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

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Високоточний цифровий термометр

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

	(підпис)	Дутка А.І. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Химич Г.П. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Хвостівська Л.В. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Дунець В.Л. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	(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
Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 28 » квітня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Дутці Артурові Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Високоточний цифровий термометр

Керівник роботи Химич Григорій Петрович ст.в.каф РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «*28*» *04* 2026 року № *4/9-198*

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: високоточний цифровий термометр з виносним ермоперетворювачем опору Cu1000 RTD; напруга живлення пристрою — 5 В; індикація результату вимірювання — цифрова; основа вимірювальної частини — операційний підсилювач LM358 та аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Основна частина
2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці
Висновки
Список використаних джерел
Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Структурна схема високоточного цифрового термометра
2. Схема електрична принципова високоточного цифрового термометра
3. Друкований вузол блока високоточного цифрового термометра
4. Креслення друкованої плати високоточного цифрового термометра

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,	*Барановський В.М., д.т.н., проф.*		
основи охорони праці	*каф. МТ*		

7. Дата видачі завдання 12.03.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних	14.03.2026	
	матеріалів, необхідних для виконання роботи		
3	Аналіз існуючих цифрових термометрів та засобів	21.03.2026	
	вимірювання температури		
4	Розробка структурної схеми високоточного цифрового	23.03.2026	
	термометра		
5	Розробка електричної принципової схеми	10.04.2026	
6	Вибір та обґрунтування елементної бази пристрою	12.04.2026	
7	Розробка опису принципу роботи високоточного	16.04.2026	
	цифрового термометра та його основних		
	функціональних вузлів		
8	Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи	22.04.2026	
	пристрою		
9	Розрахунок параметрів друкованої плати та елементів	02.05.2026	
	друкованого монтажу		
10	Компонування елементів і трасування друкованої плати	15.05.2026	
	високоточного цифрового термометра		
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення	23.05.2026	
	посадкових місць та параметрів друкованого вузла		
12	Розробка конструкторської документації на	03.06.2026	
	високоточний цифровий термометр		
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	08.06.2026	
14	Нормоконтроль	09.06.2026	
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026	
16	Перевірка роботи на антиплагіат	12.06.2026	
17	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026	

Студент _____ *Дутка А.І.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Химич Г.П.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка засобами автоматизованого проєктування комплекту конструкторської документації на високоточний цифровий термометр». Кваліфікаційна робота бакалавра / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАс-41. // Тернопіль, 2026 р. // с.-76, рис.-11, табл.-6, бібліогр.-33, додат.-6.

Ключові слова: ВИСОКОТОЧНИЙ ЦИФРОВИЙ ТЕРМОМЕТР, Cu1000, АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, DIP/THT-МОНТАЖ, ALTIUM DESIGNER, КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ.

У роботі проведено аналіз завдання щодо розробки комплекту конструкторської документації на високоточний цифровий термометр та обґрунтовано актуальність роботи.

Розглянуто структурну й електричну принципову схеми пристрою, описано принцип його роботи та основні функціональні вузли. Виконано розрахунок вимірювального вузла з термоперетворювачем опору Cu1000, вибір елементної бази, компонування друкованого вузла, розрахунок надійності та параметрів друкованого монтажу.

У середовищі Altium Designer розроблено друкований вузол високоточного цифрового термометра, створено бібліотечні елементи, посадкові місця, електричну принципову схему, друковану плату, виконано трасування та перевірки ERC і DRC. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності й охорони праці під час розробки, виготовлення та експлуатації пристрою.

ANNOTATION

Topic of the qualification work: “Development of a design documentation set for a high-precision digital thermometer using computer-aided design tools”. Bachelor’s qualification work / Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RAs-41. // Ternopil, 2026. // p.-76, fig.-11, tabl.-6, ref.-33, app.-6.

Keywords: HIGH-PRECISION DIGITAL THERMOMETER, Cu1000, ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER, PRINTED CIRCUIT BOARD, DIP/THT MOUNTING, ALTIUM DESIGNER, DESIGN DOCUMENTATION.

The work analyzes the task of developing a design documentation set for a high-precision digital thermometer and substantiates the relevance of the work.

The structural and electrical schematic diagrams of the device were considered, and its operating principle and main functional units were described. The measuring unit with the Cu1000 resistance temperature sensor was calculated, the component base was selected, and the PCB layout, reliability and printed circuit parameters were determined.

The printed circuit board assembly of the high-precision digital thermometer was developed in Altium Designer. Library components, footprints, the electrical schematic diagram and the printed circuit board were created, routing was performed, and ERC and DRC checks were completed. Life safety and occupational safety issues during the development, manufacturing and operation of the device were considered.

Зміст

Вступ 8
1. Основна частина 10
1.1 Аналіз технічного завдання 10
1.2 Аналіз структурної схеми виробу 15
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою 18
1.3.1 Опис електричної принципової схеми 18
1.3.2 Розрахунок вузла електричної принципової схеми пристрою 20
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази 25
1.4.1 Опис принципу роботи високоточного цифрового термометра 25
1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази 28
1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу 41
1.5.1 Компоновка друкованого вузла 41
1.5.2 Розрахунок надійності проектованого виробу 43
1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу 45
1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати 47
1.6 Висновок до розділу 1 49
2. Спеціальна частина 51
2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання 51
2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer 52
2.3 Висновок до розділу 2 60
3. Охорона праці та безпека життєдіяльності 61

3.1 Застосування ризик-орієнтованого підходу під час розроблення та експлуатації високоточного цифрового термометра 61
3.2 Заходи з техніки безпеки під час виготовлення друкованого вузла високоточного цифрового термометра 64
3.3 Висновок до розділу 3 68
Висновки 69
Список використаних джерел 71
Додатки 73

Вступ

Температура є одним із базових фізичних параметрів, який контролюється у побуті, лабораторних дослідженнях, виробничих процесах, системах автоматики, медичній техніці та під час налагодження електронного обладнання. У багатьох випадках важливо не просто зафіксувати факт нагрівання або охолодження, а отримати достатньо точне числове значення температури. Саме тому цифрові термометри залишаються актуальними вимірювальними пристроями, незважаючи на велику кількість готових сенсорних модулів і компактних електронних приладів.

Сучасний цифровий термометр повинен поєднувати точність вимірювання, стабільність роботи, просту індикацію результату, зручність підключення датчика та технологічність виготовлення. Для підвищення точності вимірювання доцільно використовувати термоперетворювач опору, оскільки його параметри змінюються достатньо передбачувано при зміні температури. Виносне виконання датчика дозволяє розміщувати чутливий елемент окремо від основної електронної частини, що зручно при вимірюванні температури у важкодоступних місцях або в середовищі, де небажано розміщувати весь електронний вузол.

Актуальність кваліфікаційної роботи пов’язана з необхідністю розробки високоточного цифрового термометра, який має зрозумілу схемотехнічну структуру, доступну елементну базу та може бути реалізований у вигляді друкованого вузла з комплектом конструкторської документації. Такий пристрій є зручним для навчального проєктування, оскільки в ньому поєднуються аналогова вимірювальна частина, аналого-цифрове перетворення, логічні елементи, буферні каскади індикації та друкований монтаж.

Розроблюваний високоточний цифровий термометр призначений для вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача

опору та відображення результату на цифровій індикації. До складу пристрою входять операційний підсилювач, аналого-цифровий перетворювач, логічні мікросхеми, буферні елементи, польові транзистори, резистори, конденсатори та роз'єми. Живлення пристрою здійснюється від джерела постійної напруги 5 В.

Особливістю конструкції є використання виключно навісного DIP/THT-монтажу. Усі електрорадіоелементи встановлюються на друковану плату через монтажні отвори, без застосування SMD-компонентів. Такий підхід спрощує ручне складання, перевірку правильності монтажу, налагодження та ремонт пристрою. Для навчальної кваліфікаційної роботи це є доречним рішенням, оскільки конструкція залишається достатньо наочною, а всі основні елементи можна легко ідентифікувати на платі та кресленнях.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка засобами автоматизованого проєктування комплекту конструкторської документації на високоточний цифровий термометр, призначений для вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача опору та відображення результату на цифровій індикації.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

– проаналізувати технічне завдання та визначити основні вимоги до високоточного цифрового термометра;

– розглянути призначення і взаємодію основних функціональних вузлів пристрою;

– описати електричну принципову схему високоточного цифрового термометра;

– виконати розрахунок вимірювального вузла електричної принципової схеми;

– обґрунтувати вибір елементної бази пристрою;

– описати принцип роботи високоточного цифрового термометра;

– виконати компонування друкованого вузла та розрахунок його основних параметрів;

– провести орієнтовний розрахунок надійності проєктованого виробу;

– розглянути технологію виготовлення друкованої плати;

– створити друкований вузол у середовищі Altium Designer та підготувати матеріали для оформлення конструкторської документації;

– розглянути питання охорони праці та безпеки життєдіяльності, пов’язані з виготовленням, налагодженням і експлуатацією пристрою.

Об’єктом розробки є процес вимірювання температури за допомогою електронного цифрового вимірювального пристрою.

Предметом розробки є апаратна частина високоточного цифрового термометра, побудована на основі термоперетворювача опору, аналогового вимірювального вузла, аналого-цифрового перетворювача, логічних мікросхем, буферних елементів індикації та двосторонньої друкованої плати з навісним монтажем.

Під час виконання кваліфікаційної роботи використовується середовище автоматизованого проєктування Altium Designer. У ньому виконуються створення бібліотечних компонентів, розроблення електричної принципової схеми, призначення посадкових місць, розміщення елементів на друкованій платі, трасування друкованих провідників, перевірка проєкту та підготовка графічної частини документації. Використання САПР дозволяє зменшити кількість помилок під час проєктування і забезпечити узгодженість між схемою, друкованою платою та конструкторськими документами.

Практичне значення роботи полягає у створенні комплекту конструкторської документації на високоточний цифровий термометр, який може бути використаний для виготовлення, складання та перевірки друкованого вузла. Розроблений пристрій має зрозумілу структуру, доступну елементну базу, зручний для монтажу формат виконання та може бути застосований як навчальний або лабораторний вимірювальний прилад.

1. ОСНОВНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз технічного завдання

Основні технічні характеристики виробу

Напруга живлення 5В

Максимальний струм споживання ..... до 1А

Тип датчика температури .....виносний термоперетворювач опору Cu1000

Тип індикації.....цифрова

Контрольовані параметри.....температура

Принцип вимірювання.....перетворення зміни опору датчика у вимірювальний електричний сигнал

Габарити 107x85x15мм

Технічне завдання на кваліфікаційну роботу передбачає розробку високоточного цифрового термометра. Пристрій призначений для вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача опору та відображення результату вимірювання на цифровій індикації. Основна увага в роботі приділяється розробці апаратної частини пристрою, вибору елементної бази, побудові електричної принципової схеми, компонуванню друкованого вузла та створенню комплекту конструкторської документації.

Температура є одним із найчастіше контрольованих параметрів у технічних системах. Її вимірювання потрібне у лабораторних установках, побутових пристроях, системах контролю технологічних процесів, електронних вимірювальних приладах і під час налагодження радіоелектронної апаратури. У таких випадках важливо отримати не приблизну оцінку нагрівання, а стабільне числове значення, яке можна вивести на індикатор і використати для подальшого аналізу.

У розроблюваному пристрої як чутливий елемент використовується виносний термоперетворювач опору Cu1000 RTD. Його опір змінюється

залежно від температури, а вимірювальна частина схеми перетворює цю зміну у відповідний електричний сигнал. Виносне виконання датчика є зручним, оскільки чутливий елемент можна розмістити в зоні вимірювання, а електронний блок залишити окремо. Це зменшує вплив нагрівання елементів плати на результат вимірювання та робить пристрій більш зручним у використанні.

Основою електричної схеми є аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ. Його використання є доцільним для цифрового термометра, оскільки він дозволяє перетворювати аналоговий сигнал вимірювального вузла у цифрову форму, придатну для відображення на індикаторах. Такий підхід дає змогу побудувати пристрій без мікроконтролера, використовуючи спеціалізовану мікросхему АЦП та допоміжні логічні елементи.

Аналогова частина високоточного цифрового термометра побудована на операційному підсилювачі LM358N, польових транзисторах 2N5457, резисторах і конденсаторах. Цей вузол забезпечує формування сигналу від виносного термоперетворювача опору та його подальше передавання до аналого-цифрового перетворювача. Для такого типу пристрою важливо, щоб аналогова частина була виконана акуратно, оскільки саме вона найбільше впливає на стабільність і точність вимірювання.

Логічна частина схеми реалізована на мікросхемах SN74ALS00AN і SN74ALS02AN. Вони використовуються для формування допоміжних цифрових сигналів, необхідних для роботи перетворювального та індикаторного вузлів. Для узгодження сигналів індикації застосовуються буферні мікросхеми SN74ALS244CN. Їх використання дає змогу розвантажити виходи основних цифрових вузлів і забезпечити більш надійне керування лініями цифрової індикації.

Розроблюваний термометр живиться від джерела постійної напруги 5 В. Такий рівень живлення є зручним для більшості використаних мікросхем і добре підходить для навчального вимірювального пристрою. При цьому у

схемі необхідно передбачити фільтрацію живлення, правильне розведення шини +5 В і загального провідника GND, а також достатню ширину провідників живлення на друкованій платі.

Важливою вимогою технічного завдання є використання навісного DIP/THT-монтажу. Усі мікросхеми, резистори, конденсатори, транзистори та роз’єми встановлюються на друковану плату через монтажні отвори. SMD-компоненти в даній конструкції не використовуються. Це рішення є зручним для складання й налагодження, оскільки елементи мають достатньо великі корпуси, легко читаються на платі та можуть бути замінені у разі потреби.

З конструктивної точки зору для пристрою прийнято двосторонню друковану плату прямокутної форми. Усі елементи розміщуються з однієї сторони плати, а друковані провідники виконуються на двох провідникових шарах. Такий варіант є раціональним для схеми з великою кількістю з’єднань між АЦП, логічними мікросхемами та буферним вузлом індикації. Використання двох шарів дозволяє зменшити кількість перемичок і зробити трасування більш акуратним.

Габаритні розміри друкованої плати становлять 107 × 85 мм. Така площа є достатньою для розміщення мікросхем у DIP-корпусах, вивідних резисторів, конденсаторів, транзисторів і роз’ємів без надмірного ущільнення монтажу. Розміщення елементів з однієї сторони спрощує ручне складання, а також робить плату зручнішою для перевірки після паяння.

Як матеріал основи плати доцільно використовувати фольгований склотекстоліт FR-4 або СФ-2-35 товщиною 1,5 мм з мідною фольгою 35 мкм. Такий матеріал має достатню механічну міцність, стабільні електроізоляційні властивості та добре підходить для друкованих плат із вивідними елементами. Для даного термометра немає потреби у використанні багатошарової плати або складних технологій виготовлення, оскільки схема не містить високочастотних вузлів чи SMD-компонентів із малим кроком виводів.

Перед початком розробки високоточного цифрового термометра доцільно коротко розглянути існуючі пристрої для вимірювання температури. На практиці використовуються прості побутові цифрові термометри, портативні прилади з виносним щупом, лабораторні цифрові термометри та панельні вимірювачі температури для промислових систем. Кожна з цих груп має свої переваги та обмеження.

Найпростішими є побутові цифрові термометри з вбудованим або виносним датчиком. Вони мають невеликі габарити, просту індикацію та низьку вартість. Такі пристрої зручні для повсякденного використання, однак їх конструкція зазвичай є закритою, а елементна база не завжди придатна для вивчення принципу роботи або самостійного доопрацювання.

Рисунок 1.1 – Побутовий цифровий термометр з виносним датчиком

Портативні цифрові термометри з щупом використовуються для вимірювання температури рідин, повітря, поверхонь або технологічних середовищ. Їх перевагою є зручність перенесення та можливість роботи в різних умовах. Недоліком є те, що такі прилади переважно виконані як готові вироби, у яких користувач не має доступу до схемотехнічної частини та не може змінювати конструкцію під конкретні навчальні або дослідні задачі.

Рисунок 1.2 – Портативний цифровий термометр з вимірювальним щупом

Лабораторні цифрові термометри мають кращу стабільність і можуть працювати з точнішими датчиками температури, зокрема з термоперетворювачами опору. Такі прилади застосовуються там, де потрібна вища достовірність результатів вимірювання. Водночас вони мають вищу вартість, складнішу конструкцію і не завжди є доцільними для простих навчальних або побутових вимірювань.

Рисунок 1.3 – Лабораторний цифровий термометр з виносним датчиком

У результаті аналізу можна зробити висновок, що готові цифрові термометри добре виконують свої прикладні функції, але не завжди підходять для навчального проєктування та розробки конструкторської документації. У них користувач зазвичай не має доступу до схеми, друкованої плати та повного складу елементної бази. Тому розробка власного високоточного

цифрового термометра є доцільною, оскільки дозволяє послідовно пройти всі етапи створення пристрою: від аналізу технічного завдання до виконання електричної принципової схеми, друкованої плати, складального креслення і специфікації.

Розроблюваний пристрій відрізняється тим, що його апаратна частина є зрозумілою для аналізу та налагодження. У ньому використано виносний термоперетворювач опору, аналогову вимірювальну частину, спеціалізований аналого-цифровий перетворювач, логічні мікросхеми та буферний вузол індикації. Це дозволяє показати повний шлях формування вимірювального сигналу: від зміни опору датчика до появи числового результату на цифровій індикації.

Таким чином, аналіз технічного завдання показує, що розробка високоточного цифрового термометра є актуальною для навчального й лабораторного застосування. Пристрій має достатньо просту для складання, але змістовну з точки зору схемотехніки структуру. Прийняті технічні рішення — використання термоперетворювача опору Cu1000 RTD, аналого-цифрового перетворювача ICL7107CPLZ, DIP/THT-елементної бази та двосторонньої друкованої плати — відповідають призначенню пристрою і створюють основу для подальшого проєктування структурної схеми, електричної принципової схеми та друкованого вузла.

1.2 Аналіз структурної схеми високоточного цифрового термометра

Структурна схема високоточного цифрового термометра відображає загальний принцип побудови пристрою та взаємодію його основних функціональних вузлів. На відміну від електричної принципової схеми, структурна схема не показує всі окремі елементи та електричні з’єднання між ними, а дає змогу зрозуміти, з яких частин складається пристрій і яку функцію виконує кожна з них.

Розроблюваний цифровий термометр призначений для вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача опору Cu1000. Принцип роботи пристрою базується на тому, що опір датчика змінюється залежно від температури. Ця зміна опору перетворюється у вимірювальний електричний сигнал, який після обробки надходить на аналого-цифровий перетворювач. Далі результат вимірювання формується у цифровому вигляді та виводиться на індикацію.

