Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавра
(назва освітнього ступеня)

на тему: *Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням*

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РА-41
спеціальності *172 Електронні комунікації та радіотехніка*
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) *Коваль С.С.* (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) *Хвостівська Л.В.* (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) *Хвостівська Л.В.* (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) *Дунець В. Л* (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) Дозорська О.Ф. (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *радіотехнічних систем*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » 20___ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *бакалавр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *172 Електронні комунікації та радіотехніка*
(шифр і назва спеціальності)

студенту *Ковалю Святославу Сергійовичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням*

Керівник роботи *Хвостівська Лілія Володимирівна*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 20___ року № _____.

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи *напруга живлення: 220 В, внутрішні напруги живлення логічної частини : 12 В, 5 В, 3,3 В , Діапазон вимірюваних температур : – 0 °С…+120 °С*

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ, аналіз технічного завдання, розробка структурної схеми, розрахунок окремих вузлів схеми електричної принципової, вибір елементної бази, компоновка вузла, САПР, охорона праці та життєдіяльності, висновок і список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Схема структурна, схема електрична принципова, перелік елементів, креслення друкованої плати, креслення друкованого вузла, специфікація друкованого вузла.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,			
основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	*Розробка та затвердження технічного завдання*		
2	*Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних*		
	матеріалів, необхідних для виконання роботи		
3	*Розробка структурної схеми*		
4	*Розробка схеми електричної принципової приладу*		
5	*Розрахунок основних вузлів у схемі приладу*		
6	*Вибір компонентної бази*		
7	*Компоновка друкованого вузла вимірювача*		
8	*Створення допоміжної документації*		
9	*Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони*		
	праці		
10	*Нормоконтроль*		
11	*Перевірка роботи на антиплагіат*		
12	*Попередній захист КР*		
13	*Захист КР*		

Студент _____ *Коваль С.С.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Хвостівська Л.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою РТ
_____ к.т.н. Дунець В. Л.
“____”_____20_...р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням»

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Хвостівська Л.В.___
“____”_____20__р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РАс-41
Коваль С.С. _____
“____”_____20__р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “ Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням ”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № _____ від “___”_____ 20 р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Коваль Святослав Сергійович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення для даного регулятора;
- вибір компонентної бази розроблювального регулятора;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної регулятора;

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1. Частотомір повинен бути розрахований на живлення від мережі змінного струму 220В 50Гц.

4.1.2. Внутрішні напруги живлення логічної частини регулятора повинні відповідати значенням, наведеним ПЗ.

4.2. Технічні вимоги

4.2.1. Регулятор повинен відповідати вимогам стандарту, а також технічній документації на регулятори конкретного типу, затвердженій в установленому порядку.

4.2.2. Регулятор повинен забезпечувати заданий діапазон регулювання температури з моменту включення.

4.2.3. Регулятор повинен забезпечувати безперервну роботу протягом 24 годин при номінальному струмі навантаження і номінальній напрузі джерела живлення при нормальних кліматичних умовах.

4.2.4. Всі елементи регулятора повинні бути захищені від струмів короткого замикання.

4.2.5. Електрична міцність і опір ізоляції між корпусом регулятора і мережевими контактами, а також між корпусом і контактами, повинні відповідати вимогам ДСТУ 22261.

4.2.6. За механічними і кліматичними умовами експлуатаційні

регулятораповинен відповідати ДСТУ 22261 (група 4).

Граничні умови транспортування та зберігання - 5 по ДСТУ 15150. Час витримки в нормальних умовах - 24 год.

4.2.7. У комплект регулятора повинно входити: регулятор, комплект запасних частин. До комплекту докладають паспорт.

4.2.8. Напрацювання на відмову повинне бути не менше 42567 год.

4.2.9. Час відновлення після ремонту повинен бути не більше 1 год.

4.2.10. Середній термін служби повинен бути не менше 5 років. Випробування на термін служби не проводять.

4.3. Правила приймання.

4.3.1. Регулятор повинен піддаватися періодичним випробуванням.

4.3.2. При випробуваннях регулятор повинен піддаватися суцільному контролю. При невідповідності вимогам цього стандарту його повертають для усунення дефектів. Після усунення дефектів регулятор висувають на повторні випробування. Результати повторних випробувань є остаточними.

4.3.3. Періодичним випробуванням піддають не менше трьох регуляторів кожного типу, що пройшли випробування. Періодичні випробування на відповідність всім пунктам даного стандарту проводять при випуску настановних партій і періодично один раз на два роки. При отриманні незадовільних результатів випробувань з'ясовують причини браку, усувають їх і проводять повторні періодичні випробування на подвоєному числі регуляторів. Якщо при повторних періодичних випробуваннях виявлено невідповідність хоча б одного виробу вимогам цього стандарту, приймання і відвантаження частотомірів припиняють. Рішення про подальше виготовленні виробів та їх приймання беруть замовник та підприємство-виробник.

4.3.4. Випробування на надійність проводять не рідше одного разу на три роки. Вихідні дані при проведенні випробувань:

- Приймальний рівень $P\alpha = 0.95$;
- Бракувальний рівень $P\mu = 0.8$;
- Ризик виробника $\alpha = 0.1$;
- Ризик споживача $\beta = 0.2$.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема регулятора;
- електрична принципова схема регулятора;
- друкована плата регулятора;
- друкований вузол.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи, техніко-економічний аналіз	
3	Розробка структурної схеми	
4	Розрахунок основних вузлів багатофункціонального частотоміра	
5	Вибір компонентної бази для розроблюваного частотоміра;	
6	Компоновка друкованого вузла	
7	Створення допоміжної документації	
8	Спеціальна частина	
9	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	
10	Нормоконтроль	
11	Попередній захист КР	
12	Захист КР	

Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

7.1 Під час виконання дипломного проекту в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

АНОТАЦІЯ

Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням // ТНТУ, факультет ФПТ, група РА-41. // Тернопіль, 2026 р. // с.-[52], рис.-[21].

Ключові слова: мікропроцесорний регулятор, котел, віддалене керування, Wi-Fi, SMD.

В контексті дипломного проєкту було створено мікропроцесорний пристрій для регулювання роботи котла з функцією віддаленого контролю. Розробка включала створення структурної схеми та вибір сучасної компонентної бази для формування електричної принципової схеми з детальним каталогом компонентів. Було виконано проєктування двошарової друкованої плати та просторове компонування вузлів з урахуванням вимог електромагнітної сумісності та наявності високовольтних кіл. Здійснено детальні обчислення для силових елементів керування, включно з аналізом теплових режимів. Окремий розділ присвячений алгоритмам програмного забезпечення та інструментарію САПР (Altium Designer), який був застосований для конструювання пристрою. Також розділ безпеки описує заходи щодо забезпечення безпечних умов праці при монтажі та запобігання аварійним ситуаціям під час експлуатації котельного обладнання.

ABSTRACT

Microprocessor boiler controller with remote control // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Group RA-41 // Ternopil, 2026 // pp. [52], figs. [21].

Keywords: microprocessor controller, boiler, remote control, Wi-Fi, SMD.

In the context of the diploma project, a microprocessor-based device was developed to control the operation of a boiler with remote monitoring capabilities. The development included creating a block diagram and selecting modern components to assemble the E3 schematic circuit with a detailed component catalog. The design of a two-layer printed circuit board and the spatial assembly of units were carried out considering electromagnetic compatibility requirements and the presence of high-voltage circuits. Detailed calculations were performed for the power control elements, including thermal analysis. A dedicated section discusses the software algorithms and CAD tools (Altium Designer) used for device engineering. Additionally, a safety section outlines measures ensuring safe working conditions during assembly and the prevention of emergencies during boiler operation.

ЗМІСТ

Вступ.....6
1 Основна частина.....8
1.1 Аналіз технічного завдання.....8
1.2. Розробка структурної схеми мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням.....8
1.3 Проєктування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням.....10
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням.....16
1.5 Компоновка друкованого вузла мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням.....26
1.6 Розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням.....29
1.7 Висновки до розділу 1.....35
2 Спеціальна частина (САПР).....36
2.1 Обгрунтування вибору САПР.....36
2.2 Створення схеми принципової з допомогою САПР.....37
2.3 Трасування з'єднань на ДП в САПР (Altium Designer).....40
2.4 Висновки до розділу 2.....43
3 Охорона праці та безпека життєдіяльності.....43
3.1 Охорона праці при монтажі та налагодженні мікропроцесорного регулятора.....43
3.2 Безпека життєдіяльності в умовах експлуатації котельного обладнання.....46

					КСС 2.899.001 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Коваль С.С.			Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням Пояснювальна записка	Літ.	Арк. 4 / Аркушів 57
Перевір.		Хвостівська Л.В.					
Реценз.		Дозорська О.Ф.				ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41	
Н. Контр.							
Затверд.		Дунець В. Л.					

Висновки 49
Список використаних джерел.....50
Додатки

Вступ

На сьогоднішній день енергозбереження, підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та автоматизація технологічних процесів є ключовими напрямками розвитку систем теплопостачання. Автономні котельні установки, зокрема твердопаливні та комбіновані котли, вимагають точного керування складними процесами горіння та циркуляції теплоносія. Особливої актуальності це набуває через значну теплову інерційність таких систем: без застосування точної електроніки, що контролює примусову подачу повітря (вентилятори наддуву) та швидкість відбору тепла (циркуляційні насоси), неможливо досягти стабільного температурного режиму. Традиційні механічні терморегулятори не здатні забезпечити оптимальні режими спалювання палива, що призводить до зниження коефіцієнта корисної дії (ККД), утворення конденсату, сажі та значної перевитрати енергоресурсів.

Впровадження мікропроцесорної техніки дозволило якісно вирішити більшість завдань з автоматизації. Сучасні апаратні рішення здійснюють високоточний моніторинг температурних показників (включно з вимірюванням температури димових газів за допомогою високотемпературних датчиків, таких як PT100) та ефективно керують силовими агрегатами. Проте більшість класичних автономних регуляторів мають суттєвий недолік — відсутність сучасних комунікаційних інтерфейсів. Користувач змушений перебувати безпосередньо біля котельного обладнання для моніторингу його стану або зміни робочих параметрів.

Модернізація перевірених схемотехнічних рішень мікропроцесорних регуляторів шляхом інтеграції бездротових модулів зв'язку є надзвичайно актуальною і практичною задачею.

Мета і завдання проєкту. Метою даного дипломного проєкту є розробка мікропроцесорного пристрою для автоматичного регулювання робочих параметрів котла центрального опалення. В основу проєкту покладено

перевірену базову схему контролера, функціональні можливості якої суттєво розширено шляхом апаратної інтеграції модуля бездротового зв’язку Wi-Fi (ESP8266) для реалізації повноцінного віддаленого керування та моніторингу.

Об'єкт проєктування – процес автоматичного керування, контролю технологічних параметрів та дистанційного обміну даними у теплогенеруючих системах центрального опалення.

Предмет проєктування – архітектура, апаратні модулі, схемотехнічні рішення та друкований вузол мікропроцесорного регулятора роботи котла з інтегрованим модулем віддаленого доступу.

Методи дослідження. У процесі виконання проєкту застосовано методи системного аналізу для доопрацювання функціоналу базової моделі, методи теорії електричних та електронних кіл для розрахунку додаткових вузлів схеми, методи комп'ютерного моделювання та автоматизованого проєктування електронних засобів (САПР Altium Designer) для розробки топології друкованої плати.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні повного пакету конструкторської документації (схеми електричної принципової, переліку елементів тощо) на вдосконалений мікропроцесорний регулятор.

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

Завдання полягає в розробці мікропроцесорного регулятора роботи котла центрального опалення (переважно твердопаливного або комбінованого). Пристрій повинен бути надійним, зручним в експлуатації та забезпечувати високу точність підтримки заданих температурних режимів. Також необхідність реалізувати можливість безпровідного зв’язку, що дозволяє користувачеві здійснювати віддалений моніторинг стану системи та керувати нею через мережу Інтернет.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Напруга живлення пристрою – ~220 В ± 10%, 50 Гц

Внутрішні напруги живлення логічної частини – 12 В, 5 В, 3,3 В

Основний мікроконтролер – 8-розрядний типу ATmega16L

Діапазон вимірюваних температур – 0 °С…+120 °С

Точність вимірювання температури – не більше ±0,5 °С

Захист пристрою від перенапруг- наявність плавких запобіжників

Температура навколишнього середовища – +0 °С…+40 °С

Відносна вологість– до 80%.

1.2 Розробка структурної схеми мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням

Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням — це автоматизований пристрій, призначений для безперервного контролю технологічних параметрів системи опалення (зокрема температурних показників), їх обробки за заданими алгоритмами та формування керуючих впливів для виконавчих вузлів з метою оптимізації процесу спалювання

палива. Він складається з декількох ключових функціональних компонентів, кожен з яких виконує свою чітко визначену функцію для забезпечення правильної, надійної та безпечної роботи всієї системи автоматики, а також реалізації можливості бездротового моніторингу.

Схема принципова структурна мікропроцесорного регулятора котла складається з наступних блоків:

Джерело живлення. Здійснює зниження, випрямлення та фільтрацію мережевої напруги, а також забезпечує формування кількох стабільних рівнів постійної напруги (12 В, 5 В та 3,3 В), які необхідні для живлення аналогових, цифрових та бездротових каскадів пристрою.

Мікроконтролер. Виконує роль центрального обчислювального та керуючого ядра, здійснює опитування датчиків, математичне обчислення керуючих впливів, реалізацію алгоритмів захисту від аварійних режимів та загальну координацію роботи всієї периферії.

Вхідна ланка вимірювання температури. Забезпечує початкову обробку, фільтрацію та підсилення сигналів від первинних вимірювальних перетворювачів перед їх передачею на вбудований аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера.

Блок бездротового зв'язку (Wi-Fi модуль). Відповідає за організацію віддаленого доступу, підключення пристрою до локальної мережі бездротового зв'язку, передачу телеметричної інформації на сервер або смартфон користувача та прийом дистанційних команд конфігурування через мережу Інтернет.

Блок відображення інформації. Рідкокристалічний дисплей, призначений для візуалізації поточного стану котла, виміряних значень температур, поточного часу та навігації по меню налаштувань пристрою.

Годинник реального часу. Забезпечує безперервний і точний відлік часу незалежно від стану основного живлення системи, що є необхідним для автоматичного керування роботою котла за добовими чи тижневими програмами користувача.

Блок виконавчих механізмів. Силова вихідна ланка, що складається зі спеціалізованих драйверів, електромагнітних реле та симісторних ключів, які забезпечують безпосереднє комутування зовнішніх агрегатів відповідно до логіки управління.

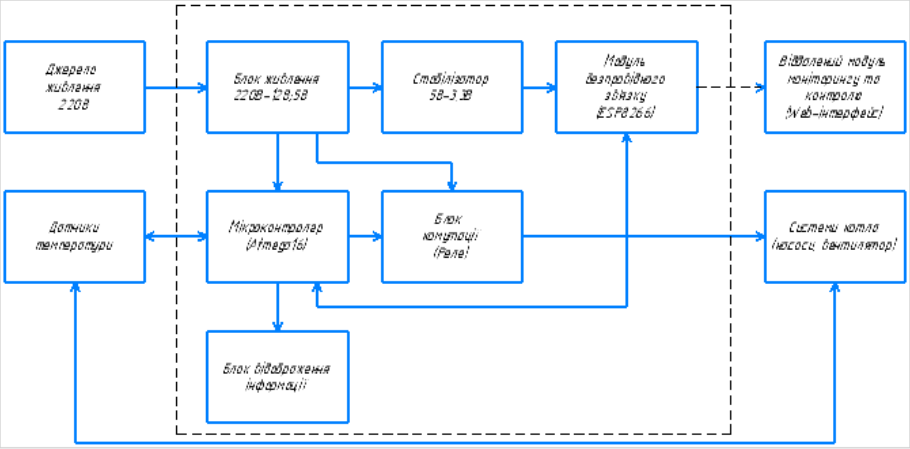


Рисунок 1.1 – Структурна схема мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням

1.3 Проєктування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням

Побудова електричної принципової схеми мікропроцесорного регулятора базується на забезпеченні стійкої взаємодії між центральним обчислювальним ядром, вимірювальними перетворювачами, елементами бездротового зв'язку та силовими виконавчими пристроями. Кожен вузол спроєктовано з урахуванням узгодження інформаційних та енергетичних параметрів.

Основним елементом системи управління є 8-бітний мікроконтролер DD1. Він здійснює координацію всіх периферійних вузлів. Порт A (PA0–PA7) сконфігуровано переважно для роботи з аналоговими сигналами та внутрішнім АЦП, вивід PA0 задіяний для зчитування інформації з вимірювального підсилювача температури. Виводи портів B, C та D

використовуються для організації цифрового обміну даними. Тактування мікроконтролера реалізовано за допомогою зовнішнього кварцового резонатора ZQ2, підключеного до виводів XTAL1 та XTAL2, із використанням навантажувальних конденсаторів C14 для забезпечення стабільної генерації опорної частоти. Скидання контролера та захист від випадкових збоїв живлення забезпечується підтяжкою виводу RESET до шини живлення +5 В через резистор R22.

