підключається автоматичний регулятор, що виробляє керуючий вплив на регулюючий орган. Цей керуючий вплив залежить від різниці між поточним значенням температури, яке вимірюється датчиком, та встановленим (бажаним) її значенням, що задається за допомогою задатчика. Регульований об'єкт та автоматичний регулятор разом утворюють систему автоматичного регулювання (САР). Основною ознакою САР, є наявність головного зворотного зв'язку, по якій регулятор контролює значення регульованого параметра.

СКТ застосовуються в різних областях народного господарства, а саме:

- в котельнях теплових пунктів для підтримання температури обігрівної води у заданих межах;
- в теплицях для підтримки температури обігрівної води для підігріву ґрунта, повітря, а також для підтримки температури води, призначеної для поливу рослин;

- у печах різного призначення для підтримки температури випікання, запікання, розстойки, сушіння і т.п. для різних технологічних процесів (розстойка та випічка хлібобулочних виробів, сушіння деревини, овочів, фруктів та інших виробів, запікання цегли, фарфорових виробів, сантехнічних виробів тощо);

- для підтримки мікроклімату у приміщеннях для людей, складських приміщеннях, холодильних та морозильних камерах як великих, так і маленьких;

- у системах підтримки температури розчинів, що повинні бути у заданих межах задля нормального протікання певних технологічних процесів у хімічній промисловості;

- та багато іншого.

Структурна схема типової СКТ представлена на рис. 1.1 [2].

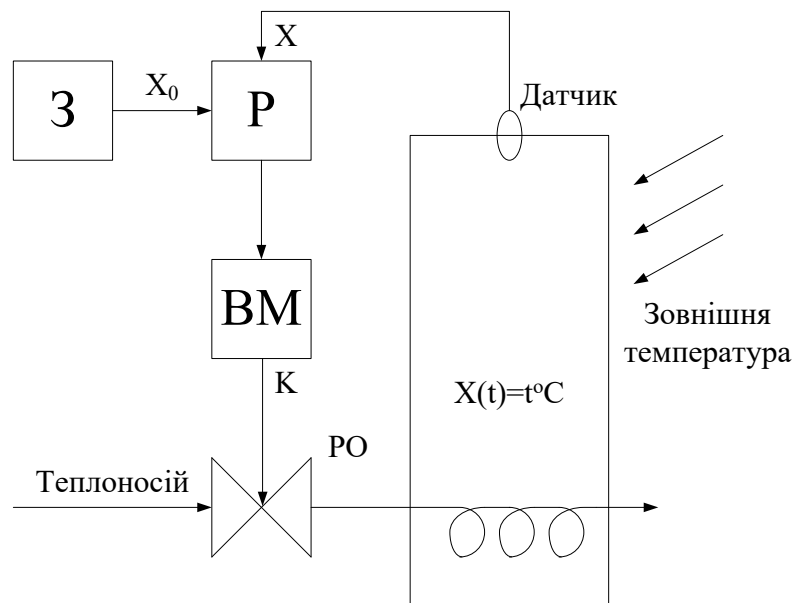


Рис. 1.1. Типова СКТ

Вона складається з наступних елементів:

- задатчика температури (З);
- регулятора (Р);
- виконавчого механізму (ВМ);

- регулюючого органу (РО);
- датчика (Д);
- камера обігріву.

На вхід системи підтримки температури подається теплоносієм (гаряча вода або пара), яка через РО надходить до камери підігріву. Нагріваючи повітря або рідину, що знаходиться в камері, теплоносієм іде далі. А датчик вимірює температуру повітря або рідини X та передає його значення у аналогову або цифровому вигляді до регулятора.

В регуляторі відбувається порівняння заданого значення температури та виміряного, і відповідно до результату виробляється керуюча дія K на регулюючий орган, який в залежності від K збільшує або зменшує надходження теплоносія у камеру.

1.2 Класифікація СКТ

Системи контролю температури [1], як і будь-які інші системи автоматичного управління, класифікуються за методом управління і функціональною ознакою.

За методом управління системи діляться на два великі класи: звичайні (несамонастроювані) та самонастроювані (адаптивні).

Звичайні системи, що відносяться до категорії простих, не змінюють своєї структури в процесі управління. Вони найбільш розроблені і широко застосовуються в ливарних і термічних цехах.

Звичайні системи поділяють на три підкласи: розімкнуті, замкнуті та комбіновані системи управління.

Розімкнуті системи автоматичного управління в свою чергу ділять на системи автоматичного жорсткого управління та системи управління по збуренню.

У перших систем регулятор впливає на об'єкт управління незалежно від отриманого результату, тобто значення регульованої величини і

зовнішнього збурення. Системи управління по збуренню працюють за принципом, коли керуючий вплив виробляється в залежності від зовнішнього збурення, що впливає на об'єкт управління.

Замкнені системи автоматичного управління працюють за принципом відхилення. Їх відмінною рисою є наявність замкнутого контуру проходження сигналів, тобто наявність зворотного каналу, по якому інформація про стан регульованої величини передається на вхід елемента порівняння.

Системи автоматичного регулювання призначені для вирішення трьох завдань: стабілізації регульованої величини, зміни регульованої величини за відомою (програмна) або невідомої (слідкуюча) програмами.

У стабілізуючих системах задане значення регульованої величини постійне. У програмних значення регульованої величини змінюється в часі за заздалегідь розробленою (відомою) програмою.

У слідкуючих системах задане значення регульованої величини змінюється в часі за заздалегідь невідомої програмою. Слідкуючі та програмні системи відрізняються від стабілізуючих принципом обробки задаючого сигналу.

Комбіновані системи поєднують в собі переваги систем управління по відхиленню і по збуренню, що підвищує точність управління. Дія неврахованих збурень в комбінованих системах компенсується або послаблюється управлінням по відхиленню.

Самонастроювані (адаптивні) системи діляться на три підкласи: екстремальні системи, системи з самонастроюванням параметрів та системи з самонастроюванням структури.

Системами екстремального регулювання називають системи стабілізуючого, слідкуючого або програмного керування, у яких настроювання, програма або закон відтворення автоматично змінюються в залежності від зміни зовнішніх умов або внутрішнього стану системи з

метою створення найвигіднішого (оптимального) режиму роботи об'єкта управління.

У таких системах замість постійного налаштування або програми встановлюється пристрій автоматичного пошуку, яке проводить аналіз будь-якої характеристики об'єкта (коефіцієнта корисної дії, продуктивності, економічності тощо), і в залежності від отриманого результату подає в керуючий пристрій необхідне значення регульованої величини так, щоб дана характеристика отримала екстремальне значення при безперервній зміні різних збурень, що впливають на умови роботи системи.

У системах з самонастроюванням параметрів при зміні зовнішніх умов або характеристик об'єкта регулювання відбувається автоматична (не заздалегідь заданою програмою) зміна змінних параметрів керуючого пристрою з метою забезпечення сталої роботи системи і підтримки регульованої величини на заданому або оптимальному рівні.

У системах з самонастроюванням структури при зміні зовнішніх умов і характеристик об'єкта управління відбувається переключення елементів в схемі з'єднань або введення в неї нових елементів. Метою таких змін (відбору) структури є досягнення кращого вирішення завдання управління.

Відбір структури здійснюється шляхом автоматичного пошуку із застосуванням обчислювальних і логічних операцій. Такі системи повинні не тільки пристосовуватися до всіх змін зовнішніх умов і характеристик об'єкта, а й функціонувати нормально навіть при наявності несправностей або відмов окремих елементів, створюючи нові ланцюги замість порушених. Системи з самонастроюванням структури можна змусити самовдосконалюватися, "набувати досвіду" шляхом швидкого випробування декількох варіантів, відбору і "запам'ятовування" кращого з них.

1.3 Особливості розрахунку параметрів ПІД регулятора

1.3.1 Критерії якості регулювання

При розрахунку параметрів регулятора спочатку визначаються з метою та критеріями якості регулювання [3], а також обмеженнями на величини і швидкості зміни змінних в системі. Основні якісні показники формулюються виходячи з вимог до форми реакції замкнутої системи на ступеневу зміну уставки.

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

- підтримання постійного значення параметра (наприклад, температури);

- стеження 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 (час встановлення, перерегулювання, час відгуку тощо);

- форма відгуку на шуми вимірювань;

- форма відгуку на сигнал уставки;

- робастність по відношенню до розкиду параметрів об'єкта управління;

- економія енергії в керованій системі;

- мінімізація шумів вимірювань.

Для класичного ПІД регулятора параметри, які є найкращими для стеження за уставкою, в загальному випадку відрізняються від параметрів, найкращих для ослаблення впливу зовнішніх збурень. Для того щоб обидва параметри одночасно були оптимальними, необхідно використовувати ПІД регулятори з двома ступенями свободи [1].

Точне стеження за зміною уставки необхідно в системах управління рухом, в робототехніці. В системах управління технологічними процесами, де уставка зазвичай залишається тривалий час без змін, потрібне максимальне ослаблення впливу навантаження (зовнішніх збурень). В системах управління резервуарами з рідиною потрібне забезпечення ламінарності потоку (мінімізація дисперсії вихідний змінної регулятора) і т.д.

Для оцінки якості регулювання в замкнутій системі з ПІД-регулятором зазвичай використовують ступеневий вхідний вплив і ряд критеріїв для опису форми перехідного процесу [5]:

- максимум помилки регулювання і момент часу при якому помилка досягає цього максимуму;
- інтегрована абсолютна помилка;
- інтеграл від квадрата помилки;
- декремент загасання;
- статична помилка;
- час встановлення із заданою похибкою (час, після закінчення якого похибка регулювання не перевищує заданого значення);
- перерегулювання (перевищення першого викиду над сталим значенням змінної, зазвичай виражається у відсотках від сталого значення);
- час наростання (інтервал часу, протягом якого вихідна змінна наростає від 10 до 90% від свого сталого значення);
- період згасаючих коливань.

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

1.3.2 Вибір параметрів регулятора

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

Для настройки ПД-регуляторів можна використовувати і загальні методи теорії автоматичного управління, такі як метод призначення полюсів і алгебраїчні методи. У літературі опубліковано і безліч інших методів, які мають переваги в конкретних застосуваннях.

Всі аналітичні (формульні) методи настройки регуляторів засновані на апроксимації динаміки об'єкта моделлю першого або другого порядку з затримкою. Причиною цього є неможливість аналітичного рішення систем рівнянь, яке необхідно при використанні моделей більш високого порядку. В останні роки в 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 робастності.

1.3.3 Настройки параметрів регулятора за методом Зіглер і Нікольса

Вперше методику розрахунку параметрів ПД-регуляторів запропонували Зіглер і Нікольс в 1942 році [2]. Ця методика дуже проста і дає не дуже хороші результати. Проте вона до сих пір часто використовується на практиці, хоча до теперішнього часу з'явилося безліч більш точних методів.

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

Для розрахунку параметрів ПД-регулятора за першим методом Зіглера-Нікольса використовуються всього два параметри: a і L . Формули для розрахунку коефіцієнтів ПД-регулятора приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Формули для розрахунку коефіцієнтів регулятора методом Зіглера-Нікольса по відгуку на стрибок

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

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

Метод Зіглера-Нікольса ніяк не враховує вимоги до запасу стійкості системи, що є другим його недоліком.

Судячи з повільного згасання перехідного процесу в системі, цей метод дає дуже малий запас стійкості.

Другий метод Зіглера-Нікольса (частотний метод) в якості вихідних даних для розрахунку використовує частоту ω_{180} , на якій зсув фаз в розімкненому контурі досягає 180° , і модуль коефіцієнта петлевого посилення на цій частоті K_{180} .

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

1.3.4 Настройки параметрів регулятора за методом CHR

На відміну від Зіглера та Нікольса, які використовували в якості критерію якості настройки декремент загасання, рівний 4, Chien, Hrones і Reswick (CHR) [4] використовували критерій максимальної швидкості наростання при відсутності перерегулювання або при наявності не більше

ніж 20%-го перерегулювання. Такий критерій дозволяє отримати більший запас стійкості, ніж в методі Зіглера-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 обурення (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2. Формули для розрахунку коефіцієнтів регулятора методом CHR по відгуку на зміну уставки

Регулятор	Без перерегулювання			З 20%-м перерегулюванням		
	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
П	$0,3/a$	-	-	$0,7/a$	-	-
ПИ	$0,35/a$	$1,2L/K$	-	$0,6/a$	$1,0L/K$	-
ПІД	$0,6/a$	$1,0L/K$	$0,5L/K$	$0,95/a$	$1,4L/K$	$0,47L/K$

Яку систему параметрів вибирати, залежить від того, що важливіше для конкретного регулятора: якість регулювання при зміні уставки або ослаблення зовнішніх впливів. Якщо ж важливо і те і інше, то необхідно використовувати регулятори з двома ступенями свободи [1].

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

1.3.5 Ручна настройка ПІД-регулятора, заснована на правилах

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 погрішністю. 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 і чисельних експериментів. Вони зводяться до наступного [2]:

- 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.

Перераховані правила застосовуються також для регуляторів, що використовують методи експертних систем і нечіткої логіки.

Ручне налаштування за допомогою правил зручно виконувати із застосуванням інтерактивного програмного забезпечення на комп'ютері, тимчасово включеному в контур управління.

Для оцінки реакції системи на зміну уставки, зовнішні впливи або шуми вимірювань подають штучні впливи і спостерігають реакцію на них. Після виконання настройки значення коефіцієнтів регулятора записують в пам'ять ПІД-контролера, а комп'ютер видаляють.

Відзначимо, що застосування правил можливо тільки після попередньої настройки регулятора за формулами. Спроби налаштувати регулятор без початкового наближеного розрахунку коефіцієнтів можуть бути безуспішними.

При регулюванні теплових процесів настройка за правилами може зайняти неприпустимо багато часу.

