

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

електротехнічний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Електричні та електронні апарати

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему

«Система автоматизованого керування шафи мікроклімату»

Виконав: студент IV курсу, групи **Е-453сп**

Спеціальності 171 «Електроніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Пристрої систем силової електроніки та
перетворювальної техніки

Керівник

Рецензент

КУЗЬМІН К.С.

(прізвище та ініціали)

Немикіна О.В.

(прізвище та ініціали)

Колпакова О.А.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя - 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

факультет: електротехнічний

Кафедра: Електричні та електронні апарати

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 171 «Електроніка»

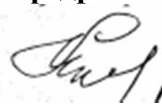
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Пристрої систем сигової електроніки та перетворювальної техніки

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



Андрієнко П.Д.

« 01 » квітня 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Кузьміна Кирила Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **Система автоматизованого керування шафи мікроклімату.**

керівник проекту (роботи) **Немикіна Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.**

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 25 квітня » 2026 року № 197

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 29 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): структурна схема системи автоматизованого керування шафи мікроклімату; схема модуля мікроклімату; вузол живлення модулю; вузол мікроконтролера; вузли цифрових входів та виходів; вузол керування вентиляторами; вузол контролю температури; вузол RS-485; технічна документація на електронні компоненти системи; вимоги до промислових систем автоматизації та забезпечення мікроклімату електротехнічних шаф.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Загальна частина. 2 Спеціальна частина. 3 Організаційно-економічна частина. 4 Висновки 5.

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

Лист 1 Загальна структурна схема Лист 2 Структурна схема модуля мікроклімату Лист 3 Імпульсні перетворювачі постійної напруги Лист 4 Мікроконтролер Лист 5 Цифрові входи Лист 6 Цифрові виходи Лист 7 Цифрові виходи Лист 8 Вузол формування керуючого ШИМ сигналу на вентиляторі Лист 9 Вузол детектування зворотнього зв'язку вентиляторів Лист 10 Температурний датчик Лист 11 RS-485 інтерфейс

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

7. Дата видачі завдання «20» березня 2026 року.

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	
1	Техніко-економічне обґрунтування проекту	19.05.2026	
2	Попередній розрахунок головних елементів апарата	21.05.2026	
3	Повірний розрахунок з висновками про роботоспроможність елементів апарата	25.05.2026	
4	Виконання загального виду виробу, робочих креслень головних вузлів та деталей апарата	29.05.2026	
5	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки проекту	01.06.2026	
6	Узгодження проекту з керівником	03.06.2026	
7	Нормоконтроль та затвердження завідувачем кафедри	05.06.2026	
8	Перевірка керівником пояснювальної записки на антиплагіат	08.06.2026	
9	РЕЦЕНЗУВАННЯ ПРОЄКТУ	09.06.2026	
10	ЗАХИСТ ПРОЄКТУ	з 15.06.2026	
11	Здача бакалаврської роботи до репозитарію	29.06.2026	

Студент(ка)

_____  _____
(підпис)

КУЗЬМІН К.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____  _____
(підпис)

НЕМИКІНА О.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 69 с., 20 рисунків, 6 таблиць, 16 джерел.

Об'єкт дослідження — система автоматизованого керування шафи мікроклімату.

Мета роботи — розробка системи автоматизованого керування шафою мікроклімату для забезпечення стабільних температурних умов роботи електротехнічного обладнання, контролю температури та керування системою вентиляції.

У проекті розроблені наступні питання:

- аналіз існуючих систем мікроклімату;
- розробка структурної схеми системи;
- розробка вузла живлення модуля;
- розробка вузла мікроконтролера;
- розробка вузлів цифрових входів та виходів;
- розробка вузла керування вентиляторами;
- розробка вузла контролю температури;
- розробка вузла RS-485;
- опис алгоритму роботи системи;
- розрахунок економічної ефективності;

СИСТЕМА МІКРОКЛІМАТУ, STM32, RS-485, PT1000, PWM-КЕРУВАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ШАФА КЕРУВАННЯ, PLC, ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	8
1.1 Призначення та область застосування шафи мікроклімату	8
1.2 Аналіз існуючих рішень систем мікроклімату	10
1.3 Технічне обґрунтування дипломного проєкту	21
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	24
2.1 Розробка структурної схеми модуля мікроклімату	24
2.2 Розробка вузла живлення модуля мікроклімату	27
2.3 Розробка вузла мікроконтролера	33
2.4 Розробка вузла цифрових входів	36
2.5 Розробка вузла цифрових виходів	39
2.6 Розробка вузла керування вентиляторами	42
2.7 Розробка вузла зворотного зв'язку вентиляторів	45
2.8 Розробка вузла контролю температури	48
2.9 Розробка вузла RS-485	51
2.10 Опис алгоритму роботи системи	54
2.11 Висновки до розділу	56
3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	58
3.1 Позитивні результати проведення проектування	58
3.2 Методика розрахунку економічної частини	59
3.3 Розрахунок економічної ефективності	68
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	72

ВСТУП

Сучасні системи автоматизації широко застосовуються у промисловості, енергетиці, транспорті та інших сферах. У складі таких систем вживається велика кількість електронного обладнання, стабільна робота якого залежить від умов експлуатації. Одним із важливих факторів є підтримання необхідної температури та вологості всередині електротехнічних шаф, у яких розміщуються елементи систем керування.

Більшість сучасних систем автоматизації розміщується у спеціалізованих електротехнічних шафах, в яких встановлюються програмовані логічні контролери (PLC), блоки живлення, комутаційна апаратура, датчики та інші елементи. У процесі роботи таке обладнання виділяє тепло та є чутливим до змін температури і вологості навколишнього середовища. За відсутності належного контролю мікроклімату температура всередині шафи може перевищувати допустимі значення, що негативно впливає на роботу електронних компонентів. Крім перегріву, через перепади температури всередині шафи може утворюватися конденсат та накопичуватись волога. Подібні фактори здатні призвести до нестабільної роботи обладнання, пошкодження окремих елементів або виникнення аварійних ситуацій.

Проблема підтримання стабільного мікроклімату особливо важлива для шаф, що експлуатуються у складних умовах: на відкритому повітрі, у неопалюваних приміщеннях, виробничих цехах або в середовищах з підвищеною вологістю. Наприклад, системи керування електрозаправними станціями, телекомунікаційними вузлами чи розподільчими електрощитами повинні працювати незалежно від погодних умов, що потребує використання ефективних засобів контролю температури та вологості.

Для вирішення зазначених задач застосовуються спеціалізовані системи мікроклімату, до складу яких входять нагрівачі, вентилятори, датчики температури та вологості, а також пристрої керування. Такі системи дозволяють автоматично підтримувати задані параметри середовища всередині шафи,

забезпечуючи оптимальні умови для функціонування обладнання. Зокрема, при зниженні температури нижче допустимого рівня вмикається нагрівач, при перегріві — система вентиляції, а при підвищенні вологості можуть формуватися відповідні сигнали або виконуватись захисні дії.

У сучасних системах автоматизації для керування обладнанням широко використовуються мікроконтролери та цифрові інтерфейси зв'язку. У даному проєкті мікроконтролер забезпечує контроль температури, керування вентиляторами та обробку сигналів від датчиків. Для передачі даних між модулем мікроклімату та PLC або персональним комп'ютером використовується інтерфейс RS-485, який відзначається високою завадостійкістю та надійністю роботи у промислових умовах.

Виходячи з цього, розробка ефективної системи автоматизованого керування шафою мікроклімату є актуальною задачею, яка має важливе практичне значення. Вона дозволяє підвищити надійність роботи електротехнічного обладнання, зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій та гарантувати стабільність технологічних процесів.

Метою даного дипломного проєкту є розробка системи автоматизованого керування шафою мікроклімату, яка забезпечує контроль температури та вологості, а також керування нагрівальними та вентиляційними пристроями на основі отриманих даних. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати існуючі рішення у сфері систем мікроклімату;
- розробити структурну схему системи;
- здійснити вибір основних компонентів (датчики, виконавчі пристрої, блоки живлення);
- розробити структурну схему модуля керування;
- створити принципову електричну схему системи;
- виконати необхідні технічні розрахунки;
- обґрунтувати вибір елементної бази та архітектури системи.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Призначення та область застосування шафи мікроклімату

Електротехнічні шафи використовуються у більшості сучасних систем автоматизації та призначені для розміщення обладнання керування і захисту. Усередині таких шаф встановлюються PLC, блоки живлення, релейні модулі, комутаційні пристрої, датчики та інші елементи автоматики. Стабільність роботи цього обладнання значною мірою залежить від температури та вологості всередині шафи.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд шафи

У процесі експлуатації електронні компоненти виділяють тепло, що призводить до підвищення температури всередині шафи. У той же час зовнішні фактори, такі як низька температура або підвищена вологість повітря, можуть негативно впливати на роботу обладнання. Це важливо для шаф, які розташовані у виробничих приміщеннях з нестабільним температурним режимом, у

неопалюваних цехах, а також для зовнішніх шаф, які експлуатуються в умовах змінного клімату.

Однією з основних проблем, що виникають при експлуатації електротехнічних шаф, є утворення конденсату. Це явище відбувається внаслідок різниці температур між внутрішнім та зовнішнім середовищем і може призвести до коротких замикань, корозії контактів та виходу з ладу електронних компонентів. Крім того, перегрів обладнання через недостатню вентиляцію або високу щільність розміщення елементів може спричинити зниження ефективності роботи системи або її повну відмову.

Для запобігання зазначеним негативним явищам застосовуються спеціалізовані шафи мікроклімату або системи контролю мікроклімату, які забезпечують підтримання заданих параметрів температури та вологості всередині електротехнічного простору. Такі системи, як правило, включають у себе нагрівальні елементи, вентилятори, датчики температури та вологості, а також пристрої керування, що забезпечують автоматичне регулювання режимів роботи.

Шафи мікроклімату широко застосовуються в різних галузях, зокрема у промисловій автоматизації, енергетиці, телекомунікаційних системах, транспортній інфраструктурі та системах електроживлення. Вони використовуються як у внутрішніх приміщеннях, так і на відкритому повітрі, де обладнання піддається впливу зовнішніх кліматичних факторів. Яскравим прикладом є шафи керування електрозаправними станціями, де необхідно забезпечити стабільну роботу електроніки незалежно від температурних умов навколишнього середовища.

Основними задачами шафи мікроклімату є підтримання оптимальної температури шляхом використання нагрівальних елементів у холодних умовах, забезпечення охолодження за допомогою вентиляції при підвищенні температури, а також контроль рівня вологості для запобігання утворенню конденсату. Автоматизація цих процесів дозволяє значно підвищити надійність роботи

обладнання, зменшити витрати на обслуговування та дає можливість на безперервність технологічних процесів.

1.2 Аналіз існуючих рішень систем мікроклімату

Для підтримання необхідних кліматичних умов в електротехнічних шафах використовуються системи нагріву, охолодження та контролю вологості. Вибір конкретного рішення залежить від умов експлуатації, необхідного рівня автоматизації та вимог до стабільності роботи обладнання. До складу систем мікроклімату зазвичай входять нагрівачі, вентилятори, датчики температури і вологості, а також пристрої керування та живлення.

Розглянемо структуру шафи мікроклімату та її основні складові елементи.

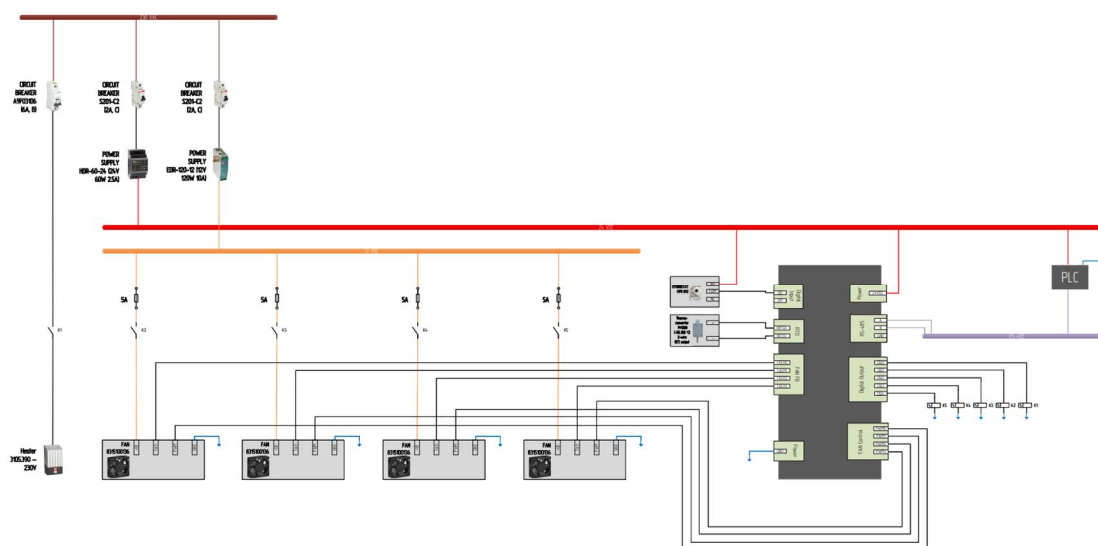


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення загальної структурної схеми

1.2.1 Система нагріву

Для підтримання необхідної температури у холодних умовах широко застосовуються електричні нагрівачі, призначені для монтажу у шафах керування. Основною їх задачею є запобігання зниженню температури та утворенню конденсату всередині шафи.

У даному проєкті в якості нагрівального елемента використовується Rittal SK 3105.390 heater, який працює від мережі змінного струму 230 В та має потужність близько 400–415 Вт. Конструкція нагрівача передбачає наявність вбудованого вентилятора, що забезпечує рівномірний розподіл теплого повітря всередині шафи.

