

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська дипломна робота на тему:

«Пристрій дистанційного контролю температури»

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-206
спеціальності 152 – «Метрологія та інформа-
ційно-вимірвальна техніка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пашко В. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., асист. каф. ІРТС

Семенова О.О.
(прізвище та ініціали)

«14» 08 2024 р.

Рецензент: д.т.н., доц., професор каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.
(прізвище та ініціали)

«14» 08 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н. проф. Осадчук О.В.
(прізвище та ініціали)

«14» 08 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет Інформаційних електронних систем
 Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування
 Спеціальність – 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
 Освітньо-професійна програма – «Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

15 березня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пашку Владиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Пристрій дистанційного контролю температури
 керівник роботи к.т.н., доц., асист. кафедри ІРТС Семенова О.О.

затверджені наказом вищого навчального закладу від "11"03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 13 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення – 5 В; струм споживання (максимальний) – 100 мА; клас точності друкованої плати - 3-й; кількість шарів друкованої плати – 2; ширина та довжина плати не більше 100 × 160 мм.

4. Зміст текстової частини: Вступ, Технічне обґрунтування доцільності розробки, Розробка конструкції друкованої плати пристрою дистанційного контролю температури, Розрахунок параметрів друкованої плати, Висновки, Список використаних джерел, Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема електрична структурна. Схема електрична принципова. Складальне креслення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., доц., асист. каф. ІРТС Семенова О.О.		

7. Дата видачі завдання 18.03. 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-23.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	20.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз шляхів вирішення поставленої задачі.	01.04.2024-15.05.2024	
5.	Математичне моделювання. Розробка структурної схеми.	16.05.2024-20.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	21.05.2024-28.05.2024	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	28.05.2024-06.06.2024	
8.	Нормоконтроль	07.06.2024-09.06.2024	
9.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	10.06.2024-14.06.2024	
10.	Захист БДР ЕК	18.06.2024	

Студент


(підпис)

Пашко В.С.

Керівник роботи


(підпис)

Семенова О.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 681.121.4

Пашко В. С. Пристрій дистанційного контролю температури. Бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 71 с. На українській мові. Бібліогр.: 15 . назв; Рис.: 20.

У бакалаврській дипломній роботі розробляється пристрій для дистанційного контролю температури. Проаналізовано поточний рівень технологій у цій галузі, обрано метод конструювання, розраховано механічну міцність друкованої плати, надійність пристрою та інші конструкторські параметри. Описано, як працює розроблений пристрій і його недоліки та переваги.

Ключові слова: температура, контроль, вимірювач.

ABSTRACT

Pashko S.S. Device for remote temperature control. Bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 71 p. In Ukrainian language. Bibliography: 15 titles; Fig.: 20.

A device for remote temperature control is developed in the bachelor diploma thesis. The current level of technology in this field was analyzed, the design method was chosen, the mechanical strength of the printed circuit board, device reliability and other design parameters were calculated. It describes how the developed device works and its disadvantages and advantages.

Keywords: temperature, control, meter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ.....	10
1.1 Аналіз попередніх досліджень	10
1.2 Дистанційний контроль температури із відображенням на відеореєстраторі	13
1.3 Система розподіленого контролю температури на базі PSOC	14
1.4 Схема контролю параметрів довкілля	16
1.5 Вимірювання та контроль температури в мережі MicroLAN.....	18
1.6 Висновки до розділу.....	27
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ	28
2.1 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації пристрою дистанційного контролю температури з відображенням на відеореєстраторі	28
2.2 Аналіз схеми електричної принципової	30
2.3 Аналіз елементної бази	38
2.4 Технологія виготовлення друкованих плат	40
2.5 Морфологічний аналіз.....	43
2.6 Розрахунок діаметрів контактних площадок.....	45
2.7 Розрахунок ширини друкованих провідників.....	8
2.8 Висновки до розділу.....	49
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	50
3.1 Розрахунок електромагнітної сумісності елементів друкованої плати...	50
3.2 Розрахунок механічної міцності друкованої плати.....	52
3.3 Розрахунок на дію удару.....	56
3.4 Розрахунок надійності за раптовими відмовами.....	59
3.5 Висновки до розділу.....	61
ВИСНОВКИ.....	62

	6
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	65
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) дипломної роботи.....	70

ВСТУП

Зростаючі вимоги до якості навколишнього середовища вимагають розроблення ефективних методів і засобів вимірювання фізичних величин, що характеризують екологічну безпеку. У цьому випадку найважливішою фізичною величиною є температура. Вчасне виявлення температурних аномалій на поверхнях різного обладнання в секторах енергетики, промисловості, виробництва та машинобудування може запобігти значним аваріям, які можуть призвести до забруднення навколишнього середовища. Своєчасне вимірювання температури будь-якого компонента системи є життєво важливим для того, щоб вжити заходів у випадках перевищення температури над нормою [1, 2]. Дистанційне вимірювання температури поверхонь є важливим інструментом у боротьбі за екологічну безпеку і не може бути замінено нічим іншим.

В даний час випускаються системи автоматизованого контролю температури, які базуються на цифрових датчиках. Дані системи щодо точності вимірювання температури відповідають вимогам технагляду. Застосування систем на основі цифрових температурних датчиків має багато переваг:

- Зниження витрат на кабельну продукцію в кілька разів
- Забезпечується стабільність метрологічних характеристик системи.
- Інтелектуальні датчики покращують точність контролю температури в 3-5 разів порівняно з аналоговими системами. Крім того, вони абсолютно незалежні від зміни опору проводів і перехідного опору контактів. Порівняно, похибка на 1 °C збільшується, коли змінюється опір лінії в старих системах на 0,25 Ом.
- Значно скорочуються витрати на пусконаладження та експлуатацію за відчутним підвищенням надійності системи

Контроль температури є важливою промисловою частиною, яка використовується в багатьох галузях народного господарства. В енергетиці необхідно контролювати температури обертових і вібруючих механізмів (підшипників, валів, турбін і т. д.). Існують критичні точки, пов'язані з порушеннями експлуа-

тації різних електроустаткування та електроустаткування, включаючи мотори, двигуни, компресори, трансформатори та генератори. У сільському господарстві необхідно відстежувати температуру ґрунту на різних глибинах, контролювати якість матеріалу при штучному заплідненні, зберігати та транспортувати насіння, спостерігати за температурними режимами теплиць, оранжерей, зернохосовищ, елеваторів і так далі. У комунальному господарстві спостереження за об'єктами теплопостачання та контролю системи опалювання будівель, мікроклімату в житлових приміщеннях і так далі є життєво важливими.

Створення вимірювальної системи необхідно для вирішення перерахованих вище завдань. Ця система повинна забезпечувати якісний збір, оброблення та передавання на верхній рівень керування інформації про температурні режими. Таким чином, витрати на супроводження та реалізацію таких систем повинні бути мінімальними. Сучасні засоби дозволяють досягти цього. Так, датчики температури з однопроводним інтерфейсом є оптимальними.

Аналіз попередніх досліджень. На сьогоднішній день доступний широкий вибір систем контролю температури. Вони включають системи таких компаній, як Siemens, Mitsubishi, EVAS та інші. Таким чином, можна провести аналіз кількох систем регулювання температури.

Об'єктом дослідження є пристрій дистанційного контролю температури.

Предметом дослідження є процес побудови пристрою дистанційного контролю температури.

Метою бакалаврської дипломної роботи є розробка пристрою дистанційного контролю температури. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічний розвиток і галузь до якої відноситься розроблюваний пристрій;
- провести порівняльну характеристику пристрою з існуючими пристроями-аналогами, проаналізувати на переваги та недоліки;
- обґрунтувати електричну принципову схему пристрою;

- виконати аналіз технічних вимог до конструкції розроблюваного пристрою;
- виконати компонування елементів друкованої плати, а також трасування з'єднань;
- виконати розрахунки для друкованої плати, розрахунки електромагнітної сумісності пристрою, а також розрахунки механічної міцності друкованої плати та надійності.

Наукова новизна одержаних результатів

Проведено аналіз публікацій, присвячених теоретичним розробленням і експериментальним дослідженням пристроїв вимірювання та контролю температури.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблено пристрій дистанційного контролю температури.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати бакалаврської дипломної роботи отримані автором практично самостійно в науковій школі д.т.н., проф. Осадчука О.В.

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська дипломна робота складається зі вступу, 3 розділи, висновків, додатків та списку використаних джерел.

1 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ

1.1 Аналіз попередніх досліджень

На даний момент доступні різноманітні системи контролю температури. Вони включають системи таких компаній, як Siemens, EVAS, Mitsubishi, та інші. Таким чином, можна провести аналіз кількох систем регулювання температури.

УТК 38-В - це система контролю температури, яка може контролювати температуру в восьми зонах одночасно. Це система, яка використовує термоперетворювачі Pt 100, які коштують від 500 до 600 грн. Адаптер мережі ОВЕН АС2 дозволяє зв'язуватися з електронною системою за допомогою інтерфейсу RS 232. З'єднання не повинні бути довше десяти метрів.

ДМТ2-1 має можливість включати до 16 вимірювальних точок температури. В контрольованому середовищі температура може коливатись від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ із похибкою $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Датчики цього типу живляться постійною напругою $+12\text{ В}$ із струмом не більше 40 мА . ЕОМ і блок спряження з датчиками БСД-1 обробляють дані. Комплекс включає програмне забезпечення виробника.

Структура системи розподіленого контролю температури представлена на рис. 1.1, і вона складається з МК, датчиків температури, автономних датчиків температури, РК-індикатора та ІБВ-адаптера ББ9490Я, що працює по першій мережі та забезпечує зв'язок з комп'ютером.

МК здійснює опитування мережі 1-Wire, що складається з датчиків температури, а потім використовує номер кожного датчика для визначення кількості. РК-індикатор відстежує температурні дані та паралельно записує їх у блок пам'яті для аналізу. Самодіагностика системи розподіленого контролю температури може розпочатися після підключення комплексу датчиків до спряженого пристрою, котрий базується на мікроконтролері Microchip. Самодіагностика — це набір правил, що дозволяють виявити несправність (наприклад, розрив лінії, вихід з ладу датчика та ін.) по всій мережі 1-Wire і передавати їх на РК-

індикатор. Адаптер DS9490R підключається до комп'ютера через USB-порт паралельно з МК.

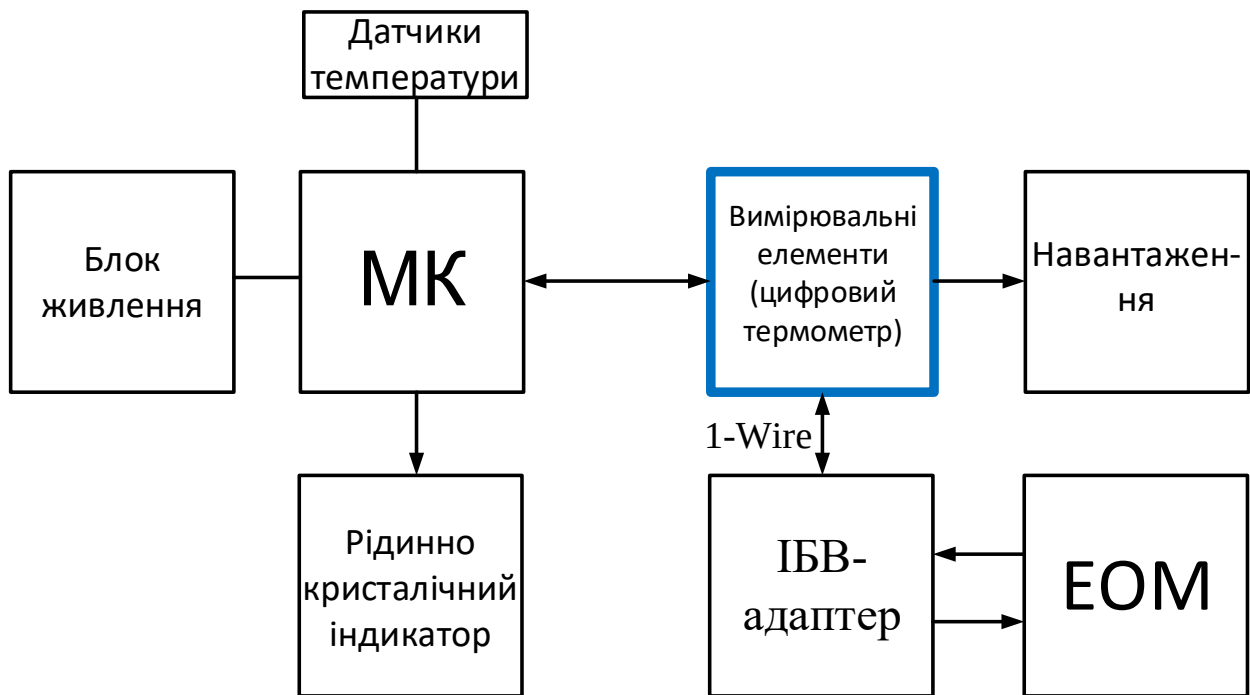


Рисунок 1.1 – Схема електрична структурна комплексу

Програма, розроблена в програмному середовищі LabVIEW 8.X, дозволяє відстежувати температурні зміни в реальному часі на лицевій панелі та зберігати їх у буфері пам'яті.

Вимірювальні елементи вибрані датчики DS1820 фірми Dallas Semiconductor, які мають 1-Wire інтерфейс. Мережа 1-Wire не обмежується попередньою структурою. Вона нагадує шинну структуру в невеликих конфігураціях, де всі прилади підключені на одну магістраль. Структура мережі може стати деревовидною, коли вона складніша. Окремі гілки можуть йти від загальної магістралі і далі розділятися. За допомогою ключів, що адресуються, кожна гілка може підключатися до мережі чи відключатися від неї. DS1820 — цифровий термометр з інтерфейсом MICRO-LAN [5], який має діапазон температур від -55°C до 125°C . В діапазоні контрольованих температур від 0 до $+70^{\circ}\text{C}$ абсолютна похибка перетворення менше $0,5^{\circ}\text{C}$.

Прилад читає значення температури як дев'ятирозрядне слово. DS1820 має максимальний час повного перетворення ~ 500 мс. Конструкція інтерфейсу 1-Wire приладу дозволяє теоретично адресувати необмежену кількість схожих пристроїв на одній лінії. Термометр має груповий код 010H і має свій індивідуальний 64-розрядний реєстраційний номер. Він може працювати без зовнішнього джерела живлення, лише за допомогою паразитного живлення однопровідної лінії. Напруга від 3,0 В до 5,5 В подається на прилад через окремий зовнішній вивід.

На рис. 1.2 показано алгоритм роботи з помилками верхнього рівня. Він використовує метод пошуку пристроїв по двійковому дереву, де кожна гілка переходить до того, поки не буде знайдено ідентифікатор ПЗП приладу. Поки не буде знайдено все листя, тобто прилади, інші гілки продовжують шукати.