Сформульовані правила справедливі тільки в околиці оптимальної настройки регулятора. Далеко від неї ефекти можуть бути іншими.

1.4 Принципи застосування ШІМ для керування обладнанням

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) - процес управління потужності методом пульсуючого включення і відключення приладу [6].

Для ШІМ-сигналу можна виділити дві основні характеристики:

1. Частота імпульсів - від цього залежить робоча частота перетворювача. Типовими є частоти вище 20 кГц, фактично 40-100 кГц.

2. Коефіцієнт заповнення і шпаруватість. Це дві суміжних величини характеризують одне й те саме. Коефіцієнт заповнення може позначатися літерою S , а шпаруватість D .

$$S = 1/T,$$

де T - це 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, то коефіцієнт заповнення - 0.25, в відсотках - 25%, а шпаруватість дорівнює 4 (рис. 1.2).

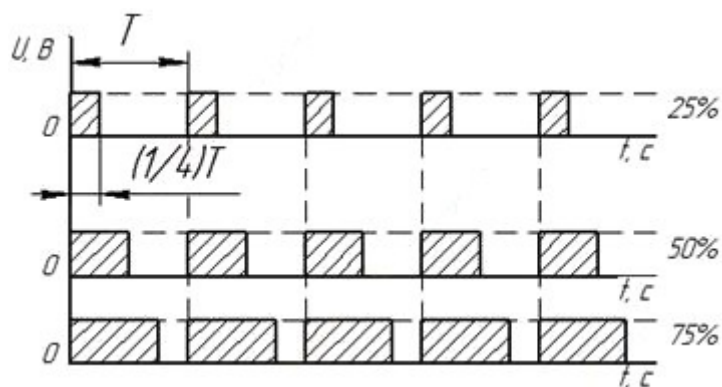


Рис. 1.2. ШІМ-сигнали при різних значеннях S

Перевага застосування імпульсного керування 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 нагрівання. Особливою широкою сферою застосування ШІМ є імпульсні джерела живлення і автономні інвертори.

На даний час є велика кількість мікроконтролерів, що мають убудований вихід для ШІМ, що використовується для різних схем керування.

1.5 Огляд існуючих технічних рішень системи контролю температури

1.5.1 Загальні принципи побудови системи контролю температури

Зовнішній вигляд терморегуляторів для бойлерів може відрізнятися у різних моделях нагрівачів, але принцип їх роботи, як правило, залишається незмінним.

Датчик температури водонагрівача дозволяє системі вчасно відключити нагрів води, шляхом розриву ланцюга і відключення теплонагрівача. Основним завданням регулятора є контроль за температурою води, щоб в потрібний час включити / відключити нагрівач. Він не дає воді кипіти занадто довго, щоб уникнути нагнітання паром надлишкового тиску в котлі. А з іншого боку, він не дає воді охолонути, щоб не довелося довго чекати, якщо потрібна гаряча вода.

У сучасних системах існують додаткові функції термостатів, такі як відстеження рівня накипу, поломка якоїсь із частин бойлера. При цьому на дисплей виводиться код помилки, розшифрувати який можна за допомогою інструкції з експлуатації, або на сайті виробника.

Загальний алгоритм роботи з системою терморегулювання:

- вручну виставляється комфортний рівень температури води;
- датчик вимірює температуру і, якщо вона нижче встановленої, включає ТЕН на час, необхідний для нагрівання до потрібного значення;
- після досягнення необхідної температури, датчик передає сигнал і термостат розриває ланцюг, вимикаючи нагрів;
- якщо вода встигає охолонути до виключення нагрівача, датчик знову передає сигнал, ланцюг замикається, ТЕН знову починає нагрівати воду.

І так по колу до відключення бойлера. У разі збою, в регуляторі присутній аварійний захист, який складається з круглої пластини з групою контактів. При перегріві пластина змінює форму і посиляє сигнал відключення ТЕНу.

Існує декілька найпоширеніших видів термостатів:

- 1) Стрижневий термостат (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Стрижневий термостат

Один з найстаріших видів термостатів, представлених на сьогоднішній день на ринку. Він являє собою трубку, яка при нагріванні розширюється і тисне на перемикач, а при охолодженні стискається і відключає нагрівач. У даного виду є істотний недолік. Для підтримки постійного рівня води в котлі, в нього постійно надходить холодна вода, замість зливої гарячої. Термостат же розташований занадто близько до того

місця, через яке вода надходить в бак, через це він постійно охолоджений, внаслідок чого йде постійний нагрів, і пристрій працює практично без зупинки.

2) Капілярний термостат.

Від регулятора відходить тонка трубка з рідиною, яка змінює структуру при нагріванні води, завдяки чому спрацьовувала автоматика на відключення (рідина в капсулі розширюється і тисне на мембрану, яка розмикає контакти). Відповідно, зворотний процес відбувається при охолодженні води, віддаючи команду на включення нагрівача.

3) Електронний.

Ще один сучасний вид захисного термостата, поряд з капілярним. Для кращого функціонування даний вид терморегулятора взаємодіє з захисним клапаном (реле), що дозволяє відключити систему, коли бак спорожніє. З точки зору безпеки, безумовно, кращий варіант.

За технічними характеристиками термостати поділяються на електронні та механічні. У механічних робота заснована на даних з датчиків температури водонагрівача. В електронних - біметалевих елементів. Принцип роботи такого терморегулятора заснований на температурній деформації, яка досягається завдяки деталі, що складається зі скріплених між собою пластин з металів з різними коефіцієнтами теплового розширення.

Розглянемо декілька поширених моделей терморегуляторів для водонагрівачів.

1.5.2 Модуль регулювання температури бойлера EV91B

Даний модуль (рис. 1.4) підходить для всіх видів централізованих систем для регулювання гарячої води. Основна його функція - це використання для регулювання температури санітарної води, а також для регулювання загальної температури навколишнього середовища, наприклад:

оранжерей, басейнів тощо. Прилад забезпечений програмою для термічної дезінфекції ланцюга.

Модуль має такі функціональні можливості:

- тижневе програмування з 6 графіками „вкл.” і „викл.”;
- налаштування температури санітарної води від 0 до 100 °С;
- програмування для термічної дезінфекції ланцюга;
- візуалізація або зміна параметрів за допомогою шини FANBUS через EV90 або EV87;



Рис. 1.4. Модуль регулювання температури бойлера EV91B

- локальне програмування за допомогою повідомлень SMS (з модемом GSM) або через дистанційний комп'ютер (з аналоговим модемом PSTN) за допомогою шини передачі даних FANBUS і провідних пристроїв Ev90 або EV87;

- адресація через перемички на зовнішній клемній панелі;
- вказівні світлодіоди: TX і RX для з'єднання з шиною FANBUS, управління клапаном, циркуляційним насосом;

Електричні характеристики модуля:

- живлення: 230В ~ 50Гц;
- споживання: 5 ВА;
- 3 вихідних реле:

2 для управління змішувальним клапаном;

- 1 для управління циркуляційним насосом;
- 1 шина передачі даних FANBUS;
- 1 аналоговий вхід для вимірювання температури колектора;
- контакти не під напругу;
- вимірювальний датчик NTC типу EC15 або EC16.

1.5.3 Система автоматичного регулювання РТ-2

Система РТ-2 призначена для регулювання температури гарячої води за програмованим часовим графіком з урахуванням різної теплопотреби в різний час доби.

В основі роботи системи лежить принцип регулювання температури гарячої води за рахунок зміни витрати теплоносія, що надходить в бойлер, при допомозі регулюючого клапана, керованого електронним регулятором по заданій програмі.

Графік підтримки температури гарячої води на протязі доби задається споживачем залежно від призначення і режиму експлуатації приміщення. Наприклад, з 0 години до 5 години температура задається 30 °С, з 5 год. до 9 год. - 60 °С, з 9 год. до 15 год. - 40 °С, з 15 год. до 22 год. - 60 °С, з 22 год. до 24 год. - 30 °С.

Часові інтервали підтримки заданої температури на протязі доби можуть встановлюватися з дискретністю 1 хв, а температура - з дискретністю 0,5 °С. Субота і неділя автоматично враховуються як вихідні дні, інші святкові і вихідні дні задаються користувачем на рік при необхідності. Перехід з зимового на літній час і навпаки здійснюється автоматично.

В залежності від параметрів теплосистеми регулятор можна запрограмувати на різні якісні показники регулювання, найбільш оптимальні для даного об'єкта. Наприклад, збільшити або зменшити періодичність впливу на регулюючий клапан, підвищити швидкодію регулятора, підвищити

точність регулювання температури, зменшити автоколивання системи тепlopостачання, що виникає при швидкому регулюванні.

1.5.4 Термостат з капіляром KTS

Термостат з капіляром KTS (рис. 1.5) призначений для автоматичного регулювання температури котлів і бойлерів.



Рис. 1.5. Термостат з капіляром KTS

Має наступні технічні характеристики:

- капіляр 1500 мм, термодатчик: Ø 6,5 x 95 мм;
- діапазон регулювання 0 - 90 °С;
- диференціал включення 3К;
- реле з перемикаючими контактами 10 А-220 В.

1.5.5 Накладний термостат WTC

Накладний термостат WTC (рис. 1.6) призначений для кріплення на поверхню труби.

Має наступні технічні характеристики:

- кріпильна пружина - для трубопроводів до DN 2 ";

- діапазон регулювання температури спрацьовування 30 - 90 °С;
- гістерезис 5К;
- мікроперемикач 16 (4) А, 250 В.



Рис. 1.6. Накладний термостат WTC

1.5.6 Подвійний погружний термостат TRR100

Подвійний погружний термостат TRR100 (рис. 1.7) призначений для автоматичного регулювання температури котла або бойлера.



Рис. 1.7. Накладний термостат WTC

Має наступні технічні характеристики:

- діапазон регулювання: від 30 до 90 °С (відкрите регулювання);
- діапазон регулювання: від 30 до 100 °С (приховане регулювання);
- гістерезис 6 К;
- реле 16 А - 250 В;
- ступінь захисту IP30;
- погрузна нікельована гільза - 1/2 ", 100 мм.

1.6 Огляд систем для моделювання

Процес проектування будь системи управління можна розділити на кілька етапів [9]:

- 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.

Оскільки більшість об'єктів управління істотно нелінійні, то при побудові їх математичної моделі ліанерізація або неможлива, або небажана, так як при цьому знижується ступінь відповідності моделі та оригіналу. Подібне спрощення може призвести до того, що отримана при такому синтезі система виявиться нездатною керувати 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 й неможлива з кількох причин:

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

Саме тому весь процес проектування систем управління зазвичай ділять на два етапи:

- теоретичний аналіз, синтез, моделювання;
- практична реалізація системи управління і її налагодження.

На сьогоднішній день на ринку існує досить багато засобів, що дозволяють розробнику вирішувати проблеми першого етапу, такі як програмні комплекси Matlab [13], Lab-VIEW [14], NI Multisim [15].

Набір програмних засобів для вирішення завдань другого етапу більш обмежений - Matlab (Simulink), NI Multisim, LabVIEW, Proteus [16].

Наприклад, в середовищі Simulink розробник має можливість генерувати код на мові Сі для синтезованого регулятора. Після чого цей код можна відтранслювати за допомогою програмних засобів типу Keil або Code Warrior для подальшого завантаження в контролер. Є набір драйверів для взаємодії з широким спектром плат цифрового і аналогового введення-виведення, демонстраційних плат для різних мікроконтролерів відомих виробників і т.д.

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 подальшого розведення 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, в 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 часто програмна підтримка здійснюється для плат і модулів конкретних виробників, що не дає розробнику можливості вибору.

Третій недолік полягає в тому, що описаний вище механізм генерації коду на мові Сі зручний, але абсолютно непрозорий, тому говорити про його оптимальності за швидкодією або обсягу коду для конкретного контролера можна.

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 складання;
- можливості налагодження вбудованого ПЗ:
- 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, послідовне 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 інтегрованої середовища наступні:

- виконання всіх етапів розробки електронного пристрою на основі мікроконтролера в єдиному середовищі;
- можливість написання, налагодження і тестування вбудованого ПЗ ще до фізичного виготовлення дослідного зразка системи;
- генеруються діагностичні повідомлення (наприклад, при виконанні непередбачуваної інструкції) як з боку ЦПУ, так і з боку моделей пристроїв введення-виведення, дозволяють виявити складні в пошуку помилки програмування;
- прискорює процес розробки електронного пристрою;
- підтримка спільної роботи з апаратними пристроями, підключеними через порт комп'ютера.

1.7 Актуальність розробки

На даний момент через погану роботу житлово-комунального господарства широко застосовуються нагрівачі води для побутових потреб – бойлери.

Бойлер - це накопичувальна ємність для нагріву води. Вони бувають двох типів: газові або електричні. Такі агрегати дозволяють забезпечити високий рівень комфорту в разі відключення гарячої води або при відсутності крана. Вони оснащуються або внутрішнім, або зовнішнім нагрівачем.

Бойлери поділяються на дві категорії: проточні та накопичувальні. Нагрівання води здійснюється за наступною схемою:

- задається бажана температура води;
- нагрівач гріє воду;
- датчик температури вимірює температуру води;
- керуючий пристрій системи відповідно до виміряних значень

виконує наступне:

- у разі досягнення потрібного значення відключає нагрівач;
- у разі зменшення температури води включає нагрівач.

Оскільки дана система є дуже інертною, тобто вода продовжує нагріватись після відключення нагрівача через його повільне остигання, і навпаки – продовжує остигати, поки нагрівач не нагріється до потрібної температури, то актуальним буде застосування саме інтелектуального регулятора, який би враховував ці нюанси.