Перевагами таких систем є:

- теплова потужність 400–415 Вт при температурі 10 °С, що дозволяє ефективно підтримувати необхідну температуру;
- наявність вбудованого вентилятора, який забезпечує рівномірний розподіл теплого повітря та зменшує локальний перегрів компонентів;
- можливість роботи при температурі навколишнього середовища від –33 °С до +65 °С, що дозволяє використовувати систему у промислових умовах;
- підтримка живлення від мережі 230 В АС (50/60 Гц), що спрощує інтеграцію у стандартні електротехнічні системи;
- подвійна електрична ізоляція (клас захисту II), що підвищує безпеку експлуатації;
- захист корпусу IP20 та стійкість до тривалої роботи у шафах автоматизації.

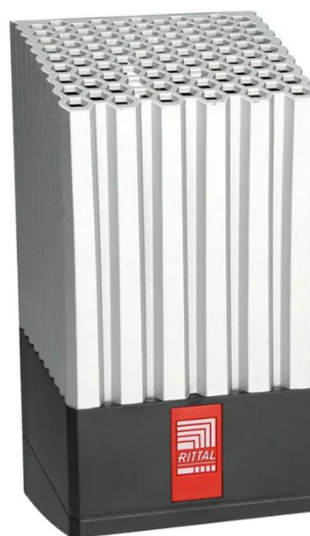


Рисунок 1.3 – Нагрівач Rittal SK 3105.390

1.2.2 Системи охолодження

Для зниження температури у шафах застосовуються системи примусової вентиляції, які базуються на використанні осьових вентиляторів. Вони забезпечують циркуляцію повітря та відведення надлишкового тепла.

У проєкті використано вентилятори ebm-papst 8315100136 fan, які відзначаються високою надійністю, низьким рівнем шуму та можливістю керування за допомогою широтно-імпульсної модуляції (PWM). Додатково вентилятори мають тахометричний вихід (Tach), що дозволяє контролювати їхню швидкість обертання.

Переваги систем охолодження:

- максимальна продуктивність до 175 м³/год, що забезпечує ефективне відведення тепла з електротехнічної шафи;
- висока швидкість обертання — до 13200 об/хв, завдяки чому вентилятор здатний підтримувати стабільне охолодження;
- підтримка PWM-керування, що дозволяє плавно регулювати швидкість обертання залежно від температури всередині шафи;
- наявність тахометричного виходу (Tach), який дає можливість контролювати швидкість обертання та здійснювати діагностику роботи вентилятора;
- широкий діапазон робочих температур від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати вентилятор у промислових умовах;

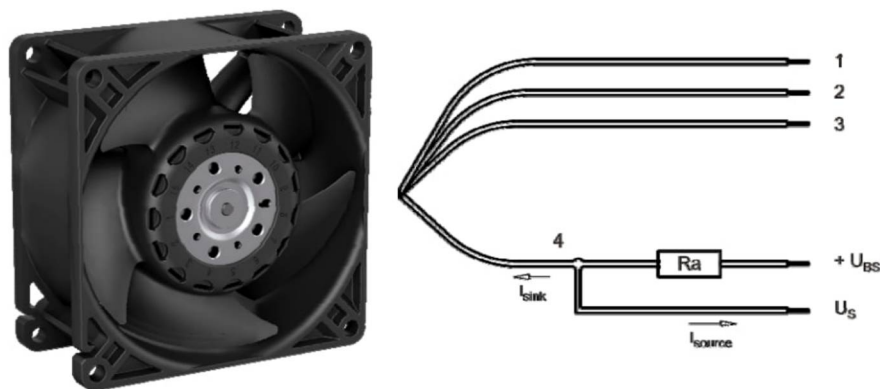


Рисунок 1.4 – Вентилятор ebm-papst 8315100136 fan

1.2.3 Системи контролю вологості

Контроль вологості є важливим фактором для запобігання утворенню конденсату. Для цього використовуються гігростати або датчики вологості.

У даній системі застосовується MFR 012 hygostat, який працює за принципом перемикавання контактів при досягненні заданого рівня вологості. Це просте та надійне рішення, яке не потребує складного налаштування.

Переваги:

- регульований діапазон вологості від 35% до 95%, що дозволяє налаштовувати роботу системи відповідно до умов експлуатації;
- комутаційна здатність до 5 А при напрузі 250 В АС, завдяки чому гігростат може безпосередньо керувати нагрівачами, вентиляторами та іншими виконавчими пристроями;
- робочий температурний діапазон від 0 °С до +60 °С та допустима вологість до 95% без утворення конденсату;
- диференціал перемикавання 4 %, що забезпечує стабільну роботу без частого перемикавання контактів;



Рисунок 1.5 – Датчик вологості MFR 012

1.2.4 Пристрої керування та комутації

Для керування виконавчими пристроями застосовуються реле та мікроконтролери. У проєкті використовується релейний модуль Phoenix Contact RIF-1-RPT-LDP-24DC призначений для комутації електричних навантажень у системах автоматизації та керування. Модуль працює від напруги 24 В DC та підтримує комутацію навантаження до 250 В AC/DC при струмі до 11 А. Наявність вбудованого світлодіодного індикатора дозволяє контролювати стан реле під час роботи системи.

Модуль підтримує Push-in підключення, що спрощує монтаж та підключення провідників у електротехнічній шафі. Для захисту від перенапруг у колі котушки використовується вбудований захисний діод. Реле має механічний ресурс до 30 мільйонів циклів перемикання та може працювати при температурах від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Завдяки компактній конструкції та монтажу на DIN-рейку релейний модуль може використовуватись у системах керування вентиляторами, нагрівачами, освітленням, сигнальними пристроями та іншими виконавчими механізмами.



Рисунок 1.6 – Система реле RIF-1-RPT-LDP-24DC

Для захисту електричних кіл застосовуються автоматичні вимикачі, відібрані відповідно до вимог кожного елемента. Для захисту нагрівача використовується вимикач Acti9 iC60N-B6-1 В 6А. Для захисту блоків живлення напругою 24 В та 12 В застосовуються два вимикачі S200-1P-2A-C-(AC). Загальна система забезпечує захист від перевантажень та коротких замикань.



Рисунок 1.7 – Автоматичний вимикач Acti9 iC60N-B6-1 В 6А



Рисунок 1.8 – Автоматичний вимикач S200-1P-2A-C-(AC)

1.2.5 Системи вимірювання температури

Для точного контролю температури використовуються терморезистивні датчики. У даному проєкті застосовано PT1000 temperature sensor 1m, який працює за принципом зміни опору залежно від температури.

Переваги:

- номінальний опір 1000 Ω при температурі 0 $^{\circ}\text{C}$, що забезпечує вищу чутливість;
- широкий діапазон робочих температур, який у більшості промислових виконань становить від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- стабільна та майже лінійна залежність опору від температури, що спрощує обробку сигналу мікроконтролером;
- стійкість до електромагнітних завад, що є важливим для використання у промислових системах автоматизації;

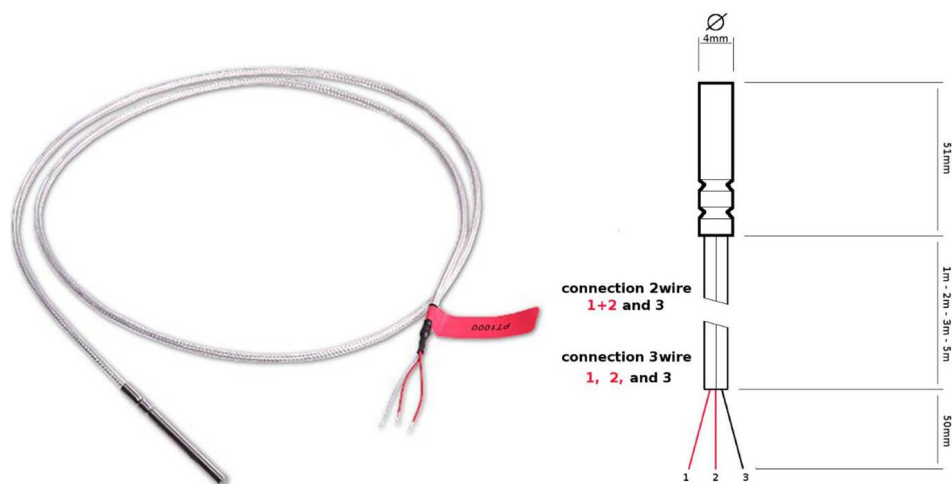


Рисунок 1.9 – Датчик температури PT1000

1.2.6 Системи живлення

Живлення системи здійснюється за допомогою промислового блоку живлення Mean Well HDR-60-24 power supply, який перетворює змінну напругу 230 В у стабілізовану постійну напругу 24 В.

Переваги:

- вихідна напруга 24 В DC та максимальний вихідний струм 2,5 А, що дозволяє використовувати блок живлення для PLC, релейних модулів, датчиків та інших елементів системи автоматизації;
- вихідна потужність 60 Вт при компактних габаритах 52,5 × 90 × 54,5 мм;
- широкий діапазон вхідної напруги від 85 до 264 В AC або від 120 до 370 В DC, завдяки чому блок живлення може працювати у нестабільних електромережах;
- високий ККД до 91 %, що зменшує тепловиділення під час роботи;
- робочий температурний діапазон від –30 °C до +70 °C;



Рисунок 1.10 – Блок живлення Mean Well HDR-60-24 power supply

Для отримання напруги 12 В використовується Power supply EDR-120-12.

Переваги:

- вихідна напруга 12 В DC та максимальний вихідний струм 10 А, що дозволяє використовувати блок живлення для живлення вентиляторів, модулів керування та допоміжних пристроїв;
- вихідна потужність 120 Вт, достатня для стабільної роботи декількох виконавчих пристроїв одночасно;
- широкий діапазон вхідної напруги від 90 до 264 В AC або від 127 до 370 В DC;
- високий ККД до 88 %, що зменшує нагрів блока живлення під час тривалої роботи;
- робочий температурний діапазон від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$;



Рисунок 1.11 – Блок живлення Power supply EDR-120-12

Аналіз існуючих рішень показав, що ефективна система мікроклімату повинна поєднувати засоби нагріву, охолодження та контролю параметрів середовища. Використання сучасних компонентів, таких як вентилятори з PWM-керуванням, точні температурні датчики та надійні блоки живлення, дозволяє створити систему, яка забезпечує стабільну роботу електротехнічного обладнання в різних умовах експлуатації

1.3 Технічне обґрунтування дипломного проєкту

Проведений аналіз існуючих рішень систем мікроклімату показав, що для забезпечення стабільної роботи електротехнічного обладнання необхідне комплексне поєднання засобів нагріву, охолодження та контролю параметрів навколишнього середовища. При цьому використання окремих автономних пристроїв, таких як гігростати або термостати, не забезпечує достатньої гнучкості та точності керування, особливо в умовах змінного навколишнього середовища.

У традиційних системах мікроклімату керування виконавчими пристроями здійснюється за дискретним принципом (ввімкнено/вимкнено), що не дозволяє ефективно реагувати на динамічні зміни температури та вологості. Крім того, відсутність централізованого керування ускладнює моніторинг стану системи та діагностику її роботи.

У зв'язку з цим доцільним є застосування автоматизованої системи керування, яка базується на використанні мікроконтролера та сучасних датчиків. Такий підхід дозволяє надати безперервний контроль параметрів мікроклімату, реалізувати алгоритми керування різної складності та підвищити загальну ефективність системи.

У даному дипломному проєкті запропоновано систему автоматизованого керування шафою мікроклімату, яка включає в себе наступні основні компоненти:

- датчик температури типу PT1000 для точного вимірювання температури;
- гігростат для контролю рівня вологості;
- вентилятори з можливістю керування швидкістю обертання;
- електричний нагрівач для підтримання температури в холодних умовах;
- релейний модуль для комутації силових ланцюгів;
- блоки живлення для забезпечення необхідних рівнів напруги;
- інтерфейс зв'язку RS-485 для інтеграції з верхнім рівнем керування.

Вибір датчика температури типу PT1000 обумовлений його високою точністю, стабільністю характеристик та широким діапазоном вимірювання. Це

дозволяє отримувати достовірні дані про стан середовища всередині шафи та реалізовувати точне регулювання температури.

Використання вентиляторів з підтримкою широтно-імпульсної модуляції (PWM) дає можливість плавно змінювати швидкість обертання, що забезпечує більш ефективне охолодження та зниження енергоспоживання у порівнянні з традиційними системами з фіксованою швидкістю.

Для керування нагрівачем застосовується релейний модуль, який забезпечує гальванічну розв'язку між силовою та керуючою частинами системи. Це підвищує безпеку експлуатації та дозволяє керувати навантаженням, що працює від мережі змінного струму 230 В.

Живлення системи організовано з використанням промислових блоків живлення, які забезпечують стабільну роботу всіх компонентів. Додатково застосовується DC-DC перетворювач для отримання необхідних рівнів напруги для живлення вентиляторів та інших елементів.

Важливим елементом системи є використання інтерфейсу RS-485, який дозволяє здійснювати обмін даними між модулем мікроклімату та верхнім рівнем керування, таким як програмований логічний контролер або персональний комп'ютер. Це забезпечує можливість дистанційного моніторингу, налаштування параметрів та інтеграції системи у загальну автоматизовану систему підприємства.

Запропонована система забезпечує наступні переваги:

- автоматичне підтримання заданих параметрів температури та вологості;
- підвищення надійності роботи електротехнічного обладнання;
- зниження ризику утворення конденсату;
- можливість гнучкого налаштування алгоритмів керування;
- інтеграцію у сучасні системи автоматизації.