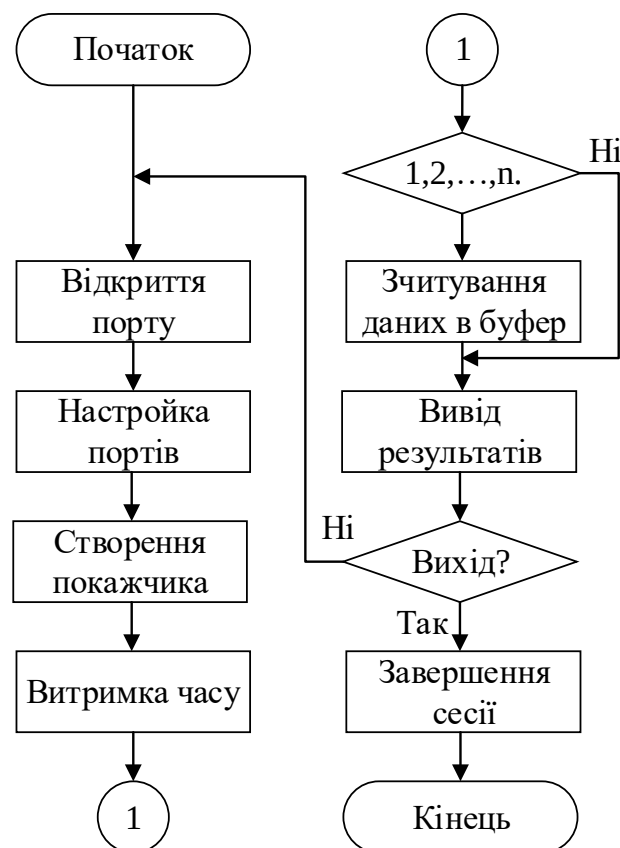


Рисунок 1.2 - Алгоритм програми

Розроблена програма дозволяє:

- вимірювати температуру дистанційно в декількох точках в діапазоні - $55...+125$ °C з точністю ± 0.0625 °C;

- визначати автоматично кількість та тип підключених температурних датчиків;
- сигналізувати при виході контрольованої температури за один з порогів по кожному датчику і відзначаючи "червоним" ті температури, котрі перевищують задану норму;
- вести журнал так званого температурного моніторингу, реєструючи при цьому відхилення від заданого користувачем температурного коридору, а також формуючи звіти, записані в текстові файли;
- виводити показники вказаних датчиків температури в реальному часі у вигляді цифрових значень та графіків на екрані комп'ютера.

1.2 Дистанційний контроль температури із відображенням на відеореєстраторі

Цей комплект складається з термометром, який вимірює температуру в трьох різних точках приміщення, що контролюється, і пристроєм відображення та сигналізації, який підключений до відеореєстратора чи звичайного телевізора в іншому приміщенні. Кожен датчик генерує світлові та звукові сигнали, коли температура виходить за межі дозволених норм. Крім того, на екран відеореєстратора постійно або за бажанням оператора виводиться візуальна інформація про поточні значення температури.

Розглянута система була розроблена з метою дистанційного контролю температури в приміщенні сервера, де розташовані комп'ютери та комунікаційне обладнання. Там є два кондиціонери для підтримки необхідної температури. Пристрій вимірювання температури (ПВТ) із вбудованим датчиком розташований поруч із шафою з обладнанням, але зовні від потоків повітря з кондиціонерів. Цих потоків також є два виносні датчики температури.

Передбачена можливість підключення ПВТ до СОМ-порту одного з комп'ютерів, що обслуговується в локальній мережі. Це дозволяє відстежувати температуру з будь-якого комп'ютера мережі, якщо є відповідні права доступу.

Тим не менш, комплект дозволяє відстежувати та записувати змінені температури без використання локальної мережі.

Пост охорони, обладнаний відеореєстратором, який отримує сигнал з камер спостереження зображень у тому ж приміщенні, що й серверне приміщення. Один із каналів відеореєстратора вільний. Прокладений між серверним приміщенням і постом звичайний UTP-кабель з розетками RJ-45 на обох кінцях.

Стандартними патч кордами ці розетки підключаються до ПВТ з однієї сторони, а пристрій сигналізації та відображення на посту з іншої (ПСВ). У цьому випадку лише одна з чотирьох витих пар проводів кабелю виконує цю функцію. Сигнал подається на вільний вхід відеореєстратора з відеовиходу ПСВ.

У відеореєстратора, який використовується, чотири входи, його екран поділено на чотири прямокутних сегмента. Три значення температури, отримані датчиками, — дата, час і температура — виводяться в одному з цих сегментів. На екрані відображається знак оклику, якщо його рівень перевищує допустимі норми. Крім того, ПСВ подає звуковий сигнал протягом приблизно семи секунд, а діод, відповідальний за цей датчик, блимає на нього світлом. Черговий, що був привернутий за сигналізацією, повинен діяти.

ПВТ можна встановити в теплиці в побутових умовах (наприклад, на дачі), а ПСВ можна встановити поруч з телевізором і з'єднати з входом «Відео». Переключаючи телевізор на цей вхід періодично чи за допомогою тривожного сигналу, можна переглядати інформацію про температуру в теплиці на його екрані.

1.3 Система розподіленого контролю температури на базі PSOC

Сьогодні мікропроцесорні сенсорні системи, які є частиною інформаційно-комунікаційних технологій, є важливою частиною розвитку людського суспільства [1]. Сенсорні системи все більш і більш використовуються, і тоді як

раніше людство залежало від природних зовнішніх впливів, тепер неможливо уявити собі життя без сенсорів (чи давачів). За своїми основними функціональними призначеннями сенсори включають датчики температури, тиску, вологості, іонізуючої радіації та газових забруднень атмосфери. Це далеко не повний список. Особлива роль у цьому переліку належить таким пристроям як давачі температури та вологості, так як моніторинг і контроль цих параметрів стану навколишнього середовища є важливим економічним завданням, цінність якого важко переоцінити [2]. На підприємствах харчової та легкої промисловості, сільському господарстві, нафто- та газопроводах тощо ці давачі використовуються в автоматизованих системах контролю і регулювання вологості та температури. Вони надзвичайно корисні в медицині, системах забезпечення життєдіяльності в гірничодобувній промисловості, автомобільній метеорології та інших сферах. Вони досить поширені в багатьох засобах побутової техніки, і їх використання постійно зростає.

Не дивно, що багато досліджень, опублікованих експертами найвідоміших електронних компаній у світі, таких як TEXAS INSTRUMENTS, Inc., MATSUSHITA ELECTRONIC INDUSTRIAL Co. та ін., присвячені питанням контролю параметрів довкілля. Японія та США [3] були країнами, де коливання температури і вологості досягають катастрофічних масштабів у тропічних і субтропічних кліматичних зонах. Останнім часом ця проблема також є актуальною для Європи. Це все наштовхує на ідею створення високотехнологічних та надійних мікропроцесорних систем моніторингу параметрів довкілля. Тим не менш, ефективна робота цих систем залежить від надзвичайно якісної основної інформації. Це вимагає розробки абсолютно нових мікроелектронних сенсорів, які базуються на сучасних функціональних наноматеріалах і мають нові фізичні ефекти, застосування сенсорних масивів і використання високочутливих, точних і стабільних каналів вимірювання.

Знамениті виробники по всьому світу, такі як E+E Electronic, Honeywell, Sensorsoft [4], зосередилися на розробці подібних сенсорних систем контролю температури, вологості, рівня шкідливих газів, тиску та освітлення. Основним

недоліком таких систем є те, що вони дуже дорогі. Розглянемо мікропроцесорну систему, яка контролює відносну вологість і температуру довкілля, яка використовує перепрограмовану систему на кристалі PSoC з застосуванням наноструктурованих товстоплівкових сенсорів.

1.4 Схема контролю параметрів довкілля

Апаратне забезпечення спеціалізованої системи для контролю температури та відносної вологості було розроблено на сучасній елементній базі з модульною організацією, що працює в режимі реального часу і дозволяє поповнювати базу даних про стан навколишнього середовища. Мікроконтролер CY8C29466-24PVXI фірми Cypress Semiconductor, який містить всі потрібні модулі та є перепрограмованою системою на кристалі, керує роботою всіх його вузлів [7]. Спеціалізована система може бути встановлена як у приміщенні, так і на відкритому повітрі, і вона може вимірювати, обробляти та передавати дані щодо відносної вологості та температури повітря [8].

На етапі розробки до цієї системи висувуються такі основні вимоги, як: модульність структури, що дозволяє під'єднувати нові давачі; функціонування у автоматичному режимі; одержання та попередні опрацювання вимірювальної інформації; передавання вимірювальних даних на комп'ютер в автоматичному режимі; приймання та виконання команд, які надходять з комп'ютера; створення та підтримання бази даних з автоматичним накопиченням нових ; відкритість архітектури як апаратного так і програмного забезпечення для нарощування апаратури і використання нових алгоритмів контролю.

Програмно-апаратний комплекс, призначений для контролю параметрів мікроклімату, складається з цифрових і аналогових компонентів, як показано на рис. 1.3. Аналогова частина містить наноструктуровані товстоплівкові давачі, які вимірюють відносну вологість і температуру, а також модулі узгодження рівнів сигналів.

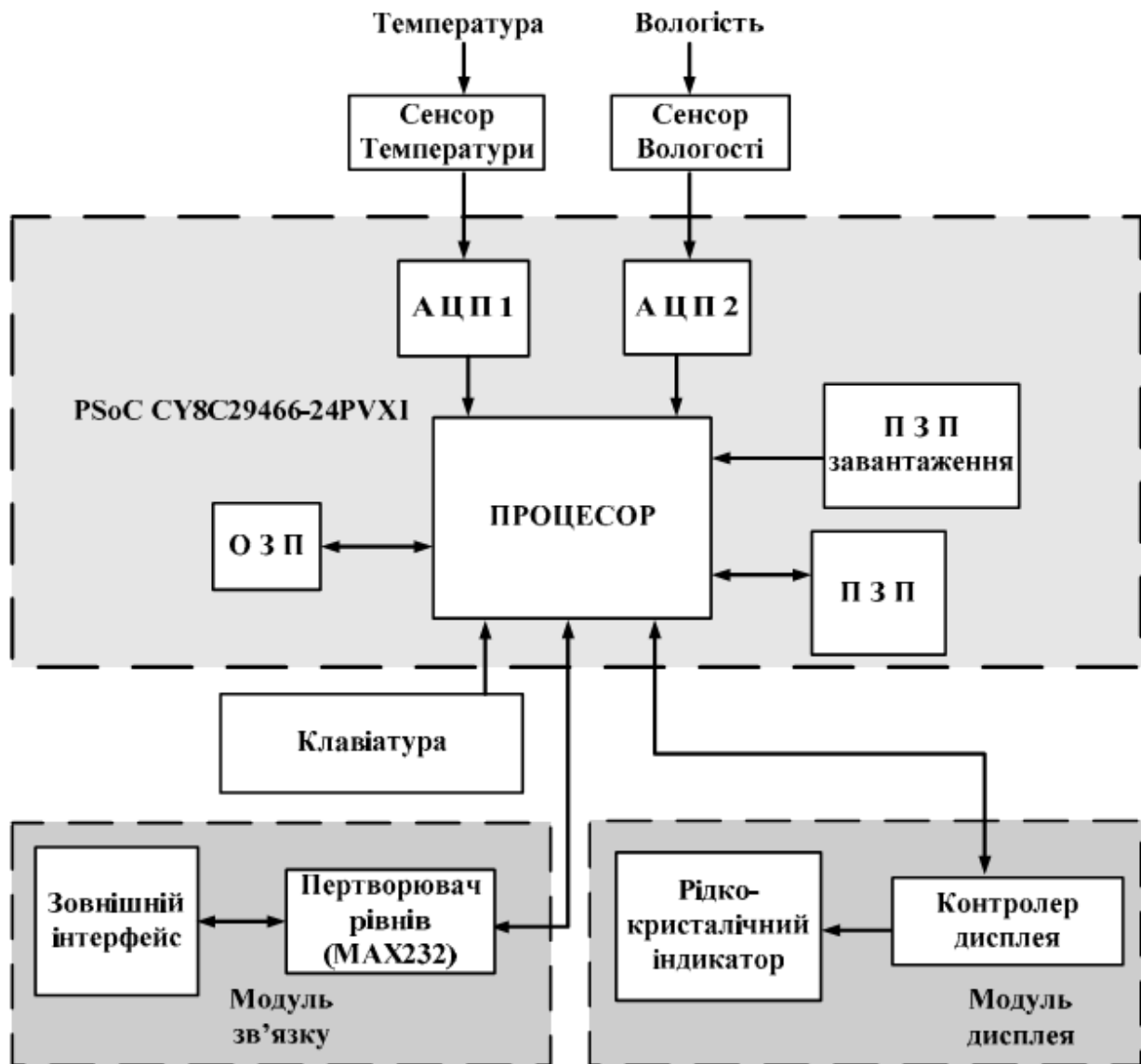


Рисунок 1.3 – Структурна схема системи для контролю кліматичних параметрів навколишнього середовища

Структура мікропроцесорної системи моніторингу довкілля складається з трьох рівнів побудови відповідно до її функціональних цілей. Сенсори температури та вологості розташовані на першому рівні. Реакція цих сенсорів на певні параметри генерує електричний сигнал, який потім перетворюється на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Схема ввімкнення гарантує, що рівень вихідних сигналів сенсорів узгоджується з діапазоном перетворення аналого-цифрового перетворювача.

Сам АЦП здійснює дискретизацію вхідні сигнали та передає їх на системну шину за запитом процесора. Крім АЦП, до системної шини під'єднано

процесор, постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), а також індикатор. Індикатор може використовуватися в побуті. Ці пристрої є типом мікропроцесорних систем, у яких програма роботи зберігається в ПЗП, процесор виконує цю програму, а дані зберігаються в ОЗП.

Збільшення або зменшення кількості сенсорів і варіабельність кількості модулів визначають багатофункцію запропонованої системи.

Для того, щоб забезпечити більш точні та лінійні покази, а також забезпечити номінальні показники (напруга/струм) до сенсорів відносної вологості та температури, були введені додаткові схеми увімкнення активних елементів, також відомі як подільники напруги [9]. Джерелом напруги від 8 до 24 вольт і струмом більше ніж 100 міліампер забезпечується живлення системи.

Рис. 1.4 демонструє схему електричної принципової системи контролю зовнішнього середовища. Мікроконтролер CY8C29466-24PVXI може виконувати вимірювання, обчислення, опрацювання та передавання даних за допомогою перетворювача рівнів MAX-232 через СОМ-порт. Крім того, можна використовувати LCD дисплей 2x16. Джерелом напруги від 8 до 24 вольт і струмом навантаження більше ніж 100 міліампер забезпечується живлення системи. За допомогою порту P0[3] та P0[5] сенсори передають дані, а вбудовані АЦП оцифровують дані. Перероблено мікрокнопки, які можна використовувати для змінування параметрів роботи і виведення інформації на екран.

1.5 Вимірювання та контроль температури в мережі MicroLAN

Типовим завданням є вимірювання температури розподілених об'єктів. Застосування низькошвидкісних мереж з відповідними датчиками є оптимальним методом. Розробка відповідних систем на основі однопровідної мережі MicroLAN компанії Dallas Semiconductor є доцільним. Серія цифрових термометрів і термостатів, виготовлених цією ж компанією, спочатку підготовлена до

роботи в однопровідній мережі, успішно виконує різноманітні завдання вимірювання та моніторингу температур у віддалених точках.