2 Розробка апаратно-програмного забезпечення

2.1 Розробка апаратної частини

2.1.1 Розробка структурної схеми системи

Оскільки в даній системі виконується розробка комп'ютерної системи контролю температури з цифровим ПД регулятором, то структурна схема такої системи повинна містити такі елементи (рис. 2.1):

- датчик температури (Д);
- АЦП;
- мікроконтролер (МК);
- підсилювальний пристрій (ПП);
- виконавчий пристрій (ВП);
- блок індикації (БІ);
- пульт керування (ПК).

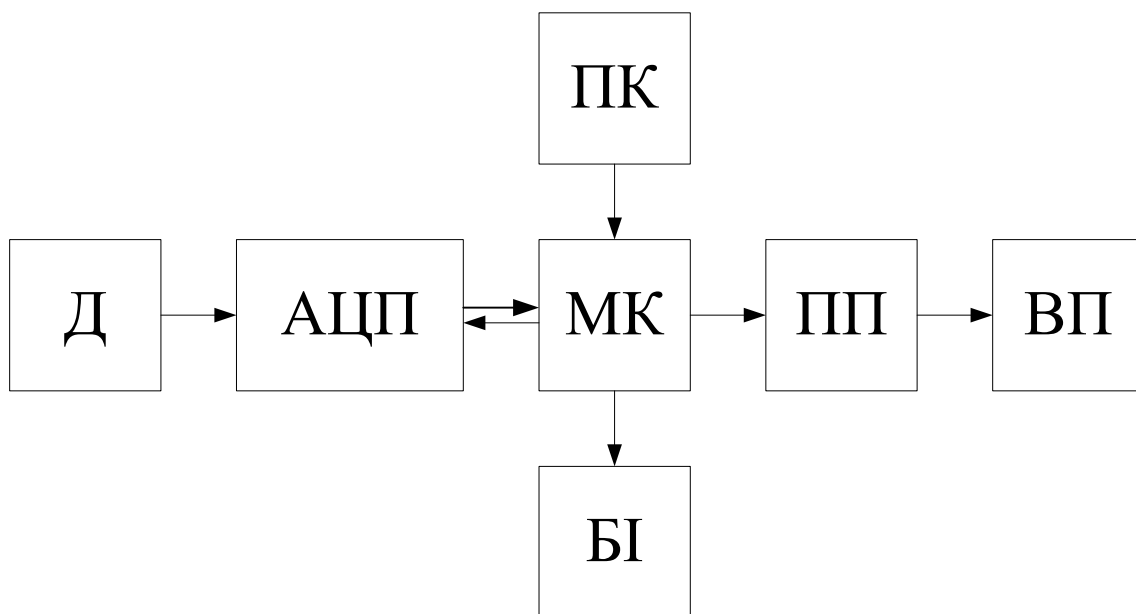


Рис. 2.1. Структурна схема системи

Розглянемо призначення кожного елемента.

Датчик вимірює температуру, перетворює її значення в електричний сигнал, який за допомогою АЦП переводиться в цифровий вигляд. Після АЦП цей сигнал надходить до мікроконтролера.

Мікроконтролер є головним елементом, в ньому виконується програмна обробка отриманих з датчика даних та вироблення керуючої дії на виконавчий пристрій за потрібним законом.

Для підсилення отриманого керуючого сигналу за потужністю та напругою потрібен підсилювальний пристрій. Виконавчий пристрій змінює своє положення (відкриває та закриває заслінку в печі, або включає та відключає ТЕНи, в залежності від конкретної реалізації системи) з метою зміни стану об'єкта, в якому вимірюється температура.

Отже, роботу системи можна описати наступним чином:

При включенні системи через пристрій керування задається бажане значення температури води у бойлері. Її поточне значення вимірюється датчиком температури, який передає виміряне значення у аналоговому вигляді до АЦП для подальшої передачі даних у цифровому вигляді до мікроконтролера.

У мікроконтролері відбувається порівняння виміряного значення із заданим та розрахунок керуючої дії на виконавчий пристрій, тобто нагрівач. Керуючий сигнал підсилюється до потрібних параметрів та подається безпосередньо до виконавчого пристрою, який змінює свій стан відповідно до неї.

Після зміни стану температури води поступово змінюється, що призводить до змін показів датчика температури та до розрахунку нового керуючого сигналу.

Виміряне значення виводиться на блок індикації для візуального спостереження за роботою системи.

2.1.2 Розробка принципової схеми системи

При розробці принципової схеми потрібно підібрати для кожного елемента структурної схеми відповідне рішення.

Оскільки розробляється саме цифровий регулятор температури, то доцільно буде використовувати цифровий датчик температури. Тоді потреба у АЦП відпаде, тому що виміряне значення температури буде передаватися безпосередньо у мікроконтролер у цифровому коді.

Саме тому в якості датчика температури візьмемо мікросхему DS1820, що 9-розрядним цифровим термометром. Діапазон вимірюваних температур складає $-55 \dots +125^{\circ}\text{C}$ із кроком $0,5^{\circ}\text{C}$. DS1820 складається з ПЗП з унікальним ідентифікаційним номером, контролера однопровідної шини, температурного датчика і двох регістрів для збереження верхнього і нижнього порогів температури.

Термометр не містить внутрішнього джерела, а використовує "паразитне" живлення від однопровідної шини. При вимірюванні температури і запису даних у ЕППЗП струм споживання мікросхеми перевищує 1 мА.

Датчик підключається до зовнішнього джерела живлення +5 В. Мікросхема має убудований детектор використовуваного режиму живлення.

Після завершення перетворення отримане значення порівнюється з величинами, що зберігаються в регістрах TH і TL. Якщо вимірювана температура виходить за встановлені межі, установлюється сигнальний "прапор" (його установка виконується після кожного вимірювання).

Оскільки процес не швидкоплинний, то можна взяти один з невеликих та недорогих мікроконтролерів, наприклад, мікроконтролер ATmega8 (рис. 2.2), що є 8-розрядним високопродуктивним AVR мікроконтролером з малим споживанням та що має такі характеристики:

- прогресивна RISC архітектура:

- 130 високопродуктивних команд, більшість команд виконується за один тактовий цикл;
- 32 8-розрядних робочих регістра загального призначення;
- повністю статична робота;
- наближена до 16 MIPS (при тактовій частоті 16 МГц) продуктивність;
- вбудований 2-цикловий перемножувач;
- енергонезалежна пам'ять програм і даних:
 - 8 Кбайт внутрисистемно програмованої Flash пам'яті (In-System Self-Programmable Flash) - забезпечує 1000 циклів зтирання / запису;
 - додатковий сектор завантажувальних кодів з незалежними бітами блокування;
 - забезпечений режим одночасного читання / запису (Read-While-Write);
- 512 байт EEPROM - забезпечує 100000 циклів стирання / запису;
- 1 Кбайт вбудованої SRAM;
- програмоване блокування, що забезпечує захист програмних засобів користувача;

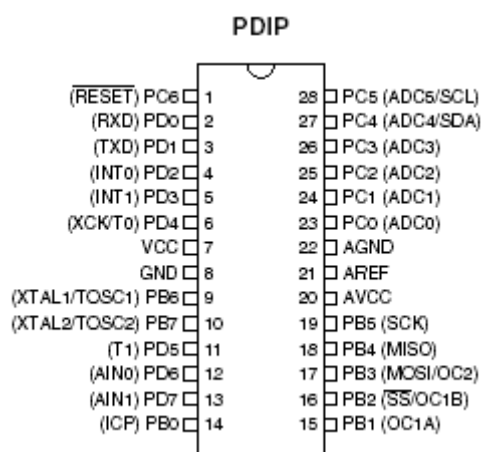


Рис. 2.2. Мікроконтролер АТмега8

- вбудована периферія:

- два 8-розрядних таймера / лічильника з окремим попереднім дільником, один з режимом порівняння;
- один 16-розрядний таймер / лічильник з окремим попереднім дільником і режимами захоплення і порівняння;
- лічильник реального часу з окремим генератором;
- три канали PWM (ШИМ);
- 8-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусах TQFP і MLF);
- 6 каналів з 10-розрядної точністю;
- 2 канали з 8-розрядної точністю;
- 6-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусі PDIP);
- 4 канали з 10-розрядної точністю;
- 2 канали з 8-розрядної точністю;
- байт-орієнтований 2-дротовий послідовний інтерфейс;
- програмований послідовний USART;
- послідовний інтерфейс SPI (ведучий / ведений);
- програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором;
- вбудований аналоговий компаратор;
- спеціальні мікроконтролерні функції:
 - скидання по подачі живлення і програмований детектор короткочасного зниження напруги живлення;
 - вбудований калібрований RC-генератор;
 - внутрішні і зовнішні джерела переривань;
 - п'ять режимів зниженого споживання: Idle, Power-save, Power-down, Standby і зниження шумів ADC;
- виводи I/O і корпусу:
 - 23 програмовані лінії введення / виведення;

- 28-вивідний корпус PDIP, 32-вивідний корпус TQFP і 32-вивідний корпус MLF;

- робоча напруга: 4,5 - 5,5 В;

- робоча частота: 0 - 16 МГц.

Вихід керування з мікроконтролера (DD1) потрібно підсилити за потужністю за допомогою мікросхеми K11019K22 (DA2) та подавати на вихідний роз'єм схеми X2 керування роботою нагрівального елемента.

Для реалізації пульта керування достатньо взяти 2 кнопки – „Збільшити”, „Зменшити”, за допомогою яких можна в пристрої задавати бажану температуру.

Інформацію про виміряне значення температури та всі повідомлення також при установці бажаного значення доцільно виводити на рідко-кристалічний індикатор LM016L (HL1), що складається з мікроконтролера HD44780, розробленого фірмою Hitachi, та безпосередньо самого РК дисплея. Мікроконтролер приймає команди та описує відповідні символи на РК дисплеї.

Для підключення дисплея була використана 4-х розрядна лінія даних, отже, для передачі даних в контролер дисплея потрібно тільки 4 виводи для D4-D7.

Також в системі потрібно мати джерело стабілізованої напруги 5В, яке отримуємо за допомогою мікросхеми 7805 (DA1) та набору аналогових елементів.

2.1.3 Опис роботи схеми

Схема електрична принципова розміщена в Додатку А.

Вона складається з блоку керування та датчика температури, дані з якого надходять на роз'єм X1. Оскільки у попередньому пункті було обрано цифровий датчик температури, то для передачі його даних достатньо одного

контакту, що подається відразу на цифровий вхід мікроконтролера PB0 для подальшої обробки.

Також на схемі є 2 кнопки S1, S2, що представляють собою пульт керування. Вони призначені для зміни заданого значення температури (збільшення та зменшення). Натискаючи на них, користувач подає сигнали логічного нуля на цифрові входи PB1 та PB2 мікроконтролера, які обробляються програмно.

У мікроконтролері відбувається програмна обробка отриманого значення температури, розрахунок керуючої дії та видача керуючих сигналів по вихід PB3, що є вбудованим каналом ШІМ.

Для підсилення керуючого сигналу застосовано підсилювач DA2.

Для отримання стабілізованої напруги у блоці керування застосовано джерело стабілізованої напруги 5В за допомогою спеціалізованої мікросхеми DA1.

Вихідний роз'єм X2 передає керуючий сигнал до нагрівального приладу.

2.2 Розробка програмної частини

2.2.1 Розробка алгоритму роботи системи

Розроблений регулятор має виконувати ПІД-регулювання. Опишемо математичну модель такої системи, яку можна представити наступною структурною схемою (рис. 2.2).

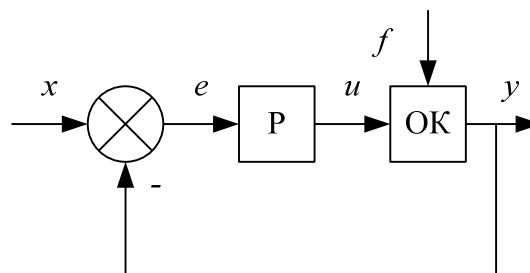


Рис. 2.2. Структурна схема системи керування

Відомо, що будь-яка система керування має такі елементи:

- регулятор (Р);
- об'єкт керування (ОК);
- вихідна величина y ;
- задане значення x ;
- вхідний сигнал збурюючого впливу f ;
- сигнал відхилення $e=x-y$;
- сигнал керування u .

В нашій системі сигнал від датчика (вимірюване значення) – це сигнал y ; бажане значення температури x задається за допомогою кнопок керування; вхідний сигнал збурюючого впливу f – це зовнішні параметри, що впливають на стан об'єкта керування (передача тепла через стінки камери тощо).

Регулятор Р – це мікроконтролер, який розраховує керуючу дію на виконавчі пристрої об'єкта управління.

Розглянемо докладніше модель ПД регулятора.

Він складається з 3-х елементів:

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

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

$$u_n = k_n e(t),$$

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.

У І-регуляторі сигнал управління пропорційний інтегралу від сигналу відхилення (e). Система при такому законі астатична, тобто збурення 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:

$$u_i = k_i \int_0^t e(t) dt,$$

де k_i - коефіцієнт підсилення регулятора. Швидкість зміни виходу І-регулятора пропорційна сигналу відхилення. Зазвичай на практиці підсилювальні властивості І-регулятора характеризують часом ізодрому:

$$T_i = 1 / k_i$$

Час ізодрому показує, за який час вихід регулятора зміниться на 100% (регулюючий орган переміститься з одного крайнього положення в інше) при стрибкоподібній зміні вхідного сигналу на 100%. Таким чином, T_i характеризує швидкодію регулятора. Зі зменшенням T_i зростає коливальність перехідного процесу. При занадто малих значеннях T_i система регулювання може перейти в нестійкий стан.

Якщо навантаження об'єкта змінюється часто і різко, і при цьому об'єкт має суттєве запізнення, то в закон регулювання вводять диференціальну складову, тобто впливають на регулюючий орган додатково за величиною першої похідної від зміни регульованого параметра. Сигнал Д-регулятора (u) залежить від похідної від сигналу відхилення (від швидкості зміни цього сигналу):

$$u_d = k_d \frac{de(t)}{dt},$$

де k_d - коефіцієнт підсилення регулятора.