Таким чином, розробка системи автоматизованого керування шафою мікроклімату є технічно обґрунтованою та доцільною, оскільки вона дозволяє значно підвищити ефективність та надійність роботи електротехнічних систем у різних умовах експлуатації.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної схеми модуля мікроклімату

Сучасні системи автоматизації вимагають використання надійних та функціональних засобів контролю параметрів навколишнього середовища всередині електротехнічних шаф. Особливо актуальним це є для промислових об'єктів, шаф автоматизації, систем керування технологічними процесами, а також обладнання, що працює в умовах підвищеної вологості, низьких температур або значних перепадів температур. У подібних умовах всередині шафи може утворюватися конденсат, виникати перегрів елементів або переохолодження обладнання, що негативно впливає на стабільність та надійність роботи всієї системи.

Для забезпечення стабільних умов експлуатації було розроблено модуль мікроклімату, який виконує функції контролю температури, керування вентиляторами, обробки сигналів датчиків та передачі інформації до верхнього рівня автоматизації через інтерфейс RS-485.

Основною задачею модуля є:

- контроль температури всередині шафи;
- керування системою вентиляції;
- керування нагрівачем;
- контроль стану підключених виконавчих пристроїв;
- передача даних до PLC або SCADA-системи;
- забезпечення надійної та безпечної роботи обладнання.

Структурна схема модуля мікроклімату наведена на рисунку 2.1.

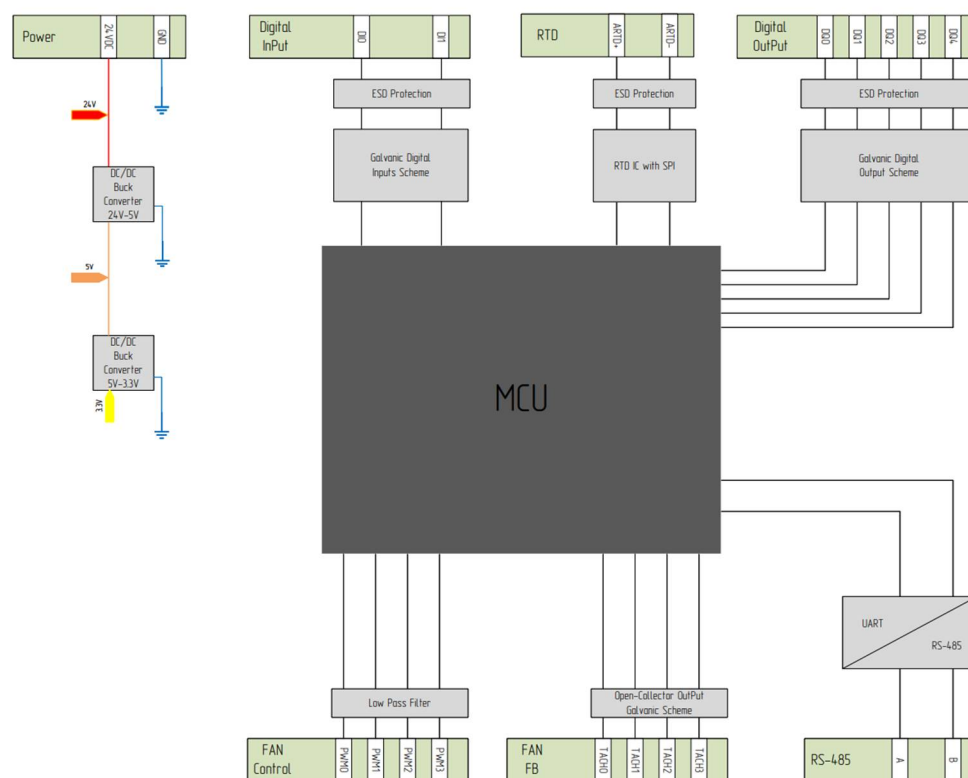


Рисунок 2.1 – Структурна схема модуля мікроклімату

В основі системи використовується мікроконтролер STM32F103C8T6, який виконує обробку сигналів з датчиків, керування виконавчими елементами та обмін даними із зовнішніми пристроями. Використання мікроконтролера STM32 дозволяє забезпечити достатню кількість периферійних інтерфейсів, високу швидкість та підтримку сучасних цифрових інтерфейсів зв'язку.

Модуль живлення системи забезпечує перетворення вхідної напруги 24 В у необхідні для роботи внутрішніх вузлів напруги 5 В та 3.3 В. Для цього використовується імпульсний понижувальний перетворювач, який характеризується високим коефіцієнтом корисної дії та низьким рівнем тепловиділення. Напруга 5 В використовується для живлення окремих периферійних вузлів, а 3.3 В — для живлення мікроконтролера STM32 та цифрових інтерфейсів.

Для контролю температури в системі використовується датчик типу PT1000. Даний тип датчиків широко застосовується в промисловій автоматизації завдяки високій точності вимірювання, стабільності характеристик та стійкості до електромагнітних завад. Обробка сигналу від PT1000 здійснюється спеціалізованою мікросхемою MAX31865, яка реалізує перетворення сигналу RTD-датчика у цифровий формат для подальшої обробки мікроконтролером через інтерфейс SPI.

Для обміну даними із зовнішніми системами автоматизації використовується інтерфейс RS-485. Даний інтерфейс є промисловим стандартом для передачі даних на великі відстані та характеризується високою завадостійкістю. Перетворення сигналів UART мікроконтролера у диференціальний інтерфейс RS-485 виконується за допомогою мікросхеми MAX485.

Керування вентиляторами системи охолодження реалізується за допомогою PWM-сигналів, що формуються мікроконтролером. Це дозволяє плавно регулювати швидкість обертання вентиляторів залежно від температури всередині шафи, зменшити енергоспоживання та рівень шуму системи.

Для контролю працездатності вентиляторів у системі реалізовано вузол зворотного зв'язку тахометричних сигналів. Отримані імпульси з вентиляторів обробляються компаратором та надходять до мікроконтролера для подальшого аналізу швидкості обертання.

Окремими вузлами системи є цифрові входи та цифрові виходи. Цифрові входи призначені для прийому сигналів від зовнішніх пристроїв автоматики, а цифрові виходи — для керування виконавчими пристроями системи. Для забезпечення електричної ізоляції та підвищення завадостійкості у вузлах цифрових входів та виходів застосовано оптрони.

Для підвищення надійності роботи системи у схемі передбачено захист від перенапруг та електромагнітних завад за допомогою TVS-діодів, фільтруючих конденсаторів та захисних резисторів.

Отже, розроблена структурна схема модуля мікроклімату дозволяє реалізувати повноцінну систему автоматизованого контролю температури та керування мікрокліматом електротехнічної шафи з можливістю інтеграції у промислові системи автоматизації.

2.2 Розробка вузла живлення модуля мікроклімату

Одним із основних вузлів системи автоматизованого керування шафи мікроклімату є вузол живлення. Від стабільності та надійності його роботи залежить коректне функціонування мікроконтролера, цифрових інтерфейсів, датчиків та виконавчих вузлів системи. Основним призначенням вузла живлення є перетворення вхідної напруги 24 В у стабілізовані напруги 5 В та 3.3 В, необхідні для живлення електронних компонентів модуля.

У сучасних системах промислової автоматизації найбільш доцільним є використання імпульсних понижувальних перетворювачів напруги. На відміну від лінійних стабілізаторів, імпульсні перетворювачі характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, меншим тепловиділенням та можливістю роботи при значних струмах навантаження. Це особливо важливо для систем, що працюють у замкненому просторі електротехнічної шафи.

Структурна схема вузла живлення наведена на рисунку 2.2.

Імпульсні перетворювачі постійної напруги

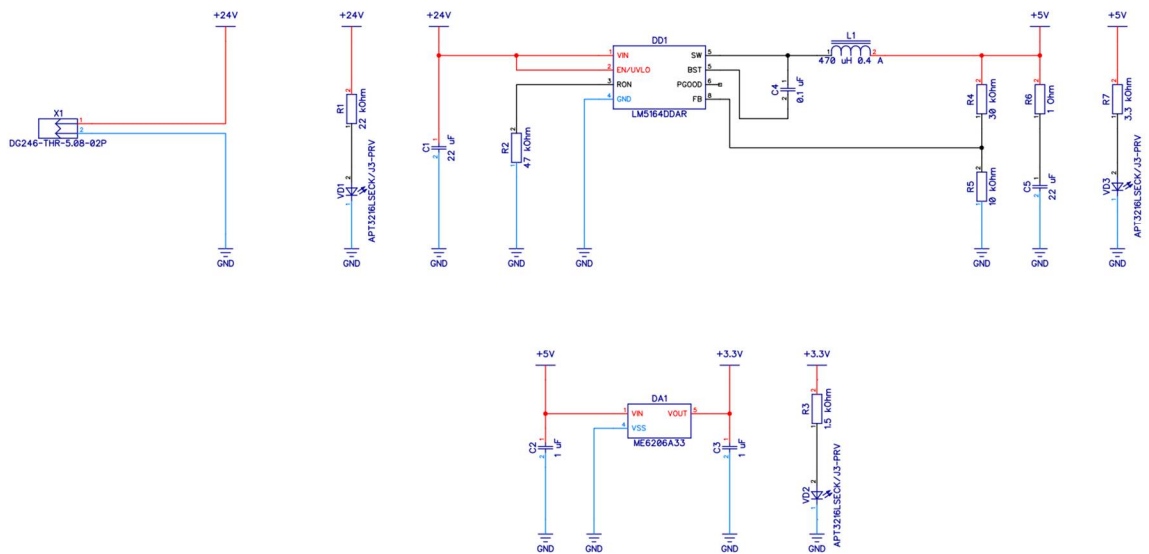


Рисунок 2.2 – Схема вузла живлення модуля мікроклімату

Для перетворення напруги 24 В у 5 В було обрано імпульсний понижувальний DC-DC перетворювач LM5164DDAR. Дана мікросхема характеризується широким діапазоном вхідних напруг, високою енергоефективністю та можливістю роботи в промислових системах автоматизації.

Основними перевагами мікросхеми LM5164 є:

- діапазон вхідної напруги: від 6 В до 100 В;
- максимальний вихідний струм: до 1 А;
- регульована вихідна напруга;
- частота перемикання: до 1 МГц;
- власний струм споживання без навантаження: 10.5 мкА;
- струм у режимі вимкнення: 3 мкА;
- робочий температурний діапазон: від -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$;
- ККД перетворювача може досягати 88–90 % залежно від режиму роботи та параметрів навантаження.

Напруга 5 В використовується для живлення окремих периферійних вузлів системи, а також є вхідною напругою для додаткового стабілізатора 3.3 В.

Для формування напруги 3.3 В використовується лінійний стабілізатор ME6206A33. Даний стабілізатор забезпечує стабільне живлення мікроконтролера STM32F103C8T6 та інших цифрових компонентів системи.

Застосування окремого стабілізатора 3.3 В дозволяє:

- знизити рівень пульсацій;
- підвищити стабільність роботи мікроконтролера;
- зменшити вплив імпульсних завад;
- забезпечити стабільну роботу SPI та UART інтерфейсів.

Для забезпечення стабільної роботи імпульсного перетворювача у схемі використовуються вхідні та вихідні фільтруючі конденсатори. Вони виконують функцію згладжування пульсацій та компенсації короточасних змін струму навантаження.

Важливим елементом вузла живлення є дросель L1. Його основним призначенням є накопичення енергії під час роботи імпульсного перетворювача та зменшення рівня пульсацій струму.

У даному проєкті було обрано дросель номіналом 470 мкГн. Вибір номіналу здійснювався з урахуванням:

- вхідної напруги 24 В;
- вихідної напруги 5 В;
- частоти перемикання перетворювача;
- сумарного струму навантаження всіх вузлів системи;
- допустимого рівня пульсацій струму.

Сумарний струм споживання всіх вузлів модуля становить приблизно 250–300 мА, що забезпечує значний запас по струму для стабільної роботи системи.

Для захисту вузла живлення від імпульсних перенапруг та електромагнітних завад у схемі використовуються TVS-діоди та фільтруючі конденсатори. Використання захисних компонентів особливо важливе у промислових умовах експлуатації, де можливі перехідні процеси та наведені завади від силового обладнання.

У схемі також передбачено світлодіодну індикацію наявності живлення. Для зменшення енергоспоживання та уникнення надмірної яскравості світлодіодів струм індикації було обмежено до 1 мА шляхом правильного підбору струмообмежувальних резисторів.

Для перевірки правильності вибору імпульсного перетворювача постійної напруги було виконано розрахунок основних електричних параметрів вузла живлення. Вхідна напруга вузла становить 24 В, а вихідна напруга імпульсного перетворювача — 5 В. Напруга 5 В використовується для живлення окремих периферійних вузлів та як вхідна напруга для лінійного стабілізатора 3.3 В, який забезпечує живлення мікроконтролера та цифрових компонентів системи. 0,2 А и 0,1 А — розрахункові струми з запасом.

Вихідна напруга імпульсного перетворювача задається резистивним подільником зворотного зв'язку R3 та R4, підключеним до виводу FB мікросхеми LM5164. Номінали резисторів обрані відповідно до рекомендацій виробника та забезпечують формування стабілізованої вихідної напруги 5 В.

Вихідна потужність перетворювача визначається за формулою:

$$P_{\text{вих}} = U_{\text{вих}} * I_{\text{вих}} , \quad (2.1)$$

Підставивши значення вихідної напруги та струму, отримуємо:

$$P_{\text{вих}} = 5 * 0.2 = 1 \text{ Вт}$$

Вхідна потужність перетворювача визначається за формулою:

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta} , \quad (2.2)$$

Після обчислення маємо:

$$P_{\text{вх}} = \frac{1}{0.88} = 1.14 \text{ Вт}$$

Вхідний струм перетворювача визначається за формулою:

$$I_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} , \quad (2.3)$$

Виконавши розрахунок, отримуємо:

$$I_{\text{вх}} = \frac{1.14}{24} = 48 \text{ мА}$$

Розрахунок коефіцієнта заповнення.