Для організації часових графіків роботи опалювального обладнання застосовано мікросхему автономного таймера-годинника DD2. Обмін даними з мікроконтролером здійснюється за допомогою двопровідного послідовного інтерфейсу I2C через лінії апаратного порту PC0 (SCL) та PC1 (SDA). Для фіксації високого логічного рівня на шині встановлено підтягувальні резистори R18 та R20. Стабільність часових інтервалів забезпечується прецизійним годинниковим кварцовим резонатором ZQ1.

Інтеграція регулятора в інформаційну IoT-мережу виконана на базі високоінтегрованого Wi-Fi модуля A1. Взаємодія з основним контролером DD1 відбувається по послідовному асинхронному інтерфейсу UART через лінії передачі RXD (PD0) та TXD (PD1). Оскільки модуль A1 має робочу напругу логічних рівнів 3,3 В, а мікроконтролер живиться від джерела 5 В, для запобігання пошкодженню вхідних каскадів модуля в колах узгодження інформаційних ліній застосовано резистивні дільники напруги R28–R31.

Датчик температури підключено через роз'єм XS1, реалізовано за допомогою вимірювального моста та диференціального операційного підсилювача DA2. Малі зміни падіння напруги на датчику, викликані зміною його опору при нагріванні, підсилюються каскадами DA2.1 та DA2.2 до рівнів 0...5 В, які є оптимальними для обробки вбудованим АЦП мікроконтролера. Конденсатори C2, C3 та C7 у колах підсилювача виконують функцію низькочастотних фільтрів.

Керування потужними навантаженнями змінного струму (насоси системи опалення) здійснюється за допомогою п'яти електромагнітних реле

K1–K5. Для узгодження низькострумових виходів мікроконтролера з котушками реле застосовано інтегральну збірку транзисторів Дарлінгтона DD3. Плавне керування обертами вентилятора наддуву (роз'єм XS5) реалізовано через силовий симістор VS1 типу. Для повної гальванічної розв'язки використано оптосимісторний драйвер DD4, який мінімізує рівень комутаційних електромагнітних завад завдяки вбудованій схемі переходу через нуль.

Робота пристрою здійснюється під керуванням вбудованого програмного забезпечення мікроконтролера DD1 і являє собою безперервний циклічний процес збору даних, їх аналізу та формування керуючих сигналів. Алгоритм функціонування розділено на декілька етапів.

При підключенні до електромережі мікроконтролер виходить зі стану апаратного скидання. Відбувається конфігурація портів вводу/виводу, ініціалізація дисплея HG1, зчитування поточного часу з RTC DD2 та подача стартових AT-команд на Wi-Fi модуль A1 для з'єднання з бездротовою мережею.

Збір телеметричної інформації. У робочому циклі мікроконтролер опитує аналоговий сигнал з підсилювача DA2 та додаткові цифрові датчики температури.

Обробка даних. Отримані поточні значення температури порівнюються із заданими уставками. Залежно від величини неузгодженості, контролер обирає режим роботи: інтенсивний нагрів (вмикання вентилятора на повну потужність), підтримання температури (модуляція потужності) або аварійне охолодження (зупинка наддуву, вмикання всіх циркуляційних насосів).

Комутація механізмів. Відповідно до результатів обчислень, контролер активує канали драйвера DD3 для замикання необхідних реле K1–K5 та генерує імпульси керування для оптосимістора DD4, регулюючи швидкість обертання вентилятора.

Віддалений зв'язок (IoT). Паралельно з основним циклом, мікроконтролер формує пакет даних і передає його через UART до модуля

ESP8266 для трансляції на віддалений сервер. При отриманні команд зі смартфона, ESP8266 передає їх мікроконтролеру, який оновлює робочі параметри.

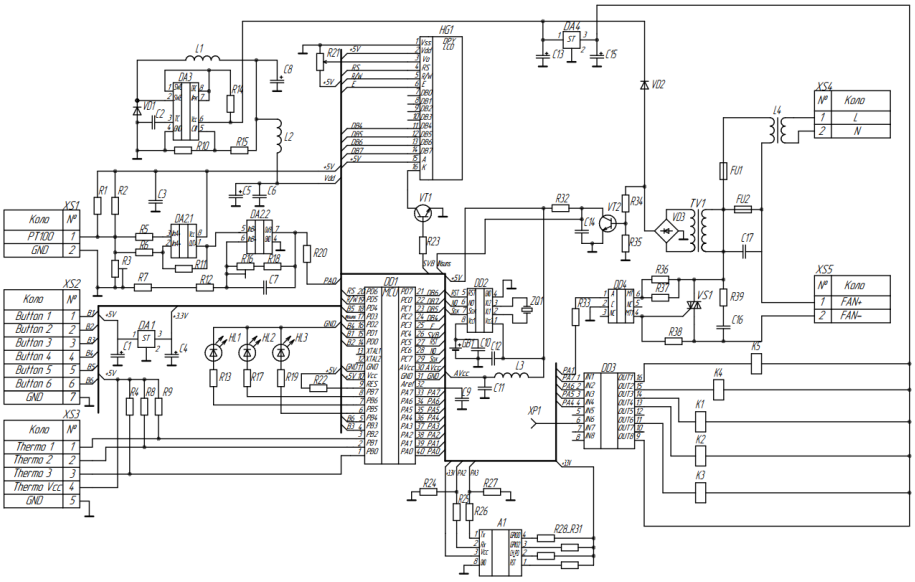


Рисунок 1.2 – Схема електрична принципова мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням

Розрахунок кола керування симісторним ключем

Для плавного керування вентилятором наддуву котла в схемі застосовано симістор VS1 типу BT136-600E, який керується через оптосимісторний драйвер DD4 типу MOC3041SM. Таке рішення забезпечує надійну гальванічну розв'язку.

Для надійної роботи цієї зв'язки необхідно розрахувати опір струмообмежувального резистора в колі керуючого електрода силового симістора (на схемі це R36 та R38).

Оптосимістор MOC3041SM має вбудовану схему детектування переходу напруги через нуль. Максимальний піковий струм (ITSM, який може витримати вихідний каскад оптопари, становить 1А.

Максимальна амплітудна напруга в мережі ~220 В становить:

$$U_{max} = U_{\text{ном}} * \sqrt{2} = 220 * 1{,}41 \approx 311\text{В} \qquad (1.1)$$

Щоб захистити вихідний каскад оптопари від пробою струмом, необхідно встановити обмежувальний резистор $R_{\text{тобм}}$, мінімальне значення якого розраховується за законом Ома:

$$R_{\text{обм(min)}} = \frac{U_{\max}}{I_{\text{TSM}}} = \frac{311}{1} = 311\ \text{Ом} \qquad (1.2)$$

Зі стандартного ряду номіналів E24 найближчий більший опір становить 330 Ом, проте для підвищення надійності та врахування можливих стрибків напруги в мережі обрано номінал 470 Ом (що відповідає резисторам R36 та R38 у переліку елементів).

Струм керування симістора BT136-600E IGT для надійного відкриття становить 35 мА. Перевіримо, чи забезпечить обраний резистор достатній струм при мінімальній напрузі відкриття (близько 12В при фазовому керуванні):

$$I = \frac{12}{470} \approx 0{,}025\ \text{А} = 25\ \text{мА} \qquad (1.3)$$

З урахуванням імпульсного характеру струму цього значення достатньо для впевненого відмикання більшості екземплярів BT136.

Потужність, що розсіюється на цьому резисторі, розраховується для найгіршого випадку (пробій симістора), але оскільки струм протікає лише короткочасно (імпульсами до відкриття симістора), достатньо резистора потужністю 0,25 Вт. У переліку елементів обрано SMD-резистори розміру 0805, які здатні розсіювати 0,125 Вт номінально та витримувати значні імпульсні перевантаження.

Енергетичний розрахунок та вибір трансформатора живлення.

Для підтвердження правильності вибору понижуючого трансформатора TV1 необхідно розрахувати максимальну споживану потужність пристрою у найважчому режимі роботи (коли увімкнені всі реле, дисплей підсвічений, а Wi-Fi модуль передає дані).

Знайдемо сумарний струм споживання за основними лініями живлення:

Лінія +12 В (Виконавчі механізми): Основним споживачем тут є котушки п'яти електромагнітних реле K1–K5. Струм споживання однієї котушки типового мініатюрного реле становить близько 30 мА.

Струм п'яти реле: $I\text{реле} = 5 \times 0{,}03 = 0{,}15$ А.

Потужність: $P_{\text{реле}} = 12 \cdot 0{,}15 = 1{,}8$ Вт

Лінія +3,3 В (Wi-Fi модуль): Модуль ESP8266 (A1) у режимі активної передачі даних по Wi-Fi споживає струм до 170 мА. З урахуванням втрат на лінійному стабілізаторі LM1117 (при вхідній напрузі 5 В), потужність, що споживається від джерела 5 В, розраховується за формулою:

Лінія +5 В (Мікроконтролер та периферія).

Мікроконтролер ATmega16L: $I_{\text{МК}} \approx 15$ мА.

Підсвічування LCD дисплея HG1: $I_{\text{LCD}} \approx 20$ мА.

Датчики та логіка (DS1307, LM358): ≈ 10 мА.

Загальний струм по логіці: $I_{\text{лог}} = 0{,}045$ А.

Потужність: $P_{\text{лог}} = 5 \cdot 0{,}045 = 0{,}225$ Вт.

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{реле}} + P_{\text{Wi-Fi}} + P_{\text{лог}} = 1{,}8 + 0{,}85 + 0{,}225 = 2{,}875 \text{ Вт} \qquad (1.4)$$

З урахуванням коефіцієнта запасу ($K_{\text{зап}} = 1{,}2$) та втрат на діодному мості VD3 і DC-DC перетворювачі DA3, мінімальна необхідна габаритна потужність трансформатора повинна бути:

$$S_{\text{тр}} \geq P_{\text{заг}} \cdot K_{\text{зап}} = 2{,}875 \cdot 1{,}2 \approx 3{,}45 \text{ Вт (ВА)} \qquad (1.5)$$

Обраний за схемою трансформатор TV1 типу Talema 70012 (серія 70000) має номінальну потужність від 3,2 ВА до 5 ВА залежно від модифікації, що майже ідеально відповідає розрахунковим значенням та гарантує надійну роботу мікропроцесорного регулятора без перегріву джерела живлення під час тривалої експлуатації котла.

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням

При виборі компонентної бази для мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням було враховано наступні аспекти: надійність та температурна стабільність, стійкість до електромагнітних завад, сумісність з САПР

Для фільтрації високочастотних завад та блокування за постійним струмом у колах живлення застосовано багатошаровий керамічний чип-конденсатор (MLCC) серії GRM219 виробництва компанії Murata. Даний компонент виконаний у стандартизованому типорозмірі 0805 для поверхневого монтажу (SMD) та розрахований на номінальну робочу напругу 25 В. Конденсатор має температурний діелектрик класу X7R, що забезпечує високу стабільність ємності в широкому температурному діапазоні від $-55^{\circ}C$ до $+125^{\circ}C$. Компонент орієнтований на інтеграцію в промислову та мобільну електроніку, споживчу апаратуру, тощо. Загальний вигляд та габаритні розміри корпусу наведено на рисунку 1.4.

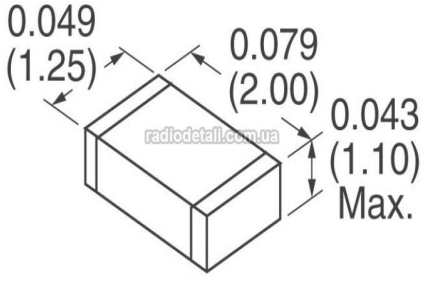


Рисунок 1.4 – Габаритні розміри конденсаторів GRM219

Стабілізатор LM1117MPX-3.3 [5] від компанії Texas Instruments забезпечує якісне фіксоване живлення вузлів схеми. Даний інтегральний стабілізатор забезпечує фіксовану вихідну напругу 3,3 В при максимальному струмі навантаження до 800 мА. Компонент виготовлений у компактному корпусі SOT-223 для поверхневого монтажу. Детальний малюнок стабілізатора показаний на рисунку 1.5.

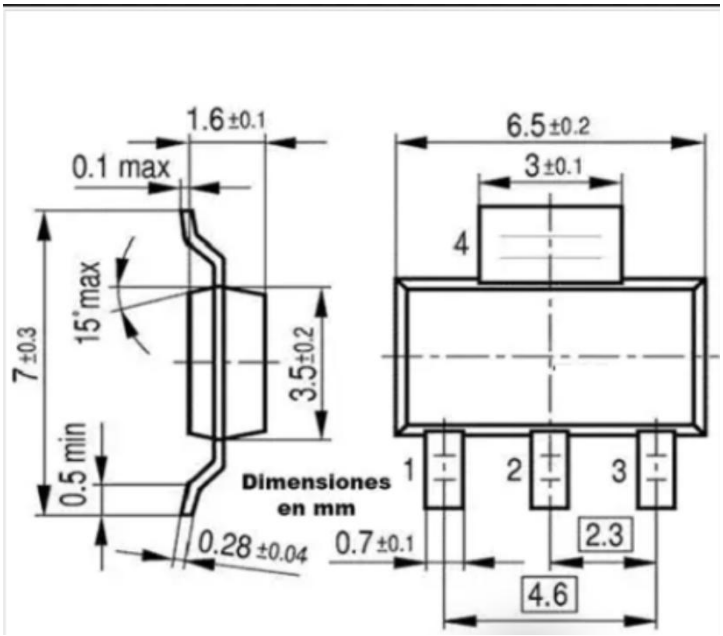


Рисунок 1.5 – Габаритні розміри мікросхеми LM1117MPX-3.3

Обчислювальним ядром є 8-бітний низькоспоживаючий мікроконтролер ATmega16L-8AU [6] виробництва Microchip Technology (Atmel). Даний компонент орієнтований на вирішення задач малої автоматизації та керування. Він оснащений 16 КБ флеш-пам'яті програм, а також вбудованим 8-канальним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) з розрядністю 10 біт. Мікроконтролер підтримує роботу в широкому діапазоні живильної напруги від 2,7 В до 5,5 В і постачається в 44-виводному корпусі TQFP-44 для поверхневого монтажу. Мікроконтролер показаний на рисунку 1.6.

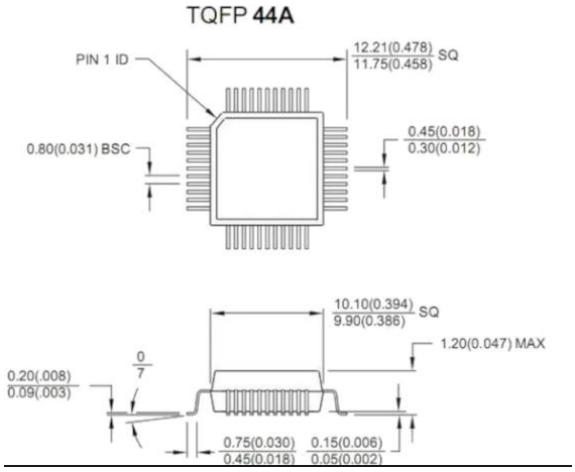


Рисунок 1.6 – Габаритні розміри мікроконтролера ATmega16L-8AU

Для реалізації бездротового інтерфейсу передачі даних та інтеграції пристрою в концепцію IoT (інтернет речей) застосовано Wi-Fi модуль ESP-12F на базі мікросхеми ESP8266. Цей компонент функціонує як бездротовий трансивер і підтримує стандарти зв'язку IEEE 802.11 b/g/n у частотному діапазоні 2,4 ГГц. Обмін даними з головним мікроконтролером здійснюється через послідовний інтерфейс UART. Модуль розрахований на номінальну напругу живлення 3,3 В, а його конструктивною особливістю є наявність інтегрованої PCB-антени та металевого екрана для зниження рівня електромагнітних завад.. Корпус модуля зображений на рисунку 1.7.

