НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СКОРСЬКОГО»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

До захисту допущено
В.о. зав. кафедри
Євгеній НЕЛІН
«_12_»____06______20__р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Терморегулятор електричної печі»

Виконав:
студент IV курсу, групи РІ-71
Скворцов Олександр Юрійович

Керівник:
Доцент, к.т.н.
Тарабаров Сергій Борисович

Рецензент:
Доцент к.т.н.
Мовчанюк Андрій Валерійович

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент Скворцов О.Ю.

Київ — 2021 року

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. зав. кафедри
Євгеній НЕЛІН
«___»_____________20__р.

Завдання
на дипломний проект студенту
Скворцову Олександру Юрійовичу

1. Тема проекту: «Терморегулятор електричної печі»
   Керівник проекту Тарабаров Сергій Борисович, доцент, затверджені наказом по університету від «18» травня 2021р. №1205-с
2. Термін подання студентом проекту 9 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проекту: Діапазон напруги живлення 200 – 240 В, 50 – 60 Гц, потужність нагрівального елемента до 4кВт
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, огляд наявних рішень, опис функціонування пристрою, проектування друкованої плати та корпусу, розробка програмного забезпечення.
5. Перелік графічного матеріалу: структурна схема, схема електрична принципова, друкована плата, збиральний кресленик вузла, кресленик деталі.

Скворцов О.Ю. РІ-71, 2021

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	15.05.2021	
2	Розробка технічного завдання	18.05.2021	
3	Розробка схемотехнічного рішення	25.05.2021	
4	Проектування приладу	28.05.2021	
5	Розробка програмного забезпечення	03.06.2021	
7	Оформлення документації	06.06.2021	

Студент Олександр СКВОРЦОВ

Керівник Сергій ТАРАБАРОВ

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 45 сторінок, що містять 31 ілюстрацію, 10 таблиць, 11 креслень, 4 додатки та 3 посилання.

Метою даного дипломного проекту є розробка терморегулятора для електричної печі, перевагою якого буде універсальність та можливість роботи з будь-якими нагрівальними елементами та давачами температури, в широкому температурному діапазоні з можливістю програмного керування.

В регуляторі наявна можливість корегування температури з давача, щоб налаштувати регулятор для роботи з термопарами з різним коефіцієнтом термо-ЕРС.

Ключові слова: терморегулятор, мікроконтролер, нагрівальний елемент, давач температури, програмне керування.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory note of 45 pages, containing 31 illustrations, 10 tables, 11 drawings, 4 additions and 3 references.

The aim of this thesis is to develop a thermostat for an electric furnace, the advantage of which will be versatility and the ability to work with any heating elements and temperature sensors, in a fairly wide temperature range with the possibility of software control.

The controller has the ability to adjust the temperature from the sensor to adjust the controller to work with thermocouples with different coefficients of thermo-EMF

Key words: thermostat, microcontroller, heating element, temperature sensor, software control.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на тему: Терморегулятор електричної печі

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Київ — 2021 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень 2

Вступ 4

1 Аналіз ТЗ 5

1.1 Аналіз завдання з точки зору конструктора 5

1.2 Технічні умови 6

2 Огляд аналогів 7

2.1 Tereno TPA 7

2.2 DigiTOP TK-4K 8

2.3 CRT-05 9

3 Обгрунтування структурної та принципової схеми 11

3.1 Джерело живлення 11

3.2 Комутатор 12

3.3 Підсилювач термопари 12

4 Вибір елементної бази 14

4.1 Симістор 14

4.2 Мікроконтролер 15

4.3 LCD-дисплей 17

4.4 Джерело живлення 18

4.5 Охолодження 20

4.6 Енкодер 22

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РІ-71.421453.001. ПЗ			
Розробив		Скворцов О.Ю.			Терморегулятор для електричної печі	Літ.	Лист	Листів
Перевірив		Тарабаров С.Б.					1	
						РІ-71 РТФ		
Н. Контр.								
Затвердив		Тарабаров С.Б.						

5 Результати проектування 23
5.1 Електрична схема 23
5.2 Друкована плата 24
5.2.1 Вибір матеріалу плати 24
5.2.2 Площа компонентів 24
5.2.3 Розрахунок ширини провідників та зазорів 25
5.3 Розробка плати та трасування 27
5.4 Корпус 30
6 Програмне забезпечення 35
6.1 Підключення бібліотек 35
6.2 Робота з LCD-дисплеєм 36
6.3 Робота з енкодером 40
6.4 Зчитування температури 41
6.5 Цикл loop 42
Висновки 44
Перелік джерел посилань 45
Додаток А. Технічне завдання (копія) 46
Додаток Б. Лістинг до програмного забезпечення 51
Додаток В. Перелік елементів 58
Додаток Г. Специфікація на прилад 67

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДП — Друкована плата

АЦП — Аналого-цифровий перетворювач

SMD — Surface-mount device

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ВСТУП

Термічна обробка матеріалів як технологічний процес сьогодні широко використовується в багатьох галузях виробництва. Наприклад для оброки металів та сплавів з метою змінити їх механічні та фізичні властивості. Для цього проводяться такі види термічної обробки:

– відпалювання;

– нормалізація;

– загартування;

– відпускання.

Існує багато різноманітних сплавів, які потребують різних температурних режимів для термічної обробки, під час яких важливо підтримувати температуру в заданих межах з достатньою точністю. З цього випливає необхідність використання спеціалізованих пристроїв для керування процесом термічної обробки, а саме терморегулятором з можливістю виставлення заданої температури та підтримання її за рахунок керування нагрівальним елементом.

Метою даного дипломного проекту є розробка такого терморегулятора, перевагою якого буде універсальність та можливість роботи з будь-якими нагрівальними елементами та давачами температури, в досить широкому температурному діапазоні.

Особливий інтерес представляє програмно керований терморегулятор з можливістю забезпечити різноманітні режими роботи, що дозволить розширювати функціонал шляхом завантаження програмного забезпечення та підвищити автоматизацію на виробництві.

Скворцов О. Ю. РІ-71. 2021

1 АНАЛІЗ ТЗ

В дипломному проекті розробляється терморегулятор для електричних печей. Доцільно, щоб терморегулятор для електричних печей мав можливість підключення виносного давача температури та нагрівального елемента. Підтримання заданої температури здійснюється за рахунок подачі живлення на нагрівальний елемент, за результатом порівняння температури з давача з заданою температурою. Керування здійснюється мікроконтролером.

Можливе використання будь-якого електричного нагрівального елемента з потужністю до 4 кВт. В якості давача можливе використання термопари з діапазоном вимірюваних температур від 0 до 1300 °С. В регуляторі повинна бути наявна можливість корегування температури з давача, щоб налаштувати регулятор для роботи з термопарами з різним коефіцієнтом термо-ЕДС.

Регулятор доцільно розмістити в корпусі з можливістю встановлення на вертикальні та горизонтальні поверхні. Для зручності органи керування та індикації регулятора доцільно використати у енкодер та LCD-дисплей. Живлення здійснюється від мережі 220В.

1.1 Аналіз завдання з точки зору конструктора

Для схеми Е3 терморегулятора для електричної печі децимальний номер матиме вигляд: РІ-71.421453.001.

Цифри коду класифікаційної характеристики розшифровуються так:

42 Пристрої і системи контролю і регулювання параметрів технологічних, процесів, засоби телемеханіки, охоронної та пожежної сигналізації

421 Пристрої і системи контролю і регулювання параметрів технологічних процесів електричні

4214 Системи і комплекси контролю і регулювання

42145 З довільним розташуванням об'єктів

421453 Контроля та керування

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

1.2 Технічні умови

Пристрій призначений для зберігання та експлуатації в приміщеннях категорії 4 і роботи як в умовах категорії 4, так і (короткочасно) в інших умовах, в тому числі на відкритому повітрі:

— робочі температури, -10… +60 °С;

— граничні температури, -40 … +70 °С;

— верхнє значення відносної вологості, 80 % при 25 °С;

Експлуатується в неопалюваних наземних і підземних спорудах:

— синусоїдальна вібрація (діапазон частот, 10…70 Гц, амплітуда прискорення 19,6 м/с2 або 2 g, тривалість впливу 90 хв);

— механічні удари при експлуатації (пікове ударне прискорення 98 м/с2 або 10 g, тривалість удару 16 мс, число ударів в кожному напрямку 1000), при транспортуванні (пікове ударне прискорення 250 м/с2 або 25 g, тривалість удару 16 мс, число ударів в кожному напрямку 4000);

— понижена температура, робоча –10 °С, гранична –40°С, час витримки при цих температурах 2 год;

— підвищена температура, робоча +50 °С, гранична +55°С, час витримки при цих температурах 2 год.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

2 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

Нижче наведено опис найбільш поширених електричних печей Terneo TPA, DigiTOP TK-4K та CRT-05.

2.1 Опис терморегулятора електричної печі Terneo TPA

Terneo tpa призначений для підтримки постійної температури в широкому діапазоні –35...+999 °С з налаштованим гістерезисом і режимом роботи навантаження на нагрів або охолодження. Температура контролюється в тому місці, де розташований датчик. Як датчик терморегулятор використовує термопару типу ТХА. Датчик температури не входить до комплекту постачання [4]. Технічні дані наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Технічні дані терморегулятора Terneo TPA

№ з/п	Параметр	Значення
1	Межі регулювання	–35…+999 °С
2	Максимальний струм навантаження	16 А
3	Максимальна потужність навантаження	3 000 ВА
4	Напруга живлення	230 В ± 10%
5	Струм споживання при 230 В	не більше 12,7 мА
6	Маса без датчика	0,189 кг ± 10%
7	Габаритні розміри (Ш х В х Г)	52 х 90 х 67 мм
8	Датчик температури	термопара ТХА
9	Кількість ком-цій під нав., не менше	50 000 циклів
10	Кількість ком-цій без нав., не менше	20 000 000 циклів
11	Температурний гістерезис	1 – 100 °С
12	Ступінь захисту по ДСТУ 14254	IP20

Терморегулятор призначений для установки всередині приміщень. Ризик потрапляння вологи і рідини в місці установки повинен бути мінімальний. Температура навколишнього середовища при монтажі повинна знаходитися в межах –5 ... + 45 °С. Терморегулятор монтується в спеціальну шафу, що дозволяє виробляти зручний монтаж і експлуатацію. Шафа повинна бути забезпечена стандартною монтажною рейкою шириною 35 мм (DIN-рейка). Тер-

Скворцов О. Ю. РІ-71. 2021

морегулятор займає завширшки три стандартних модуля по 18 мм. Висота установки терморегулятора повинна знаходиться в межах 0,5...1,7 м від рівня підлоги.

2.2 Опис терморегулятора електричної печі DigiTOP ТК-4К

Одноканальний електронний регулятор температури ТК-4К призначений для підтримання заданої користувачем температури об’єкта з відображенням значень на цифровому світлодіодному індикаторі [5]. Технічні дані наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Технічні характеристики терморегулятора DigiTOP ТК-4К.

