

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ
КАФЕДА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ОПТИЧНИХ ТА НАВІГАЦІЙНИХ
СИСТЕМ

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ НАДІЯ БУРАУ

« ____ » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Оптико-електронні комп'ютерно-інтегровані системи та технології»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Оптико-електронний сповіщувач»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПО-91

Крутиус Артур Романович

Керівник:

Старший викладач кафедри

Кравченко Ігор Володимирович

Рецензент

к. т. н., доцент

доцент Безугла Наталя Василівна

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2023 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ПО91.00009.000 ПЗ	Пояснювальна записка	55	
3	A1	ПО91.00009.000 ЛЗ	Оптична схема	1	
4	A2	ПО91.00009.006	Наближена структурна схема	1	
5	A1	ПО91.00009.000	Складальне креслення	1	
6	A2	ПО91.00009.007 СК	Збірка сповіщувача	1	
7	A2	ПО91.00009.008	Камера диму	1	
8	A4	ПО91.000.001	Корпус	1	
9	A4	ПО91.00016.002	Кришка	1	

				ДП ПО91 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Крутиус А.Р.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Кравченко І.В.				1	1
Рецез..	Безугла Н.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КІОНС Гр. ПО-91	

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Оптико-електронний сопвіщувач»

Київ – 2023 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ

**КАФЕДА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ОПТИЧНИХ ТА НАВІГАЦІЙНИХ
СИСТЕМ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма – «Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні
системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт

студенту Крутиусу Артуру

Романовичу

1. Тема проєкту «Оптико-електронний співіщувач», керівник проєкту Кравченко Ігор Володимировч, Старший викладач кафедри затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. № 2057 с.

2. Термін подання студентом проєкту: 15.06.2023

3. Вихідні дані до проєкту : сповіщувач димовий оптичний точковий.
Чутливість не менше 0.005 Дб/м Параметри за ДСТУ EN 14604 : 2008.

4. Зміст пояснювальної записки : Інформаційний огляд вибір та обґрунтування схеми приладу. Вибір та обґрунтування елементної схеми. Розрахунок порогової чутливості. 4 розрахунок конструкції. Розробка алгоритмів обробки сигналу та керування.Методика складання, побудова, використання.

5. Перелік графічного матеріалу(з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо): Загальний обсяг — 5 А1.складальний кресленик, схеми, кресленики вузлів — 3 А1, ілюстративна графіка — 2 А1. Схема електрична принципова., схема оптична, схема функціональна.

1. Дата видачі завдання: 23.05.2023

Календарний план

Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
Інф.-аналітичний огляд	25.05.2023	
Розрахунок чутливості	01.06.2023	
Розрахунок конструкції	07.06.2023	
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	15.06.2023	
Перевірка на плагіат	15.06.2023	
Подання ДП до передзахисту	17.06	

РЕФЕРАТ

Представлено проект на тему «Оптико-електронний сповіщувач»

Обсяг роботи – с., 20 ілюстрацій, 9 таблиць, 12 джерел посилань.

Актуальність роботи полягає в тому, що пожежа становить серйозну загрозу, яка включає в себе відразу декілька потенційних загроз.

Тема даного бакалаврського дипломного проекту полягає в розробці димового пожежного сповіщувача та оцінки його концентрації шляхом поєднання наявних технологій та проведення досліджень щодо розсіювання димових частинок.

У процесі розробки було приділено увагу інженерному дизайну та конструкції пристрою. Розроблена камера диму та корпус забезпечують ефективне сприйняття диму та захист електронних компонентів від зовнішніх впливів. Конструкція пристрою була оптимізована з метою простоти монтажу та обслуговування, що робить його зручним у використанні.

Дипломний проект також включав моделювання та аналіз роботи пристрою з використанням сучасного програмного забезпечення. Це дозволило оцінити ефективність та надійність пристрою у різних умовах та сценаріях.

Основні результати дослідження показали, що розроблений пристрій детектування диму є ефективним інструментом для запобігання пожежам та забезпечення безпеки користувачів. Він виявляє дим швидко та надійно, дозволяючи своєчасно спрацювати системам пожежної сигналізації та автоматичним системам пожежогасіння.

Об'єктом проекту є виявлення задимленості в приміщенні за допомогою фіксації розсіювання світла димовими частинками.

Предметом проекту є конструктивні рішення оптико-електронних сповіщувачів для систем пожежної безпеки.

Метою дипломного проекту є розробка та розрахунок параметрів сповіщувача.

ABSTRACT

This project presents the development of an optoelectronic smoke detector, addressing the need for effective fire detection and concentration assessment. The project combines existing technologies and conducts research on smoke particle scattering.

Significance of this work lies in the fact that fire poses a serious threat encompassing multiple potential hazards. The aim of this bachelor's thesis is to develop a smoke fire detector and evaluate its concentration by combining available technologies and conducting research on smoke particle scattering.

Attention was given to the engineering design and construction of the device throughout the development process. The designed smoke chamber and housing ensure efficient smoke detection and protection of electronic components against external influences. The device's construction was optimized for easy installation and maintenance, making it convenient to use.

The diploma project also included modeling and analysis of the device's operation using modern software. This allowed for evaluating the device's effectiveness and reliability in different conditions and scenarios.

The main research results demonstrated that the developed smoke detection device is an effective tool for fire prevention and user safety. It rapidly and reliably detects smoke, enabling timely activation of fire alarm systems and automatic fire suppression systems.

The object of the project is the detection of smoke in an environment through light scattering by smoke particles.

The subject of the project is the design solutions of optoelectronic detectors for fire safety systems.

The objective of the diploma project is to develop and calculate the parameters of the smoke detector.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	4
1.1 Класифікація по поколінням сповіщувачів.....	4
1.2 Класифікація по можливості повторного включення.....	6
1.3 Класифікація за типом передачі сигналів	7
1.4 Порівняльна характеристика сповіщувачів	7
1.5 Особливості сповіщувачів	11
1.7 Міє-теорія	15
1.8 Переваги застосування ІЧ	21
1.9 Залежність рівня інтенсивності розсіяння від обраної точки спостереження інфрачервоного випромінювання світло-випромінювачів.....	21
1.10 Розробка наближеної структурної схеми сповіщувача	25
1.11 Висновок до розділу I.....	27
2 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ТА РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ СПОВІЩУВАЧА	28
2.1 Підбір джерела світла.....	28
2.2 Підбір приймача.....	31
2.3 Розрахунок відношення сигнал/шум	33
2.4 Розрахунок порогової чутливості сповіщувача	39
2.5 Висновок до розділу II	41
3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАКТУ.....	42
3.1 Підбір мікроконтролера	42
3.2 Розрахунок джерела струму	43
3.3 Розрахунок транзисторного ключа	47
3.4 Розрахунок трансімпедансного підсилювача	48
3.5 Висновок до розділу III	51
РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЕТЕКТОРА	52
4.1 Розробка камери диму	52
4.2 Розробка конструкції корпусу	53
4.3 Висновок до розділу IV	55

ВИСНОВОК.....	57
Список використаних джерел	59

ВСТУП

Системи протипожежної сигналізації є важливими складовими засобами забезпечення пожежної безпеки в будівлях і приміщеннях. Вони допомагають виявити пожежу на ранніх стадіях і негайно повідомити про неї, що дозволяє вжити відповідних заходів для її припинення та евакуації людей.

Дистанційна сигналізація має численні переваги, оскільки вона дозволяє власнику приміщення або оператору системи спостерігати за станом сигналізації з віддаленого місця. При отриманні екстреного повідомлення про пожежу, вони можуть негайно реагувати і вжити необхідні дії, навіть якщо вони знаходяться за кордоном. Це забезпечує швидку реакцію на надзвичайні ситуації і допомагає уникнути втрат майна і життя.

Системи протипожежної сигналізації зазвичай використовують датчики диму, температури або інші типи датчиків, які можуть виявити небезпеку пожежі. Ці датчики постійно моніторять оточуюче середовище і, якщо вони виявляють підозрілі зміни, ініціюють сигнал тривоги. Це може бути сповіщення звуковою сиреною, світловим сигналом або автоматичне повідомлення на спеціальний центр керування

Узагалі, розвиток технологій у галузі систем протипожежної сигналізації дозволяє досягти більшої ефективності і надійності у виявленні пожежі та реагуванні на неї. Це є важливим кроком у забезпеченні безпеки майна і життя людей в разі пожежі

У даному проєкті ми проведемо аналіз різних систем пожежної сигналізації, оцінимо їх переваги та недоліки. На основі отриманих даних ми розробимо власний пожежний сповіщувач, який буде відмінатися від існуючих пристроїв більш низькою вартістю і вищою чутливістю до різних типів диму і полум'я.

За своїми основними характеристиками наш пристрій буде відноситися до оптикоелектричних пожежних сповіщувачів з підвищеним рівнем реагування.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Пожежний сповіщувач – це засіб контролю стану об'єкту шляхом вимірювання параметрів з допомогою одного або декількох первинних перетворювачів, що реагують на температурні, оптичні чи інші зміни контрольованого середовища шляхом подачі одного із стандартних повідомлень (Пожежа", Тривога", Несправність" тощо) .

«ПС та інші засоби пожежної автоматики становлять основу систем пожежної сигналізації. Тому спеціалістам Міністерства надзвичайних ситуацій слід знати характеристики і вміти підбирати різні види й типи ПС, правильно їх розміщувати й встановлювати. Для цього слід розуміти засади роботи сучасних ПС. Порівняно зі сповіщувачами 1-го та 2-го поколінь, отримана інформація про ознаки пожежі безпосередньо опрацьовується і зберігається у сповіщувачах 3-го покоління, а далі передається на приймальне обладнання. Це покращує ефективність та гнучкість такої системи в цілому.»[1] (сс. 1-2)

1.1 Класифікація по поколінням сповіщувачів

«ПС 1-го покоління розроблено у 40 – 70-ті роки минулого століття як конструктивно й технологічно прості дискретні ПС релейного типу. До їхнього складу входять первинний перетворювач переважно кількості виділеного при пожежі тепла в електричний сигнал і практично не входять засоби підсилення й оброблення сигналу. Це чітко сформовані засоби контрольно-вимірювальної техніки, які через шлейфи пожежної сигналізації (ШПС) підключаються до ППКП.

