

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

доц. Чичура І.І.


«19» грудня 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему:

**ВОЛОКОННО ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК МОНІТОРІНГУ
ТЕМПЕРАТУРИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСТИЛА**

Виконав:

Фегер Анатолій Петрович

(прізвище, ім'я, по-батькові)



(підпис)

Науковий керівник:

Проф. Іваницький В.П.

(вчене звання, ПІБ, посада)



(підпис)

Ужгород – 2022

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет

Кафедра приладобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень "МАГІСТР"

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

ст. викл. Ігор ЧИЧУРА

"19" серпня 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСКУ РОБОТУ

студенту Фегера Анатолія Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема **МР:** Волоконно-оптичний датчик моніторингу температури трансформаторного мастила

керівник роботи: проф. Іваницький Валентин Пектрович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце зв'язу)

затверджені Розпорядженням по ІТФ від "31" серпня 2022 року № 4.

2. Строк подання студентом роботи "18" серпня 2022 року.

3. Вихідні дані до роботи: об'єктом розробки є закінчене технічне рішення для модернізації застарілого обладнання.

Умови експлуатації пристрою:

- температура навколишнього середовища від +10°C до +30 °C;
- атмосферний тиск від 720 до 780 мм.рт.ст.;
- відносна вологість повітря до 95 %;
- електроживлення – мережа 380В;
- габарити і маса – стандартна шафа управління.

Характеристики пристрою:

- датчик температури волоконно-оптичний;
- модуль керування на основі мікроконтролера;
- кількість датчиків 1;
- можливість аварійного вимкнення;

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити):

Аналіз існуючих технічних рішень; огляд сучасних підходів до проектування автоматичних систем контролю температури, вибір оптимального волоконно-оптичного датчика.

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

- структурна схема пристрою (1 аркуш А2);
- електрична принципова схема пристрою (1 аркуш А1);
- друкована плата (1 аркуш А2);
- складальне креслення пристрою (1 аркуш А2).

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання " ____ " ____ 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання КБР	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літератури		
2	Розробка структурної та принципової схеми		
3	Вибір елементної бази		
4	Пошук на аналіз об'єктів дослідження		
5	Розробка алгоритма та програмного забезпечення		
6	Оформлення технічної документації		
7	Оформлення текстової частини		

Студент

ФАП
(підпис)

Ретун АП
(підпис)

Керівник МР

ІВІ
(підпис)

ІВІ
(підпис)

Гарант ОП «Магістр»

ІВІ
(підпис)

Валентин ІВАНІЦЬКИЙ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку джерел посилань та додатків. Загальний обсяг пояснювальної записки: 42 сторінки, 12 рисунків, 1 таблиця, 23 літературних джерел, 4 додатки.

Використання та розробка нових за принципом роботи волоконно-оптичних датчиків в сучасному світі є нагальним, через велику низку можливих їх застосувань. Такі датчики є дешевими в собівартості, дозволяють доволі точно вимірювати температуру та мають широке застосування.

Метою дипломної роботи є створення економічного та компактного волоконно-оптичного вимірювача (датчика) температури для моніторингу мастила трансформаторів, нечутливого до дії зовнішніх електромагнітних перешкод, в умовах температури навколишнього середовища від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$, атмосферного тиску від 720 до 780 мм.рт.ст. та відносній вологості повітря до 95 %. У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, поставлено мету і завдання дослідження, вказано об'єкт та предмет роботи.

В результаті був розроблений комплект конструкторської документації для виготовлення волоконно-оптичного датчика температури для моніторингу трансформаторного мастила, контроль та обрахунки якого здійснюються за допомогою мікроконтролера та виводяться на міні-дисплей, також запропоновані та розібрані напрями подальшого розвитку проекту.

Ключові слова: МІКРОКОНТРОЛЕР, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ, ДАТЧИК, ТЕМПЕРАТУРА, МОНІТОРИНГ, ТРАНСФОРМАТОРНЕ МАСТИЛО.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	6
ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	9
1.1 Цільове призначення оптоволоконних датчиків температури	9
1.2 Загальне поняття оптоволоконних датчиків температури	12
1.3 Важливість терморегуляції трансформаторів.....	16
1.4 Ймовірні джерела похибок датчика.....	25
2 ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ	30
2.1 Принцип роботи проектного датчика температури	30
2.2 Підбір функціональних компонентів.....	33
2.3 Синтез структурної схеми.....	36
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	38
3.1 Синтез принципової схеми	38
3.2 Розрахунки з конструювання.....	40
3.3 Трасування друкованої плати.....	41
3.4 Монтаж компонентів.....	45
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	48
4.1 Вибір осередку розробки	48
4.2 Принцип роботи програми.....	50
5 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ.....	52
5.1 Розвиток оптоволоконних датчиків температури	52
5.2 Розвиток технічного забезпечення датчику.....	56
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	59
ДОДАТКИ	61

МР.АКІТ. 9526268.01.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Фегер А.П.	<i>Фегер</i>	
Перевірів		Чинуро І.І.	<i>Чинуро</i>	
Н. контр.		Тютюнника	<i>Тютюнника</i>	
Затв.		Іванюк	<i>Іванюк</i>	

Волоконно-оптичний датчик моніторингу температури трансформаторного мастила Пояснювальна записка		
Літ	Аркуш	Аркушів
у	5	63
УжНУ, ІТФ 6 курс гр. АКІТ		

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВОД – волоконно-оптичний датчик

ВОДТ – волоконно-оптичний датчик температури

ВОВД – волоконно-оптичні вимірювачі та датчики

ВОВДТ – волоконно-оптичні вимірювачі та датчики температури

ВОПДТ – волоконно-оптичний пороговий датчик температури

НВЧ – надвисокочастотне випромінювання

ІВС – інформаційно вимірювальна система

ЧЕ – чутливий елемент

ПТС – платинний термометр опору

ЕВ – електричні вимірювачі

ЕД – електричні датчики

ПС – пористе скло

УФ – ультрафіолет

ІР – інтернет речей

ВСТУП

Розвиток волоконно-оптичних технологій та їх впровадження у вимірювальні системи створює низку переваг таких систем перед раніше відомими електронними прототипами. Внаслідок цього, волоконно-оптичні вимірювачі та датчики (ВОВД) фізичних полів останнім часом знаходять велике практичне застосування в різних галузях науки і техніки, зокрема, в силовій енергетиці, при моніторингу стану потужних трансформаторів, функціональних елементів і пристроїв ліній електропередач, НВЧ - трактів. Вимірювання температури є одним із важливих параметрів для контролю та забезпечення безпеки енергетичних об'єктів.

Завдяки властивостям світла та оптичного волокна, волоконно-оптичні термометри здатні проводити вимірювання температури в умовах сильних електромагнітних перешкод з високими тимчасовими та просторовими роздільними здатностями та дуже високою точністю. До цього часу відомий цілий ряд розробок у галузі волоконно-оптичних вимірювачів та датчиків температури (ВОВДТ), їх удосконалення досі не тільки не втратило своєї актуальності, але й є перспективним напрямом у вимірювальній техніці.

Створення інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) на вирішення завдань температурного контролю пристроїв є дорогим, і з погляду економічних витрат обслуговування і експлуатації таких систем. Традиційні вимірні датчики, застосовувані в таких ІВС, як правило, вимагають електроживлення і власної лінії передачу сигналу постачання сигналу. Крім того, умови експлуатації ВОВД досить жорстко обмежені за пам'ятниками навколишнього середовища, впливом агресивних середовищ, високими засобами.

Поява волоконно-оптичних вимірювальних систем докорінно вплинула на цю ситуацію і уможливила створення вискоелективних та економічних оптико-електронних пристроїв для моніторингу об'єктів інфраструктури. Низька вартість таких систем у порівнянні з суто електронними системами

сприяла їх широкому практичному впровадженню. В даний час ВОВД конструктивно нерідко є фрагментом оптичного хвилеводу, або же підданий певній модифікації. В обох випадках ми маємо справу з пасивними волоконно-оптичними датчиками, чутливі елементи яких не вимагають електричного живлення, а ступінь впливу умов довкілля на волоконно-оптичні датчики значно нижчі, ніж датчики, що використовують електричне перетворення вимірювальної інформації.

Метою роботи є створення компактного та економічного волоконно-оптичного вимірювача (датчика) температури, нечутливого до дії зовнішніх електромагнітних перешкод. В основу таких вимірювачів покладено температурну зміну світлопропускання оптичних прозорих середовищ (хімічних розчинів, органічних полімерних матеріалів, спеціальних стекол).

1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Цільове призначення оптоволоконних датчиків температури

Застосування волоконно-оптичних технологій у вимірах фізичних та хімічних параметрів почалося з кінця 1970-х років. З того часу було багато довіджено та виконано безліч наукових розробок у галузі застосування оптичних хвилеводів у різних галузях промисловості. Саме завдяки цьому було продемонстровано, що керування та автоматизація виробничих процесів може ефективно здійснюватись за допомогою різного роду волоконно-оптичних пристроїв. У США та Європі безліччю масових виробників на кінці 1980-х робилися зусилля щодо створення серійного випуску волоконно-оптичних датчиків (ВОД) різних типів для різних задач.

Використання ВОД привертало увагу, оскільки такі датчики компактні, мають низьку собівартість та високу надійність, відрізняються високою чутливістю, працездатні в широкому оптичному діапазоні в порівнянні з традиційними електричними датчиками. Спочатку такі ВОД застосовувалися для вимірювань в агресивних середовищах: під впливом хімічних небезпечних речовин, в умовах підвищеної вибухонебезпечності, екстремально високих температур або високого рівня електромагнітних перешкод де традиційні електричні датчики не можуть відповідним чином працювати [2]. Поширеною областю практичного використання ВОД температури є високотемпературні вимірювання, коли сам датчик температури зазвичай виготовлюється з кварцового волокна, вони мають безперечні переваги перед традиційними тензодатчиками або ємнісними датчиками, в яких металеві дріт'яні з'єднання піддаються впливу високих температур та саме при тривалій експлуатації електричні датчики втрачають свої точнісні характеристики або зовсім виходять з ладу. Друга же перевага ВОД – це мале згасання оптичного сигналу в оптоволокні, що й дозволяє прокладати оптичні волокна на великі відстані між датчиками та блоками електронної обробки сигналів. Та і взагалі волоконно-оптичні кабелі в сучасному світі стали дуже поширеними і використовуються в бізнесі так й

звичайними користувачами.

Волоконно-оптичні кабелі сьогодні стали порівнянними за ціною з звичайними коаксіальними та двожильними кабелями при прокладанні ліній довжиною в тисячі метрів. Оскільки оптичне волокно є діелектричним середовищем, воно не випромінює і дуже слабо піддається впливу електромагнітних перешкод [3].

Оптоволоконний кабель зазвичай не вимагає екранування або спеціального заземлення. Необхідні для модуляції та демодуляції оптичних сигналів електронні модулі не потребують спеціальних фільтрів у середовищі з високим рівнем електромагнітних перешкод. Саме такі ВОД та вимірювачі температури якнайкраще підходять для використання в системах моніторингу температури при масштабних енергетичних об'єктах тобто: трансформаторах, лініях електропередач, гідро та електростанціях, використовується навіть в авіації [9].

Розвиток волоконно-оптичних технологій та їх впровадження у вимірювальні системи створює низку переваг таких систем перед раніше відомими електронними прототипами. Внаслідок цього, волоконно-оптичні вимірювачі та датчики (ВОВД) фізичних полів останнім часом знаходять велике практичне застосування в різних галузях науки і техніки, зокрема, в силовій енергетиці, при моніторингу стану потужних трансформаторів, функціональних елементів і пристроїв ліній електропередач, НВЧ-трактів, ядерних та хімічних реакторів. Вимірювання температури є одним із важливих параметрів для контролю та забезпечення безпеки багатьох енергетичних об'єктів.

Завдяки властивостям світла та оптичного волокна, волоконно-оптичні термометри здатні проводити вимірювання температури в умовах сильних електромагнітних перешкод з високими тимчасовими та просторовими роздільними здатностями та дуже високою точністю, що є надзвичайно актуальним в сьогоденні. До цього часу відомий цілий ряд розробок у галузі волоконно-оптичних вимірювачів та датчиків температури (ВОВДТ), їх

удосконалення досі не тільки не втратило своєї актуальності, але й є надзвичайно перспективним напрямом у вимірювальній техніці.

Істотною перевагою в системах моніторингу з BOVD перед іншими вимірювачами та датчиками є можливість мультиплексування оптичних сигналів масиву датчиків, завдяки широкому діапазону модуляції сигналів, що дозволяє використовувати одну лінію оптичного волокна як основну шину передачі даних до блоку обробки багатьох сигналів. Саме це вирізняє BOVD серед інших методів вимірювання, та додає додаткового функціоналу з яким можна працювати та додатково вдосконалювати.

В свою чергу створення інформаційно-вимірювальних систем (IBC) для вирішення завдань температурного контролю пристроїв силової енергетики, що буде розглядатись в подальшому є доволі дорогим, зокрема і з погляду економічних витрат на їх обслуговування і експлуатацію таких систем. Традиційні вимірні датчики, застосовувані в таких IBC, як правило, вимагають електроживлення і власної лінії передачі сигналу. Крім того, умови експлуатації BOVD досить жорстко обмежені в своєму використанні через фактори навколишнього середовища, під впливом агресивних не звичних середовищ, високоефективних та шкідливих середовищ.

Поява волоконно-оптичних вимірювальних систем докорінно вплинула на всю цю ситуацію та уможливила створення високоефективних та економічних не оптико-електронних пристроїв для моніторингу об'єктів інфраструктури. Низька вартість таких систем у порівнянні з суто електронними системами сприяла їх широкому практичному впровадженню в багатьох різноманітних сферах діяльності. В даний же час BOVD конструктивно нерідко є фрагментом оптичного хвилеводу, або той же фрагмент, який підданий певної модифікації. В обох випадках ми маємо справу з пасивними волоконно-оптичними датчиками, чутливі елементи яких не вимагають електричного живлення, а ступінь впливу умов довкілля на волоконно-оптичні датчики значно нижчі, ніж датчики, що використовують електричне перетворення вимірювальної інформації.