№ з/п	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірюваних температур, °С	0…+999
2	Діапазон регульованих температур, °С	0…+999
3	Дискретність індикації, °С	1
4	Похибка вимірювань, °С не більше	3
5	Температурний гістерезис (Δt), °С	1…99
6	Максимальний струм активного навантаження, А	16
7	Напруга живлення, В	~220 ± 10%, 50 Гц
8	Споживана потужність, Вт не більше	3
9	Ступінь захисту терморегулятора	IP20

Терморегулятор керується мікроконтролером, вимірювальним елементом є термопара хромель-алюмель. Для керування навантаженням використовується електромагнітне реле. Налаштування користувача вводяться в пристрій за допомогою кнопок, розташованих на передній панелі пристрою. Всі встановлені значення зберігаються в енергонезалежну пам’ять контролера. Пристрій не потребує в калібруванні при заміні термопари.

За способом захисту від враження електричним струмом терморегулятор відповідає класу 2 по ГОСТ 12.2.007-75.

Терморегулятор не призначений для експлуатації в умовах тряски та ударів, а також у вибухонебезпечних приміщеннях. Не допускається потрап-

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ляння вологи на вхідні контакти клемних блоків та внутрішні елементи терморегулятора.

2.3 Опис терморегулятора електричної печі CRT-05

Програмований багатофункціональний контролер призначений для контроля опалювального обладнання, підтримання заданої температури в приміщені, контроля температури середовища и температури речовин в різного роду технологічних процесах. Давач температури Pt100 [6]. Технічні дані наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Технічні характеристики терморегулятора CRT-05

№ з/п	Параметр	Значення
1	Напруга живлення, В / Гц	230 / 50
2	Максимальний струм, що комутується, А	16АС–1/250В АС
3	Контакт	1NO
4	Максимальний струм котушки контактора, А	3
5	Діапазон регульованих температур, °С	–100…+400
6	Гістерезис регульований, °С	0…100
7	Дискретність встановлення, °С	1
8	Точність вимірювання, °С	0,5
9	Температурна корекція, °С	±20
10	Давач температури	RT56
11	Комутаційна зносостійкість, циклів	10^5
12	Споживана потужність, Вт	1,5
13	Ступінь захисту	IP20
14	Ступінь забруднення середовища	2
15	Категорія перенапруження	III
16	Діапазон робочих температур, °С	–25…+50
17	Підключення	Гвинтові затискачі 2,5 мм^2
18	Габарити (Ш х В х Г)	52,5 х 65 х 90
19	Тип корпусу	3S
20	Маса, г	105
21	Монтаж	на DIN-рейку 35мм

Функціональні особливості

- вибір режиму роботи: нагрів чи охолодження;

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

- дві регульовані величини гістерезису: нижня та верхня;
- автоматичний режим роботи: робота вибраної функції в автоматичному режимі;
- ручний режим роботи: вмикання або вимикання виконавчого реле з панелі керування;
- температурна корекція похибки вимірювання давача температури PT-100;
- сигналізація аварійного режиму роботи на табло;
- блокування доступу до меню за допомогою пін-коду;
- вмикання режиму підсвітки табло;
- вибір мови програмування в меню: англійська, російська, польська.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

3 ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Структурна схема пропонованого терморегулятора електричної печі наведена на рисунку 3.1.

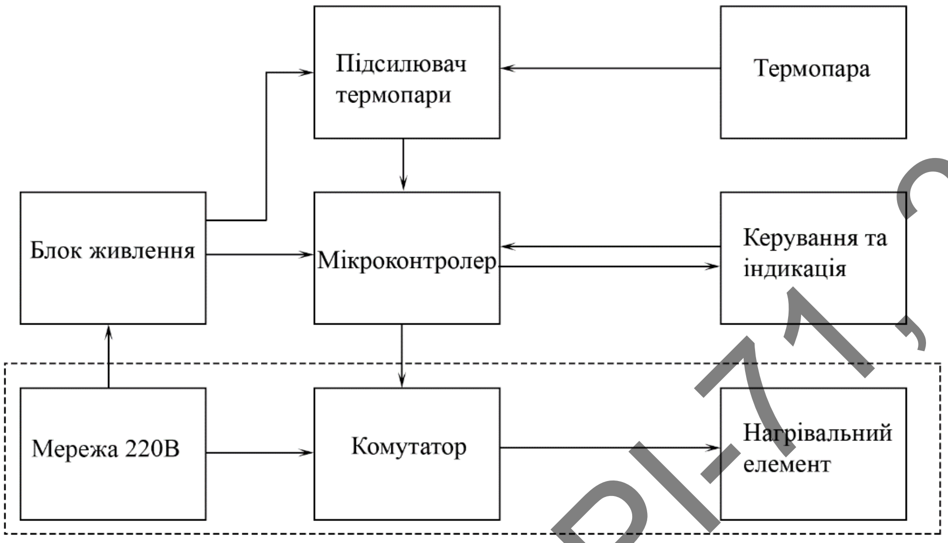


Рисунок 3.1 — Структурна схема терморегулятора електричної печі

Терморегулятор складається з блоку живлення, мікроконтролера, підсилювача термопари, комутатора та органів керування.

3.1 Джерело живлення терморегулятора

Джерело живлення забезпечує рівень напруги 5 для живлення мікроконтролера та підсилювача термопари. Напруга подається на нагрівальний елемент через комутатор на базі симістора, що керується мікроконтролером через оптопару.

Використання саме симістора в якості комутуючого елементу, а не реле обумовлено тим, що на відміну від реле симістор має більшу швидкодію, що дозволяє плавно змінювати потужність, що надходить до нагрівального елементу з мережі 220В, за рахунок обрізання частити синусоїдального сигналу. Це дозволить чіткіше регулювати температуру та зменшити інерційність нагріву простору електропечі.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

3.2 Опис комутатора

Схема комутатора наведена на рисунку 3.2.

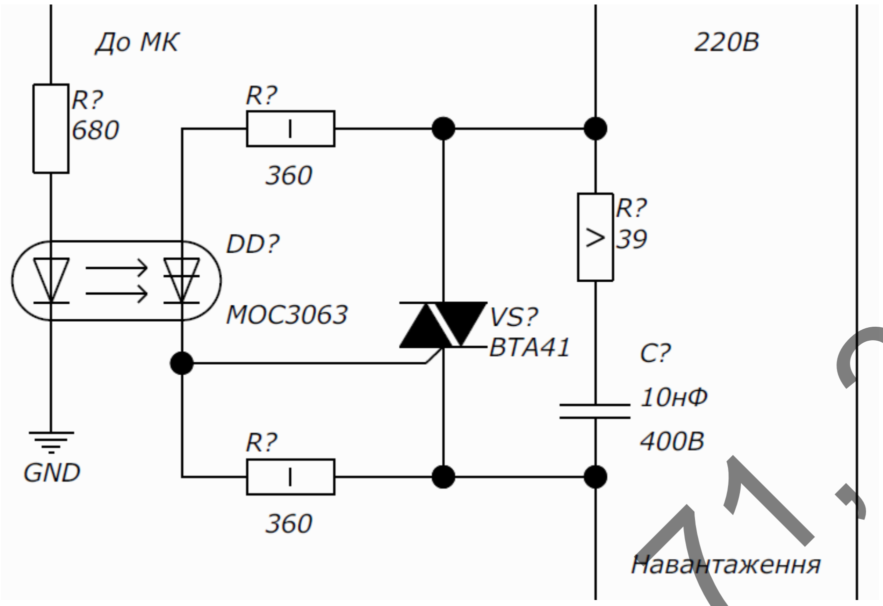


Рисунок 3.2 — Комутатор на симісторі

Підключення симістора до мікроконтролера відбувається через отпопару для створення гальванічної розв’язки між низьковольтною та високовольтною частинами схеми.

3.3 Підсилювач термопари терморегулятора

В якості підсилювача термопари обрана схема на операційному підсилювачі, що наведена на рисунку 3.3.

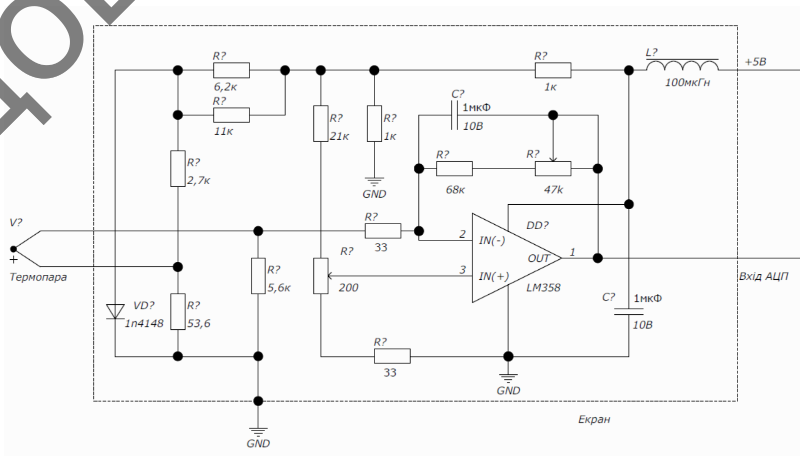


Рисунок 3.3 — Підсилювач термопари

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Підсилювач термопари є важливою частиною терморегулятора. АЦП мікроконтролера не має достатньої розрядності, а тому не може з необхідною точністю виміряти слабкий сигнал з термопари, а використання АЦП з більшою розрядністю не є доцільним через те, що це призведе до значного збільшення вартості готового виробу. Тому сигнал з термопари необхідно попередньо підсилити. Схема наведена на рисунку вище не потребую дорогих елементів при цьому може підсилити сигнал до потрібного рівня з невисоким рівнем шумів, що дозволить отримати похибку вимірювання температури, що не перевищую 1 — 2 °C. Така точність вимірювання є достатньою.

Для налаштування нульової температури та максимального значення на схемі передбачені два змінних резистори. Таке налаштування дозволяє підключати до регулятора термопару з будь-яким коефіцієнтом термо-ЕРС.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

4 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Нижче наведено обґрунтування вибору основних компонентів регулятора температури.

4.1 Симістор

На вибір розглядалися симістори типу BTA та BTB. Ці симістори виготовляються в корпусі TOP-3, вони мають однакові електричні характеристики, але на відміну від симісторів типу BTB, симістори BTA мають ізольовану від другого виводу підкладку. Тому використання симісторів типу BTB є недопустимим, адже в цьому випадку напруга з мережі 220 В буде прикладена до корпусу терморегулятора.

Основною характеристикою, на яку зверталася увага при виборі цього елементу, був максимальний допустимий струм у відкритому стані, що повинен бути не меншим за 20А.

В якості симістора обрано BTA41-600BRG, наведений на рисунку 4.1.