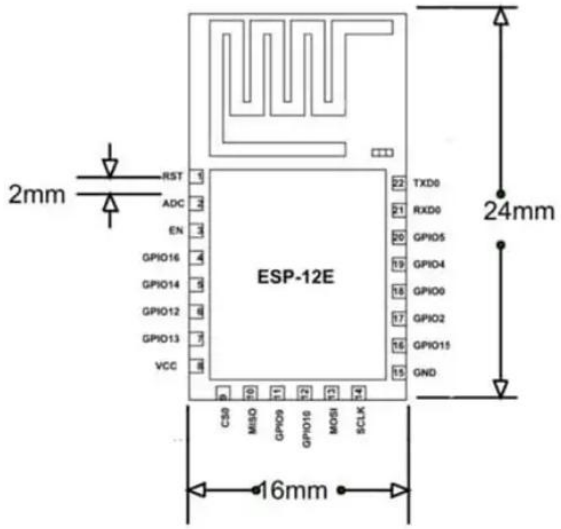


Рисунок 1.7 – Габаритні розміри модуля ESP8266

Для аналогової обробки та масштабування сигналів у схемі застосовано здвоєний операційний підсилювач загального призначення типу LM358G виробництва компанії ON Semiconductor. Дана мікросхема здатна функціонувати в широкому діапазоні живильної напруги від 3 В до 32 В (при однополярному живленні). Ключовою архітектурною особливістю підсилювача є підтримка технології Single Supply, що дозволяє йому коректно працювати зі вхідними сигналами безпосередньо від рівня шини заземлення («землі»). Компонент виконаний у компактному 8-виводному корпусі SOIC-8, призначеному для поверхневого монтажу. Габаритні розміри показані на рисунку 1.8.

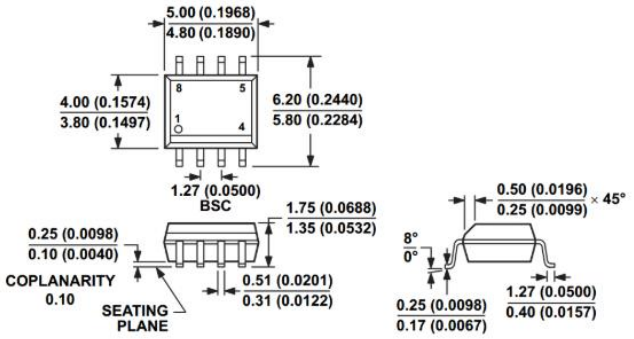


Рисунок 1.8 – Габаритні розміри мікросхеми LM358G

Для узгодження низьковольтних логічних виходів мікроконтролера з індуктивним навантаженням та керування електромагнітними реле застосовано інтегральну мікросхему ULN2003D1013TR виробництва компанії STMicroelectronics. Даний компонент є високовольтним та високострумовим масивом транзисторів Дарлінгтона (7 незалежних каналів), що забезпечує комутацію вихідного струму силою до 500 мА на кожен канал. Важливою конструктивною перевагою драйвера є наявність інтегрованих зворотних (демпферних) діодів, які захищають схему від сплесків зворотної ЕРС, що виникають при знеструмленні обмоток реле. Мікросхема виготовлена у 16-

виводному корпусі SOIC-16 для поверхневого монтажу. Габаритний розміри зображені на рисунку 1.9.

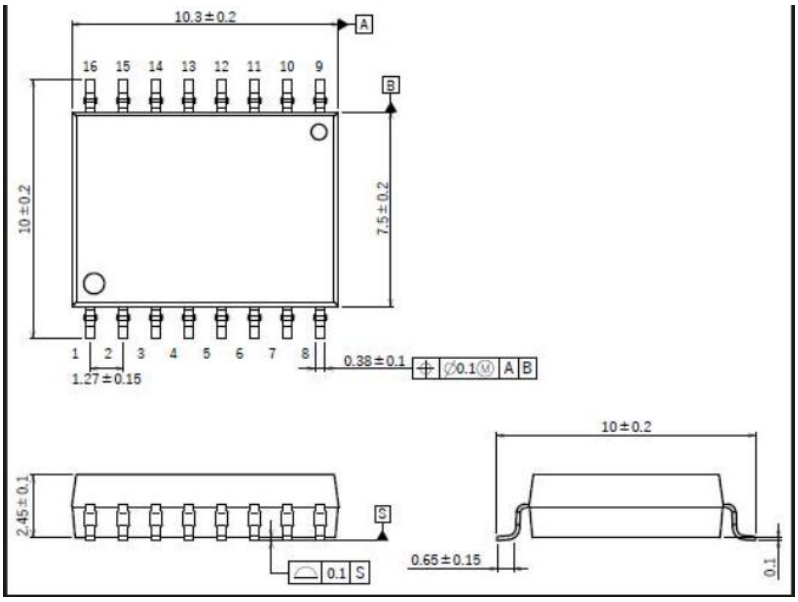


Рисунок 1.9 – Габаритні розміри мікросхеми ULN2003D1013TR

Для забезпечення надійної гальванічної розв’язки між низьковольтними цифровими колами керування та силовою високовольтною мережею змінного струму застосовано оптосимістор MOC3041SM виробництва компанії ON Semiconductor. Даний компонент є оптроном із симісторним вихідним каскадом і має високу гарантовану напругу ізоляції, яка становить 4170 В (середньоквадратичне значення, RMS). Важливою схемотехнічною особливістю цієї мікросхеми є наявність інтегрованого вузла детектування переходу напруги через нуль (Zero Voltage Crossing). Це дозволяє суттєво знизити рівень комутаційних завад та пускових струмів у момент увімкнення навантаження.

Для забезпечення заданих електричних режимів і обмеження струмів у схематичних колах пристрою використано чип-резистори серії RC0805FR [8] виробництва компанії YAGEO. Дані компоненти призначені для поверхневого монтажу і виконані в стандартизованому типорозмірі 0805 . Резистори мають номінальну потужність розсіювання 0,125 Вт та вирізняються високою

точністю завдяки допуску відхилення опору в межах 1%. Широкий діапазон робочих температур (від $-55^{\circ C}$до $+155^{\circ C}$) гарантує стабільність параметрів та надійність функціонування апаратури у різних експлуатаційних умовах. Габаритний розмір резистора показаний на рисунку 1.10.

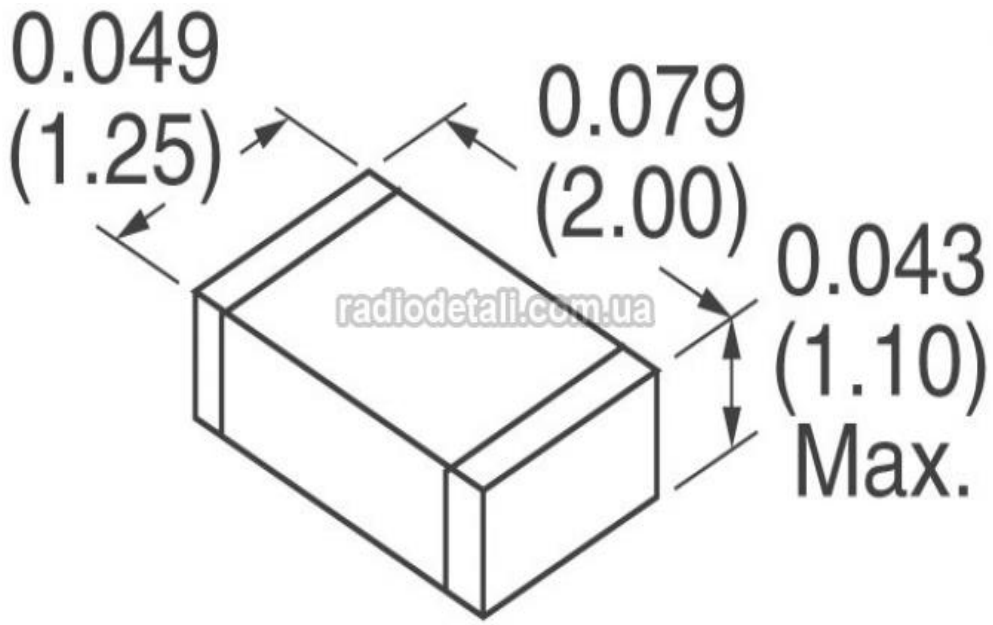


Рисунок 1.10 – Габаритні розміри дроселя LQM18FN100M00D

Для побудови первинного каскаду живлення із високим коефіцієнтом корисної дії використано універсальний імпульсний DC-DC перетворювач напруги типу MC34063A виробництва компанії STMicroelectronics (Texas Instruments). Даний інтегральний контролер здатний працювати у широкому діапазоні вхідної напруги від 3 В до 40 В і підтримує максимальний вихідний струм внутрішнього силового ключа до 1,5 А без використання зовнішнього транзистора. Робоча частота перемикання вбудованого генератора становить до 100 кГц, що дозволяє мінімізувати габарити зовнішніх індуктивних та ємнісних елементів фільтра. Мікросхема виготовлена у 8-виводному корпусі SOIC-8 для поверхневого монтажу. Розміри мікросхеми наведені на рисунку 1.11.

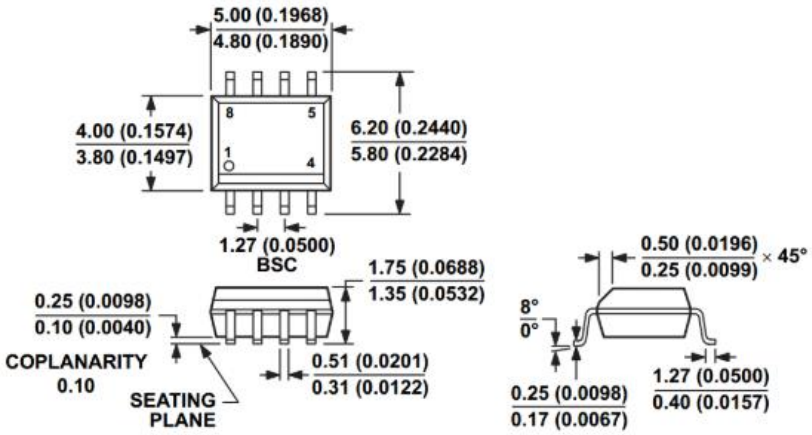


Рисунок 1.11 – Габаритні розміри мікросхеми MC34063A

Для реалізації гальванічно розв'язаної комутації потужних виконавчих механізмів, зокрема циркуляційних насосів системи опалення, у проекті застосовано електромагнітне реле типу 1462041-7 виробництва компанії TE Connectivity. Даний компонент забезпечує надійне фізичне розділення низьковольтних кіл керування та силових ланцюгів змінного струму. Керуюча котушка реле розрахована на номінальну напругу живлення 12 В постійного струму (DC). Силова контактна група має конфігурацію SPDT (одна група на перемикання) і здатна комутувати навантаження із робочою напругою до 250 В змінного струму (AC) при максимальному струмі споживання до 5 А. Габаритні розміри реле показані на рисунку 1.12.

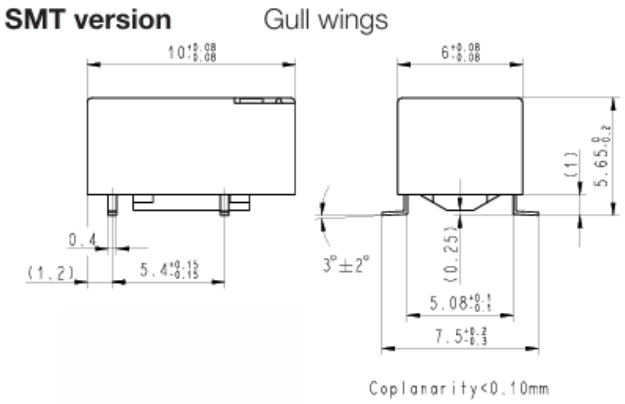


Рисунок 1.12 – Габаритні розміри реле 1462041-7

Для реалізації підключення периферійних модулів у проекті використано штирьовий однорядний роз’єм серії PLS [9] виробництва KLS. Цей з’єднувач має стандартний крок контактів 2,54 мм та оснащений прямими виводами для монтажу в отвори плати (THT). Як матеріал ізолятора застосовано високоміцний полімер, посилений скловолокном, що забезпечує опір ізоляції не менше 500 МОм. Самі контакти виготовлені з фосфористої бронзи, яка має високу провідність і стійкість до зносу. Роз’єм розрахований на тривалий робочий струм до 1 А, граничну напругу до 500 В та здатний стабільно функціонувати в широкому температурному діапазоні. Габаритні розміри роз’ємів зображені на рисунку 1.13.

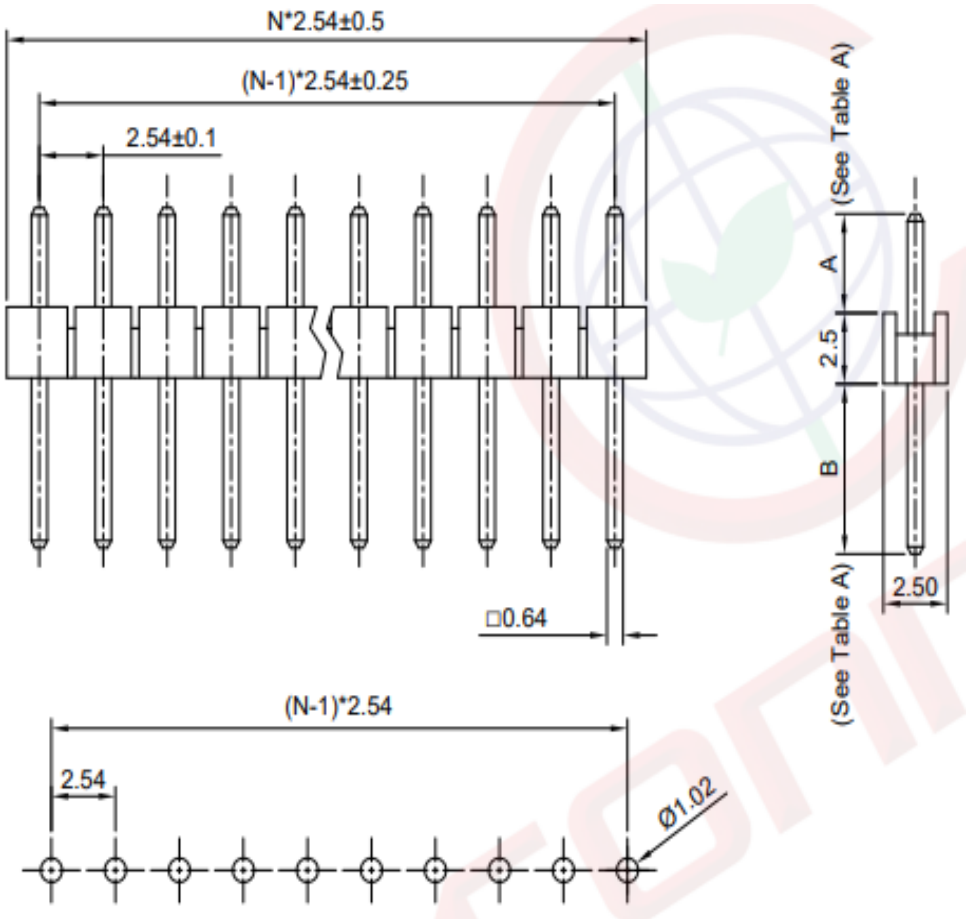


Рисунок 1.13 – Габаритні розміри штирьового з’єднувача PLS

Для формування фіксованого рівня напруги 12 В, необхідного для стабільного та надійного живлення котушок електромагнітних реле, у проекті

застосовано інтегральний лінійний стабілізатор напруги типу L7812CV виробництва компанії STMicroelectronics. Дана мікросхема забезпечує високу точність стабілізації вихідних параметрів при максимальному струмі навантаження до 1,5 А. Важливою експлуатаційною перевагою стабілізатора є наявність вбудованого комплексу захисту, що включає схему обмеження внутрішнього струму, теплове блокування від перегріву та захист від короткого замикання (КЗ) на виході. Компонент виготовлений у корпусі D2PAK, конструкція якого дозволяє розміщувати його для поверхневого монтажу. Габаритні розміри стабілізатора зображені на рисунку 1.14.