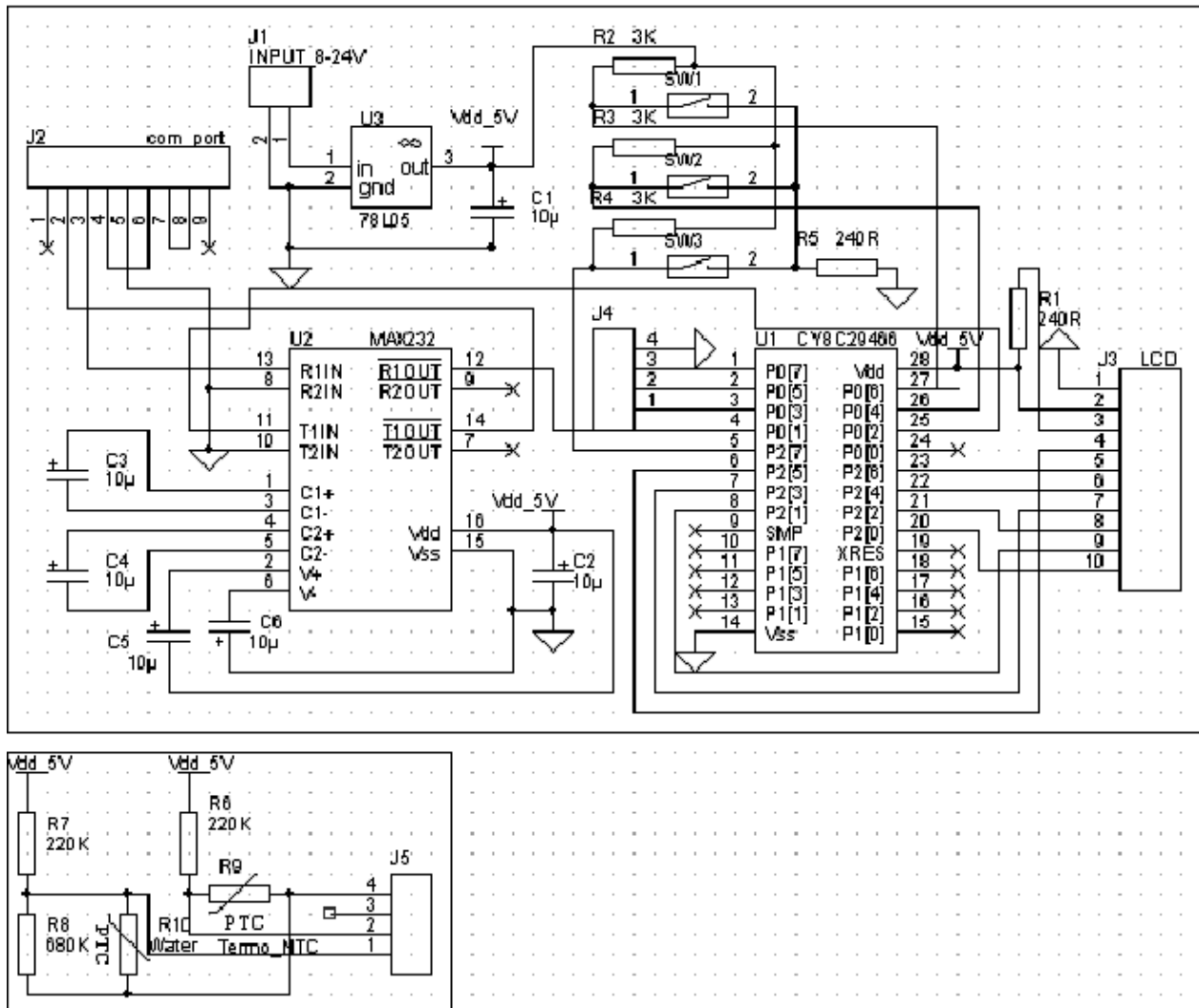


Рисунок 1.4 - Схема електрична принципова системи контролю параметрів навколишнього середовища

За допомогою мережі 9 розрядних цифрових термометрів базова мікросхема DS1820 функціонує. Температури можна виміряти в діапазоні від -55 до 125 градусів Цельсія з кроком 0,5 градуса. DS1820 складається з контролера MicroLAN, температурного датчика, ПЗУ з унікальним номером і двох регістрів для зберігання верхнього та нижнього порогів температури, як показано на рис. 1.5.

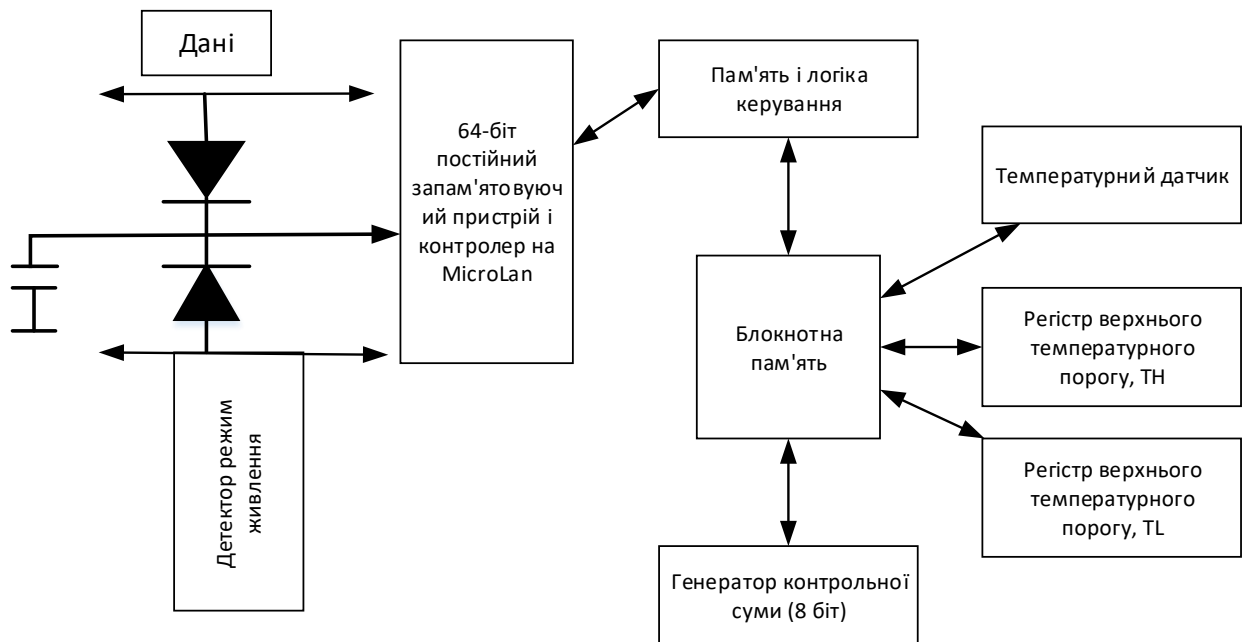


Рисунок 1.5 - DS1820 з ПЗП з унікальним ідентифікаційним номером, контролер MicroLAN , температурний датчик і два регістри для зберігання верхнього і нижнього порогів температури

Термометр працює за допомогою «паразитного» живлення від однопровідної шини, не маючи внутрішнього джерела. Тим не менш, мікросхема потребує більше 1 мА для вимірювання температури та запису даних у ЕППЗП. З іншого боку, за допомогою навантажувального резистора 1,5 - 5 кОм провідна шина може отримувати максимальний струм 3,3 - 1 мА.

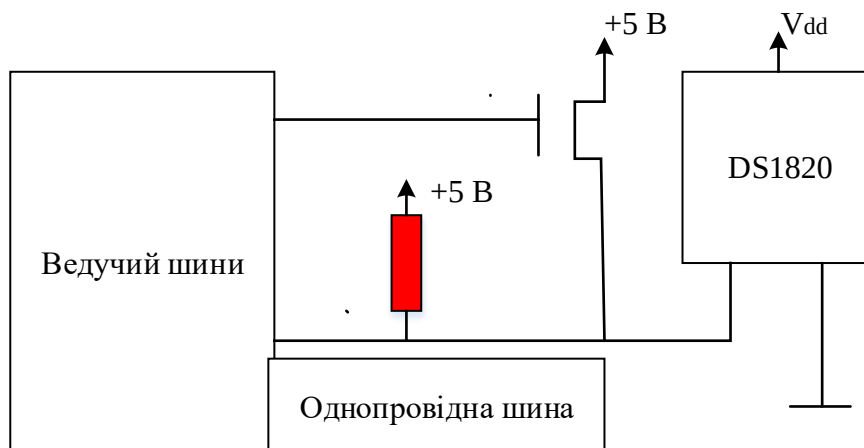


Рисунок 1.5 - Схема структурна термометра

Заміна навантажувального резистора на низькоомний відкритий ключ дозволяє уникнути протиріччя шляхом підключення зовнішнього джерела живлення або харчування по мережі. У цьому випадку низькоомний відкритий ключ подає +5 В на однопровідну шину під час перетворення температури та запису даних в ЕППЗП. Мікросхема містить детектор режиму харчування. Рис. 2 показує схему підключення DS1820.

Застосування зовнішнього джерела живлення пришвидшує перетворення температури, оскільки від провідної шини не вимагається очікувати протягом найбільшого можливого часу перетворення. У цьому випадку всі прилади DS1820 на шині можуть одночасно виконувати перетворення температури під час обміну даними шини MicroLAN.

Після завершення перетворення значення, отримане в результаті перетворення, порівнюється з значеннями, записаними в регістрах TH і TL. Прапор встановлюється, якщо температура виходить за встановлені межі. Це відбувається після кожного вимірювання. DS1840 відповідає на команду «Пошук сигналу», коли прапор встановлений. Це дозволяє швидко визначити місце, де відхилення температури перевищують дозволені межі, і відразу вважати показання відповідного термометра. Регістри TH і TL можна використовувати як регістри загального призначення, якщо команда «Пошук сигналу» не використовується.

Цифровий термометр підвищеної точності DS18B20 повністю програмно сумісний з DS1820 і має параметри, подібні до нього. Основна відмінність DS18B20 полягає в тому, що він має точність вимірювання температури $\pm 0,5$ °C у діапазоні від -10 до +85 °C. Крім того, у старшому байті регістра температури є біт знака, який вказує на те, що температура є додатною або від'ємною.

Цифровий термометр з програмованою роздільністю DS18B20 призначений для вимірювання температури та має зазначену точність коригування. Для цього у його складі є регістр конфігурації, котрий встановлює одне із значень роздільності: 0,5; 0,25; 0,125 чи 0,0625 °C (рис. 1.7).

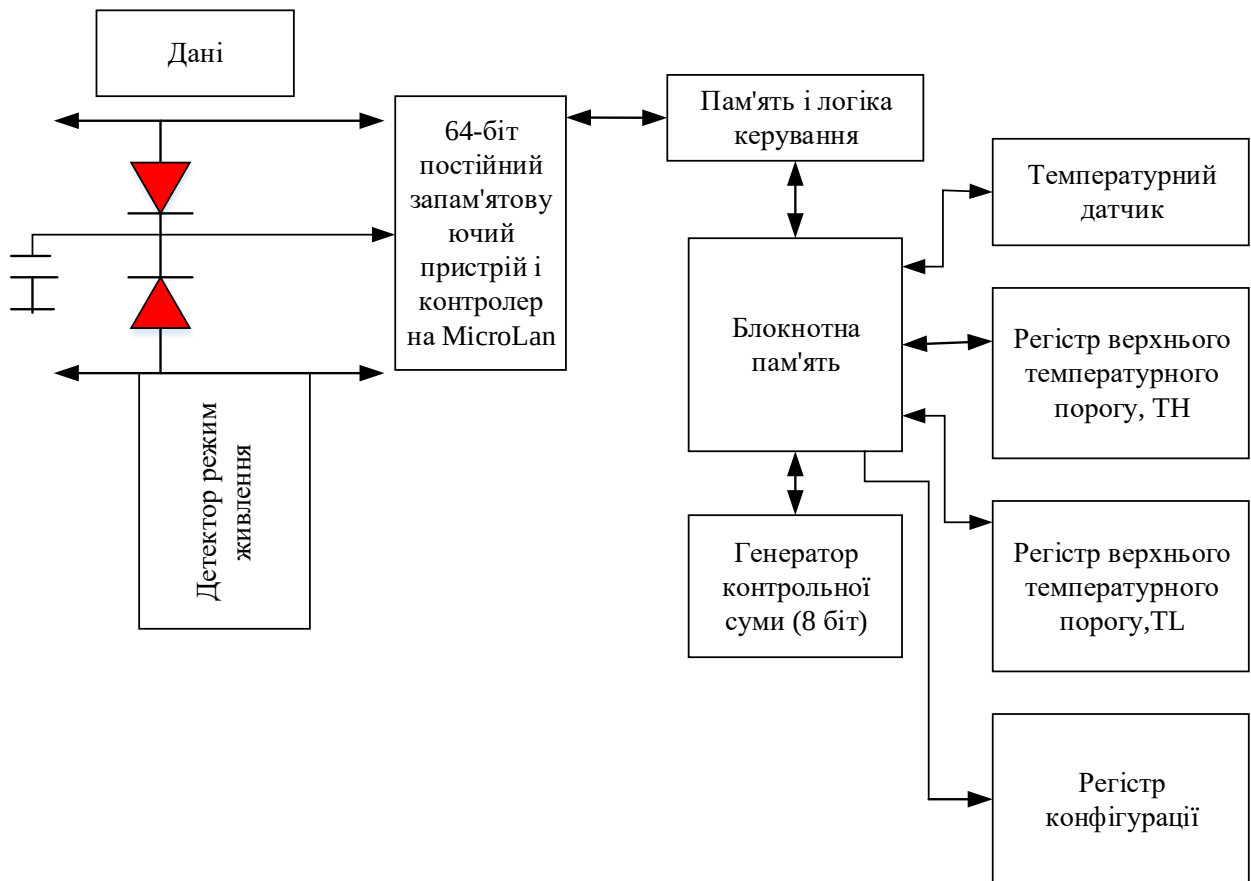


Рисунок 1.7 - Цифровий термометр з програмованою роздільністю DS18B20

У блокнотній пам'яті є регулятор конфігурації. У цьому регістрі зберігається інформація про дозвіл термодатчика. Рис. 1.8 показує, як організований регістр конфігурації

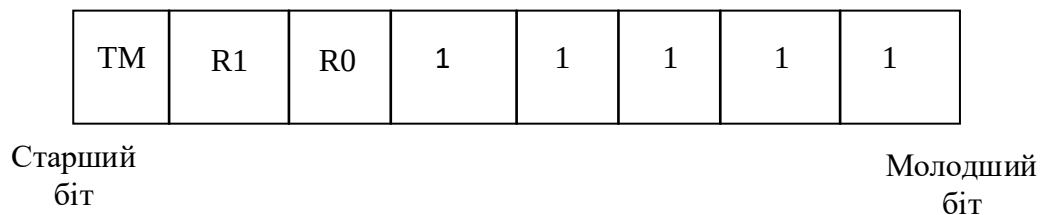


Рисунок 1.8 - Регістр конфігурації

Біт ТМ є бітом тестового режиму, який використовується для встановлення мікросхеми в робочий або тестовий режим. На заводі-виробнику він встановлюється в "0" (робочий режим) і не змінюється. Термометр має біти роздільності R0 і R1. Таблиця 1.1 показує співвідношення

установок цих бітів і дозволу термометра, а також залежність часу перетворення від рішення.

Таблиця 1.1 – Співвідношення бітів

1	0	Роздільність термометра, біт	Час перетворення, мс
0	0	9	93,75
0	1	10	187,5
1	0	11	375
1	1	12	750

Цифровий термометр DS1822 є повністю ідентичним DS18B20, за винятком точності вимірювання температури, яка становить $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ для DS18B20). Зниження точності вимірювання значно зменшує вартість мікросхеми. Це зниження складає майже чотири рази.

Програмований цифровий термостат DS1821 призначений для використання в термометрах, побутових приборах і системах регулювання температури на виробництві. Якщо температура в зоні вимірювання перевищує значення користувача, термостат видає сигнал високого рівня ("1"). Доки температура не досягне нижнього порога, встановленого користувачем, сигнал залишиться в стані «1». Нижні та верхні температурні пороги зберігаються в незалежній пам'яті.

Важливою характеристикою DS1821 є наявність одного виводу, який може використовуватися як для роботи в режимі термостата, так і для зв'язку з однопровідною лінією MicroLAN. Прилад поставляється в готовому стані для роботи в мережі MicroLAN. У цьому випадку висновок DQ налаштований як порт однопровідного зв'язку, як показано на рис. 1.9. Дані записуються в регістри верхнього та нижнього температурних порогів ведучої шини, які можуть бути виконані мікроконтролером або персональним комп'ютером. Це визначає діапазон температур, який пристрій може вимірювати. У цьому ж режимі мік-

роконтролер здатен безпосередньо переглядати останнє вимірювання температури.