1.2 Загальні поняття оптоволоконних датчиків температури

Сучасний рівень виробництва пред'являє високі вимоги до всіх видів вимірювачів та датчиків температури, в тому числі й оптоволоконні, до основних же вимог можна віднести такі як: точнісні характеристики, можливість стабільної роботи при тривалій експлуатації в умовах вимірювання температури на виробництві, перешкодозахищеності та захисту від зовнішнього впливу та агресивних середовищ.

Методи виготовлення датчиків дуже різноманітні – від складних високотехнологічних конструкцій із полірованого кварцу до осадження тонкого шару дзеркала на кінці волокна. Дві можливі конструкції чутливих елементів ВОД температури. Для вимірювання показань звіту інтерферометра в чутливому елементі (ЧЕ) датчиків використовується спеціальний термоматеріал, який змінює свої геометричні розміри від зміни температури. А спеціальний термоматеріал розташовується на кінці оптичного волокна і при впливі температури, змінюється оптична відстань між дзеркалами, а також показник заломлення.

Приклад волоконно-оптичного вимірювача з матрицею фотодіодів можна зобразити наступним чином. Оптичний сигнал від ВОД надходить на матрицю, в якій відбувається зчитування оптичного спектра. В такій оптичній схемі датчика використані тільки два приймача, причому на кожен з них потрапляє половина оптичного спектра сигналу. При виборі немонохроматичного джерела оптичного випромінювання та відповідного датчика цей простий пристрій забезпечить надійний звіт показань у лінійному режимі. Для реєстрації сигналів багатомодових датчиків на основі інтерферометра Фабрі-Перо такі вимірювачі можуть включати в себе джерела випромінювання, що працюють на двох довжинах хвиль. Оптичний сигнал повинен модулюватися відповідним чином. В одномодових датчиках Фабрі-Перо, як правило, застосовуються лазерні джерела, інтерферометр може знаходитись усередині самого волокна. Лазерне джерело уможливило мініатюризацію та різноманітність у конструктивному виконанні, на відміну

від інших багатомодових інтерферометричних датчиків розглянутих нижче.

Багатомодові волоконно-оптичні вимірювачі на основі інтерферометра мають меншу чутливість порівняно з одномодовими BOVD. Як правило, у промислових умовах не потрібна висока чутливість, а ефективність і функціональність багатомодових вирізняє їх. Наприклад, багатомодові датчики температури, що випускаються «MetriCor», мають роздільну здатність в $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Також проводячи дихотомію то всі волоконно-оптичні датчики температури можна розділити на основні два типи за принципом роботи.

Перший тип - БОД температури є оптичним волокном із зовнішнім чутливим елементом (ЧЕ), який перетворює сигнал, що йде від джерела випромінювання до приймача, під дією зміни температури, тут оптичне волокно лише виконує функцію оптичного каналу для передачі даних між джерелом і приймачем, тобто світловодом.

Другий тип – саме оптичне волокно є ЧЕ, тут же температура впливає на саме оптичне волокно через що і впливає на зміну його сигналу.

Не дивлячись на різкі відмінності, основними перевагами BOVD, що використовують оптичне волокно як ЧЕ, перед BOVD із зовнішнім ЧЕ є велика кількість різноманітних варіантів геометричної побудови конструкцій самого БОД, широкий спектральний діапазон, висока чутливість, мала інерційність визначення параметрів які вимірюються [18].

Наявні же недоліки BOVD, що використовують оптичне волокно як ЧЕ, перед BOVD із зовнішнім ЧЕ є складний процес виявлення та обробки сигналу, підвищені вимоги до точності та стабільності оптичних елементів, необхідне стабільне по довжині хвилі джерело світла із заданими характеристиками, підвищена чутливість до параметрів навколишнього середовища яка знижує селективність оптичного сигналу в оптоволокну та призводить до зміни самої довжини робочої хвилі, що в свою чергу ускладнює проведення вимірювань.

Волоконно оптичні датчики отримали доволі широке застосування у

різноманітних вимірювальних системах та системах де потребується точне та не прицензійне вимірювання. Серед областей їх застосування потрібно виділити наступні три групи:

- 1) світловоди для освітлення при дистанційному спостереженні, включаючи вимірювання у важкодоступних місцях;
- 2) системи огляду, такі як ендоскопи, екрани та збільшувачі;
- 3) рецептори, що використовують саме оптичне волокно або невеликі додаткові компоненти.

Оптико-фізичні явища які зазвичай використовуються у принципах роботи ВОВД складаються з: ослаблення інтенсивності випромінювання або фазовий зсув, обертання площини поляризації, розсіювання [1].

По принципу роботи на даний момент стали розвиватися і частіше застосовуватись засоби вимірювання на основі об'ємних дифракційних ґрат Бреґґа. Такі ґрати є нано-розмірними волоконно-оптичними періодичними структурами з періодом порядку сотень нм, що знаходяться безпосередньо в серцевині оптичного світловоду. Принцип роботи такого вимірювача заснований на залежності резонансної довжини хвилі волоконної Бреґґівської решітки від температури або механічних напруг (тиску), що впливають на чутливий елемент. Зміна волоконної Бреґґівської решітки призводить до зміни довжин хвиль відбитого випромінювання. За цією зміною спектрального складу визначають величину зміни температури або тиску. Зчитувачі перетворюють зсув довжини хвилі, відбитої бреґґівськими ґратами, в електричний сигнал. Такий волоконно-оптичний вимірювач є повністю діелектричним, тому його ефективно використовувати при вимірі температури у зоні сильних електромагнітних перешкод, підвищеної вибухонебезпечності, агресивного навколишнього середовища.

Залежність межі спектральної смуги поглинання напівпровідників від температури одна із поширених принципів роботи ВОД вимірювання температури. Принцип роботи такого датчика полягає в GaAs-призмі розташований між двома кінцями оптичних хвилеводів. Якщо енергія

Також одним із принципів роботи можна виділити пірометрію - це вимірювання температури об'єктів, що самосвітяться за їх кольором. Все працює від наявного спектр випромінювання чорного тіла. Традиційний пірометр – це ручний дистанційний прилад, що дає зображення гарячого об'єкта на прозорому екрані. Воно розглядається через окуляр разом із набором кольорових шаблонів, каліброваних за температурою. Користувач домагається найкращого збігу кольору і потім зчитує температуру шаблону. Через відмінності у випромінювальній здатності об'єктів, які не є абсолютно чорними тілами, шаблони калібруються для спеціальних застосувань, як, наприклад, для рідкої сталі в доменній печі. Для розробки волоконно-оптичного пірометра потрібний матеріал для виготовлення зонда, здатний витримати температуру розпеченої печі. Необхідним також виявився

					MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ	Арх.
						15
Зм.	Арх.	№ док.				

технічний інтерес саме до змінного струму, який до цього майже не використовувався.

Однією з головних особливостей струмів як таких є можливість їх переходу зі змінного струму однієї напруги в струм іншої напруги. Цей процес став можливий за допомогою пристрою під назвою трансформатор. Трансформатор же є статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більше індуктивно пов'язані обмотки та який призначений для перетворення за допомогою електромагнітної індукції однієї або кількох систем змінного струму одну або кілька інших систем змінного струму.

Трансформатори широко застосовуються при передачі електричної енергії на суб-великі відстані, розподіл її між приймачами, а також у різних випрямних, підсилювальних, сигналізаційних та інших пристроях.

Перетворення же енергії у трансформаторі здійснюється змінним магнітним полем. Трансформатор є сердечником з тонких сталевих ізолюваних одна від одної пластин, на якому поміщаються дві, а іноді і більше обмоток з ізолюваного дроту. Обмотка, до якої приєднується джерело електричної енергії змінного струму, називається первинною обмоткою, інші обмотки - вторинними.

Якщо у вторинній обмотці трансформатора намотано втричі більше витків, ніж у первинній, то магнітне поле створене в осерді первинної обмоткою, перетинаючи витки вторинної обмотки, створить у ній утричі більше напруги. Застосувавши трансформатор із зворотним співвідношенням витків, можна так само легко і просто отримати навпаки, знижену напругу.

З допустимою для практики точністю можна вважати, що відношення числа витків первинної обмотки до вторинної дорівнює відношенню доданої напруги до вихідної. Це відношення, називається коефіцієнтом трансформації, який зазвичай скорочують на менше з чисел, і саме через це зазвичай коефіцієнт трансформації одержують у вигляді відношення одиниці до деякого числа (1:4; 1:50) або, навпаки, деякого числа до одиниці (4:1; 50:1).

Якщо трансформатор використовується для перетворення електричної енергії в електричних мережах або для безпосереднього живлення приймачів енергії то такий трансформатор називають силовим. Розрізняють різні силові трансформатори, так умовно їм можна поділити на трансформатори загального призначення, які слугують для живлення мереж або приймачів електричної енергії, що не відрізняються особливими умовами роботи, характером навантаження або режимом роботи, і трансформатори спеціального призначення, які слугують для живлення мереж або приймачів енергії, що відрізняються особливими умовами роботи, характером навантаження та режимом роботи.

Силовий трансформатор призначений для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої (вищої або нижчої) напруги (при незмінній частоті). Передача електричної енергії на великі відстані здійснюється, як відомо, на надвисокій напрузі тобто 6, 10, 35 кВ і вище, це здійснюється за допомогою лише трансформаторів і ліній електропередачі. У місці споживання електроенергії її напруга за допомогою трансформатора знижується до необхідної величини, відповідної до потрібної напруги електроустановок споживачів [21]. Передача ж електроенергії саме високої напруги викликана прагненням максимально понизити втрати в передаючих мережах і перетин проводів ліній електропередачі.

Навіть попри цього, не можна нехтувати фактом того, що електрична енергія втрачається при передачі по лініях електропередач та самому трансформаторі. В трансформаторі при його роботі ця втрачена енергія виділяється у вигляді тепла в обмотках, магнітопроводі, деталях конструкції та інших частинах трансформатора. При цьому трансформатор нагрівається і температура його окремих частин може перевищити допустиму температуру.

Металеві частини трансформатора можуть без ушкодження тривалий час витримувати досить високі температури, а ізоляція трансформатора і зокрема ізоляція обмотувальних проводів нажалі, не може. Встановлено, що

електрична міцність паперової ізоляції, яка у сучасних масляних трансформаторах відіграє основну роль, не знижується доти, доки зберігається її механічна міцність. Під час роботи трансформатора паперова ізоляція поступово зношується, старіє. Старіння ізоляції супроводжується зменшенням її еластичності та механічної міцності. Причому чим вища температура обмоток, тим інтенсивніше відбувається старіння самої ізоляції.

Ізоляція, що сильно зістарилася, стає настільки нееластичною і крихкою, що під впливом вібрацій і динамічних зусиль, що є в трансформаторі, починає розтріскуватися і ламатися, тобто механічно пошкоджується. Наслідком цього може бути різке зниження електричної міцності, пробою або пошкодження самого трансформатора, що накладає особливу важливість температурного контролю трансформаторів.

Час, протягом якого ізоляція зношується настільки, що стає непридатною для подальшої роботи, на пряму залежить від температури її нагрівання. Зі збільшенням температури за інших рівних умов термін служби трансформатора зменшується. Для трансформаторів сучасного виробництва прийнято таку припустиму температуру нагрівання ізоляції, за якої забезпечується термін служби трансформаторів 20 - 25 років. Досвідченим шляхом встановлено, що найвища можлива температура, яку витримує в мастилі паперова ізоляція без помітного зниження своїх ізоляційних властивостей складає лише 105°C [23].

Виходячи з цього, ГОСТ 11677-75 встановив, що у трансформаторів, призначених для місць з найбільшою звичною для нашого регіону температурою навколишнього повітря 40°C, перевищення середньої (визначається за опором) температури обмоток над температурою повітря не повинно бути більше ніж $105^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C} = 65^{\circ}\text{C}$. Однак температура навколишнього повітря як протягом року, так і протягом доби ніколи не буває постійною, також вагається і навантаження. Отже, температура обмоток (та ізоляції) ніколи не дорівнює 105°C. Також встановлено, що якби в процесі експлуатації середню температуру обмоток у будь-який спосіб

вдалося підтримувати весь час 105°C , то термін служби трансформатора ледь перевищив 2 роки. Тому температуру обмоток 105°C треба розуміти як найбільшу середню температуру, допустиму для безпечної та коректної роботи трансформатора протягом кількох годин на добу саме в ті дні, коли температура навколишнього повітря досягає свого максимуму в 40°C [4].

У більшості трансформаторів, що застосовуються для енергопостачання, використовується трансформаторне мастило, одержуване з нафти. І лише частина розподільних трансформаторів заповнюється негорючою синтетичною рідиною і частина виконується в сухому вигляді, тобто без заповнення рідким діелектриком. Як правило, всі трансформатори номінальної напруги вище 35 кВ заповнюються трансформаторним маслом. Мастило у трансформаторі виконує дві функції: електричної ізоляції та передачі тепла від активної частини трансформатора до пристроїв охолодження.

Трансформаторне масло при роботі в трансформаторах також як і ізоляція піддається тепловому старінню, при цьому відбувається окислення самого мастила та виділення ішламу. За останні десятиліття технологічні процеси одержання мастила були значно вдосконалені та дозволили збільшити термін її експлуатації в рази.

Зупиняючись на температурних режимах трансформатора та трансформаторного мастила також потрібно висвітлити тему розчинності у маслі різних газів. Рідкі діелектрики у звичайних умовах завжди містять розчинений газ, зокрема, великою здатністю до розчинення газів відрізняється нафтова олія. Різні гази по-різному розчиняються в рідині. Ця їхня здатність зазвичай визначається у відсотках за обсягом як коефіцієнт розчинності. Для прикладу нижче наведено значення коефіцієнта розчинності в маслі для деяких газів: повітря 9,4, азот 8,6, кисень 16, вуглекислий газ 120, водень 7.