Для понижувального перетворювача:

$$D = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} , \quad (2.4)$$

$$D = \frac{5}{24} = 0.208 = 20.8 \%$$

Перевірка пульсацій струму дроселя.

На схемі використовується: $L1 = 470 \text{ мкГн}$

Пульсація струму визначається за формулою:

$$\Delta IL = \frac{U_{\text{вих}} * (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}})}{(U_{\text{вх}} * L * f)}, \quad (2.5)$$
$$\Delta IL = \frac{5 * (24 - 5)}{(24 * 470 * 10^{-6} * 35000)} = 0,24 \text{ А}$$

Перевірка максимального струму дроселя.

Максимальний струм:

$$IL_{\text{max}} = I_{\text{вих}} + \frac{\Delta IL}{2}, \quad (2.6)$$
$$IL_{\text{max}} = 0,2 + \frac{0,24}{2} = 0,32 \text{ А}$$

Оскільки допустимий струм дроселя $L1$ становить $0,4 \text{ А}$, умова $0,32 \text{ А} < 0,4 \text{ А}$ виконується.

Перевірка стабілізатора $3,3 \text{ В}$.

Потужність втрат визначається за формулою:

$$P_{\text{втр}} = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}) * I, \quad (2.7)$$
$$P_{\text{втр}} = (5 - 3,3) * 0,1 = 0,17 \text{ Вт}$$

Отже, виконані розрахунки підтверджують правильність вибору імпульсного перетворювача LM5164, дроселя $L1$ номіналом 470 мкГн та стабілізатора ME6206A33. Вузол живлення забезпечує необхідні напруги 5 В та 3.3 В , має запас за струмом і може стабільно працювати у складі системи автоматизованого керування шафи мікроклімату.

2.3 Розробка вузла мікроконтролера

Центральним елементом модуля мікроклімату є вузол мікроконтролера, який забезпечує обробку даних із датчиків, керування виконавчими пристроями, формування PWM-сигналів для вентиляторів, а також обмін даними із зовнішніми системами автоматизації через інтерфейс RS-485.

Схема вузла мікроконтролера наведена на рисунку 2.3.

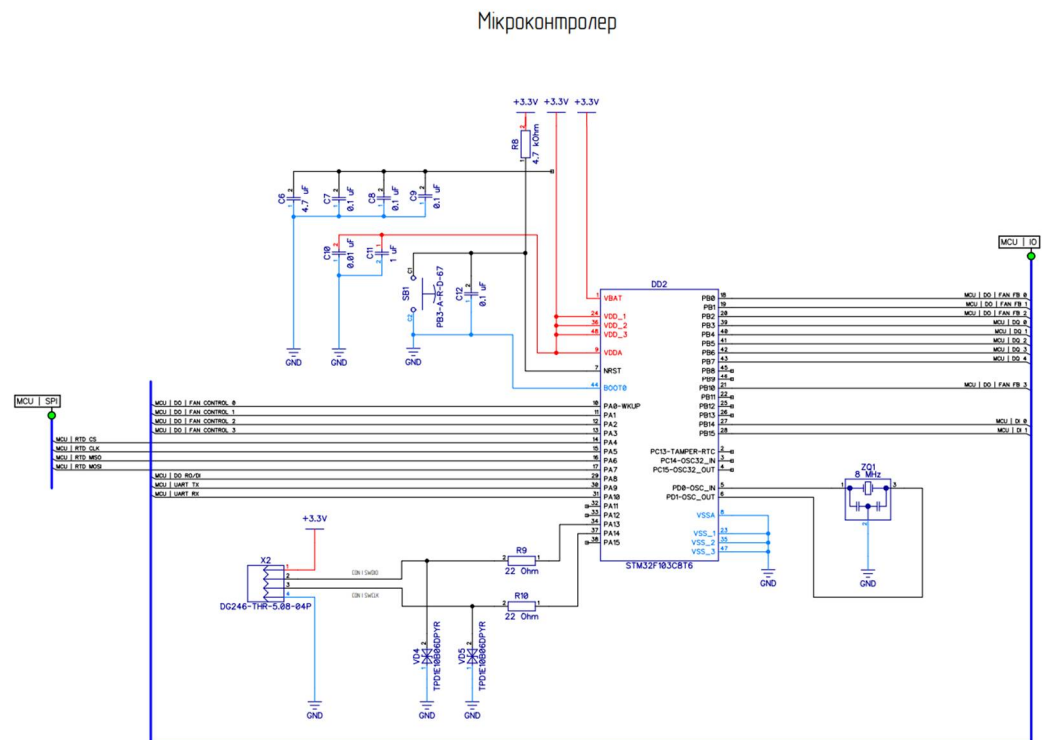


Рисунок 2.3 – Схема вузла мікроконтролера

У якості основного мікроконтролера системи було обрано STM32F103C8T6. Даний мікроконтролер побудований на базі 32-бітного ядра ARM Cortex-M3 та широко використовується у вбудованих системах і промисловій автоматизації.

Основними перевагами STM32F103C8T6 є:

- тактова частота ядра — до 72 МГц;
- обсяг Flash-пам'яті — 64 КБ;
- обсяг SRAM — 20 КБ;

- напруга живлення — від 2.0 В до 3.6 В;
- до 37 ліній GPIO;
- два 12-бітних АЦП;
- підтримка інтерфейсів UART, SPI, I2C, CAN та USB;
- наявність PWM-таймерів;
- підтримка режимів енергозбереження;
- робочий температурний діапазон — від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.

Використання STM32 дозволяє реалізувати одночасну роботу декількох функціональних вузлів системи без втрати продуктивності. Це особливо важливо для даного проєкту, оскільки мікроконтролер повинен одночасно:

- обробляти сигнали від датчика температури;
- формувати PWM-сигнали керування вентиляторами;
- приймати тахометричні сигнали від вентиляторів;
- обробляти цифрові входи та виходи;

На відміну від платформ типу Arduino UNO або Arduino Nano, мікроконтролер STM32 має значно більшу обчислювальну потужність, більшу кількість апаратних периферійних модулів та підтримує багатозадачну обробку сигналів у реальному часі. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу системи при великій кількості одночасно активних периферійних вузлів.

Для формування тактового сигналу мікроконтролера використовується кварцовий резонатор CSTNE8M00G550000R0 з частотою 8 МГц. Використання зовнішнього кварцового резонатора дозволяє:

- підвищити точність тактування;
- забезпечити стабільну роботу UART та SPI;
- зменшити вплив температурних змін на частоту генерації;
- підвищити стабільність роботи системи.

У схемі також застосовуються конденсатори малої ємності, які виконують функцію фільтрації та стабілізації напруги живлення мікроконтролера. Розв'язуючі конденсатори встановлюються максимально близько до виводів

живлення мікроконтролера для зменшення рівня високочастотних завад та забезпечення стабільної роботи цифрової логіки.

Для захисту мікроконтролера від імпульсних перенапруг та електростатичних розрядів у схемі використовується TVS-діод TPD1E10B06DPYR. Використання TVS-захисту дозволяє підвищити стійкість системи до електромагнітних завад та аварійних режимів роботи.

У вузлі мікроконтролера також передбачено кнопку скидання (RESET), яка використовується для перезапуску системи під час налагодження або виникнення аварійних ситуацій.

Живлення мікроконтролера здійснюється від стабілізованої напруги 3.3 В, сформованої вузлом живлення системи. Використання окремої лінії живлення 3.3 В дозволяє забезпечити стабільну роботу цифрових інтерфейсів та внутрішніх периферійних модулів мікроконтролера.

Мікроконтролер STM32F103C8T6 взаємодіє з іншими вузлами системи за допомогою цифрових інтерфейсів:

- SPI — для обміну даними з MAX31865;
- UART — для роботи з MAX485;
- GPIO — для цифрових входів та виходів;
- PWM — для керування вентиляторами;
- таймерів та переривань — для обробки тахометричних сигналів.

Завдяки використанню апаратних таймерів мікроконтролер здатний одночасно обробляти сигнали від декількох вентиляторів та формувати незалежні PWM-сигнали для керування їх швидкістю обертання.

Для індикації наявності живлення та роботи системи у схемі використовується світлодіодна індикація. З метою зменшення енергоспоживання та надмірної яскравості струм світлодіодів було обмежено до 1 мА.

За результатами маємо, що розроблений вузол мікроконтролера забезпечує централізоване керування всіма функціональними вузлами системи мікроклімату, має достатню продуктивність для роботи у реальному часі та відповідає вимогам сучасних промислових систем автоматизації

2.4 Розробка вузла цифрових входів

Для забезпечення взаємодії модуля мікроклімату із зовнішніми системами автоматизації у проєкті було розроблено вузол цифрових входів. Основним призначенням даного вузла є прийом та обробка зовнішніх дискретних сигналів напругою 24 В, що широко використовується у промислових системах керування.

Схема вузла цифрових входів наведена на рисунку 2.4.

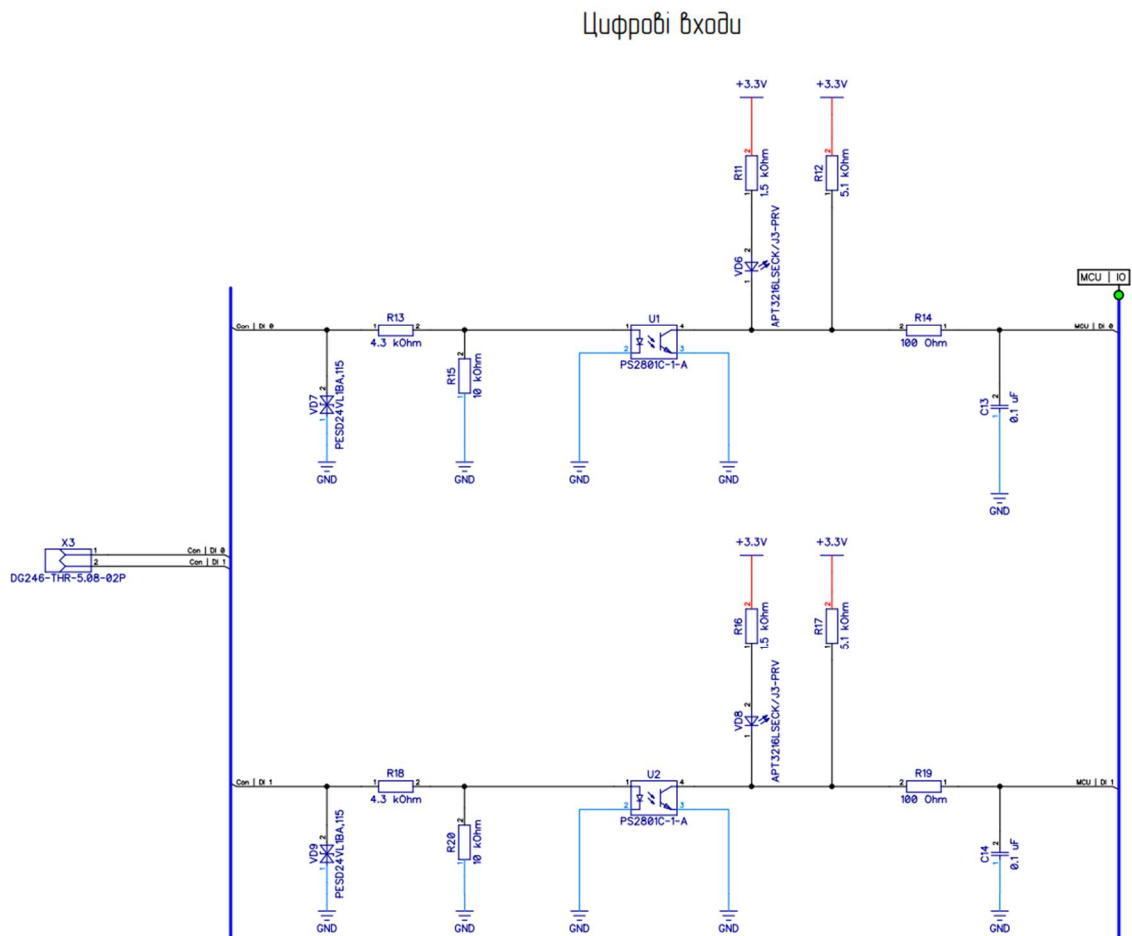


Рисунок 2.4 – Схема вузла цифрових входів

У промисловій автоматизації цифрові входи використовуються для:

- прийому сигналів від кнопок;
- підключення кінцевих вимикачів;
- підключення аварійних датчиків;
- отримання сигналів від PLC;
- контролю стану зовнішнього обладнання.

Оскільки зовнішні сигнали можуть містити значні електромагнітні завади та імпульсні перенапруги, при розробці вузла особлива увага приділялася захисту мікроконтролера та забезпеченню електричної ізоляції.

Для гальванічної розв'язки зовнішнього кола та внутрішньої логіки мікроконтролера використовується оптрон PS2801C-1-A. Використання оптронної ізоляції дозволяє:

- захистити мікроконтролер від перенапруг;
- зменшити вплив промислових завад;
- підвищити надійність системи;
- уникнути пошкодження цифрових входів при аварійних режимах.

Принцип роботи вузла полягає у тому, що при подачі зовнішньої напруги 24 В через струмообмежувальний резистор відбувається засвічування внутрішнього світлодіода оптрона. Фототранзистор оптрона переходить у відкритий стан та формує логічний сигнал для мікроконтролера.