Рисунок 4.1 — Симістор BTA41-600BRG

Характеристики даного симістора наведені в таблиці 4.1.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Таблиця 4.1 — Характеристики симістора BTA41-600BRG

№ з/п	Параметр	Значення
1	Максимальний струм, А	41
2	Ударний струм у відкритому стані, А	400
3	Максимальна імпульсна зворотна напруга, В	600
4	Відкриваючий струм затвору, мА	50
5	Тепловий опір перехід – корпус, °С/Вт	0,9

Керування симістором здійснюється через оптопару MOC3063 (рис. 4.2), що забезпечує гальванічну розв'язку вихідної напруги від мережі живлення.

Рисунок 4.2 — Оптопара MOC3063

4.2 Мікроконтролер

Найбільш розповсюдженими мікроконтролерами є Arduino, STM32 та ESP. Оскільки в цьому проекті до мікроконтролера не висувається особливих вимог в якості мікроконтролера був обраний розповсюджений Arduino Nano на базі Atmega328.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Arduino Nano зображений на рисунку 4.3.

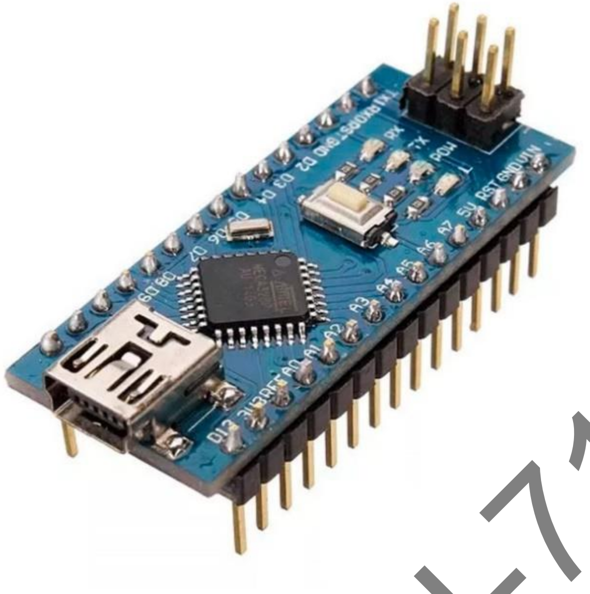


Рисунок 4.3 — Мікроконтролер Arduino Nano

Вибір саме цього мікроконтролера був обумовлений невеликими розмірами, простотою написання програмного забезпечення та невисокою собівартістю. Кількість виводів дозволяє підключити всі необхідна ограни керування та індикації, також мікроконтролер має вбудований 10 розрядний АЦП, необхідний для вимірювання температури.

Характеристики мікроконтролера приведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 — Характеристики мікроконтролера Arduino nano

№ з/п	Параметр	Значення параметру
1	Робоча напруга	5 В
2	Вхідна напруга (рекомендована)	7 … 12 В
3	Вихідна напруга (гранична)	6 … 20 В
4	Кількість цифрових входів	14
5	Кількість аналогових входів	8
6	Споживання струму	60 мА
7	Габаритні розміри	18,5 х 4,2 мм

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

4.3 LCD-дисплей

Дані температури з давача та задана температура будуть виводитися на LCD-дисплей формату 2004 (рис. 4.4). Цей дисплей має 4 строки, в кожній по 20 символів, що дозволяє виводити всю необхідну інформацію

Рисунок 4.4 — LCD-дисплей

Дисплей підключається через модуль I2C на базі мікросхеми PCF8574, це дозволяє підключати дисплей по I2C інтерфейсу використовуючи всього два проводи для передачі даних.

I2C модуль та його вигляд разом з дисплеєм зображені на рисунку 4.5.

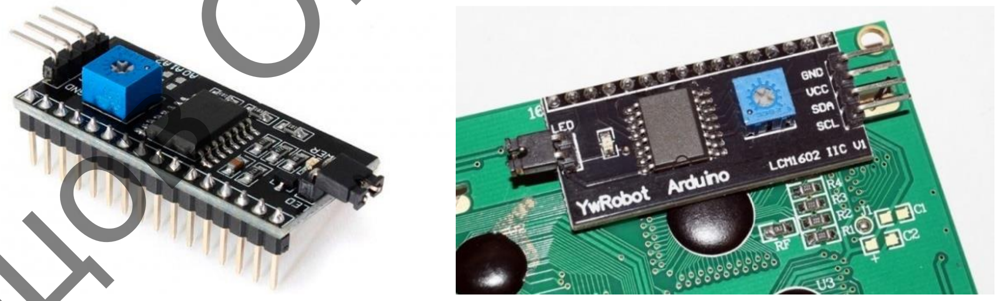


Рисунок 4.5 — I2C модуль

Характеристики LCD-дисплею наведені в таблиці 4.3

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Таблиця 4.3 — Характеристики LCD-дисплею

№ з/п	Параметр	Значення параметра
1	Напруга живлення	4,7… 5,3 В
2	Споживання струму	8… 10 мА
3	Споживання струму (підсвічування)	100… 300 мА
4	Робоча температура	–20… + 70 ℃
5	Габаритні розміри	77 х 47 х 9,7 мм

4.4 Джерело живлення

Для живлення мікросхеми та LCD-дисплею необхідне джерело живлення з напругою 5 В. Загальний струм споживання при цьому складатиме 400 мА. Мінімальна потужність джерела живлення розраховується за формулою

$$P = I \cdot U = 5 \cdot 0{,}4 = 2\ \text{Вт}, \qquad (4.1)$$

де P — потужність,

I — струм,

U — напруга.

В якості джерела живлення був обраний лінійний блок живлення, схема якого наведена на рисунку 4.6.

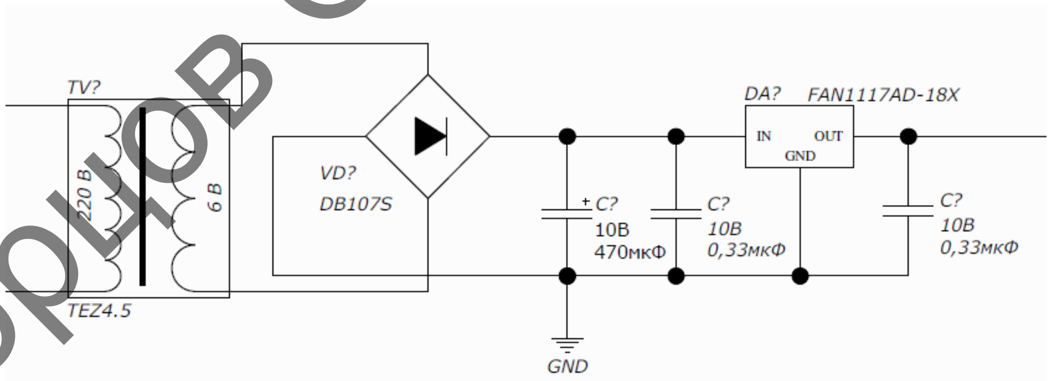


Рисунок 4.6 — Схема джерела живлення

Перевагою цієї схеми є надійність та невисокий низький рівень високочастотних завад на виході, які є критичними для підсилювача термопари.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Джерело живлення побудоване на основі мережевого трансформатора TEZ4.5/D230/6-6V (рис. 4.7) з потужністю 4,5 Вт та вихідною напругою 6 В.

Рисунок 4.7 — Трансформатор TEZ4.5/D230/6-6V

Напруга з виходу трансформатора випрямляється діодним мостом DB107S та стабілізується лінійним стабілізатором FAN1117AD-18X до напруги 5 В.

Діодний міст та лінійний стабілізатор зображені на рисунках 4.8 та 4.9 відповідно.

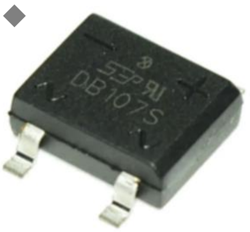


Рисунок 4.8 — Діодний міст DB107S

Рисунок 4.9 — Лінійний стабілізатор FAN1117AD-18X

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Для згладжування пульсацій на виході діодного моста встановлюється електролітичний конденсатор на 470 мкФ в SMD виконанні (рис.4.10).

Рисунок 4.10 — Згладжуючий конденсатор джерела живлення

4.5 Охолодження

Оскільки через комутуючий елемент під час його роботи будуть протікати великі струми він буде нагріватися. Тому, щоб не допускати його перегріву розміщено пасивне охолодження у вигляді радіатору.

Для забезпечення вихідної потужності регулятора в 4 кВт через симістор повинен протікати струм близько 20 А.

Як видно з графіка (рис. 4.11), при протіканні струму в 20 А через симістор його температура не перевищує 110 °С.

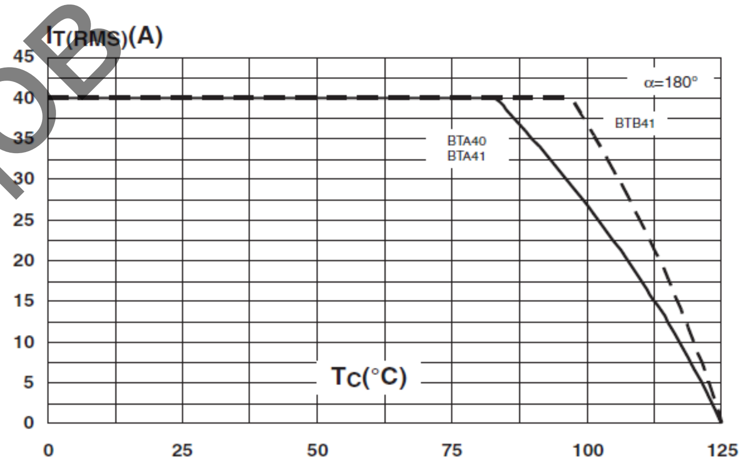


Рисунок 4.11 — Залежність струм від температури

Скворцов О.Ю. РІ-71, 2021

При цьому на симісторі виділятиметься потужність, що складає P = 20 Вт (рис. 4.12).

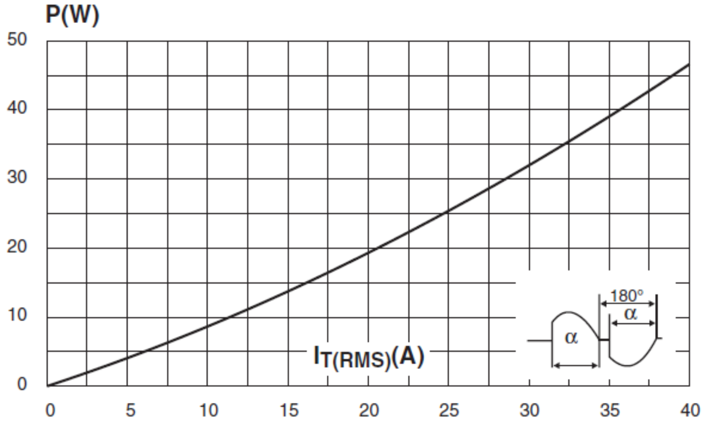


Рисунок 4.12 — Залежність потужності, що виділяється на симісторі від струму

Тепловий опір переходу кристал-корпус складає Q_1 = 0,9 °C/Вт. Симістор монтується на радіатор з використанням термопасти при цьому тепловий опір складатиме Q_2 = 0,5 °C/Вт.