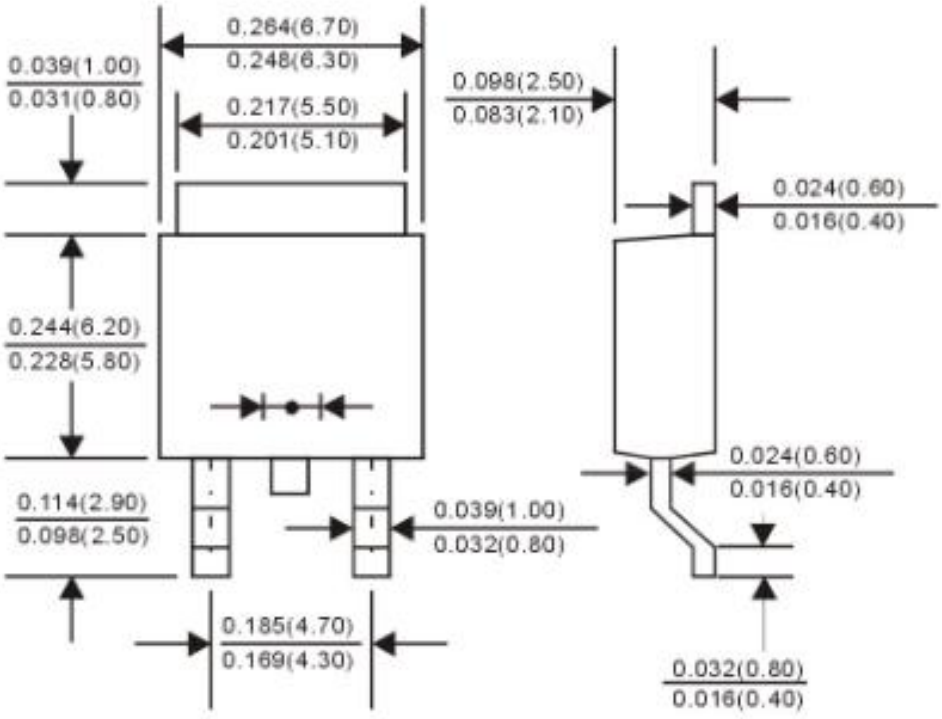


Рисунок 1.14 – Габаритні розміри стабілізатора L7812CV

Для забезпечення стабільної тактової частоти роботи центрального мікроконтролера та задання точних часових інтервалів у проекті застосовано кварцовий резонатор серії HC-49SM виробництва компанії YIC. Завдяки високій точності та температурній стабільності генерації імпульсів цей

компонент гарантує надійну синхронізацію внутрішніх вузлів обчислювального ядра, безпомилкову роботу цифрових послідовних інтерфейсів (зокрема UART для обміну даними з Wi-Fi модулем), а також стабільне тактування інтегрованого АЦП. Резонатор виконаний у низькопрофільному металевому корпусі HC-49SM, адаптованому для автоматизованого поверхневого монтажу. Габаритні розміри кварцевого резонатора зображені на рис. 1.15

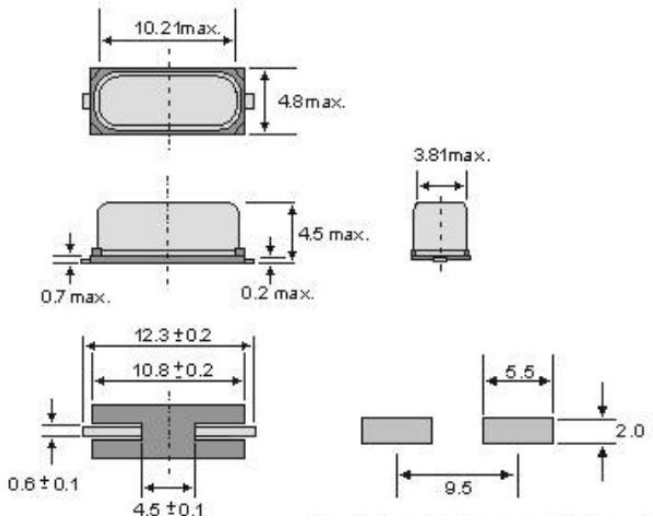


Рисунок 1.15 Габаритні розміри кварцевого резонатора HC-49SM

Для ефективного придушення високочастотних електромагнітних завад (EMI) та забезпечення електромагнітної сумісності пристрою використано синфазний дросель серії WE-SCC виробництва компанії Wurth Elektronik. У проектованій схемі даний компонент виконує роль лінійного фільтра, що надійно захищає чутливі кола аналогових вимірювань та цифрового живлення від індуктивних шумів, які виникають під час комутації потужних виконавчих механізмів. Дросель має номінальну індуктивність 100 мкГн та розрахований на тривалий робочий струм до 350 мА. Завдяки низькому падінню напруги, обумовленому опором постійному струму (DCR) на рівні всього 0,95 Ом, мінімізуються теплові втрати в колі. Компонент постачається у захищеному SMD-корпусі з габаритними розмірами які зображені на рисунку 1.16.

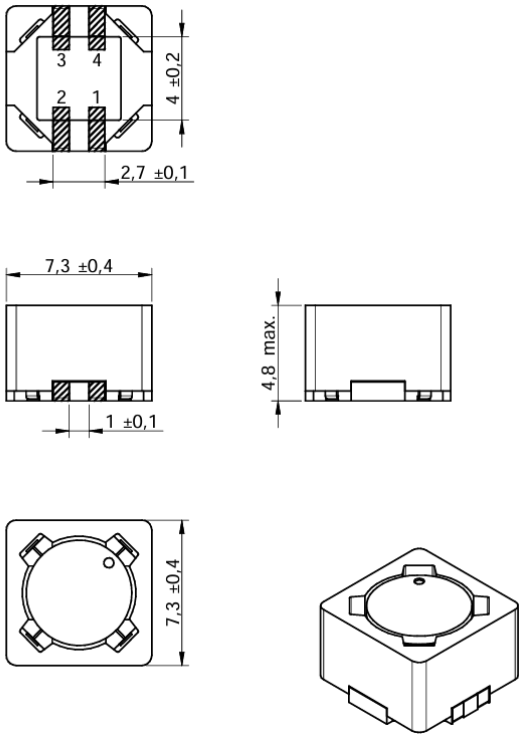


Рисунок 1.16 Габаритні розміри дроселя серії WE-SCC

1.5 Компоновка друкованого вузла мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням

Компоновка друкованої плати є не просто етапом механічного з'єднання електричних вузлів, а критичним та одним із найвідповідальніших етапів у розробці електронних пристроїв.

Вона безпосередньо впливає на їхню функціональність, експлуатаційну надійність, теплові режими роботи компонентів і, що найголовніше, на електромагнітну сумісність (EMC). Оскільки розроблений мікропроцесорний регулятор роботи котла є складним пристроєм змішаного типу, який одночасно комутує мережеву напругу ~220 В, обробляє чутливі мілівольтові аналогові сигнали та працює з високочастотними радіосигналами Wi-Fi модуля, до його топології висувалися особливо жорсткі вимоги. Процес трасування вимагав пошуку оптимального компромісу між габаритами

виробу, технологічністю його виготовлення та стійкістю до зовнішніх і внутрішніх завад.

Нижче наведено як загальні теоретичні рекомендації щодо компоновки плати, так і їх безпосереднє практичне втілення у даному дипломному проєкті.

Планування і розташування компонентів

Попереднє планування та врахування механічних обмежень. Процес розробки топології завжди варто починати з просторового розташування великих компонентів, таких як мікроконтролери, роз'єми, трансформатори та регулятори живлення, оскільки саме вони визначають базову архітектуру плати та її кріплення в корпусі. Після цього доцільно розміщувати дрібніші деталі. У даному проєкті розміщення розпочато з фіксації масивних вивідних компонентів (THT). Понижуючий трансформатор живлення TV1, блок електромагнітних реле K1–K5, силовий симістор VS1 та всі клемні колодки (XS1–XS7) логічно винесені на краї друкованої плати. Таке рішення не лише забезпечує зручність та безпеку підключення зовнішніх силових проводів, але й надає друкованому вузлу необхідну механічну стійкість, запобігаючи деформації текстоліту під вагою трансформатора.

Функціональні блоки та тепловий баланс. Розміщувати компоненти необхідно відповідно до їх функціональних блоків. Наприклад, елементи живлення, сигнальні ланцюги, аналогові та цифрові схеми повинні бути згруповані окремо один від одного. На розробленій платі центральну частину займає обчислювальне ядро — мікроконтролер та відповідна логіка керування. Особливу увагу приділено модулю бездротового зв'язку. З огляду на специфіку поширення електромагнітних хвиль, його спеціально винесено скраю плати таким чином, щоб зона навколо його вбудованої антени була максимально вільною від мідних полігонів та інших радіодеталей. Це дозволяє уникнути паразитних екранувань, інтерференції та гарантує стабільну передачу радіосигналу на маршрутизатор.

Мінімізація шляхів сигналу. Для забезпечення цілісності сигналів вкрай важливо намагатися розміщувати компоненти так, щоб мінімізувати довжину

і кількість перетинів між провідниками. Пасивні SMD-компоненти (резистори підтяжки, керамічні конденсатори обв'язки) згруповані максимально щільно та близько до відповідних виводів інтегральних мікросхем. Це суттєво зменшує довжину трас, знижує рівень паразитних індуктивностей та ємностей провідників, що особливо важливо для ліній зв'язку I2C та UART.

Планування кіл живлення та заземлення. Головною умовою надійної роботи будь-якої цифрової схеми є забезпечення прямих і товстих шин живлення для стабільного енергозабезпечення всіх компонентів без просадок напруги. Хоча загальні теоретичні рекомендації передбачають використання суцільного шару заземлення для зменшення електромагнітних перешкод і покращення загальної стабільності роботи плати, у даному пристрої було обрано інший підхід. Зважаючи на двошарову структуру плати та наявність небезпечних високовольтних кіл, було прийнято рішення відмовитись від суцільної заливки вільного простору міддю. Замість цього розводка всіх шин живлення (+5 В, +3,3 В, +12 В) та ліній загального дроту (GND) виконана надійними, оптимізованими провідниками з топологією, яка запобігає утворенню паразитних «земляних контурів».

Фільтрація живлення. Навіть за ідеального трасування мікросхеми генерують імпульсні завади під час перемикання логічних станів. Тому конденсатори для фільтрації живлення необхідно розміщувати якомога ближче до виводів мікроконтролерів та інших чутливих компонентів. Цей принцип був суворо дотриманий: керамічні блокувальні конденсатори розташовані безпосередньо біля виводів VCC мікроконтролера DD1, мікросхеми годинника реального часу DD2 та драйвера реле. Вони виконують роль локальних накопичувачів енергії та ефективно гасять високочастотні пульсації струму.

Розводка сигналів та ізоляція контурів

Чутливі та швидкі сигнали. Трасування з'єднань виконано на двох шарах текстоліту: верхньому та нижньому. Згідно з правилами проєктування, слід розміщувати аналогові і цифрові сигнали окремо, щоб уникнути взаємних

перешкод. Також необхідно мінімізувати довжину швидких сигналів і намагатися розташовувати їх якнайдалі від аналогових трас. Для розведення слабострумових інформаційних, керуючих та швидкісних ліній від мікроконтролера застосовано провідники шириною 0,4 мм. Цей технологічний параметр є оптимальним для забезпечення необхідної щільності монтажу та збереження цілісності фронтів імпульсних сигналів.

Ізоляція сигналів та силові кола. Останнім, але найбільш критичним з точки зору безпеки правилом, є необхідність ізолювати слабкострумові цифрові сигнали від джерел сильного шуму, таких як силові ланцюги або високочастотні компоненти. На розробленій платі ланцюги, що комутують струми силових навантажень (~220 В), виконані масивними потовщеними провідниками шириною 1,0 мм для запобігання їх тепловому руйнуванню.

При цьому високовольтні силові траси конструктивно максимально віддалені від чутливих аналогових кіл та цифрових інтерфейсів комунікації. Це не лише створює надійну фізичну гальванічну ізоляцію для захисту користувача, але й зводить до абсолютного мінімуму ризик виникнення кондуктивних або індуктивних електромагнітних наведень під час запуску електродвигунів циркуляційних насосів.

1.6 Розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення мікропроцесорного регулятора роботи котла з віддаленим керуванням

Програмне забезпечення (ПЗ) мікропроцесорного регулятора є фундаментальною складовою комплексу, що перетворює апаратні вузли на інтелектуальну систему керування. Архітектурно програмна частина розділена на два незалежних обчислювальних середовища: базове ПЗ центрального мікроконтролера DD1 (ATmega16L), яке функціонує в режимі жорсткого реального часу (RTOS або суперцикл), та мережеву прошивку модуля ESP8266, яка виконує роль IoT-шлюзу.

Ініціалізація та програмна самодіагностика Після скидання мікроконтролера (Power-On Reset) програма не відразу переходить до комутації навантажень, а виконує процедуру самодіагностики:

Перевіряється цілісність констант та збережених користувачем параметрів (уставок температури, гістерезису) в енергонезалежній пам'яті EEPROM. Якщо виявлено помилку контрольної суми (CRC), завантажуються заводські налаштування за замовчуванням.

Здійснюється тестове опитування всіх цифрових датчиків та модуля RTC по шині I2C. Якщо годинник не відповідає, генерується сервісне попередження.

Вмикається сторожовий таймер, який апаратно перезавантажить мікроконтролер у разі зависання програми через сильні електромагнітні завади від мережі.

Цифрова фільтрація вимірювальних сигналів Оскільки регулятор працює в умовах високого рівня індустріальних завад (іскріння контактів реле, робота потужних електродвигунів), сирий сигнал з операційного підсилювача DA2 (від термометра PT100) може містити високочастотні шуми та імпульсні викиди. Для запобігання хибним спрацьовуванням автоматики застосовано двоетапну програмну фільтрацію:

Медіанний фільтр. АЦП здійснює серію з 10 швидких вимірів. Значення сортуються за зростанням, після чого відкидаються найбільші та найменші значення (які зазвичай є аномальними сплесками).

Фільтр ковзного середнього (Moving Average). З решти значень обчислюється середнє арифметичне, яке і приймається за поточну фактичну температуру теплоносія. Це забезпечує високу плавність та достовірність показів.

Математична логіка терморегулювання. Обробка даних та формування керуючих впливів здійснюється на основі аналізу «неузгодженості» (різниці між заданою та фактичною температурами):

Керування вентилятором наддуву. Оскільки для гальванічної розв'язки симістора VS1 застосовано драйвер MOC3041SM із вбудованою схемою детектування переходу через нуль (Zero-Cross), використання класичного фазоімпульсного керування є неможливим. Тому в програмному забезпеченні реалізовано алгоритм низькочастотної широтно-імпульсної модуляції на основі модифікованого алгоритму Брезенхема. Мікроконтролер пропускає до навантаження цілі напівперіоди мережевої напруги. Наприклад, для забезпечення 50% потужності, вентилятор вмикається на 5 напівперіодів і вимикається на 5. Це гарантує відсутність електромагнітних завад при комутації індуктивного навантаження.

Керування циркуляційними насосами. Здійснюється за двопозиційним (релейним) законом із заданим гістерезисом. Насос вмикається лише тоді, коли температура котла перевищує точку конденсатоутворення (наприклад, +40 °C), що захищає теплообмінник від низькотемпературної корозії. При охолодженні системи нижче +35 °C насос вимикається для збереження залишкового тепла.

Протокол міжпроцесорної взаємодії та IoT Паралельно з основним циклом керування, мікроконтролер ATmega16L підтримує безперервний асинхронний зв'язок (UART) з модулем ESP8266. Для гарантованої доставки даних розроблено простий пакетний протокол.

Телеметрія (Tx). Кожні кілька секунд ATmega формує пакет даних, який містить стартовий байт, ідентифікатор типу повідомлення, масив корисного навантаження (поточна температура, статуси реле K1–K5, швидкість вентилятора, код помилки) та байт контрольної суми. Модуль ESP8266 приймає цей пакет і по Wi-Fi відправляє його на хмарний сервер за протоколом MQTT.

Керування (Rx). Коли користувач змінює параметри у мобільному додатку, сервер надсилає команду на ESP8266. Модуль формує командний пакет і передає його мікроконтролеру. ATmega перевіряє контрольну суму

отриманого пакета; якщо дані валідні, нові уставки негайно застосовуються в циклі регулювання та записуються у EEPROM.

Алгоритм обробки локального інтерфейсу та аварійного захисту Для забезпечення ручного керування контролер здійснює динамічне опитування матриці кнопок. З метою усунення ефекту «брязкоту контактів» (Bouncing) застосовано програмний таймер: кнопка вважається натиснутою лише за умови стабільного логічного рівня протягом 50 мілісекунд. Крім того, алгоритм аварійного захисту має найвищий апаратний пріоритет. При фіксації критичної температури (наприклад, понад +90 °C) мікроконтролер примусово перериває всі інші задачі, вимикає вентилятор наддуву для припинення горіння та вмикає всі насоси для екстреного скидання тепла в систему опалення, паралельно відправляючи сигнал тривоги на Wi-Fi модуль.

Як було зазначено раніше, для забезпечення стабільної роботи системи в умовах індустріальних завад розроблено програмний фільтр. Нижче наведено лістинг функції мовою C/C++ для мікроконтролера ATmega16L, яка реалізує комбінований алгоритм (медіанний фільтр та ковзне середнє) для обробки сирих даних з аналогово-цифрового перетворювача.