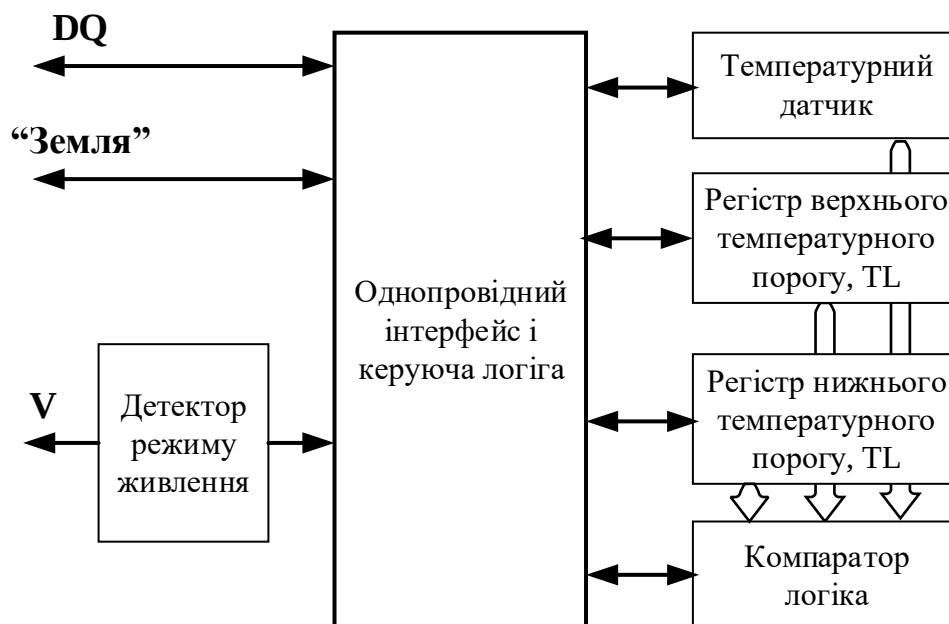


Рисунок 1.9 – Програмований термостат DS1921

Після встановлення температурних порогів і перевірки функції вимірювання температури біт 081821 записується в регістр стану. У режимі термостата DQ є керуючим висновком із програмованим гістерезисом і відкритим стоком. Перетворення температури відбувається постійно після подачі живлення на висновок УББ. Отже, сигнал на виході мікросхеми коригується приблизно кожну секунду після закінчення перетворення температури. Значення гістерезису — це різниця між температурними порогамі ТН і TL. Він може бути майже будь-яким.

Коли 081821 знаходиться в режимі термостата, наприклад, для зміни температурних порогів, можна встановити зв'язок між мікросхемою та керуючою шиною таким чином: відключити харчування УББ і подати 16 тактових імпульсів на DQ. Таким чином пристрій буде встановлено в режим зв'язку з однопроводною лінією. Таким чином можна буде отримати доступ до регістрів ТН і TL, регістру вимірювання температури та регістру стану.

Регістр стану дозволяє встановлювати стан перетворення температури, полярність вихідного сигналу та стан живлення пристрою. На рис. 1.10 показано, як організований регістр стану.

DONE	1	NVB	THF	TLF	T/R	POL	1SHOT
------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-------

Рисунок 1.10 - Регістр стану DS1821

DONE – це біт стану перетворення , тут 1 – це перетворення завершено, а 0 - виконується .

NVB – це прапор зайнятості незалежній пам'яті , тут 1 – це виконується запис в комірку пам'яті , 0 – це пам'ять не зайнята.

ТГФ представляє собою прапорець верхнього температурного порога. Біт встановлюється в значення "1" коли вимірювана температура перевищує верхній температурний поріг ТН. Встановлення біта в "0" здійснюється програмним шляхом, це дає можливість визначати факт перевищення температурою верхнього порогу.

TLF - представляє собою прапорець нижнього температурного порогу . Біт встановлюється в значення "1" коли вимірювана температура перевищує нижній температурний поріг TL. Встановлення біта в "0" здійснюється програмним шляхом, це дає можливість визначати факт перевищення температурою нижнього порогу.

T / R - біт режиму живлення. Установка "1" відповідає живленню в режимі термостата , а "0" – це режим зв'язку з однопровідною лінією.

POL – це біт полярності вихідного сигналу. Тут "1" відповідає високому рівню активного сигналу , " 0 " відповідає низькому.

1shot – це біт режиму одноразового вимірювання температури. У випадку, коли він встановлений в "1" , то прилад виконує одне перетворення температури , якщо " 0 " , то перетворення виконується постійно. Цей режим можливий лише при роботі приладу в режимі зв'язку з однопровідною лінією.

Термометр DS1920 розташований в корпусі MUGOSAM Мікросхема може вимірювати температуру з роздільною здатністю 0,5 градусів та розрядністю 9 біт. Температури можна виміряти від -5 до +100 °C з кроком 0,5 °C і часом перетворення 0,2 с. DS1920 потребує порівняно потужного зовнішнього джерела живлення під час перетворення температури або запису даних у внутрішнє ЕППЗП, оскільки він не має вбудованого джерела живлення. Це вимагає підключення активного навантаження на шину MicroLAN під час виконання цих дій (рис. 2).

Блокнотний пам'ять об'ємом 8 байт має послідовний доступ для читання та запису даних в мікросхемі. Щоб читати блокнотну пам'ять, немає режиму довільного доступу. Читання починається з даних останнього вимірювання температури, потім читаються регістри верхнього та нижнього температурних порогів і, нарешті, читаються два регістри, які використовуються для інтерполяції температурних відліків. Після читання останнього байта блокнотної пам'яті надсилається контрольна сума на 8 бітів для перевірки отриманих даних. Блок DS1920 повністю схожий на блок 1820, за винятком виведення живлення та детектора режиму живлення (рис. 1).

Термометр/годинник DS1921L-F5X ідеально підходить для моніторингу температури об'єктів, таких як швидкопсувні продукти або хімікати, які мають високу температуру. Крім того, він може записувати виміряні значення в захищену область пам'яті. Температуру вимірюють і записують в пам'ять з частотою, яку вибирає користувач. Запис в пам'ять може відбуватися як у вигляді безпосереднього значення з інкрементом адреси пам'яті, так і у вигляді гістограм. Мікросхема дозволяє зберігати до 2048 значень температури в інтервалах від 1 до 255 хвилин. Гістограма створює 63 приймача даних, які можуть отримати дозвіл при температурі 2 ° C. Кожен приймач працює як 16-розрядний термометр, вміст якого збільшується, коли температура потрапляє в діапазон приймача.

Приймач 1 відповідає за температуру від -40 до -38,5 градусів Цельсія, а приймач 2 відповідає за температуру від -38 до -36,5 градусів Цельсія та так да-

лі. Температура, яка перевищує 84 градуси Цельсія, фіксується останнім 63-м приймачем. Кожен приймач є лічильником на 2 байта, тому його можна наросити 65535 разів. Якщо кількість значень температури в межах цього діапазону перевищує його, вміст приймача не змінюється. Слід пам'ятати, що навіть якщо ви вимірюєте температуру кожну хвилину та ставите всі значення в один приймач, він переповниться через 45 днів.

Прилад записує час події, тривалість і поріг, який був перевищений, якщо температура виходить за межі діапазону, встановленого користувачем. Загалом можна записати до двадцяти чотирьох таких подій, з дванадцятьма для кожного з температурних порогів. Додаткове оперативне запам'ятовування, яке не залежить від пам'яті для запису температури, дозволяє зберігати інформацію про контрольований об'єкт. Крім того, пристрій може зберігати інформацію про дату виготовлення, фірму-виробника та інші деталі. Унікальний реєстраційний номер і нескидуємий лічильник можуть бути використані для виявлення спроб несанкціонованого доступу до мікросхеми.

Система, що розглядається, була розроблена для дистанційного контролю температури в серверному приміщенні, де знаходяться комп'ютери та комунікаційне обладнання.

1.6 Висновки до розділу

Було проаналізовано переваги та недоліки нового пристрою порівняно з вже існуючими прототипами та аналогами. Пропонована електрична принципова схема для пристрою, заснованого на мікросхемах.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

2.1 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації пристрою дистанційного контролю температури з відображенням на відеореєстраторі

Пристрій дистанційного контролю температури призначений для встановлення в приміщенні, яке має помірний або тропічний клімат, з робочою температурою повітря від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

До корпусу пристрою висуваються вимоги щодо електробезпеки та механічної міцності, оскільки він повинен працювати надійно та мати достатню міцність відповідно до вищезазначених вимог.

Пристрій належить до першої категорії апаратури, що працює на нерухомій наземній поверхні, відповідно до його функціональних характеристик. На пристрій теплових ударів можуть впливати температури від $+24^{\circ}\text{C}$ до 0°C . Зводимо аналіз умов експлуатації до наступного вигляду (табл. 2.1):

Таблиця 2.1 - Аналіз експлуатаційних умов

Клас використання	Наземна
Група використання	Нерухома
Підгрупа використання	Професійна
Категорія розміщення	Приміщення з нормальними умовами
Умови експлуатації	Нормальні

1. Клас використання – наземна апаратура;
2. Група використання – нерухома, тобто апаратура, що функціонує на нерухомій основі);
3. Підгрупа використання пристрою – професійна;

4. Категорія розміщення пристрою – в приміщеннях із нормальними умовами; (коливання температури та вологості відрізняються від умов на відкритому просторі);
5. Класифікація проведена у відповідності до [2]
6. Норми зовнішніх дій зведемо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Норми зовнішніх дій

Вид дії	Норма
Ударна міцність: Довжина ударного імпульсу мс, Прискорення пікове, g . Кількість ударів у хвилину	0-50 3 0
Теплостійкість: Робоча температура, °C гранична температура, °C	25 50
Холодостійкість: Робоча температура, °C гранична температура, °C	10 -10
Вологостійкість: Відносна вологість, % Температура, °C	50 25

Проаналізуємо технічні вимоги і умови експлуатації:

1. Найменування розроблюваного пристрою – пристрій дистанційного контролю температури.
2. Призначення пристрою – пристрій розроблено для дистанційного контролю за температурою в серверному приміщенні, у якому розташовані комп'ютери та комунікаційне обладнання.

3. Комплектність пристрою – корпус, плата ЕРЕ та з'єднувальні провідники.

Даний пристрій виконаний у вигляді наступних блоків: процесорний та система виносних датчиків. Зовнішній вигляд пристрою – корпус прямокутної форми, де передбачені отвори для розміщення роз'ємів живлення, вхідних та вихідних сигналів.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики приладу

Параметр	Значення
Напруга живлення	5 – 12 В
Споживаний струм: – у черговому режимі – у режимі видачі повідомлень	не більше 60 мА не більше 400 мА
Максимальна розсіювальна потужність	3 Вт
Опір навантаження	не менше 4 Ом
Діапазон відтворених частот	80...5000 Гц

2.2 Аналіз схеми електричної принципової

2.2.1 Схема пристрою вимірювання температури

Схема ПБТ зображена на рис. 2.1. Мікросхема DD1 – це електронний годинник, який має енергонезалежний ОЗП і календар. Мікроконтролер DD2 зчитує дату, час і вміст перших п'ятнадцяти комірок ОЗП після підключення до мережі. Вважається, що інформація, прочитана на кожному датчику (дата, час і порогові значення температури), правильна, якщо перша комірка містить код 11001100. В іншому випадку використовуються значення по замовчуванню. Наприклад, час становить 00:00:01, дата - 03.17.12, нижній поріг температури для всіх датчиків становить 60 °С, а верхній поріг температури становить 127 °С. Крім того, датчики ВК2 і ВК3 вимкнені. Далі програма мікроконтролера

з'єднує вихід TXD мікроконтролера з перетворювачем рівня DA2, встановлюючи високий рівень на його виході PD2. Сигнал зі стандартними рівнями інтерфейсу RS-232 надходить на вхід RXD COM-порта комп'ютера через роз'єм X2. Передається повідомлення з датою і часом початку роботи, а також порогами для трьох датчиків. У ЖКІ HG1 виводиться напис «Електронний термометр $\pm 0,5$ С», а діод HL1 блимає світлом протягом 3 секунд. Після цього система встановлює низький рівень PD2 на виході. Сигнал, отриманий з виходу TXD мікроконтролера, передається на вивід дванадцятиплексора DD3, а потім на діод оптрона U2. Фототранзистор оптрона U2 живиться напругою 9 В за допомогою перетворювача U1, який гальванічно ізольований від нього. Це форсує сигнал на роз'ємі X3 для передачі в ПСВ. Йому надаються команди, щоб він створив рамку майбутнього зображення на екрані відеореєстратора. На цьому завершується запуск системи. В процесі подальшої роботи програма мікроконтролера DD2 опитує датчики температури BK1-BK3 циклічно кожні 1,5 с. DS1820 використовується для вимірювання між -55 і $+125$ °С та $0,5$ °С. Датчики DS18S20 і DS18B20 можна встановити в ПБТ, але вони мають бути однотипними.

Мікроконтролер DD2 повинен мати кілька різних версій програм, в залежності від типу датчика. Датчики BK1 відображають час і показання на першій стрічці екрану ЖКІ HG1. Датчики BK2 та BK3 відображають дату та показання по черзі на другій стрічці. Символ «зірочка» на екрані передає значення, отримане датчиком BK3, щоб їх відрізнити. Діод HL1 блимає, коли показання одного або більше датчиків ПБТ виходять за норму.

Коли значення одного датчика змінюються, комп'ютер отримує дату та час події, три значення температури, напрямок зміни та інформацію про те, чи всі ці значення відповідають допустимим нормам. ПСВ має три різні значення температури.

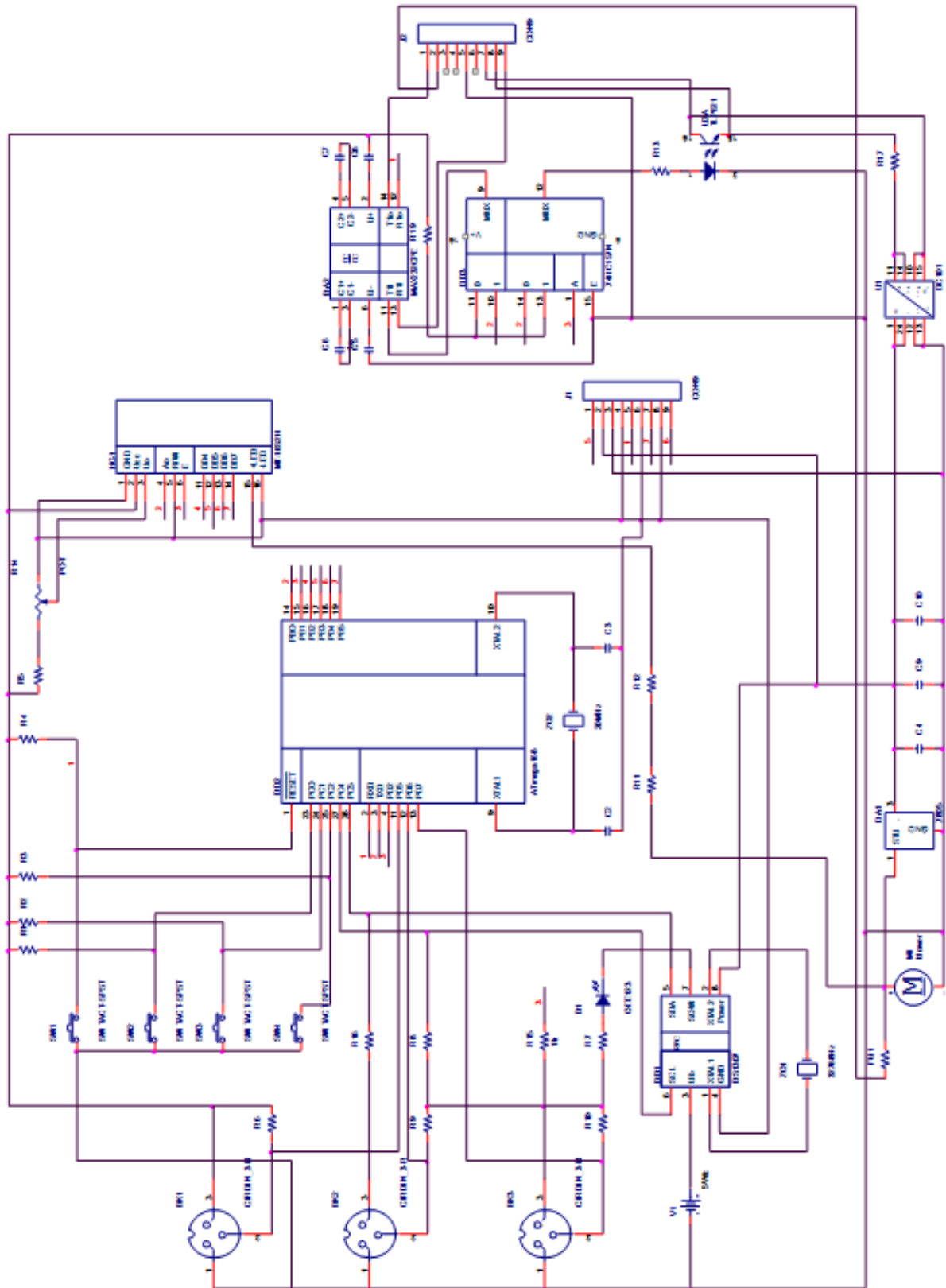


Рисунок 2.1 – Схема електрична принципова пристрою контролю температури

Наступні операції виконуються кнопками керування ПБТ: SB1-встановлення в початковий стан; SB2-введення; SB3-пересування вниз по пунктам меню або збільшення параметра на одиницю; і SB4-пересування вгору по пунктам меню або зсув вправо. Вони дозволяють переглянути поточні пороги, котрі задані для кожного із трьох датчиків, якщо необхідно змінити їх; вони також дозволяють включати або виключати датчики ВК2 і ВК3. Опитування «вимкнених» датчиків триває, але їхні значення не обробляються, а на екрані ЖКІ відображається значення 60 С. Програма для мікроконтролера DD2, встановленого в ПБТ, розроблена в BASCOM-середовищі.