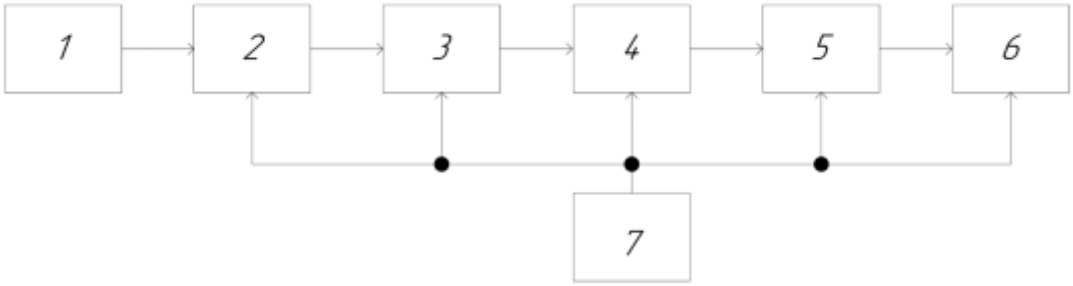


Рисунок 1.4 – Структурна схема високоточного цифрового термометра

1 – Виносний термоперетворювач опору Cu1000;

2 – Аналоговий вимірювальний вузол;

3 – Аналого-цифровий перетворювач;

4 – Логічний вузол;

5 – Буферний вузол індикації;

6 – Цифрова індикація;

7 – Вузол живлення.

Першим функціональним вузлом структурної схеми є виносний термоперетворювач опору Cu1000. Він виконує роль чутливого елемента, який безпосередньо реагує на зміну температури. Виносне виконання датчика є зручним, оскільки дає змогу розміщувати його в зоні вимірювання окремо від основної електронної частини пристрою. Завдяки цьому зменшується вплив нагрівання елементів плати на результат вимірювання.

Сигнал від термоперетворювача надходить до аналогового вимірювального вузла. Цей вузол призначений для перетворення зміни опору

датчика у напругу або інший електричний сигнал, придатний для подальшої обробки. У складі аналогової частини використовуються операційний підсилювач, польові транзистори, резистори та конденсатори. Саме цей вузол найбільше впливає на стабільність вимірювання, тому його робота повинна бути достатньо точною і стійкою до завад.

Після формування вимірювального сигналу він подається на аналого-цифровий перетворювач. У проєктованому пристрої цей вузол є одним із центральних, оскільки він перетворює аналоговий сигнал у цифрову форму. Завдяки цьому результат вимірювання можна подати на цифрову індикацію без використання мікроконтролера. Такий варіант побудови є зручним для навчального пристрою, оскільки дозволяє простежити повний шлях сигналу від датчика до індикатора.

Логічний вузол структурної схеми призначений для формування допоміжних цифрових сигналів, необхідних для узгодженої роботи перетворювального та індикаторного вузлів. Він забезпечує правильну обробку сигналів керування та взаємодію між окремими цифровими частинами схеми. У реальній електричній схемі цей вузол реалізується на логічних мікросхемах.

Буферний вузол індикації використовується для узгодження сигналів між цифровою частиною пристрою та лініями індикації. Його застосування дає змогу розвантажити виходи попередніх вузлів і забезпечити більш стабільне керування цифровими індикаторами. Це важливо, оскільки індикаторна частина має декілька ліній керування, і без буферних елементів навантаження на цифрову схему було б більшим.

Цифрова індикація призначена для відображення результату вимірювання температури у зручному для користувача вигляді. На цьому етапі сигнал уже не є аналоговим, а подається у вигляді цифрових керуючих сигналів. Наявність цифрової індикації робить пристрій простим у

використанні, оскільки користувач одразу бачить числове значення вимірюваної температури.

Окремим функціональним вузлом є вузол живлення. Він забезпечує подавання напруги 5 В на всі частини пристрою. Від стабільності живлення залежить робота аналогового вимірювального вузла, аналого-цифрового перетворювача, логічних мікросхем і буферної частини. Тому в електричній схемі передбачаються фільтруючі конденсатори та правильне розведення шин живлення і загального провідника.

У процесі роботи цифрового термометра всі вузли діють послідовно. Спочатку виносний датчик реагує на температуру і змінює свій опір. Далі аналогова частина формує вимірювальний сигнал, який надходить до аналого-цифрового перетворювача. Після цього цифрова частина обробляє отриманий сигнал, буферний вузол узгоджує його з індикаторною частиною, а результат виводиться на цифрову індикацію.

Така структура є достатньо простою для розуміння, але водночас повноцінною з точки зору побудови вимірювального пристрою. У ній є чутливий елемент, аналогова обробка сигналу, аналого-цифрове перетворення, цифрова логічна частина та індикація. Це дозволяє використовувати високоточний цифровий термометр як приклад пристрою, у якому поєднуються аналогові та цифрові вузли.

Прийнята структурна схема відповідає призначенню виробу і є основою для подальшого розроблення електричної принципової схеми. На її основі можна визначити склад елементної бази, розміщення основних вузлів на друкованій платі та загальний напрям трасування електричних з’єднань. Для даного пристрою така побудова є доцільною, оскільки вона забезпечує вимірювання температури, перетворення сигналу та відображення результату без надмірного ускладнення схеми.

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

1.3.1 Опис електричної принципової схеми

Схему електричну принципову високоточного цифрового термометра наведено на рис. 1.5.

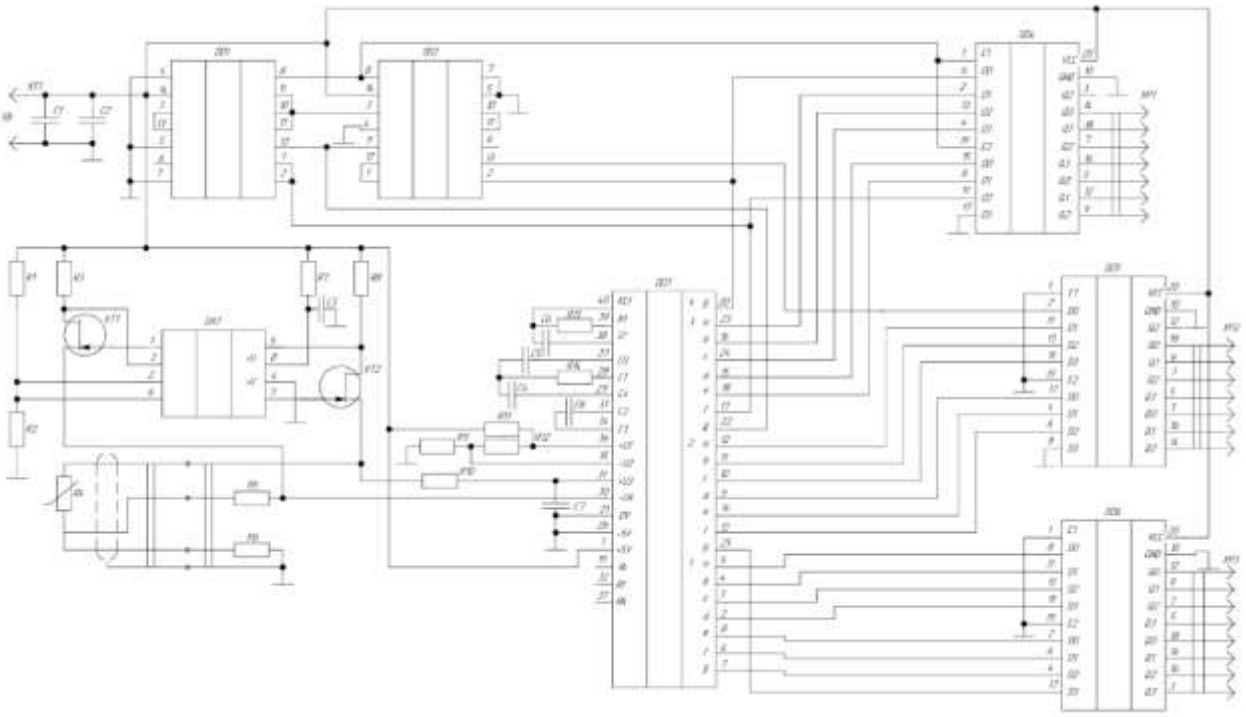


Рисунок 1.5 – Схема електрична принципова високоточного цифрового термометра

Електрична принципова схема високоточного цифрового термометра складається з кількох основних функціональних вузлів: вузла живлення, аналогового вимірювального вузла, аналого-цифрового перетворювача, логічного вузла, буферного вузла індикації та роз'ємів для підключення зовнішніх елементів. Така побудова відповідає структурній схемі пристрою і забезпечує послідовне перетворення температури у цифровий результат вимірювання.

Живлення пристрою подається через роз’єм XS1. Вхідна напруга становить 5 В. Для зменшення пульсацій і короткочасних завад у колі живлення встановлені конденсатори C1 та C2. Вони виконують функцію фільтрації напруги живлення і забезпечують більш стабільну роботу мікросхем. Від якості живлення залежить робота аналогової частини, аналого-цифрового перетворювача, логічних елементів і буферів індикації, тому цей вузол є важливим для всього пристрою.

Вимірювання температури здійснюється за допомогою виносного термоперетворювача опору Cu1000. Він входить до складу вимірювального кола і змінює свій опір залежно від температури. Зміна опору датчика не може безпосередньо подаватися на цифрову індикацію, тому спочатку вона перетворюється в електричний сигнал, придатний для подальшої обробки.

Аналоговий вимірювальний вузол реалізований на операційному підсилювачі DA1, польових транзисторах VT1, VT2, резисторах R1–R8 та конденсаторі C3. Цей вузол формує сигнал, який відповідає зміні опору термоперетворювача. Операційний підсилювач використовується для обробки та підсилення вимірювального сигналу, а транзистори й пасивні елементи забезпечують потрібний режим роботи вимірювального кола. Резистори задають робочі точки та необхідні співвідношення напруг, а конденсатор зменшує вплив завад на аналоговий сигнал.

Основним елементом схеми є аналого-цифровий перетворювач DD3. На його входи надходить сигнал з аналогового вимірювального вузла. DD3 виконує перетворення аналогового сигналу у цифрову форму, яка далі використовується для формування показів на цифровій індикації. Біля мікросхеми DD3 розміщені резистори R9–R14 та конденсатори C4–C8. Вони задають режими роботи перетворювача, беруть участь у формуванні опорних і часових параметрів та забезпечують стабільність процесу перетворення.

У схемі також передбачений логічний вузол, виконаний на мікросхемах DD1 та DD2. Ці мікросхеми формують допоміжні логічні сигнали, необхідні

для роботи цифрової частини пристрою. Вони забезпечують узгоджену взаємодію між аналого-цифровим перетворювачем та вузлом індикації. Використання окремих логічних мікросхем дозволяє реалізувати потрібну логіку роботи без застосування мікроконтролера.

Буферний вузол індикації виконаний на мікросхемах DD4, DD5 та DD6. Вони приймають цифрові сигнали від попередніх вузлів і передають їх на лінії керування індикаторами. Буферні мікросхеми потрібні для того, щоб розвантажити виходи аналого-цифрового перетворювача та логічних елементів, а також забезпечити стабільне керування сегментами цифрової індикації. Завдяки цьому сигнали індикації стають більш стійкими, а робота пристрою – надійнішою.

Для підключення цифрової індикації у схемі передбачені роз'єми XP1, XP2 та XP3. Через них виводяться сигнали керування сегментами індикаторів. На схемі ці лінії позначені літерами a, b, c, d, e, f, g, що відповідає окремим сегментам цифрового індикатора. Такий спосіб підключення дозволяє винести індикаторну частину окремо або зручно з'єднати її з основною платою.

Під час роботи пристрою сигнал проходить кілька етапів перетворення. Спочатку термоперетворювач опору реагує на температуру і змінює свій опір. Далі аналоговий вимірювальний вузол перетворює цю зміну в електричний сигнал. Після цього аналого-цифровий перетворювач DD3 формує цифровий код, який через логічний і буферний вузли надходить до цифрової індикації. У результаті користувач отримує числове значення температури.

Схема побудована без використання мікроконтролера. Це спрощує принцип роботи пристрою з точки зору програмного забезпечення, оскільки всі основні операції виконуються апаратно: вимірювання, перетворення сигналу, логічна обробка та керування індикацією. Такий підхід є зручним для навчального проєктування, оскільки дозволяє простежити роботу кожного вузла окремо.

Отже, електрична принципова схема високоточного цифрового термометра забезпечує повний цикл вимірювання температури: від зміни опору виносного датчика до відображення результату на цифровій індикації. Основними вузлами схеми є аналогова вимірювальна частина, аналого-цифровий перетворювач, логічні мікросхеми та буферний вузол індикації. Прийняте схемотехнічне рішення є достатньо простим для складання і налагодження, але водночас повноцінно відображає принцип роботи цифрового вимірювального пристрою.

1.3.2 Розрахунок вимірювального вузла електричної принципової схеми пристрою

У високоточному цифровому термометрі основним чутливим елементом є виносний термоперетворювач опору Cu1000. Його робота ґрунтується на зміні електричного опору при зміні температури. Отримана зміна опору у вимірювальному вузлі перетворюється в електричний сигнал, який подається на аналого-цифровий перетворювач DD3.

Для розрахунку приймаємо, що номінальний опір термоперетворювача при температурі 0 °C становить:

$$R0 = 1000 \text{ Ом}$$

Температурний коефіцієнт опору для мідного термоперетворювача приймаємо:

$$\alpha = 0{,}00427 \text{ 1/°C}$$

Залежність опору термоперетворювача від температури визначається за формулою:

$$Rt = R0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \qquad (1.1)$$

де, Rt - опір термоперетворювача при температурі t, Ом;

R0 - опір термоперетворювача при 0 °С, Ом;

α - температурний коефіцієнт опору, 1/°С;

t - температура, °С.

Для температури 25 °С опір датчика становитиме:

$$R25 = 1000 \cdot (1 + 0{,}00427 \cdot 25)$$

$$R25 = 1000 \cdot 1{,}10675 = 1106{,}75 \text{ Ом}$$

Для температури 50 °С:

$$R50 = 1000 \cdot (1 + 0{,}00427 \cdot 50)$$

$$R50 = 1000 \cdot 1{,}2135 = 1213{,}5 \text{ Ом}$$

Для температури 100 °С:

$$R100 = 1000 \cdot (1 + 0{,}00427 \cdot 100)$$

$$R100 = 1000 \cdot 1{,}427 = 1427 \text{ Ом}$$

Отже, при зміні температури від 0 до 100 °С опір термоперетворювача змінюється від 1000 Ом до 1427 Ом. Зміна опору в цьому діапазоні становить:

$$\Delta R = R100 - R0 \qquad (1.2)$$

$$\Delta R = 1427 - 1000 = 427 \text{ Ом}$$

Для зручності результати розрахунку опору термоперетворювача наведено в таб. 1.1

Таблиця 1.1 - Залежність опору термоперетворювача Cu1000 від температури

Температура, °С	Опір термоперетворювача, Ом
0	1000
25	1106,75
50	1213,5
100	1427

Для подальшої роботи схеми зміна опору датчика повинна бути перетворена у напругу. Для оцінки параметрів вимірювального вузла приймаємо, що через термоперетворювач протікає стабілізований вимірювальний струм:

$$I = 1 \text{ мА}$$

Напруга на термоперетворювачі визначається за законом Ома:

$$Ut = I \cdot Rt \quad (1.3)$$

При температурі 0 °С:

$$U0 = 0{,}001 \cdot 1000 = 1{,}0 \text{ В}$$

При температурі 25 °С:

$$U25 = 0{,}001 \cdot 1106{,}75 = 1{,}10675 \text{ В}$$

При температурі 50 °С:

$$U50 = 0{,}001 \cdot 1213{,}5 = 1{,}2135 \text{ В}$$

При температурі 100 °С:

$$U100 = 0{,}001 \cdot 1427 = 1{,}427 \text{ В}$$

Зміна напруги на датчику в діапазоні від 0 до 100 °С становить:

$$\Delta U = U100 - U0 \quad (1.4)$$

$$\Delta U = 1{,}427 - 1{,}0 = 0{,}427 \text{ В}$$

Чутливість вимірювального вузла за напругою визначається як зміна напруги при зміні температури на 1 °С:

$$SU = I \cdot R0 \cdot \alpha \quad (1.5)$$

$$SU = 0{,}001 \cdot 1000 \cdot 0{,}00427 = 0{,}00427 \text{ В/°С}$$

$$SU = 4{,}27 \text{ мВ/°С}$$

Отже, при вимірювальному струмі 1 мА зміна температури на 1 °С викликає зміну напруги приблизно на 4,27 мВ. Такого рівня сигналу достатньо для подальшої обробки аналоговим вузлом і подачі на аналого-цифровий перетворювач.

Таблиця 1.2 - Залежність напруги на термоперетворювачі від температури

Температура, °C	Опір Cu1000, Ом	Напруга на датчику, В
0	1000	1,000
25	1106,75	1,10675
50	1213,5	1,2135
100	1427	1,427

У схемі термометра аналогова частина на операційному підсилювачі DA1 виконує обробку сигналу від термоперетворювача. Вона формує та масштабує вимірювальну напругу так, щоб вона була придатною для подачі на аналого-цифровий перетворювач DD3. Резистори вимірювального вузла задають необхідні режими роботи, а конденсатори зменшують вплив завад і короткочасних коливань сигналу.

Для нормальної роботи аналого-цифрового перетворювача важливо, щоб вхідний сигнал був стабільним і не мав різких пульсацій. Тому у схемі використовуються фільтруючі конденсатори, які згладжують можливі завади. Це особливо важливо для вимірювального пристрою, оскільки навіть невеликі коливання напруги можуть впливати на покази цифрової індикації.

За результатами розрахунку встановлено, що термоперетворювач Cu1000 має достатню зміну опору в робочому діапазоні температур. При зміні температури від 0 до 100 °C його опір збільшується на 427 Ом, а при вимірювальному струмі 1 мА напруга на датчику змінюється на 0,427 В. Чутливість такого вузла становить приблизно 4,27 мВ/°C.

Отримані значення показують, що використання термоперетворювача опору Cu1000 у складі високоточного цифрового термометра є доцільним. Він забезпечує достатню зміну електричного параметра при зміні температури, а аналоговий вузол на DA1 разом з аналого-цифровим перетворювачем DD3 дозволяє перетворити цей сигнал у цифровий результат вимірювання.