Д-регулятор характеризується постійною часу диференціювання $T_D = k_D$ - це інтервал часу між моментами досягнення регулюючим органом однакового положення при наявності диференціальної складової та без неї.

Диференціююча ланка обчислює швидкість зміни сигналу відхилення, тобто прогнозує напрямок і величину його зміни. Якщо вона позитивна, то сигнал відхилення зростає, і диференціююча 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:

$$u = k_n e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_D \frac{de(t)}{dt}$$

Вихідний сигнал ПІД-регулятора (u) залежить від сигналу відхилення регулювання (e), від інтеграла від цього сигналу та від похідної від нього.

Відповідно до цього закону керування алгоритм роботи розробленої системи буде такий (рис. 2.3):

На початку роботи системи повинні бути установлені початкові параметри та завантажені потрібні бібліотеки, тобто відбутися ініціалізація системи.

Потім в циклі відбуваються наступні дії:

- перевірка натиснення кнопок;
- розрахунок та видача керуючої дії.

При перевірці натиснення кнопок визначається, чи натиснута хоч якась з кнопок, в разі позитивної відповіді визначається, яка саме кнопка натиснута. Якщо кнопка збільшення, то задане значення температури збільшується на 1, в іншому разі – зменшується. Після цього в пам'ять записується нове значення температури.

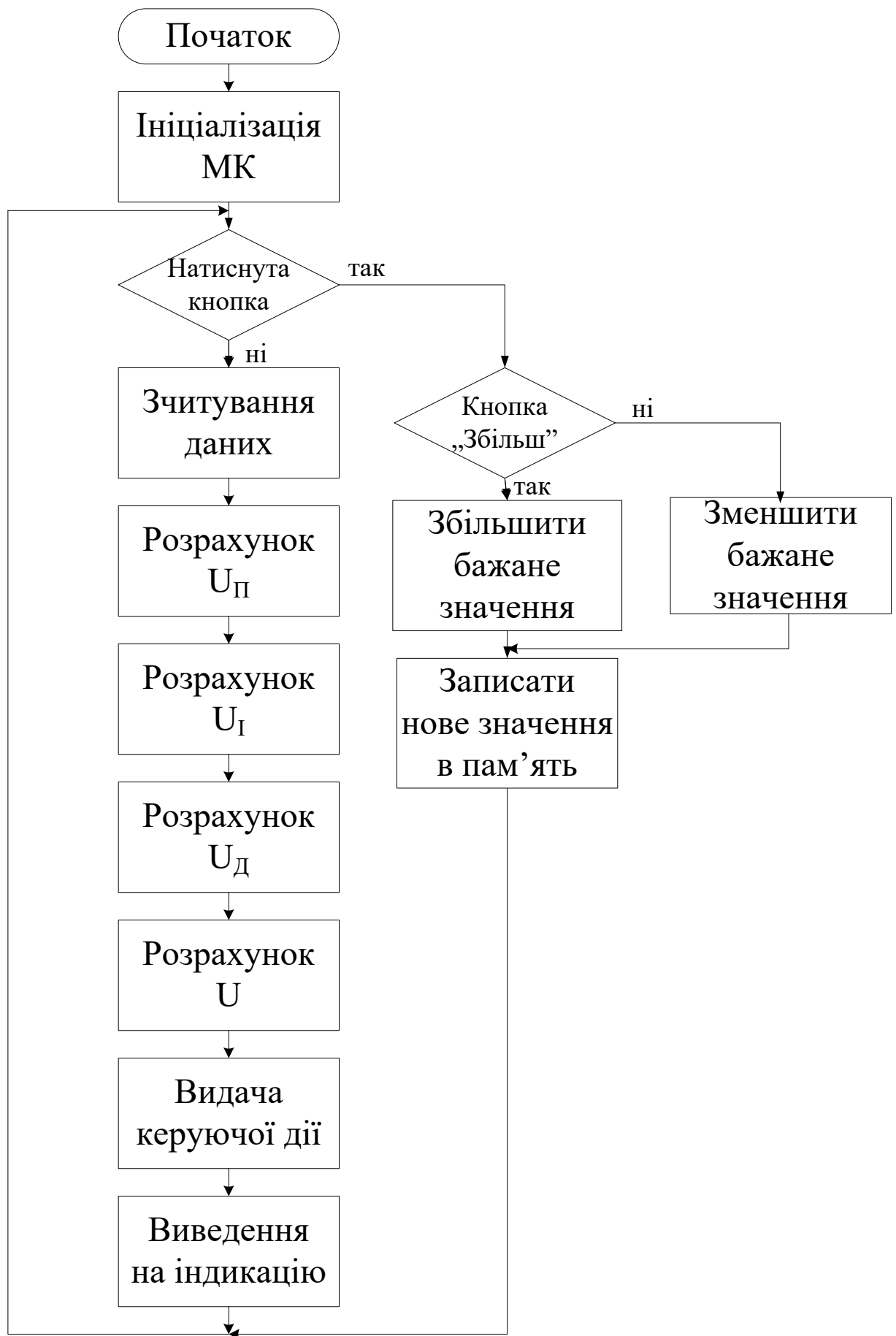


Рис. 2.3. Алгоритм роботи

Якщо кнопки не були натиснуті, то відбувається розрахунок пропорційного, інтегрального та диференціального складника керуючої дії, та їхньої суми, що і є результатом розрахунку, який потім видається в порт мікроконтролера, а також на блок індикації для візуального спостереження за процесом нагрівання води у бойлері.

2.2.2 Опис програми

Програма написана мовою C в компіляторі CodeVisionAVR для моделювання у програмі-емуляторі Proteus.

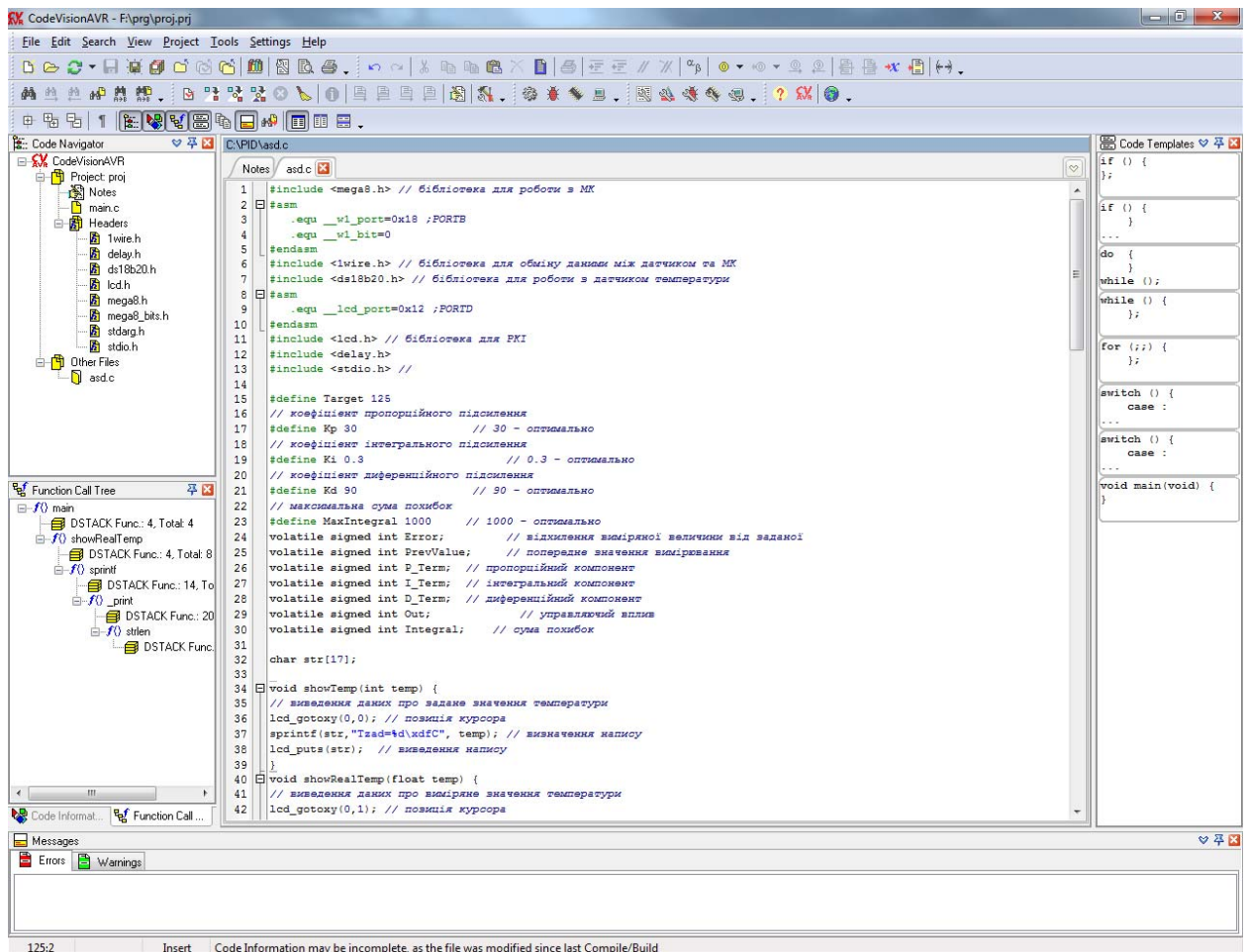


Рис. 2.4. Розробка програми

На початку підключаємо бібліотеки для роботи з Atmega8, індикатором, датчиком та реалізацію протоколу обміну даними:

```

#include <mega8.h> // бібліотека для роботи з МК
#include <1wire.h> // бібліотека для обміну даними між датчиком та МК
#include <ds18b20.h> // бібліотека для роботи з датчиком температури
#include <lcd.h> // бібліотека для РКІ
#include <delay.h>
#include <stdio.h>/

```

Далі задаємо коефіцієнти ПІД регулятора та необхідні змінні:

```

#define Target 125
// коефіцієнт пропорційного підсилення
#define Kp 30 // 30 - оптимально
// коефіцієнт інтегрального підсилення
#define Ki 0.3 // 0.3 - оптимально
// коефіцієнт диференційного підсилення
#define Kd 90 // 90 - оптимально
// максимальна сума похибок
#define MaxIntegral 1000 // 1000 - оптимально
volatile signed int Error; // відхилення виміряної величини від заданої
volatile signed int PrevValue; // попереднє значення вимірювання
volatile signed int P_Term; // пропорційний компонент
volatile signed int I_Term; // інтегральний компонент
volatile signed int D_Term; // диференційний компонент
volatile signed int Out; // управляючий вплив
volatile signed int Integral; // сума похибок
char str[17];

```

Тоді в основній програмі буде виконуватись розроблений раніше алгоритм, а саме:

- ініціалізація даних в МК;
- опитування кнопок;
- зчитування даних з датчика;

- генерація керуючої дії.

```
void main(void)
{
float realTemperature;
int temperature = 50; // задане значення температури
// налаштування портів МК
TCCR2=0b01101110;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
DDRB=0b01011000;
PORTB=0x06;
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
lcd_init(16); // ініціалізація РКІ модуля
w1_init(); // ініціалізація протоколу обміну даними
ds18b20_init(0,-20,150,DS18B20_12BIT_RES); // ініціалізація датчика температури

showTemp(temperature);
while (1)
{
if(!(PINB&(0b00000010))) {
// натиснули кнопку "збільшити"
temperature++; // збільшуємо змінну
showTemp(temperature); // виводимо на індикатор
makeSound(); // звуковий сигнал натиснення на кнопку
}
if(!(PINB&(0b00000100))) {
// натиснули кнопку "зменшити"
temperature--; // зменшуємо змінну
```

```

    showTemp(temperature); // виводимо на індикатор
    makeSound(); // звуковий сигнал натиснення на кнопку
}

realTemperature=ds18b20_temperature(0); // зчитуємо значення з датчика
if(realTemperature>1000) {
    // перевіряємо діапазон
    realTemperature=4096-realTemperature;
    realTemperature=-realTemperature;
}
showRealTemp(realTemperature); // виводимо дані на індикатор
useHeater(realTemperature, temperature); // обчислюємо керуючий вплив
};
}

```

Для виведення даних на індикатор розробимо 2 функції – для виведення виміряного значення, та для виведення заданого значення температури:

```

void showTemp(int temp) {
    // виведення даних про задане значення температури
    lcd_gotoxy(0,0); // позиція курсора
    sprintf(str,"Tzad=%d\xdfC", temp); // визначення напису
    lcd_puts(str); // виведення напису
}

void showRealTemp(float temp) {
    // виведення даних про виміряне значення температури
    lcd_gotoxy(0,1); // позиція курсора
    sprintf(str,"Tdat=%i\xdfC", (int)temp); // визначення напису
    lcd_puts(str); // виведення напису
}

```

Для генерування керуючої дії на нагрівач за допомогою вбудованого у МК ШІМ-контролера спочатку будемо розраховувати сигнал ПІД регулятора,

використовуючи введені коефіцієнти та збережене попереднє значення вимірної температури:

```
void useHeater(float realTemperature, int temperature) {  
// функція генерування керуючого впливу на нагрівач  
Error = temperature - realTemperature;  
P_Term = Kp * Error; // визначення пропорційного складника  
if (Integral > MaxIntegral) {Integral = MaxIntegral;}  
else if (Integral < - MaxIntegral) {Integral = - MaxIntegral;}  
else Integral += Error;  
I_Term = Ki * Integral; // визначення інтегрального складника  
D_Term = Kd * (PrevValue - realTemperature); // визначення диференційного складника  
PrevValue = realTemperature; // збереження значення температури як попереднього  
Out = P_Term + I_Term + D_Term; // обчислення значення суми складників регулятора  
if(Out > 0xFF) { OCR2 = 0xFF; } // визначення сигналу на виході з МК для ШІМ  
else if(Out < 0) { OCR2 = 0;}  
else OCR2 = Out;  
}
```

Повний текст програми для мікроконтролера розміщено в Додатку Б.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Для проведення моделювання у програмному пакеті Proteus складаємо схему відповідно до розробленої схеми електричної принципової. Для оцінки якості керування температурою у розробленій системі замість вихідного блоку з підсилювачем та нагрівачем виведемо сигнал керування з мікроконтролера на світлодіод. Схема моделювання представлена на рис. 3.1.