Для обмеження струму через світлодіод оптрона використовується резистор номіналом 4.3 кОм. Даний номінал було обрано з урахуванням:

- напруги живлення 24 В;
- допустимого струму світлодіода оптрона;
- необхідного коефіцієнта передачі струму;
- зменшення тепловиділення.

Для захисту входу від імпульсних перенапруг у схемі використовується TVS-діод PESD24VL1BA115. Даний елемент забезпечує захист від короткочасних високовольтних імпульсів, які можуть виникати у промислових мережах.

Додатково у вузлі використовуються фільтруючі конденсатори ємністю 0.1 мкФ. Вони забезпечують:

- пригнічення високочастотних завад;
- зменшення впливу імпульсних перешкод;
- стабілізацію сигналу на вході мікроконтролера.

У схемі також передбачено світлодіодну індикацію активності цифрового входу. При появі сигналу на вході активується світлодіод, що дозволяє виконувати швидку візуальну діагностику стану системи під час налагодження та експлуатації.

Для зменшення яскравості світлодіодної індикації та зниження енергоспоживання струм світлодіода було обмежено до 1 мА шляхом правильного підбору струмообмежувального резистора.

Під час розробки вузла цифрових входів було враховано вимоги промислової автоматизації щодо:

- електромагнітної сумісності;
- захисту від перенапруг;
- стійкості до завад;
- гальванічної ізоляції;
- надійності роботи при тривалій експлуатації.

Застосування оптронної ізоляції дозволяє безпечно підключати модуль до зовнішніх систем керування та забезпечує додатковий рівень захисту мікроконтролера.

У результаті бачимо, що розроблений вузол цифрових входів забезпечує надійний прийом дискретних сигналів 24 В, має високий рівень завадостійкості та відповідає вимогам промислових систем автоматизації.

2.5 Розробка вузла цифрових виходів

Для керування виконавчими пристроями системи мікроклімату у проєкті було розроблено вузол цифрових виходів. Основним призначенням даного вузла є передача керуючих сигналів від мікроконтролера до зовнішніх навантажень, таких як реле, контактори, сигнальні пристрої або інші елементи автоматики.

Схема вузла цифрових виходів наведена на рисунку 2.5.

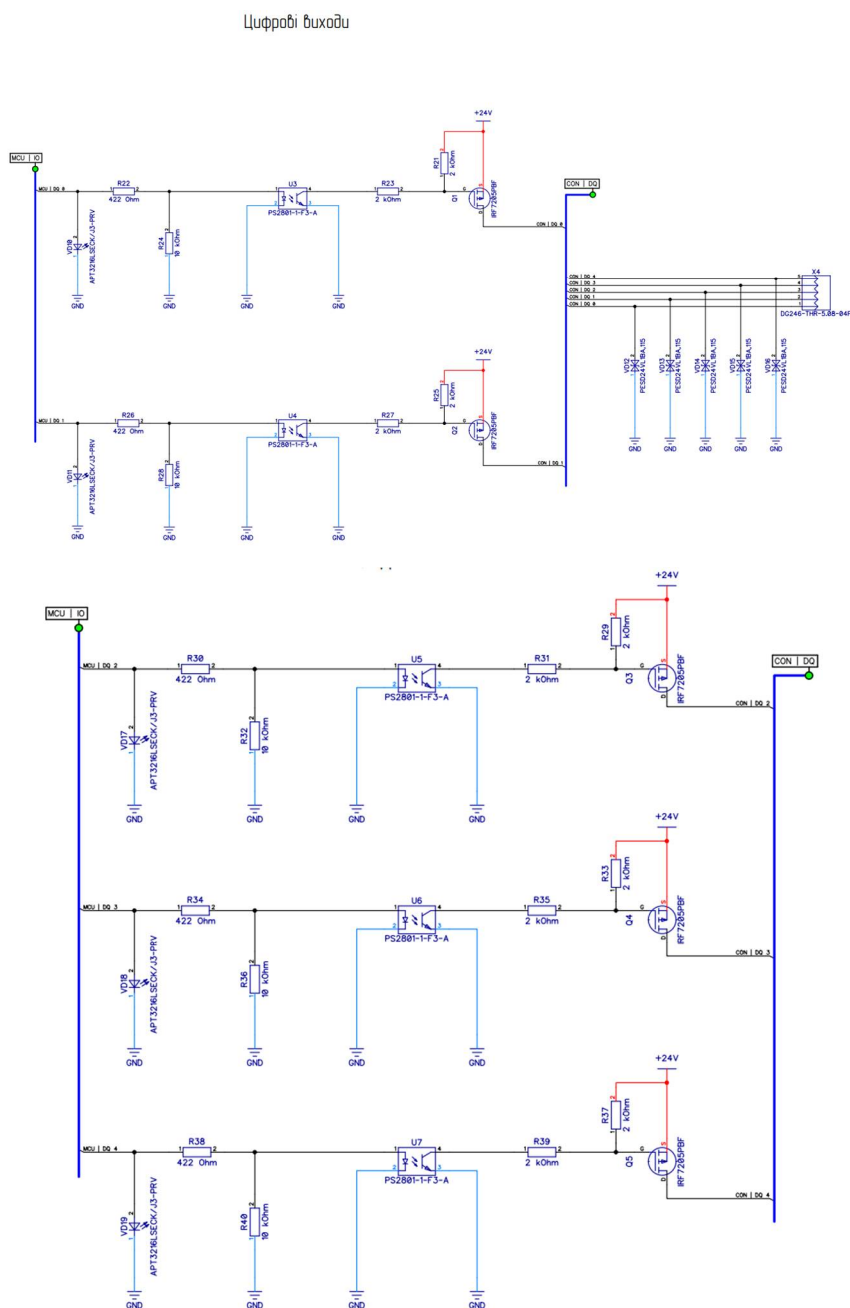


Рисунок 2.5 – Схема вузлів цифрових виходів

У промислових системах автоматизації цифрові виходи використовуються для:

- увімкнення нагрівачів;
- керування вентиляторами;
- активації реле;
- формування аварійних сигналів;
- керування зовнішніми виконавчими пристроями.

Однією з основних вимог до вузла цифрових виходів є забезпечення електричної ізоляції між мікроконтролером та зовнішнім силовим колом. Для реалізації гальванічної розв'язки у схемі використовується оптрон PS2801-1-F3-A.

Використання оптронної ізоляції дозволяє:

- захистити мікроконтролер від перенапруг;
- підвищити завадостійкість системи;
- уникнути впливу силового кола на цифрову частину;
- підвищити загальну надійність роботи модуля.

Керування навантаженням здійснюється за допомогою MOSFET-транзистора IRF7205PBF. Використання MOSFET-транзистора забезпечує:

- високу швидкість перемикання;
- низькі втрати потужності;
- мале тепловиділення;
- можливість роботи з імпульсними сигналами;
- високу надійність роботи.

Принцип роботи вузла полягає у тому, що мікроконтролер формує керуючий сигнал, який через оптрон передається на затвор MOSFET-транзистора. При відкриванні транзистора відбувається комутація навантаження.

Для стабільної роботи транзистора у схемі застосовано резистори підтяжки та струмообмежувальні резистори. Вони забезпечують:

- стабілізацію роботи затвора;
- обмеження імпульсних струмів;

- захист від помилкового спрацювання;
- зменшення впливу електромагнітних завад.

Для захисту вузла від імпульсних перенапруг використовується TVS-діод PESD24VL1BA115. Його основним призначенням є:

- захист MOSFET-транзистора;
- пригнічення імпульсних перенапруг;
- підвищення стійкості до завад;
- захист при комутації індуктивного навантаження.

У вузлі також передбачено світлодіодну індикацію стану цифрового виходу. Світлодіод дозволяє візуально контролювати стан виходу під час роботи системи та виконувати швидку діагностику.

Для забезпечення комфортної яскравості світлодіодів та зменшення енергоспоживання струм індикації було обмежено до 1 мА шляхом правильного підбору струмообмежувальних резисторів.

При розробці вузла цифрових виходів особлива увага приділялася:

- електромагнітній сумісності;
- захисту від перенапруг;
- надійності комутації;
- тепловому режиму роботи;
- гальванічній ізоляції.

Завдяки використанню MOSFET-транзистора вдалося зменшити втрати потужності та надати стабільну роботу вузла навіть при тривалому режимі комутації навантаження.

Вузол цифрових виходів дозволяє безпечно керувати зовнішніми пристроями автоматики та забезпечує сумісність системи мікроклімату із промисловими системами керування.

Отже, розроблений вузол цифрових виходів забезпечує надійну комутацію виконавчих пристроїв, має високий рівень завадостійкості та відповідає вимогам сучасних промислових систем автоматизації.

2.6 Розробка вузла керування вентиляторами

Одним із основних елементів системи мікроклімату є вузол керування вентиляторами. Його основним призначенням є регулювання швидкості обертання вентиляторів системи охолодження залежно від температури всередині шафи. Використання активного керування вентиляторами дозволяє підтримувати необхідний температурний режим, зменшити енергоспоживання та рівень шуму системи.

Схема вузла керування вентиляторами наведена на рисунку 2.6.

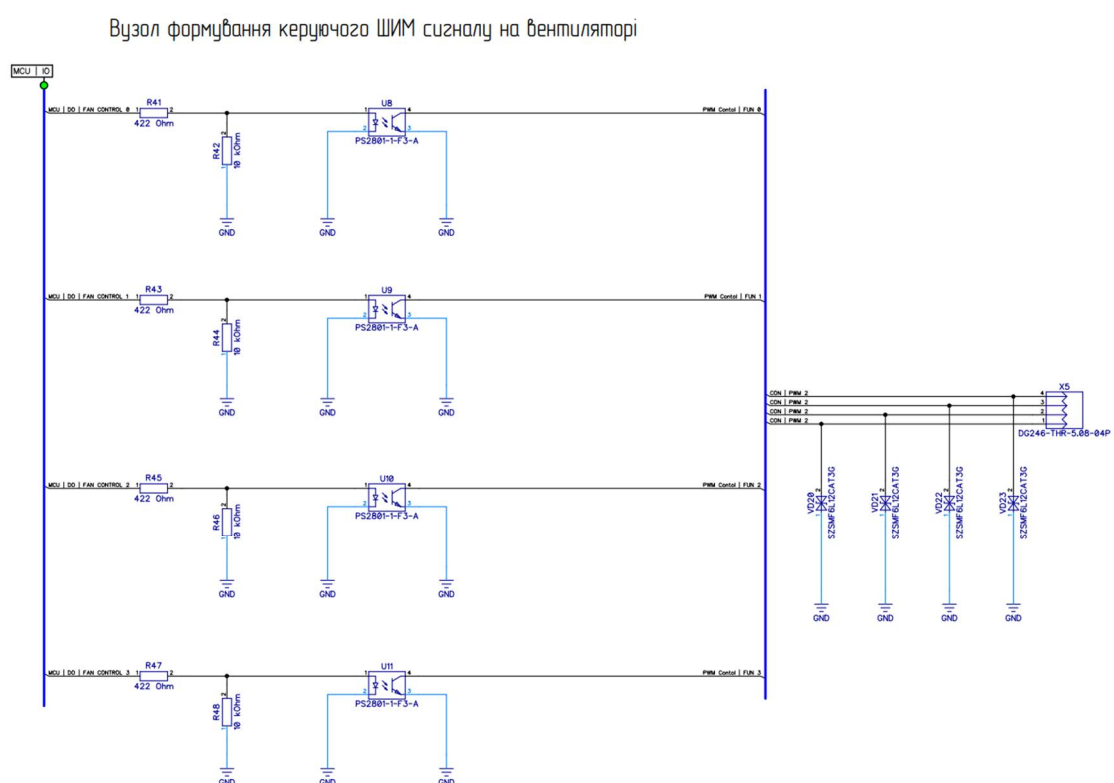


Рисунок 2.6 – Схема вузла керування вентиляторами

У даному проєкті використовуються вентилятори ebm-papst, які підтримують PWM-керування швидкістю обертання. Даний спосіб керування є одним із найбільш поширених у сучасних системах охолодження завдяки високій ефективності та простоті реалізації.

Основними перевагами PWM-керування є:

- плавне регулювання швидкості;
- зменшення енергоспоживання;
- зниження рівня шуму;
- збільшення ресурсу вентиляторів;
- стабільна робота при різних режимах навантаження.

Формування PWM-сигналів здійснюється мікроконтролером STM32F103C8T6 за допомогою апаратних таймерів. Використання апаратного PWM дозволяє надати стабільну частоту сигналу та незалежне керування декількома вентиляторами одночасно.

Керуючий PWM-сигнал через оптрон PS2801C-1-A передається до вентилятора. Використання оптронної розв'язки дозволяє:

- забезпечити гальванічну ізоляцію;
- підвищити завадостійкість;
- захистити мікроконтролер від перенапруг;
- зменшити вплив силового кола на цифрову частину системи.

Для захисту вузла від імпульсних перенапруг у схемі використовується TVS-діод SZSMF6L12CAT3G. Даний елемент забезпечує захист від короткочасних високовольтних імпульсів, які можуть виникати під час комутації навантаження або через наведені завади.

У схемі також застосовуються резистори підтяжки та струмообмежувальні резистори. Вони виконують функції:

- стабілізації PWM-сигналу;
- обмеження струму через світлодіод оптрона;
- запобігання помилковим спрацюванням;
- зменшення впливу електромагнітних завад.

Під час розробки вузла було враховано електричні характеристики вентиляторів. Номінальна напруга живлення вентиляторів становить 12 В. Керування швидкістю здійснюється окремим PWM-входом вентилятора, що відповідає промисловому стандарту керування вентиляторами.

Для забезпечення стабільної роботи системи мікроконтролер виконує регулювання коефіцієнта заповнення PWM-сигналу залежно від температури всередині шафи. При підвищенні температури швидкість обертання вентиляторів автоматично збільшується, а при зниженні температури — зменшується.