Завдяки цьому склад повітря, розчиненого в олії, відрізняється від атмосферного повітря. Зазвичай атмосферне повітря містить 78% азоту та

21% кисню (за обсягом), а в маслі співвідношення їх буде таким: 69.8% азоту та 30.2% кисню. Зміна температури по різному впливає на розчинність газів в маслі. Наприклад, при підвищенні температури від 20 до 800C розчинність водню та азоту збільшується, кисню дещо знижується, а вуглекислого газу різко падає.

Власна іонна провідність залежить від здатності молекул до їх дисоціації. Легше дисоціюють молекули, що мають суто іонні зв'язки, так звані гетерополярні. Дисоціація молекул рідини відбувається без впливу електричного поля, встановлено, що відношення кількості дисоційованих молекул у даному обсязі рідин до їх загальної кількості, зване ступенем дисоціації, залежить від відносної діелектричної проникності рідини. Відповідно до цього правила полярні рідини, що мають велику діелектричну проникність, мають підвищений ступінь дисоціації та підвищену власну провідність. У неполярних рідинах, наприклад нафтового електроізоляційного масла, власна провідність дуже мала через слабку здатність молекул вуглеводнів до дисоціації. У таких рідинах електропровідність переважно носить домішковий характер, а провідність залежить як від властивостей домішки, і її змісту в діелектриці. При тому полярні рідини особливо чутливі до домішок. Це пояснюється тим, що ступінь дисоціації молекул домішок у рідині з великою відносною діелектричною проникністю вище, ніж у рідині з малою діелектричною проникністю. У зв'язку з такою особливістю полярних рідин у них часто буває важко відокремити власну провідність від домішкової.

Якщо відносна діелектрична проникність домішки менше, ніж основної рідини, то частки домішки заряджаються негативно, інакше – позитивно. У разі неоднорідного електричного поля колоїдні частинки прагнуть зони максимальної напруженості електричного поля, до електрода відповідного їм знака, внаслідок цього концентрація забруднень тут сильно підвищується рахунок відомого зниження їх у інших зонах, що в свою чергу негативно відображається на робочих температурних режимах

трансформаторів. Взагалі, при моліонній електропровідності з часом частинки забруднень зосереджуються у електродів, і саме таким чином відбувається очищення рідин від різних забруднень. При змінному напрузі внаслідок безперервної зміни напрямку руху колоїдних частинок ефект очищення від них не спостерігається. Внаслідок ефекту очищення з часом після включення постійної напруги питомий опір рідини збільшується.

Також у технічно чистих рідких діелектриках завжди містяться ті чи інші домішки, зазвичай легше дисоціюючі, ніж основний діелектрик, тому провідність у них залежить від чистоти рідин, на власну провідність діелектрика накладається домішкова провідність. Залежно від природи рідкого діелектрика в ньому можуть бути різні домішки, що дисоціюють. Наприклад, нафтовому електроізоляційному маслу супроводжують деякі органічні кислоти, саме мастило є хімічно нейтральним вуглеводнем. Тому кислоти завдяки легкій дисоціації помітно підвищують питому провідність мастила. Забрудненням в рідкому діелектрику, зокрема в тому ж маслі можна рахувати воду отриману з навколишнього середовища.

Також важливо висвітлити проблему пробіїв самих трансформаторів. Пробіїв – втрата електричної міцності під дією напруженості електричного поля може мати місце як у зразках різних діелектриків та систем ізоляції, так і в електроізоляційних системах будь-якого електротехнічного пристрою, від потужних генераторів та високовольтних трансформаторів до будь-якого побутового приладу. Поєднання в системах ізоляції матеріалів, різних за електричною міцністю, може призводити до серйозних ускладнень в експлуатації найрізноманітніших електротехнічних пристроїв, особливо високої напруги, де ізоляція працює в сильних електричних полях і де може виникнути пробій.

Причини пробою бувають різними, через це немає якоїсь єдиної універсальної теорії пробою. У будь-якій ізоляції пробій призводить до утворення в ній каналу підвищеної провідності, досить високої, щоб відбулося коротке замикання в даному електротехнічному пристрої, що

створює аварійну ситуацію, яка по суті виводить цей пристрій з ладу. Однак у цьому відношенні пробій може проявляти себе в різних системах ізоляції по-різному. У твердій ізоляції, як правило, канал пробою зберігає високу провідність навіть після вимкнення, що призводить до пробою напруги де це явище протікає незворотно. У рідких і газоподібних діелектриках внаслідок високої рухливості їх частинок електричний опір каналу пробою практично миттєво відновлюється від напруги, що викликала його.

Пробій рідких діелектриків може бути викликаний різними процесами, що визначаються в основному станом рідини, ступенем її дегазації та чистотою. Найчастіше у рідкому діелектрику зустрічається волога з повітря. Гази, як і вода, можуть бути у рідини у різних станах від молекулярного до порівняно великих включень так званих бульбашок. Як і в газах, у рідинах у неоднорідних електричних полях спостерігаються форми пробою: неповний пробій – корона, іскровий та дуговий розряд. Встановлено, що розвиток пробою починається з формування оптичних неоднорідностей у міжелектродному просторі, у місцях утворення майбутніх каналів пробою рідина стає малопрозорою.

Відповідно до теорії Едлера, поблизу електрода є шар рідини з підвищеним питомим опором, що містить мікроскопічні зародки газових бульбашок. При проходженні струму через цей шар у сильному електричному полі виділяється така кількість тепла, що при певній напрузі вказаний шар нагрівається до температури кипіння, відбувається інтенсивне газовиділення і настає пробою. В електроізоляційних оліях, температура кипіння яких вища за температуру розкладання ($110 - 1200^{\circ}\text{C}$), поява газових бульбашок перед пробосм може бути пов'язана не з випаровуванням рідини, а з хімічним розкладанням під впливом нагрівання.

Крім того, утворення бульбашок та їх зростання можуть відбуватися під дією газового розряду. У цьому випадку підвищується питома вага, зростає в'язкість олії, підвищується температура спалаху. Обробка масел впливом розрядів називається вольталізацією і знаходить широке

застосування у техніці.

Діелектрична міцність трансформаторних масел в основному визначається наявністю волокон і води, тому механічні домішки та вода в оліях повинні бути повністю відсутніми. Низька температура застигання масел (-45°C і нижче) необхідна для збереження їхньої рухливості в умовах низьких температур. Для забезпечення ефективного відведення тепла трансформаторні мастила повинні мати найменшу в'язкість при температурі спалаху не нижче визначених режимів в $95, 125, 135$ і 150°C для різних марок мастила.

Найважливіша властивість трансформаторних мастил їх стабільність проти окиснення, тобто, здатність мастила зберігати параметри при його тривалій роботі. В широко застосовуваних трансформаторних масел зазвичай інгібовані антиокислювальною присадкою, наприклад 2,6-дитретичним бутилпаракрезолом (відомим також під назвами іонол, агідол-1 та ін). Ефективність же присадки ґрунтується на її здатності взаємодіяти з активними пероксидними радикалами, які утворюються при ланцюговій реакції окислення вуглеводнів та є основними її носіями. Трансформаторні мастила, інгібовані іоном, окислюються, як правило, з яскраво вираженим індукційним періодом.

Мастила є сприйнятливі до присадок, але окислюються вкрай повільно, оскільки всі ланцюги окислення, що зароджуються в обсязі мастила, обриваються інгібітором окислення. Після виснаження присадки олія окислюється зі швидкістю, близькою до швидкості окиснення базової мастила. Саме тому дія присадки тим ефективніша, чим триваліший індукційний період окиснення мастила, і ця ефективність залежить від вуглеводневого складу як мастила так і наявності домішок неуглеводневих сполук, що пролонгують його окиснення.

Трансформаторні мастила працюють у порівняно «м'яких» умовах. При цьому температура верхніх шарів мастила у трансформаторах під час короткочасних навантажень не повинна перевищувати 95°C . Багато

трансформаторів обладнані плівковими діафрагмами або азотним захистом, що ізолюють мастило від кисню з повітря. Деякі продукти (наприклад, гідроперекису, мила металів), що утворюються при окисленні, є сильними пролонгаторами окислення масла. При видаленні продуктів окислення термін служби мастила збільшується у багато разів. Цій меті є адсорбери, заповнені силікагелем, що підключаються до трансформаторів при експлуатації.

Тому в сучасній практиці перед заповненням електроапаратів, трансформаторне мастило зазвичай піддають глибокій термовакuumній обробці. Прийнято, що концентрація повітря в маслі, що заливається в трансформатори з плівковим або азотним захистом, герметичні вводи та герметичні вимірювальні трансформатори не повинна перевищувати 0,5 % (при визначенні методом газової а вміст води 0,001% (мас. частка). У силові трансформатори без плівкового захисту та негерметичні вводи допускається заливати мастило із вмістом води 0,0025 % (мас. частка).

При тому мастила різних виробників (різних марок) також допускають змішування між собою в будь-якій пропорції. І як було описано вище, для підвищення стабільності мастила до нього додають антиокислювальні добавки, тобто інгібітори. Однак сучасні мастила, завдяки досконалій технології їх виготовлення, можуть бути достатньо високостабільними та не вимагати добавки інгібіторів. Для такого масла може знадобитися введення в нього інгібіторів тільки у випадках трансформаторів з надзвичайно важким режимом роботи, наприклад при використанні дуже великих трансформаторів.

1.4 Ймовірні джерела похибок датчика

На стабільність вимірів BOVD не впливають зовнішні електричні та магнітні перешкоди, як на традиційні електричні вимірювачі (ЕВ). Також малому впливу схильні до BOVD і до різного роду випромінювання та вібрацій, так як оптичне волокно мало сприйнятливим до такого виду впливів, не спотворюється оптичний сигнал у світловоді в порівнянні з електричними

вимірювачами. В цілому, ВОД дозволяють стабільно вимірювати температуру об'єкта з високою точністю.

Всі ці оцінки впливу на передачу сигналу ВОД звичайно є відносними в порівнянні зі звичайними ЕВ. Під дією одиночних імпульсних високих значень зовнішніх впливів так чи інакше але відбуваються певні процеси у ВОД, в свою чергу це не може не реєструвати апаратура, що обробляє сигнали. В порівнянні з ЕВ ці впливи не значні, так завдяки кодуванню оптичного сигналу, обробна апаратура може вносити невеликі поправки в інформацію про сам сигнал [5], але при можливості цього потрібно позбавлятися для створення більш когерентної вимірювальної системи. Сам же оптичний сигнал, що йде по волокну, легко коригується і обробляється, та не є схильним до впливу зовнішнього впливу факторів, доприкладу як електронний сигнал у мідних кабелях, але не зважаючи на зазначене ВОД як і всі інші вимірювачі мають свої відповідно встановлені стандарти та практики їх вимог.

На сам перед до волоконно-оптичних вимірювачів та датчиків температури, що використовуються в електроенергетиці через велику кількість мікро-сфер застосувань та практичних забор'язань пред'являються саме такі вимоги:

- 1) Висока точність та надійність вимірювань;
- 2) Простота та технологічність конструкції;
- 3) Високий масогабаритний показник;
- 4) Відсутність металевих елементів;
- 5) Мала інерційність датчика;
- 6) Невисока вартість.

Відомі типи ВОД температури, за всіх своїх переваг, нерідко відрізняються порівняно великою технічною складністю та дорожнечою, що перешкоджають їх широкому практичному впровадженню в енергетиці, при тому, що через їх громіздкість використання, ці системи можливо нівелювати це, та створити більш зручні та дешевші їх аналоги.

Сенсори сучасних ВОД температури працюють у широкому діапазоні температур від -270 до $+2300^{\circ}\text{C}$, тому підібрати датчик температур, знаючи технічне завдання приладу, не становить якихось труднощів [6]. Існують складності при вимірі температури за допомогою традиційних електричних датчиків (ЕД) для роботи в умовах впливу потужних електромагнітних перешкод. При використанні ЕД з'являються наведення на електричні коаксіальні кабелі і сам датчик. Наприклад, ВОД, виготовлений повністю з діелектричних матеріалів які і будуть використані в даній роботі, разом з оптоволоконном будуть несприйнятливими до електромагнітних перешкод.

Основними же джерелами BOVD різних помилок виміру є:

- 1) Зсув довжини хвилі джерела оптичного випромінювання від температури;
- 2) Шуми в приймачі випромінювання;
- 3) Вплив зовнішніх факторів (вібрацій, різного роду випромінювання, агресивних середовищ та ін) на оптичне волокно та ЧЕ волоконно-оптичний датчик температури.

Також до джерел можна віднести й вірогідність створення різниці коефіцієнтів теплового розширення серцевини оптичного волокна та полімерної оболонки також збільшує втрати на мікрозгинах. У ЕД існують труднощі при вимірюванні температури хімічно агресивних середовищ, а також при вимірюваннях, де необхідно використовувати велику кількість датчиків - при контролюванні великої кількості точок, сотень або тисяч, у цьому випадку обсяг вимірювальних електричних кабелів стає неприйнятним [7].

Так як будь-який оптоелектронний приймальний пристрій повинен забезпечувати високе співвідношення сигналу до шуму. Втрати потужності сигналів на з'єднуючих оптичних та електронних роз'ємах повинні бути зведені до мінімуму. Саме тому для забезпечення перешкодозахищеності у виготовленому оптоелектронному приймально-передавальному модулі були виконані такі вимоги:

- 1) Загальне екранування;
- 2) Виведення спільної землі;
- 3) Балансування мікросхем (налагодження);
- 4) Фільтрування сигналів;
- 5) Рознесення та забезпечення необхідного видалення один від одного входу та виходів електронних пінів мікросхем;
- 6) Регулювання величини повного опору схеми.

Жорсткі умови експлуатації ВОД, наприклад, у свердловинах (екстремальні за параметрами, горючі, агресивні та абразивні середовища) або як в нашому випадку енергетичних установках (напруги та поля, надвисокі струми та розряди, іонізуюче випромінювання) фактично належать до звичайних робочих умов ВОД.