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

1.4.1 Опис принципу роботи високоточного цифрового термометра

Високоточний цифровий термометр працює за принципом перетворення зміни опору термочутливого елемента у цифрове значення температури, яке виводиться на індикацію. Основним чутливим елементом пристрою є виносний термоперетворювач опору Cu1000. При зміні температури його опір змінюється, а вимірювальна частина схеми перетворює цю зміну в електричний сигнал.

На початковому етапі роботи напруга живлення 5 В подається на схему через роз’єм XS1. Конденсатори C1 та C2 виконують фільтрацію живлення і зменшують вплив короткочасних пульсацій. Стабільне живлення є важливим для всієї схеми, оскільки від нього залежить робота аналогового вузла, аналого-цифрового перетворювача, логічних мікросхем і буферів індикації.

Виносний термоперетворювач опору підключається до вимірювального кола термометра. Під дією температури його опір змінюється, через що змінюється напруга у відповідній частині схеми. Саме ця зміна є початковим вимірювальним сигналом. Виносний варіант датчика дає змогу розмістити його окремо від основної плати, тому нагрівання електронних компонентів менше впливає на результат вимірювання.

Аналогова вимірювальна частина побудована на операційному підсилювачі DA1, польових транзисторах VT1, VT2, резисторах і конденсаторах. Цей вузол формує сигнал, який відповідає зміні опору датчика. Операційний підсилювач забезпечує обробку та підсилення сигналу до рівня, придатного для подачі на аналого-цифровий перетворювач. Резистори задають необхідні режими роботи елементів, а конденсатори зменшують вплив електричних завад.

Після аналогової обробки сигнал надходить на аналого-цифровий перетворювач DD3. Ця мікросхема є одним з головних елементів пристрою, оскільки виконує перетворення аналогового сигналу у цифрову форму. Завдяки використанню спеціалізованого АЦП термометр не потребує мікроконтролера та програмного керування. Основні операції виконуються апаратно, що робить схему зрозумілою для аналізу, налаштування та навчального проєктування.

Роботу аналого-цифрового перетворювача забезпечують додаткові елементи обв'язки. Резистори R9-R14 і конденсатори C4-C8 беруть участь у формуванні необхідних режимів роботи DD3, задають опорні та часові параметри, а також впливають на стабільність перетворення. Правильний вибір цих елементів важливий, оскільки від них залежить точність і стабільність показів термометра.

Цифрові сигнали, сформовані аналого-цифровим перетворювачем, надходять до логічної частини схеми. Вона виконана на мікросхемах DD1 та DD2. Ці мікросхеми формують допоміжні логічні сигнали, необхідні для узгодженої роботи цифрової частини пристрою. Їх використання дозволяє реалізувати потрібну логіку керування індикацією без застосування програмного алгоритму.

Для передачі сигналів на цифрову індикацію використовуються буферні мікросхеми DD4, DD5 та DD6. Вони приймають цифрові сигнали від попередніх вузлів і передають їх на лінії керування індикаторами. Буферні елементи зменшують навантаження на виходи аналого-цифрового перетворювача та логічних мікросхем, а також забезпечують стабільніше керування сегментами індикації.

Підключення індикаторної частини виконується через роз'єми XP1, XP2 та XP3. Через них передаються сигнали керування сегментами цифрових індикаторів, позначені літерами a, b, c, d, e, f, g. Такий спосіб підключення

робить конструкцію зручнішою, оскільки індикаційний вузол можна розмістити окремо або під’єднати до основної плати через роз’єми.

Загальний принцип роботи пристрою можна описати так. Спочатку термоперетворювач Cu1000 реагує на температуру і змінює свій опір. Далі аналоговий вимірювальний вузол перетворює цю зміну в напругу. Після цього аналого-цифровий перетворювач DD3 формує цифровий сигнал, який проходить через логічні та буферні мікросхеми. У кінцевому результаті значення температури відображається на цифровій індикації.

Особливістю високоточного цифрового термометра є те, що його робота реалізована без мікроконтролера. Це означає, що пристрій не потребує написання або завантаження програми. Уся логіка вимірювання, перетворення та виведення інформації виконується за рахунок електричної схеми. Такий підхід є корисним для навчального проєкту, тому що дозволяє краще зрозуміти роботу аналогових і цифрових вузлів окремо.

Отже, принцип роботи високоточного цифрового термометра полягає у послідовному проходженні сигналу від виносного термоперетворювача опору до цифрової індикації. Пристрій поєднує аналогову вимірювальну частину, аналого-цифрове перетворення, логічну обробку та буферне керування індикаторами. Така структура забезпечує виконання основної функції виробу - вимірювання температури та відображення результату у цифровій формі.

1.4.2 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час розробки високоточного цифрового термометра елементна база вибиралась з урахуванням призначення пристрою, напруги живлення 5 В, типу вимірювального датчика, способу індикації та вимог до монтажу. Оскільки пристрій виконується як навчальний вимірювальний прилад, важливими були не тільки електричні параметри компонентів, а й зручність їх встановлення, перевірки та можливої заміни.

У конструкції прийнято виключно навісний DIP/THT-монтаж. Це означає, що всі мікросхеми, резистори, конденсатори, транзистори та роз'єми встановлюються у монтажні отвори друкованої плати. Такий варіант монтажу є зручним для ручного складання, оскільки компоненти мають достатньо великі корпуси, легко розміщуються на платі та добре підходять для візуального контролю після пайки.

Основним чутливим елементом пристрою є виносний термоперетворювач опору Cu1000. Його вибір обґрунтований тим, що опір такого датчика змінюється залежно від температури, а ця зміна може бути використана для формування вимірювального електричного сигналу. Виносне виконання датчика дозволяє розмістити його окремо від основної плати, що зменшує вплив нагрівання електронних компонентів на результат вимірювання.

Для обробки сигналу від термоперетворювача у схемі використовується операційний підсилювач LM358N, який позначений як DA1. Дана мікросхема містить два операційні підсилювачі та може працювати від однополярного джерела живлення. Це добре підходить для схеми термометра з живленням 5 В. LM358N використовується в аналоговому вимірювальному вузлі, де виконується формування та підсилення сигналу від датчика.

Одним з головних елементів пристрою є аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ, який на схемі позначений як DD3. Ця мікросхема призначена для перетворення аналогового сигналу у цифрову форму з подальшим виведенням результату на цифрову індикацію. Її застосування є доцільним, оскільки вона дозволяє реалізувати цифровий вимірювальний прилад без використання мікроконтролера. У даній схемі ICL7107CPLZ виконує основну функцію перетворення сигналу, отриманого від аналогового вимірювального вузла.

Логічна частина пристрою виконана на мікросхемах SN74ALS00AN та SN74ALS02AN. Мікросхема SN74ALS00AN містить логічні елементи І-НЕ, а

SN74ALS02AN - логічні елементи АБО-НЕ. Вони використовуються для формування допоміжних цифрових сигналів, необхідних для узгодженої роботи перетворювального та індикаторного вузлів. Використання окремих логічних мікросхем дозволяє реалізувати потрібну апаратну логіку без програмного керування.

Для керування лініями цифрової індикації використовуються буферні мікросхеми SN74ALS244CN, позначені на схемі як DD4-DD6. Вони призначені для підсилення та узгодження цифрових сигналів, які надходять до індикаторної частини. Застосування буферів дозволяє зменшити навантаження на попередні вузли схеми та забезпечити більш стабільне керування сегментами індикаторів.

У схемі також використовуються польові транзистори 2N5457, позначені як VT1 та VT2. Вони входять до складу аналогового вимірювального вузла та беруть участь у формуванні режимів роботи цієї частини схеми. Вибір транзисторів у корпусі TO-92 є зручним для навісного монтажу, оскільки такі елементи легко встановлюються у монтажні отвори та займають небагато місця на платі.

Резистори у схемі виконують декілька функцій. Вони задають режими роботи операційного підсилювача, транзисторів, аналого-цифрового перетворювача та логічних елементів. Частина резисторів входить до вимірювального кола, тому їх номінали впливають на стабільність і точність роботи термометра. Для такого пристрою доцільно використовувати резистори з достатньою точністю та стабільністю параметрів.

Конденсатори C1-C8 застосовуються у колах живлення, фільтрації та формування режимів роботи аналого-цифрового перетворювача. Конденсатори C1 та C2 встановлені у вузлі живлення і зменшують пульсації напруги. Інші конденсатори використовуються в аналоговій частині та обв’язці DD3, де вони впливають на стабільність сигналу та зменшують дію

електричних завад. Для вимірювального пристрою це важливо, оскільки нестабільність сигналу може призводити до коливання показів.

Для підключення живлення, виносного датчика температури та цифрової індикації у схемі передбачені роз'єми. Роз'єм XS1 використовується для подачі напруги живлення 5 В. Роз'єми XP1-XP3 призначені для підключення ліній цифрової індикації. Використання роз'ємів робить конструкцію зручнішою для складання, перевірки та обслуговування, оскільки окремі вузли можна підключати або від'єднувати без зміни друкованого монтажу.

Уся елементна база вибрана так, щоб забезпечити роботу пристрою від напруги 5 В, реалізувати вимірювання температури за допомогою термоперетворювача опору та вивести результат на цифрову індикацію. Використання мікросхем у DIP-корпусах, транзисторів TO-92 та вивідних пасивних компонентів відповідає прийнятому типу монтажу і спрощує виготовлення друкованого вузла.

Отже, вибрана елементна база відповідає призначенню високоточного цифрового термометра. Операційний підсилювач забезпечує обробку вимірювального сигналу, аналого-цифровий перетворювач виконує перетворення у цифрову форму, логічні та буферні мікросхеми забезпечують роботу індикації, а пасивні елементи та роз'єми формують необхідні електричні режими і зручність підключення. Такий склад компонентів дозволяє реалізувати пристрій без мікроконтролера, з повністю апаратним принципом роботи.

1.5 Компоновка друкованого вузла, розрахунок надійності та друкованого монтажу

1.5.1 Компоновка друкованого вузла

Компоновка друкованого вузла є одним з основних етапів розробки високоточного цифрового термометра, оскільки від розміщення елементів на платі залежить зручність трасування, якість монтажу, ремонтопридатність і стабільність роботи пристрою. При компонуванні враховувались електрична принципова схема, габарити елементів, тип монтажу, кількість з'єднань між мікросхемами та необхідність зручного підключення зовнішніх кіл.

Для високоточного цифрового термометра прийнято двосторонню друковану плату прямокутної форми. Габаритні розміри плати становлять 107х85 мм. Такий розмір є достатнім для розміщення мікросхем у DIP-корпусах, вивідних резисторів, конденсаторів, транзисторів, роз'ємів живлення та роз'ємів підключення індикації. Прямокутна форма є найбільш зручною для виготовлення, встановлення в корпус і оформлення конструкторської документації.

У проєктованому пристрої використано виключно навісний DIP/THT-монтаж. Усі електрорадіоелементи встановлюються через монтажні отвори з однієї сторони друкованої плати. Це спрощує ручне складання пристрою, перевірку правильності встановлення елементів та подальше обслуговування. Нижня сторона плати використовується для паяння виводів і розміщення частини друкованих провідників.

Двостороннє виконання плати вибране через значну кількість електричних з'єднань між аналого-цифровим перетворювачем, логічними мікросхемами та буферним вузлом індикації. У разі використання односторонньої плати довелося б застосовувати багато дротяних перемичок, що ускладнило б конструкцію і погіршило б акуратність монтажу. Два провідникові шари дозволяють виконати трасування більш впорядковано і зменшити кількість перетинів провідників.

Під час компонування найбільшу увагу приділено розміщенню мікросхеми DD3, оскільки аналого-цифровий перетворювач має велику кількість виводів і пов’язаний з багатьма іншими елементами схеми. Його доцільно розміщувати ближче до центральної частини плати, щоб скоротити довжину з’єднань до аналогового вузла, логічної частини та буферних мікросхем.

Аналоговий вимірювальний вузол, до складу якого входять DA1, VT1, VT2, резистори та конденсатори, бажано розміщувати окреміше від щільної цифрової частини. Таке рішення зменшує вплив цифрових перемикань на вимірювальний сигнал. Для високоточного термометра це важливо, оскільки нестабільність аналогового сигналу може викликати коливання показів на цифровій індикації.

Логічні мікросхеми DD1 і DD2 розміщуються так, щоб забезпечити короткі з’єднання з аналого-цифровим перетворювачем і буферними мікросхемами. Буферні мікросхеми DD4-DD6 доцільно розташовувати ближче до роз’ємів XP1-XP3, через які підключаються лінії цифрової індикації. Це дозволяє скоротити довжину провідників до індикаторного вузла та зробити трасування більш зручним.

Роз’єми для підключення зовнішніх кіл розташовуються біля країв друкованої плати. Таке компонування полегшує підключення живлення, виносного датчика температури та індикаторної частини. Роз’єм XS1 використовується для подачі напруги живлення 5 В, тому його доцільно розміщувати так, щоб провідники живлення мали мінімальну довжину і не проходили через ділянки з великою кількістю сигнальних ліній.

Конденсатори C1 і C2, які виконують фільтрацію живлення, потрібно розташовувати поблизу вузла подачі живлення та мікросхем, що споживають струм. Це дозволяє зменшити пульсації напруги і підвищити стабільність роботи схеми. Інші конденсатори розміщуються біля тих елементів, з якими

вони функціонально пов’язані, зокрема біля аналогового вузла та аналого-цифрового перетворювача.

Для фіксації друкованої плати в корпусі передбачено кріпильні отвори діаметром 3,2 мм. Вони розміщуються поблизу кутів плати з урахуванням технологічних відступів. Навколо кріпильних отворів залишають вільну зону без друкованих провідників і контактних площадок, щоб під час встановлення плати не пошкодити струмопровідні елементи.

Під час компонування також враховано необхідність витримування відступів від краю плати до провідників і контактних площадок. Це потрібно для нормального виготовлення плати, механічної міцності країв і зменшення ризику пошкодження провідників під час обробки контуру. Розташування елементів виконано так, щоб між корпусами компонентів залишався достатній простір для монтажу, пайки та візуального контролю.

Отже, компонування друкованого вузла високоточного цифрового термометра виконане з урахуванням функціонального поділу схеми, типу елементної бази та вимог до навісного монтажу. Прийнята конструкція з двосторонньою платою, одностороннім розміщенням елементів і розведенням провідників на двох шарах є доцільною для даного пристрою. Вона забезпечує зручність складання, нормальні умови трасування, доступ до роз’ємів і можливість подальшої перевірки та ремонту друкованого вузла..

1.5.2 Розрахунок надійності проектованого виробу

Надійність є важливою характеристикою електронного пристрою, оскільки вона показує здатність виробу зберігати працездатність протягом певного часу. Для високоточного цифрового термометра це має практичне значення, тому що пристрій повинен стабільно вимірювати температуру, обробляти сигнал від виносного термоперетворювача опору та відображати результат на цифровій індикації.

Розрахунок надійності виконується за елементною базою пристрою. У даному випадку враховуються основні групи елементів: мікросхеми, транзистори, резистори, конденсатори та роз'єми. Вважаємо, що з точки зору надійності елементи з'єднані послідовно, тобто відмова будь-якого важливого елемента може призвести до порушення роботи пристрою.

Сумарна інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} N_i \cdot \lambda_i, \tag{1.6}$$

де N_i — кількість елементів одного типу;

λ_i— інтенсивність відмов одного елемента, 10^{-6}1/год;

λ_{Σ} — сумарна інтенсивність відмов пристрою.

Таблиця 1.3 – Розрахунок сумарної інтенсивності відмов

Група елементів	Кількість	Інтенсивність відмов одного елемента	Ni·λi
Мікросхеми DA1, DD1-DD6	7	2,2	15,4
Транзистори VT1, VT2	2	0,7	1,4
Резистори R1-R14	14	0,12	1,68
Конденсатори C1-C8	8	0,35	2,8
Роз'єми	4	3,0	12,0
Друкована плата	1	1,0	1,0
Паяні з'єднання	200	0,10	20,0
Разом			54,28

Отже, сумарна інтенсивність відмов проектованого пристрою становить:

$$\lambda_{\Sigma} = 54{,}8 \cdot 10^{-6}\ 1/\text{год},$$

Середнє напрацювання до відмови визначається за формулою:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{54{,}8 \cdot 10^{-6}} = 18423\ \text{год}, \tag{1.7}$$

Отже, середнє напрацювання до відмови проектованого пристрою становить 18423 год.

Ймовірність безвідмовної роботи пристрою протягом заданого часу визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda\Sigma.t} \quad (1.8)$$

де P(t) - ймовірність безвідмовної роботи;

λΣ - сумарна інтенсивність відмов, 1/год;

t - час роботи, год.

Для часу роботи t = 1000 год:

P(1000) = e^(-54,28 * 10^-6 * 1000)

P(1000) = e^(-0,05428) = 0,9472

Для часу роботи t = 5000 год:

P(5000) = e^(-54,28 * 10^-6 * 5000)

P(5000) = e^(-0,2714) = 0,7623

Для часу роботи t = 10000 год:

P(10000) = e^(-54,28 * 10^-6 * 10000)

P(10000) = e^(-0,5428) = 0,5812

Найбільший вплив на сумарну інтенсивність відмов мають мікросхеми, роз'єми та паяні з'єднання. Мікросхеми є складними функціональними елементами, роз'єми під час експлуатації можуть зазнавати механічних навантажень, а паяні з'єднання визначають якість монтажу друкованого вузла. Тому для підвищення надійності пристрою потрібно забезпечити якісне паяння, правильне встановлення мікросхем, надійне кріплення роз'ємів і контроль відсутності коротких замикань після складання.

Отже, розрахунок показав, що середнє напрацювання до відмови високоточного цифрового термометра становить приблизно 18423 год. Отримане значення є достатнім для пристрою, який призначений для роботи в

нормальних лабораторних або побутових умовах. Прийнята елементна база та навісний DIP/THT-монтаж забезпечують зручність складання, перевірки і подальшого обслуговування пристрою

1.5.3 Розрахунок друкованого монтажу

Під час розробки друкованої плати високоточного цифрового термометра параметри друкованого монтажу вибиралися з урахуванням конструкції пристрою, типу елементної бази, способу монтажу та фактичної таблиці отворів. Оскільки у пристрої використовується навісний DIP/THT-монтаж, основними параметрами для плати є діаметри монтажних отворів, розміри контактних площадок, ширина друкованих провідників і мінімальні зазори між струмопровідними елементами.

Для високоточного цифрового термометра прийнято двосторонню друковану плату 3-го класу точності. Такий клас точності є достатнім для плати з вивідними компонентами, оскільки в конструкції не використовуються SMD-компоненти з малим кроком виводів або складні корпуси з підвищеною щільністю монтажу. Водночас двостороннє виконання плати дає змогу нормально розвести з’єднання між аналого-цифровим перетворювачем, логічними мікросхемами, буферними елементами індикації та роз’ємами.