У комп'ютері для зв'язку з ПБТ можливо запустити термінальну програму із комплекту операційної системи Windows або з будь-якої безкоштовної програми, наприклад Termite 2.6. Інформаційний режим має швидкість 19200 Бод, 8 інформаційних розрядів і один стоповий.

На рис. 2 показано зовнішній вигляд ПБТ. Він зібраний шляхом навісного монтажу на платі розміром 100x160 мм, яка розташована в звичайному пластмасовому корпусі. Діод HL1, кнопка SB2-SB4 та індикатор HG1 розташовані на передній панелі корпуса. В панелі було вирізано вікно розмірами 20x7 мм під індикатора. Датчик ВК1 знаходиться за ним.

На задній панелі є гніздо для підключення зовнішнього блоку живлення, а також роз'єм Х3, який підключений до УОиС за допомогою розетки RJ-45, роз'єм СГ-5, який підключений до виносних датчиків ВК2 та ВК3, і кнопка SB1, яка забезпечує установку мікроконтролера в вихідний стан. Вентилятор М1, який розташований на тій же панелі, генерує потік повітря всередині корпуса, який омиває датчик ВЛК1.

ПБТ було підключено до датчиків ВК2 та ВК3 за допомогою двох відрізків чотирьох провідних телефонних кабелів довжиною 5 м. Вони складаються з двох проводів, які з'єднані разом, щоб створити загальний провід, який з'єднаний з виводом одного датчика. З виводу 2 датчика йде провід інформації, а з виводу 3 датчика йде провід живлення +5В.

Інтегральний стабілізатор DA1 прикріплений до ребристого тепловідводу розміром 15x10x30 мм. Зважаючи на те, що вентилятори на 5 В зустрічаються рідко, було обрано вентилятор типорозміру 40 мм із напругою живлення 12 В. Таким чином, весь пристрій мав бути живлений напругою 12 В. Якщо є вентилятор на 5 В, можна використовувати блок живлення на цю напругу, виключивши інтегральний стабілізатор DA1 і зменшивши номінали резисторів R12 і R13 до 15.20 Ом. ПБТ має споживчий струм 320 мА, з них 120 мА на вентилятор і 40 мА на підсвітку індикатора.

DC101 — це перетворювач постійної напруги 5 В в постійне 9 В, яке отримується зі старої комп'ютерної Ethernet-карти, яка має роз'єми BNC і RJ-45. Застосування будь-якого іншого перетворювача, який має гальванічну розв'язку між первинними та вторинними ланцюгами, що забезпечує напругу 5,12В під навантаженням не менше 15мА, є можливим. Це може вимагати підбірки резистора R17.

2.2.2 Схема пристрою сигналізації та відображення

PCB-схема, представлена на рис.2.2, повністю збігається зі схемою TellyMate v1.5, за винятком сегмента, який обведений штрих-пунктирною лінією.

В таблиці 2.4 наведено призначення та стан перемичок S1-S7, який рекомендується для роботи в PCB. Мікроконтролер DD1 конфігурує виводи PD4-PD7 як виходи. П'єзовипромінювач звука HA1 з вбудованим генератором активується при високому рівні на виході PD4. Діоди HL1-HL3 блимають, коли на виході PD5-PD7 низькі рівні. Вивідні символи повинні бути більшими, оскільки передбачається вивід тексту лише на частину екрана підключеного до роз'єму XW1 відеореєстратора, а не на весь екран. Це було досягнуто шляхом зміни атрибутів стрічки, оригінальної стратегії програми, яка подвоїла ширину і висоту символів. Однак у стрічці відображається лише верхня або нижня частина

символу. Таким чином, один і той самий текст слід виводити двічі в стрічки екрану, які розташовані поруч.

Випромінювач звуку НА1 (приблизно на 7 с) і блимаючий світлодіод відповідають за датчик, значення якого вийшли за норму, коли температур виходить за допустимі межі ПСВ. Коли температура повернеться до дозволеної точки, блакитне освітлення зупиниться. Знаком оклику на екрані регістратора відображається стрічка з недопустимою температурою. ПСВ змонтований на макетній платі розмірами 100x65 мм, яка знаходиться в пластмасовому корпусі, який можна розбирати. На рис. 4 показано зовнішній вигляд зібраного пристрою. На його передній панелі є три блимаючі світлодіоди HL1-HL3 і світлодіод, який включається, коли подано живлення. Ці діоди можна замінити звичайними безперервними світлодіодами.

У цьому випадку значення резисторів R2-R4 повинно збільшитися до 470–1000 Ом. На задній панелі є гніздо для підключення блока живлення, розетка XW1 типу RCA для підключення до відеореєстратора чи телевізора та розетка X1 типу RJ-45 для підключення до ПВТ. ПСВ можна підключити до комп'ютера, якщо потрібно перевіряти роботу або дивитися кодові таблиці. Для цього можна додати мікросхему MAX232, яка встановлюється так само, як і в ПВТ. Схема мікросхеми ПСВ показує підключення виводів 11 і 12.

При ввімкнених діодах HL1- HL3 і випромінювачі звуку НА1 ПСВ може споживати струм до 60 мА. Він підходить для використання будь-якого імпульсного чи лінійного блоку живлення на напругу 5 В, який може виробляти струм не менший зазначеного.

При завантаженні програми в мікроконтролери роз'єми X1 в ПВТ і X2 в ПСВ призначені для підключення до програми тором. Якщо на платах цих мікроконтролерів встановлені панелі, які можна витягувати, щоб програмувати їх на панелі програматора, вищезазначені роз'єми можуть не бути встановлені. Передполагати роз'єм програмування лише в ПВТ або ПСВ є ще однією можливістю. Саме в ньому можна буде по черзі програмувати обидва мікроконтроле-

ра, а потім встановити кожен з них у пристрій, що відповідає програмі, яку завантажив.

При програмуванні конфігурації обох мікроконтролерів необхідно виключити тиск тактової частоти на 8 ($CKDIV8=8$), щоб дозволити роботі зовнішнього кварцевого резонатора ($CKSELO=1$, $CKSEL1=1$, $CKSEL2=1$, $CKSEL3=0$). Крім того, після включення живлення необхідно задати максимальну затримку запуску ($SUTO=1$, $SUT1=1$).

Таблиця 2.4 – Призначення та стан перемичок

Перемичка	Стан	Параметр	Результат
S1	Встановлено	Швидкість передачі та прийому	19200 Бод
S2	Знято		
S3	Встановлено		
S4	Знято	Починати новий рядок при переповненні попереднього	Вимкнено
S5	Знято	Автоматично переводити рядок після повернення каретки	Вимкнено
S6	Встановлено	PAL/NTSC	PAL
S7	Встановлено	Резистор 75 Ом	Підключено

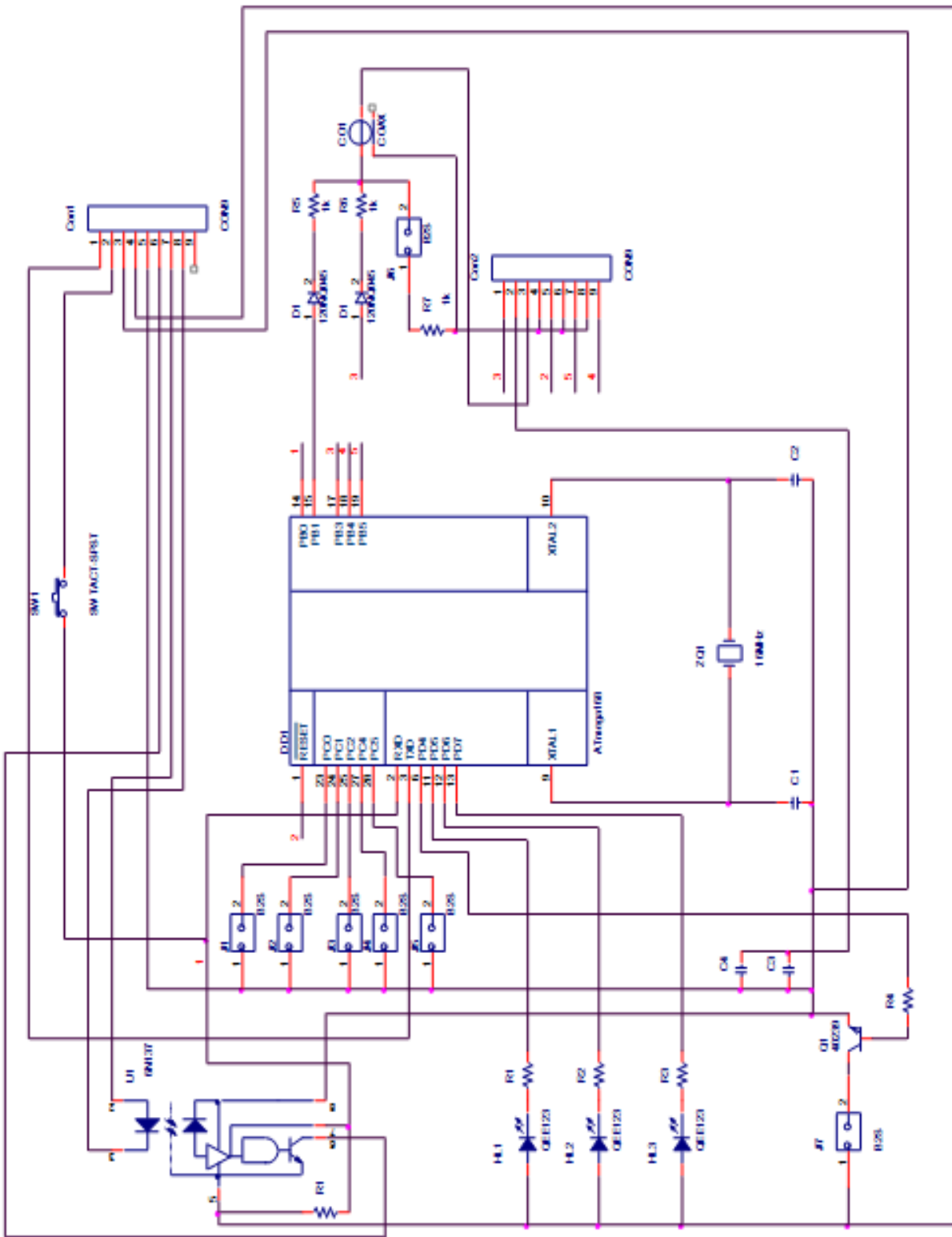


Рисунок 2.2 – Схема електрична принципова пристрою сигналізації та ві-
дображення

2.3 Аналіз елементної бази

Спочатку ми зведемо основні дані про радіокомпоненти, на яких побудовано пристрій, у таблицю. Для елементів із круглим перерізом, таких як конденсатори, транзистори, вертикально встановлені резистори тощо, площа можна визначити за допомогою цієї формули:

$$S = d^2 [\text{мм}^2], \quad (2.1)$$

де d – це діаметр одного компонента.

У випадку, колу елемент розміщується горизонтально на друкованій платі, то установочна площа обчислюється так:

$$S = a \cdot b, \quad (2.2)$$

де a, b – ширина і довжина установки відповідно.

Таблиця 2.5 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

Назва елемента Тип корпусу мікросхем	Кіл. , шт.	Конструктивні параметри		Допустимі умови експлуатації		
		Площа встанов.	Діаметр виводу, мм	Макс. темп. °С	Частота вібрації Гц	Струм споживання мА
Конденсатори						
К-53-15	1	21	0,6	+155	15...200	7,5
К21-7	10	18	0,6	+155	15...200	7,5
Мікросхеми						
DIP-100(DD2)	1	550	0,5	+70	5...600	15
DIP-100(DD3)	1	100	0,5	+70	5...600	15
DIP-100(U2)	1	100	0,5	+70	5...600	15
DIP-100(DD1)	1	50	0,5	+70	5...600	15

Продовження таблиці 2.5 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

Назва елемента Тип корпусу мікросхем	Кіл. , шт.	Конструктивні параметри		Допустимі умови експлуатації		
		Площа встанов.	Діаметр виводу, мм	Макс. темп. °C	Частота вібрації Гц	Струм споживання
DIP-100(HG1)	1	100	0,5	+70	5...600	15
DIP-100(DA1)	1	100	0,5	+70	5...600	15
DIP-100(U1)	1	140	0,5	+70	5...600	15
DIP-100(DA2)	1	100	0,5	+70	5...600	15
Діоди						
QEE123(D1)	1	190	0,6	55÷+85 ⁰ C	10...60 0	10
Резистори						
C2-23	19	15	0,6	+300	10...20 00	10
Кварцовий резонатор						
PK-168	2	105	0,5	20÷+70 ⁰ C	2...250 0	12
Роз'єми						
BLKCON. 100/RH/T M1SQ/W.4 25/9(J1-J2)	2	240	0,5	10÷+125 ⁰ °C		
DFGX(M1 blower)	1	105	0,5	10÷+125 ⁰ °C		
Кнопки						
SW TACT-SPST	4	64	0,5			

2.4 Технологія виготовлення друкованих плат

Основні процеси виготовлення друкованих плат поділяють на такі: субстрактивні, адитивні, напівадитивні.

Субстрактивний процес представляє собою одержання провідного рисунка шляхом вибіркового видалення окремих ділянок провідної фольги за методом травлення.

Адитивний процес представляє собою вибіркове осадження на основу плати провідного матеріалу.

У напівадитивному процесі спочатку здійснюють попереднє нанесення тонкого провідного покриття, котрий який потім видаляють з тих місць, де наявні проміжки.

Конструювання друкованих плат Згідно ГОСТ 2375-86 виконується при з врахуванні таких методів виготовлення, як:

- хімічний (для двосторонніх друкованих плат);
- позитивний комбінований (для двосторонніх друкованих плат, які мають металізовані монтажні отвори).

Як правило, двосторонні друковані плати виготовляються переважно за допомогою позитивного комбінованого метода, при якому здійснюється експонування рисунка друкованих елементів із фотопозитива. При такому методі технологічний процес виготовлення друкованої плати є добре відпрацьованим і забезпечений відповідним технологічним обладнанням.