Застосування автоматичного регулювання дозволяє:

- підтримувати стабільну температуру;
- зменшити зношування вентиляторів;
- знизити рівень шуму;
- оптимізувати енергоспоживання системи.

Частота PWM-сигналу була обрана відповідно до рекомендацій виробника вентиляторів. Використання правильної частоти керування забезпечує стабільну роботу вентиляторів та виключає виникнення сторонніх шумів або нестабільного обертання.

Для візуального контролю роботи вузла у схемі передбачено світлодіодну індикацію активності PWM-керування. Струм світлодіодної індикації обмежений до 1 мА для зменшення енергоспоживання та надмірної яскравості.

Під час проєктування вузла особлива увага приділялася:

- електромагнітній сумісності;
- стабільності PWM-сигналу;
- захисту від перенапруг;
- надійності роботи при тривалому навантаженні;
- сумісності з промисловими вентиляторами.

У результаті можемо зробити висновок, що розроблений вузол керування вентиляторами забезпечує стабільне та ефективне регулювання системи охолодження шафи мікроклімату, дозволяє автоматично підтримувати необхідний температурний режим та відповідає вимогам сучасних промислових систем автоматизації.

2.7 Розробка вузла зворотного зв'язку вентиляторів

Для забезпечення контролю працездатності системи охолодження у проєкті було розроблено вузол зворотного зв'язку вентиляторів. Основним призначенням даного вузла є прийом та обробка тахометричних сигналів від вентиляторів з метою визначення швидкості їх обертання та контролю справності роботи системи охолодження.

Схема вузла зворотного зв'язку вентиляторів наведена на рисунку 2.7.

Вузол детектування зворотнього зв'язку вентиляторів

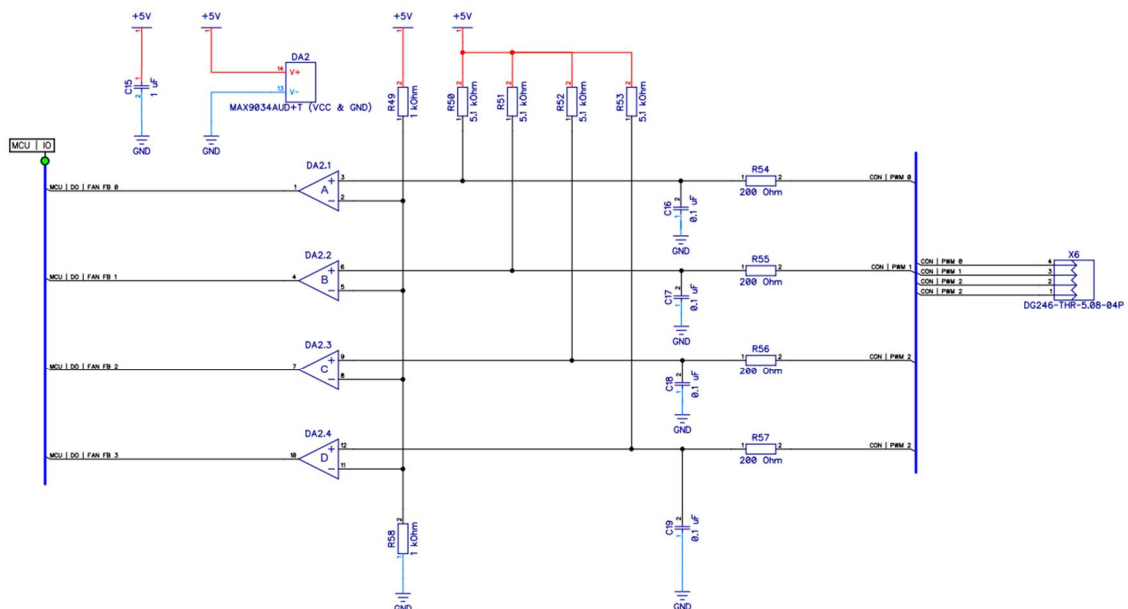


Рисунок 2.7 – Схема вузла зворотного зв'язку вентиляторів

Сучасні промислові вентилятори, зокрема вентилятори ebm-papst, оснащуються тахометричним виходом (Tach), який формує імпульсний сигнал пропорційно швидкості обертання ротора. Використання тахометричного сигналу дозволяє:

- контролювати фактичну швидкість обертання;
- визначати аварійні режими;
- виявляти зупинку вентилятора;

- контролювати працездатність системи охолодження;
- реалізувати діагностику системи.

Тахометричний сигнал вентиляторів має імпульсний характер та може містити електромагнітні завади. Для стабільної обробки сигналу у вузлі використовується компаратор MAX9034AUD+T.

Основними перевагами використання компаратора є:

- підвищення завадостійкості;
- формування стабільного цифрового сигналу;
- пригнічення перешкод;
- покращення точності визначення частоти імпульсів.

Принцип роботи вузла полягає у тому, що тахометричний сигнал вентилятора надходить на вхід компаратора, де виконується його нормалізація та формування стабільного цифрового рівня. Після цього сигнал подається на вхід мікроконтролера STM32F103C8T6.

Для фільтрації високочастотних завад у схемі використовуються конденсатори ємністю 0.1 мкФ та 1 мкФ. Вони забезпечують:

- згладжування імпульсних перешкод;
- стабілізацію рівнів сигналу;
- підвищення надійності вимірювання.

У схемі також застосовуються резистори підтяжки та обмеження струму. Вони виконують функції:

- формування правильного логічного рівня;
- стабілізації роботи компаратора;
- захисту входів мікроконтролера.

Обробка тахометричних сигналів здійснюється мікроконтролером за допомогою апаратних таймерів та переривань. Підрахунок кількості імпульсів за певний проміжок часу дозволяє визначити швидкість обертання вентилятора.

Використання контролю швидкості вентиляторів дозволяє:

- виявляти аварійні режими;
- визначати несправність вентилятора;
- контролювати ефективність системи охолодження;
- підвищити загальну надійність системи.

При зупинці вентилятора або значному зниженні швидкості обертання мікроконтролер може:

- сформувати аварійний сигнал;
- передати повідомлення через RS-485;
- змінити режим роботи системи;
- увімкнути аварійний режим охолодження.

Завдяки використанню апаратних таймерів STM32 забезпечується точне вимірювання частоти тахометричних імпульсів навіть при одночасній роботі декількох вентиляторів.

Для індикації роботи вузла у схемі передбачено світлодіодну індикацію. Струм світлодіодів було обмежено до 1 мА, що дозволило зменшити енергоспоживання та уникнути надмірної яскравості індикації.

Під час розробки вузла особлива увага приділялася:

- завадостійкості;
- стабільності обробки імпульсних сигналів;
- захисту входів мікроконтролера;
- точності вимірювання частоти;
- сумісності з промисловими вентиляторам.

Отже, розроблений вузол зворотного зв'язку вентиляторів забезпечує надійний контроль швидкості обертання вентиляторів системи охолодження, дозволяє реалізувати функції діагностики та підвищує загальну надійність системи мікроклімату.

2.8 Розробка вузла контролю температури

Одним із найважливіших функціональних вузлів системи мікроклімату є вузол контролю температури. Його основним призначенням є вимірювання температури всередині електротехнічної шафи та передача отриманих даних до мікроконтролера для подальшої обробки і керування системою охолодження та нагріву.

Схема вузла контролю температури наведена на рисунку 2.8.

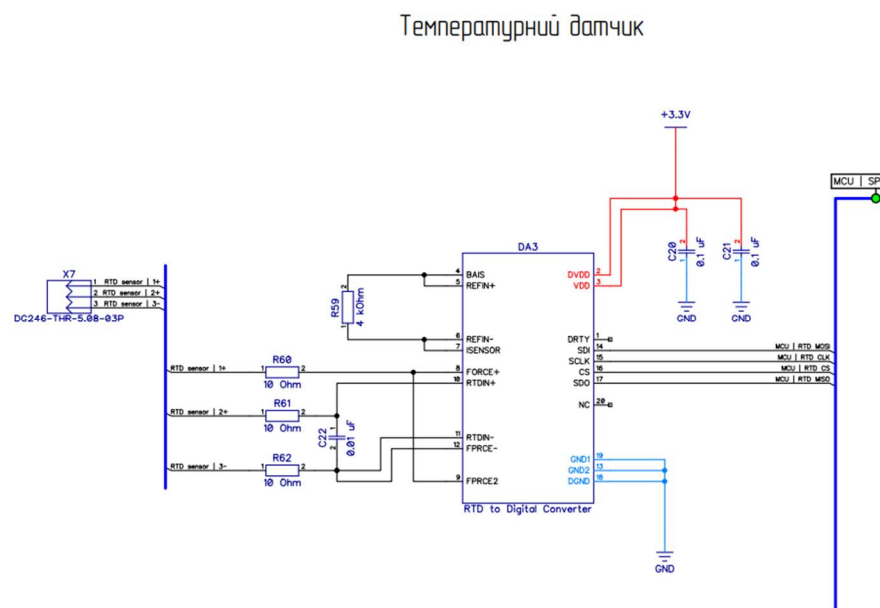


Рисунок 2.8 – Схема вузла контролю температури

Для вимірювання температури у проєкті використовується датчик типу PT1000. Даний тип датчиків широко застосовується у промисловій автоматизації завдяки:

- високій точності вимірювання;
- стабільності характеристик;
- широкому температурному діапазону;
- високій завадостійкості;
- надійності роботи в промислових умовах.

Принцип роботи PT1000 базується на зміні електричного опору залежно від температури. При температурі 0 °C опір датчика становить 1000 Ом. При підвищенні температури опір збільшується.

Для обробки сигналу від PT1000 використовується спеціалізована мікросхема MAX31865, призначена для роботи з RTD-датчиками температури. Використання спеціалізованого перетворювача дозволяє значно підвищити точність вимірювання та спростити обробку сигналу мікроконтролером.

Основними перевагами MAX31865 є:

- висока точність вимірювання;
- підтримка RTD-датчиків PT100/PT1000;
- цифровий інтерфейс SPI;
- вбудована компенсація похибок;
- виявлення обриву датчика;
- вбудована фільтрація завад.

Передача даних між MAX31865 та мікроконтролером STM32F103C8T6 здійснюється через інтерфейс SPI. Використання SPI забезпечує:

- високу швидкість обміну;
- мінімальний вплив завад;
- стабільність передачі даних;
- простоту інтеграції у систему.

У схемі використовуються прецизійні резистори, які забезпечують високу точність вимірювання температури. Стабільність номіналів резисторів є важливою умовою для коректної роботи RTD-перетворювача.

Для фільтрації високочастотних завад у вузлі використовуються конденсатори малої ємності. Вони дозволяють:

- зменшити вплив електромагнітних завад;
- підвищити стабільність вимірювання;
- покращити точність роботи системи.

У процесі роботи мікросхема MAX31865 виконує вимірювання опору датчика PT1000 та перетворює його у цифрове значення, яке передається

мікроконтролеру. Далі мікроконтролер виконує обробку отриманих даних та приймає рішення щодо:

- увімкнення вентиляторів;
- зміни швидкості обертання вентиляторів;
- увімкнення нагрівача;
- передачі інформації через RS-485.

Для забезпечення стабільної роботи системи у програмному забезпеченні реалізується періодичне опитування датчика температури. Це дозволяє здійснювати безперервний контроль стану мікроклімату всередині шафи.

Використання PT1000 та MAX31865 дозволяє реалізувати:

- високу точність вимірювання;
- стабільну роботу у промислових умовах;
- стійкість до електромагнітних завад;
- надійний контроль температури.

Однією з важливих функцій MAX31865 є можливість виявлення аварійних режимів роботи датчика. У випадку:

- обриву лінії;
- короткого замикання;
- виходу параметрів за допустимі межі

мікросхема формує відповідний сигнал помилки, який обробляється мікроконтролером.

Під час розробки вузла контролю температури особлива увага приділялася:

- точності вимірювання;
- стабільності роботи SPI;
- правильному підключенню RTD-датчика;
- фільтрації сигналів.

Отже, розроблений вузол контролю температури забезпечує точне та стабільне вимірювання температури всередині шафи мікроклімату, дозволяє реалізувати автоматичне керування системою охолодження та нагріву і відповідає вимогам сучасних промислових систем автоматизації.

2.9 Розробка вузла RS-485

Для забезпечення обміну даними між модулем мікроклімату та зовнішніми системами автоматизації у проєкті було розроблено вузол інтерфейсу RS-485. Даний інтерфейс використовується для передачі інформації між модулем мікроклімату та верхнім рівнем керування, таким як PLC.

Схема вузла інтерфейсу RS-485 наведена на рисунку 2.9.