Після запуску отримуємо результат роботи системи – сигнал ШІМ на виході схеми, що подається на включення нагрівача (рис. 3.2).

Якщо виміряна температура менше заданої (рис. 3.3), то керуючий вплив представляє собою набір імпульсів з більшою довжиною, яка зменшується, як тільки температура датчика наближається до заданої (рис. 3.4, 3.5).

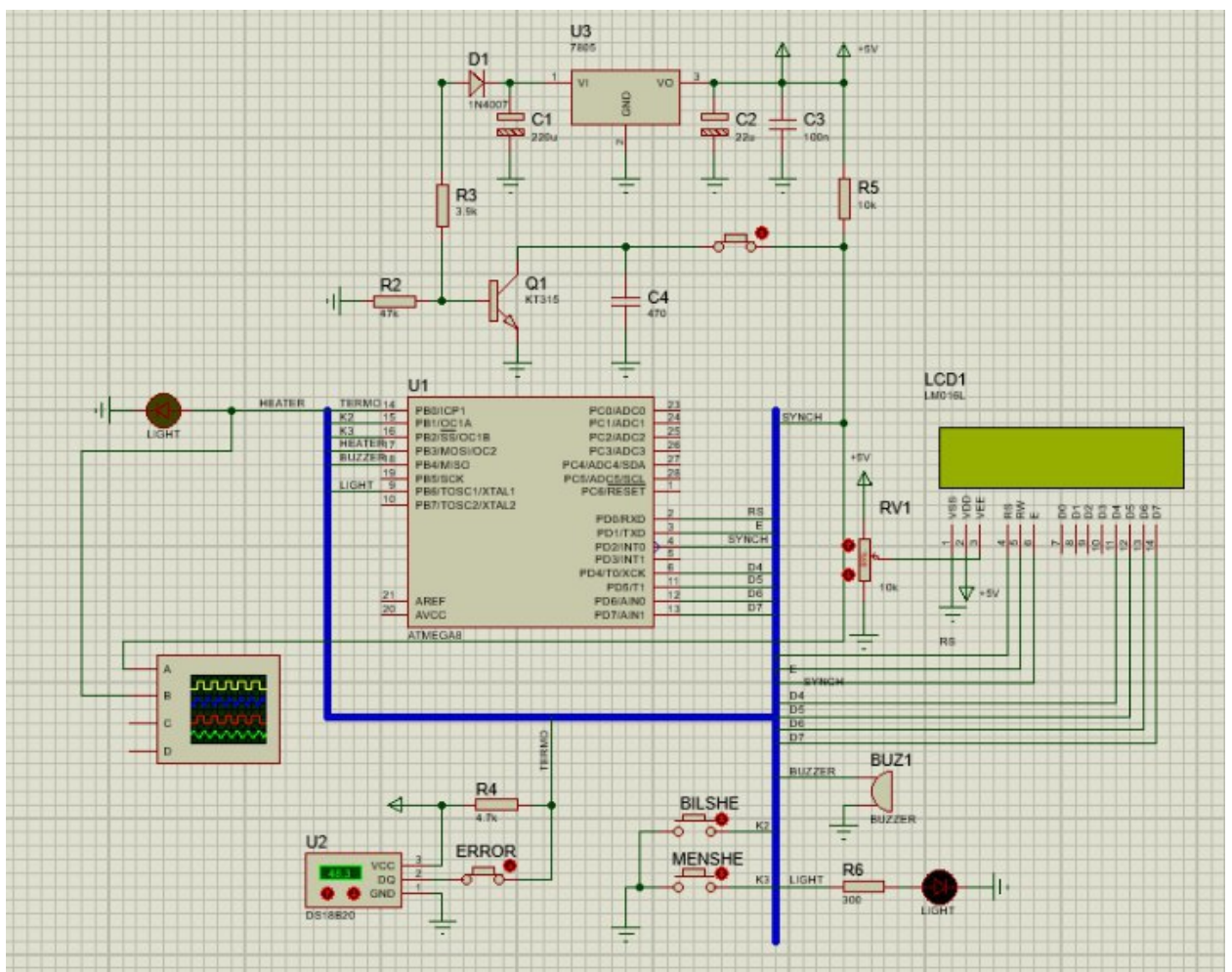


Рис. 3.1. Схема моделювання у програмному пакеті Proteus

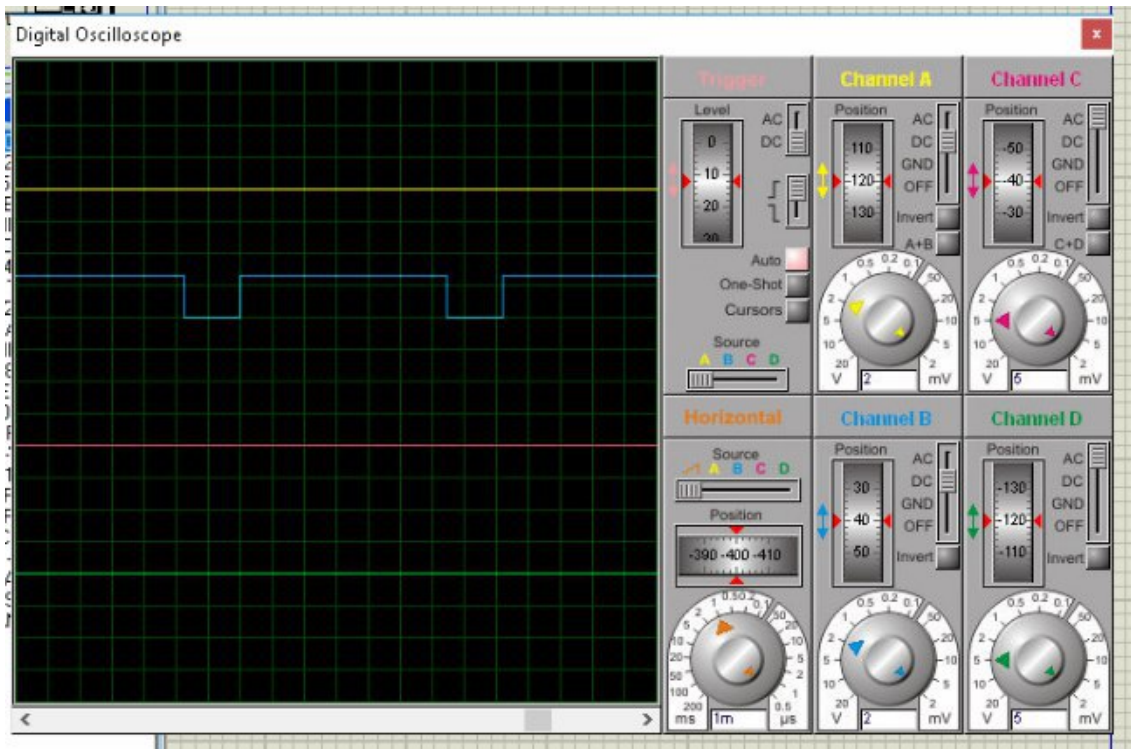


Рис. 3.2. Сигнали на виході схеми при моделюванні

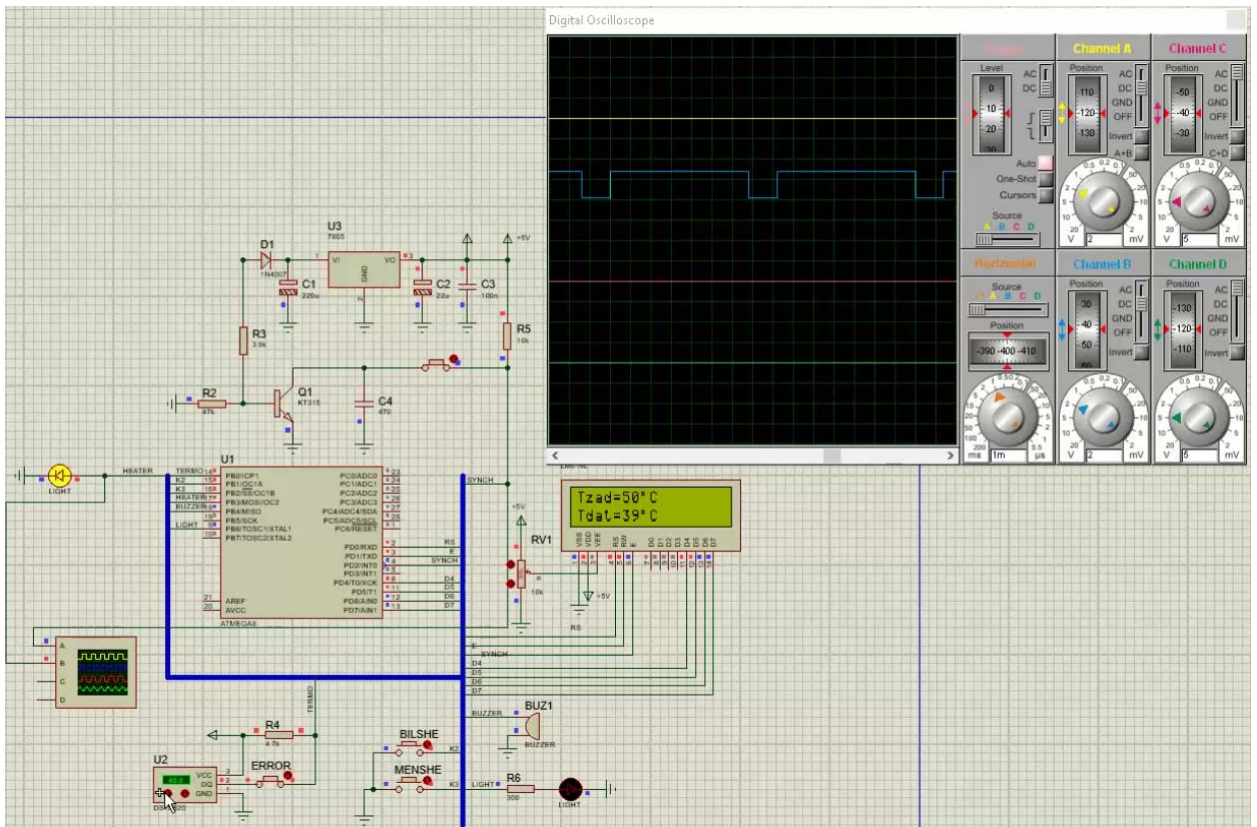


Рис. 3.3. Сигнал на виході схеми при $T_{дат} \ll T_{зад}$

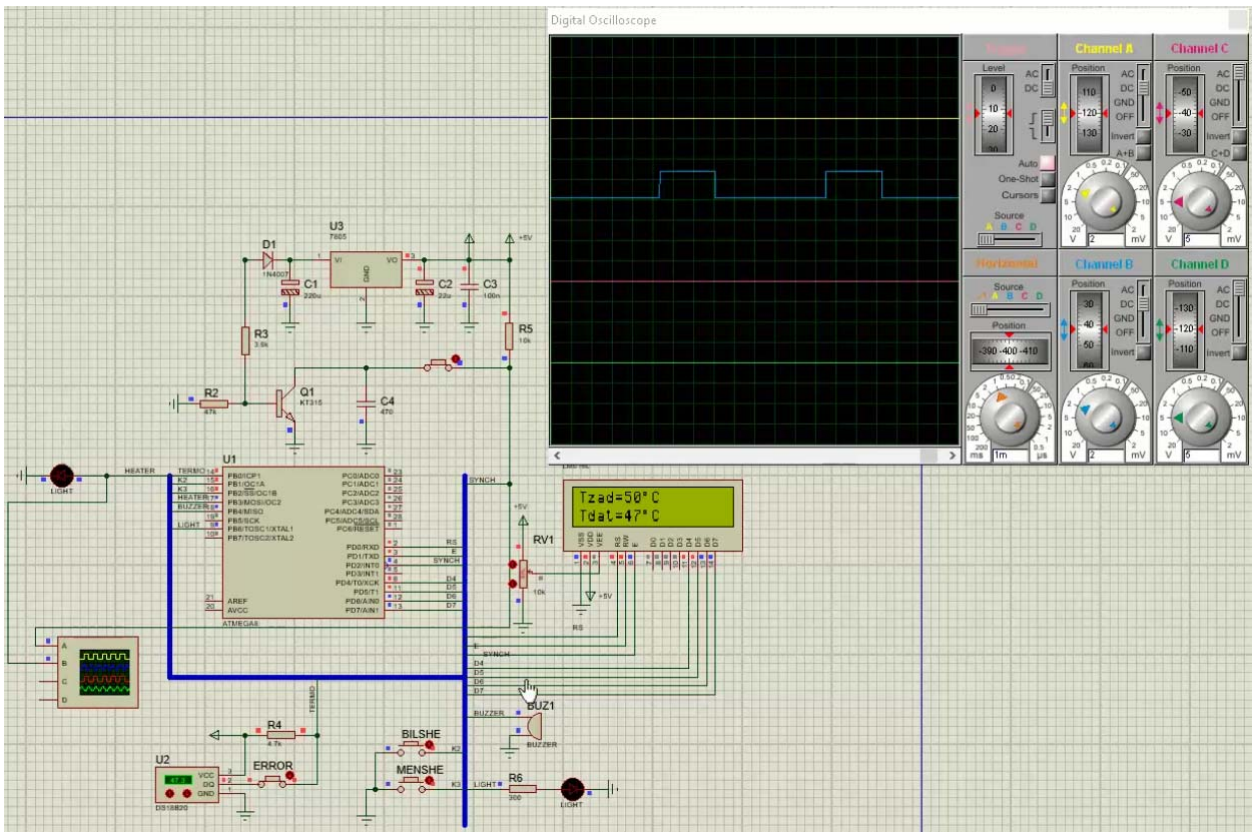


Рис. 3.4. Сигнал на виході схеми при $T_{дат} < T_{зад}$

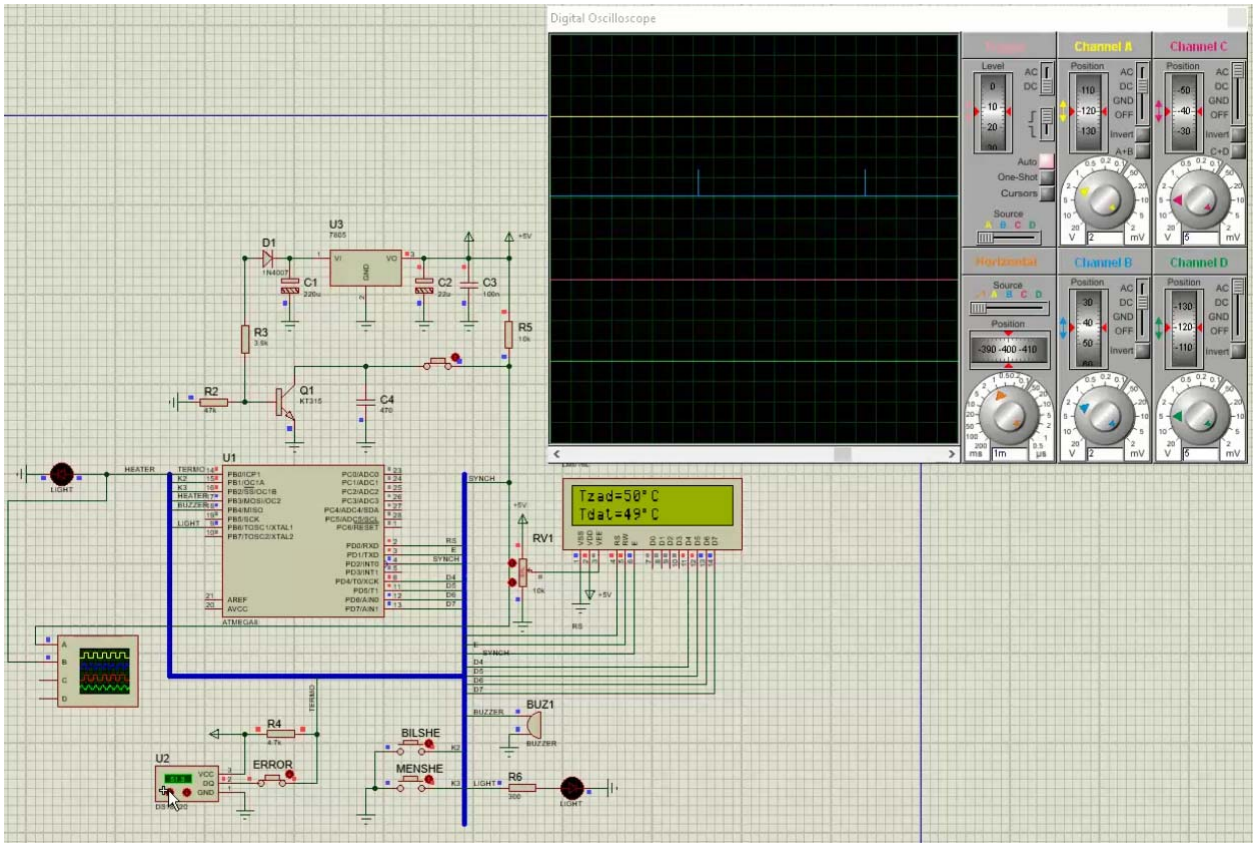


Рис. 3.5. Сигнал на виході схеми при $T_{дат} \approx T_{зад}$

Як тільки температура майже доходить до заданого рівня, включення нагрівача відбувається зовсім на короткі інтервали (рис. 3.6).

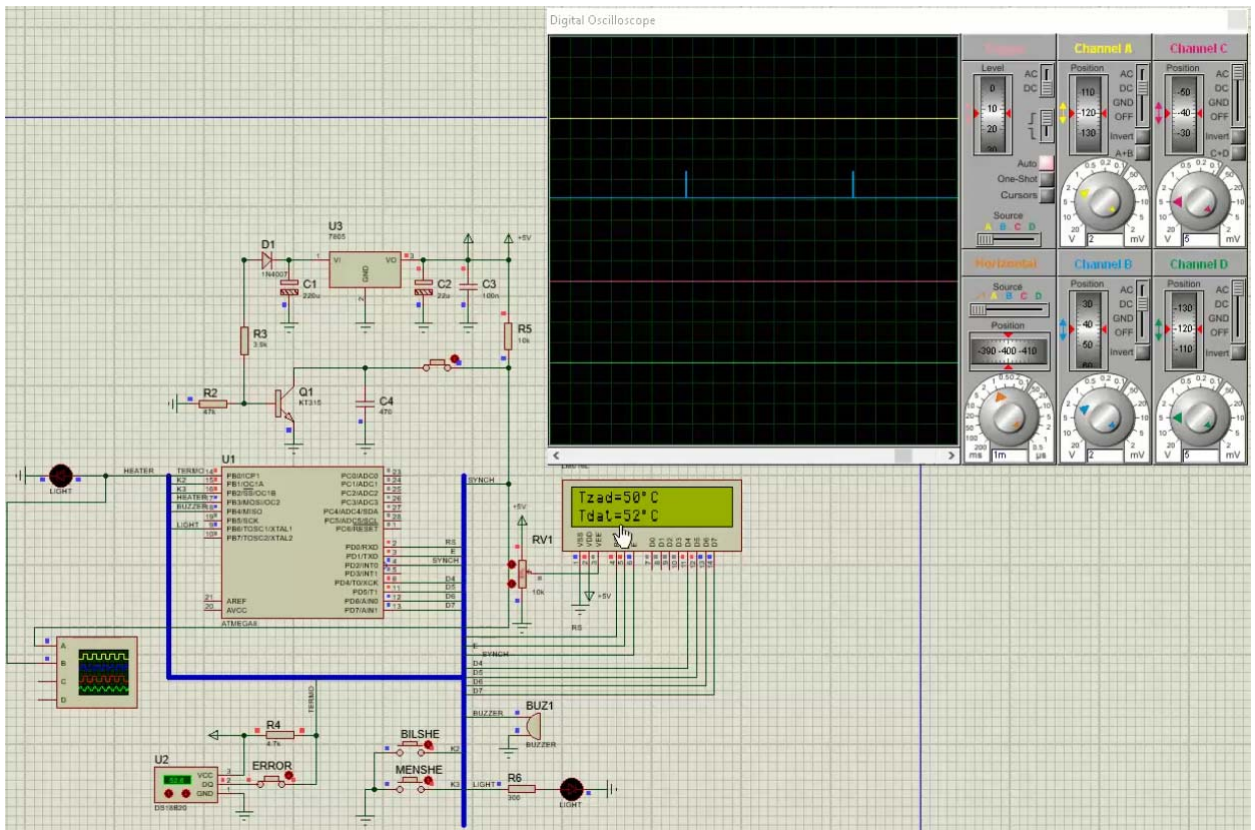


Рис. 3.6. Сигнал на виході схеми при $T_{дат} > T_{зад}$

Таким чином, відбувається регулювання із застосування ПД регулятора, що залежить від поточного значення температури та збереженого попереднього відповідно із розробленим раніше алгоритмом.

4. КОНСТРУТОРСЬКА РОЗРОБКА

4.1 Розрахунок конструкції друкованої плати

Розробка конструкції друкованої плати має такі основні стадії:

- вибір і обґрунтування типу друкованої плати;
- вибір і обґрунтування класу точності друкованої плати;
- вибір матеріалу, габаритних розмірів і конфігурації друкованої плати;
- попереднє розміщення навісних елементів;
- трасування провідників і розміщення елементів;
- розробка конструкторської документації друкованої плати.

У даному пристрої використовується двостороння друкована плата.

Відповідно до ГОСТ 23751-86 друковані плати за точністю виконання елементів діляться на п'ять класів точності.

Для даного приладу обраний другий клас точності, так як плати другого класу точності більш надійні і мають меншу вартість, ніж класи вищих рівнів. Плати другого класу точності мають наступні конструктивні параметри:

- мінімальне значення ширини провідника $t = 0,45$ мм;
- мінімальне значення відстані між провідниками $S = 0,45$ мм;
- гарантований поясок $b = 0,2$ мм;
- граничне відхилення діаметра отвору $\Delta d = \pm 0,15$ мм;
- граничне відхилення ширини друкованого провідника $\Delta t = \pm 0,1$ мм;
- допуск на розташування осей отворів $T_d = 0,15$ мм;
- допуск на розташування центрів контактних площадок $T_D = 0,25$ мм.

В якості матеріалу для виготовлення друкованої плати використовується склотекстоліт, облицьований мідної оксидованою фольгою (СФ-1-35). Товщина фольги - 35 мкм. Товщина плати - 1,5 мм. Робочий діапазон температур: від -60 °С до $+85$ °С.

Діаметр отвору під виходами обираються за умови отримання зазору між виводом і стінкою отвору, що забезпечує капілярне проникнення припою в процесі пайки.

Мінімальний діаметр контактної площадки D навколо монтажного отвору з відомим діаметром d визначається за формулою (4.1).

$$D = d + \Delta d_{в.о} + 2b_H + \Delta t_{в.про} + 2\Delta d_{тр} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{н.о}^2)^{0,5} \quad (4.1)$$

де $\Delta d_{в.о}$ - верхнє граничне відхилення діаметра отвору - 0,15 мм;