Об'єднанням хімічного і електрохімічного методів є комбінований. При цьому фольгований з обох сторін діелектрик є вихідним матеріалом, тому провідний рисунок одержується шляхом витравлення міді, хімічне міднення з подальшим електрохімічним нарощуванням шару міді забезпечує металізацію отворів. Пайка виводів ЕРЕ виконується шляхом заповнення отворів платою припоєм. Комбінований метод включає наступні основні процедури: різка заготовок і хіміко-механічна підготовка поверхні; отримання захисного рисунку; нанесення захисної лакової плівки; свердління та зенківка отворів; хімічне мід-

нення та видалення лакової плівки; і гальванічне міднення в два прийоми. Цей метод вимагає великої кількості ручних операцій, що робить його надзвичайно трудомістким [4].

Підготовка поверхні до нанесення фоторезисту включає хімічне обезжирення розчинів тринатрійфосфата. Розчин має бути на 40–60°C і процес обробки триває від двох до п'яти хвилин. Заготовка з фольгованого склотекстоліту виготовляється за допомогою дискових фрезерів діаметром 100 мм і товщиною 3 мм. Швидкість різки становить 100–120 мм/с.

Поверхня мідної фольги хімічно та механічно очищається таким чином: мідний наждачок, промивка в проточній воді, обробка в 5-7% розчині натрію хлориду на протязі 30 секунд і промивка. Нанесення фоторезисту відбувається за допомогою центрифугування та сушіння фольги. У центрифугу 80-100 об/хв і температура сушки 35–40°C. На протязі восьми-десяти хвилин друкований малюнок експонується в копіювальній рамці. У ванні з ультразвуковими коливаннями захисний позитивний рисунок друкованої плати проявляється теплою водою ($t=40-50^{\circ}\text{C}$). Загублення захисного рисунку відбувається хімічним методом у розчині 3% хромового ангідриду.

Для видалення міді з незахищених ділянок фольги використовується травильний агрегат КТ-38 протягом 15-18 хвилин. Після цього плати обробляється водним розчином FeCl_3 , а потім промивається холодною водою.

Потім здійснюється покриття лаком, далі сушка при температурі 20-30°C тривалістю 6 годин.

Наступний етап – свердління отворів. Виконується зенківка свердлом, що має діаметр 1,25мм.

Дали здійснюється активування поверхні за допомогою розчину хлорного олова.

Виконуємо хімічне міднення протягом 20 хвилин 40% розчином мідного купоросу. Потім знімаємо ацетоном захисний лак та сушимо плату

Покриваємо плату спеціальним сплавом РОЗЕ шляхом занурення у ванну при температурі $t=95^{\circ}\text{C}$.

До матеріалу друкованої плати висуваємо вимоги:

- висока технологічність;
- високі електрофізичні властивості;
- можливість працювати в вакуумі;
- висока адгезія;
- мінімальні механічні короблення.

Таблиця 2.6 – Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+70	-60...+100

У більшості для виготовлення друкованої плати застосовують або склотекстоліт або гетинакс однієї із марок: ГФ (фольгований гетинакс), СФ – (фольгований склотекстоліт), ФГС (фольгований травильний склотекстоліт), СФПН (фольгований нагрівостійкий склотекстоліт), СТФ (теплостійкий склотекстоліт). Товщина друкованої плати залежить від товщини вихідного матеріалу та навантажень. Більшість деталей пристрою містяться на друкованій платі.

У зв'язку з тим, що плита несе механічне навантаження, рекомендується використовувати склотекстоліт товщиною 2 мм. Товщина листа склотекстоліту становить лише 0,2 міліметра.

На друкованій платі знаходиться 95 радіоелементів. Радіоелементи можна встановлювати з отворами діаметром 0,9 мм.

Товщину друкованої плати обчислимо так

$$H_{\text{дп}} \leq \frac{d_{\text{min}}}{V},$$

де d_{min} – це мінімальний діаметр отвору, у нашому випадку це 0,9 мм;

V - це співвідношення діаметру отвору до товщини пластини, у нашому випадку це 0,45.

$$H_{\text{дп}} = \frac{0,9}{0,45} = 2(\text{мм}).$$

Для друку плати ми використовуємо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-2 ГОСТ 10316-78, товщина фольги 35 мкм, а матеріалу товщина 2 мм. Він використовується для виготовлення друкованих плат односторонніх і двосторонніх. Цей матеріал є шаруватим пресованим пластиком, виготовленим на основі тканини із скляного волокна, насиченої термореактивними смолами, і мідною електричною фольгою облицьовано з двох сторін.

З метою ізоляції корпусу пропонується взяти матеріали пластмас ТУ 812.362 СМЗ.

2.5 Морфологічний аналіз

Проведемо пошук найкращого варіанту конструкції приладу на основі сформульованих критеріїв. В результаті морфологічного аналізу було визначено найкращий варіант приладу з такими характеристиками: група РЕА приладу: стаціонарна, що означає постійно працюючий лабораторний або офісний прилад; тип приладу: радіоелектронний, що означає, що прилад має більшу споживчу потужність; і модуляція переданого сигналу: широтно-імпульсна.

Блок керування має паралелепіпедну форму, що дозволяє оптимально розмістити в ньому всі функціональні частини. Тип корпусу негерметичний, що

означає, що всі складові частини корпусу виготовляються окремо, а потім складаються.

Таблиця 2.7 – Морфологічна таблиця.

Ознака		Альтернативні варіанти ознак		
№	Найменування	№	Найменування	
1	Група РЕА приладу	1	Стаціонарна	+
		2	Портативна	
2	Тип приладу	1	Радіоелектронний	+
		2	Оптоелектронний	
3	Форма корпусу блоку керування	1	Паралелепіпед	+
		2	Призма	
		3	Куб	
4	Тип корпусів	1	Герметичний розбірний	
		2	Герметичний нерозбірний	
		3	Негерметичний	+
5	Матеріал корпусу основного блоку	1	Сталь	
		2	Алюміній	
		3	Пластмаса	+
6	Матеріал мікро плати	1	Склотекстоліт	+
		2	Скло	
		3	Кераміка	
7	Елементна база	1	Плівкові елементи	
		2	Нависні елементи	+
		3	Гібридна	

Пластмаса є матеріалом корпусу основного блоку, який володіє достатньою механічною міцністю та хорошими якісно-ціновими характеристиками, а також спрощує процес виготовлення.

Мікроплата складається з двостороннього фольгованого склотекстоліту марки СФ-2-35-2. У нього висока механічна міцність, висока теплопровідність і високий питомий опір, що робить його унікальним серед інших матеріалів.

Внутрішня компоновка включає одну плату, що означає, що всі необхідні електричні модулі зосереджені на одній платі. Елементна база: навісні елементи: всі елементи встановлюються за допомогою навісного монтажу.

2.6 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Для двосторонніх друкованих плат, які були виготовлені комбінованим позитивним методом при фотохімічному способі отримання малюнка, мінімальний діаметр контактних площадок визначається за формулою:

$$D := \left(d_{\text{otv}} + \Delta d_{\text{v.o.}} \right) + 2 \cdot b + \Delta t_{\text{v.o.}} + 2 \cdot \Delta_{\text{mp}} + \sqrt{\left(T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{n.o.}}^2 \right)}$$

де d_{otv} – це діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{v.o.}}$ – це верхнє граничне відхилення діаметру отвору, у нашому випадку 0,05мм;

b –це ширина гарантійного паска, у нашому випадку 0,1 мм;

$\Delta t_{\text{v.o.}}$ – це верхнє граничне відхилення ширини друкованого провідника, у нашому випадку це 0,1 мм;

Δ_{mp} – величина підтравки діелектрика, у нашому випадку це 0 (;

T_d – значення позиційного допуску розташування отворів відносно один одного, у нашому випадку це 0,25 мм;

T_D – значення позиційного допуску розташування контактних площадок відносно один одного, у нашому випадку це 0,25 мм;

$\Delta t_{\text{n.o.}}$ – нижнє граничне відхилення ширини друкованого провідника, у нашому випадку це 0,08 мм;

Діаметр отвору знайдемо за виразом:

$$d_{\text{otv}} = d_{\text{viv}} + (0.2 \dots 0.4);$$

тут d_{viv} – це діаметр виводу елемента.

Результати розрахунку контактних площадок подано у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок контактних площадок

Назва елемента Тип корпусу мікросхем	Кіл., шт.	Конструктивні параметри		Діаметри		
		Площа встанов.	К-сть контактних площадок ел	d _{viv}	d _{otv}	D
Конденсатори						
K-53-15	1	21	2	0,5	1,1	1,5
K21-7	10	18	20	0,5	1,1	1,5
Мікросхеми						
DIP-100(DD2)	1	550	32	0,5	0,9	1,5
DIP-100(DD3)	1	100	16	0,5	0,9	1,5
DIP-100(U2)	1	100	16	0,5	0,9	1,5
DIP-100(DD1)	1	50	8	0,5	0,9	1,5
DIP-100(HG1)	1	100	16	0,5	0,9	1,5
DIP-100(DA1)	1	100	14	0,5	0,9	1,5
DIP-100(U1)	1	140	24	0,5	0,9	1,5
DIP-100(DA2)	1	100	14	0,5	0,9	1,5
Діоди						
QEE123(D1)	1	190	2	0,55	1,1	1,5
Резистори						
C2-23	19	15	38	0,6	0,9	1,6
Кварцовий резонатор						
PK-168	2	105	4	0,5	1,1	1,5
Назва елемента Тип корпусу	Кіл., шт.	Конструктивні параметри		Діаметри		
		Площа	К-сть	d _{viv}	d _{otv}	D

са мікрос- хем		вста- нов.	конта- ктних площа- док ел			
Роз'єми						
BLKCON.1 00/RH/TM1 SQ/W.425/9 (J1-J2)	2	240	18	0,5	0,9	1,5
DFGX(M1b lower)	1	105	2	0,5	0,9	1,5
Кнопки						
SW TACT- SPST	4	64	12	0,5	0,9	1,5

Згідно наведеної таблиці діаметри отворів складають від 0,9 мм до 1,1 мм, а діаметри контактних площадок дорівнюють 1,5 мм.

Отже, для діаметру контактної площадки 1,5мм і числі контактних площадок 277 маємо:

$$S = S_{\text{КП}} \cdot n = \pi \cdot r^2 \cdot n = 3,14 \cdot 0,75^2 \cdot 277 = 557 \text{ мм}^2.$$

Для діаметру контактної площадки 3 мм та числа контактних площадок 8 маємо:

$$S = S_{\text{КП}} \cdot n = \pi \cdot r^2 \cdot n = 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 8 = 57 \text{ мм}^2.$$

Для діаметру контактної площадки 2 мм і числа контактних площадок 30 маємо:

$$S = S_{\text{КП}} \cdot n = \pi \cdot r^2 \cdot n = 3,14 \cdot 2^2 \cdot 30 = 377 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, контактні площадки на платі займають площу рівну 991 мм².

Висновок: струмопровідний малюнок на друкованій платі повинен бути чітким. Не повинно бути рваних країв, здуттів, розривів, темних плям, забруднень, протравів або окислів.

2.7 Розрахунок ширини друкованих провідників

Для інформаційних провідників та шин живлення проведемо розрахунок ширини провідників .

Для шин живлення маємо:

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t} \text{ (мм)},$$

де $j_{\text{доп}}$ – це допустима густина струму, у нашому випадку, тобто для двосторонньої плати, виготовленої комбінованим методом, вона становить 48 А/мм²,

t – це товщина провідника, у нашому випадку це 50 мкм,

$I_{\max}$ – це максимальний постійний струм, короткий протікає через провідник, у нашому випадку це 0,6 А.

Тепер виконуємо обчислення

$$B_{\min} = \frac{0,6}{48 \cdot 0,05} = 0,25 \text{ мм}.$$

Далі визначаємо мінімальну ширину провідника при умови допустимого падіння напруги :

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t},$$

де ρ - це питомий опір провідників, у нашому випадку це $\text{Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$,

$I_{\max}$ – це струм, котрий протікає по провіднику, у нашому випадку це 0,6 А,

$l_{\max}$ – це максимальна довжина друкованого провідника, у нашому випадку це 0,145 м ,

$U_{\text{дон}}$ – це допустиме падіння напруги, котре складає 5% від напруги живлення, тобто $U_{\text{дон}} = 5 \times 0,05 = 0,25 \text{ В}$,

t – товщина друкованого провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,6 \cdot 0,0175 \cdot 0,145}{0,25 \cdot 0,05} = 0,12 \text{ мм} = 12 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують значення, які були визначені для третього класу точності.

2.8 Висновки до розділу

На основі електричної принципової схеми було проведено трасування, а розміри плати виробу були встановлені 100 x 160 мм і його розрахована маса була 150 грам. Для друкованої плати використано склотекстоліт фольгований двосторонній СФ-2-35-2 товщиною 2 мм з товщиною фольги 35 мкм.

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

3.1 Розрахунок електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

Завдяки збільшенню швидкодії схеми виникає проблема високочастотних зв'язків між елементами. При цьому необхідно визначити параметри лінії зв'язку (наприклад, опору, ємність, індуктивність тощо), а також міри їх впливу одна на одну (наприклад, паразитну ємність, взаємоіндуктивність тощо). Це особливо важливо для мікроелектронних пристроїв, оскільки час переключення елементів становить одиниці наносекунд і мікросхеми розташовані з достатньо високою щільністю.

Електронні параметри елементів друкованої плати залежать від багатьох факторів, які впливають на розрахункові величини. До цих факторів належать матеріали захисного покриття, технологія виготовлення, режим роботи схеми та багато іншого. На етапі проєктування друкованої плати недоцільно враховувати всі ці фактори, оскільки це надто складно. У цьому випадку необхідний орієнтовний розрахунок, який має достатню точність і перевіряється та уточнюється після виготовлення та дослідження першої партії друкованих плат [12].

Розрахунок електромагнітної сумісності проводиться з метою визначення того, наскільки добре працює пристрій під впливом перехресних завад у лініях зв'язку та зовнішніх електромагнітних полів [11, 12].

1. Діелектрична проникність середовища між друкованими провідниками на зовнішній поверхні плати, покритої лаком, дорівнює наступному:

$$\varepsilon_r = 0.5(\varepsilon_n + \varepsilon_l),$$

де $\varepsilon_n = 6$ – це діелектрична проникність використаного склотекстоліта;

$\varepsilon_l = 4$ – діелектрична проникність використаного лаку УР-231.

Тоді маємо

$$\varepsilon_r = 0,5 (6+4) = 5.$$

2. Для того, щоб визначити взаємну ємність і індуктивність провідників, розташованих на одній поверхні плати, розраховуємо:

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)} [\text{пФ}],$$

де δ – це мінімальна відстань між двома провідниками, м;

$W = 5 \cdot 10^{-5}$ – це товщина мідного провідного шару, м;

$b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ – це ширина провідників третього класу точності, м;

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 10,6 (\text{пФ}).$$

Визначимо паразитну взаємоіндукцію між двома друкованими провідниками

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right) [\text{нГн}],$$

де S – відстань між провідниками, у нашому випадку це 0,05 см;

l_2 – це довжина взаємного перекриття провідників, у нашому випадку це 10 см;

t_1, t_2 – це ширина провідників, у нашому випадку це 0,025 см.

Отримаємо:

$$M = 2 \cdot 10 \left(\ln \frac{2 \cdot 10}{0,05 + 0,5 \cdot (0,025 + 0,025)} - 1 \right) = 3,47 (\text{нГн}).$$

Як видно з запропонованих розрахунків паразитних ємностей та індуктивностей, їхні параметри знаходяться в межах норми, і для їх зниження не потрібні додаткові методи. Дані індуктивності та ємності відповідають умовам конструювання. Таким чином, електромагнітна сумісність цього пристрою відповідає стандартам.