Тепловий опір радіатора розраховується за наступною формулою

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{P} - Q_1 - Q_2 = \frac{(110 - 40)}{20} - 0{,}9 - 0{,}5 = 2{,}1, \qquad (4.2)$$

де Q — тепловий опір радіатора,

T_1 — максимальна температура симістора,

T_2 — температура навколишнього середовища, 40 °C.

Тепловий опір радіатора складатиме 2,1 °C/Вт, а його площа повинна бути не менше 500 см^2.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

4.6 Енкодер

Виставлення заданої температури проводиться завдяки енкодеру PEC11R, що дозволяє фіксувати обертання в обох напрямках та натискання завдяки вбудованій кнопці (рисунок 4.13).

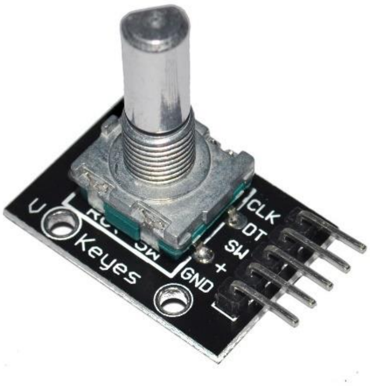


Рисунок 4.13 — Енкодер PEC11R

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

5 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОЄКТУВАННЯ

5.1 Електрична схема

Проектування друкованого вузла велося в програмному забезпеченні Altium Designer. В ході проектування були розроблені бібліотека схемних позначень та бібліотека друкованих плат, в якій для кожного компонента були створені контактні площинки та посадкові місця відповідно до даташитів, а також розроблені 3D моделі.

Схема електрична принципова терморегулятора наведена на рисунку 5.1. Кресленик електричної схеми додається.

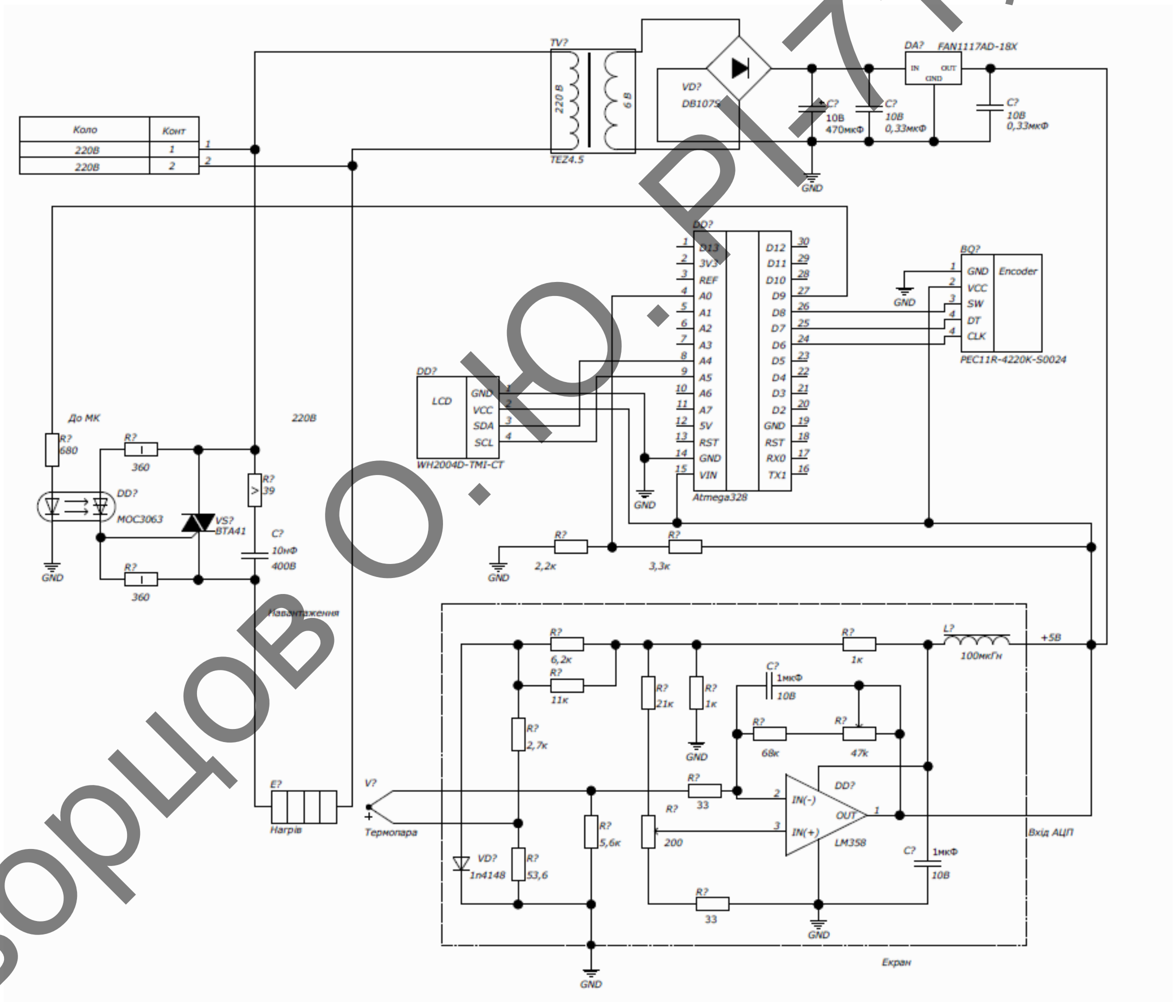


Рисунок 5.1 — Схема електрична дипломного проєкту

Скворцов О.Ю. РІ-71, 2021

5.2 Друкована плата

5.2.1 Вибір матеріалу плати

Матеріал плати обраний двосторонній склотекстоліт FR 4 1,5. 35x35. Із за наявності компонентів поверхневого монтажу обраний 4 клас точності. Плату виготовляти комбінованим позитивним методом, тобто спочатку витравляються провідники, а потім металізуються отвори.

5.2.2 Площа компонентів

Відповідно до даташитів були визначені розміри кожного елемента та розрахована загальна площа для визначення розмірів друкованої плати. Розміри компонентів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Розміри компонентів

№	Компонент	Довжина, мм	Ширина, мм	Площа од., мм^2	Кіл.	Площа, мм^2
1	Arduino nano	46	19	874	1	874
2	BTA41-600BRG	16	5,5	88	1	88
3	LM358ADT	7	6	42	1	41
4	MOC3063	12	10	120	1	120
5	TEZ4.5/D230/6-6V	44	37	1628	1	1628
6	DB107S	12	10	120	1	120
7	FAN1117AD-18X	12	7,5	90	1	90
8	Діод 1n4148	5	2	10	1	10
9	Індуктивність 100 мкГн	9	8	72	1	72
10	Конденсатор SMD1206	5,2	2,6	14,6	4	58,4
11	Конденсатор ел. SMD	12	10	120	1	120
12	Конденсатор керамічний	11	5,5	60,5	1	60,5
13	Резистор 5 Вт	41	11	451	1	451
14	Резистор 1 Вт	20	5,5	110	2	220
15	Резистор SMD0805	3	2	6	14	84
16	Резистор змінний	10	6	60	2	120

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Загальна площа всіх компонентів складає 4200 мм^2.

Плата двостороння, компоненти кріпляться лише з одного боку, тип збірки — 1. Оскільки наявні компоненти як поверхневого монтажу, так і монтовані в отвори клас плати — С.

Кріплення компонентів на платі показано на рисунку 5.2.

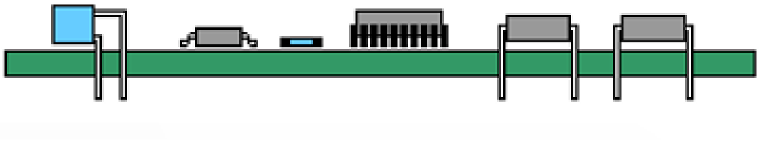


Рисунок 5.2 — Кріплення компонентів на платі

Енкодер та LCD-дисплей будуть розміщуються на корпусі терморегулятора та під’єднуються за допомогою проводів. Ширина корпусу визначається шириною LCD-дисплею, що встановлюватиметься на лицьовій панелі, і складає 98 мм.

Оскільки в схемі наявні високовольтна та низьковольтна частини, між якими повинен бути достатній проміжок, а також силові елементи, які будуть нагріватися, розміри плати обрані з запасом та складають 100 мм на 160 мм, для кращого охолодження.

5.2.3 Розрахунок ширини провідників та зазорів

Вихідні дані для розрахунків ширини провідників наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Вихідні дані для розрахунків ширини провідників ДП

№ з/п	Тип лінії	Напруга, В	Струм, А
1	Силова 1	220	20
2	Силова 2	220	0,1
3	Живлення 5В	5	0,4
4	Сигнальна	5	0,15

Скворцов О. Ю. РІ-71. 2021

Всі розрахунки проводилися в Mathcad, ширина для провідників розраховувалися за наступною формулою

$$w = \frac{I_{max}}{h_s \cdot j_s}, \quad (5.1)$$

де w — ширина провідника,

h_s — товщина фольги, $35 \cdot 10^{-3}$ мм,

j_s — допустима щільність струму, $20\ \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$.

Результати розрахунків наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Результати розрахунків ширини проваідників

№ з/п	Тип лінії	Ширина провідника в, мм
1	Силова 1	3, додаткове шунтування провідником не менше 3 мм^2
2	Силова 2	0,4
3	Живлення 5В	0,4
4	Сигнальна	0,35

Для провідників з напругою 220 В мінімальний зазор складає 1 мм, для провідників з напругою 5 В — 0,2 мм.