ПС 2-го покоління з'явилися пізніше використовуються дотепер. Це - дискретні й аналогові ПС, до складу яких входить один або декілька різних первинних перетворювачів для незалежного випрацювання електричного сигналу. Останній зумовлений дією певної кількісної або, навіть, якісної характеристичної ознаки пожежі (густини диму, температури, потужності електромагнітного випромінювання) за наявності електронних схем підсилення й оброблення сигналу, виконаних на стандартних схемотехнічних елементах Г51, 161. Це істотно полегшує можливості

подальшої роботи з інформаційним сигналом, оскільки виконавчі засоби працюють на електронній основі. До їх числа можна віднести ПС електронного виконання й комбіновані ПС, де використовуються два (1 більше) первинні перетворювачі -- димові, теплові тощо; їх ще можна вважати контрольно-вимірювальними засобами, хоч уже тут відбувається проміжне оброблення інформації і навіть використовуються мікроконтролери типу КР580 чи інші 4) (еквівалентні їм мікроконтролери фірми "Intel" - тип 8050).

ПС 3-го покоління, 3 початку 21-го століття внаслідок промислового освоєння досягнень мікропроцесорних технологій з'явилися принципово нові за способом оброблення інформації аналогові/дискретні ПС. До їхнього складу входить мікроконтролер з власною пам'яттю для оброблення/зберігання сигналів і передавання до ПИКІ повідомлень встановленого зразка. При цьому, вимірювальні канали ПС часто оснащуються різними первинними перетворювачами або, навіть, лише одним перетворювачем, інформація якого аналізується за різними ознаками пожежі (до прикладу, за потужністю теплового випромінювання та за його мерехтінням -- коливанням інтенсивності випромінювання на приймачеві з частотою 28 ... 190 Гц). ПС 3-го покоління, до складу якого входять декілька різнотипних первинних перетворювачів і мікроконтролер, вже належить до інформаційно-вимірювальних приладів. Вони здатні обробляти за заданим алгоритмом отримувані сигнали первинними перетворювачами, взаємодіяти у локальній інформаційній мережі з іншими аналогічними приладами, здійснювати власну самоперевірку й тестування, а також періодичну, у межах каліброваних проміжків часу (секунди, хвилини, години, доби та сезону), зміну порогового рівня спрацювання та при його перевищенні подання повідомлень, які призводять до належних дій систем пожежної сигналізації чи пожежогасіння або/ кваліфікованого персоналу. Серед ПС варті особливої уваги адресно-аналогові цифрові сповіщувачі. Їх вигідно вирізняє гнучкість налаштувань, тобто у реальному часі можна програмно змінювати поріг чутливості. Саме завдяки використанню таких ПС можна виявити джерело вогню на стадії займання і уникнути матеріальних збитків (від вогню та наслідків процесу гасіння).

ПС 4-го покоління оснащені багатофункційним мікроконтролером, наприклад типу AT56, споживають незначну кількість електроенергії, здатні автономно працювати й підтримувати інтерфейс завдяки використанню бездротових (Wi-Fi, Wi - Max) технологій зв'язку з приймальним обладнанням, а функції його можуть бути достатньо різноманітними.» [2] (сс. 1-2)

1.2 Класифікація по можливості повторного включення

«Автоматичні пожежні сповіщувачі, що дозволяють автоматичне повернення після спрацювання, поділяються на декілька типів:

Поворотні сповіщувачі з можливістю автоматичне повернення: Ці сповіщувачі можуть повернутися в стан контролю після спрацювання, якщо фактори, що спричинили їх спрацювання, були усунені. Цей тип поділяється на такі підтипи:

Сповіщувачі з автоматичним поверненням Самостійно повертаються в стан контролю після спрацювання.

Сповіщувачі з дистанційним автоматичним поверненням: За допомогою дистанційного керування можуть бути переведені в стан контролю.

Сповіщувачі з ручним поверненням: За допомогою ручного перемикача на самому сповіщувачі можуть бути переведені в стан контролю.

Сповіщувачі зі змінними елементами: Ці сповіщувачі потребують заміни певних елементів для повернення до стану контролю після спрацювання.

Сповіщувачі автоматичного повернення (без замінних елементів): Після спрацювання ці сповіщувачі вже не можуть бути переведені в стан контролю.»[3] (сс. 3-5)

1.3 Класифікація за типом передачі сигналів

«Автоматичні пожежні сповіщувачі розподіляються за типом передачі сигналів наступним чином:

Дворежимні сповіщувачі з одним виходом: Ці сповіщувачі можуть передавати сигнали як про відсутність ознак пожежі, так і про їх наявність. Вони мають один вихід, який використовується для передачі обох типів сигналів.

Багаторежимні сповіщувачі з одним виходом: Ці сповіщувачі мають один вихід, який може передавати обмежену кількість (більше двох) типів сигналів для вказівки різних станів, таких як стан спокою, пожежної тривоги або інших можливих станів.

Аналогові сповіщувачі: Ці сповіщувачі розроблені для передачі сигналу, що вказує на величину контрольованого параметра пожежі або передають аналоговий/цифровий сигнал, який не є прямим сигналом пожежної тривоги.» [3] (сс. 3-8)

1.4 Порівняльна характеристика сповіщувачів

Для аналізу наявних детекторів пожежної сигналізації ми складемо порівняльну таблицю (Таблиця 1), де будемо класифікувати сповіщувачі за наступними параметрами:

Таблиця 1.1.1 Класифікація сповіщувачів

Назва	Класифікація за автоматичним поверненням	Класифікація за типом передачі сигналу	Фізичний процес детектування	Детектовані елементи/явища
Тепловий сповіщувач	без автоматичного повернення	Дворежимний	Детектує температуру	Тепло

Димовий сповіщувач	з автоматичним поверненням	Дворежимний	Детектує випромінюван ня	Дим
Лінійний сповіщувач	з автоматичним поверненням	Дворежимний	Детектує інтенсивність	Світло
Аспіраційний сповіщувач	з автоматичним поверненням	Дворежимний	Детектує розсіяність	Пил, дим, газ
Автономний сповіщувач	без автоматичного повернення	Багаторежимн ий	Детектує концентрацію	Газ, пил
Іонізований сповіщувач	з автоматичним поверненням	Дворежимний	Детектує іонізацію	Іонізує випромінюванн я
Електроіндукційни й сповіщувач	з автоматичним поверненням	Дворежимний	Детектує струм	Електричні поля

Продовження таблиці 1.1.1

Сповіщувач полум'я	з автоматичним поверненням	Дворежимний	Детектує електромагніт не випромінюван ня	Полум'я
-----------------------	-------------------------------	-------------	---	---------

Газовий сповіщувач	без автоматичного повернення	Дворежимний	Детектує газ	Газові викиди
Проточний сповіщувач	з автоматичним поверненням	Дворежимний	Детектує потік	Пил, дим, газ
Радіоізотопний сповіщувач	без автоматичного повернення	Дворежимний	Детектує іонізацію	Радіоактивні матеріали

Тепловий пожежний сповіщувач конструкції XIX століття складається з двох дротів, позначених як а і b. Ці дроти з'єднуються шайбами сс, які виготовлені з матеріалу, що не проводить електрику. З одного боку пристрою розміщена трубочка d з капсулем е, який містить ртуть, і внизу закривається пластиною з воску. При підвищенні температури, віск починає плавитися, що призводить до розтоплення воскової пластини і виливання ртуті в пристрій. Це призводить до контакту між двома дротами а і b, і як результат, виникає електричний сигнал.

Димові сповіщувачі є пристроями, які реагують на продукти горіння і виявляють наявність диму. Вони впливають на поглинаючу або розсіюють здатність випромінювання в різних діапазонах спектру, таких як інфрачервоний, ультрафіолетовий або видимий.

Точкові димові сповіщувачі розміщуються у відповідних точках приміщення і реагують на дим, який потрапляє безпосередньо до їхнього датчика.

Лінійні димові сповіщувачі складаються з багатьох точок і забезпечують більш широкий охоплення приміщення.

Аспіраційні димові сповіщувачі використовують систему витяжки повітря, яка збирає зразки повітря з різних місць приміщення і аналізує їх на наявність диму.

Автономні димові сповіщувачі працюють незалежно від центральної системи і можуть бути встановлені у віддалених або важкодоступних місцях.

Автономний пожежний сповіщувач є пристроєм, який працює самостійно і реагує на певний рівень концентрації аерозольних продуктів горіння, таких як піроліз речовин і матеріалів, а також інших факторів пожежі. Він має спеціальний корпус, в якому об'єднані автономне джерело живлення і всі компоненти, необхідні для виявлення пожежі і негайного сповіщення про неї. Цей сповіщувач розташовується у визначених точках приміщення і функціонує незалежно від централізованої системи контролю та оповіщення.

Іонізаційні сповіщувачі базуються на реєстрації змін іонізаційного струму, що виникають в результаті впливу продуктів горіння. Ці сповіщувачі можуть бути поділені на дві основні категорії: радіоізотопні та електроіндукційні.

Радіоізотопний сповіщувач є типом димового пожежного сповіщувача, який спрацьовує шляхом виявлення впливу продуктів горіння на іонізаційний струм у внутрішній робочій камері сповіщувача. Його принцип дії базується на іонізації повітря у камері шляхом опромінення його радіоактивною речовиною. При засмоктуванні продуктів горіння в камеру, вони взаємодіють з радіоактивним матеріалом, що призводить до зміни іонізаційного струму, та спрацьовує сповіщувач, сигналізуючи про наявність пожежі.

Електроіндукційний сповіщувач працює шляхом засмоктування аерозольних частинок з навколишнього середовища до циліндричної трубки, відомої як газохід, за допомогою компактного електричного насоса. Ці частинки потрапляють в зарядну камеру, де під дією уніполярного коронного розряду набувають об'ємний електричний заряд. Далі, рухаючись по газоходу, частинки потрапляють в вимірювальну камеру, де на вимірювальному електроді генерується електричний сигнал, який пропорційний об'ємному заряду частинок і, відповідно, їх концентрації.

Сповіщувач полум'я - сповіщувач, який реагує на електромагнітне випромінювання полум'я або тліючого вогнища.

Газовий сповіщувач - це пристрій, який спрацьовує при виявленні певних газів, що виділяються під час тління або горіння матеріалів. Газові сповіщувачі можуть реагувати на різні види газів, такі як оксид вуглецю (вуглекислий або чадний газ), вуглеводневі сполуки та інші. Вони спрацьовують, коли концентрація цих газів перевищує заданий поріг, і відразу ж оповіщають про наявність пожежної небезпеки.