// Фрагмент коду: Програмна фільтрація показів датчика температури PT100

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

#define NUM_SAMPLES 10 // Кількість вимірів для фільтрації

// Функція зчитування одного значення з АЦП
uint16_t ADC_Read(uint8_t channel) {
   ADMUX = (ADMUX & 0xF0) | (channel & 0x0F);
   ADCSRA |= (1 << ADSC); // Запуск перетворення
   while (ADCSRA & (1 << ADSC)); // Очікування завершення
   return ADC;
```

```
}

// Функція фільтрації (Медіанний фільтр + Середнє арифметичне)
uint16_t Get_Filtered_Temperature(uint8_t adc_channel) {
    uint16_t samples[NUM_SAMPLES];
    uint16_t temp;
    uint32_t sum = 0;

    // 1. Збір масиву даних
    for(uint8_t i = 0; i < NUM_SAMPLES; i++) {
        samples[i] = ADC_Read(adc_channel);
        _delay_ms(2); // Невелика затримка між вимірами
    }

    // 2. Сортування масиву (Бульбашкою) для медіанного фільтра
    for(uint8_t i = 0; i < NUM_SAMPLES - 1; i++) {
        for(uint8_t j = 0; j < NUM_SAMPLES - i - 1; j++) {
            if(samples[j] > samples[j + 1]) {
                temp = samples[j];
                samples[j] = samples[j + 1];
                samples[j + 1] = temp;
            }
        }
    }

    // 3. Відкидаємо екстремальні значення (по 2 з кожного краю)
    // і рахуємо суму центральних значень
    for(uint8_t i = 2; i < NUM_SAMPLES - 2; i++) {
        sum += samples[i];
    }
```