При цьому ВОД температури є стандартизовані, відповідні вимоги вказані у наступних нормативних та технічних документах:

- 1) ГОСТ 8.558-2009 «ДСІ. Державна повірочна схема для засобів вимірювання температури»;
- 2) ГОСТ Р 52931-2008 «Прилади контролю та регулювання технологічних процесів. Загальні технічні вимоги».

Для ВОВТ існують розроблені нормативні та технічні документи, що стосуються оптичних вимірювань, і для атестації таких вимірювальних приладів використовується державна повірочна схема, як для засобів вимірювань довжини та часу поширення сигналу у світловоді, середньої потужності, ослаблення та довжини хвилі для волоконно-оптичних систем зв'язку та передачі інформації (ГОСТ 8.585-2005).

Загальні вимоги до характеристик вимірювачів температури пред'являються українськими та міждержавними стандартами і, зазвичай, вони мають термін дії. Прийняті наступні українські та міждержавні перевірочні стандарти, що поширюються на датчики та вимірювачі температури:

- 1) термометри опору та ампули реперних точок МТШ-90;

- 2) термоелектричні термометри (термопари);
- 3) стандарти на пірометри, температурні лампи та тепловізійні прилади;
- 4) термометри рідинні скляні;
- 5) термометри інших типів, вимірювальні перетворювачі, регулятори та сигналізатори;
- 6) температурні шкали та перевірочні схеми;
- 7) комплекти термометрів для вимірювання різниці температур у складі приладів обліку кількості теплоти.

Повірка же будь-якого вимірювача температури здійснюється за допомогою високоточного платинного термометра опору (ПТО) методом реалізації температур реперних точок. ПТО – основний інтерполяційний пристрій міжнародної температурної шкали МТШ-90. При цьому є невизначеність реалізації температур реперних точок.

Відсутність повторюваності показань ПТС та обмежена довготривала стабільність, що випливає з властивостей платини та конструкції термометрів, не враховується у невизначеності стану. Найбільш вивченими процесами є окислення поверхні платини та загартування вакансій кристалічних ґрат при швидкому охолодженні від високих температур. Для обліку цих процесів було вироблено спеціальні рекомендації, що дозволяють підвищити відтворюваність відносних опорів. Впливають на стабільність ПТС також виникнення дефектів та дислокацій у платині, зростання зерна у структурі платинового дроту, забруднення платини домішками, що дифузують через кварцову оболонку термометра, електричні витоки через ізоляційні матеріали чутливого елемента.

2 ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Принцип роботи проектного датчика температури

Розвиток складних систем електроенергетики, хімічної, атомної та газової промисловості, а також пристроїв протипожежної сигналізації багато в чому визначається ефективністю апаратури контролю стану таких систем. Граничні робочі температури компонентів для систем промислового моніторингу значно різняться. Наприклад, електронні мікросхеми зазвичай працюють при температурах, що не перевищують 40–45 °С, робоча температура потужних напівпровідникових лазерів не більше 70–125 °С, перемикачів і трансформаторів в електроенергетиці -90–150 °С, датчики пристроїв пожежогасіння працюють в діапазоні 15–300 °С.

Вимогам електромагнітної захищеності яка є важливою для цієї роботи повністю задовольняють діелектричні вимоги, чутливий елемент яких виконаний на основі кремнеземних матриць, заповнених органічними рідинами з температурою фазового переходу «тверде тіло – рідина», що відповідає пороговій температурі відгуку датчика.

У приймально-передавальному модулі для ВОДТ можуть використовуватися різні джерела оптичного випромінювання. Оптичні світлодіоди мають переваги перед лазерними діодами в компактності, широкому виборі робочого діапазону довжин хвиль, малим споживанням струму, невисокою собівартістю. Але мають також свої недоліки, порівняно мала потужність оптичного випромінювання, великі втрати при введенні оптичного випромінювання в оптичне волокно, для якого знадобилася б складна оптична система фокусування та колімації випромінювання.

Для використання системи вимірювання температури з масивом датчиків переважно використовувати як джерело випромінювання напівпровідниковий лазерний діод. Такий лазерний світлодіод забезпечує потужність оптичного випромінювання до 5 мВт, що зазвичай достатньо для ВОД. Також встановивши потужніше джерело оптичного випромінювання можна забезпечити вимірювальну систему з запасом. При невисокому

значенні оптичного сигналу вимірювальної системи необхідно використовувати різні схеми прийому оптичного сигналу з використанням операційних підсилювачів.

В основі же принципу дії порогового волоконно-оптичного датчика температури лежить зміна оптичного коефіцієнта пропускання деяких органічних матеріалів при їх нагріванні або охолодженні. Такі матеріали зручно використовувати як температурно-чутливий елемент ВОВД, при цьому оптоволокну застосовується для підведення оптичного випромінювання до датчика і відведення випромінювання до фотоприймача який контролює рівень потужності вихідного сигналу.

Для виконання поставленої задачі потрібно враховувати, що проект в першу чергу спирається на тему магістерської роботи по моніторингу трансформаторного мастила, тому граничні робочі температури перемикачів і трансформаторів були зазначені на роботу в діапазоні $90 + 150^{\circ}\text{C}$.

Саме тому як чутливий елемент датчика було використане пористе силікатне скло (ПС), імпрегноване відповідною органічною речовиною. Технічні характеристики ВОПДТ, що розглядається, в тому числі оптичні втрати, інерційність, довговічність експлуатації, масогабаритні показники залежать від властивостей ПС та робочої речовини, введеної в ПС. Для оптимального вибору характеристик ПС (середнього діаметра пір, пористості, товщини пластини), а також робочої довжини хвилі джерела випромінювання для ВОПДТ необхідне знання спектральних та температурних залежностей пропускання імпрегнованих ПС [10].

Схематичний загальний вигляд чутливого елемента ВОПДТ, який виконаний з імпрегнованого трибензиламін пористого скла, показаний на рисунку 2.1, на якому можна побачити пористу структуру композиційно оптичного матеріалу використаного в роботі.



Рисунок 2.1 – Схематичне зображення структури пористого скла

Пористе скло - це кварцодіна матриця композиційних матеріалів, оптичний матеріал, що отримується з лужно-боросилікатного скла шляхом їх обробки в розчинах кислот і лугів. Різні умови виготовлення пористих стекол, час обробки, концентрація і температурний режим розчинів кислот і лугів по-різному впливають на утворення в лужно-боросилікатних скла пористої структури, визначаючи тим самим розміри і конфігурацію пір [13]. Залежно від розмірів, форми та розподілу неоднорідностей середовища змінюються характеристики розсіювання нею випромінювання.

Різні умови виготовлення пористих стекол, час обробки, концентрація і температурний режим розчинів кислот і лугів по-різному впливають на утворення в лужно-боросилікатних скла пористої структури, визначаючи тим самим розміри і конфігурацію пір. Залежно від розмірів, форми та розподілу неоднорідностей середовища змінюються характеристики розсіювання нею випромінювання.

Добре відоме релеївське розсіювання, при якому розміри фазових неоднорідностей набагато менше довжини хвилі випромінювання, що розсіюється. Наявність більших неоднорідностей у висококремнеземних пористих стеклах призводить до більш складного дифракційного розсіювання. У реальних зразках не можна виключати наявність як дрібних, так і великих неоднорідностей (оскільки локальна концентрація дрібних неоднорідностей може розглядатися як макровключення), що призводить до складної картини розсіювання світла. Імпрегнування пористих стекел з розмірами пор 0,5-30 нм органічними речовинами, фазовий стан яких

змінюється при перевищенні певної граничної температури, створює можливість виготовлення монолітних висококремнеземних матеріалів (кварцоїдів) із заданими оптичними та температурними властивостями.

2.2 Підбір функціональних компонентів

Датчики температури для моніторингу стану енергетичних об'єктів можуть використовувати різні методи вимірювання температури, наприклад: зміною кута поляризації, інтенсивності світлопропускання, частоти оптичного випромінювання і т.д. Практично вся периферійна апаратура, що безпосередньо обробляє оптичні сигнали, впроваджується і застосовується вже в подальшому на основі методів вимірювання. У свою чергу, чим складніший метод, тим дорожче вартість такої вимірювальної системи. Часто в таких складних системах доводиться вводити додаткові методи фільтрації та обробки сигналів, що також збільшує їхню вартість та вихідну ціну.

Цих недоліків позбавлений цей оптико-електронний пристрій, принцип роботи якого заснований на надійному та ефективному способі - це вимірювання зміни інтенсивності світлопропускання органічних речовин від температури [8]. Даний метод виміру не вимагає додаткової обробки або компенсації оптичного сигналу із внесенням поправок.

Вплив сильного електромагнітного випромінювання, що викликає спотворення на оптичний сигнал у волоконно-оптичному датчику температури та світловодах мінімальне, через вимірювання загальної інтенсивності пропускання світла, застосування багатомодового оптичного волокна та імпульсної модуляції сигналу. Сконструйований БОВД виконаний виключно з діелектричних матеріалів і не містить металевих або напівпровідникових компонентів, що дозволяє бути доволі гнучким в подальшій обробці сигналу.

Проект вимірювача складається з двох елементних баз фотовипромінювача та фотоприйомника, а також мікропроцесору для обробки та зберігання отриманих даних та п'ятих основних модулів

визначених нижче. Такий підхід логічно розділяє функціонал пристрою, що спрощує його подальшу розробку, відладку та експлуатацію. Компонент відповідальний за відповідну роботу фотовипромінювача є таймер LM555 зображений на рисунку 2.2, який відповідає за генерування одиночних та повторюваних імпульсів зі стабільними характеристиками в часі. Саме від нього й відходить живлення на лазерний діод з довготою хвилі 650 нм та частотою модуляції 660 Гц який дозволяє фокусуватися за допомогою кулястої лінзи в оптичне волокно серцевиною $d = 200$ мкм.



Рисунок 2.2 – Таймер LM555

Відповідальні же фотоприймальну частину де на кінці оптоволокну знаходиться чутливий елемент БОДТ два компоненти, базовий операційний підсилювач та компаратор. Сигнал від датчика надходить по оптичному волокну до фотоприймача, де перетворюється на електронні імпульси, які посилюються одноканальним прицезійним операційним підсилювачем моделі OPA177GP зображеним на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Операційний підсилювач OPA177GP

Сигнал з операційного підсилювача надходить на негативний вхід компаратора LP311P зображеного на рисунку 2.4, величина напруги якого повинна перевищувати величину прямої напруги германієвого діода, включеного перед позитивним входом LP311P [22]. Таким чином, реалізовано схему захисту від можливого посилення шумових сигналів, що надходять на оптоелектронний пристрій.

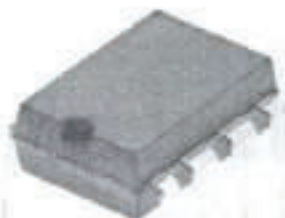


Рисунок 2.4 – Компаратор LP311P

Обробкою поступаючої інформації буде займатись невеликий самодостатній мікроконтролер ATmega328P Nano V3.0 зображений на рисунку 2.5, що є дешевшим, мануфактурним аналогом Arduino Nano V3.0.

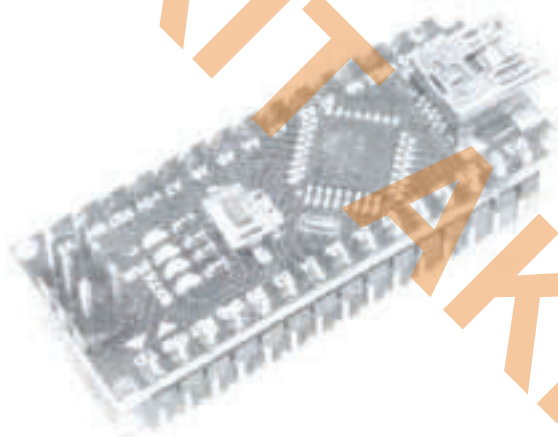


Рисунок 2.5 – Мікроконтролер ATmega328P Nano V3.0

Для живлення мікроконтролеру потрібно 5В постійного струму менше 50мА, також можлива робота за допомогою USB-порту [20]. Для всієї системи від мікроконтролеру виведено 3.3В та 5В для живлення фотовипромінювача та фотоприймача відповідно, також відходить і лінія живлення для дисплея Hwayeh 1.44 зображений на рисунку 2.6.

				MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ	Арк.
					35
Зм.	Арк.	№ док.			

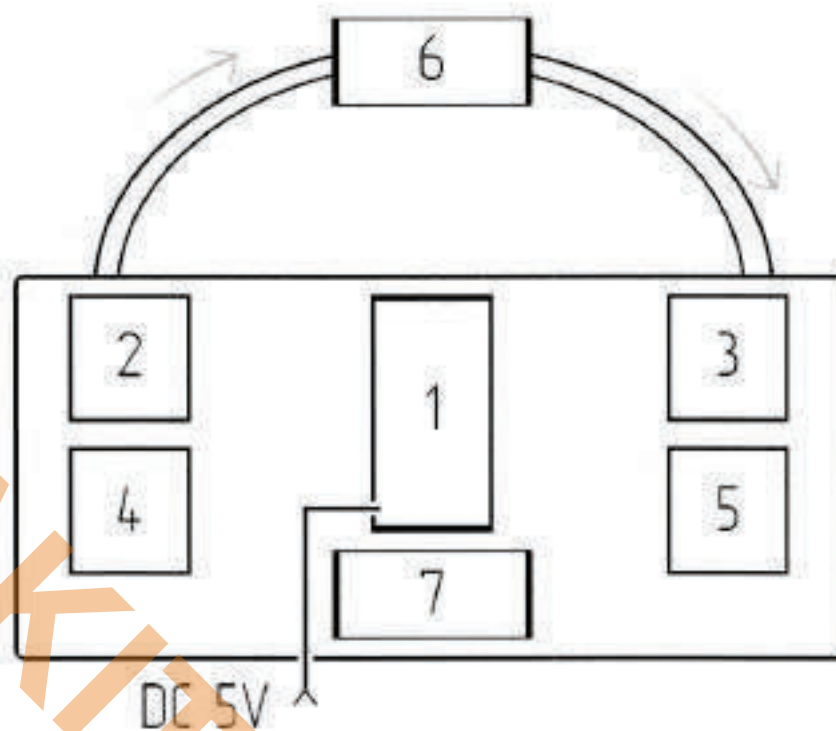


Рисунок 2.7 – Структурна схема пристрою

Графічна складова при побудові структурної схеми полягає в розміщенні функціональних та логічних блоків забезпечующих комплексне представлення про взаємодію елементів системи та функціональними частинами пристрою.