Проточні пожежні сповіщувачі використовуються для виявлення пожежних факторів, аналізуючи середовище, яке поширюється через вентиляційні канали системи витяжки. Установку таких сповіщувачів слід проводити відповідно до інструкцій експлуатації та рекомендацій виробника, які повинні бути узгоджені з уповноваженими організаціями, що мають дозвіл на такий вид діяльності. [3] (сс. 3-8)

Після аналізу інформації про кожен вид сповіщувачів, ми прийшли до висновку, що оптимальним варіантом буде використання оптичного сповіщувача, який базується на реєстрації прямого розсіювання світла.

1.5 Особливості сповіщувачів

Будемо розглядати особливості димових сповіщувачів, зокрема тих, що використовують оптичні методи виявлення, щодо розрізнення різних типів диму. Вважається, що при горінні дерева та бавовни утворюється білий дим, тоді як пінополіуретан та вироби з ПВХ виділяють чорний дим. Самі димові сповіщувачі можуть реагувати по-різному на дим різних кольорів. Це пояснюється різними рівнями оптичної щільності, що характерні для різних типів диму, утвореного від різних горючих матеріалів.

Тобто, димові сповіщувачі, що використовують оптичні методи, можуть бути налаштовані таким чином, щоб сприймати різні рівні оптичної щільності, які відповідають різним кольорам диму. Це дозволяє їм розрізняти і реагувати на дим різних типів, що може бути корисним для раннього виявлення різних видів пожеж та швидкого реагування на них.

«Загалом вважається, що вогонь, який горить відкритим полум'ям, утворює дим, склад якого переважно складається з частинок субмікронного діаметра, в той час як тліючий вогонь утворює частинки більшого розміру. Однак, сучасні димові сповіщувачі можуть мати рівномірну чутливість до обох типів диму і водночас виключати реагування на пил, пари та аерозолі.

Факт горіння різних матеріалів характеризується не прямою зміною оптичної щільності середовища, як це часто припускають, а наявністю певної концентрації частинок вуглецю, що утворюються під час горіння. Зміна оптичної щільності середовища стає наслідком присутності цих частинок. Отже, основним завданням при виявленні загоряння є оцінка концентрації частинок диму.

Таким чином, сучасні сповіщувачі можуть бути налаштовані для ефективного виявлення наявності загоряння шляхом вимірювання концентрації частинок диму. При цьому вони можуть запобігати неочікуваним спрацюванням на пил, пари та аерозолі, що не пов'язані з пожежею.

Іонізаційні точкові пожежні сповіщувачі спочатку працювали, визначаючи граничну концентрацію частинок у контрольованих приміщеннях. Пізніше їх замінили димові точкові оптико-електронні пожежні сповіщувачі, які базуються на зміні оптичної щільності середовища внаслідок горіння будь-яких матеріалів. Хоча існує зв'язок між концентрацією продуктів горіння і оптичною щільністю середовища, він варіюється залежно від виду пожежі. Це було підтверджено досвідом використання таких сповіщувачів. Справжній зв'язок залежить від розмірів частинок продуктів горіння.» [4] (с. 13)

Характеристики диму залежать від складу горючого матеріалу, режиму горіння (тління або горіння відкритим полум'ям) і ступеня змішування з навколишнім повітрям (розведення). Ці фактори впливають на розмір частинок, розподіл, склад, концентрацію, коефіцієнти заломлення, поглинання і відображення продуктів горіння. При перенесенні диму до місця розташування сповіщувачів використовуються султани і стельові струминні потоки. Під час цього процесу відбувається зміна характеристик диму, зокрема розмірів частинок, через осадження

і агломерацію (спікання). Відомо, що при охолодженні диму менші частинки збираються разом, утворюючи більші частки (процес відомий як "старіння" диму), що призводить до зниження їх концентрації з часом. [3] (с. 53)

Оптико-електронні сповіщувачі повинні мати рівномірну чутливість до різних розмірів частинок диму, що є важливим для їхнього ефективного застосування. Особливу увагу при розробці таких сповіщувачів приділяють їхній здатності виявляти дим, що випускається при горінні деревини.

Механізм селекції частинок за їхніми розмірами у пожежних сповіщувачах допомагає стабілізувати їх роботу при низькій концентрації продуктів горіння. Це дозволяє підвищити реальну чутливість сповіщувача і забезпечує принцип раннього виявлення пожежі при одночасному зниженні ймовірності неправильних спрацьовувань

1.6 Оптична реєстрація продуктів горіння

«Для розуміння, з якими продуктами горіння працюють пожежні сповіщувачі, корисно зазначити усереднені розміри частинок диму (D), що утворюються під час горіння різних матеріалів:

При горінні деревини (ТП1) утворюються частинки розміром 0,1 мкм.

При тлінні бавовняного шнура (ТП3) утворюються частинки розміром 0,15 мкм.

При горінні пінополіуретану (ТП4) і Н-гептану (ТП5) утворюються частинки розміром 0,2 мкм.

При тлінні деревини (ТП2) утворюються частинки розміром 0,45 мкм» [4] (с. 28)

Табл. 1.6.1 – Параметри диму, що утворений горінням різних матеріалів[4] (с. 28)

Параметри	ТВ2	ТВ4	ТВ5	ТВ3	ТВ1
часток диму	Тління дерева	Горіння пінополіуретану	Горіння Н-гептану	Тління бавовняних шнурів	Горіння дерева
Розмір D, мкм	0,45	0,2	0,18	0,15	0,1
Енергія P, кВт	2,3	30	150	32	56

Для кращого розуміння важливо визначити основні величини, які будуть використовуватися.

Інтенсивність розсіювання (I) відображає квадрат амплітуди електричного вектора розсіяного світла. Рівень сигналу, що надходить на вихід фотоприймача сповіщувача, безпосередньо залежить від значення інтенсивності розсіювання.

Для визначення розподілу інтенсивності розсіювання (I), використовується відносний параметр $q = \pi D / \lambda$, де D – розміри частинок, а λ – довжина хвилі світла, яке випромінюється. Цей параметр відображає співвідношення між розмірами частинок та довжиною хвилі світла.

Точка спостереження Θ – це кут, який вимірюється між напрямком падаючого світла і місцем розміщення фотоприймача. У випадку розміщення фотоприймача в зоні прямого променя, $\Theta = 0^\circ$.

Лорд Релей (Джон Вільямс Стратт) в 1871 році опублікував роботу, в якій пояснив, чому небо має блакитний колір, а хмари – білий. Він досліджував явище, відоме як релеєвське розсіювання, яке виникає при когерентному розсіюванні світла.

Для частинок, розміри яких перевищують десятки довжин хвиль світла, застосовуються закони оптики, основані на роботах А. Ж. Френеля, який вивчав

дифракцію світла. Він зробив великий внесок у розуміння того, як радіохвилі можуть обходити перешкоди. [4] (с. 17)

Для опису дифракції на частинках, які мають форму, відмінну від сфери, іноді використовується теорія І. Фраунгофера. Проте, подальші теоретичні дослідження в області малих частинок все ж базуються на роботах Міє.

1.7 Міє-теорія

Теорія Міє (або теорія Мі) є однією з основних теорій, яка використовується для опису розсіювання світла на малих частинках. Ця теорія була розроблена Густавом Мієм, французьким фізиком, у 1871 році.

Теорія Міє базується на розв'язанні рівнянь Максвелла для електромагнітного поля, яке взаємодіє з частинками розсіювання. Застосовуючи методи електродинаміки, Міє отримав аналітичне розв'язання для розсіяного поля, що виникає при взаємодії падаючого світла зі сферичною частинкою.

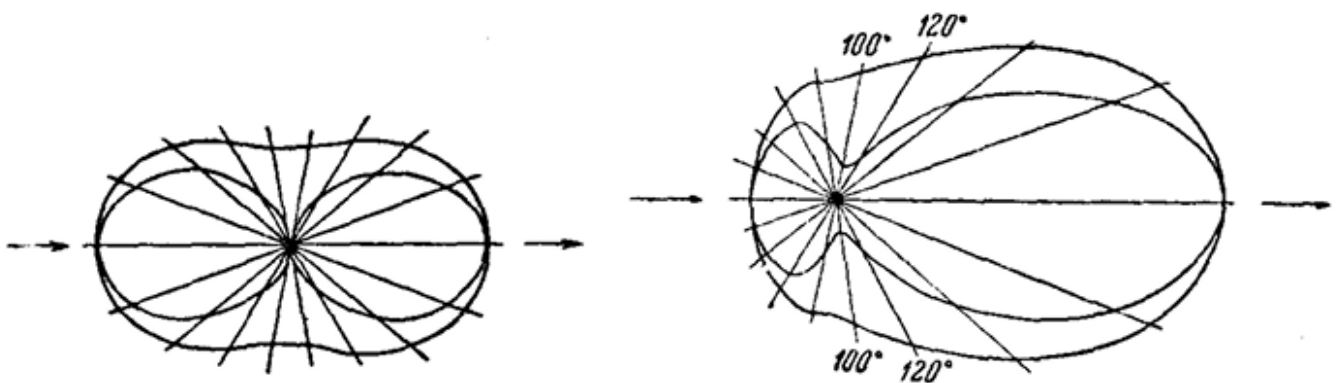


Рис 1.7.1 розсіювання світла частинками $d = 140$ і 160 $m\mu$, яке в другому варіанті відбувається переважно за напрямком ходу променя. [5] (с. 210)

Основна ідея теорії Міє полягає в тому, що розсіяне світло відбувається за рахунок інтерференції променів, які розсіюються від різних точок частинки. Це призводить до формування характерних діаграм розсіювання, які описують розподіл інтенсивності розсіяного світла у просторі після взаємодії з частинкою.

Застосовуючи теорію Міє, можна розрахувати розсіяну інтенсивність світла в різних напрямках, виходячи з параметрів частинки (наприклад, розмір, показник заломлення) та характеристик падаючого світла (наприклад, довжина хвилі, напрямок падіння). Такі розрахунки можуть допомогти зрозуміти, як світло розсіюється на малих частинках і як це може бути використано для детекції або характеристики речовин.