Як матеріал основи друкованої плати прийнято фольгований склотекстоліт FR-4 або СФ-2-35. Товщина основи становить 1,5 мм, а товщина мідної фольги - 35 мкм. Такі параметри є стандартними для друкованих плат з вивідними елементами. Вони забезпечують достатню механічну міцність, стійкість до нагрівання під час паяння та нормальні електроізоляційні властивості.

Оскільки пристрій працює від напруги 5 В, електрична міцність зазорів між провідниками не є критичним обмеженням. Основним фактором при виборі мінімальних відстаней є технологічний клас плати. Для 2-го класу точності прийнято мінімальний робочий зазор між провідниками та

контактними площадками 0,5 мм. Таке значення забезпечує технологічний запас і зменшує ризик випадкового замикання під час виготовлення або ручного паяння.

Ширина сигнальних провідників прийнята 0,5 мм. Цього достатньо для низькострумових кіл, які з'єднують операційний підсилювач, аналого-цифровий перетворювач, логічні мікросхеми, буферні елементи та транзистори. Для кіл живлення +5 В і загального провідника GND прийнято більшу ширину провідників - 0,8-1,0 мм. Таке рішення зменшує падіння напруги на провідниках і підвищує стабільність роботи аналогової та цифрової частин схеми.

Згідно з таблицею отворів на друкованій платі передбачено три основні типорозміри металізованих отворів. Отвори діаметром 0,7 мм мають контактні площадки діаметром 1,5 мм, їх кількість становить 5 шт. Отвори діаметром 0,9 мм мають контактні площадки діаметром 1,8 мм, їх кількість становить 64 шт. Найбільшу кількість становлять отвори діаметром 1,2 мм з контактними площадками діаметром 2,8 мм - 147 шт.

Отвори діаметром 0,7 мм доцільно використовувати для окремих перехідних або допоміжних з'єднань, де не потрібна велика контактна площадка. Отвори діаметром 0,9 мм застосовуються для більшості вивідних елементів з невеликим діаметром виводів. Отвори діаметром 1,2 мм використовуються для елементів з більшими виводами та роз'ємів, які мають підвищене механічне навантаження під час підключення і відключення проводів.

Усі отвори виконуються з металізацією. Це важливо для двосторонньої друкованої плати, оскільки металізовані отвори забезпечують електричний зв'язок між верхнім і нижнім провідниковими шарами. Крім того, металізація підвищує надійність контактних з'єднань і покращує якість паяння вивідних компонентів.

Контактні площадки вибрані з урахуванням діаметрів отворів і необхідності забезпечити достатній поясок міді навколо отвору. Для отворів 0,7 мм прийнято контактні площадки 1,5 мм, для отворів 0,9 мм - 1,8 мм, а для отворів 1,2 мм - 2,8 мм. Найбільші площадки застосовані для отворів 1,2 мм, оскільки такі отвори зазвичай використовуються для елементів, які потребують більш міцного кріплення до плати.

Загальна кількість отворів на платі становить 216 шт. Така кількість пояснюється використанням виключно навісного DIP/THT-монтажу, багатовивідних мікросхем, роз'ємів та вивідних пасивних компонентів. Для такого типу конструкції це є нормальним, оскільки кожен елемент встановлюється через монтажні отвори, а між шарами плати додатково використовуються металізовані переходи.

Для механічного встановлення друкованого вузла в корпусі передбачаються кріпильні отвори. Вони не належать до електричних монтажних отворів і використовуються тільки для фіксації плати. Навколо кріпильних отворів необхідно залишити вільну зону без провідників і контактних площадок, щоб під час встановлення не пошкодити провідний рисунок.

Відстань від краю друкованої плати до найближчих провідників і контактних площадок прийнято не менше 1,0 мм. Такий відступ потрібний для нормальної механічної обробки контуру плати, зменшення ризику пошкодження провідників біля краю та забезпечення технологічного запасу під час виготовлення.

Прийняті параметри друкованого монтажу відповідають конструкції високоточного цифрового термометра і типу використаної елементної бази. Металізовані отвори різних діаметрів забезпечують встановлення всіх DIP/THT-компонентів, надійне паяння та електричний зв'язок між шарами плати. Ширина провідників і зазори вибрані з урахуванням 3-го класу точності

та низьковольтного живлення 5 В, тому вони забезпечують нормальні умови виготовлення, монтажу і подальшої перевірки друкованого вузла.

1.5.4 Технологія виготовлення друкованої плати

Для високоточного цифрового термометра використовується двостороння друкована плата, виготовлена на основі фольгованого склотекстоліту FR-4 або СФ-2-35. Товщина основи плати становить 1,5 мм, а товщина мідної фольги - 35 мкм. Такий матеріал має достатню механічну міцність, добрі електроізоляційні властивості та нормально витримує нагрівання під час паяння вивідних компонентів.

Друкована плата виконується двосторонньою, оскільки схема високоточного цифрового термометра містить значну кількість з’єднань між аналого-цифровим перетворювачем, логічними мікросхемами, буферними елементами індикації та роз’ємами. Використання двох провідникових шарів дозволяє зменшити кількість перемичок, зробити трасування більш акуратним і забезпечити зручніше розведення сигнальних кіл, живлення та загального провідника.

Виготовлення друкованої плати починається з підготовки заготовки з фольгованого склотекстоліту. Заготовка вирізається відповідно до прийнятих габаритів плати 107х85 мм. Після цього її поверхня очищується від пилу, жирових слідів та окислів. Якість очищення є важливою, оскільки від неї залежить точність формування друкованого рисунка та рівномірність подальшого травлення міді.

Наступним етапом є нанесення рисунка друкованих провідників на мідну фольгу. Для двосторонньої плати рисунок формується на обох сторонах заготовки. При цьому важливо забезпечити правильне суміщення верхнього і нижнього шарів, щоб монтажні та перехідні отвори збігалися з відповідними контактними площадками. Неточність суміщення може призвести до зміщення отворів або погіршення якості паяння.

Після перенесення рисунка виконується травлення міді. Під час цієї операції з поверхні плати видаляються незахищені ділянки мідної фольги, а на

платі залишаються тільки потрібні друковані провідники, контактні площадки та інші елементи топології. Для даної плати це особливо важливо, оскільки в схемі є багато паралельних з’єднань між багатовивідними мікросхемами, і випадкові перемички між провідниками можуть порушити роботу пристрою.

Після травлення плата промивається та висушується. Далі виконується свердління монтажних, перехідних і кріпильних отворів. У платі використовуються металізовані отвори діаметром 0,7 мм, 0,9 мм і 1,2 мм. Вони призначені для встановлення елементів навісного DIP/THT-монтажу та для переходу провідників між шарами плати. Кріпильні отвори використовуються для механічної фіксації друкованого вузла в корпусі.

Оскільки плата є двосторонньою, важливим етапом є металізація отворів. Металізовані отвори забезпечують електричне з’єднання між верхнім і нижнім провідниковими шарами, а також підвищують надійність паяних з’єднань. Для даного пристрою це має значення, бо всі компоненти встановлюються через отвори, а частина провідників переходить з одного шару плати на інший.

Після свердління і металізації отворів виконується нанесення паяльної маски. Паяльна маска захищає провідники від окиснення, забруднення і випадкових замикань під час паяння. Відкритими залишаються тільки контактні площадки, призначені для встановлення та паяння компонентів. Для плати з великою кількістю DIP/THT-виводів паяльна маска також допомагає зменшити ризик утворення перемичок припою між сусідніми контактами.

На наступному етапі наноситься маркування елементів. На платі позначаються позиційні позначення мікросхем, резисторів, конденсаторів, транзисторів, роз’ємів, полярність окремих елементів і службові позначення. Наявність маркування спрощує складання друкованого вузла, перевірку правильності встановлення компонентів і подальше обслуговування пристрою.

Монтаж елементів виконується з однієї сторони друкованої плати. Спочатку встановлюються елементи з меншою висотою корпусу, зокрема резистори та малогабаритні конденсатори. Після цього встановлюються мікросхеми в DIP-корпусах, транзистори, більші конденсатори та роз'єми. Така послідовність полегшує ручне складання і дозволяє уникнути механічного пошкодження вже встановлених компонентів.

Паяння виконується з боку виводів. Після паяння необхідно перевірити якість кожного з'єднання, відсутність непропаяних контактів, надлишків припою та випадкових перемичок між сусідніми площадками. Особливу увагу потрібно приділити мікросхемам DD3, DD4-DD6 та роз'ємам, оскільки вони мають велику кількість виводів і визначають основну щільність монтажу.

Після завершення монтажу виконується очищення плати від залишків флюсу. Це потрібно для зменшення ризику струмів витоку, забруднення контактів і погіршення зовнішнього вигляду друкованого вузла. Для вимірювального пристрою чистота плати має додаткове значення, оскільки забруднення в аналоговій частині може впливати на стабільність сигналу.

Завершальним етапом є контроль якості виготовленої плати. Перевіряється відповідність габаритів, правильність розташування отворів, цілісність друкованих провідників, відсутність коротких замикань, якість металізації отворів та надійність паяних з'єднань. Також контролюється правильність встановлення елементів відповідно до електричної принципової схеми та складального креслення.

Отже, прийнята технологія виготовлення друкованої плати відповідає конструкції високоточного цифрового термометра. Двостороння плата з металізованими отворами забезпечує надійне трасування і зручне встановлення DIP/THT-компонентів. Використання фольгованого склотекстоліту, паяльної маски, маркування та контролю якості дозволяє отримати друкований вузол, придатний для складання, перевірки і подальшої експлуатації пристрою.

1.6 Висновок до розділу 1

У першому розділі було виконано основні етапи розробки високоточного цифрового термометра. Проведено аналіз технічного завдання, визначено призначення пристрою, його основні технічні характеристики та вимоги до конструкції. Встановлено, що пристрій повинен забезпечувати вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача опору Cu1000, перетворення вимірювального сигналу та відображення результату на цифровій індикації.

Було розглянуто структурну схему високоточного цифрового термометра. У її складі виділено виносний термоперетворювач опору, аналоговий вимірювальний вузол, аналого-цифровий перетворювач, логічний вузол, буферний вузол індикації, цифрову індикацію та вузол живлення. Така структура дозволяє послідовно простежити проходження сигналу від датчика до відображення результату вимірювання.

Проведено опис електричної принципової схеми пристрою. Розглянуто роботу вузла живлення, аналогової вимірювальної частини на операційному підсилювачі DA1, аналого-цифрового перетворювача DD3, логічних мікросхем DD1, DD2, буферних мікросхем DD4-DD6 та роз’ємів для підключення зовнішніх кіл. Показано, що пристрій працює без мікроконтролера, а основні процеси вимірювання, перетворення та керування індикацією реалізовані апаратно.

У розрахунковій частині було виконано розрахунок вимірювального вузла з термоперетворювачем опору Cu1000. Визначено зміну опору датчика при зміні температури та оцінено рівень вимірювальної напруги. Отримані результати підтвердили, що вибраний термоперетворювач має достатню зміну електричного параметра для подальшої обробки аналоговим вузлом і подачі сигналу на аналого-цифровий перетворювач.

Також було виконано вибір і обґрунтування елементної бази. Для реалізації пристрою використано операційний підсилювач LM358N, аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ, логічні мікросхеми SN74ALS00AN і SN74ALS02AN, буферні мікросхеми SN74ALS244CN, польові транзистори 2N5457, резистори, конденсатори та роз’єми. Вибрана елементна база відповідає напрузі живлення 5 В, навісному DIP/THT-монтажу та вимогам до навчального вимірювального пристрою.

Розглянуто компонування друкованого вузла високоточного цифрового термометра. Для пристрою прийнято двосторонню друковану плату розміром 107x85 мм з одностороннім розміщенням елементів. Така конструкція є зручною для встановлення DIP/THT-компонентів, ручного паяння, перевірки та подальшого обслуговування. Двостороннє трасування дозволяє раціонально розвести з’єднання між аналого-цифровим перетворювачем, логічними мікросхемами, буферним вузлом індикації та роз’ємами.

Було виконано розрахунок надійності проектованого виробу. За результатами розрахунку середнє напрацювання до відмови високоточного цифрового термометра становить приблизно 18423 год. Найбільший вплив на сумарну інтенсивність відмов мають мікросхеми, роз’єми та паяні з’єднання. Отримане значення є достатнім для пристрою, який призначений для роботи в нормальних лабораторних або побутових умовах.

У підрозділі розрахунку друкованого монтажу було обґрунтовано основні параметри плати. Прийнято ширину сигнальних провідників 0,5 мм, ширину кіл живлення та загального провідника 0,8-1,0 мм, мінімальний робочий зазор 0,5 мм. Також враховано фактичну таблицю отворів друкованої плати з металізованими отворами діаметром 0,7 мм, 0,9 мм та 1,2 мм. Такі параметри відповідають конструкції пристрою і забезпечують нормальні умови виготовлення та монтажу.

Окремо було розглянуто технологію виготовлення друкованої плати. Описано основні етапи виготовлення: підготовку заготовки, формування

друкованого рисунка, травлення, свердління, металізацію отворів, нанесення паяльної маски, маркування, монтаж елементів і контроль якості. Прийнята технологія відповідає двосторонній платі з навісним DIP/THT-монтажем і дозволяє отримати друкований вузол, придатний для складання та перевірки.

Отже, у першому розділі було сформовано технічну основу високоточного цифрового термометра. Виконано аналіз принципу роботи, описано електричну схему, обґрунтовано вибір елементної бази, розглянуто конструкцію друкованого вузла, проведено розрахунок надійності та визначено параметри друкованого монтажу. Отримані результати є основою для подальшого створення друкованого вузла в середовищі Altium Designer та оформлення конструкторської документації..

2. Спеціальна частина

2.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв’язання поставленого завдання

Для розробки високоточного цифрового термометра необхідно використати програмне середовище, яке дозволяє виконати не тільки побудову електричної принципової схеми, а й подальше створення друкованої плати, посадкових місць, бібліотек елементів та графічної документації. Оскільки кваліфікаційна робота пов’язана з розробкою комплекту конструкторської документації, вибір програмного забезпечення має важливе значення для якості всього проекту.

Для виконання поставленого завдання обрано середовище Altium Designer. Це одна з поширених систем автоматизованого проектування електронних пристроїв, яка використовується для розробки схем, друкованих плат, бібліотек компонентів та підготовки матеріалів для виготовлення. Її застосування є доцільним для даної роботи, оскільки високоточний цифровий термометр має декілька функціональних вузлів, багатовивідні мікросхеми, роз’єми, навісний DIP/THT-монтаж і двосторонню друковану плату.

Однією з головних переваг Altium Designer є можливість працювати з проектом як з єдиною системою. Спочатку створюється електрична принципова схема, після цього компонентам призначаються посадкові місця, а далі дані передаються у редактор друкованої плати. Завдяки цьому зменшується ризик помилок між схемою та платою, оскільки електричні зв’язки переносяться автоматично.

У середовищі Altium Designer можна створювати власні бібліотечні елементи. Для високоточного цифрового термометра це важливо, тому що в схемі використовуються мікросхеми у DIP-корпусах, транзистори TO-92, вивідні резистори, конденсатори та роз’єми. Для кожного елемента потрібно

мати правильне умовне графічне позначення, посадкове місце, нумерацію виводів і відповідність між схемним символом та footprint-моделлю.

Особливо важливим є правильне створення посадкових місць для мікросхем DA1, DD1-DD6. У схемі використовується аналого-цифровий перетворювач, логічні мікросхеми та буферні елементи індикації, які мають велику кількість виводів. Помилка у нумерації контактів або розмірах посадкового місця може призвести до неправильного трасування плати або неможливості встановлення компонента після виготовлення друкованого вузла.

Altium Designer також дозволяє задавати правила проектування друкованої плати. У цих правилах можна встановити ширину провідників, мінімальні зазори, діаметри отворів, розміри контактних площадок та параметри перехідних отворів. Для даної плати це важливо, оскільки вона виконується двосторонньою, має навісний DIP/THT-монтаж і містить значну кількість металізованих отворів.

Під час трасування друкованої плати середовище дозволяє контролювати прокладання провідників між елементами, розміщення контактних площадок, перехід між шарами та відповідність заданим технологічним обмеженням. Це спрощує роботу з платою, особливо в місцях, де зосереджено багато з’єднань між аналого-цифровим перетворювачем DD3, логічними мікросхемами DD1, DD2 та буферними мікросхемами DD4-DD6.

Важливою функцією Altium Designer є перевірка електричної схеми та друкованої плати. Перевірка ERC дозволяє виявити помилки електричних з’єднань на схемі, наприклад непідключені виводи, неправильні типи з’єднань або проблеми з живленням. Перевірка DRC застосовується вже для друкованої плати і дає змогу проконтролювати зазори, ширину провідників, наявність непідключених ліній і дотримання технологічних правил.

Ще однією перевагою Altium Designer є можливість формування 3D-вигляду друкованого вузла. Це дозволяє візуально оцінити розміщення

компонентів на платі, перевірити загальну компоновку та переконатися, що елементи не заважають один одному. Для пристрою з DIP/THT-компонентами така перевірка є корисною, оскільки компоненти мають помітну висоту корпусів і потребують достатнього простору для монтажу.

Використання Altium Designer також зручне для підготовки конструкторської документації. У середовищі можна отримати вигляд електричної принципової схеми, креслення друкованої плати, складальний вигляд друкованого вузла та перелік елементів. Це відповідає меті кваліфікаційної роботи, оскільки результатом проектування має бути не тільки опис роботи пристрою, а й комплект документації, придатний для виготовлення і складання плати.

Для високоточного цифрового термометра вибір Altium Designer є технічно обґрунтованим. Це середовище дозволяє виконати всі основні етапи проектування: створення бібліотек, побудову електричної принципової схеми, перевірку електричних з’єднань, компонування друкованої плати, трасування, перевірку правил проектування, перегляд 3D-моделі та підготовку графічних матеріалів.

Отже, Altium Designer повністю відповідає задачам, поставленим у кваліфікаційній роботі. Його використання дозволяє послідовно розробити друкований вузол високоточного цифрового термометра, зменшити кількість помилок під час проектування та забезпечити зв’язок між електричною схемою, друкованою платою і комплектом конструкторської документації..

2.2 Створення друкованого вузла у середовищі Altium Designer.

Створення друкованого вузла високоточного цифрового термометра виконувалося у середовищі Altium Designer. Це дало змогу послідовно пройти основні етапи проектування: створення бібліотечних компонентів, виконання електричної принципової схеми, перевірку правильності з’єднань,

передавання компонентів у редактор друкованої плати, компонування елементів, трасування провідників та перевірку готової плати.