Чутливий елемент датчика виконує функцію логічного ключа по дорозі оптичного сигналу між джерелом випромінювання і фотоприймачем. При перевищенні температури об'єкта заданого порогового значення волоконно-оптичний датчик починає пропускати оптичний сигнал, який надходить на фотоприймальний пристрій також по оптичному волокну.

Також на оптоелектронному приймально-передавальному пристрої встановлено індикаторний світлодіод червоного кольору, що попереджає про досягнення температури заданого значення. Рівень оптичного сигналу обраховується за допомогою мікросхеми на базі ATmega328P Nano V3.0.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Синтез принципової схеми

Відповідно після опису принципу роботи пристрою та розробки електрично структурної схеми переходимо до наступного етапу – створення електрично принципової схеми. Яка дає найповніше розуміння про компонентний склад пристрою, його взаємозв'язки, та принцип роботи.

Елементи на принциповій схемі зображують у вигляді умовних графічних позначень за ЕСКД. Складні пристрої електроприводу, наприклад, перетворювачі, підсилювачі, що мають свої зображення, в принциповій схемі електроприводу часто розглядаються як елемент і зображуються у вигляді прямокутника або іншого позначення з вихідними цепями. Часто всередині прямокутника показують умовне зображення пристрою. У цьому випадку принцип роботи електроприводу визначається його принциповою схемою та принциповою схемою перетворювача.

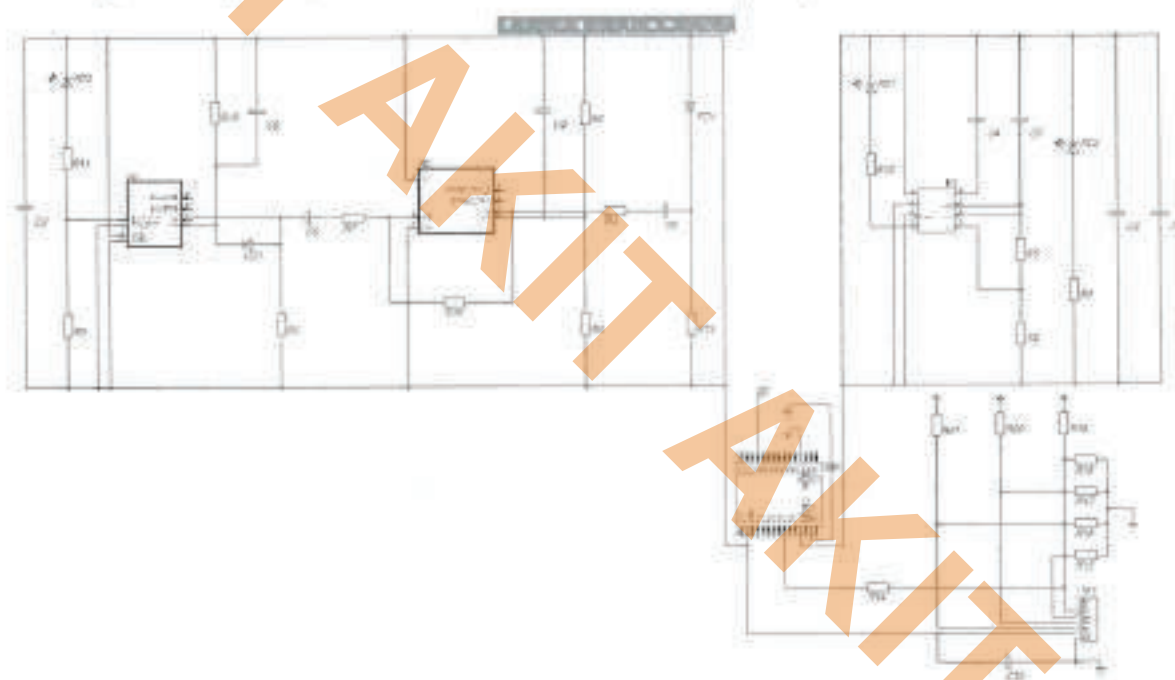
Елементи в принципових схемах зображують для пристрою у відключеному та ненатиснутому стані, суміщеними або рознесеними способами. Найбільшого поширення набуло зображення рознесеним способом, коли пристрої поділяються на окремі елементи, що розташовуються в різних місцях схеми для більшої наочності та простоти її накреслення, саме таким способом і було розроблену принципову схему пристрою.

При цьому позиційне позначення, присвоєне пристрою на схемі, проставляється біля всіх його елементів зверху або праворуч від зображення. Послідовність присвоєння порядкових номерів повинна відповідати послідовності розташування на схемі основних елементів пристрою, наприклад, обмоток контакторів або реле, починаючи від введення джерела живлення. Допускається окремо зображені елементи одного пристрою з'єднувати лінією механічного зв'язку, а позиційні позначення проставляти біля одного або обох кінців лінії. Також у принципових схемах електроприводів розрізняють силові і ланцюги управління. До силових цепів

									Арк.
									38
Зм.	Арк.	№ док.							

MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ

Визначивши потрібні значення кожного із функціональних компонентів починається побудова принципової електричної схеми за бібліотеками ГОСТ. Розташувавши та позначивши на робочому макеті всі елементи можна приступати до їх логічного з'єднання, відповідна схема зображена на рисунку 3.1, позначення же та їх зміст зображено в додатках схеми електрично принципової автоматизованого пристрою.



Після проведення всіх з'єднань елементів за допомогою симуляції можна перевірити схему на помилки ще на етапі проектування. Для цього потрібно на панелі інструментів натиснути **Project → Validate Project.PrjPcb**. При виявленні помилок рекомендовано їх виправити.

					MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ	Арк.
						39
Эм.	Арк.	№ док.				

3.2 Розрахунки з конструювання

Друкована плата (PCB) - схема призначена для визначення точного розміщення елементів на платі та електричного з'єднання між компонентами і функціональними вузлами. Друкована плата складається з основи (плати) з отворами для посадки або без них і провідного малюнку (тонких провідників).

Основні вимоги до друкованих плат сформульовані:

1) ГОСТ 23752-79 "Друковані плати. Загальні технічні. Умови плати";
2) ГОСТ 107460092.004.01-86 "Плати друковані. Типові технологічні процеси";

3) ГОСТ Р 55693-2013 "Плати друковані жорсткі. Технічні вимоги".

Та виділяють наступні групи вимог до плат:

1) Геометричні розміри елементів топології і точності їх виконання;
2) Електричні параметри;
3) Механічні властивості (міцність і крихкість плати, стійкість до скручування, зносостійкість контактів, адгезія провідного шару і маски;
4) Теплові параметри (термостійкість, розігрів при експлуатації і теплопровідність, коефіцієнт термічного розширення (КТР));

5) Корозійна стійкість (вологостійкість, стійкість певних середовищ).

Велику роль відіграє вибір класу точності, його вибирають виходячи з критеріїв надійності системи, швидкодії, вартості закладеної в виготовлення плати, максимально допустимого струму і напруги, оптимальних габаритних розмірів. В свою чергу згідно ГОСТу 23751-86 є 5 класів точності зображених в таблиці 3.1, друкованих плат які включають в себе рівень допусків, ширину доріжки, параметри контактних площадок. Перший клас точності же є самим простим в розробці. Такі плати виготовляють навіть за не призначеними для цього технологіями. Третій клас точності є найбільш оптимальним варіантом, через відносну дешевизну та невелику густину монтажу доріжок.

Таблиця 3.1 – Номінальні значення параметрів для певного класу точності за ГОСТ 23751-86

Основою друкованої плати служить діелектрик, найбільш часто використовуються такі матеріали як склотекстоліт або гетинакс, в процесі розробки пристрою, тобто в нашому випадку було відповідно вибрано – склотекстоліт СФ-1-35Г-1,5, як найбільш легкий та дешевий в виконанні.

MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ

3.3 Трасування друкованої плати

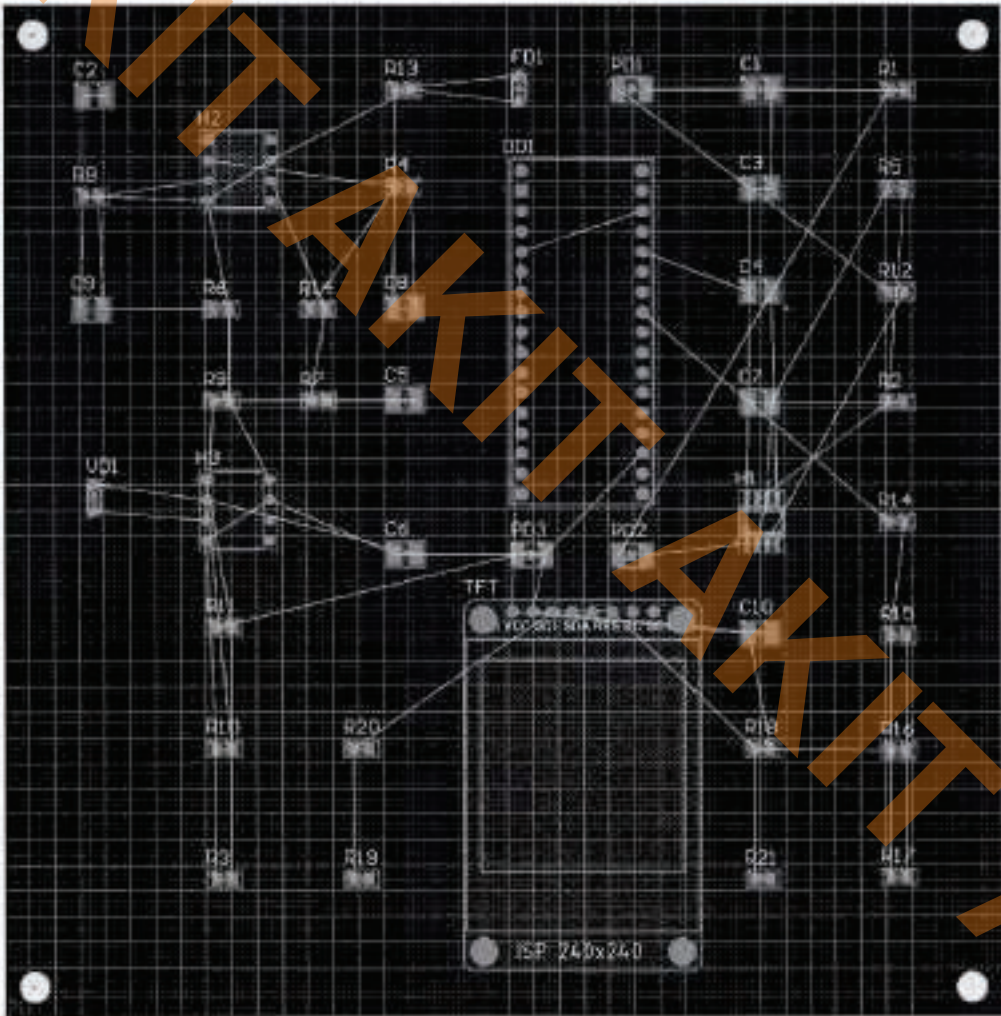
Сучасний світ важко собі уявити без електроніки, яка у свою чергу ніяк не може існувати без якісних друкованих плат. Саме тому виготовлення друкованих плат має таку стратегічну важливість для всього світу. У кожній країні підприємливі люди організовують якісний друк плат, завдяки чому в тій чи іншій державі з'являється можливість розвитку електроніки.

В свою чергу друкована плата це зазвичай спеціальна пластина, на яку нанесено провідний малюнок, тобто електропровідні ланцюги електронної схеми. Даний малюнок розміщується на діелектрику, матеріалі, що володіє відносно поганою здатністю проводити струм, що дозволяє будувати на такій основі потрібні електричні ланцюги не хвилюючись за їх замикання або не правильну роботу.

Найбільш затребуваними на сьогоднішній день є саме двошарові друковані плати для електроніки. Їх головна особливість полягає в тому, що вони містять так званий провідний малюнок відразу з двох сторін, що дозволяє економно зменшити загальні розміри того, чи іншого пристрою. Рисунок на таких пристроях виконується з фольги, а сама друкована плата має спеціальні контактні майданчики та монтажні отвори, що дозволяє з легкістю виробляти монтаж необхідних компонентів. Друковані плати сучасного типу можуть бути виготовлені за однією з двох технологій: адитивним або субтрактивним способом. У першому випадку провідний малюнок на матеріалі формується за допомогою процедури хімічного міднення. Для того, щоб цей процес був успішний, попередньо на діелектрик наносять спеціальну захисну маску. Особливість субтрактивного методу полягає в тому, що провідний малюнок формується на вже фольгованому матеріалі шляхом ліквідації непотрібних ділянок.