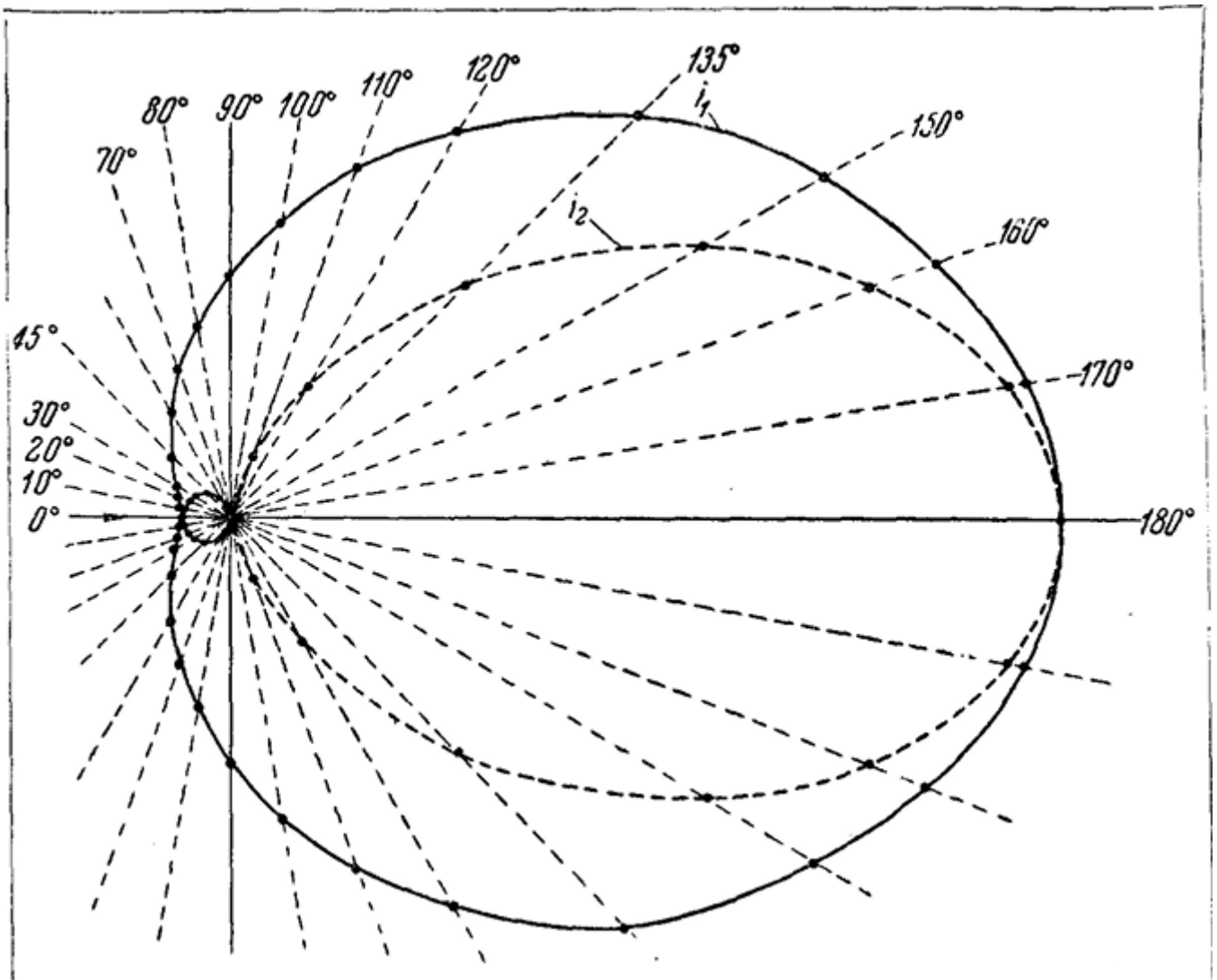


Рис 1.7.2 розсіяння світла частинками радіусом $0,2\lambda$, [5] (с. 210)

За теорією Мі, інтенсивність розсіяного світла I досягає максимуму як у напрямку падаючого світла ($\Theta=0^\circ$), так і в зворотному напрямку ($\Theta=180^\circ$), за винятком випадків з великою провідністю або діелектричною проникністю. У площині симетрії ($\Theta=90^\circ$) інтенсивність розсіяного світла досягає мінімуму.

При збільшенні радіуса сфери частинок спостерігаються відхилення від симетрії, при цьому більше світла розсіюється в напрямку падіння, ніж у зворотному напрямку

При збільшенні розміру частинок практично всі розсіяні промені поширюються в

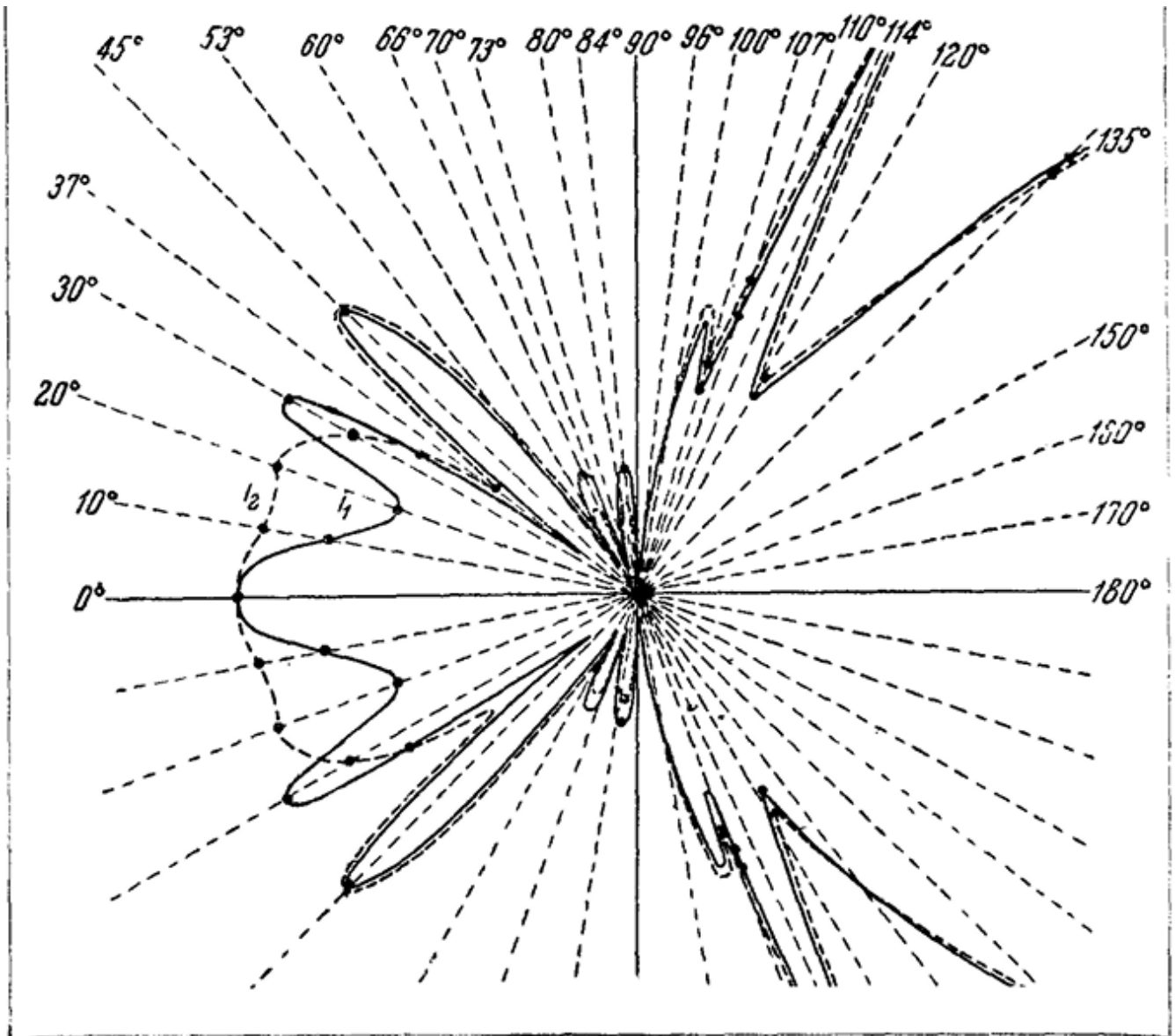


Рис 1.7.3 Розсіяння світла частинками радіусом, 2λ , де спостерігається виражене зворотнє розсіювання [5] (с. 211)

напрямку, близькому до $\Theta = 0^\circ$. Але якщо радіус сфери дуже великий порівняно з довжиною хвилі, то значна частина падаючого світла відбивається.

Міє-Теорія була розроблена для дифракції світла на одній сфері, але може бути застосована і до дифракції на багатьох сферах, якщо вони мають однаковий діаметр, склад та розташовані хаотично на великих відстанях порівняно з довжиною хвилі.