```
    // 4. Обчислюємо середнє арифметичне з 6 залишених значень
    return (uint16_t)(sum / (NUM_SAMPLES - 4));
}
```

На рис. 1.17 зображена блок схема, по описаному вище алгоритму.

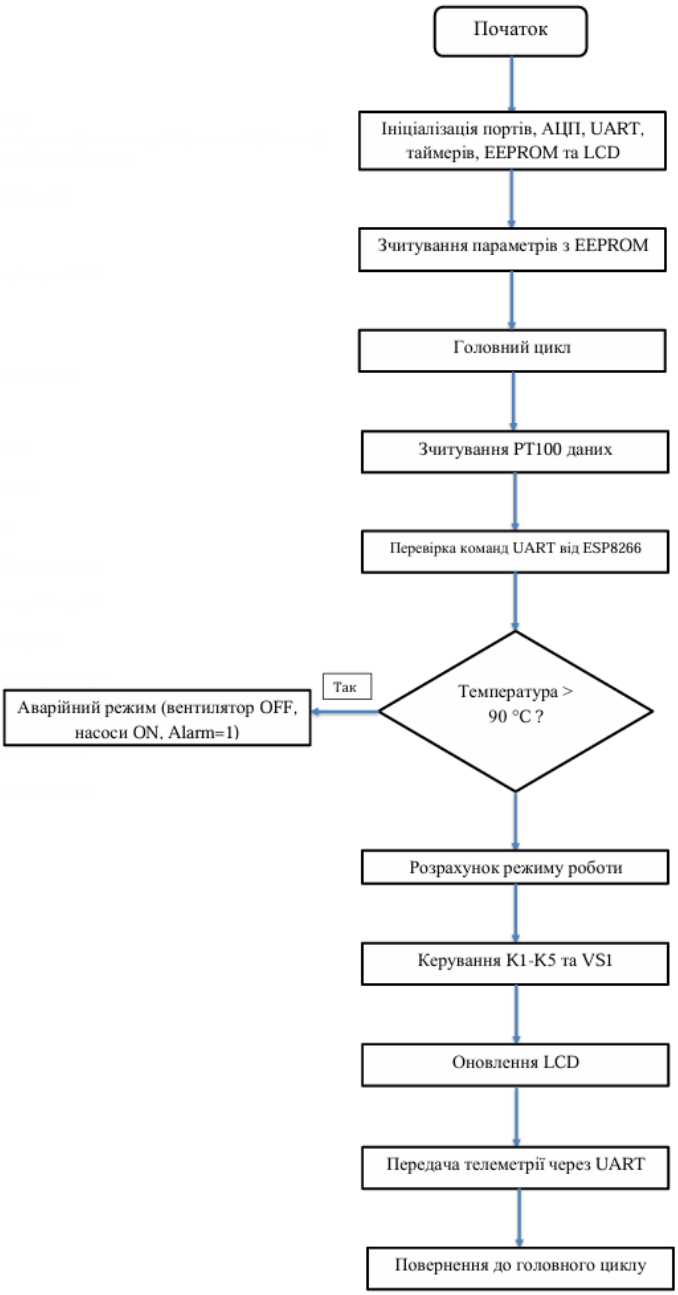


Рисунок. 1.17 Блок схема алгоритму роботи мікроконтролера регулятора котла

1.7 Висновки до розділу 1

У першому розділі роботи був проведений детальний аналіз технічного завдання, що дозволило визначити основні вимоги до приладу, включаючи діапазон вимірюваних температур, розробка структурної схеми регулятора, яка забезпечує оптимальне функціонування та логічну взаємодію всіх необхідних компонентів, було здійснено проєктування та розрахунок вузлів електричної принципової схеми, що забезпечило коректну та безпечну роботу пристрою відповідно до заданих технічних параметрів.

Вибір та обґрунтування компонентної бази проводилися з урахуванням специфіки експлуатації в умовах котельні, вимог до температурної стабільності, завадостійкості та надійності роботи приладу.

На завершення було визначено ключові правила компоновки друкованого вузла, що дозволило забезпечити компактність, необхідну ізоляцію високовольтних ліній від цифрових кіл та безперебійну роботу радіомодуля.

2 Спеціальна частина (САПР)

2.1 Обгрунтування вибору САПР

Сучасний етап розробки та конструювання радіоелектронної апаратури є неможливим без використання потужних систем автоматизованого проєктування (САПР). Для розробки принципової електричної схеми та друкованої плати мікропроцесорного регулятора роботи котла було обрано програмний комплекс Altium Designer 21.

Цей вибір є професійно обґрунтованим і базується на низці суттєвих переваг даного середовища порівняно з аналогами:

Єдине інтегроване середовище (Unified Environment): Програма дозволяє безшовно переходити від створення ієрархічної принципової електричної схеми (Schematic) до розробки топології друкованої плати (PCB) та її 3D-моделювання. Це усуває необхідність експортування проміжних файлів у сторонні програми (наприклад, з P-CAD у сторонні трасувальники), що зводить до мінімуму ризик втрати даних.

Потужний інструментарій керування бібліотеками та BOM. Altium Designer забезпечує зручне управління компонентною базою, дозволяючи прив'язувати до одного умовного графічного позначення (УГП) кілька варіантів посадочних місць (Footprints), 3D-моделей та технічних специфікацій. Крім того, система дозволяє в один клік автоматизовано генерувати точну відомість матеріалів (Bill of Materials, BOM) для закупівлі деталей, що критично важливо для підготовки проєкту до серійного виробництва.

Просунуті можливості трасування та контроль правил (DRC). Інструменти інтерактивного трасування (Interactive Routing) суттєво прискорюють розведення складних вузлів. Наявність системи динамічного контролю правил проєктування (Design Rule Check) дозволяє ще на етапі трасування жорстко контролювати ширину провідників, безпечні зазори між

високовольтними та слабкострумовими колами, розміри перехідних отворів тощо.

Якісна генерація виробничих файлів. Програма підтримує автоматичне формування повного пакету конструкторської документації та файлів для автоматизованого виробництва (Gerber X2, NC Drill, Pick and Place), які приймаються будь-яким сучасним заводом з виготовлення друкованих плат.

Враховуючи вищенаведені фактори, використання Altium Designer 21 дозволило скоротити час розробки, уникнути типових помилок при компоновці та отримати високоякісний друкований вузол, що повністю відповідає технічному завданню.

2.2 Створення схеми принципової з допомогою САПР

Виконання схеми електричної принципової в САПР (Altium Designer)

Процес розробки апаратної частини мікропроцесорного регулятора розпочався зі створення нового проєкту друкованої плати (PCB Project) у середовищі Altium Designer 21. До структури проєкту було додано листи принципової електричної схеми (Schematic Document), на яких здійснювалося безпосереднє проєктування.

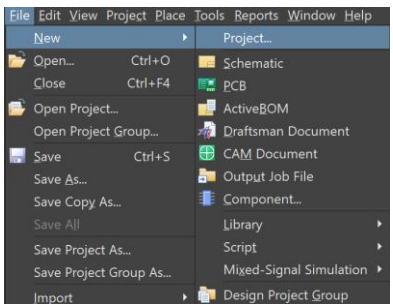


Рисунок 2.1 – Створення нового проекту в Altium Designer

Вибрати розділ "Schematic" (Схема) у "Projects" (Проекти), щоб створити нову схему або відкрити існуючу.

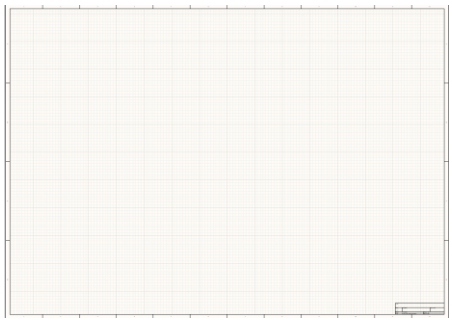


Рисунок 2.2 – Робоче поле схематичної бібліотеки

Після цього достатньо натиснути кілька разів клавішу клавіатури G змінивши крок координатної сітки 1.25 мм. Відповідно до стандартів виготовлення електричних схем елементи необхідно розміщувати в вузлах координатної сітки кратної 1.25 мм. В сучасних версіях даної САПР редагувати щось через параметри проекту немає необхідності. Система сама перемикається на метричну при перемиканні метричних сіток координат.

Додати компоненти до схеми, перетягуючи їх з бібліотеки компонентів на панелі "Libraries" (Бібліотеки) або з власної бібліотеки. Відповідно до розробленої раніше структурної схеми, компоненти були розміщені на робочому полі та об'єднані в єдину електричну мережу за допомогою інструментів Place Wire та Place Net Label.

Після завершення розміщення всіх вузлів та з'єднань було проведено процедуру автоматичної нумерації позиційних позначень елементів. За допомогою вбудованого інструменту Tools -> Annotation -> Annotate Schematics Quietly всім резисторам, конденсаторам, мікросхемам та роз'ємам було присвоєно унікальні порядкові номери (наприклад, R1, C5, DD1, XS2), що зчитуються зліва направо та зверху вниз. Це забезпечило коректне формування майбутньої специфікації. Вікно нумерації елементів зображено на рисунку 2.3.

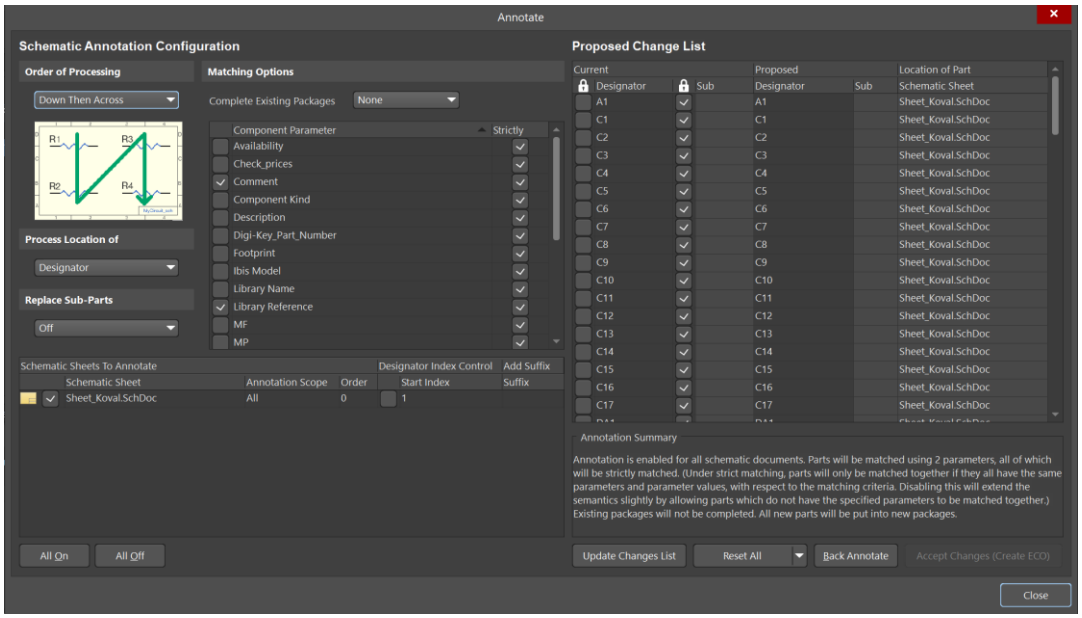


Рисунок 2.3 – Вікно нумерації елементів

Завершальним етапом роботи над схемотехнічною частиною стала компіляція проєкту (Project -> Compile PCB Project). Цей інструмент автоматично перевіряє схему на наявність логічних та електричних помилок (Electrical Rule Check - ERC), таких як:

— короткі замикання між лініями живлення та заземлення;

— непідключені (висячі) виводи мікросхем, що потребують підтяжки;

— конфлікти напрямків сигналів на портах вводу/виводу мікроконтролера;

— дублювання позиційних позначень.

Після виправлення всіх попереджень (Warnings) та помилок (Errors), компілятор підтвердив цілісність електричних зв'язків. Проєкт був повністю підготовлений до експорту даних у редактор друкованих плат (PCB Editor) для подальшого компонування та трасування. Схема електрична принципова розроблена у середовищі Altium наведена на рисунку 2.4.

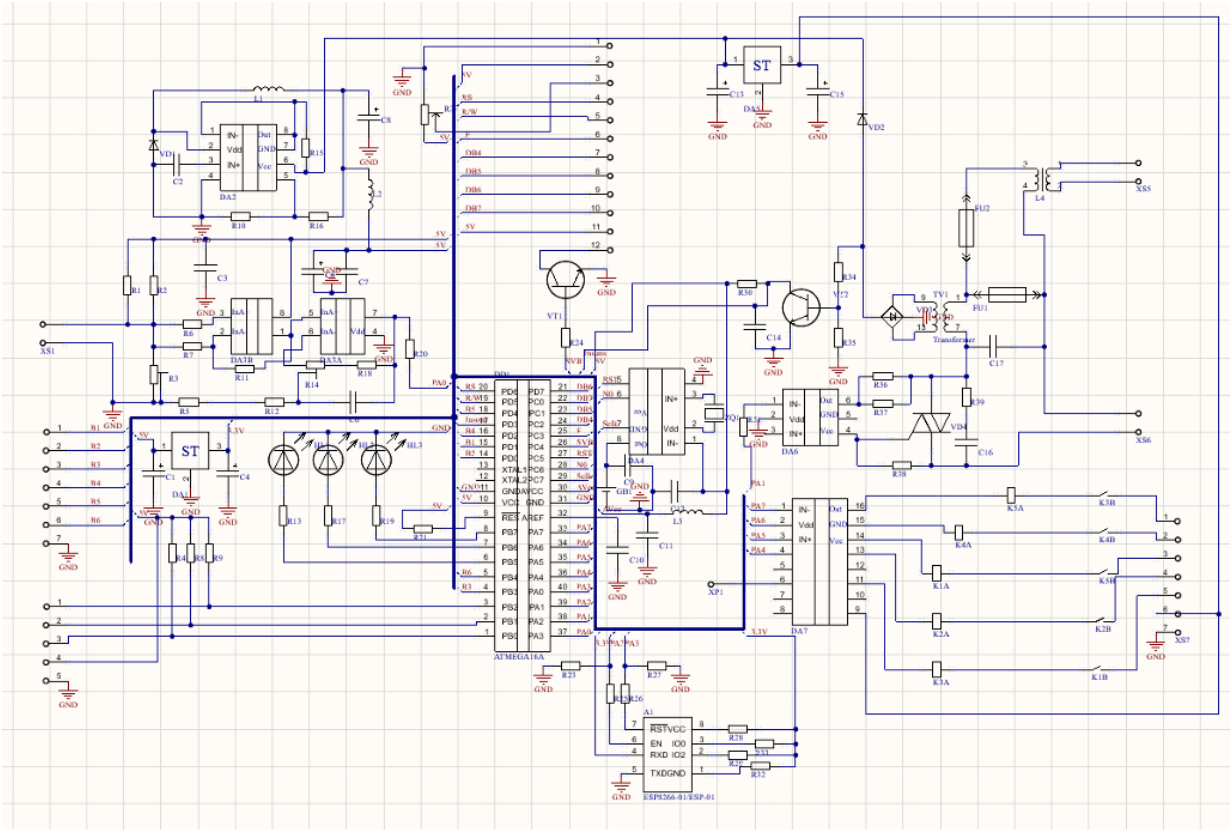


Рисунок 2.4 Схема електрична принципова виконана в середовищі Altium designer

2.3 Трасування з'єднань на ДП в САПР (Altium Designer)

Після успішної компіляції та перевірки електричної принципової схеми наступним етапом розробки є створення фізичної топології друкованого вузла. У середовищі Altium Designer цей процес відзначається високим ступенем автоматизації завдяки тісній інтеграції редакторів схеми та плати.

Процес розробки друкованих плат складався з наступних основних етапів.

Налаштування правил проєктування (Design Rules) Перед початком трасування в редакторі плат було відкрито менеджер правил Design -> Rules, де було задано жорсткі технологічні обмеження, які гарантують безпроблемне виготовлення плат на заводі. Вікно налаштувань наведене на рисунку 2.5.

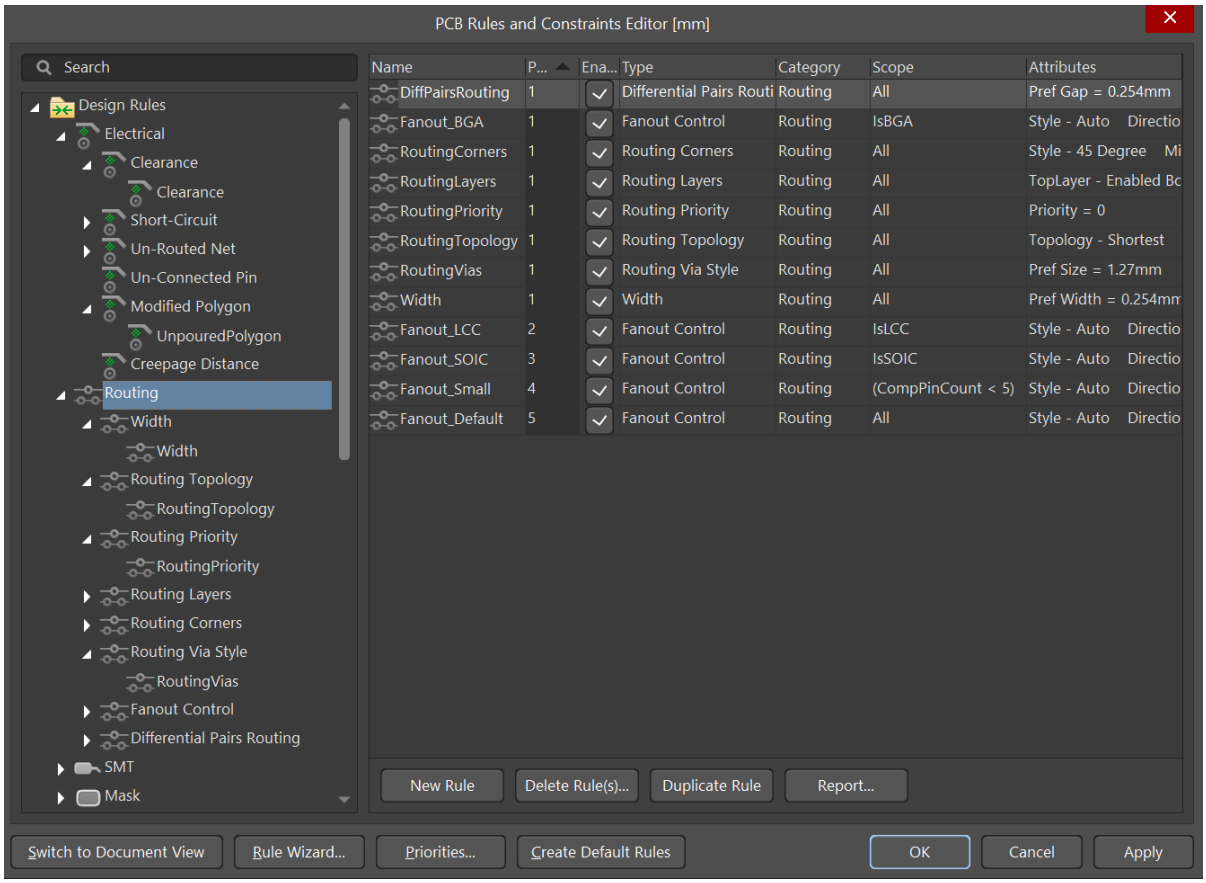


Рисунок 2.5 Вікно Rules

Розміщення та інтерактивне трасування (Interactive Routing) Після визначення контурів плат (Board Shape) компоненти були розставлені відповідно до правил компоновки, описаних у розділі 1.5. Трасування електричних зв'язків виконувалося за допомогою інструменту Interactive Routing. САПР Altium Designer динамічно контролювала дотримання заданих правил (Online DRC), автоматично відштовхуючи сусідні доріжки та генеруючи перехідні отвори (Vias) при переході з верхнього шару на нижній. Особливу увагу було приділено розведенню диференціального вимірювального моста та забезпеченню вільної зони (Keep-Out) навколо PCB-антени Wi-Fi модуля на другій платі. На рисунку 2.6 зображено розміщені елементи до трасування, на рисунку 2.7 зображена плата після трасування.

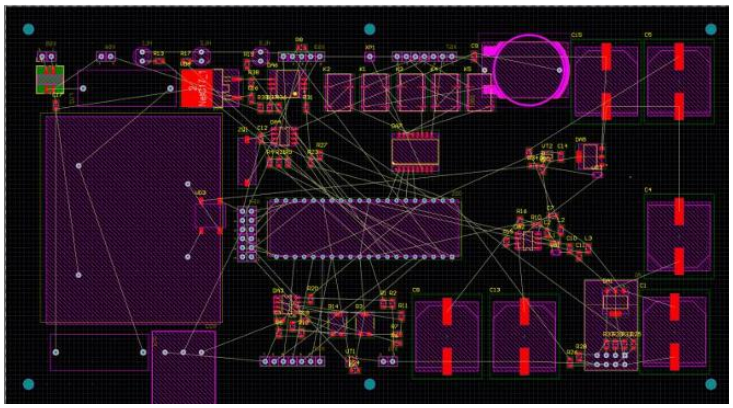


Рисунок 2.6 Розміщення EPE до трасування

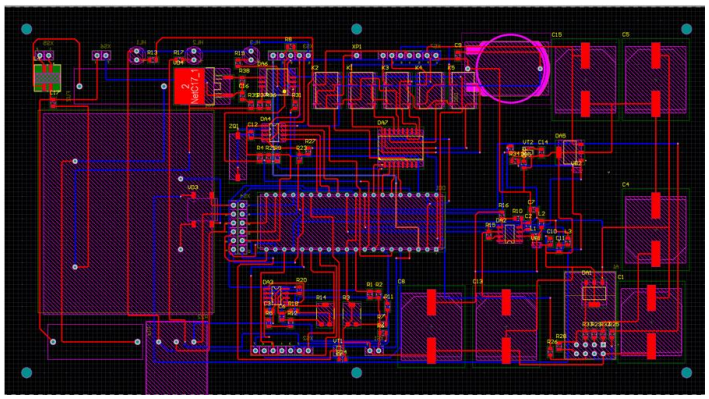


Рисунок 2.7 Друкована плата, розроблена в середовищі Altium Designer

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі було обґрунтовано вибір середовища Altium Designer для практичної реалізації апаратної частини мікропроцесорного регулятора та успішно розроблено його електричну принципову схему з автоматичною перевіркою цілісності зв'язків. Під час інтерактивного трасування дотримано всіх жорстких технологічних обмежень. Завдяки використанню професійного інструментарію САПР вдалося уникнути типових помилок компоновки та створити високоякісну конструкцію друкованого вузла, яка гарантує електромагнітну сумісність, безпеку експлуатації та повністю задовольняє вимоги технічного завдання.

3 Безпека життєдіяльності та охорона праці

3.1 Безпека життєдіяльності в умовах експлуатації котельного обладнання

Експлуатація автономних систем опалення, зокрема твердопаливних або електричних котлів, якими безпосередньо керує розроблений мікропроцесорний пристрій, належить до категорії об'єктів підвищеної небезпеки. Питання безпеки життєдіяльності в цьому контексті охоплює широкий спектр заходів, спрямованих на захист користувачів, обслуговуючого персоналу та навколишнього середовища від впливу потенційно небезпечних факторів, що виникають під час генерації та розподілу теплової енергії. До основних ризиків, що загрожують життю та здоров'ю людини при експлуатації котельного обладнання, належать термічні опіки, небезпека вибуху водяної сорочки котла внаслідок неконтрольованого закипання теплоносія та надлишкового тиску, ураження електричним струмом, а також ризик гострого отруєння чадним газом при порушенні процесів горіння та димовидалення [18]. З огляду на це, розроблений мікропроцесорний регулятор виконує не лише функцію підтримання комфортного температурного режиму, але й виступає головним інтелектуальним ядром комплексної системи безпеки життєдіяльності.

Фундаментальною основою безпечної експлуатації котла є апаратні та програмні засоби протиаварійного захисту, жорстко закладені в архітектуру мікроконтролера ATmega16L. Найбільш критичною та руйнівною аварією для будь-якої закритої системи опалення є закипання теплоносія. При переході води у стан пари її об'єм збільшується у сотні разів, що призводить до миттєвого зростання тиску і, як наслідок, механічного розриву труб або самого теплообмінника котла з викидом перегрітої пари та окропу в приміщення. Для запобігання цьому сценарію в програмному забезпеченні контролера реалізовано алгоритм абсолютного пріоритету безпеки. Якщо математичний

апарат фіксує стрімке зростання температури теплоносія та її наближення до критичної позначки у 90 градусів Цельсія, система негайно генерує апаратне переривання. У цей момент контролер повністю ігнорує будь-які користувацькі налаштування, примусово знеструмлює силовий симістор BT136, повністю зупиняючи вентилятор наддуву і припиняючи подачу кисню в камеру згоряння. Одночасно з цим через блок електромагнітних реле примусово вмикаються всі доступні циркуляційні насоси, що забезпечує максимально швидке скидання надлишкової теплової енергії з котла у радіатори опалення житлових приміщень [19].

Окрім захисту від перегріву, розроблений алгоритм враховує небезпеки, пов'язані з впливом низьких температур. У разі тривалого простою котельного обладнання в зимовий період існує високий ризик замерзання води в трубопроводах, що неминуче призводить до їхньої фізичної руйнації через розширення льоду та подальшого затоплення приміщень. Для усунення цієї загрози мікропроцесорний регулятор, навіть перебуваючи в режимі очікування, продовжує опитувати датчики. При зниженні температури теплоносія нижче 5 градусів Цельсія автоматично активується функція антизамерзання, яка циклічно запускає циркуляційні насоси, не дозволяючи воді кристалізуватися у найвразливіших ділянках системи. Також підтримання мінімальної робочої температури котла на рівні не нижче 40 градусів Цельсія запобігає утворенню агресивного низькотемпературного конденсату на стінках теплообмінника, який здатен викликати швидку наскрізну корозію металу та розгерметизацію котла з витоком чадного газу в приміщення котельні [20].

Важливим кроком у підвищенні рівня безпеки життєдіяльності є впровадження технологій Інтернету речей (IoT). Інтеграція в розроблену плату модуля бездротового зв'язку переводить систему сповіщення на якісно новий рівень. У класичних системах оператор дізнавався про аварію лише за фактом спрацьовування механічних запобіжних клапанів або візуально фіксуючи витік теплоносія. Натомість розроблений пристрій здійснює предиктивний