3.2 Розрахунок механічної міцності друкованої плати

Для того, щоб друкована плата була механічно стійкою, частота її власних коливань повинна перевищувати частоту зовнішніх коливань. Наступна формула може бути використана для визначення частоти власних коливань:

$$f = \frac{k_m \cdot k \cdot B \cdot h \cdot 10^4}{a^2},$$

де k_m – це поправочний коефіцієнт на матеріал;

k – це поправочний коефіцієнт маси елементів;

B – це частотна стала;

h – це товщина плати ;

a – це довжина плати.

Щоб врахувати навантаження, ми повинні ввести поправочний коефіцієнт маси елементів k , котрий можна знайти в загальному випадку за формулою:

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_E/Q_{II}}},$$

де Q_E – це маса електрорадіоелементів, $Q_E=79,8$;

Q_{II} – це маса плати.

Довжина плати $a := 100\text{мм}$

Ширина плати $b := 85\text{мм}$

Товщина плати $h := 2\text{мм}$.

Модуль пружності склотекстоліту становить $E := 3.2 \cdot 10^{10} \text{ (Н/м}^2\text{)}$

Густина склотекстоліту дорівнює $\rho_{\text{ст}} := 1.4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Сумарна маса елементів дорівнює $M_{\text{ел}} := 49.8\text{г}$

Маса плати з елементами розраховується так:

$$M_{\text{ст}} := \rho \cdot a_{\text{ст}} \cdot b_{\text{ст}} \cdot h_{\text{ст}} + M_{\text{ел}}$$

$$M = 73.6 \text{ г.}$$

Коефіцієнт Пуассона дорівнює $\nu := 0.22$

Циліндрична жорсткість розраховується так:

$$D := \frac{E \cdot h_{\text{м}}^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)},$$

$$D = 22.418383 .$$

Частоту власних коливань можна розрахувати так:

$$f_0 := \frac{\pi}{2 \cdot a_{\text{м}}^2} \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{м}}^2}{b_{\text{м}}^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{M_{\text{кг}}} \cdot a_{\text{м}} \cdot b_{\text{м}}},$$

$$f_0 = 602.578948 \text{ Гц.}$$

Частота впливу механічної вібрації складає $f := 80\text{Гц}$.

Таким чином, частота власних коливань плати $f_0 > f$ і система не будуть входити в резонанс.

Коефіцієнти форми коливань становлять $K_{1x} := 1.3$ та $K_{1y} := 1.3$.

Коефіцієнт розстроювання обчислюється так:

$$\eta := \frac{f}{f_0},$$

$$\eta = 0.132763.$$

Декремент затухання розраховується так:

$$\lambda_{\min} := 2,$$

$$\lambda_{\max} := 10,$$

$$\lambda := \pi \cdot 10^{-2},$$

$$\lambda = 0.031416.$$

Показник затухання розраховується так:

$$\varepsilon_{\text{вв}} := \frac{\lambda}{\pi},$$

$$\varepsilon = 0.01.$$

Коефіцієнт динамічності знаходимо за формулою:

$$K_{DIN} := \frac{\sqrt{\left[1 + (K_{1x} \cdot K_{1y} - 1) \cdot \eta^2\right]^2 + \varepsilon^2 \cdot \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \cdot \eta^2}},$$

$$K_{DIN} = 1.030322.$$

Прискорення власного падіння дорівнює $\underline{g} := 9.80665 \frac{m}{c^2}$.

Віброприскорення відповідно до технічного завдання:

$$\underline{a_0} := 2 \cdot \underline{g},$$

$$a_0 = 19.6133 \frac{m}{c^2}.$$

Амплітуда віброзміщення основи для кінематичного збудження становить:

$$\xi_0 := \frac{a_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2},$$

$$\xi_0 = 0.000078 \text{ м},$$

Віброзміщення для кінематичного збудження обчислюється так:

$$S_B := \xi_0 \cdot K_{DIN},$$

$$S_B = 0.00008 \text{ м},$$

$$S_{B_mm} := S_B \cdot 10^3,$$

$$S_{B_mm} = 0.07998 \text{ мм.}$$

Прогин плати для кінематичного збудження знаходиться таким чином:

$$\delta_{dop} := S_B - \xi_0,$$

$$\delta_{dop} = 0.000002 \text{ м.}$$

Довжина плати знаходиться таким чином:

$$l := a_m,$$

$$l = 0.1 \text{ м,}$$

$$\delta_{gran} := \delta_{dop} \cdot l,$$

$$\delta_{gran} = 0 \text{ м.}$$

Віброприскорення знаходиться таким чином:

$$a_B := a_0 \cdot K_{DIN},$$

$$a_B = 20.208019 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

3.3 Розрахунок на дію удару

Цей розрахунок призначений для перевірки міцності під час транспортування.

Пристрій повинен мати пікове прискорення до 5g і тривалість ударного імпульсу від 5 до 10 мс. Розрахунок дії удару також виконується на друкованій платі, як і вібраційні дії. Необхідно провести дослідження умов удароміцності, оскільки імпульс прямокутної форми є результатом максимальної дії [1].

Умовна частота ударного імпульсу визначається таким чином:

$$\omega = \pi / \tau ,$$

де ω -це тривалість ударного імпульсу τ в мілісекундах.

Тривалість ударного імпульсу дорівнює $\tau := 0.005\text{ms}$.

Умовна частота ударного імпульсу визначається так

$$\omega := \frac{\pi}{\tau_s} ,$$

$$\omega = 628318.530718 \text{ c}^{-1} .$$

Коефіцієнт розстроювання знаходимо таким чином

$$V := \frac{\omega}{2 \cdot \pi \cdot f_0} ,$$

$$V = 165.953358 .$$

Коефіцієнт передачі при ударі

$$K_y := 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot V}\right) ,$$

$$K_y = 0.01893 .$$

Так, амплітуда прискорення ударного імпульсу дорівнює:

$$H_y := 49 \cdot 10^{-3},$$

$$0.003 \cdot b = 0.3 .$$

Максимальне відносне зміщення для прямокутного імпульсу складає

$$Z_{\max} := \frac{H_y}{2 \cdot \pi \cdot f_0} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot V}\right),$$

$$Z_{\max} = 2.19572 \times 10^{-5} .$$

Маємо таку умову

$$Z_{\max} < 0.003 \cdot b .$$

Для плати має виконуватись така умова:

$$Z_{\max} < 0,003 \cdot b,$$

$$Z_{\max} = 0,319 < 0,6.$$

У результаті аналізу даних було встановлено, що використання чотирьох отворів по краях друкованої плати та її товщини забезпечує найменшу частоту власних коливань, найбільше вібропереміщення під час вібрації та найменше ударне прискорення під час удару. Крім того, це тому, що вібрація відбувається лише при транспортуванні приладу.

3.4 Розрахунок надійності за раптовими відмовами

Одним із основних параметрів виробу є надійність; після розрахунків робляться висновки про те, наскільки вірною є обрана схема та конструкція виробу. Надійність приладу залежить від багатьох факторів, включаючи його надійність, кількість елементів, які використовуються, кількість зв'язків між елементами, кріплення та типи зв'язків між елементами, а також впливу зовнішніх факторів, теплових і електричних навантажень, які викликають елементи.

Розрахунок надійності пристрою включає визначення показників надійності виробу за допомогою відомих характеристик надійності складових компонентів і умов експлуатації. Інтенсивність відмов елементів за нормальних умов є вихідним параметром для розрахунку надійності.

Складемо таблицю з назвами елементів, кількістю та поправочними коефіцієнтами [2].

$k_{\lambda 1} = 1.46$ – це дія механічних факторів, (тобто це стаціонарні умови експлуатації, при ударному та при вібраційному впливах);

$k_{\lambda 2} = 1$ - кліматичні умови, (тобто волога – 60-70% та температура 20-40°C);

$k_{\lambda 3} = 1$ - знижений атмосферний тиск, (тут висота- 0-1км),

тоді коефіцієнт, котрий враховує реальні умови буде складати:

$$k_{\lambda} = k_{\lambda 1} \cdot k_{\lambda 2} \cdot k_{\lambda 3} = 1,46.$$

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \alpha_{i0},$$

де λ_i – це інтенсивність відмови і-тої рівнонадійної групи елементів;

i – це рівнонадійні елементи;

N – число елементів;

λ_{i0} – інтенсивність відмови у номінальному режимі;

α_{i0} – коефіцієнт, котрий залежить від температури і навантаження і-го елемента.

Отже, інтенсивність відмови усієї системи дорівнює:

$$\lambda = \sum \lambda_i k_{\lambda} N_i$$

Таблиця 2.2 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою при врахуванні поправочних коефіцієнтів

№ п\п	Найменування елементів	Кількість елементів N	Інтенсивність відмови, 10^{-6}	Поправочний коефіцієнт α_j	Інтенсивність відмов рівно- надійної групи елементів $\lambda_i \cdot 10^{-6}$
1.	Резистори С2-32	19	0.6	0.3	3,42
2.	Конденсатори	10	0.7	0.62	4,34
3.	Конденсатори	1	5	0.62	3,1
4	Роз'єми	3	1	1	3
6.	Напівпровідникові діоди	1	2	0.9	1,8
7.	Мікросхема	8	8	0.51	32,64
8.	Кнопки	4	1	1	4
10.	Плата	1	0.1	1	0,1
12.	Пайка	243	0.04	1	9,72
13.	Кварцовий резонатор	2	0,5	1	1

Інтенсивність відмови усієї системи дорівнює:

$$\lambda_{\Sigma} = 63,12 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Середній час безвідмовної роботи пристрою визначається так:

$$t_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}.$$

Підставимо отримані дані: $t_{\text{сер}}=0,016 \cdot 10^6 [\text{год}]$.

Отже, середній час напрацювання на відмову у нашому випадку дорівнює $t_{\text{сер}}=16000$ год.

Відповідно, ймовірність безвідмовної роботи приладу протягом часу $t_1 = 1000$ годин рівна:

$$P(t_i) = e^{(-\lambda \cdot t_i)},$$

$$P(t_i) = e^{(-63,12 \cdot 10^{-6} \cdot 1000)} = 0,938943.$$

3.5 Висновки до розділу

Були виконані розрахунки електромагнітної сумісності елементів, механічної міцності друкованої плати, а також розрахунки на надійність, удар і вібрацію.

Під час розрахунку плати електромагніту взаємна ємність провідників та індуктивність провідників на одній поверхні друкованої плати становили 10,6 пФ та 3,47 нГн, що знаходиться в межах норми і не вимагає додаткових засобів для зниження їх. Співвідношення розмірів плати задовольняє вимоги до вібростійкості, оскільки частота власних коливань не співпадає із частотою зовнішнього впливу і становила 338 Гц під час розрахунку вібростійкості плати. Розрахунок надійності виявив 16 000 годин безвідмовної роботи. Розрахунок на удар показав, що метод кріплення плати (чотири отвори по краях) і її товщина гарантують її механічну міцність.

ВИСНОВКИ

У роботі було розроблено пристрій для дистанційного вимірювання температури, зокрема було здійснено проектування друкованої плати та визначення експлуатаційних характеристик пристрою. Було проведено порівняння пристрою, що розроблявся, з вже існуючими прототипами та аналогами, щоб визначити його переваги та недоліки. Пропонована електрична принципова схема для пристрою, розробленого на мікросхемах.

На основі електричної принципової схеми проведено трасування та встановлені розміри плати виробу 100 x 160 мм і його розрахована маса 150 г. Для друкованої плати використано склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-2 з товщиною 35 мкм і товщиною фольги 2 мм.

Були виконані розрахунки електромагнітної сумісності елементів, механічної міцності друкованої плати, включаючи ударні, вібраційні, надійні та теплові розрахунки.

Під час розрахунку електромагнітної плати взаємна ємність і індуктивність провідників на одній поверхні друкованої плати становили 10,6 пФ та 3,47 нГн, які знаходяться в межах норми та не потребують додаткових засобів для їх зниження.

Співвідношення розмірів плати задовольняє вимоги до вібростійкості, оскільки частота власних коливань плати не співпала з частотою зовнішнього впливу і становила 338 Гц. Розрахунок надійності показав 16 000 годин безвідмовної роботи.

Проведені розрахунки показали, що пристрій задовольняє всі техніко-технологічні характеристики та може бути введений в експлуатацію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Створення мікроелектронних датчиків нового покоління для інтелектуальних систем / [Гордієнко Ю. О., Дзядевичта С. В., Дружинін А. О., Євнух А. А., Лєсков С. В., Мельник В. Г., Романов В. О.] ; під. ред. Я. І. Лєпіх. — Одеса: Астропринт, 2010. — 289 с.
2. Щупляк Н. М. Основи електроніки та мікроелектроніки./ Н. М. Щупляк. Книга 2. — Дрогобич: 2012. — 217с.
3. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник.2-е вид — Київ: «Каравела», 2009р. 2
4. Руденко В.С., Ромашков В.Я., Трифонюк В.В. Промислова електроніка — Київ: Либідь, 1993р.
5. Будіщев М..С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка — Львів: Афіша, 2001р.
6. Цифрова схемотехніка електронних систем. Підручник / В.І., Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, В.В. Багрій, В.М. Співак, Т.О. Терещенко. 3-те вид. допов. і переробл.— К.: Вища школа, 2010. — 426 с. (гриф надано МОН України — протокол № 1.4/18-Г-414 від 14.02.2008 р.). ISBN 966-642-193-3.
7. Пашенко Е.І. Радіопередавальні пристрої. Принципи побудови і основи експлуатації радіопередавальних пристроїв: Навчальний посібник / Е.І. Пашенко, О.В. Андрєєв -Житомир: ЖВІРЕ, 2006. - 176 с.
8. Ткачук В.М. Радіопередавальні пристрої: Навчальний посібник / В.М. Ткачук, С.М. Цирульник, Т.А. Петренко. — Вінниця: ВТК, 2015. - 188 с.
9. Пашенко Е.І. Пристрої генерування та формування сигналів. Частина 1. Навчальний посібник — Житомир: ЖВІРЕ. 2000. — 144 с.
- 10.Ткачук Р. А. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

- 11.Лободзінська Р.Ф., Костюк О.А., Нікольський О.І., Шеремета О.П. Конструювання і технологія радіоелектронних засобів. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 91 с.
- 12.Елементна база радіоелектронної апаратури. Пасивні радіокомпоненти: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. О. Піддубний, І. О. Товкач. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 99 с.
- 13.Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.
- 14.Панфілов І.П. Компонентна база радіоелектронної апаратури: навч. посіб.; модуль 2 / Панфілов І.П., Савицька М.П., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 192 с.
- 15.Новиков А. О. Основи теорії надійності та стандартизації виробів електронної техніки : навчальний посібник / А. О. Новіков, Шубін О. В. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 152 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

ПРИСТРІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

Виконав: студент 4-го курсу, групи КІВТ-206
спеціальності 152 – «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

 Пашко В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., асист. каф. ІРТС
 Семенова О. О.
(прізвище та ініціали)

«14» 06 2023 р.