Варто відзначити, що форма та електропровідність частинок диму можуть варіюватися. Наприклад, частинки, які утворилися внаслідок горіння з високою

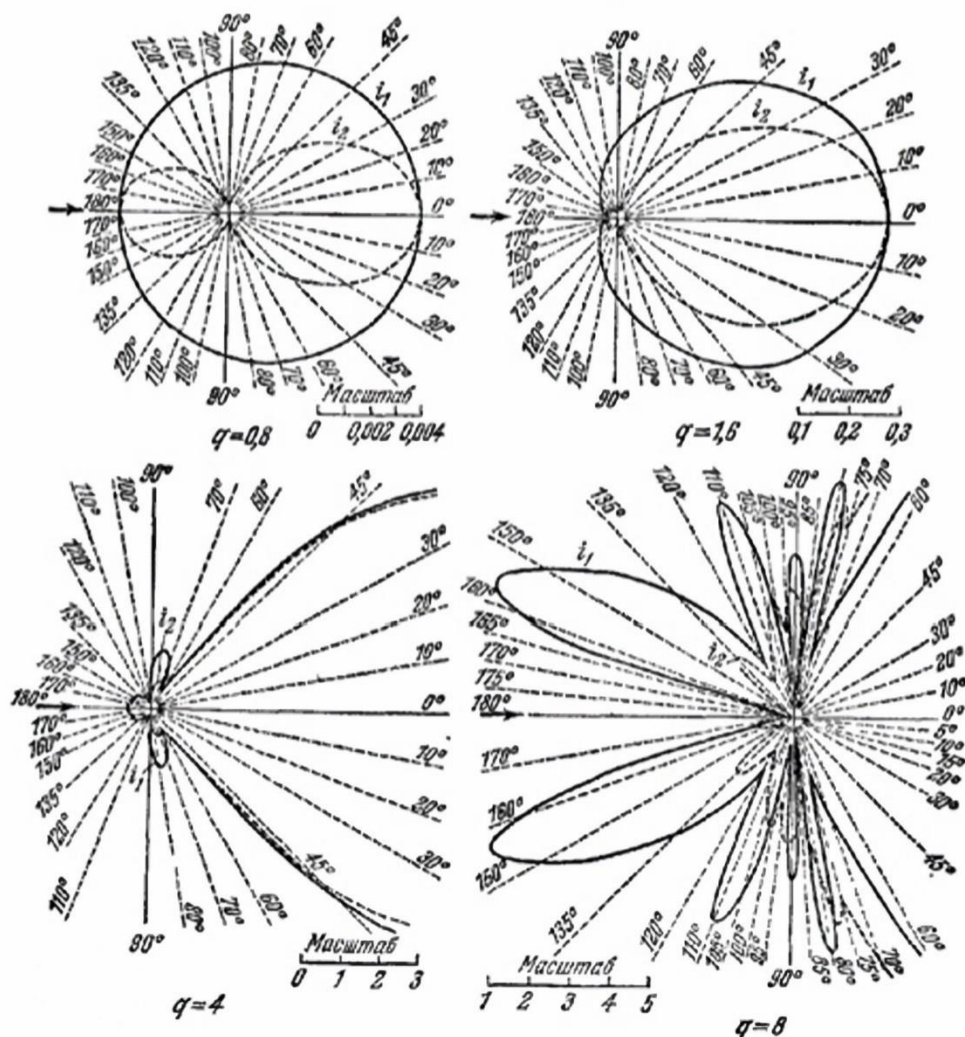


Рис.1.7.4 – Розсіяння Мі при різних значеннях[5] (с. 213)

температурою, можуть мати іншу форму та вищу електропровідність, ніж ті, що утворилися при низьких температурах. Це може впливати на точність результатів.

Необхідно відзначити, що при дослідженні розсіювання світла частинками диму з використанням Міє-Теорії, зазвичай використовується наближена модель без урахування коефіцієнтів поглинання та відображення, які можуть суттєво вплинути на кінцеві результати.

На рисунку 4 зображено розподіл інтенсивності для різних значень q у випадку діелектричних сфер з показником заломлення наближено 1,25. Ці діаграми широко

використовуються для пояснення процесів та оцінки концентрації невеликих частинок.

З графіка видно, що зі зростанням параметра q , тобто збільшенням співвідношення діаметра частинок до довжини хвилі світлового джерела, більше енергії розсіюється вперед у напрямку поширення електромагнітної хвилі. Яскраво виражений процес зсуву інтенсивності вперед спостерігається вже при значеннях q понад 0,8.

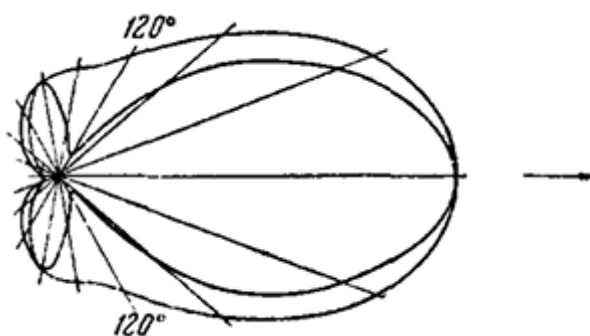


Рис 1.7.5 Розсіюння світла частинкою $d = 140 \text{ м}\mu$ де спостерігається виражене бокове розсіювання [5] (с. 210)

При збільшенні радіусу частинок відбувається поява бічного випромінювання вторинних хвиль, подібно до спрямованих антен. Цей ефект хвиль пояснюється за допомогою теорії Гюйгенса-Кірхгофа. Згідно з цією теорією, кожен елемент поверхні частинки, на яку падає падаюче світло, може розглядатись як новий джерело вторинних хвиль. Ці вторинні хвилі поширюються в усіх напрямках, включаючи напрямок бічного випромінювання.

При розсіюванні світла на частинці, вторинні хвилі, що розповсюджуються від різних елементів поверхні частинки, взаємно перекриваються і взаємодіють між собою. Ця взаємодія призводить до інтерференції вторинних хвиль. Інтерференція полягає в сумуванні амплітуд хвиль, що залежать від фазових відношень між ними.

В результаті цієї інтерференції формується поле розсіювання, яке має серію максимумів і мінімумів на полярних діаграмах. Ці максимуми і мінімуми виникають через конструктивну та деструктивну інтерференцію між вторинними хвилями, що розсіюються під різними кутами.

в реальних умовах аналізу концентрації частинок можуть не спостерігатися вияви таких випромінювань, включаючи різниці в розмірах частинок між собою.

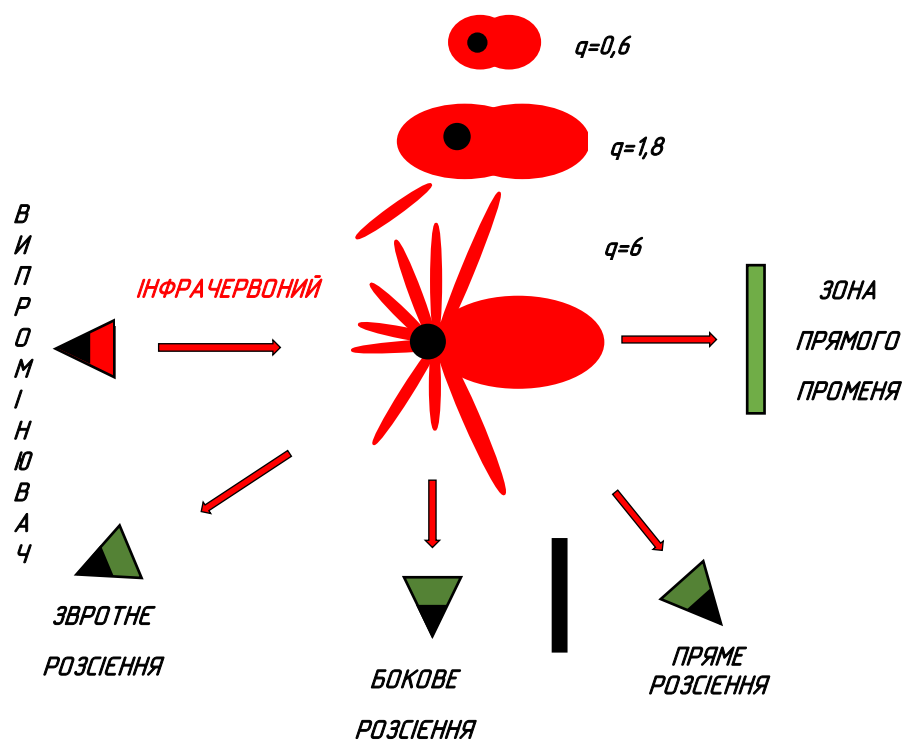


Рис. 1.7.6 – Характерні точки спостереження і розподіл інтенсивності розсіювання в залежності від параметра q

При дослідженні цього процесу характерними точками спостереження є (рис. 2): зона прямого розсіювання (з кутом $\Theta = 0^\circ$), зона бічного розсіювання (з кутом $\Theta = 90^\circ$) і зона зворотного розсіювання (з кутом $\Theta = 180^\circ$). Зона прямого променя в цьому контексті не враховується і не є об'єктом спостереження.

1.8 Переваги застосування ІЧ

Розсіювання ІЧ проміння: ІЧ промінь розсіюється на частинках диму, що дозволяє йому "виділятися" від фонових джерел світла і полегшує виявлення диму. Розсіяне ІЧ випромінювання залежить від концентрації диму, його розмірів та інших фізичних характеристик, що дозволяє точковому сповіщувачу виявляти присутність диму.

Менша чутливість до освітлення: ІЧ промінь менш чутливий до фонового освітлення, такого як сонячне світло або штучне освітлення. Це дозволяє точковим сповіщувачам ІЧ забезпечувати стабільну та надійну роботу навіть в умовах різного рівня освітлення.

Швидкість виявлення: ІЧ сповіщувачі точкового типу, які працюють на основі розсіяного ІЧ випромінювання, можуть забезпечувати швидке виявлення диму. Це пов'язано з тим, що розсіяне ІЧ випромінювання від частинок диму може бути спостережене вже на ранніх стадіях пожежі, коли візуальні ознаки диму ще не так помітні. Це дозволяє вчасно спрацювати сповіщувачам і активувати системи пожежного сповіщення та евакуації.

Менша вразливість до перешкод: ІЧ промінь може проникати через деякі перешкоди, такі як пил, пара або паростки, що можуть існувати в деяких середовищах. Це дозволяє точковим сповіщувачам ІЧ працювати ефективно навіть у таких умовах і не спричиняти хибних тривог.

1.9 Залежність рівня інтенсивності розсіяння від обраної точки спостереження інфрачервоного випромінювання світло-випромінювачів

Закони Міє дозволяють описати залежність інтенсивності розсіювання від кута розсіювання та розміру частинки. Для простоти ми будемо використовувати формулу для однорідних сферичних частинок, яка надає наближену оцінку. Формула має наступний вигляд:

$$I(\theta) = I_0 \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot \left| \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right|^2 \cdot \frac{1 + \cos^2(\theta)}{2}, \quad (1.1)$$

де $I(\theta)$ - інтенсивність розсіювання для кута розсіювання θ ;

I_0 - початкова інтенсивність випромінювання;

λ - довжина хвилі світла;

d - діаметр частинки диму.