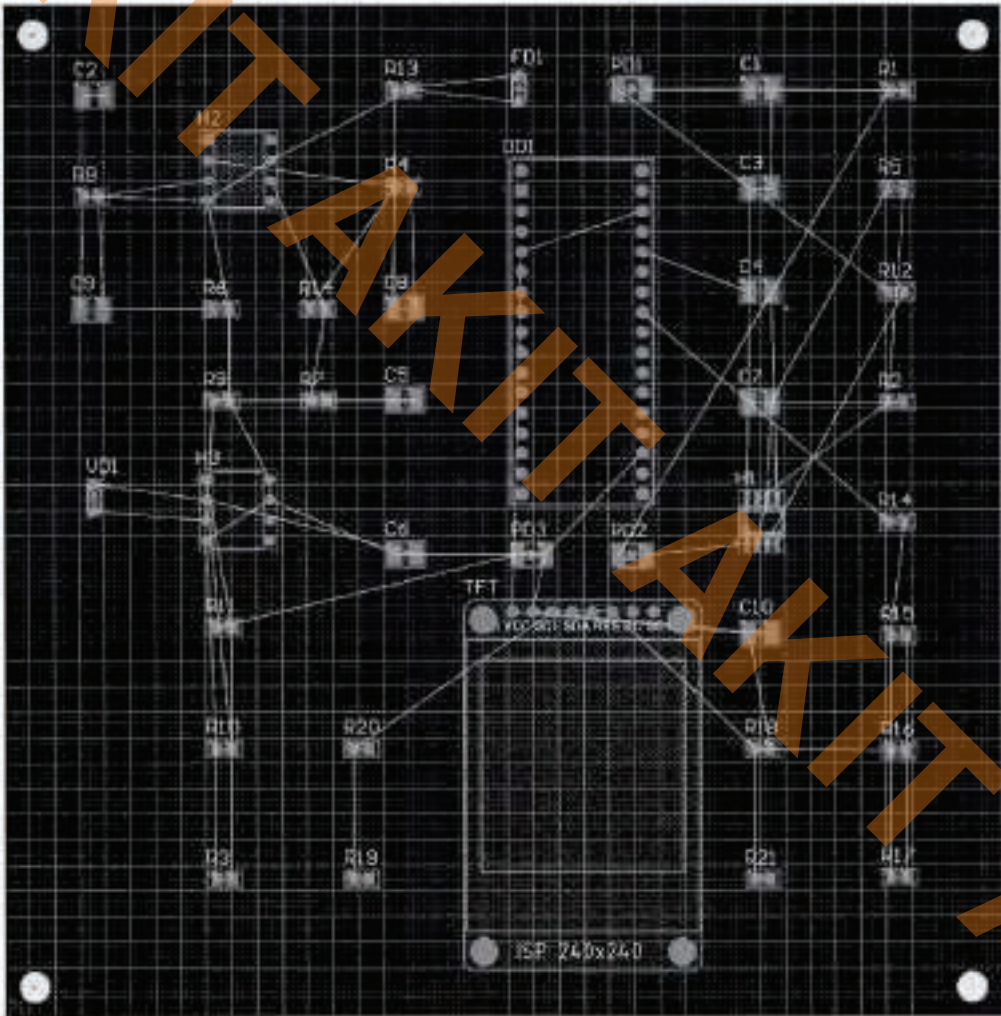
Розробка же самих плат проводиться у спеціально призначених для цього професійних програмах. Правильне конструювання друкованої плати та відповідного розміщення елементної бази відіграє велику роль так як визначає рівень працездатності і надійність електронного пристрою.

Після розробки принципової електричної схеми та задання розмірів друкованої плати в середовищі Altium Designer, можна перейти до компонування на ній елементної бази зображеної на рисунку 3.2 та трасування самої друкованої плати. Для зручнішого в подальшому монтування розташовано фотовипромінювальну частину разом з світлодіодом з правої сторони, фотоприйомну частину з фотодіодом зліва та мікроконтролер з світлодіодами індикації роботи в середині.

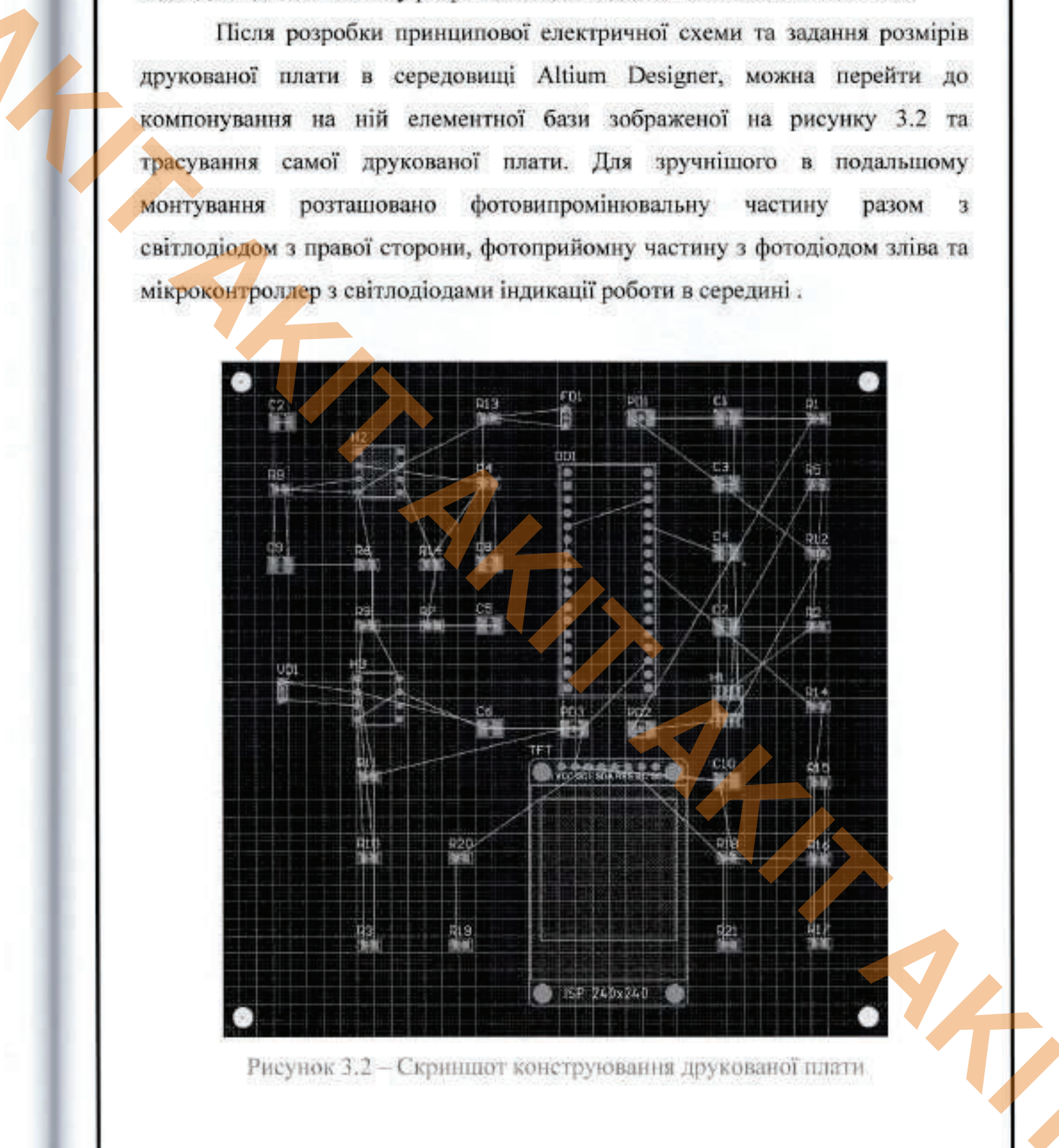


Рисуюнок 3.2 – Скриншот конструювання друкованої плати.

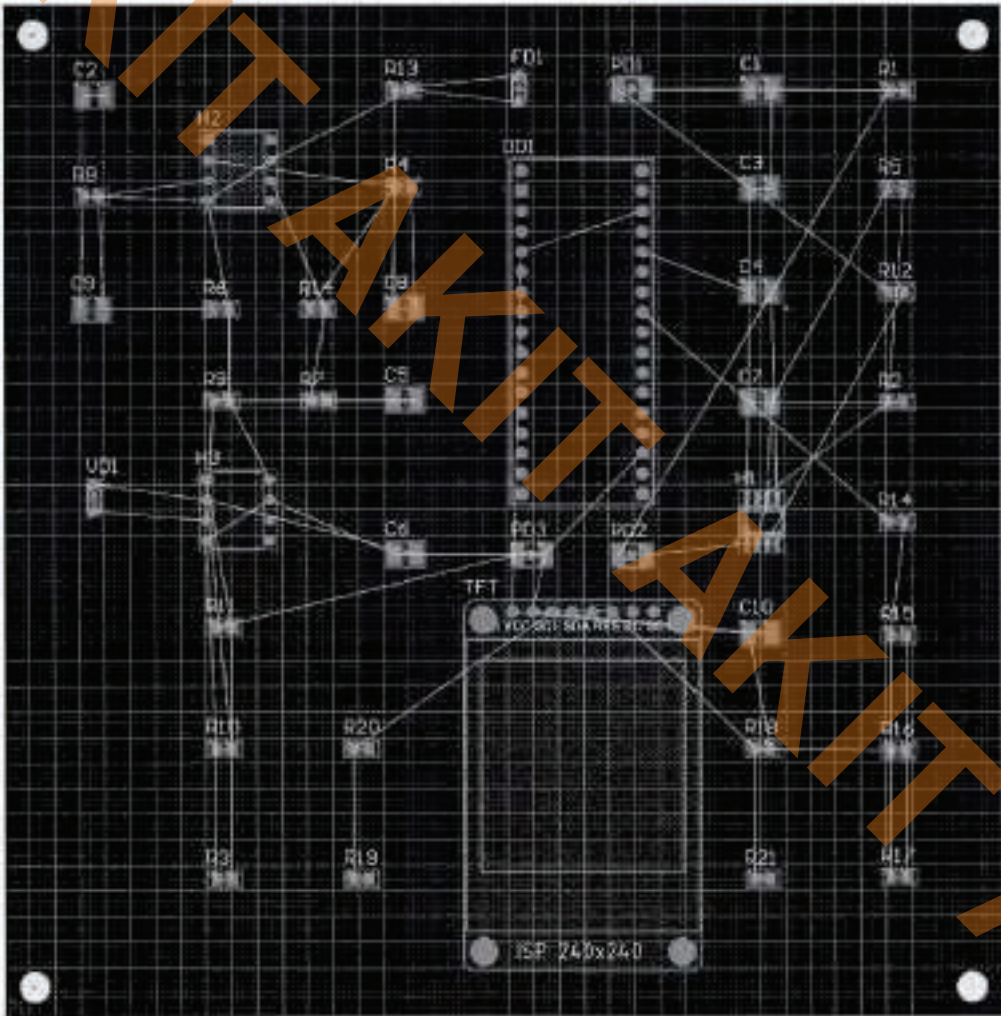
Після розробки принципової електричної схеми та задання розмірів друкованої плати в середовищі Altium Designer, можна перейти до компонування на ній елементної бази зображеної на рисунку 3.2 та трасування самої друкованої плати. Для зручнішого в подальшому монтування розташовано фотовипромінювальну частину разом з світлодіодом з правої сторони, фотоприйомну частину з фотодіодом зліва та мікроконтролер з світлодіодами індикації роботи в середині.



Рисуюнок 3.2 – Скриншот конструювання друкованої плати.



Після розробки принципової електричної схеми та задання розмірів друкованої плати в середовищі Altium Designer, можна перейти до компонування на ній елементної бази зображеної на рисунку 3.2 та трасування самої друкованої плати. Для зручнішого в подальшому монтування розташовано фотовипромінювальну частину разом з світлодіодом з правої сторони, фотоприйомну частину з фотодіодом зліва та мікроконтролер з світлодіодами індикації роботи в середині.



Рисуюнок 3.2 – Скриншот конструювання друкованої плати.

Трасування доріжок друкованих плат це процес який полягає в покроковому проектуванні структури провідників до елементів для друкованої плати вручну або з використанням автоматизованих модулів.

На ряду з заданням розмірів друкованої плати це один із важливіших етапів проектування який на пряму впливає як на складність її виконання так і на вихідну ціну за одиницю. Завдяки модулю автоматичної підбірки найбільш оптимальних доріжок для плати в Altium Designer отримуємо результат трасування з використанням двох шарів зображений на рисунку 3.3.

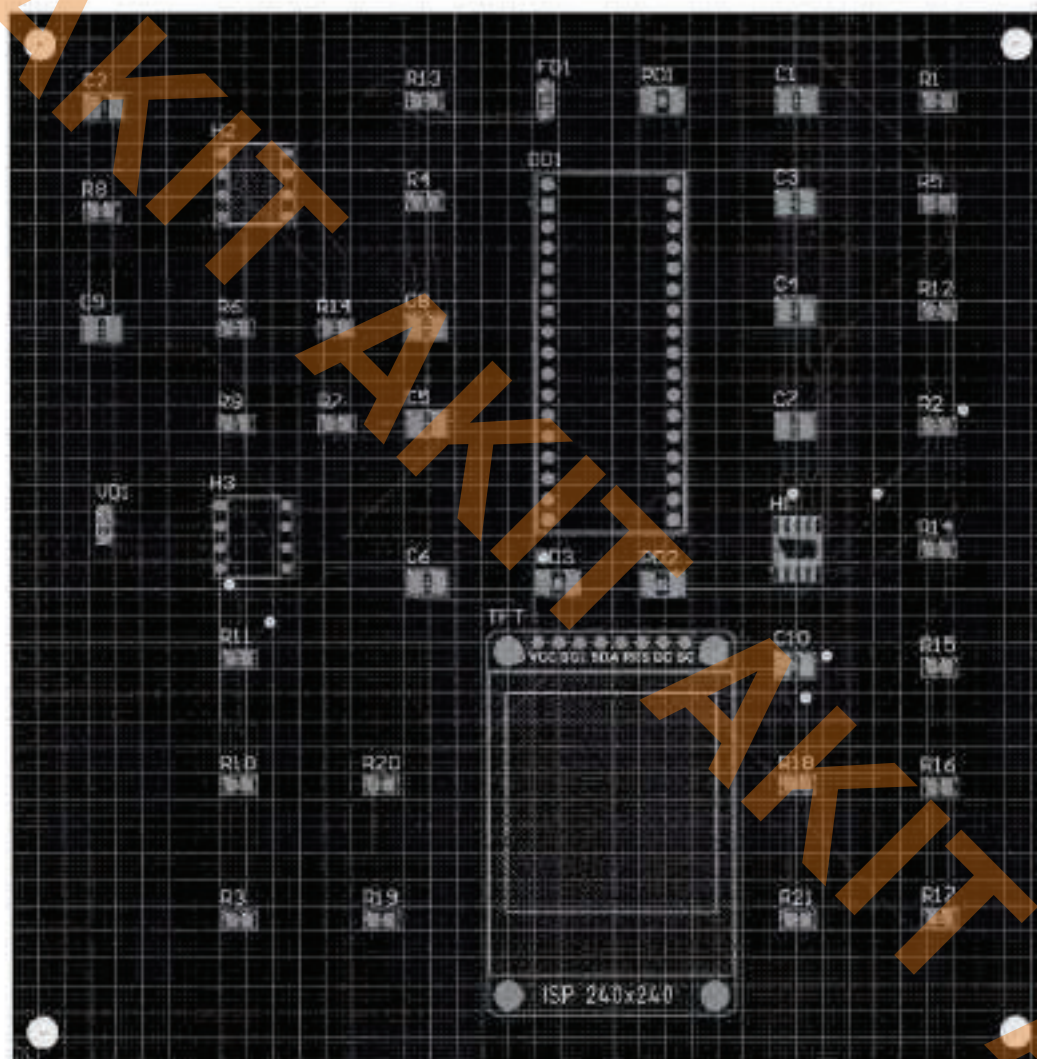


Рисунок 3.3 – Скриншот трасування друкованої плати

Виконавши відповідне трасування ми вже маємо готовий шаблон для побудови пристрою, за допомогою неї можна буде перенести топографічний малюнок на друковану плату за допомогою різних методів самотужки,

				МР.АКІТ. 9526268.01.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ док.				44

доприкладу за допомогою травлення, або замовити професійне виконання плати відповідно до схеми та в подальшому приступити до монтажу описаної компонентної бази автоматизованого пристрою.