b_H - гарантійний поясок на зовнішньому шарі - 0,2 мм;

$\Delta t_{в.о}$, *и* $\Delta t_{н.о}$ - верхнє і нижнє граничні відхилення ширини провідника - 0,1 мм;

$\Delta d_{тр}$ - значення підтравлювання діелектрика (для двосторонніх плат дорівнює 0,03);

T_d - допуск на розташування осей отворів для відповідного класу точності і розмірів плати - 0,15 мм;

T_D - допуск на розташування контактних площадок для відповідного класу точності і розмірів плати - 0,25 мм.

Діаметр виводів мікросхеми = 0,5 мм

$$d_{омс} = 0,5 + (0,1 - 0,4) = 0,6 - 0,9 \approx 0,7 \text{ мм}$$

$$D_1 = 0,7 + 0,15 + 0,4 + 0,1 + 0,06 + (\sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2}) = 1,7 \text{ мм}$$

Діаметр виводів резистора = 0,6 мм

$$d_{омс} = 0,6 + (0,1 - 0,4) = 0,7 - 1,1 \approx 0,7 \text{ мм}$$

$$D_2 = 0,7 + 0,15 + 0,4 + 0,1 + 0,06 + (\sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2}) = 1,7 \text{ мм}$$

Діаметр виводів конденсаторів = 0,6 мм

$$d_{омс} = 0,6 + (0,1 - 0,4) = 0,7 - 1,1 \approx 0,7 \text{ мм}$$

$$D_2 = 0,7 + 0,15 + 0,4 + 0,1 + 0,06 + (\sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2}) = 1,7 \text{ мм}$$

Діаметр ніжок клемних блоків = 0,4 мм

$$d_{омс} = 0,4 + (0,1 - 0,4) = 0,5 - 0,8 \approx 0,7 \text{ мм}$$

$$D_6 = 0,7 + 0,15 + 0,4 + 0,1 + 0,06 + (\sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2}) = 1,7 \text{ мм}$$

Діаметр виводів підстроювального резистора = 0,6 мм

$$d_{омс} = 0,6 + (0,1 - 0,4) = 0,7 - 0,1 \approx 0,7 \text{ мм}$$

$$D_2 = 0,7 + 0,15 + 0,4 + 0,1 + 0,06 + (\sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2}) = 1,7 \text{ мм}$$

Правила виконання креслень друкованої плати як деталі встановлені ГОСТ 2.417-91. Розміри на кресленні друкованої плати вказані за допомогою координатної сітки в прямокутній системі координат. Крок сітки 1,27мм. Координатна сітка нанесена на частину поверхні друкованої плати. За початок відліку прийнятий лівий нижній кут друкованої плати.

4.2 Розробка конструкції друкованого вузла

Основними складовими друкованого вузла є друкована плата, навісні і настановні елементи. На складальному кресленні вузла електрорадіоелементи допускається зображати спрощено зовнішніми обрисами. При нанесенні позиційних позначень на кресленні для складових частин, що є елементом принципової електричної схеми, наноситься позиційне позначення, присвоєної цьому елементу в схемі.

Установка навісних елементів на друкованій платі відповідно до ДСТУ 2779-94 здійснюється в отвори друкованої плати. Стандарт при установці резисторів, конденсаторів, напівпровідникових приладів, інтегральних мікросхем і інших елементів на друкованих платах передбачає наступні параметри формованих виводів:

- мінімальний розмір від корпусу елемента до центру кола вигину при формуванні виводів - 1 мм;

При розміщенні елементів на друкованій платі слід дотримуватися таких правил:

- кожен вивід елемента слід встановлювати в окремий монтажний отвір;
- елементи, що встановлюються в монтажні отвори, переважно розташовуються з одного боку друкованої плати.

Складальне креслення пристрою розташовується в графічній частини проекту.

Складальне креслення пристрою зображено на рис. 4.1, сторони друкованої плати - на рис. 4.2, 4.3, а на рис. 4.4 показаний зовнішній вигляд зібраної плати.