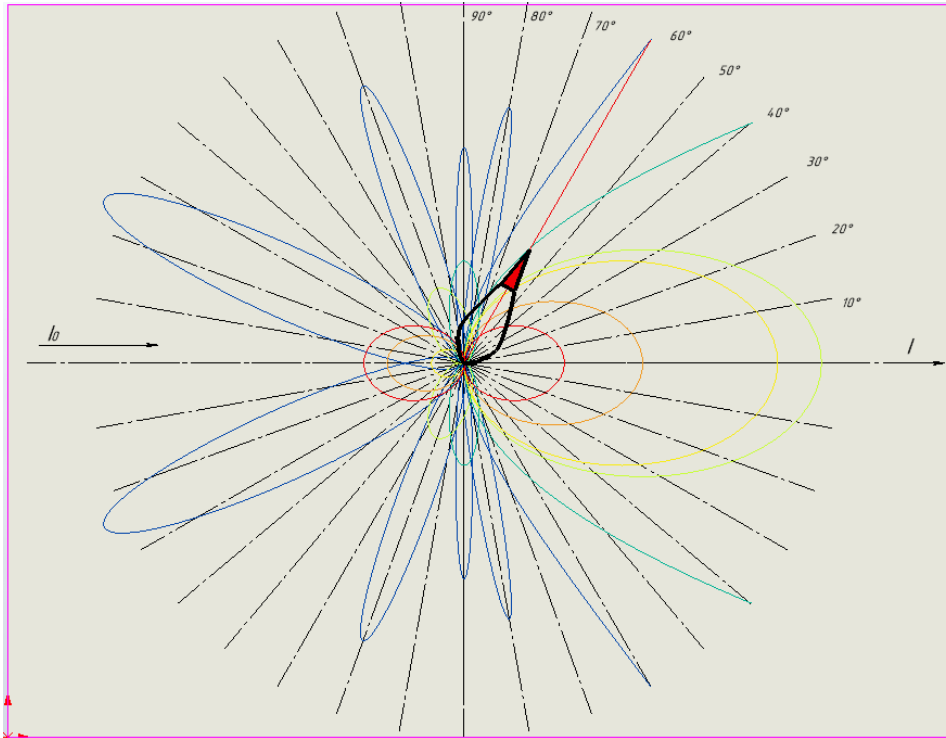


Рис 1.9.1 логарифмічні індикатриси залежності інтенсивності розсіяного світла, від кута θ - показник заломлення середовища

Ця формула дозволяє визначити інтенсивність розсіювання при різних кутах для заданої довжини хвилі та розмірів частинок. Ви можете використовувати цю формулу для кожного розміру частинки диму та відповідного діапазону кутів розсіювання, які вас цікавлять.

Важливо враховувати, що ця формула є наближенням та не враховує інших факторів, які можуть вплинути на розсіювання світла.

Рис 7 логарифмічні індикатриси залежності інтенсивності розсіяного світла, від кута розсіяння та зона відносної кутової залежності приймача випромінювання, якщо він буде стояти під кутом 60 градусів відносно лінії продовження ходу променя.

На рисунку 7 колір кожної побудованої індикатриси відповідає своєму коефіцієн

$$q = \frac{\pi d}{\lambda}, \quad (1.2)$$

Червоний $q = 0,42$;

Жовтогарячий $q = 0,63$;

Жовтий $q = 0,84$;

Салатовий $q = 1,05$;

Бірюзовий $q = 4$;

Синій $q = 8$.

В нашому випадку доцільно буде орієнтуватись на низькі значення q , оскільки вони відповідають розмірам частинок саме білого диму, при тлінні різних органічних продуктів. Як ми можемо бачити з рисунку, бокове та зворотнє розсіювання має значну інтенсивність саме при великих розмірах, які відповідають розмірам водяної пари та пилу.

Було прийнято рішення розташовувати інфрачервоний приймач саме під кутом 60 градусів, оскільки саме при такому розміщенні інтенсивність розсіювання, при різних малих q буде максимальною. Зону прямого променю ми не розглядатимемо, оскільки при такому розташування приймача та випромінювача, сповіщувач буде працювати некоректно, а саме буде детектувати частинки абсолютно всіх розмірів. Для детектування частинок диму розмірами,

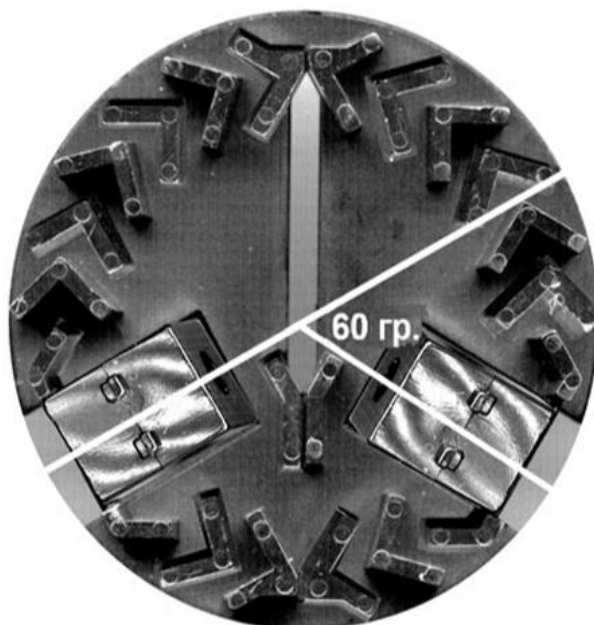


Рис 1.9.2 Оптична камера ІП 21244 [4] (с. 38)

З рисунків 1.9.2 та 1.9.3 більшість передових сповіщувачів, які працюють на інфрачервоному випромінненні розташовують приймач, відносно ходу променів випромінювача, саме під 60 градусів.

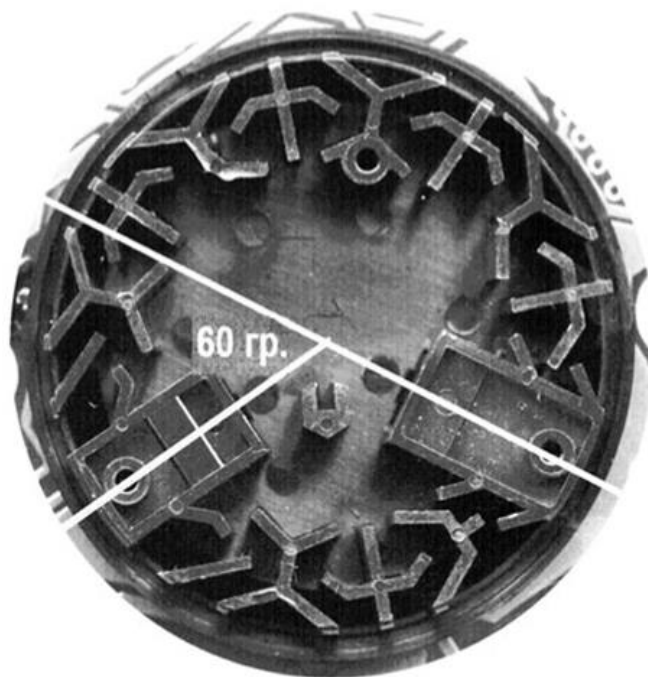


Рис 1.9.3 Оптична система ІП 21234А [4] (с. 38)

1.10 Розробка наближеної структурної схеми сповіщувача

Розробка автоматизованого приладу для детектування диму починається зі створення Наближеної структурної схеми.

Наближена структурна приладу для детектування диму включає в себе різні компоненти і блоки, які взаємодіють між собою для ефективного виявлення наявності

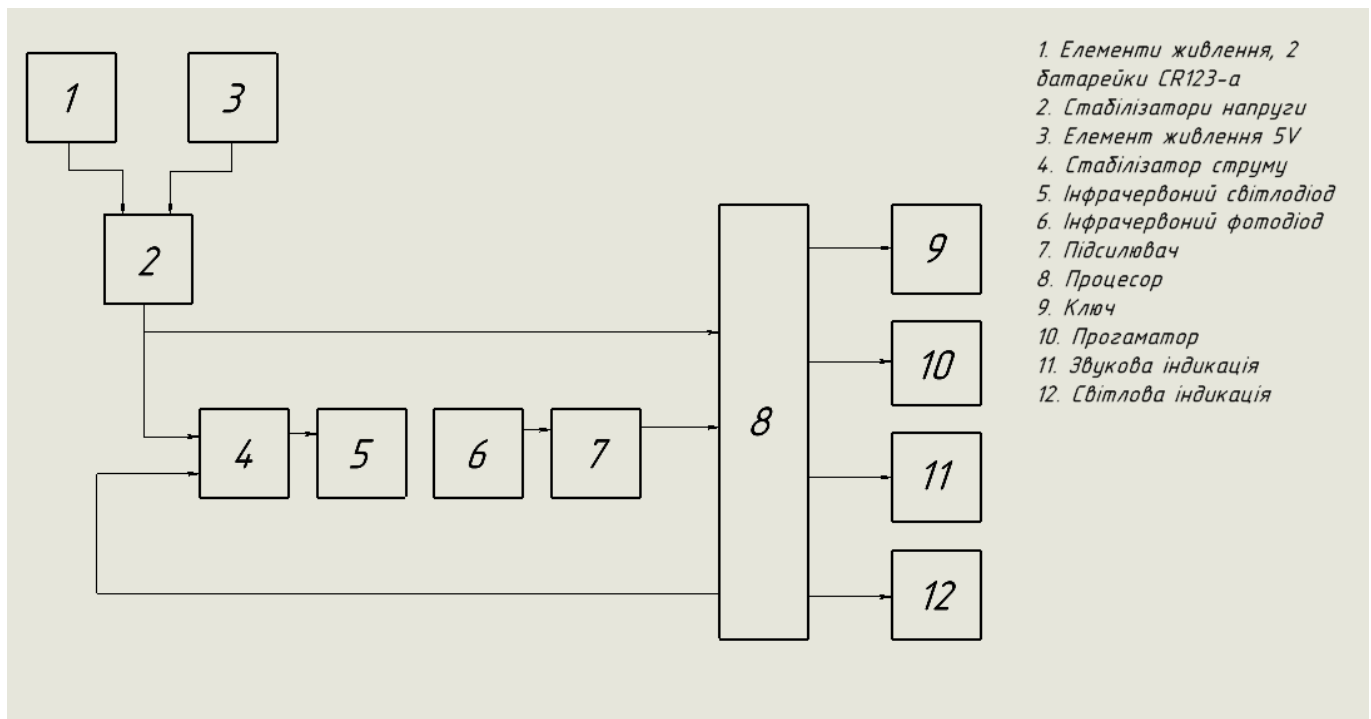


Рис 1.10.1 Наближена структурна схема оптико електронного сповіщувача пожежного димового

дим. Зазвичай така схема включає, оптичні компоненти, електронні блоки обробки сигналу, а також блок керування і сповіщення.