На початковому етапі було створено структуру проекту високоточного цифрового термометра. До складу проекту входять файли електричної принципової схеми, бібліотеки умовних графічних позначень, бібліотеки посадкових місць та файл друкованої плати. Така структура дозволяє зберігати всі частини проекту в одному середовищі та забезпечує зв’язок між схемою і друкованою платою.

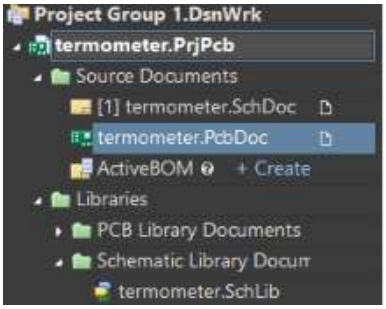


Рисунок 2.1 - Структура проекту високоточного цифрового термометра в Altium Designer

Окремим етапом було створення та редагування бібліотеки елементів. Для кожного компонента потрібно було підготувати умовне графічне позначення, посадкове місце та встановити зв’язок між схемним символом і footprint-моделлю. При створенні бібліотеки враховувалися реальні габарити корпусів, крок виводів, діаметри монтажних отворів та тип монтажу елементів.

У даному пристрої використовується виключно навісний DIP/THT-монтаж, тому всі посадкові місця були виконані для встановлення компонентів у монтажні отвори. Це стосується мікросхем DA1, DD1-DD6,

транзисторів VT1, VT2, резисторів, конденсаторів і роз'ємів. SMD-посадкові місця в конструкції не використовувалися.

Найбільшу увагу під час створення бібліотеки було приділено мікросхемам у DIP-корпусах. Операційний підсилювач LM358N має корпус DIP-8, логічні мікросхеми SN74ALS00AN і SN74ALS02AN - корпус DIP-14, аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ - корпус DIP-40, а буферні мікросхеми SN74ALS244CN - корпус DIP-20. Для цих елементів важливо правильно задати нумерацію виводів, оскільки помилка при створенні посадкового місця може призвести до неправильного трасування плати.

Під час створення контактних площадок було враховано фактичні параметри отворів друкованої плати. Для плати використовуються металізовані отвори діаметром 0,7 мм, 0,9 мм і 1,2 мм з відповідними контактними площадками. Такі параметри забезпечують встановлення вивідних елементів, нормальне паяння та електричний зв'язок між верхнім і нижнім шарами плати.

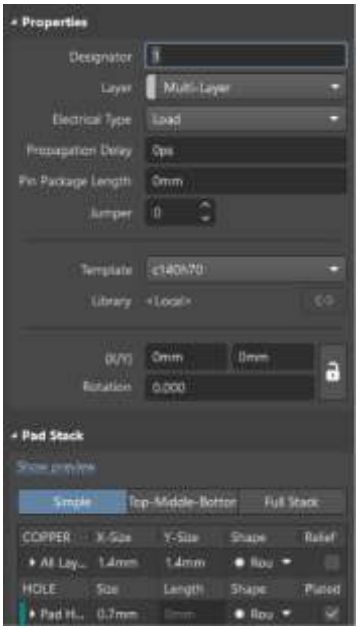


Рисунок 2.3 - Налаштування контактної площадки посадкового місця

Після створення посадкових місць було виконано перевірку відповідності схемних символів і footprint-моделей. Для кожного елемента перевірялися кількість виводів, їх нумерація та відповідність реальному корпусу компонента. Особливо це важливо для мікросхем DD3 і DD4-DD6, оскільки вони мають велику кількість контактів і визначають основну складність друкованого монтажу.

Основні компоненти, використані у проекті високоточного цифрового термометра, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Перелік основних компонентів бібліотеки

Назва компонента	Посадкове місце	Тип монтажу	Позиційне позначення
LM358N	DIP-8	DIP/THT	DA1
SN74ALS00AN	DIP-14	DIP/THT	DD1
SN74ALS02AN	DIP-14	DIP/THT	DD2
ICL7107CPLZ	DIP-40	DIP/THT	DD3
SN74ALS244CN	DIP-20	DIP/THT	DD4-DD6
2N5457	TO-92	THT	VT1, VT2
Резистори	Axial TH	THT	R1-R14
Конденсатори	Radial TH	THT	C1-C8
Роз’єми	Connector TH	THT	XP1-XP3, XS1
+5V	Power Port	-	PWR
GND	Power Port	-	GND

Наступним етапом було виконання електричної принципової схеми у редакторі Schematic. На схемі були розміщені всі основні вузли високоточного цифрового термометра: вузол живлення, аналогова вимірювальна частина, аналого-цифровий перетворювач, логічні елементи, буферні мікросхеми індикації, транзистори, пасивні компоненти та роз’єми для підключення зовнішніх кіл.

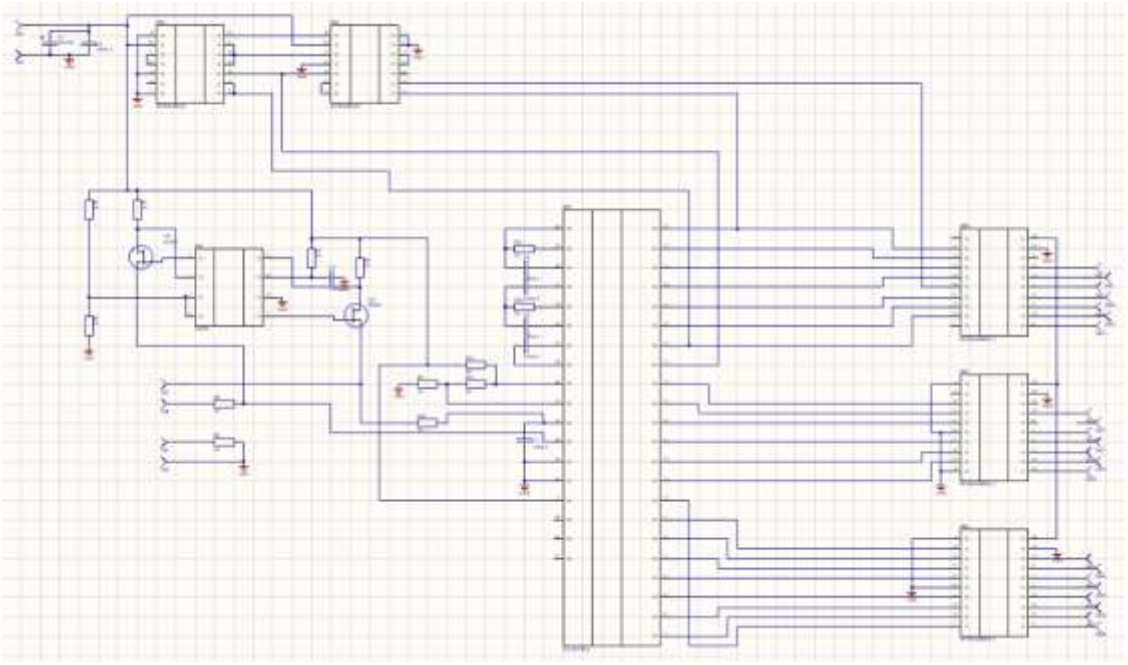


Рисунок 2.4 - Загальний вигляд електричної принципової схеми в Altium Designer

У процесі побудови схеми були задані електричні зв’язки між компонентами. Для зручності читання схеми використовувалися позначення основних кіл живлення та сигнальних ліній. Вузол живлення виконано з позначеннями +5V і GND. Лінії керування цифровою індикацією виведені до роз’ємів XP1-XP3, що спрощує подальше підключення індикаторної частини.

Після завершення побудови електричної принципової схеми було виконано перевірку ERC. Ця перевірка дозволяє виявити помилки електричних з’єднань, непідключені виводи, некоректні типи портів або проблеми з колами живлення. Виявлені зауваження були проаналізовані, після чого схема була підготовлена до передавання в редактор друкованої плати.

Після перевірки схеми компоненти були передані у PCB-редактор Altium Designer. На цьому етапі було задано контур друкованої плати, який відповідає прийнятим габаритам 107x85 мм. Плата має прямокутну форму, що є зручною для виготовлення, розміщення у корпусі та оформлення креслення.

Компонування елементів виконувалося з урахуванням функціонального призначення окремих вузлів. Аналого-цифровий перетворювач DD3 розміщено ближче до центральної частини плати, оскільки він має найбільшу кількість виводів і пов’язаний з багатьма іншими елементами схеми. Буферні мікросхеми DD4-DD6 розміщено ближче до роз’ємів індикації, що дозволяє скоротити довжину провідників до зовнішніх ліній керування індикаторами.

Аналоговий вимірювальний вузол з операційним підсилювачем DA1, транзисторами VT1, VT2, резисторами та конденсаторами розміщується окреміше від щільної цифрової частини. Це зменшує вплив цифрових сигналів на вимірювальний вузол і сприяє стабільнішій роботі термометра. Роз’єми розміщено ближче до країв плати, щоб забезпечити зручне підключення живлення, виносного датчика та індикаторної частини.

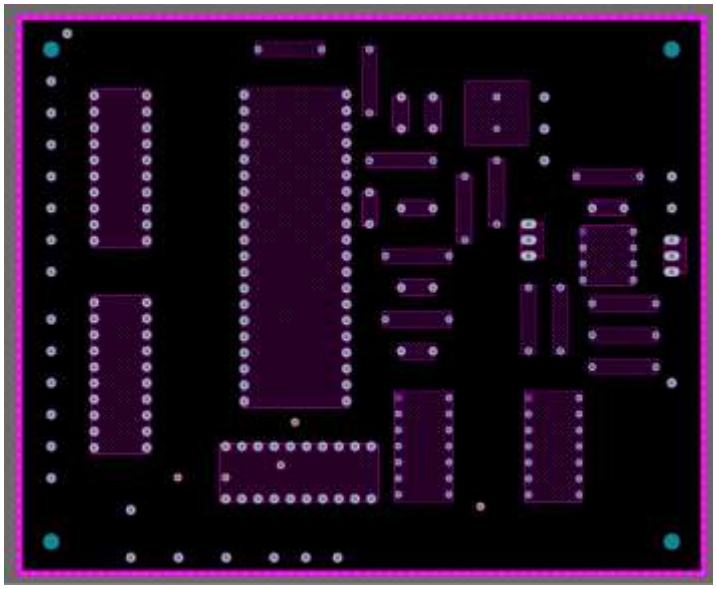


Рисунок 2.6 - Розміщення компонентів на друкованій платі

Трасування з’єднань виконувалося на двох провідникових шарах. Верхній і нижній шари використовувалися для розведення сигнальних ліній, кіл живлення та загального провідника. Для переходу між шарами

застосовувалися металізовані отвори. Двостороннє трасування дозволило зменшити кількість перетинів провідників і уникнути використання великої кількості дротяних перемичок.

Сигнальні провідники виконувалися шириною 0,5 мм. Для кіл живлення +5 В і загального провідника GND використовувалась більша ширина - 0,8-1,0 мм. Це дозволяє зменшити падіння напруги в колах живлення та підвищити стабільність роботи аналогової і цифрової частин пристрою. Мінімальний робочий зазор між провідниками та контактними площадками прийнято 0,5 мм.

Особливу увагу під час трасування було приділено з'єднанням між DD3 та буферними мікросхемами DD4-DD6. Ця частина схеми має велику кількість ліній, тому провідники потрібно було прокладати впорядковано, без зайвих перетинів і з урахуванням можливості переходу між шарами. Для аналогового вузла трасування виконувалося так, щоб зменшити довжину чутливих провідників і уникати їх проходження через ділянки з великою кількістю цифрових сигналів.

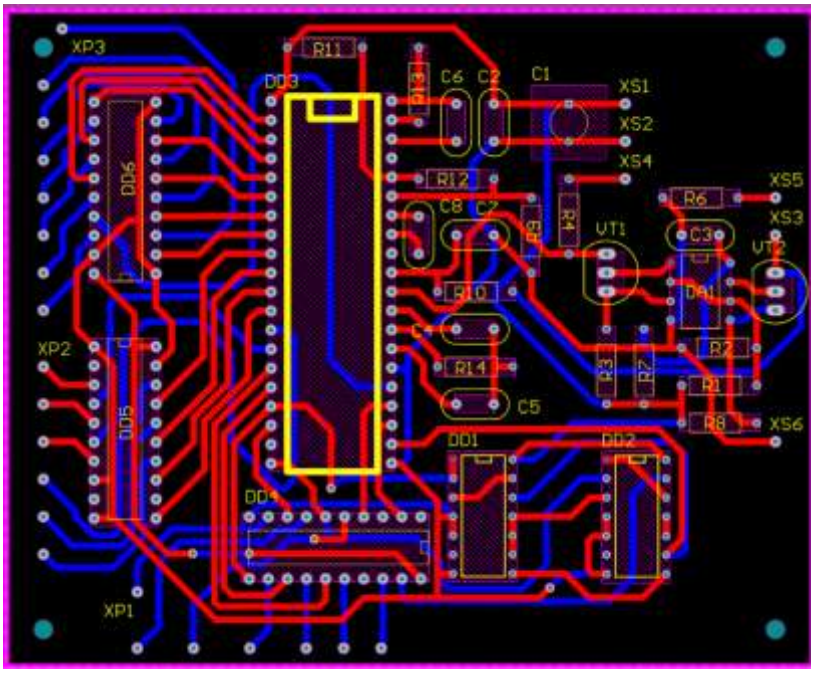


Рисунок 2.7 - Результат трасування друкованої плати у Altium Designer

Після завершення трасування було виконано перевірку DRC. Вона дозволила проконтролювати дотримання заданих правил проектування: ширини провідників, мінімальних зазорів, правильності підключення контактних площадок, наявності непідключених ліній та коректності переходів між шарами. Виявлені неточності були виправлені, після чого друкована плата була підготовлена до оформлення графічної документації.

Для візуальної перевірки компонування було сформовано 3D-вигляд друкованого вузла. Це дозволило оцінити розміщення мікросхем, транзисторів, конденсаторів і роз'ємів на платі. 3D-перегляд є корисним, оскільки дає змогу побачити можливі проблеми з розташуванням корпусів ще до виготовлення плати.

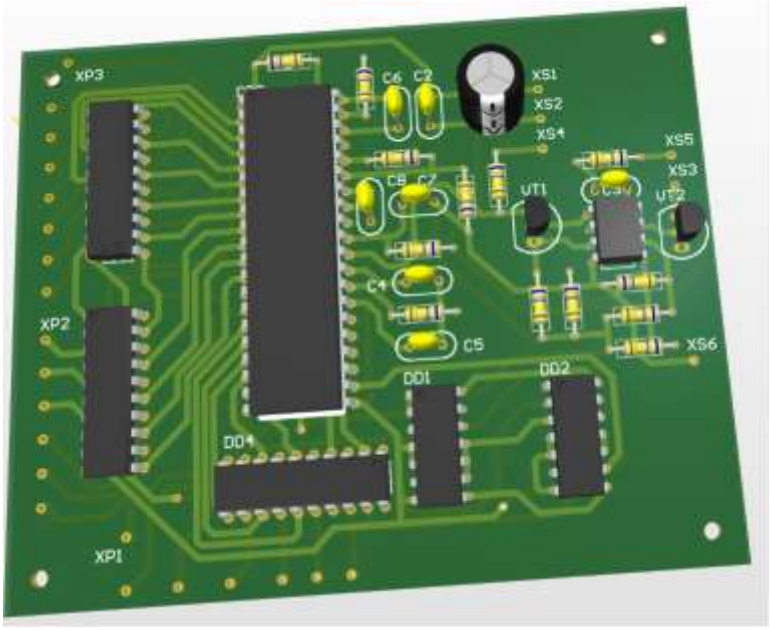


Рисунок 2.8 - 3D-вигляд друкованого вузла високоточного цифрового термометра

Отже, у середовищі Altium Designer було виконано повний цикл створення друкованого вузла високоточного цифрового термометра. Було створено бібліотечні компоненти та посадкові місця, виконано електричну

принципову схему, проведено перевірку ERC, здійснено компонування елементів на платі, виконано двостороннє трасування, перевірку DRC та сформовано 3D-вигляд друкованого вузла. Отримані матеріали можуть бути використані для оформлення креслення друкованої плати, складального креслення та подальшого виготовлення пристрою.

2.3 Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто спеціальну частину кваліфікаційної роботи, пов’язану з вибором програмного середовища та створенням друкованого вузла високоточного цифрового термометра. Для виконання поставленого завдання було обрано середовище Altium Designer, яке дозволяє виконувати розробку електричних принципових схем, створення бібліотек компонентів, проектування друкованих плат, перевірку правил проектування та формування 3D-вигляду друкованого вузла.

Було обґрунтовано, що використання Altium Designer є доцільним для даної роботи, оскільки пристрій містить декілька функціональних вузлів, багатовивідні мікросхеми, роз’єми, навісний DIP/THT-монтаж і двосторонню друковану плату. Середовище забезпечує зв’язок між електричною принциповою схемою та друкованою платою, що зменшує ймовірність помилок під час перенесення схеми у PCB-редактор.

У процесі створення друкованого вузла було підготовлено бібліотечні компоненти та посадкові місця для основних елементів схеми. Особливу увагу приділено мікросхемам DA1, DD1-DD6, транзисторам VT1, VT2, резисторам, конденсаторам і роз’ємам, оскільки всі вони встановлюються через монтажні отвори. Для кожного елемента було важливо правильно задати корпус, крок виводів, діаметри отворів і відповідність між умовним графічним позначенням та посадковим місцем.

Також було виконано електричну принципову схему високоточного цифрового термометра у редакторі Schematic. На схемі розміщено вузол живлення, аналогову вимірювальну частину, аналого-цифровий перетворювач, логічні мікросхеми, буферний вузол індикації та роз’єми для підключення зовнішніх кіл. Після побудови схеми проведено перевірку ERC, що дозволило проконтролювати правильність електричних з’єднань перед переходом до розробки друкованої плати.

На наступному етапі компоненти були передані у редактор друкованої плати. Було задано контур плати, виконано розміщення елементів і трасування провідників на двох шарах. Компоненти розміщувалися з урахуванням їх функціонального призначення: аналого-цифровий перетворювач розташовано ближче до центральної частини плати, аналоговий вимірювальний вузол - окреміше від цифрових ліній, а роз’єми - ближче до країв плати для зручного підключення зовнішніх кіл.