3.4 Монтаж компонентів

Вся сучасна електроніка та пристрої так чи інакше має під собою друковану плату, тому особливо важливим є контроль якості виробництва плат. На сьогоднішній день у багатьох державах існують загальні стандарти і сертифікати якості, яким виробництва друкованих плат повинні обов'язково відповідати.

Зазвичай ці стандарти та сертифікати обумовлюють саме процес монтажу компонентів на саму друковану плату, тобто процес механічного з'єднання деталей та електронних компонентів у відповідній послідовності, яка забезпечує їх необхідне розташування один відносно іншого та обумовлює взаємодію між ними.

Виділяючи основні підходи до методу монтажу можна виділити наступні декілька принципів монтажу компонентів, саме серед них:

- 1) Вивідний монтаж (монтаж в отвори);
- 2) Поверхневий монтаж;
- 3) Змішаний монтаж.

Детальніше доприкладу монтаж в отвори або вивідний монтаж — технологія встановлення вивідних компонентів та електронних вузлів на друковані плати, при якій висновки компонентів монтуються в наскрізні отвори плати. Технологія поступово поступається місцем поверхневому монтажу, проте продовжує застосовуватися у виробках великої електричної потужності і при великих механічних навантаженнях (наприклад, для монтажу великих роз'ємів). Також у деяких випадках монтаж в отвори виявляється економічно вигіднішим, наприклад, при використанні дешевих алюмінієвих електролітичних конденсаторів.

Технологію же поверхневого монтажу друкованих плат також називають, а компоненти для поверхневого монтажу також називають «чіп-компонентами». Поверхневий монтаж є найбільш поширеним на сьогоднішній день методом конструювання та складання електронних вузлів на друкованих платах. Основною відмінністю поверхневого монтажу від «традиційної» технології — наскрізного монтажу в отвори є те, що компоненти монтуються на поверхню друкованої плати тільки з боку струмопровідних доріжок і для цього не потрібні отвори. Наскрізний монтаж та поверхневий монтаж можуть комбіновано використовуватись на одній друкованій платі. Переваги такого монтажу проявляються завдяки комплексу особливостей елементної бази, методів конструювання та технологічних прийомів виготовлення друкованих вузлів.

Бажання виготовляти електронні модулі з одних планарних компонентів вимагає перебудови виробництва та впровадження як нового устаткування, а й нових стандартів контролю за дотриманням вимог технології. Перехід виробництва від вивідного монтажу до поверхневого можливий лише через випуск модулів, зібраних за технологією змішаного монтажу. Змішаний монтаж вбирає в себе всі кращі сторони двох базових підходів до монтажу. Застосування збалансованого змішаного монтажу дозволяє використовувати найкращі компоненти з вивідних та планарних та розробити гарну плату, що дає найкращі електричні властивості модуля.

Для проекту волоконно оптичного датчика моніторингу трансформаторного мастила та спрощення подальшого конструювання елементів та загального робочого процесу на платі був вибраний саме метод поверхневого монтажу. Таким чином на платі передбачаються спеціальні майданчики, на поверхні яких і припаюються електронні компоненти. А сам метод зводиться до декількох етапів:

1) Нанесення через трафарет шару паяльної пасти безпосередньо в ті місця плати, до яких будуть припаюватися компоненти. У складі паяльної пасти міститься припій і флюс одночасно;

2) Верстат автоматично встановлює компоненти на цю пасту в призначені для них місця (вона досить липка, щоб утримувати компоненти);

3) Плата поміщається в спеціальну піч, в якій розігрівається до температури плавлення припою в пасті, і в результаті всі компоненти припаюються;

4) Відмивання плати від залишків флюсу, таке ж як і при наскрізному монтажі. Тільки для відмивання використовуються розчинники, які здатні розчиняти флюс, що входить до складу пасту;

5) Сушіння плати.

Після виробництво друкованої плати, всі компоненти які є описані в електрично-принциповій схемі та приведені в додатках безпосередньо припаюються до майданчиків плати у спеціально виділені для них місця. Весь процес та підхід до встановлення компонентів на свої місця описаний вище. Але всі ці компоненти незалежно від типу і стандарту відносяться до класу SMD-компонентів, тобто монтованих на поверхню.

									Арх.
									47
Зм.	Арх.	№ док.							

MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ

Для подальшої розробки програми було вибрано осередок UICIDE IDE, інтерфейс якого зображений на рисунку 4.1 через його широкий функціонал роботи з відладчиком, та відсутність важких додаткових модулів.

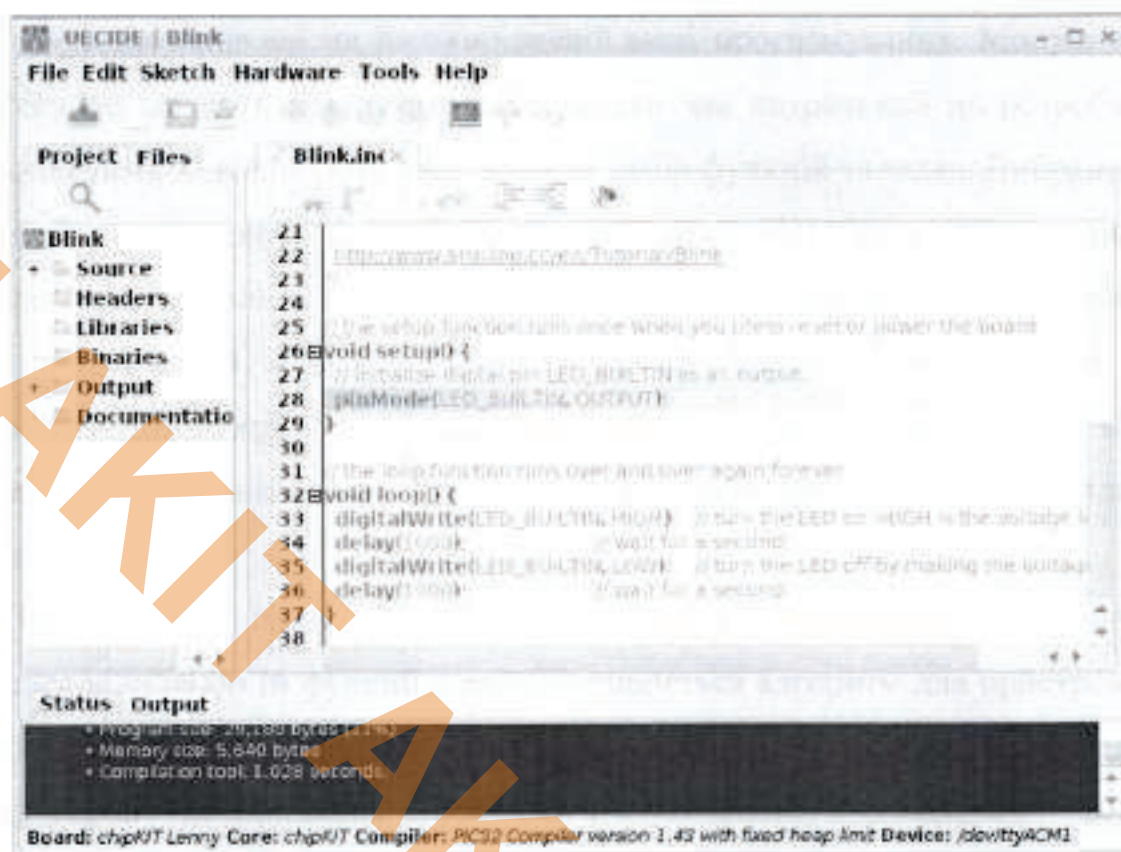


Рисунок 4.1 – Скриншот інтерфейсу UICIDE IDE

Звичний осередок розробки для мікроконтролерів складається із вбудованого текстового редактора програмного коду, панелі інструменти, вікна виведення тексту. Для завантаження же програм необхідно підключити середовище розробки до апаратної частини мікроконтролера, для цього використаємо Mini-B USB вихід на ньому.

Для відладки та розуміння робоспроможності написаного коду, під час збереження чи компіляції скетчу в області повідомлень з'являються пояснення, або повідомлення про помилку, у разі неправильного написання програми-коду. Написання же самого коду в основному опирається на низькорівневі мови програмування такі як C та C++.

4.2 Принцип роботи програми

Для коректної роботи програми чіпа потрібно підібрати відповідні бібліотеки забезпечуючі функціональні модулі описані в главі 2.2, як і сама прошивка вони написані на низькорівневій мові програмування. Модулі та бібліотеки дозволяють ефективно використати час витрачений на розробку так як описують та виконують вже типовий набір функцій та задач. Вибраний дисплей буде використовувати бібліотеку Adafruit_SH1106, якої достатньо для того щоб ми змогли виводити корисну нам інформацію на вибраний екран Hwayeh 1.44. З обробкою же логіки інформації надходящої з фотоприймача до мікроконтролеру буде допомагати бібліотека OneWire від незалежного програміста Пауля Стофрегена, в якій вже описані необхідні взаємодії [19].

Підключивши потрібну для роботи дисплею бібліотеку додатково будуються відповідні їй функції в яких уточнюється алгоритм для пристрою, де для ініціалізації екрану використовується функція – void setup, постійного виклику екрану та очищення інформації і її подальшого оновлення – void loop, а також для самого виведення інформації на дисплей – void Display.

Необхідна логіка роботи волоконно оптичного вимірювача температури також описується додатковою функцією. Іншими словами вимірювання залежності отриманого коефіцієнта пропускання чутливого елемента відносно визначених температурних режимів описуємо функцією – int Temp, яка буде обробляти відповідні показники з датчику та передавати далі для виводу їх на дисплей.

Описавши основні функції програми та попрацювавши з відладчиком ми отримуємо повноцінну робочу програму для автоматизованого пристрою приведену в додатках. Прошивання мікроконтролеру легко здійснюється за допомогою влаштованих засобів в UICIDE IDE процес якого зображений на рисунку 4.2.

					МР.АКІТ. 9526268.01.000 ПЗ		Арк.
							50
Зм.	Арк.	№ док.					


```

Compiling...
- Compiling sketch...
- Compiling core...
  > arduino
- Compiling libraries...
- Linking sketch...
Compiling done.
Memory usage
- Program size: 7801 bytes
- Memory size: 1092 bytes
- Compilation took 3.834 seconds
Uploading firmware...
- Resetting board...
- Uploading...
- Resetting board...
- Upload Complete

```

Рисунок 4.2 – Скриншот виконання прошивки мікроконтролера

Процес прошивки мікроконтролера здійснюється в декілька етапів: компіляції, визначення ефективності та завантаження прошивки на пристрій. Спочатку компілюється написаний скетч, після чого компілюється вже ядро ардуїно та використані нами бібліотеки або модулі. Після чого скомпільована система лінується та будує файл прошивки паралельно визначаючи ефективність виконаного процесу та самого коду. Останнім етапом є скидування попередньої прошивки пристрою, завантаження та оновлення новою. Завантаження же програми в Ардуїно здійснюється за допомогою завантажувача - невеликої програми, прошитої в пам'яті самого мікроконтролера, яка дозволяє завантажувати код без зовнішніх апаратних засобів. Завантажувач активізується на кілька секунд після скидання пристрою, після чого він запускає на виконання останній завантажений у контролер скетч. При запуску завантажувача блиматиме вбудований світлодіод, підключений до 13 ніжки контролера.

5 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ

5.1 Розвиток оптоволоконних датчиків температури

На сьогоднішній день ведуться роботи зі створення високоефективного та недорогого ВОВД для роботи в умовах сильних електромагнітних перешкод, агресивних середовищ, на виробництві, зайнятому видобутком та переробкою важких металів, вибухонебезпечною та пожежною справою. Одним з важливих параметрів для вибору ВОВД для роботи в таких умовах є його надійність, що висувається до виконавчих механізмів. Іншими словами, не відпрацьовані у виробництві технології не сприймаються належним чином.

Тому процес впровадження нових розробок у галузі ВОВД для моніторингу стану технологічних процесів рухається повільно, напрацьовуючи статистичні дані щодо надійності та точності вимірювань.

При експлуатації мультиплексованих систем волоконно-оптичних датчиків постають питання, пов'язані з надійністю елементів вимірювальних систем, їхньої безвідмовності в роботі, а також до апаратури, що забезпечує мультиплексування сигналів.

У ВОВД використовуються різні частини та матеріали для захисту ВОДТ: графіт, епоксидні смоли, поліімід, кераміка, вуглецеві матеріали, різні оболонки для оптичних волокон, різні з'єднувачі.