Для цього ми провели аналіз сповіщувачів відомих брендів, а також розглянули їхні структурні схеми(рис 5). На основі цього аналізу ми розробили власну схему, яка відповідає нашим потребам і вимогам.

Де

1 – Елементи живлення, 2

батареї CR123-а;

2 – Стабілізатори напруги;

- 3 – Елемент живлення 5V;
- 4 – Стабілізатор струму;
- 5 – Інфрачервоний світлодіод;
- 6 – Інфрачервоний фотодіод;
- 7 – Підсилювач;
- 8 – Процесор;
- 9 – Ключ;
- 10 – Прогаматор;
- 11 – Звукова індикація;
- 12 – Світлова індикація.

Оригінальність нашої схеми полягає в тому, що ми забезпечуємо незалежний контроль кожного блоку окремо, що дозволяє нам будувати різні режими роботи та налаштовувати їх поведінку. Ми також включили в схему можливість проведення автокалібрування, що дозволяє автоматично налаштовувати параметри системи для досягнення оптимальної продуктивності.

Одна з особливостей нашої схеми полягає у використанні стабілізатора напруги, який може працювати в діапазоні від 4 до 12 вольт. Це дозволяє нам житися від різних джерел живлення і забезпечує гнучкість в експлуатації приладу. Крім того, ми використовуємо діодну розв'язку, що дозволяє подвійне живлення, забезпечуючи додаткову стабільність і надійність роботи системи.

Загалом, ця концепція дозволяє нам мати більше контролю над функціональними блоками, розробляти різні режими роботи, налаштовувати їх поведінку та забезпечувати оптимальну продуктивність. Це важливо для розробки приладу для детектування диму, оскільки дозволяє відповідати на різні умови та вимоги з високою гнучкістю і ефективністю.

1.11 Висновок до розділу I

Розділ I "Аналітичний огляд" надає широкий і систематичний огляд тематики сповіщувачів. В цьому розділі розглянуті різні аспекти класифікації сповіщувачів, їхні можливості повторного включення, типи передачі сигналів та порівняльні характеристики детекторів.

Крім того, розділ включає аналіз особливостей сповіщувачів, їхню працездатність та переваги застосування інфрачервоного випромінювання. Досліджено залежність рівня інтенсивності розсіяння від обраної точки спостереження і випромінювача світла.

В результаті проведеного аналізу, ми отримали важливі уявлення про різноманітні сповіщувачі, їх класифікацію та особливості роботи. Розділ I надає цінну інформацію, яка буде використана в подальшому дослідженні та розробці пристроїв сповіщення.

На підставі проведеного аналітичного огляду, ми отримали цінні висновки та рекомендації, які стануть основою для подальшого розвитку тематики сповіщувачів. Розділ I відкриває шлях до більш детального розгляду та дослідження в подальших розділах цієї роботи.

2 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ТА РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ СПОВІЩУВАЧА

Для створення оптичної системи ми використовуємо інфрачервоний випромінювач, який генерує і випромінює інфрачервоне світло. Також використовується інфрачервоний приймач, який приймає розсіяне світло, якщо дим або інші частинки потрапляють до системи. Приймач сприймає світло, що розсіюється внаслідок взаємодії з частинками, і генерує електричний сигнал, який може бути використаний для виявлення присутності диму або інших забруднень.

Таким чином, інфрачервоний випромінювач випромінює світло, а приймач приймає розсіяне світло при потраплянні диму до оптичної системи. Це дозволяє виявляти присутність диму або інших частинок і спрацьовувати відповідну систему сповіщення.

2.1 Підбір джерела світла

Під час підбору випромінювача для оптичної системи були розглянуті декілька варіантів, зокрема світлодіоди і лазери. Кожен з цих типів випромінювачів має свої переваги і недоліки.

Основні параметри, на які звертали увагу під час підбору, включали:

Тілесний півкут випромінювання: Він визначає ширину інформаційного променя, тобто кут, під яким світло розповсюджується в просторі. Ширший тілесний півкут може охоплювати більшу площу, але може мати меншу інтенсивність світла.

Довжина хвилі випромінювання: Це визначає спектральний діапазон світла, який випромінюється випромінювачем. Відповідний діапазон довжин хвиль може бути важливим для конкретних додатків або вимог.

Робочий струм і робоча напруга: Ці параметри визначають електричні вимоги для випромінювача. Вони повинні відповідати можливостям живлення та електричним вимогам системи.

Габаритні розміри: Розміри випромінювача впливають на його встановлення та інтеграцію в оптичну систему. Компактні розміри можуть бути важливими для деяких додатків.

Світлодіоди, як і лазери, мають свої переваги і недоліки. Однак, з урахуванням обмеження на вартість, ви зосередилися на світлодіодах. Основним плюсом світлодіодів є їх доступність та відносно низька вартість порівняно з лазерами.

Продовжуючи, додатковими плюсами світлодіодів є їх висока ефективність перетворення електроенергії в світло, довгий термін служби та надійність. Вони відомі своєю економічністю у споживанні енергії та малою виробничою тепловою енергією. Крім того, світлодіоди можуть бути випромінювачами в широкому діапазоні довжин хвиль, що охоплює ІЧ-спектр.

Однак, деякі з недоліків світлодіодів включають обмежену напрямленість випромінювання, що може вимагати додаткових оптичних елементів для правильного спрямування світла. Також варто враховувати, що деякі світлодіоди можуть мати обмежену робочу температуру або вимагати використання радіаторів для керування нагріванням.



Рис 2.1.1 TSAL6100 - ІЧ світлодіод від компанії Vishay. [7] (с. 1)

У якості випромінювача ми обрали TSAL6100 - ІЧ світлодіод від компанії Vishay.

Характеристики: довжина хвилі 940 нм, тілесний пів-кут випромінювання 20 градусів, робочий струм 100 мА, робоча напруга 1,5 В. Плюси: висока яскравість, доступна ціна, низьке споживання енергії, широкий діапазон температур, довгий термін служби.

Таблиця 2.1.1 – Оптико-електронні характеристики світлодіода.[6] (TSAs. 2)

Оптико-електронні характеристики світлодіода TSAL6100						
Параметр	Символ	Умова	Мін.	Звич.	Макс	Вим. од.
Пряма напруга	V_F	$I_F=100$ мА Шир. Імпульсу ≤ 100 μ s, Шпр $\leq 1\%$	-	1.35	1.6	В
		$I_F=1$ А Шир. Імпульсу ≤ 100 μ s, Шпр. $\leq 1\%$	-	2.2	3	
Зворотній струм	I_r	$V_r=5$ В	-	-	10	мкА
Пікова довжина хвилі	λ_p	$I_F=100$ мА	-	940	-	нм
Спектральна смуга пропускання	$\Delta\lambda$	$I_F=100$ мА	-	30	-	нм
Світлова інтенсивність	I_e	$I_F=100$ мА Шир. Імпульсу ≤ 100 μ s, Шпр $\leq 1\%$	80	170	400	мВт/ср
		$I_F=1$ А Шир. Імпульсу ≤ 100 μ s, Шпр. $\leq 1\%$	650	1450		
Кут огляду		$I_F=100$ мА	-	± 10		град
Потужність випромінювання	φ_e	$I_F=100$ мА, $t_p=20$ мс		40		мВт

Його основні характеристики, при температурі середовища $T_a = 25^\circ\text{C}$, наведені в таблиці 2:

2.2 Підбір приймача



Рис 2.2.1 Фотодіод BPV10NF від компанії Vishay [7] (с. 1)

Фотодіод BPV10NF від компанії Vishay був обраний як приймач випромінювання. Це ІЧ фотодіод, який має діаметр колби 5 мм. Основні переваги цього фотодіода включають, доступна ціна, низьке споживання енергії, широкий діапазон температур, довгий термін служби та швидкий час реагування.

Таблиця 2.2.1 – Оптико-електронні характеристики світлодіода.[6] (TSАс. 2)

Оптико-Електронні характеристики $T_a = 25^\circ\text{C}$						
Параметр	Умова	Символ	Мін.	Звич.	Макс.	Вим.од.
Пряма напруга	$I_F = 50 \text{ мА}$	V_F	-	0.85	1.3	В
Напруга пробую	$I_R = 100 \text{ }\mu\text{А}, E = 0$	$V_{(BR)}$	60	-	-	В
Зворотний темновий струм	$V_R = 20 \text{ В}, E = 0$	I_{r0}	-	1	5	нА
Діодна ємність	$V_R = 0 \text{ В}, f = 1 \text{ МГц}, E = 0$	C_D	-	11	-	пФ
Напруга розімкнутого ланцюга	$E_e = 1 \text{ мВт/см}^2, \lambda = 850 \text{ нм}$	V_O	-	410	-	мВ
Напруга короткого замикання	$E_e = 1 \text{ мВт/см}^2, \lambda = 870 \text{ нм}$	I_K	-	50	-	мкА
Зворотній світловий струм	$E_e = 1 \text{ мВт/см}^2, \lambda = 870 \text{ нм}, V_R = 5 \text{ В}$	I_{ra}	-	55	-	мкА
	$E_e = 1 \text{ мВт/см}^2, \lambda = 940 \text{ нм}, V_R = 5 \text{ В}$	I_{ra}	30	60	-	мкА
Температурний коефіцієнт I_{ra}	$E_e = 1 \text{ мВт/см}^2, \lambda = 870 \text{ нм}, V_R = 5 \text{ В}$	TK_{Ira}	-	-0.1	-	%/К
Абсолютна спектральна чутливість	$V_R = 5 \text{ В}, \lambda = 870 \text{ нм}$	$s(\lambda)$	-	0.55	-	А/Вт
Кут половинної чутливості		φ	-	± 20	-	°
Довжина хвилі в піковій чутливості		λ_p	-	940	-	нм
Діапазон спектральної смуги пропускання		$\lambda_{0.5}$	-	780 to 1050	-	нм
Квантова ефективність	$\lambda = 950 \text{ нм}$	η	-	70	-	%
Еквівалентна потужність шуму	$V_R = 20 \text{ В}, \lambda = 950 \text{ нм}$	NEP	-	3×10^{-14}	-	W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Виявлювальна здатність	$V_R = 20 \text{ В}, \lambda = 950 \text{ нм}$	D	-	3×10^{12}	-	cm $\sqrt{\text{Hz}}$ /W
Висхідний фронт	$V_R = 10 \text{ В}, R_L = 50 \text{ }\Omega, \lambda = 830 \text{ нм}$	t_r	-	80	-	нс
Падаючий фронт	$V_R = 10 \text{ В}, R_L = 50 \text{ }\Omega, \lambda = 830 \text{ нм}$	t_f	-	60	-	нс