RS-485 інтерфейс

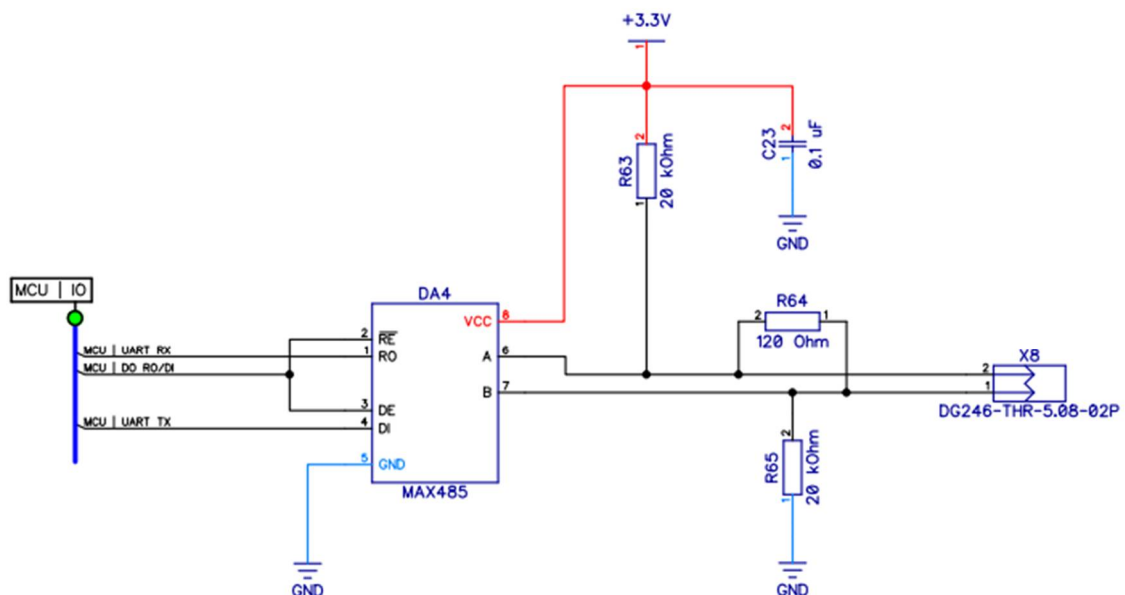


Рисунок 2.9 – Схема вузла RS-485

Інтерфейс RS-485 є одним із найбільш поширених стандартів промислового зв'язку. Основною його перевагою є використання диференціальної передачі сигналу, що забезпечує:

- високу завадостійкість;
- можливість передачі даних на великі відстані;
- стабільну роботу у промислових умовах;
- стійкість до електромагнітних перешкод.

У вузлі використовується мікросхема MAX485, яка виконує функцію перетворення сигналів UART мікроконтролера STM32F103C8T6 у диференціальний інтерфейс RS-485.

Основними перевагами MAX485 є:

- низьке енергоспоживання;
- висока швидкість передачі даних;
- підтримка напівдуплексного режиму;
- стійкість до завад;
- простота інтеграції у систему.

Принцип роботи вузла полягає у тому, що мікроконтролер формує дані у форматі UART, після чого мікросхема MAX485 перетворює їх у диференціальний сигнал для передачі по лініях А та В інтерфейсу RS-485.

Використання диференціальної передачі дозволяє значно зменшити вплив електромагнітних завад, що особливо важливо при роботі у промислових умовах та при використанні довгих кабельних ліній.

Для забезпечення стабільної роботи інтерфейсу у схемі використовується термінуючий резистор номіналом 120 Ом. Його основним призначенням є:

- узгодження хвильового опору лінії;
- зменшення відбиття сигналів;
- підвищення стабільності передачі даних.

У схемі також використовуються підтягувальні резистори, які забезпечують формування стабільного логічного стану лінії у режимі очікування.

Для фільтрації високочастотних завад у вузлі застосовуються конденсатори ємністю 0.1 мкФ. Вони забезпечують:

- стабілізацію живлення мікросхеми;
- пригнічення імпульсних перешкод;
- підвищення завадостійкості.

Обмін даними між мікроконтролером та MAX485 здійснюється через інтерфейс UART. Для передачі даних використовуються сигнали:

- TX — передача даних;

- RX — прийом даних.

Керування напрямком передачі даних у напівдуплексному режимі здійснюється мікроконтролером за допомогою сигналів DE та RE.

Використання RS-485 дозволяє:

- інтегрувати систему у промислові мережі;
- здійснювати дистанційний моніторинг;
- передавати інформацію про стан системи;
- виконувати налаштування параметрів роботи;
- реалізувати аварійне сповіщення.

Через інтерфейс RS-485 можуть передаватися:

- значення температури;
- стан вентиляторів;
- інформація про аварії;
- режими роботи системи;
- стан цифрових входів та виходів.

Під час розробки вузла особлива увага приділялася:

- завадостійкості;
- стабільності передачі даних;
- правильному узгодженню лінії;
- захисту від електромагнітних завад;
- сумісності з промисловими системами автоматизації.

Застосування інтерфейсу RS-485 дозволяє забезпечити стабільну та надійну роботу системи мікроклімату навіть у складних умовах промислової експлуатації.

За результатами бачимо, що розроблений вузол інтерфейсу RS-485 забезпечує надійний обмін даними між модулем мікроклімату та зовнішніми системами автоматизації, має високий рівень завадостійкості та відповідає вимогам сучасних промислових систем зв'язку.

2.10 Опис алгоритму роботи системи

Робота модуля мікроклімату базується на циклічному опитуванні датчиків, обробці команд від PLC через інтерфейс RS-485 та формуванні керуючих сигналів для виконавчих пристроїв системи.

Після подачі живлення виконується ініціалізація мікроконтролера STM32F103C8T6 та його периферійних модулів. На даному етапі виконується:

- налаштування GPIO;
- ініціалізація SPI для роботи з MAX31865;
- ініціалізація UART для роботи з RS-485;
- налаштування PWM-таймерів;
- налаштування переривань та таймерів;
- запуск системних служб контролю стану модулів.

Після завершення ініціалізації мікроконтролер переходить до основного циклу роботи системи.

На початку кожного циклу виконується перевірка наявності даних у буфері UART інтерфейсу RS-485. Даний етап дозволяє визначити, чи надходили команди або запити від PLC чи іншої системи верхнього рівня автоматизації.

У випадку відсутності даних у буфері UART система переходить до режиму автоматичного контролю мікроклімату.

У даному режимі виконується:

- опитування датчика температури PT1000;
- зчитування даних із MAX31865 через SPI;
- оновлення структури статусів системи;
- аналіз поточного температурного режиму;
- розрахунок необхідної швидкості обертання вентиляторів;
- формування PWM-сигналів керування вентиляторами;
- контроль тахометричних сигналів вентиляторів;
- перевірка працездатності системи охолодження;
- повторне оновлення структури статусів системи.

Після завершення циклу опитування система повертається до перевірки UART буфера.

У випадку наявності даних у буфері UART виконується обробка команд, отриманих через інтерфейс RS-485.

В залежності від типу отриманої команди система може:

- передавати поточні статуси системи;
- передавати значення температури;
- передавати швидкість обертання вентиляторів;
- приймати нові уставки температури;
- змінювати режими роботи системи;
- виконувати увімкнення або вимкнення вентиляторів;
- формувати аварійні повідомлення;
- передавати інформацію про несправність вентиляторів.

Після завершення обробки команди виконується оновлення структури статусів системи та повернення до основного циклу роботи.

У процесі роботи система постійно контролює:

- температуру всередині шафи;
- швидкість обертання вентиляторів;
- стан цифрових входів;
- стан цифрових виходів;
- наявність аварійних режимів.

При виникненні аварійної ситуації мікроконтролер може:

- сформувати аварійний сигнал;
- передати повідомлення через RS-485;
- змінити режим роботи вентиляторів;
- увімкнути аварійний режим охолодження.

Таким чином, алгоритм роботи модуля забезпечує автоматичний контроль мікроклімату електротехнічної шафи, підтримання необхідного температурного режиму та можливість інтеграції системи у промислові системи автоматизації.

2.11 Висновки до розділу

У спеціальній частині дипломного проєкту було розроблено систему автоматизованого керування шафою мікроклімату, призначену для контролю температурного режиму, керування вентиляторами охолодження та обміну даними із зовнішніми системами автоматизації через інтерфейс RS-485.

У процесі виконання роботи було розроблено:

- структурну схему модуля мікроклімату;
- вузол живлення;
- вузол мікроконтролера;
- вузол цифрових входів;
- вузол цифрових виходів;
- вузол керування вентиляторами;
- вузол зворотного зв'язку вентиляторів;
- вузол контролю температури;
- вузол RS-485.

У якості центрального елемента системи було використано мікроконтролер STM32F103C8T6, який забезпечує обробку сигналів від датчиків, формування PWM-сигналів керування вентиляторами та реалізацію обміну даними через промисловий інтерфейс RS-485.

Для вимірювання температури використано датчик PT1000 та спеціалізовану мікросхему MAX31865, що дозволило забезпечити високу точність вимірювання температури та підвищити завадостійкість системи.

У проєкті реалізовано автоматичне керування вентиляторами охолодження залежно від температурного режиму всередині шафи. Використання PWM-керування дозволило забезпечити плавне регулювання швидкості обертання вентиляторів, зменшити енергоспоживання та рівень шуму системи.

Для підвищення надійності роботи системи у схемі застосовано:

- гальванічну ізоляцію цифрових входів та виходів;
- захист від імпульсних перенапруг;
- фільтрацію високочастотних завад;

- контроль тахометричних сигналів вентиляторів.

Розроблений алгоритм роботи системи забезпечує циклічний контроль стану обладнання, обробку команд від PLC та автоматичне підтримання необхідного температурного режиму.

У результаті виконання спеціальної частини було розроблено функціональну структуру системи автоматизованого керування шафою мікроклімату, яка відповідає вимогам сучасних промислових систем автоматизації та може бути використана як основа для подальшої практичної реалізації та модернізації системи.

3 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Позитивні результати проведення проектування

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено систему автоматизованого керування шафою мікроклімату, призначену для контролю температурного режиму та керування системою охолодження електротехнічної шафи.

У процесі проєктування було виконано:

- розробку структурної схеми системи;
- розробку структурної схеми модуля;
- розробку функціональних вузлів системи;
- підбір сучасної елементної бази;
- розрахунок вузлів живлення та керування;
- розробку принципів електричних схем.

Розроблена система дозволяє:

- здійснювати автоматичний контроль температури;
- керувати вентиляторами охолодження;
- контролювати працездатність системи вентиляції;
- передавати інформацію через інтерфейс RS-485;
- інтегрувати систему у промислові системи автоматизації.

Використання мікроконтролера STM32F103C8T6 та сучасної елементної бази дозволило забезпечити гнучкість системи, можливість її подальшої модернізації та розширення функціональних можливостей.

Позитивним результатом проведеного проєктування є можливість підвищення надійності роботи електротехнічного обладнання за рахунок автоматичного підтримання необхідного температурного режиму та своєчасного реагування на аварійні ситуації.

Розроблена система може бути використана у промислових шафах керування, системах автоматизації технологічних процесів та інших об'єктах, де необхідний контроль мікроклімату електротехнічного обладнання.

3.2 Методика розрахунку економічної частини

3.2.1 Розробка етапів шафи мікроклімату

Проектування системи автоматизованого керування шафою мікроклімату виконувалось послідовно у декілька етапів. Основними етапами були аналіз існуючих систем, розробка структурних схем, розробка функціональних вузлів, підбір компонентів та оформлення технічної документації. Зміст роботи приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Етапи та зміст послідовного виконання робіт

Етапи	Зміст роботи
Аналіз існуючих систем	Проведення аналізу існуючих систем мікроклімату та промислових рішень автоматизації. Визначення основних функцій системи, принципів керування вентиляторами та контролю температури. Аналіз сучасної елементної бази та інтерфейсів зв'язку.
Розробка структурної схеми	Побудова загальної структурної схеми системи автоматизованого керування шафою мікроклімату. Визначення основних функціональних вузлів системи та взаємозв'язків між ними. Формування загальної архітектури системи керування.
Розробка структурної схеми модуля	Розробка структури модуля мікроклімату із розподілом на окремі функціональні вузли. Визначення інтерфейсів взаємодії між вузлами. Формування структури живлення, керування та передачі даних.
Розробка вузлів системи	Розробка вузлів цифрових входів та виходів, керування вентиляторами, контролю температури, зворотного зв'язку вентиляторів та інтерфейсу RS-485. Аналіз принципів роботи окремих вузлів та вибір схемотехнічних рішень.
Підбір компонентів	Вибір електронних компонентів та елементної бази відповідно до вимог системи. Аналіз технічних характеристик мікроконтролера, інтерфейсів зв'язку, перетворювачів живлення та захисних елементів. Вибір промислових компонентів для забезпечення надійної роботи системи.

Розробка принципових схем	Побудова електричних принципових схем у програмному середовищі DipTrace. Формування електричних з'єднань між компонентами та вузлами системи. Перевірка коректності підключення компонентів та відповідності технічним вимогам.
Розрахунок вузлів	Проведення розрахунків параметрів імпульсного перетворювача напруги, струмообмежувальних елементів та окремих вузлів системи. Аналіз навантаження та режимів роботи компонентів. Перевірка відповідності вибраних елементів параметрам системи.

3.2.2 Визначення трудомісткості етапів, кількості виконавців, тривалості проведення етапів

Загальну трудомісткість дослідницько-конструкторських робіт встановлюємо виходячи з трудомісткості аналогічних робіт. Для розробки системи автоматизованого керування шафою мікроклімату приймаємо загальну трудомісткість 36 чол.-днів.

Таблиця 3.2 - Розрахунок етапів дослідницько-конструкторських робіт

Назва етапу	Трудовістість		Виконання	Кількість, чол.	Тривалість етапу, днів
	загальна, чол.-днів.	%			
Аналіз існуючих систем	3	10	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	3
Розробка структурної схеми	3	10	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	3
Розробка структурної схеми модуля	4	10	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту; інженер з автоматизації І категорії	2	2
Розробка вузлів системи	8	25	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту; інженер з автоматизації І категорії	2	4
Підбір компонентів	4	10	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	4
Розробка принципових схем	10	30	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	10
Розрахунок вузлів	4	5	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	4
Всього	36	100		2	30

Тривалість етапів

$$T_{ц.і} = \frac{T_{заг.і}}{(Ч_{вик.і} \cdot K_{вн})}, \quad (3.1)$$

де $T_{заг.і}$ - загальна трудовістість на даному етапі, днів;

$Ч_{вик.і}$ - кількість виконавців на даному етапі, чол.;

$K_{вн}$ - коефіцієнт виконання норм.