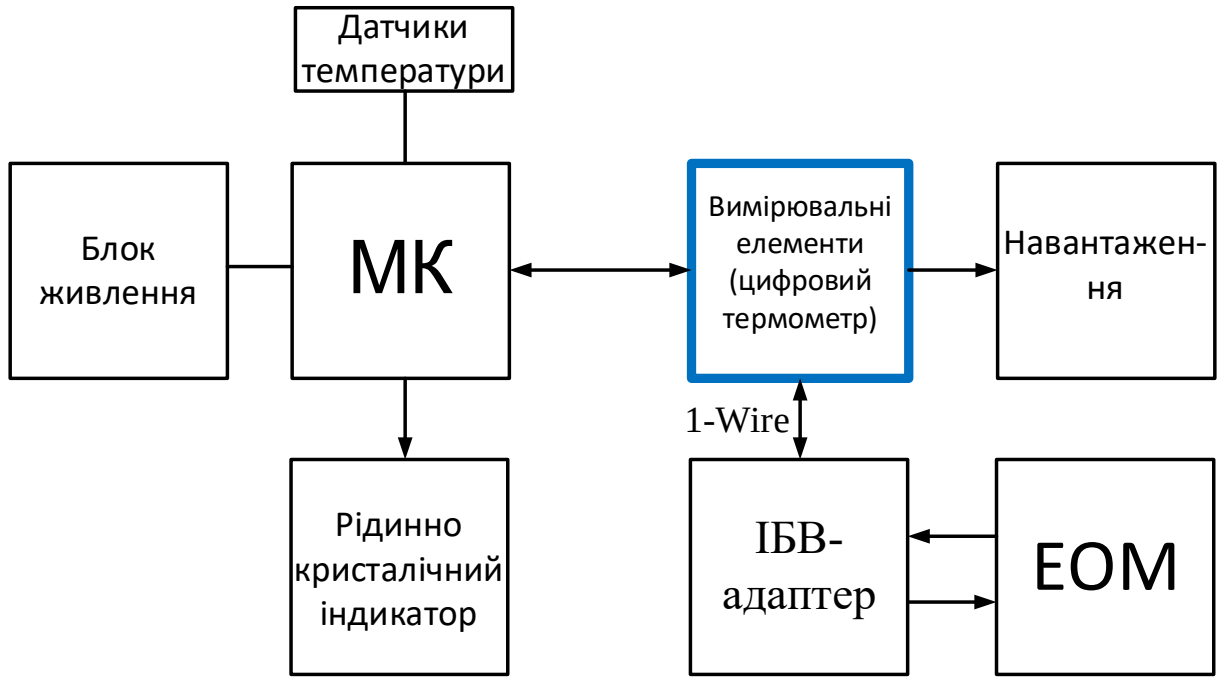


Рисунок 1 – Схема електрична структурна пристрою

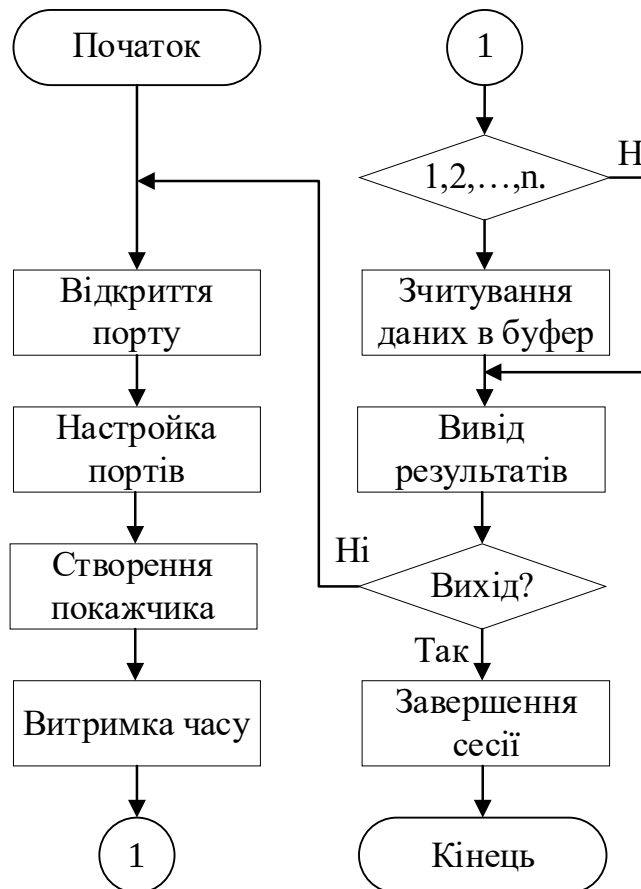


Рисунок 2 – Алгоритм програми

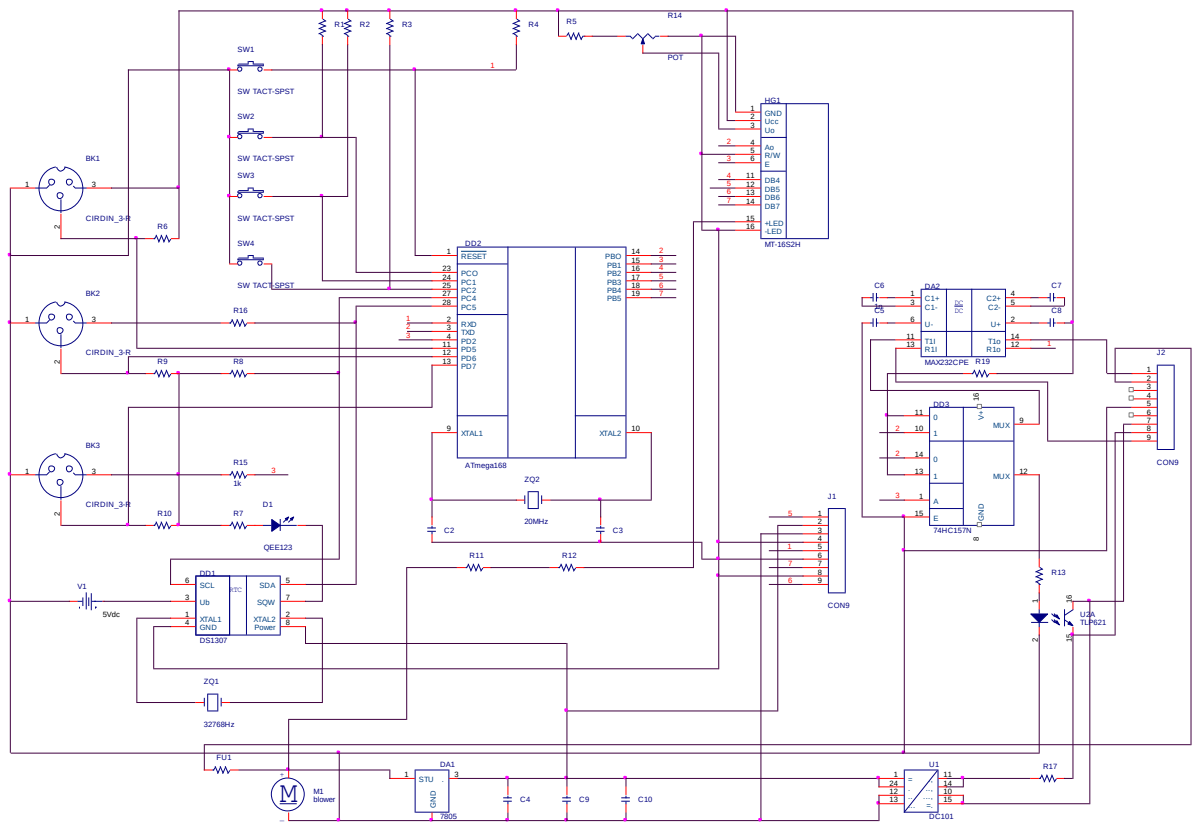


Рисунок 3 – Схема електрична принципова пристрою вимірювання

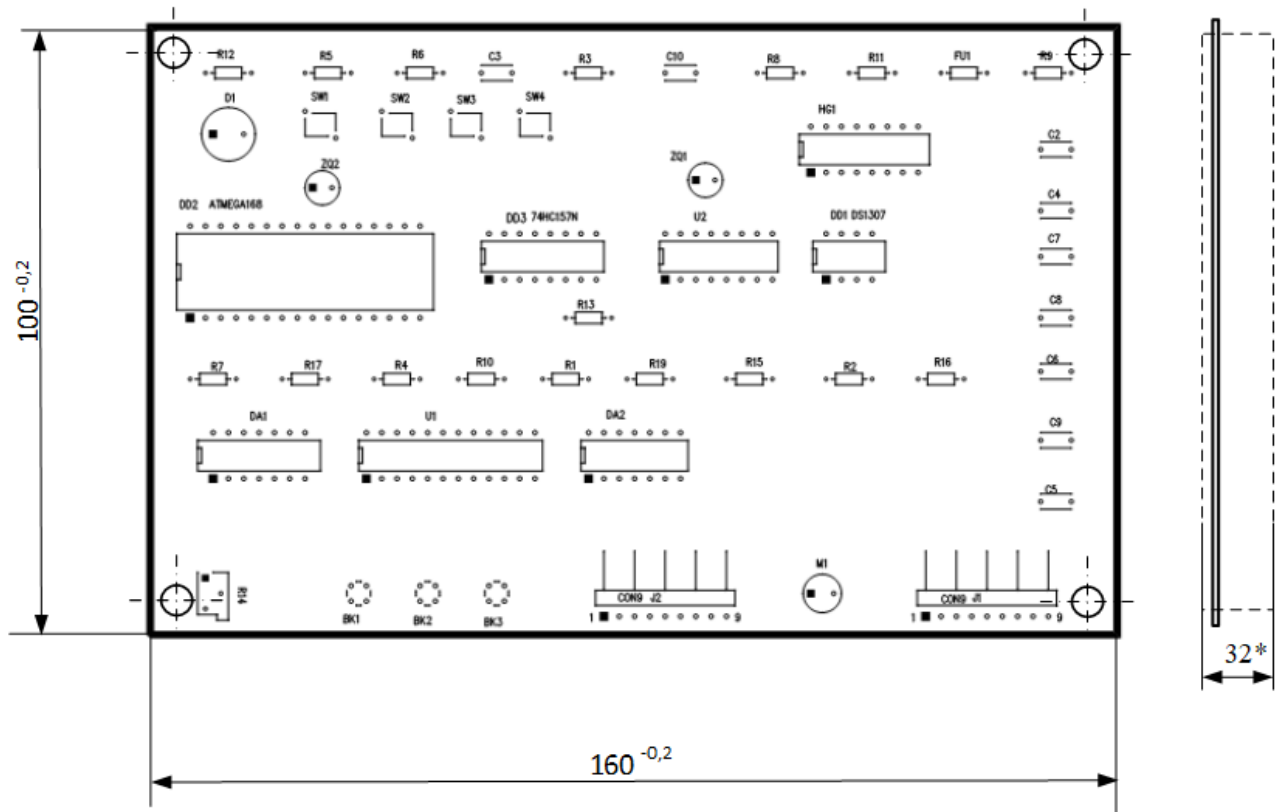


Рисунок 4 – Складальне креслення пристрою вимірювання

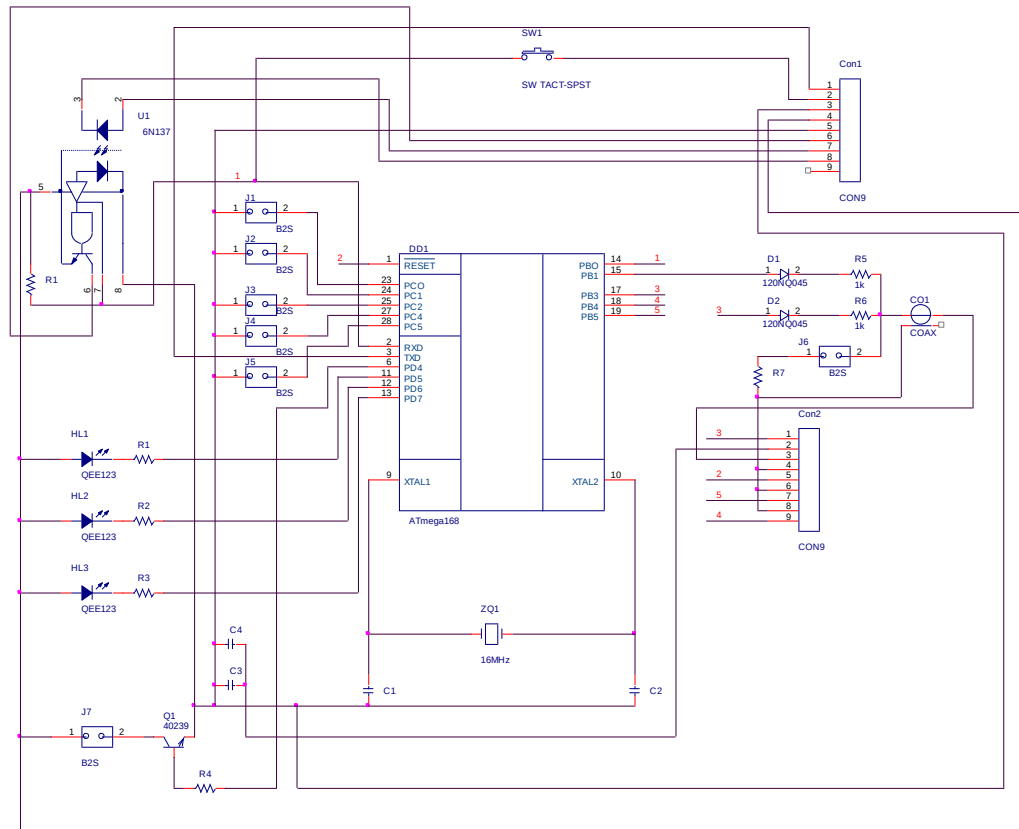


Рисунок 5 – Схема електрична принципова пристрою відображення

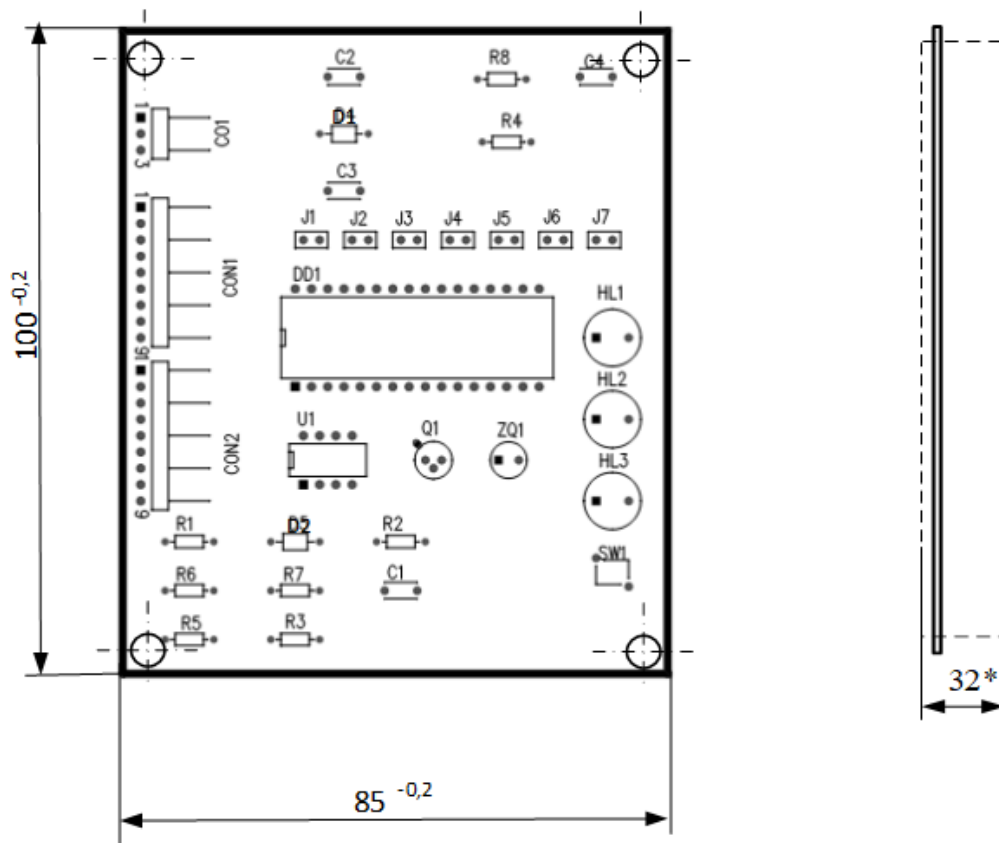


Рисунок 6 - Складальне креслення пристрою відображення

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ**

ПРИСТРІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Пристрій дистанційного контролю температури»

Тип роботи: БДР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 92,8% Схожість 7,18%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи 
(підпис)

Владислав ПАШКО
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи 
(підпис)

Олена СЕМЕНОВА
(прізвище, ініціали)