Трасування друкованої плати виконувалося з урахуванням прийнятих параметрів друкованого монтажу. Сигнальні провідники прокладалися шириною 0,5 мм, а кола живлення та загального провідника виконувалися ширшими. Для переходу між верхнім і нижнім шарами використовувалися металізовані отвори. Після завершення трасування була виконана перевірка DRC, яка дала змогу проконтролювати дотримання правил проектування та відсутність критичних помилок.

Крім цього, було сформовано 3D-вигляд друкованого вузла. Це дозволило візуально оцінити розміщення мікросхем, транзисторів, конденсаторів і роз’ємів на платі, а також перевірити загальну компоновку пристрою до етапу виготовлення. Такий перегляд є корисним для виявлення можливих конструктивних неточностей ще під час проектування.

Отже, у другому розділі було виконано основні етапи комп’ютерного проектування друкованого вузла високоточного цифрового термометра. Використання Altium Designer дозволило створити бібліотеку елементів, виконати електричну принципову схему, розробити друковану плату, провести перевірки ERC і DRC та сформувати 3D-модель виробу. Отримані результати є основою для оформлення креслення друкованої плати, складального креслення друкованого вузла та подальшого виготовлення пристрою.

3 Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

3.1 Застосування ризик-орієнтованого підходу під час розроблення та експлуатації високоточного цифрового термометра

У дипломному проєкті розробляється високоточний цифровий термометр, який призначений для вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача опору та відображення результату на цифровій індикації. Пристрій містить аналогову вимірювальну частину, аналого-цифровий перетворювач, логічні мікросхеми, буферні елементи індикації, транзистори, резистори, конденсатори та роз'єми. Друкований вузол виконаний на двосторонній платі з навісним DIP/THT монтажем, при якому всі елементи встановлюються у монтажні отвори.

Питання безпеки життєдіяльності доцільно розглядати безпосередньо у зв'язку з темою кваліфікаційної роботи. Тому для даного пристрою доцільно розглянути ризики, які можуть виникати під час проєктування, монтажу, налагодження та експлуатації цифрового термометра. Ризик у цьому випадку розглядається як поєднання ймовірності виникнення небезпечної події та тяжкості її наслідків.

Сам цифровий термометр живиться від напруги 5 В, тому в нормальному режимі він не є високовольтним пристроєм. Проте небезпека може виникати під час виготовлення і перевірки, коли використовується паяльна станція, лабораторний блок живлення, комп'ютер, вимірювальні прилади та мережеві адаптери. Крім того, помилки монтажу або неправильне підключення живлення можуть призвести до короткого замикання, перегріву елементів або пошкодження друкованої плати.

Для високоточного цифрового термометра основними небезпечними подіями є неправильне підключення живлення, коротке замикання між контактними площадками, перегрів елементів під час пайки, пошкодження

кабелю виносного датчика та робота відкритої плати без корпусу або ізоляційної основи. Окремо потрібно враховувати справність паяльної станції та блока живлення, оскільки саме вони підключаються до мережі й можуть створювати підвищену небезпеку для виконавця.

Неправильне підключення живлення 5 В може виникнути через переплутану полярність або помилку при підключенні роз'єму. Наслідком може бути пошкодження мікросхем DD1-DD6, операційного підсилювача DA1, електролітичного конденсатора C1 або перегрів окремих провідників. Щоб зменшити цей ризик, перед першим ввімкненням потрібно перевірити полярність живлення, відсутність короткого замикання між +5 В і GND та виконати перший запуск через лабораторний блок живлення з обмеженням струму.

Коротке замикання на друкованій платі може бути спричинене залишками припою, перемичками між сусідніми виводами мікросхем, забрудненням флюсом або обрізками виводів. Особливо уважно потрібно перевіряти ділянки біля DD3 та DD4-DD6, бо там є велика кількість контактних площадок і паралельних з'єднань. Для зменшення ризику після пайки виконується візуальний контроль, очищення плати та перевірка мультиметром основних кіл.

Ще одним ризиком є неправильна робота виносного термоперетворювача опору. Якщо провідники датчика пошкоджені, погано закріплені або мають нестабільний контакт у роз'ємі, термометр може показувати неправильне значення температури. Для високоточного пристрою це є суттєвим недоліком, тому після складання потрібно перевірити кабель датчика, надійність підключення та порівняти покази з контрольним вимірювальним засобом.

Таблиця 3.1 - Оцінка основних ризиків під час розроблення та експлуатації високоточного цифрового термометра

Небезпечна подія	Можлива причина	Наслідки	Рівень ризику	Заходи зменшення ризику
Неправильне підключення живлення 5 В	Переплутана полярність, помилка підключення роз’єму	Пошкодження мікросхем, перегрів конденсатора, відмова пристрою	Середній	Перевірка полярності, контроль +5 В і GND, перше ввімкнення з обмеженням струму
Коротке замикання на друкованій платі	Перемички припою, забруднення флюсом, дефект доріжки	Нестабільна робота, перегрів елементів, пошкодження плати	Середній	Візуальний контроль, перевірка мультиметром, очищення плати після пайки
Перегрів елементів під час пайки	Надто тривале нагрівання виводів	Пошкодження мікросхем, транзисторів або контактних площадок	Середній	Використання справної паяльної станції, обмеження часу пайки, контроль якості з’єднань
Пошкодження кабелю виносного датчика	Перегин провідників, поганий контакт у роз’ємі	Неправильне вимірювання температури	Низький або середній	Перевірка кабелю, надійне підключення роз’єму, механічне розвантаження проводу
Робота відкритої плати без корпусу	Плата лежить на провідній поверхні, випадковий контакт з інструментом	Коротке замикання, відмова вузла	Середній	Використання ізоляційної основи, встановлення плати в корпус, відступи від металевих частин

Для побудови структурно-логічної моделі можна розглянути подію «пошкодження друкованого вузла під час першого ввімкнення». Вона може виникнути при поєднанні кількох причин: помилка монтажу, невиявлене коротке замикання, неправильна полярність живлення або відсутність обмеження струму. Послідовність розвитку події така: дефект монтажу призводить до неправильного електричного з’єднання, після подачі живлення виникає перевантаження, далі відбувається перегрів і пошкодження компонента або всієї плати.

Щоб розірвати цей ланцюг, перед ввімкненням потрібно виконати огляд плати, перевірити шини живлення мультиметром, проконтролювати полярність електролітичного конденсатора та підключити плату через блок живлення з обмеженням струму. Такі дії зменшують імовірність аварійної ситуації та дозволяють виявити помилки ще до пошкодження елементів.

Пожежна безпека також має значення, оскільки під час пайки використовуються нагрітий інструмент, припій і флюс. На робочому місці не повинно бути паперу, тканини, легкозаймистих рідин і сторонніх предметів. Після завершення роботи паяльну станцію та лабораторний блок живлення потрібно вимкнути з мережі.

Отже, ризик-орієнтований підхід дозволяє визначити найбільш імовірні небезпечні ситуації під час розроблення високоточного цифрового термометра. Основними ризиками є коротке замикання, неправильне підключення живлення, перегрів елементів, пошкодження кабелю датчика та несправність допоміжного обладнання. Запропоновані заходи дають змогу знизити ризик пошкодження пристрою і підвищити безпеку виконання монтажно-налагоджувальних робіт.

3.2 Заходи з техніки безпеки під час виготовлення друкованого вузла високоточного цифрового термометра

У ході виконання дипломного проєкту виготовлення друкованого вузла є одним із основних практичних етапів. Високоточний цифровий термометр містить двосторонню друковану плату, мікросхеми у DIP-корпусах, вивідні резистори, конденсатори, польові транзистори, роз’єми та виносний термоперетворювач опору. Усі компоненти встановлюються з однієї сторони плати через монтажні отвори, тому головні небезпеки пов’язані з підготовкою робочого місця, пайкою, обрізанням виводів, перевіркою монтажу та першим увімкненням пристрою.

Під час виготовлення друкованого вузла діють такі небезпечні та шкідливі фактори: нагріте жало паяльника, розплавлений припій, випаровування флюсу, гострі кінці виводів, можливість короткого замикання, електрична небезпека від блока живлення і паяльного обладнання, а також навантаження на зір під час роботи з дрібними елементами. Тому навіть для низьковольтного пристрою з живленням 5 В потрібно дотримуватися вимог охорони праці.

Перед початком монтажу робоче місце потрібно підготувати: прибрати сторонні предмети, залишити тільки друковану плату, елементи, паяльну станцію, припій, флюс, пінцет, бокорізи, мультиметр і документацію. Робоча поверхня має бути сухою, рівною і непровідною. Біля місця пайки не повинно бути паперу, тканини, легкозаймистих рідин або зайвих проводів.

Паяльна станція перед роботою повинна бути справною. Заборонено використовувати обладнання з пошкодженим кабелем, тріщинами в корпусі, нестійкою підставкою або ненадійним контактом у вилці. Паяльник потрібно ставити тільки на підставку, не залишати його на столі або біля проводів. Під час перерв у роботі паяльну станцію потрібно вимикати або переводити в безпечний режим.

Оскільки у проєкті використано DIP/THT-монтаж, перед пайкою необхідно перевірити правильність встановлення елементів. Особливо уважно потрібно контролювати орієнтацію мікросхем DD1-DD6, операційного підсилювача DA1, транзисторів VT1, VT2, полярність електролітичного конденсатора C1 та підключення роз’ємів. Помилка встановлення може призвести до неправильної роботи термометра або пошкодження елементів під час першого ввімкнення.

Під час пайки не можна перегрівати контактні площадки та виводи елементів. Тривале нагрівання може спричинити відшарування площадки, пошкодження мікросхеми або погіршення якості паяного з’єднання. Пайку потрібно виконувати акуратно, без зайвої кількості припою, щоб не утворювались перемички між сусідніми контактами. Після монтажу плату потрібно оглянути і за потреби очистити від залишків флюсу.

Обрізання виводів після пайки виконується бокорізами. Обрізані кінці можуть відлітати в сторону або потрапляти на плату, тому їх потрібно спрямовувати від обличчя, а залишки одразу прибирати зі столу. Потрапляння металевих обрізків між контактними площадками може спричинити коротке замикання під час перевірки пристрою.

Перед першим увімкненням необхідно перевірити мультиметром відсутність короткого замикання між шинами +5 В і GND. Також потрібно перевірити правильність підключення роз’єму живлення, полярність C1, якість пайки мікросхем і стан доріжок. Перше ввімкнення краще виконувати від лабораторного блока живлення з обмеженням струму, щоб у разі помилки монтажу зменшити ризик пошкодження елементів.

Під час налагодження плата може працювати без корпусу, тому її потрібно розміщувати тільки на діелектричній основі. Не можна класти плату на металеву поверхню або поруч із обрізками проводів. При ввімкненому живленні не слід торкатися нижньої сторони плати, де знаходяться паяні

виводи та контактні площадки. Вимірювання потрібно виконувати справними щупами з ізольованими ручками.

Окрему увагу слід приділити виносному термоперетворювачу опору. Його провідники мають бути ізольованими, а контакт у роз'ємі - надійним. Кабель датчика не повинен натягуватися, перегинатися або торкатися нагрітих частин паяльника. Пошкодження кабелю або нестабільний контакт можуть призвести до неправильного вимірювання температури.

Частина роботи над дипломом виконується за комп'ютером у середовищі Altium Designer. Під час тривалої роботи з екраном потрібно правильно організувати робоче місце: забезпечити достатнє освітлення, розмістити монітор на зручній відстані, уникати відблисків і робити короткі перерви. Це зменшує навантаження на зір і опорно-руховий апарат.

Таблиця 3.2 - Заходи безпеки під час виготовлення друкованого вузла високоточного цифрового термометра

Етап роботи	Можлива небезпека	Заходи безпеки
Підготовка робочого місця	Захаращення столу, наявність легкозаймистих матеріалів	Прибрати сторонні предмети, залишити тільки необхідні інструменти й елементи, забезпечити суху непровідну поверхню
Перевірка паяльного обладнання	Ураження електричним струмом, перегрів, пожежна небезпека	Використовувати справну паяльну станцію, перевірити кабель, вилку та підставку, не залишати паяльник без нагляду
Встановлення DIP/THT-компонентів	Помилка орієнтації мікросхем, згинання виводів, пошкодження площадок	Перевірити позиційні позначення, ключ мікросхем, полярність конденсатора, встановлювати елементи без надмірного зусилля
Пайка елементів	Опіки, випаровування флюсу, перегрів компонентів	Працювати обережно, використовувати підставку для паяльника, не вдихати дим флюсу, не перегрівати виводи та контактні площадки

Продовження таблиці 3.2

Обрізання виводів	Відлітання обрізків, порізи, потрапляння металу на плату	Використовувати бокорізи, спрямовувати обрізки від обличчя, прибирати залишки виводів зі столу та плати
Візуальний контроль після пайки	Невиявлені перемички припою, неправильний монтаж	Перевірити місця пайки, контакти мікросхем, полярні елементи, роз’єми та відсутність залишків металу
Перше ввімкнення плати	Коротке замикання, перегрів елементів, пошкодження мікросхем	Перевірити опір між +5 В і GND, подати живлення через блок з обмеженням струму, контролювати нагрів елементів
Робота з виносним датчиком	Пошкодження провідників, неправильні покази температури	Перевірити ізоляцію кабелю, надійність контакту в роз’ємі, не допускати натягу та перегину проводу
Робота за ПК у Altium Designer	Перевтома зору, напруження кистей і спини	Забезпечити правильне освітлення, зручне розміщення монітора, робити короткі перерви під час тривалої роботи

Після виготовлення друкований вузол потрібно перевірити електрично і механічно. Всі елементи мають бути встановлені рівно, роз’єми не повинні хитатися, а на нижній стороні плати не повинно бути довгих гострих виводів або залишків припою. Якщо плата встановлюється в корпус, потрібно перевірити, щоб паяні виводи не торкалися металевих частин.

Отже, заходи з техніки безпеки під час виготовлення друкованого вузла високоточного цифрового термометра охоплюють підготовку робочого місця, безпечну пайку, правильне встановлення DIP/THT-компонентів, обрізання виводів, перевірку плати перед першим увімкненням та дотримання пожежної безпеки. Основна небезпека виникає не під час нормальної роботи термометра від 5 В, а саме на етапах монтажу, налагодження та перевірки пристрою.

3.3 Висновок до розділу 3

У третьому розділі було розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, пов’язані з розробленням, виготовленням, налагодженням та експлуатацією високоточного цифрового термометра. Оскільки пристрій живиться від напруги 5 В, у нормальному режимі він не належить до небезпечних високовольтних виробів.

Було застосовано ризик-орієнтований підхід до аналізу небезпечних ситуацій. Визначено основні ризики для друкованого вузла високоточного цифрового термометра: неправильна полярність живлення, перемички припою між контактами, пошкодження кабелю виносного термоперетворювача, перегрів компонентів під час пайки та робота відкритої плати без ізоляційної основи. Для зменшення цих ризиків передбачено перевірку монтажу, контроль кіл +5 В і GND, перше ввімкнення через лабораторний блок живлення з обмеженням струму та візуальний контроль якості паяних з’єднань.

Окремо розглянуто заходи техніки безпеки під час виготовлення друкованого вузла. Основну увагу приділено правильній організації робочого місця, використанню справної паяльної станції, акуратному встановленню DIP/THT-компонентів, дотриманню полярності елементів, безпечному обрізанню виводів і очищенню плати після паяння.

Таким чином, дотримання запропонованих заходів дозволяє зменшити ймовірність пошкодження друкованого вузла, підвищити безпеку виконавця

під час монтажно-налагоджувальних робіт і забезпечити стабільну роботу високоточного цифрового термометра. Розглянуті питання охорони праці та безпеки життєдіяльності безпосередньо пов’язані з темою кваліфікаційної роботи і доповнюють технічну частину розробки пристрою.

Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено комплект конструкторської документації на високоточний цифровий термометр. Пристрій призначений для вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача опору Cu1000 та відображення результату вимірювання на цифровій індикації.

У ході роботи було проаналізовано технічне завдання та визначено основні вимоги до проєктованого пристрою. Встановлено, що високоточний цифровий термометр повинен працювати від напруги 5 В, мати виносний датчик температури, цифрову індикацію, апаратну схему обробки сигналу та друкований вузол, зручний для виготовлення, монтажу й перевірки.

На основі поставлених вимог було розглянуто структурну схему пристрою. У її складі виділено виносний термоперетворювач опору Cu1000, аналоговий вимірювальний вузол, аналого-цифровий перетворювач, логічну частину, буферний вузол індикації, цифрову індикацію та вузол живлення. Така структура забезпечує послідовне проходження сигналу від датчика до відображення результату вимірювання.

Було описано електричну принципову схему високоточного цифрового термометра. У схемі використано операційний підсилювач LM358N, аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ, логічні мікросхеми SN74ALS00AN і SN74ALS02AN, буферні мікросхеми SN74ALS244CN, польові транзистори 2N5457, резистори, конденсатори та роз’єми. Пристрій побудований без мікроконтролера, тому вимірювання, перетворення сигналу та керування індикацією реалізовані апаратно.

У розрахунковій частині було виконано розрахунок вимірювального вузла з термоперетворювачем опору Cu1000. Встановлено, що при зміні температури від 0 до 100 °C опір датчика змінюється від 1000 Ом до 1427 Ом. При вимірювальному струмі 1 мА напруга на датчику змінюється від 1,0 В до

1,427 В, а чутливість вузла становить приблизно 4,27 мВ/°С. Це підтверджує доцільність використання Cu1000 у складі цифрового термометра.

Під час вибору елементної бази було враховано напругу живлення, тип вимірювального датчика, спосіб індикації та вимоги до монтажу. Для пристрою прийнято навісний DIP/THT-монтаж, що спрощує ручне складання, візуальний контроль, перевірку та можливий ремонт друкованого вузла. Вибрані компоненти відповідають функціональному призначенню пристрою та забезпечують його роботу як апаратного вимірювального приладу.

У роботі було виконано компонування друкованого вузла, розрахунок надійності та параметрів друкованого монтажу. Для пристрою прийнято двосторонню друковану плату розміром 107х85 мм з одностороннім розміщенням компонентів. Провідники розміщуються на двох шарах, що дає змогу раціонально розвести з'єднання між аналого-цифровим перетворювачем, логічними мікросхемами, буферним вузлом індикації та роз'ємами.

За результатами розрахунку надійності середнє напрацювання до відмови високоточного цифрового термометра становить приблизно 18423 год. Найбільший вплив на сумарну інтенсивність відмов мають мікросхеми, роз'єми та паяні з'єднання. Отримане значення є достатнім для пристрою, який призначений для роботи в нормальних лабораторних або побутових умовах.