Розміри перехідних отворів розраховувались відносно товщини склотекстоліту

$$d_h = h_t \cdot 0{,}33 = 0{,}5 \text{ мм},$$

$$d_m = d_h \cdot 1{,}7 = 0{,}85 \text{мм},$$

де h_t — товщина склотекстоліту, 1,5мм,

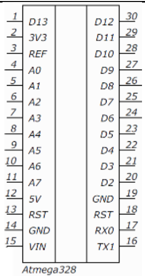
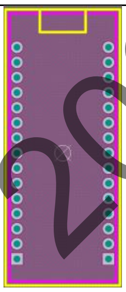
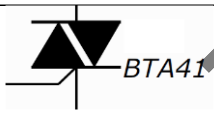
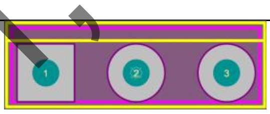
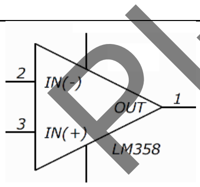
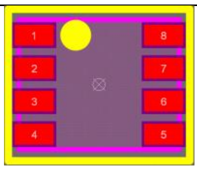
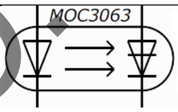
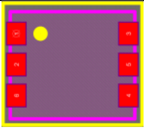
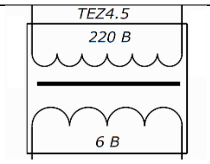
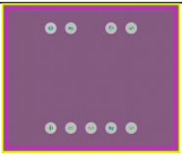
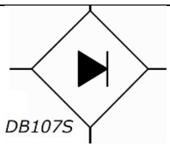
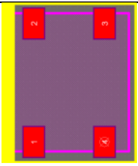
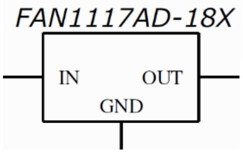
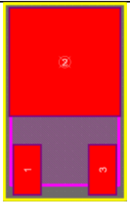
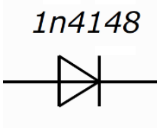
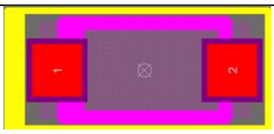
d_h — діаметр перехідного отвору,

d_m — діаметр металізації перехідного отвору.

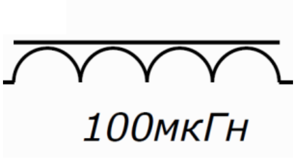
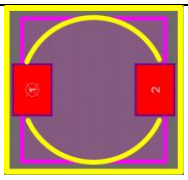
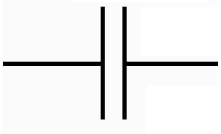
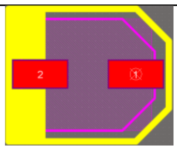
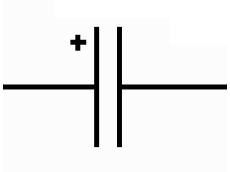
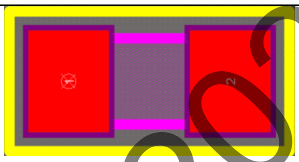
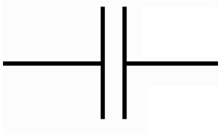
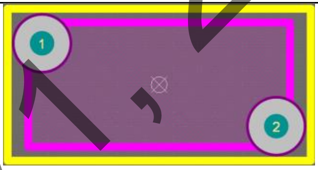
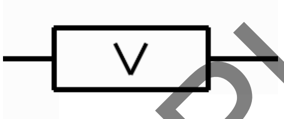
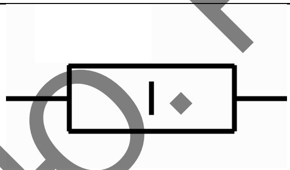
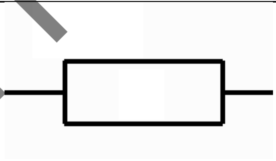
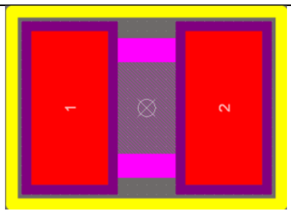
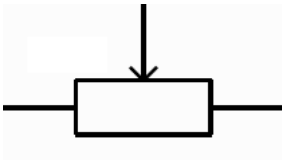
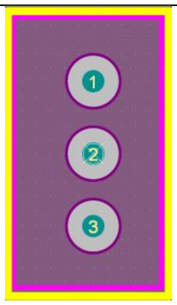
Скворцов О.Ю. РІ-71, 2021

5.3 Розробка плати та трасування

В середовищі Altium Designer була розроблена бібліотека посадкових місць для кожного елемента, були використані дані рекомендовані з даташитів.

№	Назва компонента	Зображення схематичного позначення	Зображення посадкового місця
1	Arduino nano		
2	BTA41-600BRG		
3	LM358ADT		
4	MOC3063		
5	TEZ4.5/D230/6-6V		
6	DB107S		
7	FAN1117AD-18X		
8	Діод 1n4148		

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

9	Індуктивність 100 мкГн		
10	Конденсатор електролітичний SMD		
11	Конденсатор SMD1206		
12	Конденсатор керамічний		
13	Резистор 5 Вт		
14	Резистор 1 Вт		
15	Резистор SMD0805		
16	Резистор змінний		

Скворцов О.Ю. РІ-71, 2021

Після створення бібліотеки посадкових місць, елементи були розташовані на платі та протрасовані відповідно до схеми електричної принципової. Результат трасування наведено на рисунку 5.3.

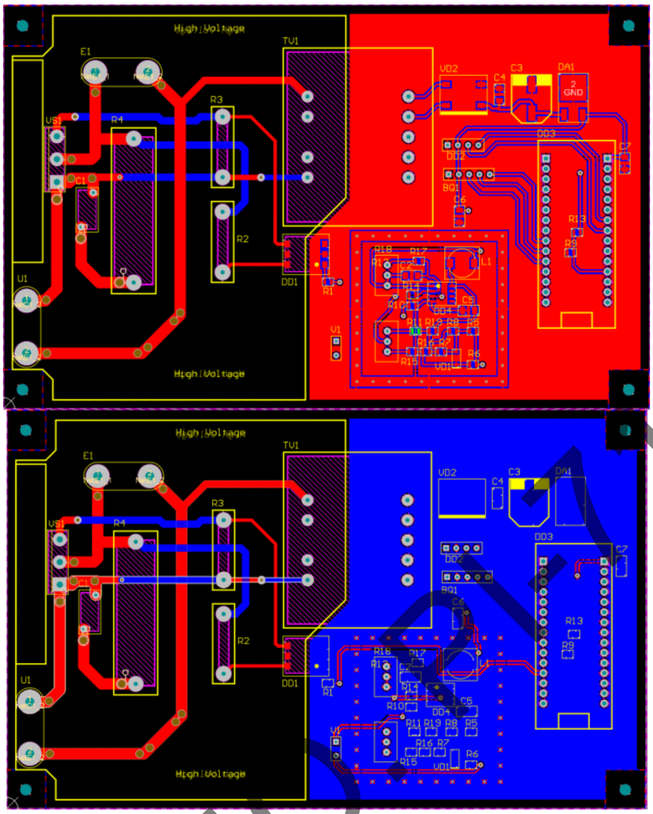


Рисунок 5.3 — Результат трасування

Плата двостороння, зображення плати по шарах наведено на рисунку 5.4.

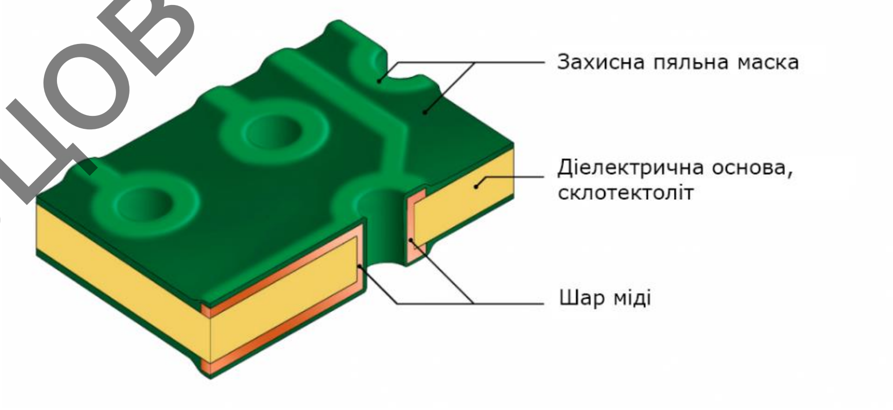


Рисунок 5.4 — Двостороння друкована плата

Скворцов О. Ю. 1, 2021

Також в була

3D модель друкованої плати, створена в середовищі Altium, наведена на рисунку 5.5.

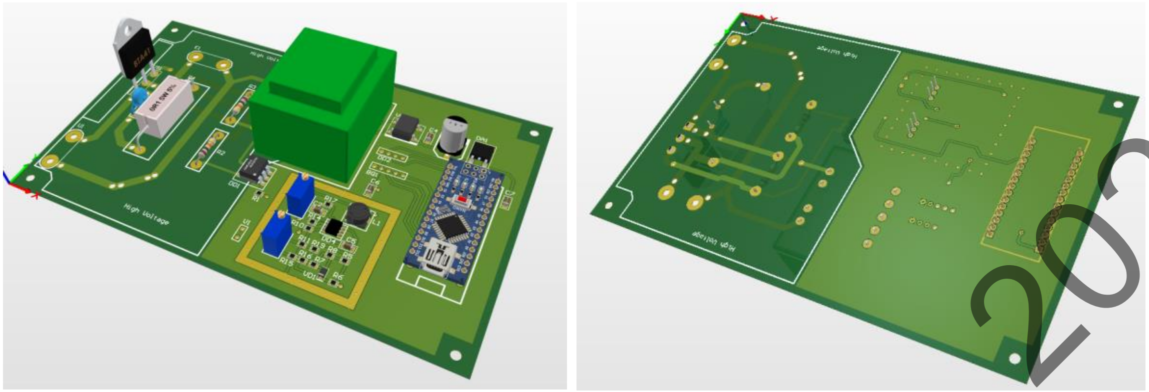


Рисунок 5.5 — 3D модель друкованої плати

Креслeники друкованої плати додаються

5.4 Корпус

Після розробки друкованої плати, за створеними креслениками в середовищі SolidWorks були розроблені моделі корпусу з урахуванням всіх необхідних вимог.

Корпус виготовлений з листового металу товщиною 1 мм за технологією згинання. Основна частина корпусу, до якої кріпляться всі компоненти терморегулятора виглядає наступним чином (рис. 5.6).

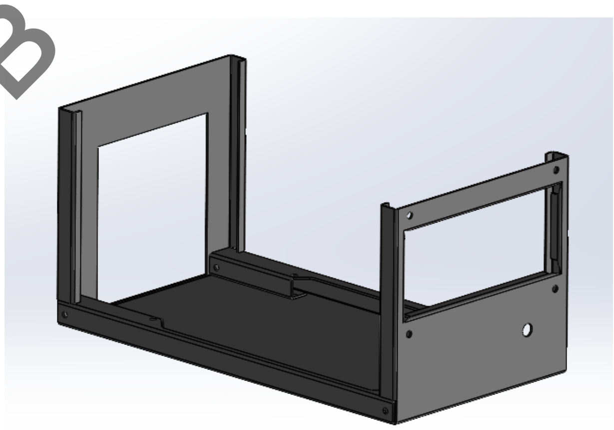


Рисунок 5.6 — Корпус терморегулятора

Скворцов О.Ю. РІ-71, 2021

Розгортка для цієї частини показана на рисунку 5.7.