Виробники датчиків домагаються повної технологічності та захищеності процесів, що протікають у ВОД від зовнішнього впливу. Розв'язання задачі є вибір захисної оболонки, сумісної і використовуваної спільно з різними композитними матеріалами. Тестування оптичного волокна у корпусі датчика. При цьому можуть використовуватись різні матеріали: низькотемпературні графітові епоксидні та термопластичні матеріали, кераміка і навіть вуглецеві матеріали, температура створення яких може досягати тисяч градусів Цельсія [11].

Для створення датчиків, здатних працювати в екстремально високій температурі, проводяться дослідження зі спеціальними жароміцними

хвилеводами, що виготовляються наприклад такого матеріалу як сапфір, який потенційно не втрачає свої властивості при температурах аж до 2000 °С. Якщо цей потенціал буде реалізовано, датчики можна використовувати при моніторингу температури самих жароміцних матеріалів. Завдяки своїй низькій вартості кварцові волокна широко використовуються на різних об'єктах за будь-яких температур.

Наскільки оптичний сигнал зазнаватиме додаткового розсіювання у ВОДТ від неспіввісності розташування оптичних елементів у схемі «світловод – чутливий елемент – світловод» залежить від вибору клеючих та герметизуючих датчиків елементів, а також від технологічності процесу клейки. При установці оптичного волокна в матеріали, такі як епоксикарбопласт або термопласт, позитивний результат може бути отриманий при нанесенні на волокна смол, аналогічних відповідним композитним органічним матеріалам на оптичних волокнах. В цьому випадку сумісність хімічного складу покриття з матеріалом має першорядне значення.

Після того, як обрані оптичні волокна, покриття та налагоджений технологічний процес герметизації та фіксування оптичних елементів у ВОД, необхідно визначитися з вибором стандартних з'єднувачів для оптичних світловодів. Для з'єднання волоконно-оптичних кабелів можуть застосовуватись методи зрощування оптоволокон. Найпростіший і економічний спосіб, що дозволяє зрощувати волокна з невеликими втратами, - це зварювання волокон дуговим розрядом, але його небезпечно використовувати в присутності летких газів, і це серйозний недолік [12]. З цієї причини краще користуватися зрощення оптичних волокон епоксидними смолами, але цей метод вносить більші оптичні втрати, ніж попередній. У багатьох випадках необхідно використовувати стандартні з'єднувальні роз'єми.

Для захисту та герметизації чутливих елементів ВОД температури, що являють собою оптично прозорі елементи (імпрегновані органічними речовинами пористі скла), може бути застосований метод склеювання

полімерами, що фотоотверджаються, або склеюванням оптичними клеями на основі епоксидної смоли. Існує технологічна складність при використанні епоксидних клеїв при герметизації просочених ПС розчинами хімічних барвників: можливість змішування двох розчинів, в результаті якого утворюється область, де процес затвердіння оптичного клею сповільнюється або зупиняється зовсім.

Для вирішення цього завдання захисту та герметизації необхідно підбирати відповідні епоксидні складові клеї та матеріали, які не вступають в реакцію з розчином хімічного барвника. Повторна герметизація ВОДТ за допомогою оптичного клею призводить до збільшення габаритів ЧЕ (що збільшує інертність визначення температури при нагріванні або охолодженні).

У цій дипломній роботі для герметизації ВОПДТ на основі пористого скла використовувався клей-компаунд ПЕО, який призначений для використання в електронній та електротехнічній промисловості: для приклеювання напівпровідникових кристалів до підкладки; планаризації (герметизації) дискретних світловипромінюючих діодів та світлодіодних модулів (лінійок, кластерів), фотодіодів, оптронів; заливки схем поверхневого та закритого монтажу великої площі, у тому числі напівпровідникової освітлювальної техніки. Наприклад, марка ПЕО-28 М може працювати в діапазоні температур від -60 до $+125^{\circ}\text{C}$, використовуватися в мікроелектроніці та електротехніці як заливальний, просочуючий і покриває електроізоляційного матеріалу.

Також необхідною умовою герметизації ЧЕ з пористого скла, імпрегнованого розчином хімічних індикаторів, є температура, яка не повинна досягати значення точки кипіння розчину. При менших температурах, ніж температура кипіння хімічних індикаторів, процес герметизації ПС не повинен проводитися довгий час, щоб уникнути зміни концентрації хімічного індикатора внаслідок випаровування води.

Для ПС, імпрегнованих органічними матеріалами, питання герметизації не стоїть гостро, як для ПС імпрегнованих хімічними індикаторами, так як у звичайних умовах (20 - 25°C) імпрегнована речовина ПС знаходиться в кристалічному стані.

В останні роки на ринку з'явився широкий асортимент оптичних клеїв УФ-затвердіння, придатних для з'єднання скла зі склом, металами та полімерами і отже для герметизації мікроструктур.

Однією з істотних переваг клеїв ультрафіолетового-затвердіння (УФ) є незалежність швидкості відкидання від температури, що дає можливість в широких межах змінювати в'язкість клею за допомогою нагрівання.

Так само для герметизації ЧЕ BOVD можливо використовувати полікарбонат (комерційні марки Makrolon, Calibre, Lexan, Trirex), він має хорошу стійкість до спиртів і кислот, має температуру склування 125 - 150°C, має хорошу прозорість у широкому спектральному діапазоні.

Також існує метод описаний лазерної пасивації пористого скла для захисту від хімічної деградації і старіння, в тому числі, і ПС, заповнених органічною речовиною [14]. Показано, що зменшення світлопропускання у видимому спектральному діапазоні після створення на поверхні зразка захисних шарів (їх товщина = 10 - 50 мкм) не перевищує 5-7%.

Простішим способом герметизації полімерних пластин є спосіб термічного зв'язування (при температурах від 25 до 250°C) - ламінування, герметизація скотчами та ін.

Основною проблемою при використанні фототвердильних клеїв є забезпечення повної полімеризації шару, що з'єднує. Неповна полімеризація призводить до низької міцності з'єднання та негерметичності виробу. Контроль якості герметизації (полімеризації) може бути здійснений оптичними методами, наприклад, методами спектрофотометрії або люмінесцентної спектроскопії [15]. При цьому динаміка процесу полімеризації може відстежуватися трансформації смуг поглинання та люмінесценції полімеру.

					MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.				55

5.2 Розвиток технічного забезпечення датчику

В сучасному світі з появою інтернету все більше і більше обчислень і взаємодій з пристроями приходить на хмарні технології. Сьогодні вируч різноманітним можливим пристосуванням хмарних технологій в буденному житті, нікого не здивувати розумними холодильниками, тостерами, кавоварками, якими людина може керувати з смартфона задаючи і передаючи дані на локальний або хмарний сервер. Такий принцип комунікації людини з пристроями називається інтернетом речей (IP).

Саме цей вектор розвитку технологій на даний момент вважається найбільш перспективним через його легкість, зручність та відносно високу надійність. Не останнє місце в такій взаємодії грають різного роду датчики, які допомагають будувати патерни залежностей дій та будувати повноцінні програми для типових ситуацій.

Взаємодія датчиків в смартфоні, вивід інформації на нього та контроль є перспективною нішею для розвитку оптоволоконних датчиків [17]. Для такого ускладнення системи організації необхідним виглядає створення системами реагування на підвищення температури мастила в трансформаторах. Тобто розширення наявного функціоналу з вдосконаленням в вигляді пристроїв для покращення теплообміну за рахунок зменшення температури масляно-водяних охолоджувачів або покращення якості циркуляції мастила та повітря.

До цього також були описані ймовірнісні моделі для розрахунку передбачень майбутнього температурного режиму трансформаторного мастила, та скомпонований готовий логічний підхід для створення нейронної мережі для обрахунку, відносно якого можна здійснювати подальші автоматизовані дії примусового охолодження за допомогою використання різних підходів до побудови приладу [16].

Логічним виглядає якісне та кількісне функціональне нагромадження компонентної бази в вигляді елементів Пельте з зовнішніми радіаторами в якості додаткового охолоджувачу які би відносно визначеної поточної

температури збільшували струм на елементи Пельте додатково охолоджуючи масляно-водяних теплообмінників відповідно збільшуючи тепловідведення та подовжуючи термін служби трансформатору.

Для трансформаторів же з теплообмінниками на основі примусової циркуляції мастила або повітря також можна використати пристрої для реагування по принципу дії реле, при збільшенні температури які збільшували або зменшували би аеродинамічний опір в теплообміннику за допомогою регуляції потужності роботи насосів та вентиляторів для нагнітання повітря.

Наростивши елементну базу для відповідної терморегуляції можна продовжити роботу з вдосконалення програмної частини, тобто створення незалежного хмарного кластеру з таких приладів, за допомогою якого можна буде дистанційно в ручному режимі слідкувати за температурою та керувати терморегуляцією. Забезпечити різноманітні версії поведінкових патернів та скриптів на ті чи інші зовнішні фактори, так як на якість і продуктивність самих охолоджувачів може також впливати безліч причин від кількості опадів і відносної вологості до непередбачуваних екстраординарних ситуацій, що додасть проекту більшої гнучкості в забезпеченні відповідної терморегуляції.

ВИСНОВКИ

1) Виходячи із аналізу літератури бачимо, що в сучасну епоху дуже важливим завданням стоїть якісне забезпечення різного роду виробництв стабільної роботи. Не в останню чергу поряд стоїть завдання забезпечення відповідної терморегуляції та перешкодоміцності приладів сенсорної системи для забезпечення безперебійності роботи пристроїв. Також на ряду з цим було розглянуто важливість трансформаторів в сьогоденні та необхідність їх належного температурного контролю.

2) Загальною тенденцією розвитку датчиків температури є поступове опановування та застосування різних видів оптоволоконних засобів, розібравши сильні сторони оптоволоконних датчиків та звертаючи увагу на слабкі, ознайомившись з ймовірними джерела похибок можливо зрозуміти їх актуальність в застосуванні в великій кількості сучасних приладів.

Було визначено і виражено проблематику розвитку саме в сфері оптоволоконних датчиків на прикладі датчику температури для моніторингу трансформаторного мастила, як репрезентативний приклад корисного засобу для виробництва та інфраструктур.

3) З огляду на зазначене, був створений відповідний проект оптоволоконного приладу дозволяючий визначати та виводити поточну температуру мастила, який може бути застосований в процесі терморегуляції трансформаторів. Приведено основні вектори розвитку та вдосконалення оптоволоконних датчиків температури, а також запропоновані варіанти реалізації самостійної системи для терморегуляції мастила в трансформаторах з ресурсним програмним забезпеченням.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Optical Fiber Sensing Technologies / Tiegeng Liu, Junfeng Jiang, Kun Liu, Kun Liu та ін. – 2022 – 815 с.
2. John Ballato. Glass: The Carrier of Light - A Brief History of Optical Fiber / John Ballato, Peter Dragic – 2016 – 11 с.
3. Optical Fiber Cables / Chen Baoping, Yao Di, Qian Feng – 2021 – 389 с.
4. Power transformer temperature evaluation for overloading / J.A. Jardini, Jose Brittes, Luiz Carlos Magrini, M. Bini та ін. – 2005 – 184 с.
5. Error Analysis of Transformer Hot Spot Temperature Measurement / Zhengang Zhao, Zhengyu Yang, Yuyuan Wang, Ke Liang та ін. – 2021 – 64 с.
6. Weizhong Zhao. Optical fibre high temperature sensors and their applications / Weizhong Zhao – 2011 – 236 с.
7. Johnny Huynh. Temperature and Humidity monitoring in Switchgear / Johnny Huynh – 2020 – 67 с.
8. An optical fiber temperature sensor with high sensitivity / H. Gao, Y. Jiang, H. Peng, J. Jiang – 2017 – 40 с.
9. Development of optical fiber temperature sensor for aviation industry / Junfeng Jiang, Shuang Wang, Kun Liu, Xuezhi Zhang та ін. – 2013 – 10 с.
10. Properties and Applications of Porous Glass / K. Nakamura, Y. Iwasaki, T. Nakashima – 1993 – 132 с.
11. Irina Grushko. Definition of the strain-stress distribution of porous glass in the retarded cooling temperature range / Irina Grushko – 2017 – 4 с.
12. L.P. Guo. Fabrication of porous glass fibres and its charging characteristics / L.P. Guo, Q.H. Yuan – 2006 – 14 с.
13. Porous glass optics / Gregory Altshuler, V.A. Bakhanov, E.G. Dulneva, G.P. Roskova – 1990 – 243 с.

					MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ док.				

14. Laser-induced passivation of porous glass to protect it from chemical degradation and aging / Galina Kostyuk, M. M. Sergeev, Roman Zakoldaev, E. B. Yakovlev – 2015 – 24 с.
15. Article Mechanical Strength and Thermal Resistance of Porous Glass / Tadao Nakashima, Masataka Shimizu, Masato Kukizaki – 1992 – 12 с.
16. Transformer hot spot temperature prediction based on basic operator information / D.P. Rommel, Dario Di Maio, Tiedo Tinga – 2021 – 15 с.
17. Real-Time Monitoring of Oil Temperature in Distribution Power Transformer by Using Internet of Things / Shafrida Sahrani, Nur Darina Ahmad, Ramizi Mohamed, Mohd Aizam Talib та ін. – 2022 – 10 с.
18. Чичура І.І. Моделювання та оптимізація характеристик волоконно-оптичних датчиків температури / Чичура І.І. – 2021 – 212 с.
19. Electronic Projects Components Available Worldwide / OneWire Library – 2019
20. Arduino Nano V3.0 Datasheet / User Manual – 2020
21. Призначення, будова та принцип дії силового трьохфазного масляного трансформатора [Електронний ресурс]. – режим доступу: boigor.blogspot.com
22. Компаратор - мікросхема і принцип роботи [Електронний ресурс]. – режим доступу: hi-news.pp.ua
23. Нагрівання та охолодження трансформатора [Електронний ресурс]. – режим доступу: forca.com.ua

ДОДАТКИ

					MP.AKIT. 9526268.01.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ док.				