Для друкованого монтажу було прийнято ширину сигнальних провідників 0,5 мм, ширину кіл живлення та загального провідника 0,8-1,0 мм, а мінімальний робочий зазор між струмопровідними елементами - 0,5 мм. Також враховано фактичні параметри металізованих отворів діаметром 0,7 мм, 0,9 мм і 1,2 мм. Такі рішення забезпечують нормальні умови виготовлення плати, встановлення DIP/THT-компонентів і подальшого паяння.

У середовищі Altium Designer було виконано створення друкованого вузла високоточного цифрового термометра. У процесі роботи створено

бібліотечні елементи та посадкові місця, розроблено електричну принципову схему, виконано перевірку ERC, задано контур плати, розміщено компоненти, виконано двостороннє трасування, перевірку DRC та сформовано 3D-вигляд друкованого вузла. Це дозволило підготувати матеріали для оформлення конструкторської документації.

У розділі охорони праці та безпеки життєдіяльності було розглянуто ризики, пов’язані з розробленням, виготовленням, налагодженням та експлуатацією високоточного цифрового термометра. Основну увагу приділено неправильному підключенню живлення, коротким замиканням, перегріву елементів під час пайки, пошкодженню кабелю виносного датчика та безпечній роботі з паяльним обладнанням і лабораторним блоком живлення.

Отже, поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто. Розроблено високоточний цифровий термометр та підготовлено основні матеріали комплекту конструкторської документації, зокрема електричну принципову схему, друковану плату, складальний вигляд друкованого вузла, перелік елементів і пояснювальну записку. Отримані результати можуть бути використані для виготовлення, складання, перевірки та подальшого навчального застосування пристрою.

Список використаних джерел

1. Дунець В. Л., Дедів І. Ю., Хвостівський М. О. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 "Телекомунікації та радіотехніка". Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 72 с.

2. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Основи радіоелектроніки". Ч. 1. Для студентів напряму підготовки 6.050902 "Радіоелектронні апарати". Тернопіль : ТНТУ, 2014. 89 с.

3. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів" для студентів спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка" / укл. Л. В. Хвостівська, В. Л. Дунець. Тернопіль : ТНТУ, 2020. 109 с.

4. Ткачук Р. А., Дозорський В. Г., Дедів Л. Є., Дедів І. Ю. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 336 с.

5. Altium Designer. PCB Design Software. URL: https://www.altium.com/altium-designer (дата звернення: 21.06.2026).

6. Галаган Р. М. Комп’ютерне проєктування електронних схем. Комп’ютерний практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 420 с.

7. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. Чинний від 1994-07-01. Київ : Держстандарт України, 1994. 93 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61937 (дата звернення: 21.06.2026).

8. ДСТУ 2.702:2013. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892 (дата звернення: 21.06.2026).

9. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102586 (дата звернення: 21.06.2026).

10. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90096 (дата звернення: 21.06.2026).

11. ДСТУ 2.104:2006. Єдина система конструкторської документації. Основні написи. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=55417 (дата звернення: 21.06.2026).

12. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : Книжкова палата України ім. Івана Федорова, 2015. 26 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64411 (дата звернення: 21.06.2026).

13. Texas Instruments. LM358 Industry-Standard Dual Operational Amplifiers. Datasheet. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf (дата звернення: 21.06.2026).

14. Renesas Electronics. ICL7106, ICL7107, ICL7107S. 3 1/2 Digit LCD/LED Display A/D Converters. Datasheet. URL: https://www.renesas.com/en/document/dst/icl7106-icl7107-icl7107s-datasheet (дата звернення: 21.06.2026).

15. Texas Instruments. SN74ALS00A Quadruple 2-Input Positive-NAND Gates. Datasheet. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74als00a.pdf (дата звернення: 21.06.2026).

16. Texas Instruments. SN74ALS02A Quadruple 2-Input Positive-NOR Gates. Datasheet. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74als02a.pdf (дата звернення: 21.06.2026).

17. Texas Instruments. SN74ALS244A Octal Buffers and Line Drivers With 3-State Outputs. Datasheet. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74als244a.pdf (дата звернення: 21.06.2026).

18. onsemi. 2N5457 N-Channel JFET. Datasheet. URL: https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/2n5457-d.pdf (дата звернення: 21.06.2026).

19. Vishay Intertechnology. Through-Hole Resistors. General Technical Information. URL: https://www.vishay.com/docs/28771/intro.pdf (дата звернення: 21.06.2026).

20. Vishay Intertechnology. Aluminum Capacitors. General Technical Information. URL: https://www.vishay.com/docs/28356/alucapintro.pdf (дата звернення: 21.06.2026).

21. IPC-2221B. Generic Standard on Printed Board Design. IPC, 2012.

22. IPC-A-600K. Acceptability of Printed Boards. IPC, 2020.

23. IPC-A-610H. Acceptability of Electronic Assemblies. IPC, 2020.

24. Атаманчук П. С. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.

25. Желібо Є. П., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності : підручник. Київ : Каравела, 2023. 344 с.

26. Запорожець О. І. Безпека життєдіяльності : підручник. 2-ге вид. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 448 с.

27. Бедрій Я. І. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-те вид., перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга - Богдан, 2018. 240 с.

28. Андрейчук Н. І., Кіт Ю. В., Шибанов С. В., Шерстньова О. В. Охорона праці : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2021. 276 с.

29. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник / В. В. Сокуренко, О. М. Бандурка та ін. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.

30. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI, зі змінами і доповненнями.

31. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-XII, зі змінами і доповненнями.

32. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017.

33. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00-1.21-98.

ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“ 28 ”___квітня__2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра
на тему: «Високоточний цифровий термометр»

Узгоджено:
Керівник роботи
Химич Г.П._____
“____”_____2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РАс-41
Дутка А.І. _____
“____”_____2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: «Розробка засобами автоматизованого проєктування комплекту конструкторської документації на високоточний цифровий термометр».

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження тем кваліфікаційних робіт № 4/9-198 від «28» квітня 2026 р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1 Студент Дутка Артур Іванович, групи РАс-41 кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка засобами автоматизованого проєктування комплекту конструкторської документації на високоточний цифровий термометр, що включає:

- аналіз технічного завдання та існуючих цифрових термометрів;
- розробку структурної схеми високоточного цифрового термометра;
- розробку електричної принципової схеми пристрою;
- опис принципу роботи високоточного цифрового термометра;
- розрахунок вимірювального вузла з термоперетворювачем опору Cu1000;
- вибір і обґрунтування елементної бази;
- компонування друкованого вузла;
- розрахунок надійності проєктованого виробу;
- розрахунок параметрів друкованого монтажу;
- розробку друкованої плати і конструкторської документації у середовищі Altium Designer;
- розгляд питань безпеки життєдіяльності та охорони праці.
-

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1 Основні параметри

4.1.1 Високоточний цифровий термометр повинен забезпечувати вимірювання температури за допомогою виносного термоперетворювача опору Cu1000 RTD.

4.1.2 Пристрій повинен забезпечувати перетворення зміни опору термоперетворювача у вимірювальний електричний сигнал.

4.1.3 Основою аналогового вимірювального вузла повинен бути операційний підсилювач LM358N.

4.1.4 Для перетворення аналогового вимірювального сигналу у цифрову форму повинен використовуватися аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ.

4.1.5 Пристрій повинен працювати без використання мікроконтролера, а основні процеси вимірювання, перетворення сигналу та керування індикацією повинні реалізовуватися апаратно.

4.1.6 Логічна частина пристрою повинна бути виконана на мікросхемах SN74ALS00AN та SN74ALS02AN.

4.1.7 Для узгодження сигналів цифрової індикації повинні використовуватися буферні мікросхеми SN74ALS244CN.

4.1.8 У складі аналогового вузла повинні використовуватися польові транзистори 2N5457.

4.1.9 Результат вимірювання температури повинен відображатися на цифровій індикації.

4.1.10 Живлення пристрою повинно здійснюватися від джерела постійної напруги 5 В.

4.1.11 Максимальний струм споживання пристрою повинен становити до 1 А.

4.1.12 У схемі повинна бути передбачена фільтрація напруги живлення за допомогою конденсаторів.

4.1.13 Підключення живлення, виносного датчика температури та ліній цифрової індикації повинно виконуватися через роз’єми.

4.1.14 Друкована плата пристрою повинна бути двосторонньою.

4.1.15 Усі електрорадіоелементи повинні встановлюватися на друковану плату за допомогою навісного DIP/THT-монтажу.

4.1.16 SMD-компоненти в конструкції пристрою не повинні використовуватися.

4.1.17 Друкована плата повинна бути виготовлена з фольгованого склотекстоліту FR-4 або СФ-2-35 товщиною 1,5 мм.

4.1.18 Товщина мідної фольги друкованої плати повинна становити 35 мкм.

4.1.19 Габаритні розміри друкованої плати повинні становити 107х85 мм.

4.1.20 Загальні габарити пристрою повинні становити 107х85х15 мм.

4.2 Технічні вимоги

4.2.1 Високоточний цифровий термометр повинен відповідати вимогам технічного завдання, конструкторської документації та чинних стандартів щодо розробки електронних пристроїв і друкованих вузлів.

4.2.2 Пристрій повинен забезпечувати стабільну роботу після подачі напруги живлення 5 В.

4.2.3 Вимірювальний вузол повинен забезпечувати формування сигналу, пропорційного зміні опору термоперетворювача Cu1000.

4.2.4 Аналого-цифровий перетворювач повинен забезпечувати перетворення сигналу вимірювального вузла у форму, придатну для подальшого відображення на цифровій індикації.

4.2.5 Логічні та буферні мікросхеми повинні забезпечувати узгоджену роботу цифрової частини та ліній індикації.

4.2.6 Елементи пристрою повинні бути підібрані з урахуванням напруги живлення, призначення вузлів, типу корпусу, умов монтажу та можливості встановлення на друковану плату.

4.2.7 Друкована плата повинна забезпечувати надійне електричне з'єднання елементів, достатні технологічні зазори, правильне розведення кіл живлення, загального провідника та сигнальних ліній.

4.2.8 Для сигнальних кіл повинна бути прийнята ширина друкованих провідників 0,5 мм.

4.2.9 Для кіл живлення та загального провідника повинна бути прийнята ширина провідників 0,8-1,0 мм.

4.2.10 Мінімальний робочий зазор між струмопровідними елементами повинен становити 0,5 мм.

4.2.11 У друкованій платі повинні використовуватися металізовані отвори діаметром 0,7 мм, 0,9 мм та 1,2 мм.

4.2.12 Напрацювання на відмову проєктованого виробу повинне бути не менше 12000 год.

4.2.13 Середній термін служби пристрою повинен бути не менше 5 років за умови дотримання правил експлуатації.

4.2.14 Конструкція пристрою повинна забезпечувати зручність монтажу, перевірки, налагодження, обслуговування та безпечної експлуатації.

4.3 Правила приймання

4.3.1 Розроблений пристрій повинен піддаватися перевірці відповідності технічному завданню та конструкторській документації.

4.3.2 Під час перевірки необхідно проконтролювати правильність монтажу, відсутність коротких замикань, якість паяння та відповідність встановлених елементів електричній принциповій схемі.

4.3.3 Перевірці підлягають вузол живлення, аналоговий вимірювальний вузол, операційний підсилювач LM358N, аналого-цифровий перетворювач ICL7107CPLZ, логічні мікросхеми SN74ALS00AN і SN74ALS02AN, буферні мікросхеми SN74ALS244CN, транзистори 2N5457, роз'єми та цифрова індикація.

4.3.4 Перед першим увімкненням необхідно перевірити правильність підключення живлення, полярність електролітичних конденсаторів, відсутність короткого замикання між шинами +5 В і GND та якість паяних з'єднань.

4.3.5 Під час першого запуску необхідно перевірити наявність напруги живлення 5 В, роботу аналогового вимірювального вузла, реакцію пристрою на зміну опору термоперетворювача та працездатність цифрової індикації.

4.3.6 У разі виявлення несправностей або невідповідності технічним вимогам пристрій повинен бути доопрацьований, після чого проводиться повторна перевірка.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам чинних ДСТУ, ДСТУ EN/IEC та методичних рекомендацій до виконання кваліфікаційних робіт.

5.2 Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальної записки;
- структурної схеми високоточного цифрового термометра;
- електричної принципової схеми пристрою;
- переліку елементів;
- креслення друкованої плати;
- складального креслення друкованого вузла;
- специфікації;
- додатків з графічними матеріалами.

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розробка та затвердження технічного завдання	12.03.2026
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних	14.03.2026
	матеріалів, необхідних для виконання роботи	
3	Аналіз існуючих цифрових термометрів та засобів	21.03.2026
	вимірювання температури	
4	Розробка структурної схеми високоточного цифрового	23.03.2026
	термометра	
5	Розробка електричної принципової схеми	10.04.2026
6	Вибір та обґрунтування елементної бази пристрою	12.04.2026
7	Розробка опису принципу роботи високоточного	16.04.2026
	цифрового термометра та його основних	
	функціональних вузлів	
8	Розрахунок основних вузлів схеми та параметрів роботи	22.04.2026
	пристрою	
9	Розрахунок параметрів друкованої плати та елементів	02.05.2026
	друкованого монтажу	

10	Компонування елементів і трасування друкованої плати	15.05.2026
	високоточного цифрового термометра	
11	Перевірка конструкції друкованої плати, уточнення	23.05.2026
	посадкових місць та параметрів друкованого вузла	
12	Розробка конструкторської документації на	03.06.2026
	високоточний цифровий термометр	
13	Розділ безпеки життєдіяльності, основи охорони праці	08.06.2026
14	Нормоконтроль	09.06.2026
15	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.06.2026
16	Перевірка роботи на антиплагіат	12.06.2026
17	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026

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

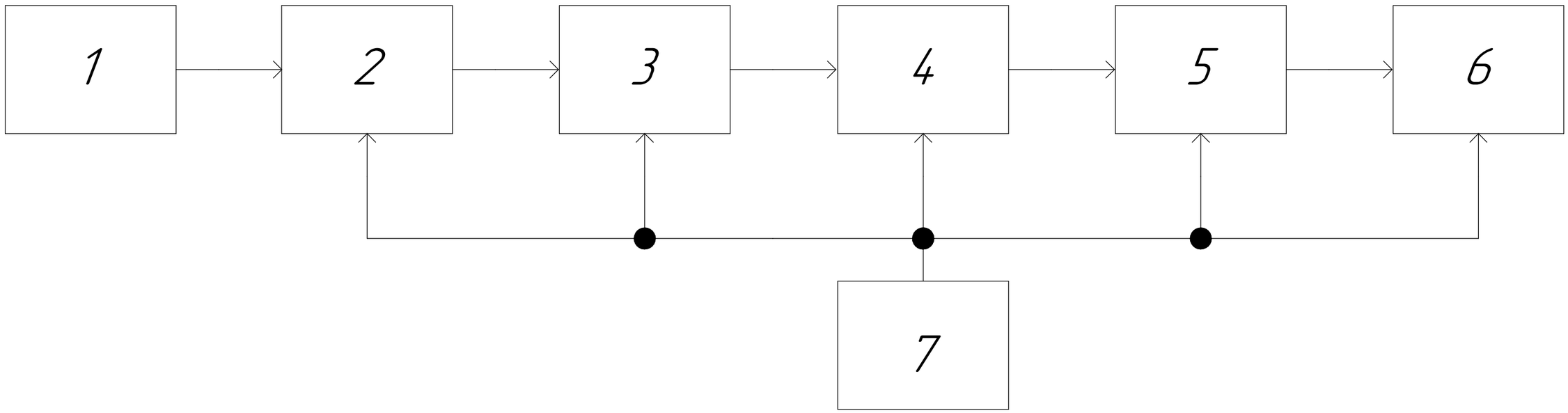
7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

7.2 Зміни до технічного завдання допускаються за погодженням із керівником кваліфікаційної роботи.

7.3 Остаточний склад конструкторської документації уточнюється під час виконання роботи відповідно до розробленої схеми, друкованого вузла та вимог кафедри.

ДАІ 2.899.001 Е1



1 – Виносний термоперетворювач опору Cu1000
2 – Аналоговий вимірювальний вузол
3 – Аналого–цифровий перетворювач
4 – Логічний вузол
5 – Буферний вузол індикації
6 – Цифрова індикація
7 – Вузол живлення +5 В

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДАІ 2.899.001 Е1			
Розроб.		Дутка А.І.			Високоточний цифровий термометр Схема електрична структурна	Літ.	Вага	Масштаб
Перевір.		Химич Г.П.						
Реценз.						Арк	Аркушів 1	
Н.контр.		Хвостівська Л.В.				ТНТУ ім. І.Пулюя група РАс–41		
Затверд.		Дунець В.Л.						

Копіював Формат А3

Первинне застосування

Довідковий №

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № орг.