Розробка друкованої плати проводилась у програмному комплексі Proteus.

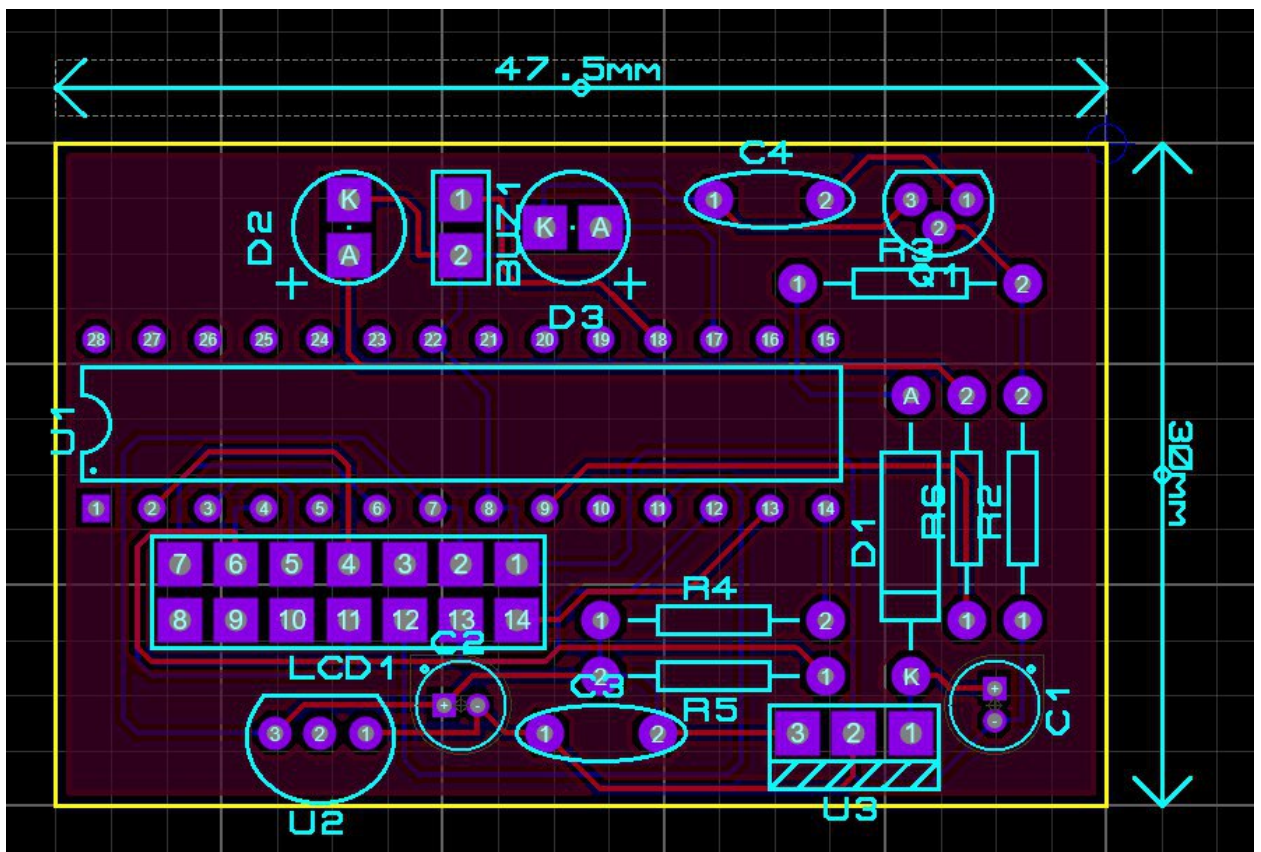


Рис. 4.1. Складальне креслення пристрою

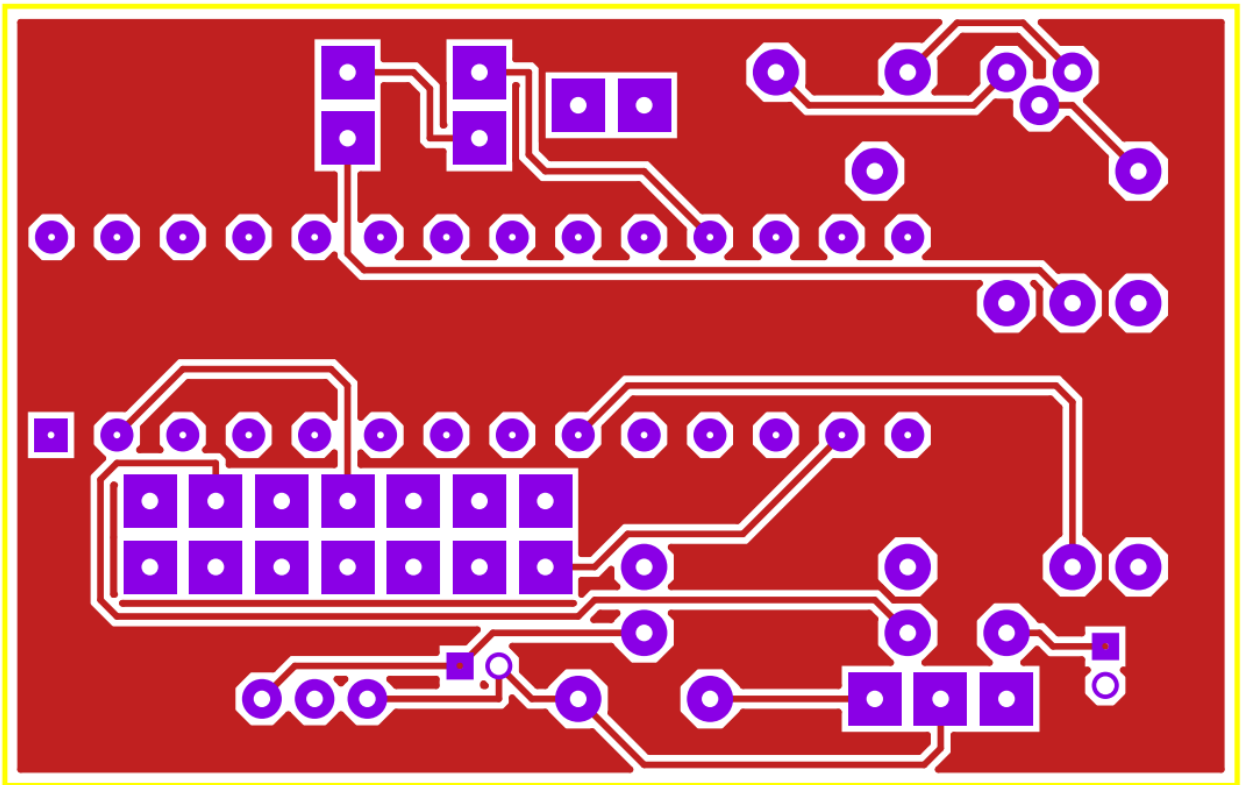


Рис. 4.2. Друкована плата (сторона 1)

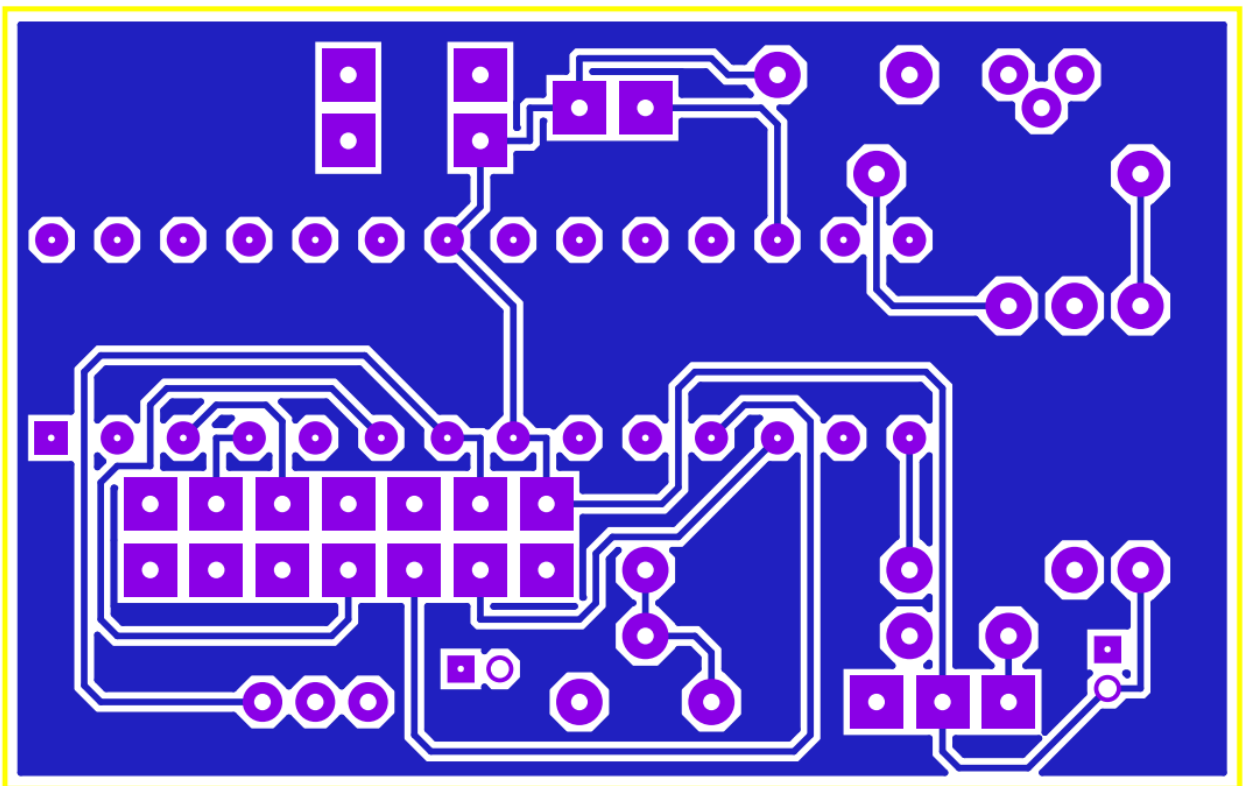


Рис. 4.3. Друкована плата (сторона 2)

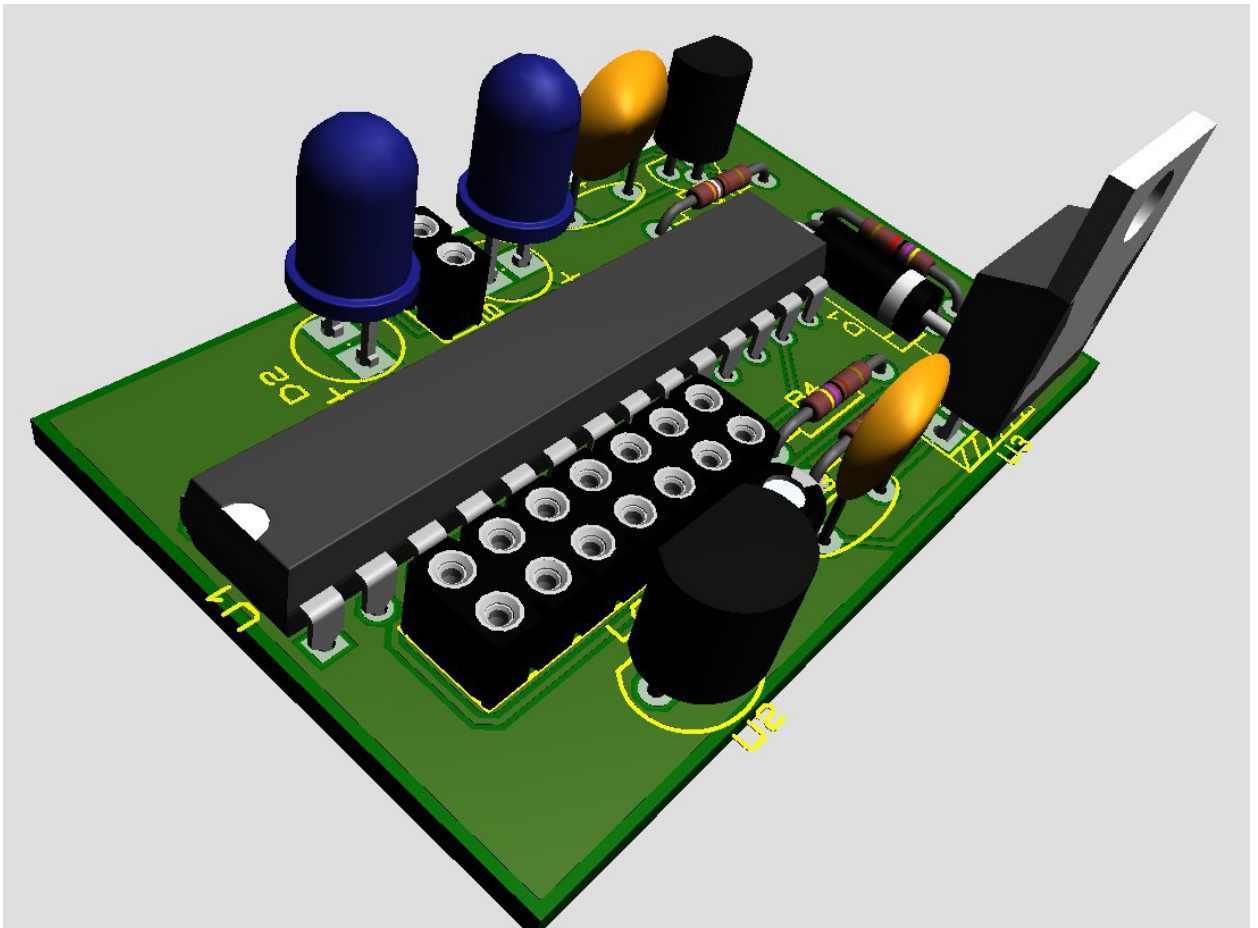


Рис. 4.4. Моделювання вигляду плати

4.3 Розрахунок надійності пристрою

Визначення надійності пристрою здійснюється за методикою розрахунку за раптовими експлуатаційними відмовами по відомим показникам надійності елементів пристрою з урахуванням наступних припущень: відмови елементів статистично незалежні і відмова будь-якого елемента призводить до відмови всього пристрою.