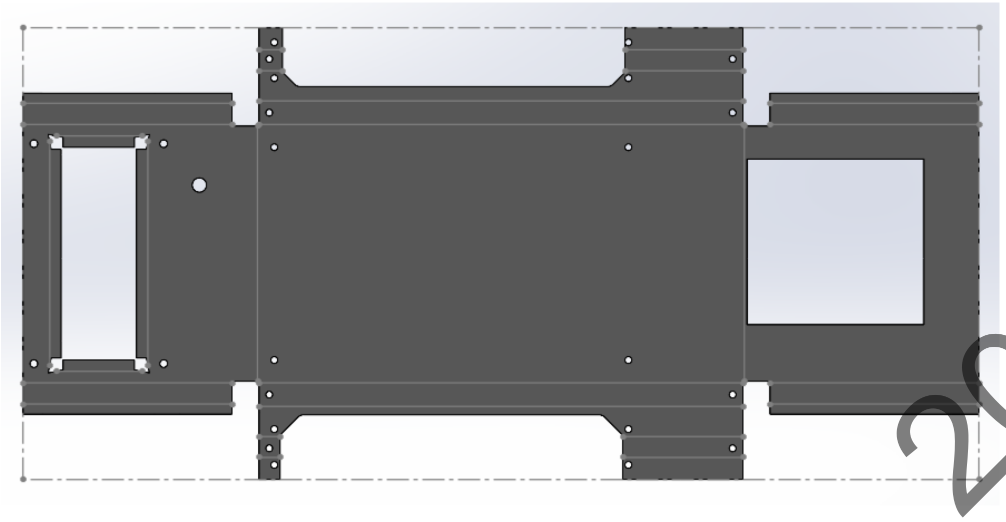


Рисунок 5.7 — Розгортка корпусу терморегулятора

Плата кріпиться до корпусу за допомогою чотирьох гвинтів М3, як показано на рисунку 5.8.

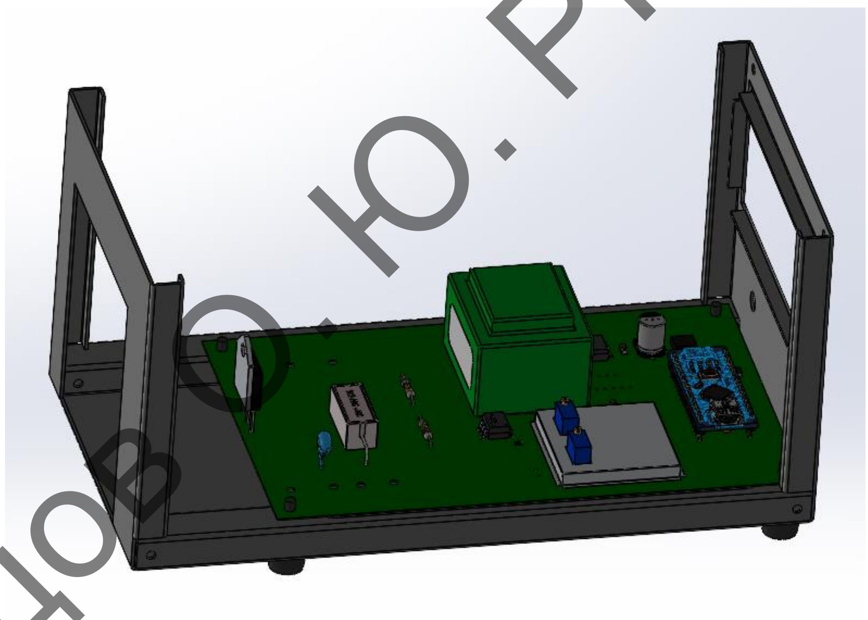


Рисунок 5.8 — Кріплення плати до корпусу

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

На лицьовій панелі встановлюється дисплей та енкодер, які з'єднуються з друкованою платою за допомогою проводів, а ззаду є проріз для виводу радіатора (рис. 5.9)

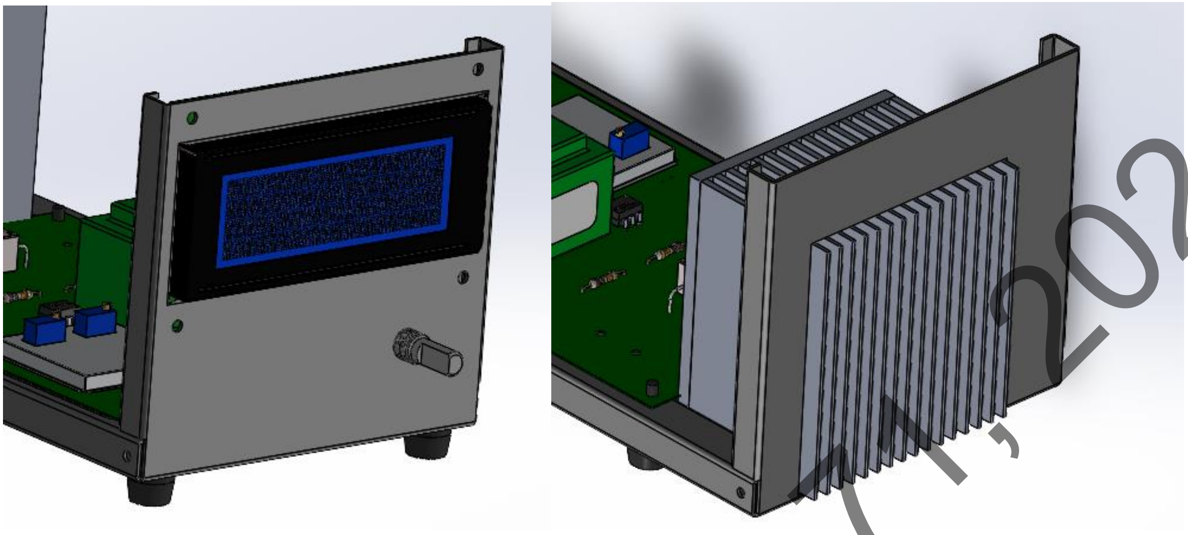


Рисунок 5.9 — Кріплення органів керування та охолодження

Для нормальної роботи терморегулятора важливим є забезпечення завадостійкості. Оскільки сигнал з термопари попередньо підсилюється за допомогою підсилювача, електромагнітні завади створені трансформатором та зовнішні завади створюють значний вплив на вихідний сигнал, тому що вони також підсилюються. Це призводить до похибки вимірювання температури в 10 – 20°C. Щоб цього уникнути необхідно екранувати підсилювач. Екран виготовляється з фольги товщиною 0,1 мм методом згинання та припаюється на друковану плату. Екран має отвори для виведення змінних резисторів.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Сам екран та спосіб його встановлення показані на рисунку 5.10 та 5.11.

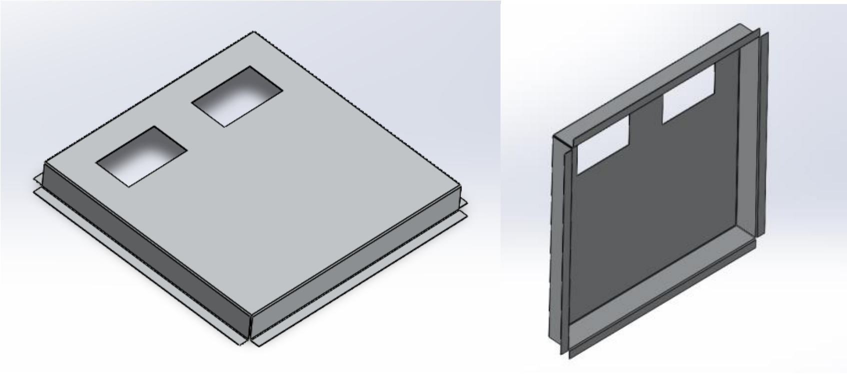


Рисунок 5.10 — Екран

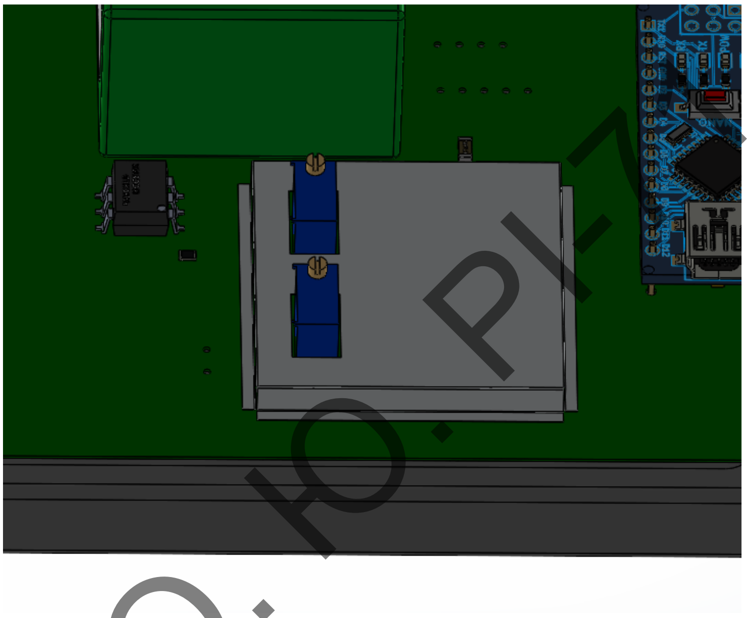


Рисунок 5.11 — Встановлення екрану

Провід підключення термопари екранований. Останній та екран під'єднані до «землі».

Кришка терморегулятора також виготовляється з листового металу та кріпиться до корпусу чотирма гвинтами М3. В кришці корпусу з боків передбачені отвори для можливості кріплення терморегулятора на кронштейні.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Терморегулятор з встановленою кришкою показаний на рисунку 5.12.

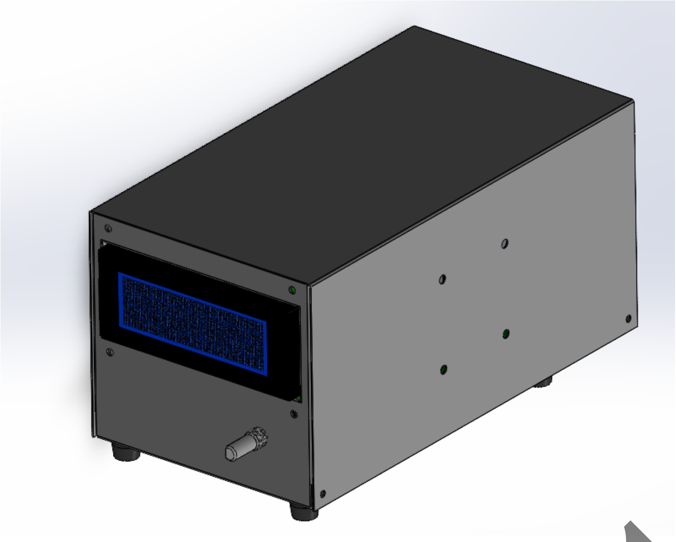


Рисунок 5.12 — Терморегулятор з встановленою кришкою

Також для встановлення терморегулятора на вертикальні поверхні передбачені чотири ніжки, що кріпляться знизу (рис. 5.13).