ДАІ 2.899.001 Е3

Первинне застосування

Довідковий №

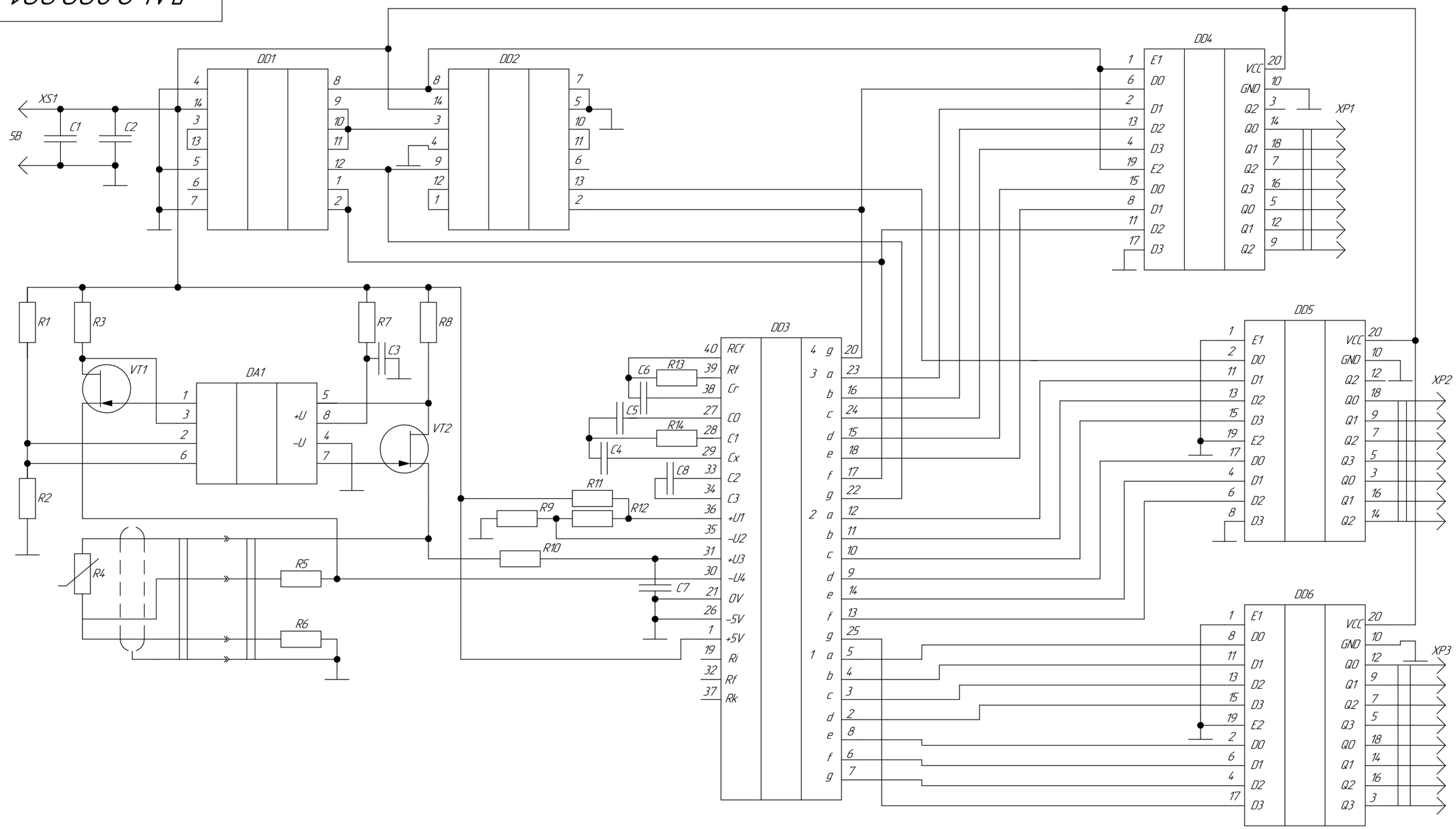
Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № орг.



Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДАІ 2.899.001 Е3
Розроб.		Дутка А.І.			Високоточний цифровий термометр Схема електрична принципова
Перевір.		Химич Г.П.			
Реценз.					
Н.контр.		Хвостівська Л.В.			
Затверд.		Дунець В.Л.			

Літ.	Вага	Масштаб
Арк	Аркушів 1	
ТНТУ ім. І. Пулюя м. Тернопіль РАс-41		

Копіював

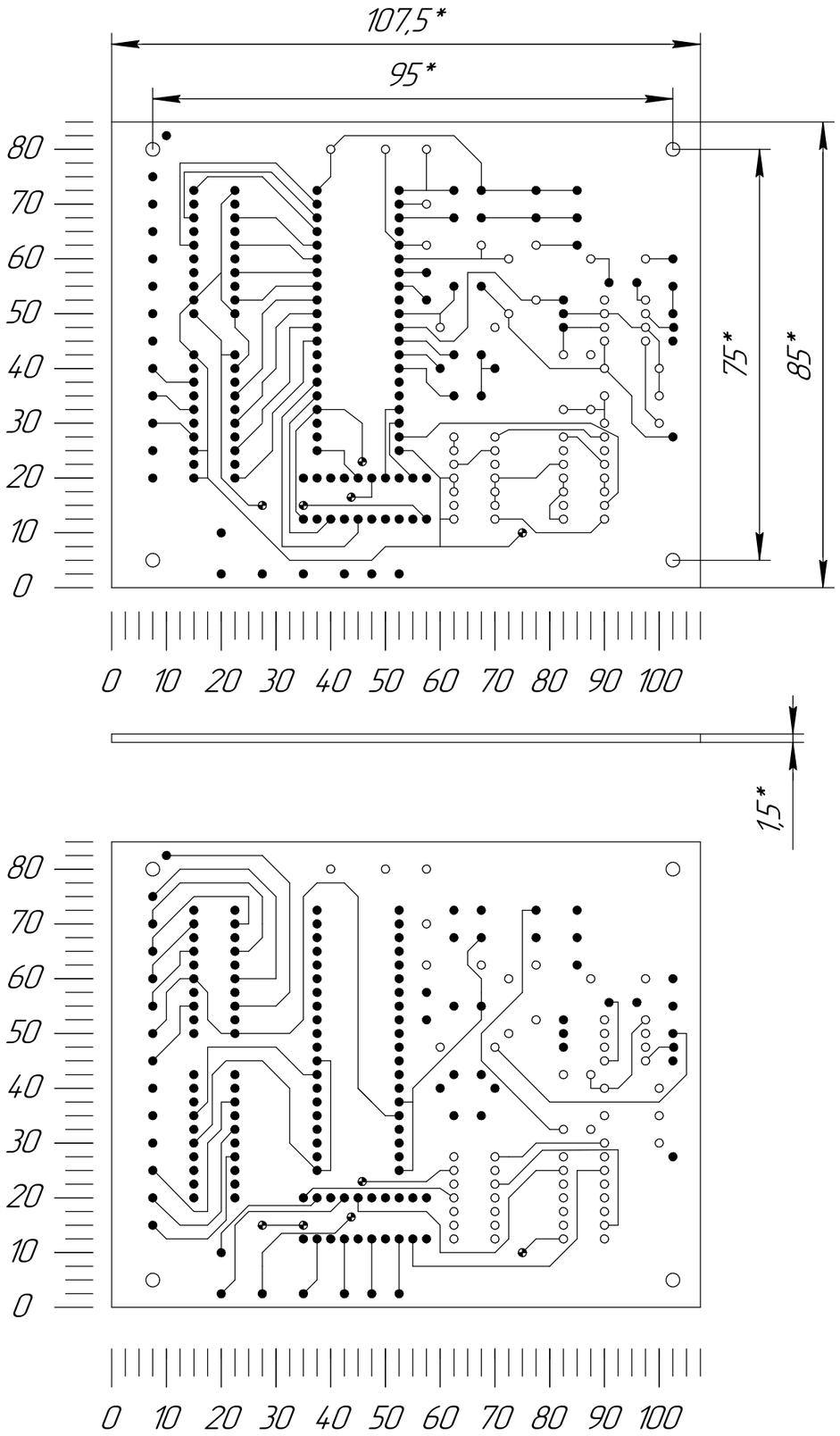
Формат А3

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1	ECAP-6.3V-1000uF ±20% "Nichicon"	1	
C2,C3	CCK-100nF ±20% "Kemet"	2	
C4	CCK-91pF ±10% "Kemet"	1	
C5	CCK-150nF ±10% "Kemet"	1	
C6	CCK-100nF ±20% "Kemet"	1	
C7	CCK-330nF ±10% "Kemet"t"	1	
C8	CCK-100nF ±20% "Kemet"	1	
	Мікросхеми		
DA1	LM358N "Texas Instruments"	1	
DD1	SN74ALS00AN "Texas Instruments"	1	
DD2	SN74ALS02AN "Texas Instruments"	1	
DD3	ICL7107CPLZ "Renesas"	1	
DD4-DD6	SN74ALS244CN "Texas Instruments"	3	
	Резистори		
R1	RES-0.125W-1.3kOm ±1% "Bourns"	1	
R2	RES-0.125W-3kOm ±1% "Bourns"	1	
R3	RES-0.125W-4900m ±1% "Bourns"	1	
R4	Cu1000 RTD "TE Connectivity"	1	
R5	RES-0.125W-3600m ±1% "Bourns"	1	
R6	RES-0.125W-1800m ±1% "Bourns"	1	
R7	RES-0.125W-24kOm ±1% "Bourns"	1	
R8	RES-0.125W-4900m ±1% "Bourns"	1	
R9	RES-0.125W-1MOm ±1% "Bourns"	1	
R10	RES-0.125W-2.2kOm ±1% "Bourns"	1	

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДАІ 2.899.001 ПЕ		
Розроб.		Дутка А.І.			Перелік елементів	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 1
Перевір.		Химич Г.П.					
Реценз.						ТНТУ ім. І. Пулюя РАс-41	
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.					
Затверд.		Дунець В.Л.					

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітка
R11	RES-0.125W-2.2kOm ±1% "Bourns"	1	
R12	RES-0.125W-100kOm ±1% "Bourns"	1	
R13	RES-0.125W-240kOm ±1% "Bourns"	1	
R14	RES-0.125W-490Om ±1% "Bourns"	1	
	Транзистори		
VT1,VT2	2N5457 "Diode Semiconductor Korea"	1	
	Роз'єми		
XS1	KF301-2P	1	
XP1-XP3	KF301-7P	3	

ДАІ 7.103.001



Таблиця овторів

Позначення отвору	Діаметру отвору	Діаметр конт. площадки	Наявність металізації	Кількість отворів
◒	0,7	1,5	з метал.	5
○	0,9	1,8	з метал.	64
●	1,2	2,8	з метал.	147

1 *Розмір для довідок.
2. Плата повинна відповідати вимогам ДСТУ EN 61188-1-1:2022 та ДСТУ EN IEC 61191-1:2022; плата двостороння жорстка, клас точності 3, крок координатної сітки 2,5 мм.
3. Плату виконати комбінованим позитивним способом.
4. Конфігурація друкованих провідників згідно з кресленням.
5. Параметри отворів див. таблицю 1.
6. Таврувати штамп ВТК, маркувати заводський номер фарбою маркувальною епоксидною чорною МКЕЧ, шрифт 2,5-Пр3 згідно з ДСТУ ISO 3098-1:2007.

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДАІ 7.103.001			
Розроб.		Дутка А.І.			Друкована плата	Літ.	Вага	Масштаб
Перевір.		Химич Г.П.						1:1
Реценз.						Арк	Аркушів	1
Н.контр.		Хвостівська Л.В.			СФ1-35-15	ТНТУ ім. І. Пулюя РАс-41		
Затверд.		Дунець В.Л.						

Копіював

Формат А3

Первинне застосування

Довідковий №

Підп. і дата

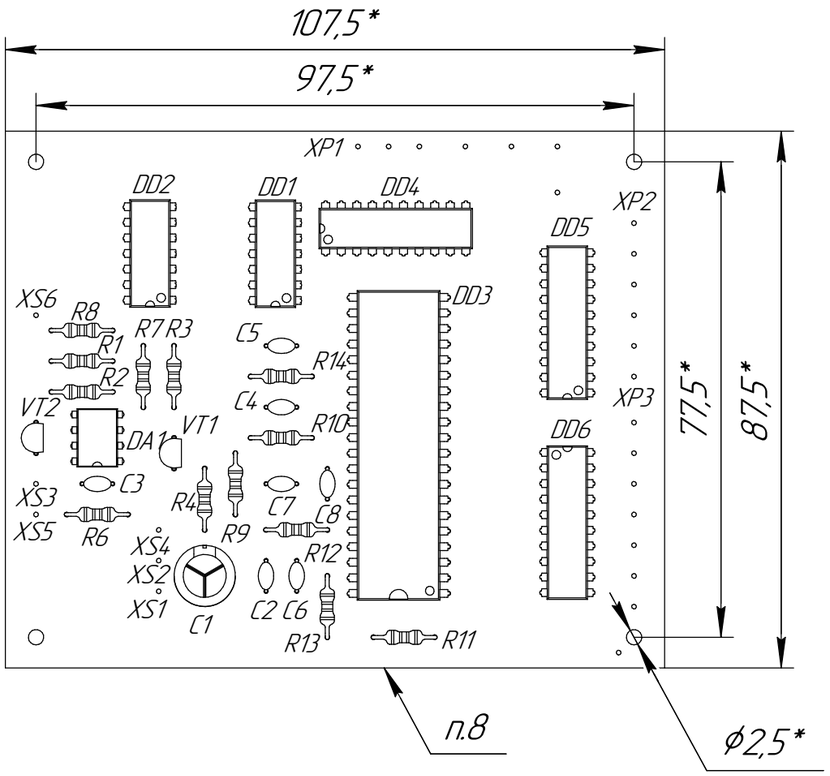
Інв. № дубл.

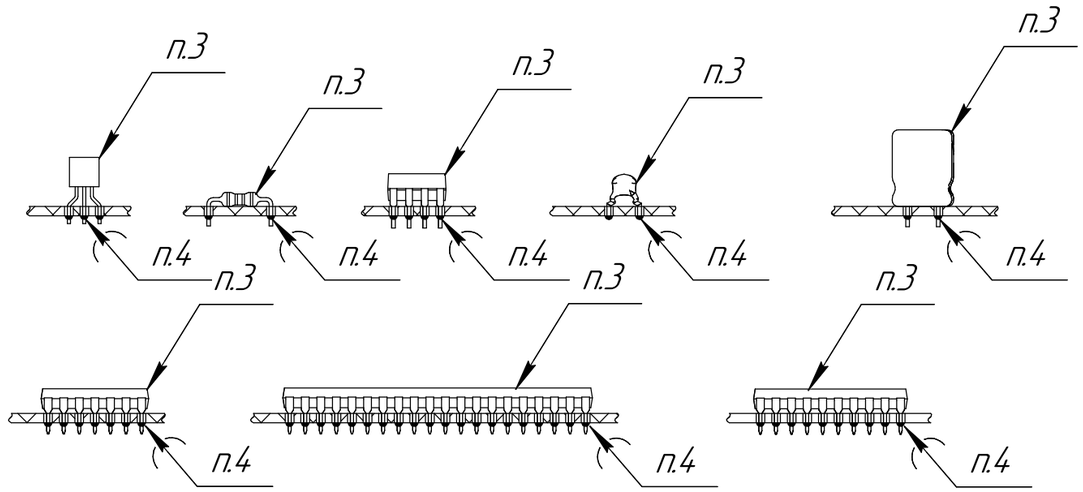
Зам. інв. №

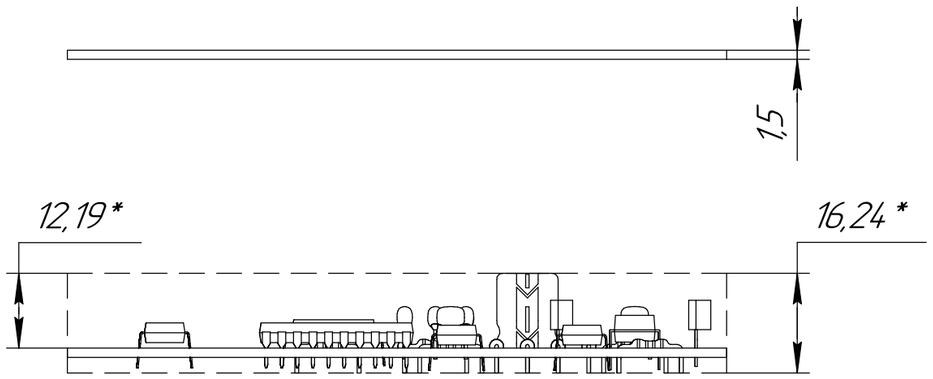
Підп. і дата

Інв. № орг.

ДАІ 2.899.001 СК







1. *Розмір для довідок.
2. Підготовку до монтажу виконати згідно з вимогами ДСТУ EN IEC 61191-1:2022.
3. Встановлення елементів на друкований вузол виконати згідно з ДСТУ EN IEC 61191-1:2022 та кресленням складального вузла. Роз'єми встановити відповідно до варіантів, зображених на кресленні.
4. Паяння елементів виконати згідно з ДСТУ EN IEC 61191-1:2022. Паяльні матеріали застосовувати згідно з ДСТУ EN 61190-1-1:2022
5. Різьбові з'єднання стопорити емаллю або фіксатором різьби
6. Друкований вузол покрити захисним лаком для електронних вузлів згідно з технічною документацією виробника або вимогами IPC-CC-830.
7. Позначення елементів схеми показані умовно.

					ДАІ 2.899.001 СК		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Друкований вузол високоточного цифрового термометра. Складальне креслення	Літ.	Вага 0,04 / Масштаб 1:1
Розроб.		Дутка А.І.				Арк	Аркушів 1
Перевір.		Химич Г.П.				ТНТУ ім. І. Пулюя група РАс-41	
Реценз.							
Н.контр.		Хвостівська Л.В.					
Затверд.		Дунець В.Л.					

Копіював

Формат А3

Первинне застосування

Довідковий №

Підп. і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № орг.

Форм.		поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				Документація		
А3			ДАІ 2.899.001 Е3	Схема електрична принципова	1	
А4			ДАІ 2.899.001 ПЕ	Перелік елементів	2	
А3			ДАІ 2.899.001 СК	Вузол друкований	1	
				Деталі		
А3		4	ДАІ 2.899.001 СК	Плата друкована	1	
				Інші вироби		
				Конденсатори		
		5		CCK-91pF ±20% "Kemet"	2	C2,C3
		6		CCK-100nF ±20% "Kemet"	3	C4,C6,C8
		7		CCK-150nF ±20% "Kemet"	1	C5
		8		CCK-330nF ±20% "Kemet"	1	C7
		9		ECAP-6.3V-1000uF ±20% "Nichicon"	1	C1
				Мікросхеми		
		10		LM358N "Texas Instruments"	1	DA1
		11		SN74ALS00AN "Texas Instrumenst"	1	DD1
		12		SN74ALS02AN "Texas Instrumenst"	1	DD2
		13		ICL 7107CPLZ "Renesas"	1	DD3
		14		SN74ALS244CN "Texas Instrumenst"	3	DD4-DD6
				Резистори		
		15		RES-0.125W-1800m ±1% "Bourns"	1	R1

					ДАІ 2.899.001		
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Дутка А.І.			Високоточний цифровий термометр Специфікація	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 2
Перевір.		Химич Г.П.					
Реценз.						ТНТУ ім. І. Пулюя РАс-41	
Н.контр.		Хвостівська Л.В.					
Затверд.		Дцнець В.Л.					

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітки
		16		RES-0.125W-3600m ±1% "Bourns"	1	R5
		17		RES-0.125W-4900m ±1% "Bourns"	3	R8,R10,R14
		18		RES-0.125W-1.3kOm ±1% "Bourns"	1	R6
		19		RES-0.125W-2.2kOm ±1% "Bourns"	2	R7.R11
		20		RES-0.125W-3kOm ±1% "Bourns"	1	R2
		21		RES-0.125W-24kOm ±1% "Bourns"	1	R3
		22		RES-0.125W-100kOm ±1% "Bourns"	1	R12
		23		RES-0.125W-240kOm ±1% "Bourns"	1	R13
		24		RES-0.125W-1MOm ±1% "Bourns"	1	R9
		25		Cu1000 RTD "TE Connectivity"	1	R4
				Транзистори		
		26		2N5457 "Diode Semiconductor Korea"	2	VT1,VT2