Для першого етапу розрахунок має вигляд

$$T_{ц.і} = \frac{3}{1} = 3 \text{ чол./дн.}$$

3.2.3 Побудова плану-графіка

Дані заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - План-графік виконання робіт

Назва етапу	Трудомісткість, чол.-днів	Виконавці	Кількість, чол.	Тривалість етапу, днів	Виконання робіт по місяцях та днях											
					місяць											
					3	6	8	12	16	18	2	26	28	30		
Аналіз існуючих систем	3	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	3	■											
Розробка структурної схеми	3	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	3		■										
Розробка структурної схеми модуля	4	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту; інженер з автоматизації І категорії	2	2			■									
Розробка вузлів системи	8	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту; інженер з автоматизації І категорії	2	4				■								
Підбір компонентів	4	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	4					■							
Розробка принципів схем	10	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	10						■	■	■				
Розрахунок вузлів	4	Інженер-конструктор І категорії – керівник проекту	1	4										■	■	
Всього	36		2	30												

3.2.4 Розрахунок основної, додаткової заробітної плати та нарахувань єдиного соціального внеску

Зарплата за один чоловіко-день визначається за формулою:

$$З_{1ч-д} = \frac{Q_m}{21}, \quad (3.2)$$

де $З_{1ч-д}$ — зарплата за 1 чоловіко-день, грн/день;

Q_m — місячний посадовий оклад виконавця, грн;

21 — середня кількість робочих днів у місяці.

Приймаємо місячний посадовий оклад виконавця:

$$Q_m = 14000 \text{ грн}$$

Тоді:

$$З_{1ч-д} = \frac{14000}{21} = 666.67 \text{ грн}$$

Основна заробітна плата визначається за формулою:

$$З_{осн.i} = З_{1ч-д} * T, \quad (3.3)$$

де $З_{осн.i}$ — основна заробітна плата на і-тому етапі, грн;

T_i — трудомісткість і-того етапу, чол.-днів.

Для першого етапу:

$$З_{осн.i} = 666.67 * 3 = 2000.01 \text{ грн}$$

Загальна основна заробітна плата:

$$З_{осн} = З_{1ч-д} * T_{заг}, \quad (3.4)$$

$$З_{осн} = 666.67 * 36 = 24000.12 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна плата виконавців визначається за формулою:

$$З_d = З_{осн} * \frac{\%З_d}{100}, \quad (3.5)$$

де $З_d$ — додаткова заробітна плата, грн;

$\%З_d$ — відсоток додаткової заробітної плати.

Приймаємо додаткову заробітну плату у розмірі 20 %:

$$З_d = 24000.12 * \frac{20}{100} = 4800.02 \text{ грн}$$

Повна заробітна плата виконавців:

$$З_{\text{п}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{д}}, \quad (3.6)$$

$$З_{\text{д}} = 24000.12 + 4800.02 = 28800.14$$

Нарахування єдиного соціального внеску визначається за формулою:

$$Н_{\text{ЄСВ}} = З_{\text{п}} * \frac{\%Н_{\text{ЄСВ}}}{100}, \quad (3.7)$$

де $Н_{\text{ЄСВ}}$ — нарахування єдиного соціального внеску, грн;

$\%Н_{\text{ЄСВ}}$ — відсоток нарахувань єдиного соціального внеску.

Приймаємо:

$$\%Н_{\text{ЄСВ}} = 22\%$$

$$Н_{\text{ЄСВ}} = 28800.14 * \frac{22}{100} = 6336.03 \text{ грн}$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Розрахунок основної, додаткової заробітної плати і нарахувань єдиного соціального внеску

Етапи	Виконавці	Трудоміс- тість	Місячний посадовий оклад, грн.	Зарплата за 1 чоловіко- день, грн	Основна заробітна плата по тарифним	Додаткова зарплата, грн (80%)	Повна зарплата, грн	Нарахуван- ня єдиного соціального внеску, грн (22%)
1	Інженер- конструктор І категорії – керівник проєкту	3	14000	666.67	2000.1	-	-	-
2	Інженер- конструктор І категорії – керівник проєкту	3	14000	666.67	2000.1	-	-	-
3	Інженер- конструктор І категорії – керівник проєкту; інженер з автоматизації І категорії	4	14000	666.67	2666.68	-	-	-
4	Інженер- конструктор І категорії – керівник проєкту; інженер з автоматизації І категорії	8	14000	666.67	5333.36	-	-	-
5	Інженер- конструктор І категорії – керівник проєкту	4	14000	666.67	2666.68	-	-	-
6	Інженер- конструктор І категорії – керівник проєкту	10	14000	666.67	6666.70	-	-	-
7	Інженер- конструктор І категорії – керівник проєкту	4	14000	666.67	2666.68	-	-	-
	Всього	30	14000	666.67	24000.12	4800.02	28800.14	6336.03

3.2.5 Розрахунок витрат на електроенергію

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$V_{\text{ел.ен}} = M * T * \frac{1}{K_m}, \quad (3.8)$$

де: M — встановлена потужність обладнання, кВт;

T — час використання обладнання, год;

K_m — коефіцієнт використання обладнання.

Для виконання дослідницько-конструкторських робіт використовувався персональний комп'ютер, у якому виконувалось проєктування структурних схем, вузлів системи та оформлення технічної документації.

Витрати електроенергії становлять:

$$V_{\text{ел.ен}} = 0.5 * 144 * \frac{1}{0.75} = 96 \text{ кВт/год}$$

Вартість електроенергії визначається за формулою:

$$V_{\text{с.ен}} = V_{\text{ел.ен}} * C_{\text{с.ен}}, \quad (3.9)$$

де: $C_{\text{с.ен}}$ — ціна 1 кВт електроенергії, грн/кВт·год.

Тоді вартість електроенергії становить:

$$V_{\text{с.ен}} = 96 * 4.32 = 414.72 \text{ грн}$$

Дані розрахунків занесемо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Розрахунок витрат електроенергії та її вартості на проведення ДКР

Назва обладнання	Потужність, кВт	Кількість обладнання, шт.	Час використання обладнання, год.	Коефіцієнт використання обладнання	Витрати електроенергії, кВт·год	Ціна 1 кВт, грн	Вартість електроенергії, грн.
Персональний комп'ютер	0,5	1	144	0,75	96	4.32	414.72
Всього					96		414.72

3.2.6 Розрахунок накладних витрат

Накладні витрати визначаються за формулою:

$$H_{\text{витр}} = Z_o * \frac{\% \text{НВ}}{100}, \quad (3.10)$$

де: Z_o — основна заробітна плата виконавців, грн;

$\% \text{НВ}$ — процент накладних витрат.

$$H_{\text{витр}} = 24000.12 * \frac{10}{100} = 2400.01 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на розробку системи автоматизованого керування шафою мікроклімату наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Калькуляція кошторисної вартості робіт на розробку програмного продукту

Витрати (назва статей калькуляції)	Сума витрат, грн	Питома вага від загальної суми, % (структура витрат)
Основна заробітна плата виконавців	24000.12	39.1
Додаткова заробітна плата виконавців	4800.02	7.8
Нарахування єдиного соціального внеску	6446.03	10.3
Витрати на силову електроенергію	414.72	0.7
Накладні витрати	2400.01	3.9
Вартість електронних компонентів	23400.00	38.2
Всього витрат	61350.90	100.00

3.3 Розрахунок економічної ефективності

При виконанні дипломного проєкту було проаналізовано сучасні системи контролю мікроклімату електротехнічних шаф та визначено перспективність використання автоматизованих систем керування для забезпечення стабільної роботи промислового обладнання.

На сьогоднішній день проблема перегріву електротехнічного обладнання є однією з основних причин виникнення аварійних режимів роботи, зниження терміну експлуатації електронних компонентів та виходу обладнання з ладу. Особливо актуально це питання для промислових систем автоматизації, у яких використовується велика кількість силового та комутаційного обладнання.

Розроблена система автоматизованого керування шафою мікроклімату дозволяє забезпечити:

- автоматичний контроль температурного режиму;
- керування вентиляторами охолодження;
- контроль працездатності системи вентиляції;
- передачу даних через інтерфейс RS-485;
- можливість інтеграції з PLC та SCADA-системами.

Використання системи мікроклімату дозволяє знизити ризик перегріву електротехнічної шафи, що позитивно впливає на надійність та стабільність роботи обладнання. Автоматичний контроль температури дозволяє своєчасно реагувати на зміну режимів роботи системи та підтримувати необхідні параметри мікроклімату.

Розроблена система є перспективною для використання:

- у промислових системах автоматизації;
- у шафах керування технологічними процесами;
- у системах диспетчеризації;
- на виробничих підприємствах;
- у системах енергетики та електропостачання.

Використання інтерфейсу RS-485 дозволяє здійснювати дистанційний контроль параметрів системи, передавати аварійні повідомлення та реалізовувати

централізоване керування обладнанням. Це значно підвищує ефективність експлуатації промислових систем та спрощує технічне обслуговування обладнання.

Використання сучасної елементної бази та мікроконтролера STM32 забезпечує можливість подальшої модернізації системи та розширення її функціональних можливостей без значної зміни структури пристрою.

Попередні економічні розрахунки показали, що розробка системи не потребує значних матеріальних витрат, оскільки основна частина витрат пов'язана з інтелектуальною працею розробників та проектуванням системи.

Розробка даного проєкту дозволяє підвищити професійний рівень спеціалістів у сфері промислової автоматизації, схемотехніки та проектування електронних систем керування.

Таким чином, розроблена система автоматизованого керування шафою мікроклімату є перспективним технічним рішенням, яке дозволяє підвищити надійність роботи електротехнічного обладнання, забезпечити автоматизацію контролю мікроклімату та знизити ризик виникнення аварійних ситуацій у промислових системах автоматизації.

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті на тему «Система автоматизованого керування шафи мікроклімату» було розроблено систему, призначену для автоматичного контролю температурного режиму та керування виконавчими пристроями електротехнічної шафи.

Необхідність розробки даної системи пов'язана з потребою підтримання стабільних умов роботи електронного та електротехнічного обладнання, яке експлуатується в промисловому середовищі. Перепади температури, підвищена вологість та електромагнітні завади можуть негативно впливати на працездатність обладнання та скорочувати термін його служби. Застосування систем керування мікрокліматом дає можливість підтримувати необхідні умови експлуатації, зменшувати ризик перегріву та утворення конденсату, а також підвищувати загальну надійність роботи обладнання.

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено структуру системи автоматизованого керування, яка забезпечує контроль температури, керування вентиляторами охолодження, обробку сигналів від зовнішніх пристроїв та передачу інформації через інтерфейс RS-485. Використання сучасної елементної бази та мікроконтролера STM32 дозволило реалізувати гнучку систему керування з можливістю подальшої модернізації та інтеграції у промислові системи автоматизації.

Розроблена система забезпечує автоматичне регулювання режимів роботи вентиляторів залежно від температурних умов, контроль працездатності виконавчих пристроїв та підтримання стабільного мікроклімату всередині шафи. Використання PWM-керування дозволило зменшити енергоспоживання та підвищити ефективність роботи системи охолодження.

Під час проєктування особлива увага приділялася питанням надійності та завадостійкості системи. Для цього у схемі були застосовані засоби гальванічної ізоляції, захисту від імпульсних перенапруг та фільтрації електромагнітних завад, що підвищує стабільність роботи системи у промислових умовах експлуатації.

Проведені організаційно-економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки даної системи та можливість її подальшого практичного впровадження. Розроблена система може бути використана у шафах автоматизації, електротехнічних шафах, системах керування технологічними процесами, телекомунікаційному обладнанні та інших промислових об'єктах, де необхідно забезпечити стабільний температурний режим роботи електронного обладнання.

У результаті виконання дипломного проєкту було реалізовано систему автоматизованого керування шафою мікроклімату, яка забезпечує контроль температури, керування виконавчими пристроями та передачу даних через інтерфейс RS-485. Отримані результати підтверджують працездатність запропонованого рішення та можливість його використання в електротехнічних шафах і системах промислової автоматизації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Пістун Є. П. Основи автоматики та автоматизації: навч. посіб. / Є. П. Пістун, І. Д. Стасюк; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2020. — 333 с.
2. Невлюдов І. Ш. Технічні засоби автоматизації : підручник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. І. Филипенко та ін. — Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2020. — 366 с.
3. Денисенко В. В. Комп'ютерне керування технологічними процесами : навчальний посібник. — Київ : НУХТ, 2019. — 412 с.
4. STM32F103x8 STM32F103xB Datasheet — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>
5. MAX31865 RTD-to-Digital Converter Datasheet — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max31865.pdf>
6. MAX485 RS-485/RS-422 Transceiver Datasheet — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX1487-MAX491.pdf>
7. LM5164 Wide Input 1-A Synchronous Buck Converter Datasheet — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5164.pdf>
8. Інтерфейс RS-485 та особливості його використання — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/an/slla272d/slla272d.pdf>
9. DipTrace User Manual — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://diptrace.com/books/tutorial.pdf>
10. PT1000 Temperature Sensors Technical Documentation — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1491698/IVO/PT1000.html>

11. ДСТУ EN 60204-1:2015 Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги.
12. ДСТУ EN 61000-6-2:2019 Електромагнітна сумісність. Стійкість до завад у промислових середовищах.
13. Желібо Є. П., Завірюха Н. М., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник. — Львів : Новий Світ — 2000, 2018. — 328 с.
14. Сидоренко О. В., Гнатків В. І. Методичні рекомендації по виконанню організаційно-економічної частини дипломного проєкту по тематиці дослідно-конструкторських робіт. — Запоріжжя : ЗКР, 2009.
15. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>
16. Mouser Electronics — технічна документація електронних компонентів — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mouser.com>