Рисунок 5.13 — Ніжки для встановлення на вертикальну поверхню

Креслення корпусу, кришки, екрану та збірки додаються.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

6 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для написання програмного забезпечення для терморегулятора було обране середовище Visual Studio Code та мова програмування C++, з причини наявності великої кількості бібліотек та зручності їх підключення, простоти написання коду та широкого функціоналу даного середовища.

Основною задачею для цього програмного забезпечення, є перевірка працездатності всіх елементів терморегулятора, тому в його функціонал повинне входити наступне:

- виведення на дисплей поточного значення температури та заданої температури
- вимірювання температури
- зчитування значення з енкодера
- встановлення температури відповідно по значень енкодера
- керування комутатором в ключовому режимі, тобто вмикання його при температурі нижче заданої температури, та вимикання при вищій температурі

Нижче описана програма для терморегулятора.

6.1 Підключення бібліотек

Для роботи програми були підключені бібліотеки для керування LCD-дисплеєм LiquidCrystal_I2C.h та бібліотека для роботи з енкодером GyverEncoder.h. За підключення цих бібліотек відповідають наступні рядки коду.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <GyverEncoder.h>
```

Оскільки дисплей підключається за шиною даних I^2C, необхідно підключити бібліотеку Wire.h. Також була підключена бібліотека TimerOne.h, яка

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

дозволяє використовувати переривання за таймером які необхідні для неперервного опитування енкодера.

Підключення цих бібліотек наведено нижче

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <GyverEncoder.h>
```

6.2 Робота з LCD-дисплеєм

Для використання дисплея перш за все створюється об’єкт класу LiquidCrystal_I2C, для ініціалізації якого необхідно вказати адресу дисплея (в даному випадку це 0x27), кількість стовбців та рядків символів.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
```

Потім необхідно ініціалізувати створений об’єкт в функції setup за допомогою функції init(). Також підключити підсвітку backlight() та очистити дисплей clear().

```
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
```

Текст виводиться на дисплей наступним чином. Спочатку встановлюється курсор в потрібне місце дисплея функцією setCursor(col, row), де col і row номер стовпця та рядка відповідно, потім викликається функція print(str), яка виводить строку str.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Виведений текст матиме наступну структуру (рис. 6.1)

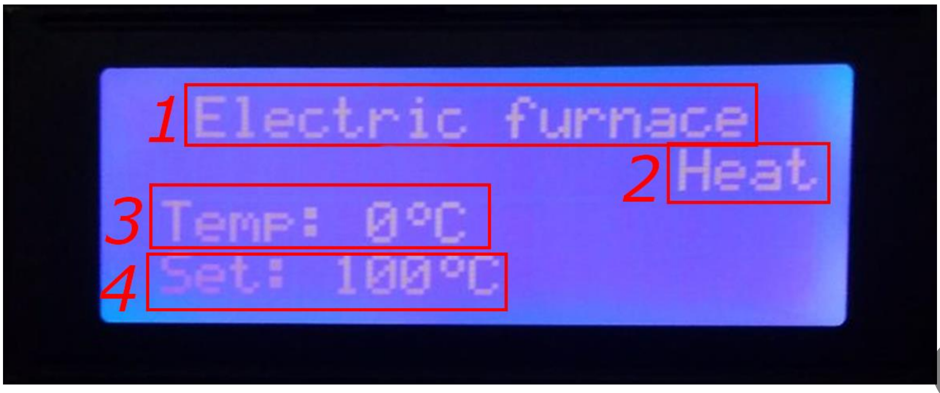


Рисунок 6.1 — Структура тексту на дисплеї

1 — назва приладу;

2 — індикатор нагріву, текст в цьому полі може мати значення «Heat» та «No heat»;

3 — показання з термопари;

4 — встановлена температура.

При переході в режим встановлення температури надпис «Set» починає блимати змінюючи свій вигляд як показано на рисунку 6.2.

Рисунок 6.2 — Режим встановлення температури

Оскільки інвертовані символи та знак градусу не є стандартними символами, їх необхідно створити. Для використовується функція createChar(addr, symb), де addr — це адреса в пам’яті дисплея, а symb — символ, що записується. Кожний символ на дисплеї має п’ять пікселів в ширину та вісім в висоту, тому він записується у вигляді масиву з восьми байтів

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
byte degree[8] = {
  B00110,
  B01001,
  B01001,
  B00110,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000
};
```

Так виглядає масив для знаку градуса. Таким же чином створюються всі інші символи та записуються в пам’ять дисплея

```
  lcd.createChar(0, degree);
  lcd.createChar(1, S);
  lcd.createChar(2, e);
  lcd.createChar(3, t);
```

Виведення таких символів здійснюється функцією write(addr).

```
  lcd.write((byte) 1);
  lcd.write((byte) 2);
  lcd.write((byte) 3);
```

Для виведення одразу всієї інформації була створена функція displayUpdate

```
  char* title = "Electric furnace";
char* heatStateText[2] = {"No heat", "Heat"};
int heatState = 0;
void displayUpdate()
{
  if(tempSet)
  {
    indicationState = !indicationState;
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
    }
    else
    {
      indicationState = false;
    }
    lcd.setCursor((20 - strlen(title)) / 2, 0);
    lcd.print(title);

    lcd.setCursor((20 - strlen(heatStateText[heatState])), 1);
    lcd.print(heatStateText[heatState]);
    lcd.setCursor(1, 2);
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.print(currentTemp);
    lcd.write((byte) 0);
    lcd.print("C   ");
    lcd.setCursor(1, 3);
    if(!indicationState)
    {
      lcd.print("Set: ");
    }
    else
    {
      lcd.write((byte) 1);
      lcd.write((byte) 2);
      lcd.write((byte) 3);
      lcd.print(": ");
    }
    lcd.print(targetTemp);
    lcd.write((byte) 0);
    lcd.print("C   ");
  }
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

6.3 Робота з енкодером

Для роботи з енкодером створюється об'єкт класу Encoder, що приймає значення в якості аргументів номери виводів, до яких підключені виводу енкодера clk, dt та sw.

```
Encoder enc(6, 7, 8);
```

Опитування енкодера відбувається за допомогою функції tick, після виклику якої викликаються функції isClick, isLeft та isRight, що повертають бульові значення у випадку натискання чи повороту енкодера. Для неперервного опитування енкодера функція tick поміщається в функцію переривання за таймером.

Переривання за таймером підключається у функції setup

```
Timer1.initialize(1000);
Timer1.attachInterrupt(timerIsr);
```

Функція initialize приймає значення затримки між викликами переривання в мікросекундах, функція attachInerrupt приймає вказівник на функцію переривання, яка в свою чергу має наступний вигляд

```
void timerIsr() {
  enc.tick();
}
```

Для перевірки стану енкодера в функції loop розміщується наступний код

```
if(enc.isClick())
  {
    tempSet = !tempSet;
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
}
if(tempSet)
{
  if(enc.isLeft())
  {
    targetTemp--;
  }
  if(enc.isRight())
  {
    targetTemp++;
  }
}
```

При натисканні на енкодер вмикається режим встановлення температури, під час якого фіксується обертання ручки енкодера та змінюється значення встановленої температури в залежності від напряму обертання.

6.4 Зчитування температури

Вимірювання температури основане на ефекті виникнення електрорушійної сили між контактами холодного кінця термопари через різницю температур з гарячим кінцем. Напруга вимірюється аналого-цифровим перетворювачем. АЦП в Arduino має розрядність 10 бітів та опорну напругу за замовчуванням в 5В. Але для більш точних вимірювань використовується внутрішня опорна напруга, що складає 1,1 В. Встановлення опорної напруги відбувається за допомогою функції.

```
analogReference(INTERNAL);
```

Для зчитування значень з аналогових виходів використовується функція analogRead(pin), яка приймає в якості аргументу номер аналогового виводу. Функція повертає значення від 0 до 1023, де 0 — відповідає 0 В, на аналоговому виводі, а 1023 — значенню опорної напруги, тобто 1,1 В. Тому для

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

отримання дійсної напруги необхідно значення, що повертає функція analogRead помножити на коефіцієнт $\frac{1,1}{1023}$. Ця операція реалізована в функції readVoltage.

```
float readVoltage( const uint8_t pin ) {
  return static_cast<float>(analogRead(pin)) / 1023.0 * 1.1;
}
```

Напруга знімається не напряму з виходу підсилювача а з дільника напруги, що складається з резисторів номіналом 2,2 кОм та 3,3 кОм. Це необхідно адже напруга з підсилювача змінюється в діапазоні від 0 до 5 В, і її треба зменшити. Для розрахунку температури необхідно поділити значення напруги на коефіцієнт термо-ЕДС та коефіцієнт підсилення. Різні термопари мають різний коефіцієнт термо-ЕДС, а значення коефіцієнта підсилення можна змінювати, тому в розрахунках доцільно використати коефіцієнт при якому максимальна температура на яку розрахований терморегулятор відповідала напрузі на дільнику 1,1В. Значення цього коефіцієнту складає 0,0019.

Функція, що переводить значення напруги на дільнику в значення температури термопари має наступний вигляд

```
float voltageToTemp( float voltage ){
  float coef = 0.0019;
  return voltage / 2.2 * 5.5 / coef;
}
```

6.5 Цикл loop

В циклі loop відбувається неперервне зчитування стану енкодера та кожні 500 мс значення температури, порівняння температури термопари з встановленою температурою та на основі їх порівняння керування комутатором, а також оновлюються дані на дисплеї. Для цього за допомогою функції millis вимірюється час в мілісекундах duration витрачений на кожну ітерацію циклу.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
unsigned long timer1 = 0;
unsigned long last = millis();
void loop() {
  unsigned long current = millis();
  unsigned duration = current - last;
  last = current;
```