Інтенсивність відмов пристрою визначиться за формулою (4.2).

$$\lambda_c = k_\lambda \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \lambda_{0i}, \quad (4.2)$$

де λ_{0i} - інтенсивність відмови i -го елемента;

α_i - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища і електричне навантаження приладу;

$k_{\lambda} = k_{\lambda 1} \cdot k_{\lambda 2} \cdot k_{\lambda 3}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації пристрою;

$k_{\lambda 1}$ - вплив механічних чинників ($k_{\lambda 1} = 1,07$);

$k_{\lambda 2}$ - вплив кліматичних факторів ($k_{\lambda 2} = 1$);

$k_{\lambda 3}$ - умови роботи при зниженому атмосферному тиску. ($k_{\lambda 3} = 1$).

Резистори постійні металооксидні.

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_n = 0,5$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 0,95$.

Кількість елементів – 4.

Мікросхеми інтегральні.

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Кількість елементів – 3.

Конденсатори

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_n = 0,7$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 1,1$.

Кількість елементів – 3.

Плата друкована.

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Кількість елементів – 1.

Пайка сполучна.

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,04 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Кількість елементів – 48.

Провід з'єднувальний.

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Кількість елементів – 0,46 м.

Отже, визначимо інтенсивність відмови пристрою:

$$\lambda_c = 1,07 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2 \cdot 0,95 \cdot 4 + 1,5 \cdot 3 + 0,2 \cdot 0,7 \cdot 3 + 0,1 \cdot 1 + 0,04 \cdot 48 + 0,12 \cdot 0,46) = 4,16 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Середній наробіток на відмову всього пристрою розраховуємо за формулою (4.3).

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{4,16 \cdot 10^{-6}} = 239930 \text{ год} = 26,8 \text{ років} \quad (4.3)$$

ВИСНОВКИ

В даному проекті виконано розробку комп'ютерна система контролю температури з цифровим ПІД регулятором, що призначена для контролю та регулювання процесом води у бойлері.

Метою дипломної роботи було проектування архітектури, розробка алгоритмів роботи і реалізація комп'ютерної системи контролю температури з цифровим ПІД регулятором.

Об'єктом дослідження була комп'ютерна система контролю температури з цифровим ПІД регулятором.

Предметом дослідження були методи і алгоритми контролю та регулювання температури в режимі реального часу.

У процесі роботи були виконані всі поставлені завдання, а саме:

- проведено аналіз задач системи;
- визначено структуру системи;
- обґрунтовано і вибрано засоби реалізації системи;
- спроектовані структурні складові та алгоритми роботи системи;
- спроектовано програмне забезпечення системи;
- промодельовано роботу системи.

Розроблена система має переваги перед звичайним двопозіційним регулюванням в тому, що при розрахунку керуючої дії використовується не лише поточне значення температури води у бойлері, а й попереднє, що дозволяє „прогнозувати” наступне та переключати обладнання у оптимальні моменти. Також використання ШІМ у керуванні нагрівачем дає можливість зменшення використання енергоресурсів, що є одним із пріоритетних у сучасному світі.

До недоліків системи можна віднести те, що її можна використовувати тільки для нагрівання води або інших рідких речовин у діапазоні температур до $+125^{\circ}\text{C}$ із кроком $0,5^{\circ}\text{C}$. При зміні цільового

призначення системи потрібно буде підбирати інший датчик температури, що може бути і аналоговим. Отже, відповідно, може змінитися структурна та принципова схема системи та програмне забезпечення.

В цілому можна зробити висновок, що робота відповідає поставленому завданню.

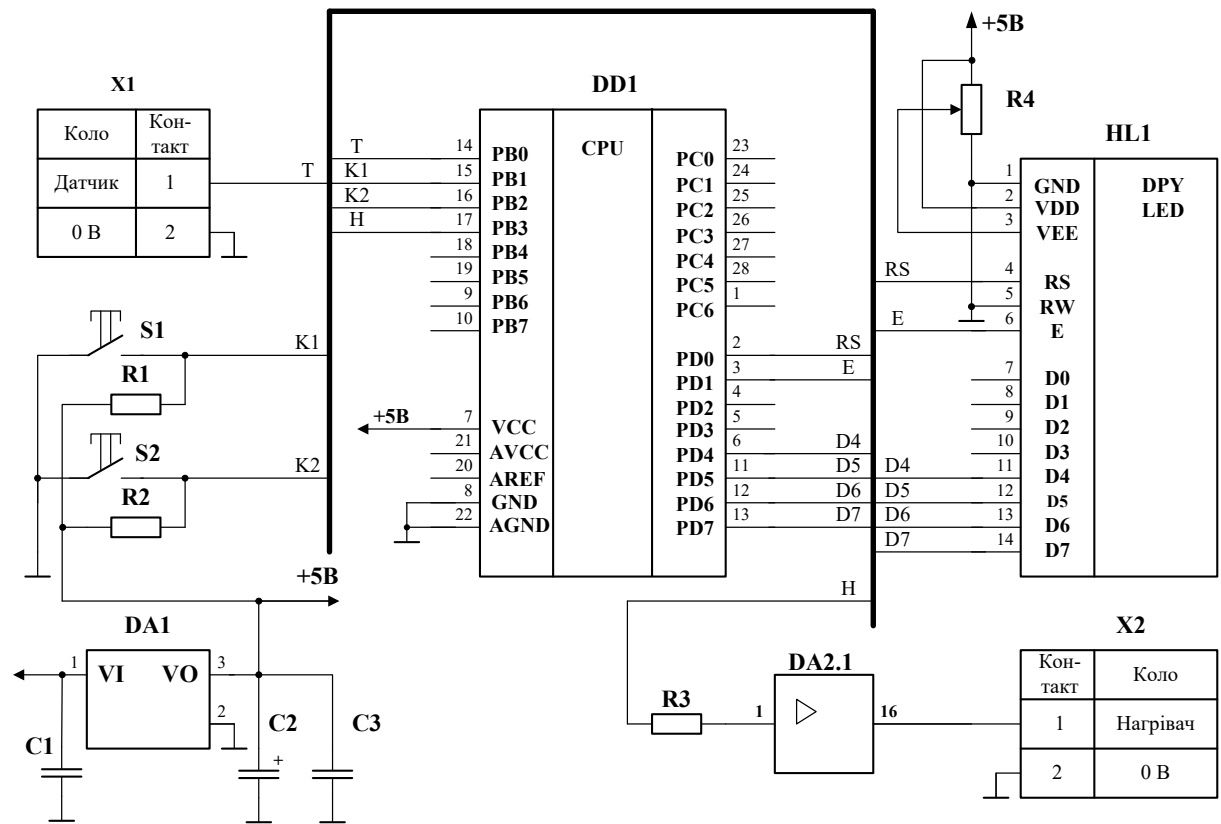
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления: Особые линейные и нелинейные системы. — 2-е изд., перераб. — М.: Энергия. 1981.—304 с.
2. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: Учебник для вузов—М.: Машиностроение, 1978.— 736 с.
3. Цыпкин ЯЗ. Основы теории автоматических систем. — М.: Наука, 1977.
4. Теория автоматического управления /Под. ред. А.С. Шаталова. — М.: Высшая школа, 1977. -448 с.
5. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Часть 1. - СТА, №4, 2006, с. 45 - 50. Часть 2. - №1, 2007, с. 78 -88.
6. Токарев Л., Бруслиновский Б., Доброскок Н. Расчет процессов в электромеханических системах. Часть 1. – М.: «Северная Звезда», 2015
7. Васин И.М., Токарев Л.Н. Физические процессы в электрических машинах и системах. СПб: «Литера», 2008, - 216с.
8. Данилевский Ю.Г., Петухов И.А., Шибанов В.С. Информационная технология в промышленности. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988.
9. Маглинец Ю. А. Анализ требований к автоматизированным информационным системам. - Бином, 2008.
10. Костюков В.Н., Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. – 224с.
11. ГОСТ Р 53564-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга.

12. Ларионов А.М. и др. Вычислительные комплексы, системы и сети/А.М.Ларионов, С.А.Майоров, Г.И.Новиков: Учебник для вузов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. 288с.: ил.
13. И.В.Черных. "SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/simpower/>
14. Lab-VIEW [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ni.com/ru-ru/shop/labview.html>
15. NI Multisim [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ni.com/>
16. Proteus [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.labcenter.com/>
17. Угрюмов, Е. Цифровая схемотехника [Текст] / Е. Угрюмов. – СПб.: БХВ- Петербург, 2007. – 800 с.
18. Михаил Гук. Процессоры Intel от 8086 до Pentium II.
19. Микроконтроллеры. Выпуск 1 - М.: ДОДЭКА, 1998.
20. Проектирование импульсных и цифровых устройств радиотехнических систем/ под ред. Ю.М. Казаринова. Учебное пособие для ВУЗов. - М., «Высшая школа», 1985.

ДОДАТКИ

Додаток А. Схема електрична принципова



Додаток Б. Текст програми

```
#include <mega8.h> // бібліотека для роботи з МК
#asm
.equ __w1_port=0x18 ;PORTB
.equ __w1_bit=0
#endasm
#include <1wire.h> // бібліотека для обміну даними між датчиком та МК
#include <ds18b20.h> // бібліотека для роботи з датчиком температури
#asm
.equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm
#include <lcd.h> // бібліотека для РКІ
#include <delay.h>
#include <stdio.h> //

#define Target 125
// коефіцієнт пропорційного підсилення
#define Kp 30 // 30 - оптимально
// коефіцієнт інтегрального підсилення
#define Ki 0.3 // 0.3 - оптимально
// коефіцієнт диференційного підсилення
#define Kd 90 // 90 - оптимально
// максимальна сума похибок
#define MaxIntegral 1000 // 1000 - оптимально
volatile signed int Error; // відхилення вимірної величини від заданої
volatile signed int PrevValue; // попереднє значення вимірювання
volatile signed int P_Term; // пропорційний компонент
volatile signed int I_Term; // інтегральний компонент
```

```
volatile signed int D_Term;    // диференційний компонент
volatile signed int Out;      // управляючий вплив
volatile signed int Integral; // сума похибок
```

```
char str[17];
```

```
void showTemp(int temp) {
// виведення даних про задане значення температури
lcd_gotoxy(0,0); // позиція курсора
sprintf(str,"Tzad=%d\xdfC", temp); // визначення напису
lcd_puts(str); // виведення напису
}
```

```
void showRealTemp(float temp) {
// виведення даних про виміряне значення температури
lcd_gotoxy(0,1); // позиція курсора
sprintf(str,"Tdat=%i\xdfC", (int)temp); // визначення напису
lcd_puts(str); // виведення напису
}
```

```
void makeSound() {
// функція вироблення звукового сигналу при натисненні кнопок
PORTB|=1<<6;
delay_ms(200);
PORTB&=~(1<<6);
}
```

```
void useHeater(float realTemperature, int temperature) {
// функція генерування керуючого впливу на нагрівач
```

```

Error = temperature - realTemperature;
P_Term = Kp * Error; // визначення пропорційного складника
if (Integral > MaxIntegral) {Integral = MaxIntegral;}
else if (Integral < - MaxIntegral) {Integral = - MaxIntegral;}
else Integral += Error;
I_Term = Ki * Integral; // визначення інтегрального складника
D_Term = Kd * (PrevValue - realTemperature); // визначення диференційного
складника
PrevValue = realTemperature; // збереження значення температури як
попереднього
Out = P_Term + I_Term + D_Term; // обчислення значення суми складників
регулятора
if(Out > 0xFF) { OCR2 = 0xFF; } // визначення сигналу на виході з МК для
ШИМ
else if(Out < 0) { OCR2 = 0;}
else OCR2 = Out;
}

void main(void)
{

float realTemperature;
int temperature = 50; // задане значення температури

// налаштування портів МК
TCCR2=0b01101110;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

```

```
DDRB=0b01011000;
```

```
PORTB=0x06;
```

```
PORTC=0x00;
```

```
DDRC=0x00;
```

```
PORTD=0x00;
```

```
DDRD=0x00;
```

```
ACSR=0x80;
```

```
SFIOR=0x00;
```

```
lcd_init(16); // ініціалізація РКІ модуля
```

```
w1_init(); // ініціалізація протоколу обміну даними
```

```
ds18b20_init(0,-20,150,DS18B20_12BIT_RES); // ініціалізація датчика  
температури
```

```
showTemp(temperature);
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    if(!(PINB&(0b00000010))) {
```

```
        // натиснули кнопку "збільшити"
```

```
        temperature++; // збільшуємо змінну
```

```
        showTemp(temperature); // виводимо на індикатор
```

```
        makeSound(); // звуковий сигнал натиснення на кнопку
```

```
    }
```

```
    if(!(PINB&(0b00000100))) {
```

```
        // натиснули кнопку "зменшити"
```

```
        temperature--; // зменшуємо змінну
```

```
    showTemp(temperature); // виводимо на індикатор
    makeSound(); // звуковий сигнал натиснення на кнопку
}

realTemperature=ds18b20_temperature(0); // зчитуємо значення з датчика
if(realTemperature>1000) {
// перевіряємо діапазон
    realTemperature=4096-realTemperature;
    realTemperature=-realTemperature;
}
showRealTemp(realTemperature); // виводимо дані на індикатор

useHeater(realTemperature, temperature); // обчислюємо керуючий вплив
};
}
```