аналіз ситуації. У разі виникнення будь-якої позаштатної події, такої як обрив вимірювальної лінії датчика, відсутність зв'язку з цифровими вузлами або нетипове зростання температури, модуль Wi-Fi миттєво формує тривожний пакет даних і через мережу Wi-Fi надсилає Push-сповіщення на смартфон користувача. Це дозволяє людині оперативно відреагувати на приховану загрозу, викликати технічну службу або самостійно вжити заходів безпеки ще до того, як ситуація переросте у повномасштабну техногенну аварію.

Електромагнітна та пожежна безпека самого мікропроцесорного пристрою в умовах експлуатації також відіграє вирішальну роль. Котельні приміщення характеризуються підвищеним рівнем запиленості (особливо вугільним або деревним пилом), а також можливими перепадами вологості. Тому друкований вузол, покритий лаком АК-133, повинен обов'язково розміщуватися в герметичному корпусі зі ступенем захисту не нижче IP54. Це унеможливлює потрапляння струмопровідного пилу на контакти високовольтних реле та запобігає виникненню коротких замикань і пожеж. Для захисту користувача від ураження електричним струмом при торканні до панелі керування, схемотехнікою передбачено надійну гальванічну розв'язку між силовою мережею 220 В та низьковольтною логікою мікроконтролера [20]. Всі зовнішні металеві частини котла та корпусу приладу повинні бути підключені до системи зрівнювання потенціалів та контуру заземлення будівлі.

Необхідно також відзначити екологічний аспект безпеки життєдіяльності. Використання мікропроцесорного керування з алгоритмом широтно-імпульсної модуляції для вентилятора наддуву дозволяє надзвичайно точно дозувати об'єм повітря, що подається в зону горіння. Завдяки цьому забезпечується оптимальне співвідношення паливної суміші, що зводить до мінімуму процеси хімічного недопалу. Як наслідок, суттєво знижується емісія високотоксичного оксиду вуглецю (чадного газу) та оксидів азоту в атмосферне повітря. Це не лише покращує екологічну ситуацію в районі експлуатації котельного обладнання, але й кардинально знижує ризик

отруєння мешканців будинку у разі виникнення зворотної тяги або часткового пошкодження димоходу [18]. Таким чином, впровадження розробленого пристрою комплексно вирішує завдання забезпечення безпечних і здорових умов життєдіяльності, захисту навколишнього середовища та безаварійної роботи автономних систем теплопостачання.

3.2 Охорона праці при монтажі та налагодженні мікропроцесорного регулятора

Розробка, монтаж та етап пусконалагоджувальних робіт мікропроцесорного регулятора роботи котла є складним багатоетапним процесом, що супроводжується впливом на інженера-розробника низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Для системного підходу до аналізу умов праці застосовується таксономія небезпек — науково обґрунтована класифікація та систематизація всіх потенційно шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища за їхньою природою, характером впливу на організм людини та наслідками. Згідно з чинними нормативними документами та стандартами безпеки праці, у процесі проєктування, складання та тестування радіоелектронної апаратури дослідник піддається сукупному впливу фізичних, хімічних та психофізіологічних факторів ризику, кожен з яких потребує детального розгляду та впровадження відповідних інженерно-технічних засобів захисту [18].

Розглядаючи фізичну групу факторів у таксономії небезпек, першочергову увагу слід приділити небезпеці ураження електричним струмом. Оскільки розроблений мікропроцесорний регулятор є пристроєм змішаного типу і призначений для безпосередньої комутації потужних мережевих навантажень (циркуляційних насосів та вентилятора наддуву), на його друкованій платі присутні високовольтні кола з напругою 220 В змінного струму. Процес тестування силової частини плати, де розміщені понижуючий трансформатор, блок електромагнітних реле та силовий симістор, становить

реальну загрозу для життя та здоров'я розробника у разі прямого дотику до струмопровідних частин або пробою ізоляції. Для запобігання ураженню електричним струмом робоче місце інженера має бути обов'язково обладнане розподільним щитом із пристроєм захисного відключення, що реагує на струм витоку, а також надійним контуром захисного заземлення з опором не більше 4 Ом. До цього контуру повинні бути підключені металеві корпуси всіх лабораторних вимірювальних приладів, зокрема осцилографа та лабораторного блоку живлення [20]. Крім того, налагодження високовольтних кіл необхідно виконувати виключно з використанням роздільного ізолюючого трансформатора 220/220 В, що унеможливлює утворення замкнутого електричного кола через тіло людини при випадковому одночасному дотиканні до фазного провідника та заземлених елементів конструкції будівлі.

Не менш важливим фізичним фактором є термічна небезпека та специфічний мікроклімат робочої зони. Під час виконання монтажно-паяльних робіт температура робочої частини паяльника досягає 250–300 градусів Цельсія, що створює ризик отримання важких контактних опіків шкіри. Крім того, можливе розбризкування розплавленого припою та флюсу під час лудіння контактних площадок або демонтажу компонентів. Для мінімізації цих ризиків інженер повинен використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри з полікарбонатним склом та спецодяг із цупкої бавовняної тканини, яка не плавиться під дією високих температур. Окремо варто виділити фактор електромагнітного випромінювання. На платі інтегровано модуль бездротового зв'язку ESP8266, який генерує високочастотне електромагнітне поле в діапазоні 2,4 ГГц. Хоча потужність цього передавача є відносно низькою і відповідає санітарним нормам, тривале перебування антени в безпосередній близькості від голови розробника під час тривалого налагодження програмного коду може викликати втому та головний біль, тому плату під час тестування слід розташовувати на відстані не менше півметра від оператора [18].

Хімічна група небезпек у таксономії представлена впливом токсичних речовин, що виділяються у повітря робочої зони на різних етапах створення пристрою. Відповідно до технологічних вимог, визначених у конструкторській документації, монтаж вивідних компонентів здійснюється з використанням класичного олов'яно-свинцевого припою марки ПОС-61. Під час термічної деструкції каніфолі та плавлення цього припою відбувається інтенсивне виділення шкідливих аерозолів важких металів, зокрема парів свинцю, а також оксиду вуглецю та інших побічних продуктів горіння [19]. Регулярне вдихання цих речовин може призвести до хронічної інтоксикації організму, ураження центральної нервової системи та дихальних шляхів. З огляду на це, категорично забороняється проведення паяльних робіт у непровітрюваних приміщеннях. Робоче місце повинно бути в обов'язковому порядку обладнане місцевою витяжною вентиляцією, витяжний зонт якої розташовується безпосередньо над зоною паяння, забезпечуючи швидкість руху повітря в робочому перерізі не менше нормованих показників.

Надзвичайно високий рівень хімічної небезпеки виникає на фінальному етапі збирання друкованого вузла, коли для забезпечення вологостійкості та захисту провідників від корозії в умовах котельні плата покривається електроізоляційним лаком АК-133. До складу даного полімерного покриття входять високоактивні та леткі органічні розчинники, такі як толуол та ксилол, які відносяться до речовин високого класу небезпеки. Ці сполуки не лише є токсичними і можуть викликати гострі алергічні реакції та отруєння, але й створюють підвищену пожежну та вибухову небезпеку при змішуванні їхніх парів із киснем повітря [19]. Тому нанесення лакового покриття та його подальше сушіння має проводитися виключно у спеціалізованій витяжній шафі. Під час виконання цієї операції інженер зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, а саме вугільний респіратор, та захисні рукавички, стійкі до дії хімічних розчинників. У приміщенні, де проводяться роботи з лакофарбовими матеріалами, суворо забороняється використання відкритого вогню, іскріння контактів та куріння.

Висновки

Під час розробки мікропроцесорного регулятора роботи котла з функцією віддаленого керування було створено комплексний пакет конструкторської та технологічної документації. Цей пакет включає принципові електричні схеми, складальні креслення друкованих вузлів та інструкції для їх виробництва.

У першій частині пояснювальної записки розглядаються технічні вимоги, алгоритми програмного керування та принципи роботи пристрою, засновані на його структурній та електричній схематиці. Крім того, наведено інженерні розрахунки критичних вузлів та детально обґрунтовано вибір надійної компонентної бази, здатної працювати в специфічних умовах.

У другій частині звіту наведено аргументацію щодо вибору системи автоматизованого проєктування, методів компоновки та трасування. Для забезпечення високої електромагнітної сумісності та безпеки користувача було реалізовано поділ пристрою на два окремі модулі — силовий та керуючий. Для створення плат були обрані економічно вигідні матеріали та технології змішаного монтажу, які разом із застосуванням спеціальних вологозахисних покриттів забезпечують компактність, функціональність і довговічність виробу.

Детальні технічні характеристики, переліки елементів та процедури контролю якості зібраного виробу описані у відповідних технічних специфікаціях та графічних додатках до проєкту.

Список використаних джерел

1. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю “172 Телекомунікації та радіотехніка” [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://dl.tntu.edu.ua/mods/_standard/file_storage/index.php Дата доступу 10.03.2024.

2. ATmega16L-8AU [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/atmega16l-8au (дата звернення 12.06.2026).

3. ESP-12F (ESP8266) [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/esp-12f (дата звернення 12.06.2026).

4. DS1307Z [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/ds1307z-maxim (дата звернення 12.06.2026).

5. LM358G [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/lm358g-on-semi (дата звернення 12.06.2026).

6. MOC3041SM [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/moc3041sm (дата звернення 12.06.2026).

7. BT136-600E [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/bt136-600e (дата звернення 12.06.2026).

8. ULN2003D1013TR [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/uln2003d1013tr (дата звернення 12.06.2026).

9. LM1117MPX-3.3 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/lm1117mpx-3-3 (дата звернення 12.06.2026).

10. MC34063A [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/mc34063a-stm (дата звернення 12.06.2026).

11. L7812CV [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/l7812cv (дата звернення 12.06.2026).

12. Реле електромагнітне 1462041-7 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.digikey.com/en/products/detail/te-connectivity/1462041-7/ (дата звернення 12.06.2026).

13. Термістор PT100 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/pt100-sensor (дата звернення 12.06.2026).

14. Кварцовий резонатор HC-49SM 16MHz [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/hc-49sm-16-000mhz (дата звернення 12.06.2026).

15. Синфазний дросель 744281101 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.digikey.com/en/products/detail/wurth-elektronik/744281101/ (дата звернення 12.06.2026).

16. Резистори SMD серії RC0805FR [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://imrad.com.ua/ua/rc0805fr-07 (дата звернення 12.06.2026).

17. Шпак Ю. А. Програмування мовою С для AVR і PIC мікроконтролерів / Ю. А. Шпак. – Київ: МК-Пресс, 2011. – 544 с.

18. Офіційна технічна документація Altium Designer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.altium.com/documentation/altium-designer (дата звернення 12.06.2026).

19. Стандарт IPC-2221B. Загальний стандарт конструювання друкованих плат (Generic Standard on Printed Board Design) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ipc.org/ (дата звернення 12.06.2026).

20. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. - К.: Основа, 2017, с. 437.

21. Запорожець О.І. Основи охорони праці. – К.: ВД Центр навчальної літератури (ЦНЛ), 2019, с. 463.

22. НПАОП 32.0-1.02-14 “Правила охорони праці під час виробництва радіо- та електронної апаратури”.

23. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.

24. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів” для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Хвостівська Л.В., Дунець В.Л. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 109 с.

25. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Системи автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / Уклад.: Л.В.Хвостівська. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 63 с.

26. Дунець В.Л., Хвостівський М.О., Сверстюк А.С., Хвостівська Л.В. Математичне та алгоритмічно-програмне забезпечення опрацювання електрокадіосигналів при фізичному навантаженні у кардіодіагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2022. 136 с.

27. Математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення синфазного виявлення радіосигналів в електронних комунікаційних мережах із завадами / Л. Хвостівська, М. Хвостівський, В. Дунець, І. Дедів // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 48–57.

28. Розвиток математичного моделювання трафіку комп'ютерних мереж / М. О. Хвостівський, Г. М. Осухівська, Л. В. Хвостівська, Д. В. Величко // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т.: ТНТУ, 2020. С. 187–188.

29. Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 83-89. – ISSN 2227-8842.

30. Mathematical modelling of daily computer network traffic. Khvostivskyy, M., Osukhivska, H., Khvostivska, L., Lobur T., ,Velychko D, Lupenko, S., Hovorushchenko, T. 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2021, Ternopil. 16

November 2021 до 18 November 2021. CEUR Workshop Proceedings. Том 3039, P.107-111.

31. Хвостівська Л.В., Хвостівський М.О. Синтез структури інформаційної системи реєстрації та обробки пульсового сигналу. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 83-89. – ISSN 2227-8842.

1. Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyy, Vasyl Dunetc, Iryna Dediv. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2022. P.314-318. ISSN 1613-0073.

1. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dediv I., Yatskiv V., Palaniza Y. Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.173-180. ISSN 1613-0073.

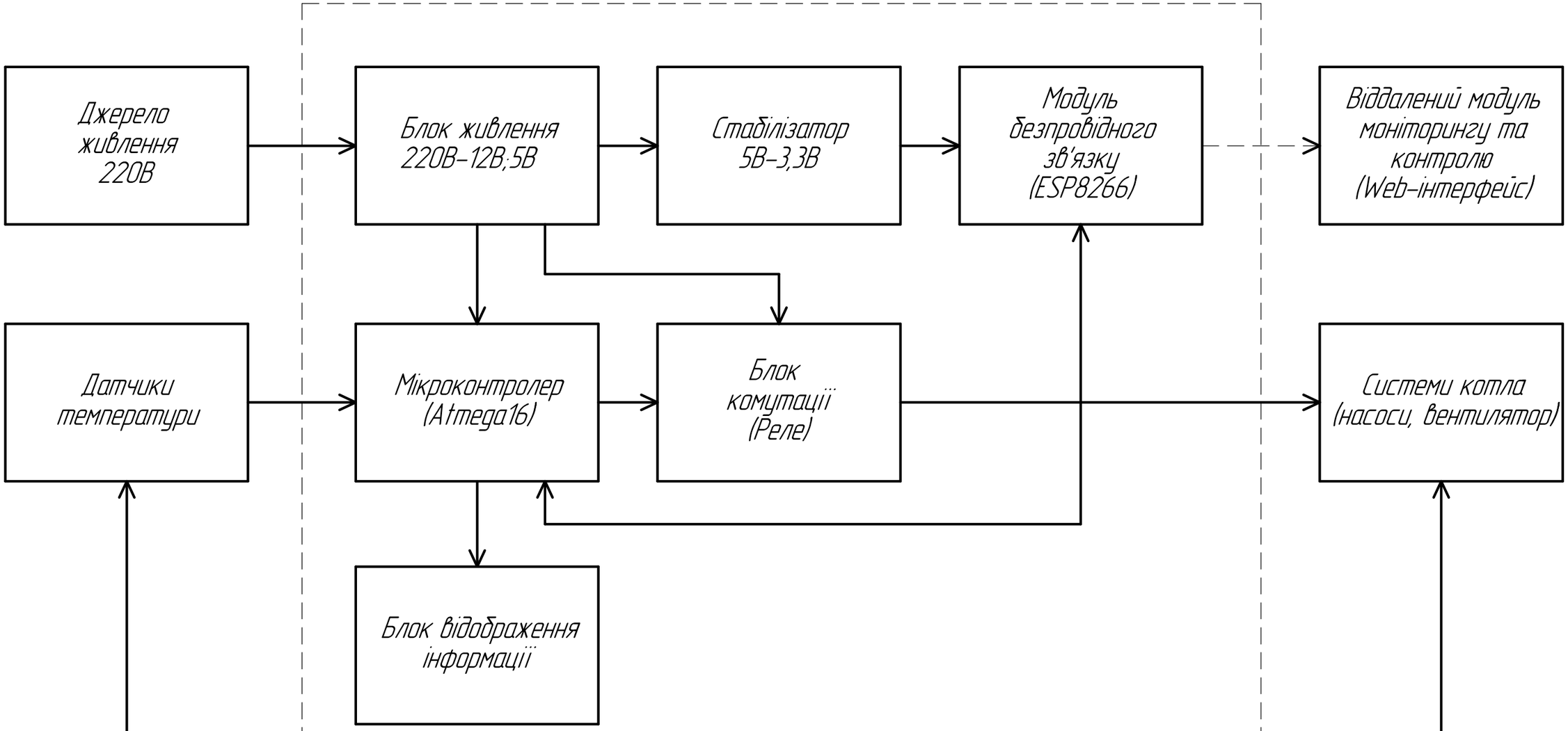
2. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A. Analysis of electricity consumption using the component method of periodically correlated random processes. INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL Computer Systems and Information Technologies, (3), 2025. P.74–82. ISSN 2710-0766.

32. Khvostivskyi M.O., Khvostivska L.V., Dediv I.Yu., Dediv L.Ye. Intelligent computer network traffic forecasting system based on synphase data processing. Visnyk of Kherson National Technical University. 2025. Vol. 1 No. 3(94). P.486-492. ISSN 2078-4481.

ДОДАТКИ

Додатки

КСС 2.899.001 Е1



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КСС 2.899.001 Е1		
Розроб.		Коваль С.С.			Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням	Літ.	Маса	Масштаб
Перев.		Хвостівська Л.В.					–	
Т.контр.					Схема електрична структурна	Аркуш	Аркушів 1	
Рецензент		Дозорська О.Ф.				ТНТУ ім. І.Пулюя група РА–41		
Н.контр.		Хвостівська Л.В.						
Затв.		Дунець В.Л.						

Формат А3

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	Мікропроцесорний регулятор роботи котла		
	з віддаленим керуванням		
A1	Wi-Fi модуль ESP8266 (ESP-12F) «Murata»	1	
	Конденсатори		
C1	SC016-220мкФ-16В±20% «YAGEO»	1	
C2	GRM2165C1H151JA01D «Murata»	1	
C3	GRM219R71H104KA01D «Murata»	1	
C4	SC016-10 мкФ-16V±20% «YAGEO»	1	
C5	SC016-470 мкФ-25V±20% «YAGEO»	1	
C6	GRM219R71H104KA01D «Murata»	1	
C7	GRM219R71H103KA01D «Murata»	1	
C8	SC016-470 мкФ-25V±20% «YAGEO»	1	
C9-C12	GRM219R71H104KA01D «Murata»	1	
C13	SC016-470 мкФ-25V±20% «YAGEO»	1	
C14	GRM2165C1H220JA01D «Murata»	1	
C15	SC016-470 мкФ-25V±20% «YAGEO»		
C16	B32529 «Epcos»	1	
C17	B32529 «Epcos»		
	Мікросхеми		
DA1	LM1117MPX-3.3/NOPB «STMicroelectronics»	1	
DA2	LM358G-S08-R «Texas Instruments»	1	
DA3	MC34063 «Power Integrations»	1	
DA4	L7812CV «STMicroelectronics»	1	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КСС 2.899.001 ПЕЗ		
Розробив		Коваль С.С.			Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням Перелік елементів	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 4
Перевірив		Хвостівська Л.В.					
Рецензор		Дозорська О.Ф.				ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41	
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.					
Затвер.		Дунець В.Л.					

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
DD1	ATmega16L-8AU «Microchip/Atmel»	1	
DD2	DS1307Z «Maxim Integrated»	1	
DD3	ULN2003D1013TR «STMicroelectronics»	1	
DD4	MOC3041SM «ONsemi»	1	
FU1,FU2	Тримач заповіжника FH-101C «KLS»	1	
HL1-HL3	Світлодіод BL-B2441 «BRIGHTLED»	3	
K1-K5	Реле 1462041-7 «TE Connectivity»	5	
L1-L3	0805USB-901MLC «COIL»	3	
L4	744281101 «Wurth Elektronic»	1	
	Резистори		
R1-R2	RC0805FR-4.3 кОм ±1% «YAGEO»	2	
R3	3314G «Bourns»	1	
R4	RC0805FR-4.3 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R5-R6	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	2	
R7	RC0805FR-5.1 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R8-R9	RC0805FR-4.3 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R10	RC0805FR-1 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R11	RC0805FR-43 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R12	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R13	RC0805FR-680 Ом ±1% «YAGEO»	1	
R14	RC0805FR-0.33 Ом ±1% «YAGEO»	1	
R15	RC0805FR-3 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R16	3314G «Bourns»		

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
R17	RC0805FR-680 Ом ±1% «YAGEO»	1	
R18	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R19	RC0805FR-680 Ом ±1% «YAGEO»	1	
R20	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R21	PD181 50k «Bourns»	1	
R22	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R23	RC0805FR-4.7 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R24	RC0805FR-20 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R25,R26	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	2	
R27	RC0805FR-20 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R28- R31	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	4	
R32	RC0805FR-470 Ом ±1% «YAGEO»	1	
R33	RC0805FR-43 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R34	RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R35	RC0805FR-43 кОм ±1% «YAGEO»	1	
R36-	RC0805FR-470 Ом ±1% «YAGEO»	2	
R38			
R39	RC0805FR-51 Ом ±1% «YAGEO»	1	
TV1	Трансформатор 70012 «Talema»	1	
	Діоди		
VD1	1N5819W «Bourns»	1	
VD2	1N4007FL «Diodes Inc»	1	
VD3	DB107S «DC Components»	1	
VS1	Симістор BT136-600E «WeEn Semi»	1	
VT1, VT2	Транзистор BC847B «Nexperia»	1	

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
XS1–XS7	Роз'єм штирьовий PLS	7	
XP1	Роз'єм штирьовий PLS	1	
ZQ1,ZQ2	Кварцевий резонатор HC-49SM «YIC»	1	

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	КСС 2.899.001 ПЕЗ	Арк 4

КСС 2.899.001 Е3

XS1	
Коло	№
PT100	1
GND	2

XS2	
Коло	№
Button 1	1
Button 2	2
Button 3	3
Button 4	4
Button 5	5
Button 6	6
GND	7

XS3	
Коло	№
Thermo 1	1
Thermo 2	2
Thermo 3	3
Thermo Vcc	4
GND	5

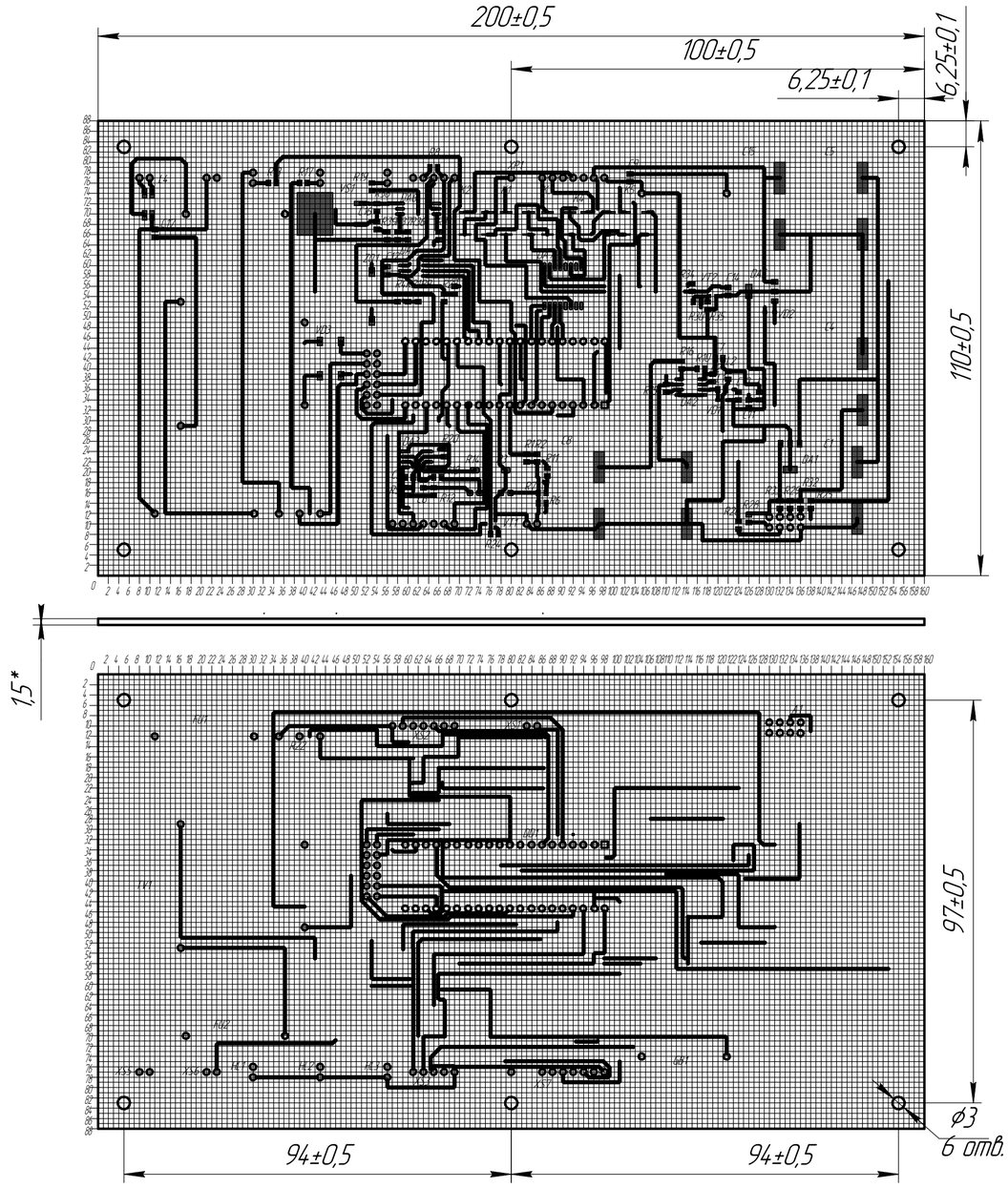
XS4	
№	Коло
1	L
2	N

XS5	
№	Коло
1	FAN+
2	FAN–

					КСС 2.899.001 Е3	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		
Розроб.		Кобаль С.С.			Мікропроцесорний регулятор роботи котла з віддаленим керуванням	Літ. / Маса / Масштаб
Перев.		Хвостівська Л.В.				–
Т.контр.					Схема електрична принципова	Арк. 1 / Аркушів 1
Рецензент		Дозорська О.Ф.				ТНТУ ім. І.Пулюя
Н.контр.		Хвостівська Л.В.				група РА-41
Затв.		Дунець В.Л.				

Формат А2

КСС 7.002.001



Таблиця отворів

Позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	К-ть отворів
○	0.7	1.5	металіз.	111
●	0.3	0.7	металіз.	68
▬	–	1.3x1	–	272
⬭	–	1x2	–	94

1. *Розміри для довідок;
2. Клас точності 3
3. Крок координатної сітки 1.25 мм.
4. Плату виготовляти електрохімічним методом.
5. Параметри отворів–див.Таблицю отворів.
6. Мінімальна ширина другованих провідників 0.4 мм
7. Мінімальна відстань між друкованими провідниками 0.3 мм.
8.Плату маркувати фарбою ТН ПФ–01 біла ТУ 29–02–889–88шрифтом 2.5 ПР. 4.1.
9. Контактні площадки покрити припоєм ПОС–40

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КСС 7.102.001			
Розроб.		Коваль С.С.			Плата друкована	Літ.	Маса	Масштаб
Перев.		Хвостівська Л.В.					0,15	1:1
Т.контр.						Арк.	Аркушів 1	
Рецензент		Дозорська О.Ф.			СФ–2–35–ІКП	ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА–41		
Н.контр.		Хвостівська Л.В.						
Зат.		Дунець В.Л.						

Формат А2

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				Документація		
А3			КСС 2.899.001 Е3	Схема електрична принципова		
А4			КСС 2.899.001 ПЕ3	Перелік елементів		
А2			КСС 2.899.001 СК	Друкований вузол		
				Деталі		
А2		1	КСС 7.102.001	Плата друкована	1	
				Інші вироби		
		2		Wi-Fi модуль ESP8266 (ESP-12F)	1	А1
				«Murata»		
				Конденсатори		
		3		SC016-220мкФ-16В±20% «YAGEO»	1	С1
		4		GRM2165C1H151JA01D «Murata»	1	С2
		5		GRM219R71H104KA01D «Murata»	6	С3, С6, С9-
						С12
		6		SC016-10 мкФ-16V±20% «YAGEO»	1	С4
		7		SC016-470 мкФ-25V±20% «YAGEO»	4	С5, С8, С13,
						С15
		8		GRM219R71H103KA01D «Murata»	1	С7
		9		GRM2165C1H220JA01D «Murata»	1	С14
		10		B32529 «Epcos»	2	С16, С17
				Мікросхеми		
		11		LM1117MPX-3.3/NOPB	1	DA1
				«STMicroelectronics»		

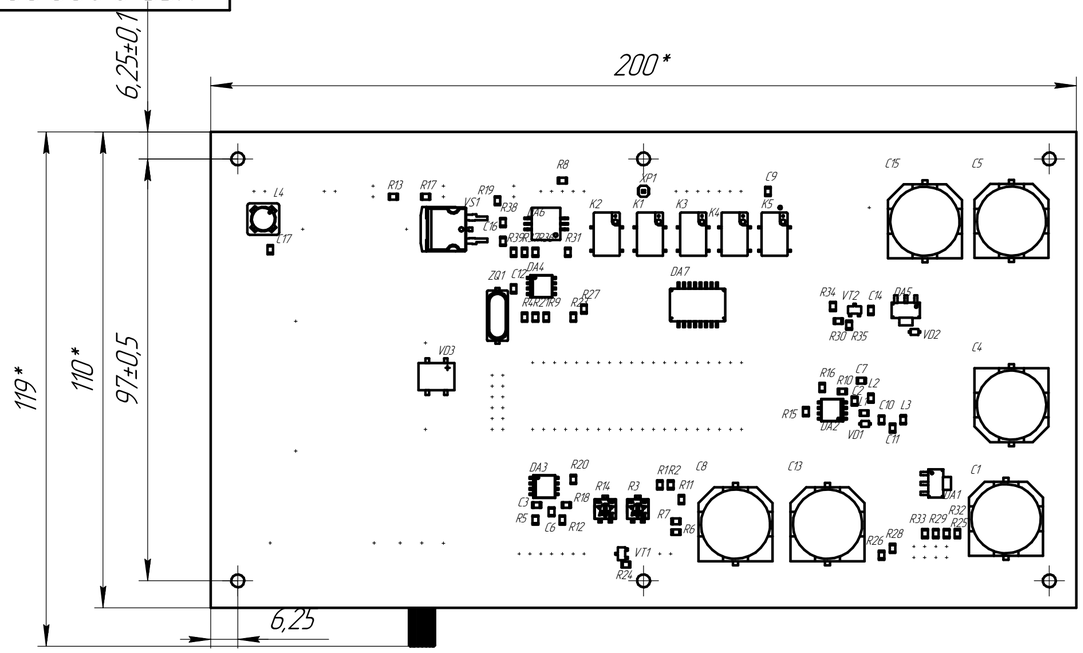
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КСС 2.899.001 СП		
Розроб.		Коваль С.С.			Вузол друкований	Літ.	Аркуш 1 / Аркушів 3
Перевір.		Хвостівська Л.В.				Н	
		Дозорська О.Ф.				ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА-41	
Н Контр.		Хвостівська Л.В.					
Затверд.		Дунець В.Л.					

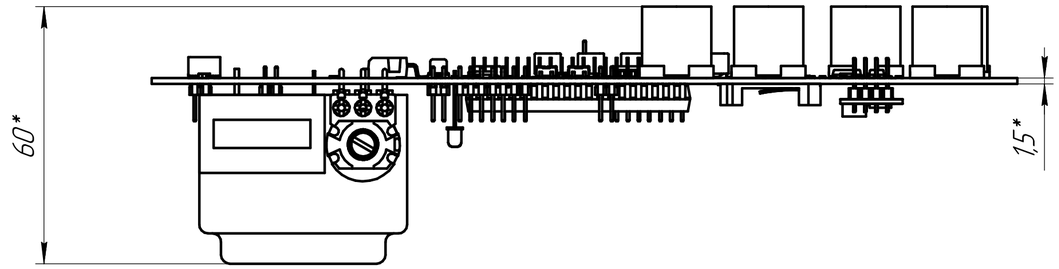
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
		12		LM358G-S08-R «Texas Instruments»	1	DA2
		13		MC34063 «Power Integrations»	1	DA3
		14		L7812CV «STMicroelectronics»	1	DA4
		15		ATmega16L-8AU «Microchip/Atmel»	1	DD1
		16		DS1307Z «Maxim Integrated»	1	DD2
		17		ULN2003D1013TR «STM»	1	DD3
		18		MOC3041SM «ONsemi»	1	DD4
		19		Тримач запобіжника FH-101C «KLS»	2	FU1, FU2
		20		Світлодіод BL-B2441 «BRIGHTLED»	3	HL1-HL3
		21		Реле 1462041-7 «TE Connectivity»	5	K1-K5
		22		0805USB-901MLC «COIL»	3	L1-L3
		23		744281101 «Wurth Elektronic»	1	L4
				Резистори		
		24		RC0805FR-0.33 Ом ±1% «YAGEO»	1	R14
		25		RC0805FR-51 Ом ±1% «YAGEO»	1	R39
		26		RC0805FR-470 Ом ±1% «YAGEO»	3	R32, R36-
						R38
		27		RC0805FR-680 Ом ±1% «YAGEO»	3	R13, R17, R19
		28		RC0805FR-1 кОм ±1% «YAGEO»	1	R10
		29		RC0805FR-3 кОм ±1% «YAGEO»	1	R15
		30		RC0805FR-4.3 кОм ±1% «YAGEO»	5	R1-R2, R4,
						R8-R9
		31		RC0805FR-4.7 кОм ±1% «YAGEO»	1	R23
		32		RC0805FR-5.1 кОм ±1% «YAGEO»	1	R7
		33		RC0805FR-10 кОм ±1% «YAGEO»	10	R5-R6, R12,
						R28-R31,
						R18, R20,R31,
		34		RC0805FR-20 кОм ±1% «YAGEO»	2	R24, R27
		35		RC0805FR-43 кОм ±1% «YAGEO»	3	R11, R33, R35
		36		3314G «Bourns»	2	R3, R16

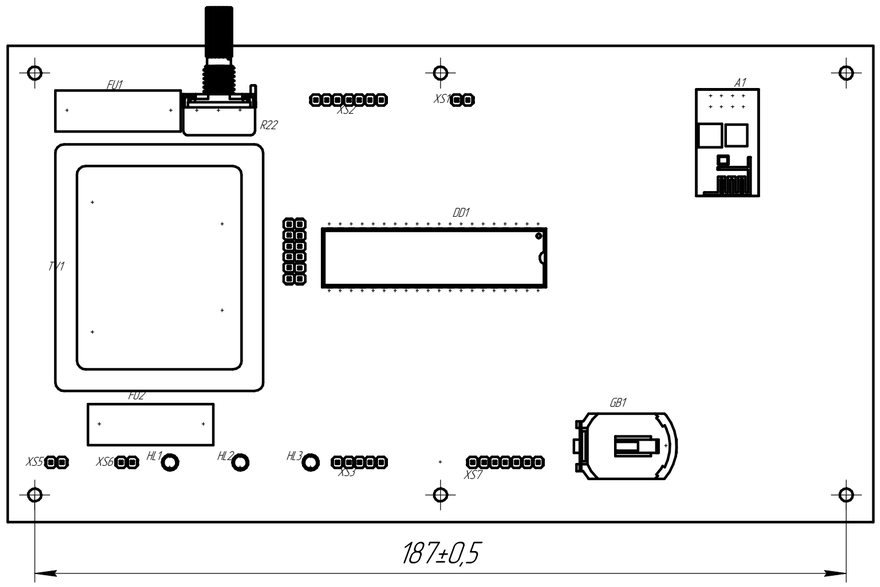
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
		37		PD181 50k «Bourns»	1	R21
		38		Трансформатор 70012 «Talema»	1	TV1
				Діоди		
		39		1N5819W «Bourns»	1	VD1
		40		1N4007FL «Diodes Inc»	1	VD2
		41		DB107S «DC Components»	1	VD3
		42		Симістор BT136-600E «WeEn Semi»	1	VS1
		43		Транзистор BC847B «Nexperia»	2	VT1, VT2
		44		Роз'єм штирьовий PLS	8	XS1-XS7
						XP1
		45		Кварцевий резонатор HC-49SM	2	ZQ1, ZQ2
				«YIC»		

					КСС 2.899.001 СП	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

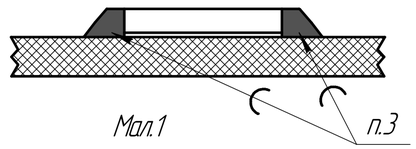
КСС 2.899.001 СК



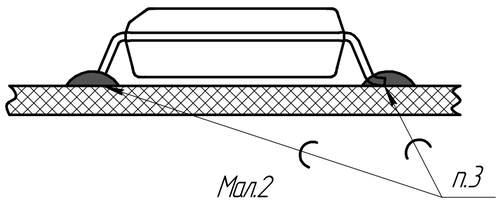




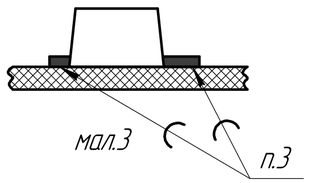
4:1



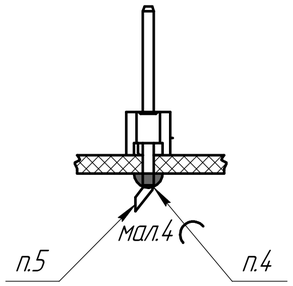
4:1



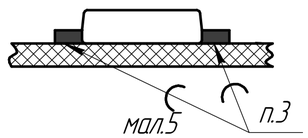
4:1

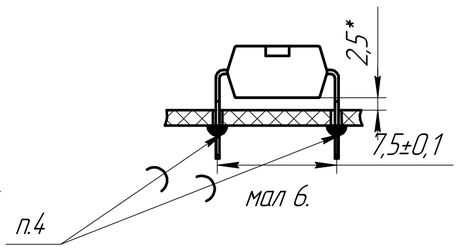


4:1



4:1





1. * Розміри для довідок
2. Крок координатної сітки 1,25мм, елементи встановити: резистори R1, R2, R4–R13, R15–R21, R23, R33 згідно мал.1; конденсатори C2–C3, C6–C7, C9–C12, згідно мал.1; мікросхеми DA2–DA4 згідно мал.2; мікросхеми DA1–DA5 згідно мал.3; роз'єми XS1–XS7 згідно мал.4; діоди VD1–VD3, згідно мал.5; мікросхему DD1 згідно мал. 6
3. Паяти паяльною пастою SAC305 "Mechanic"
4. Паяти ПОС–61
5. Виводи згинати під кутом 30 та обрізати в межах контактних площадок
6. Покрити лаком АК–133
7. Позначення елементів показано умовно

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	КСС 2.899.001 СК		
Розроб.		Ковальчук С.С.			Вузол друкований	Літ.	Маса 0,5 / Масштаб 1:1
Перев.		Хвостівська Л.В.			Складальне креслення	Арк.	Аркушів 1
Т.контр.						ТНТУ, ФПТ каф. РТ гр. РА–41	
Рецензент		Дозорська О.Ф.					
Н.контр.		Хвостівська Л.В.					
Затв.		Дунець В.Л.					

Формат А2