Після чого ця різниця додається до змінної timer1.

```
timer1 += duration;
```

Коли значення цієї змінної стає рівне або більше 500 виконується умова, в тілі якої виконується зчитування та порівняння температури, оновлення дисплея та керування комутатором, а також від значення змінної timer1 віднімається 500.

```
if( timer1 >= 500 ) {
    timer1 -= 500;
    float currentTemp = voltageToTemp(readVoltage(A0));
    if ( currentTemp >= targetTemp ) {
      heatState = false;
      digitalWrite(9, LOW);
    }
    else {
      heatState = true;
      digitalWrite(9, HIGH);
    }
    displayUpdate();
  }
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ВИСНОВКИ

Максимальний струм навантаження запропонованої автором електричної печі становить 20А, що забезпечує більшу потужність печі порівняно із зарубіжними аналогами.

Особливості запропонованої електричної принципової терморегулятора в діапазоні регульованих температур від 0 до +1300 ℃ забезпечують підтримку температури печі з відхиленням не більше 2 ℃, що не гірше, ніж у зарубіжних аналогів.

Вибір доступних та недорогих компонентів терморегулятора забезпечує собівартість терморегулятора нижче собівартості зарубіжних аналогів.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Головенкін В. П. Положення про державну атестацію студентів НТУУ "КПІ" / В. П. Головенкін, В. Ю. Угольніков — К. : НТУУ «КПІ», 2013. — 98с.

2. ДСТУ 3008-95 Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура і правила оформлення : Чинний від 1996-01-01 — К. : Держстандарт України, 1995. — 37 с.

3. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання : чинний з 2007-07-01. — К. : Держспоживстандарт України, 2007. — 47 с.

4. Терморегулятор Terneo TPA — [Електронний ресурс] — Режим доступу http://www.terneo.ua/files/terneo_tpa_ua_va16_1804264.pdf

5. Терморегулятор Terneo DigiTOP TK-4K — [Електронний ресурс] — Режим доступу https://digitop.ua/wp-content/uploads/2020/04/instr_tk_4k-1.pdf

6. Терморегулятор Terneo DigiTOP CRT-05— [Електронний ресурс] — Режим доступу https://fif.by/data/files/item_153.by.pdf

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Додаток А

Технічне завдання

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Погоджено	Затверджено
Дипломний керівник	Завідувач кафедри КіВРА
Тарабаров С.Б.	Нелін Є.А.
___Тарабаров С.Б.______	___Нелін Є.А.__________
(підпис) (розшифровка підпису)	(підпис) (розшифровка підпису)

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Технічне завдання (копія)

до дипломного проекту

«Терморегулятор для електричної печі»

Київ — 2021 року

1 НАЗВА ТА ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Терморегулятор для електричної печі

Підставою для виконання є завдання видане кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури від «12» квітня 2021 р.

2 ВИКОНАВЦІ

Дипломний керівник — доц., к.т.н. Тарабаров Сергій Борисович.

Виконавець — студент групи РІ-71 Скворцов Олександр Юрійович

3 МЕТА ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Метою виконання дипломного проекту є розробка терморегулятора електричної печі, призначеного для роботи з великим різноманіттям нагрівальних елементів та давачів температури.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1 Призначення

Діапазон напруги живлення 200 – 240 В;

50 – 60 Гц, потужність нагрівального елемента до 4кВт;

Діапазон вимірюваних температур 0 — 1300°С

Можливість програмного керування

4.2 Вимоги життєздатності та стійкості

Зберігання та експлуатації в приміщеннях категорії 4 і роботи як в умовах категорії 4. Механічні удари при експлуатації (пікове ударне прискорення 98 м/с2 або 10 g, тривалість удару 16 мс, число ударів в кожному напрямку 1000), при транспортуванні (пікове ударне прискорення 250 м/с2 або 25 g, трива-лість удару 16 мс, число ударів в кожному напрямку 4000). Понижена температура, робоча –10 °С, гранична –40°С, час витримки при цих температурах 2 год. Підвищена температура, робоча +50 °С, гранична +55°С, час витримки при цих температурах 2 год.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

4.3 Вимоги до конструкції

Прилад з можливістю встановлення на вертикальні та горизонтальні поверхні.

5 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ ТА МАРКУВАННЯ

Вимоги до маркування не висуваються. Консервація не передбачена. Упаковка повинна бути призначена для транспортування та вміщати технічну документацію та інструкцію на прилад.

6 ВИМОГИ ДО РОРЗОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація оформлюється згідно ДСТУ 3008:2015.

Конструкторська документація повинна містити:

1. Пояснювальна записка
2. Схема структурна
3. Схема електрична принципова
4. Кресленик друкованої плати
5. Кресленик друкованого вузла
6. Кресленик корпусу
7. Специфікація

6.1 Орієнтовний зміст дипломного проекту

- аналіз технічного завдання;
- огляд існуючих рішень;
- розробка схемотехнічного рішення;
- проєктування приладу ;
- розробка програмного забезпечення.

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Додаток Б

Лістинг до програмного забезпечення

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <GyverEncoder.h>
#include <TimerOne.h>

byte degree[8] = {
  B00110,
  B01001,
  B01001,
  B00110,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000
};
byte S[8] = {
  B10000,
  B01111,
  B01111,
  B10001,
  B11110,
  B11110,
  B00001,
  B11111
};
byte e[8] = {
  B11111,
  B11111,
  B10001,
  B01110,
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата	РІ-71.421453.001. ПЗ

```
  B00000,
  B01111,
  B10001,
  B11111
};
byte t[8] = {
  B10111,
  B10111,
  B00011,
  B10111,
  B10111,
  B10110,
  B11001,
  B11111
};

Encoder enc(6, 7, 8);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

char* title = "Electric furnace";

char* heatStateText[2] = {"No heat", "Heat"};
int heatState = 0;

bool tempSet = false;
bool indicationState = false;

uint32_t currentTemp = 110;
uint32_t targetTemp = 100;

void displayUpdate()
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
{
  if(tempSet)
  {
    indicationState = !indicationState;
  }
  else
  {
    indicationState = false;
  }
  lcd.setCursor((20 - strlen(title)) / 2, 0);
  lcd.print(title);

  lcd.setCursor((20 - strlen(heatStateText[heatState])), 1);
  lcd.print(heatStateText[heatState]);

  lcd.setCursor(1, 2);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(currentTemp);
  lcd.write((byte) 0);
  lcd.print("C   ");

  lcd.setCursor(1, 3);
  if(!indicationState)
  {
    lcd.print("Set: ");
  }
  else
  {
    lcd.write((byte) 1);
    lcd.write((byte) 2);
    lcd.write((byte) 3);
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
    lcd.print(": ");
  }
  lcd.print(targetTemp);
  lcd.write((byte) 0);
  lcd.print("C   ");
}

void timerIsr() {
  enc.tick();
}

float readVoltage(const uint8_t pin)
{
  return static_cast<float>(analogRead(pin)) / 1023.0 * 1.1;
}

float voltageToTemp(float voltage)
{
  float coef = 0.0019;
  return voltage / 2.2 * 5.5 / coef;
}

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();

  lcd.createChar(0, degree);
  lcd.createChar(1, S);
  lcd.createChar(2, e);
  lcd.createChar(3, t);
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
  Timer1.initialize(1000);
  Timer1.attachInterrupt(timerIsr);

  analogReference(INTERNAL);
}

unsigned long timer1 = 0;

unsigned long last = millis();

void loop() {
  unsigned long current = millis();
  unsigned duration = current - last;
  last = current;

  if(enc.isClick())
  {
    tempSet = !tempSet;
  }
  if(tempSet)
  {
    if(enc.isLeft())
    {
      targetTemp--;
    }
    if(enc.isRight())
    {
      targetTemp++;
    }
  }
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

```
  timer1 += duration;

  if(timer1 >= 500)
  {
    timer1 -= 500;
    float currentTemp = voltageToTemp(readVoltage(A0));
    if(currentTemp >= targetTemp)
    {
      heatState = false;
      digitalWrite(9, LOW);
    }
    else
    {
      heatState = true;
      digitalWrite(9, HIGH);
    }
    displayUpdate();
  }
}
```

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Додаток В

Перелік елементів

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Позн	Найменування	Кіл.	Примітки
	Конденсатори		
C1	CY1Y-1N 10 нФ, 400 В	1	
C2, C5, C6	C0603C105K4RACTU 1 мкФ, 10 В	3	
C3	CA010M0470REF-0810 470 мкФ 10В	1	
C4,C7	CL31B334KBFNNNE 0,33 мкФ 10 В	2	
BQ1	Енкодер PEC11R-4220K-S0024	1	
	Мікросхеми		
DD1	MOC3063	1	
DD2	WH2004D-TMI-CT	1	
DD3	Atmega328	1	
DD4	LM358	1	
DA1	Лінійний стабілізатор FAN1117AD-18X	1	
F1	Запобіжник ZGSS-25A	1	
L1	Котушка індуктивності SRR7032-101M	1	
	Резистори		
R1	RC0805FR-07680RL 680 Ом	1	
R2, R3	KNPA1W-360R 360 Ом 1 Вт	2	
R4	AX5W-39R 39 Ом 5 Вт	1	
R5	RES 0805 2,7 кОм	1	
R6	RES 0805 53,6 Ом	1	
R7	RES 0805 6,2 кОм	1	
R8	RES 0805 11 кОм	1	

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РІ71.460664.001 ПЕ

Розробив	Скворцов О.Ю.			Терморегулятор електричної печі	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Тарабаров С. Б.					1	2
Реценз.					КПІ. ім. Ігоря Сікорського, РТФ		
Н.Контр.	Попсуй В.І.						
Затверд.	Тарабаров С. Б.						

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Позн	Найменування	Кіл.	Примітки
R9	RES 0805 2,2 кОм	1	
R10	RES 0805 5,6 кОм	1	
R11	RES 0805 21 кОм	1	
R12	3296W-1-201LF 200 Ом	1	
R13	RES 0805 3,3 кОм	1	
R14	RES 0805 430 Ом	1	
R15	RES 0805 33 Ом	1	
R16, R19	RES 0805 1 кОм	2	
R17	RES 0805 68 кОм	1	
R18	3296W-1-473LF 47 ком	1	
TV1	Трансформатор TEZ4.5/D230/6-6V	1	
VD1	Діод 1n4448W	1	
VD2	Діодний міст DB107S	1	

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021

Додаток Г

Специфікація на прилад

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кол.	Прим
				Документація		
А2			РІ71.460664.001 Е3	Схема електрична принципова		
А2			РІ71.421453.002 СК	Складальний кресленик		
А4			РІ71.460664.001 ПЕ	Перелік елементів		
				Складальні одиниці		
		1	РІ-71.421453.002	Терморегулятор	1	
				Деталі		
		2	РІ71.758726.001	Друкована плата	1	
		3	РІ71.732184.001	Корпус	1	
		4	РІ71.732184.002	Кришка корпусу	1	
		5	РІ71.732184.003	Екран	1	
				Інші вироби		
		6		Дисплей WH2004D-TMI-CT	1	
		7		Енкодер PEC11R-4220K-S0024	1	
		8		Радіатор TOP-3 75 x 70 x 50 мм	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	**РІ71.421453.001**
Розробив		Скворцов О.Ю.			Терморегулятор електричної печі
Перевір.		Тарабаров С. Б.			Літ. / Арк. 1 / Аркушів 1
Реценз.					КПІ. ім. Ігоря Сікорського, РТФ
Н.Контр.		Попсуй В.І.			
Затверд.		Тарабаров С. Б.			

Скворцов О. Ю. РІ-71, 2021