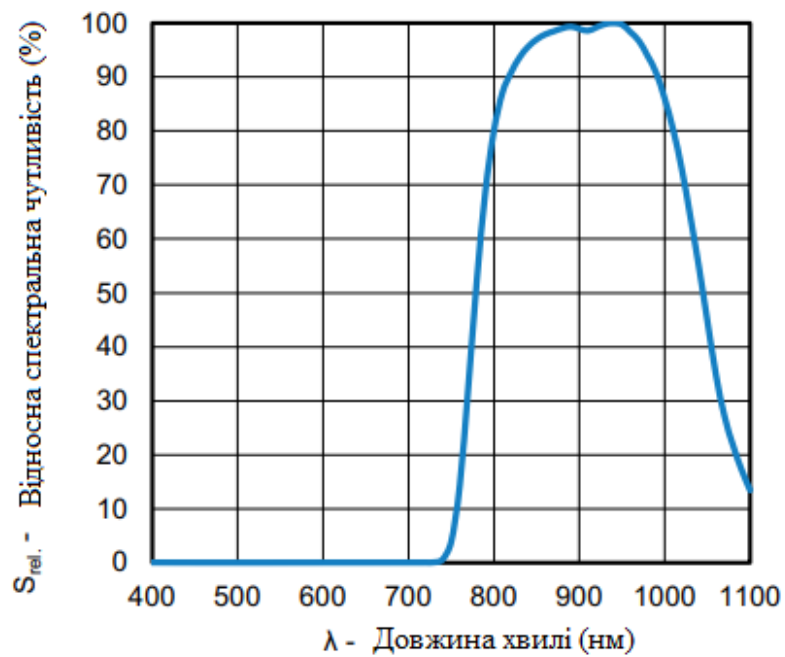


Рис. 2.2.2 Графік відносної спектральної чутливості приймача в залежності від довжини хвилі[8] (с. 4)

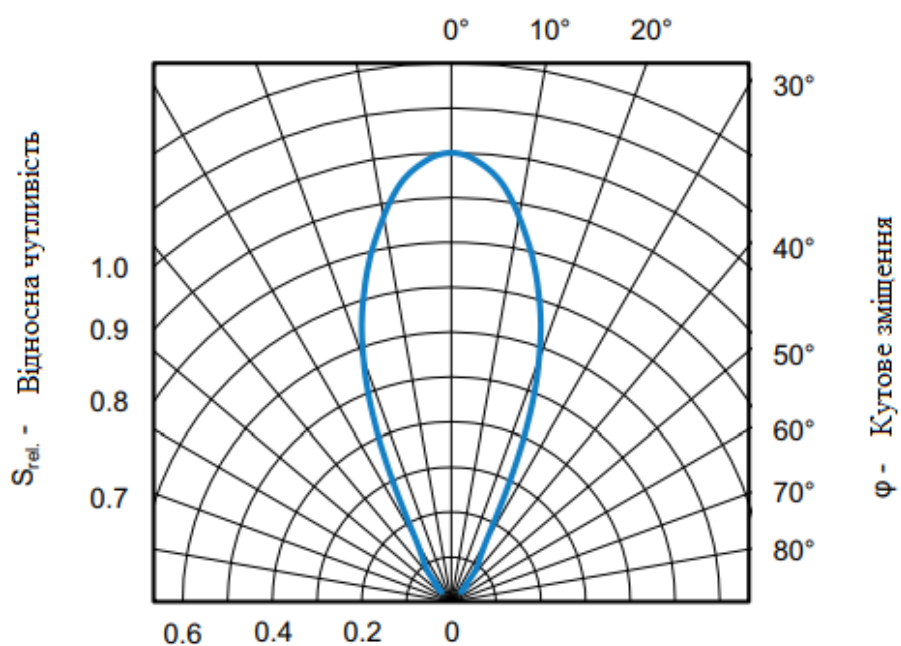


Рис 2.2.3 Графік відносної чутливості приймача в залежності від кутового зміщення.[8] (с. 4)

2.3 Розрахунок відношення сигнал/шум

Метою даного розрахунку є визначення співвідношення сигнал-шум в системі для приймача в ІЧ діапазоні від 0,89 до 1,04 мкм. Димова камера, в якій використовується цей приймач, розроблена таким чином, що забезпечується надійний блокування зовнішнього світла входження всередину камери. Розсіювання світла всередині камери мінімізоване, а поглинання світла всередині камери максимізоване. Це означає, що в системі головним джерелом шуму є внутрішні шуми самого приймача випромінювання.

Вхідні дані:

Точковий інфрачервоний випромінювач зі світловою інтенсивністю $I = 170 \text{ (мВт/ср)}$ та потужністю випромінювання $\varphi_e = 40 \text{ (мВт)}$, спектральною смугою пропускання $\Delta\lambda = 30 \text{ (нм)}$ що спостерігається фотодіодом інфрачервоного випромінювання з абсолютною спектральною чутливістю $S_i = 0,55 \text{ (А/Вт)}$, Ширина спектру сигналу $f = 1 \text{ МГц}$ полем зору $\omega = 20^\circ$, еквівалентною потужністю шуму $\sigma_e = 3 \cdot 10^{-14} \text{ (Вт/Гц)}$, виявлю вальною здатністю $D = 3 \cdot 10^{12}$ та вхідною зіницею, діаметром $d_{\text{вх.з.}} = 5 \text{ (мм)}$.

Для розрахунку потоку випромінювання в задимленому та звичайному середовищах потрібно спочатку визначити коефіцієнт пропускання атмосфери для певної довжини хвилі $\tau_{ai}(\lambda)$. Цей коефіцієнт відображає, наскільки атмосфера пропускає світло цієї довжини хвилі. Залежно від значення коефіцієнта пропускання, можна розрахувати потік випромінювання в задимленому середовищі відносно потоку випромінювання в звичайному середовищі

$$\tau_a(\lambda) = \tau_{H_2O}(\lambda) \cdot \tau_{CO_2}(\lambda) \cdot \tau_s(\lambda) \quad (2.3.2)$$

де $\tau_{H_2O}(\lambda)$ – коефіцієнт пропускання парів води;

$\tau_{CO_2}(\lambda)$ – коефіцієнт пропускання вуглекислого газу;

$\tau_s(\lambda)$ – спектральний коефіцієнт пропускання.

Спектральний коефіцієнт пропускання $\tau_s(\lambda)$ визначається за формулою:

$$\tau_S(\lambda) = e^{K_{Ai}(\lambda) \cdot l} \quad (2.3.2)$$

де $K_A(\lambda) \text{ км}^{-1}$ – коефіцієнт ослаблення за рахунок ослаблення на атомах атмосфери, що дорівнює:

$$K_A(\lambda) = \frac{3,91}{MDV} \cdot \left(\frac{0,55}{\lambda}\right) = 1,3 \quad (2.3.3)$$

У ІЧ діапазоні спектральний коефіцієнт пропускання $\tau_S(\lambda)$, та МДВ (молекулярне розсіювання) мають мало впливу на загальний коефіцієнт пропускання атмосфери. Тому їх зазвичай ігнорують або вважають рівними 1 при розрахунках.

Для визначеної довжини хвилі, коефіцієнт пропускання парів води $\tau_{H_2O}(\lambda)$ можна отримати з довідника, який містить значення цього коефіцієнта для різних довжин хвиль.

Таблиця 2.3.1– Коефіцієнт пропускання парів води в діапазоні 0,89 – 1,04 мкм.

λ (мкм)	$\tau_{H_2O}(\lambda)$	λ (мкм)	$\tau_{H_2O}(\lambda)$
0,89	0,661	0,97	0,9
0,9	0,661	0,98	0,9
0,91	0,661	0,99	0,9
0,92	0,661	1	0,9
0,93	0,661	1,01	0,9
0,94	0,661	1,02	0,9
0,95	0,661	1,03	0,9
0,96	0,661	1,04	0,9

Таблиця 2.3.2. – Коефіцієнт пропускання вуглекислого газу в діапазоні 0,89 – 1,04 мкм.

λ (мкм)	$\tau_{CO_2}(\lambda)$	λ (мкм)	$\tau_{CO_2}(\lambda)$
0,89	1	0,97	1
0,9	1	0,98	1
0,91	1	0,99	1
0,92	1	1	1
0,93	1	1,01	1
0,94	1	1,02	1
0,95	1	1,03	1
0,96	1	1,04	1

Розрахуємо коефіцієнти пропускання атмосфери для звичайного середовища $\tau_{a.бд.i}(\lambda)$ та задимленого середовища $\tau_{a.зд.i}(\lambda)$ для відповідної довжини хвилі за формулами (2.3.1) та (2.3.2.) , після чого запишемо відповідні значення у відповідні таблиці.

Таблиця 2.3.3 – Коефіцієнт пропускання атмосфери для бездимного середовища в діапазоні 0,89 – 1,04 мкм.

λ (мкм)	$\tau_{a.бд.i}(\lambda)$	λ (мкм)	$\tau_{a.бд.i}(\lambda)$
0,89	0,661	0,97	0,9
0,9	0,661	0,98	0,9
0,91	0,661	0,99	0,9
0,92	0,661	1	0,9
0,93	0,661	1,01	0,9
0,94	0,661	1,02	0,9
0,95	0,661	1,03	0,9
0,96	0,661	1,04	0,9

Таблиця 2.3.4 – Коефіцієнт пропускання атмосфери для задимленого середовища в діапазоні 0,89 – 1,04 мкм.

λ (мкм)	$\tau_{a.зд.i}(\lambda)$	λ (мкм)	$\tau_{a.зд.i}(\lambda)$
0,89	0,5949	0,97	0,81
0,9	0,5949	0,98	0,81
0,91	0,5949	0,99	0,81
0,92	0,5949	1	0,81
0,93	0,5949	1,01	0,81
0,94	0,5949	1,02	0,81
0,95	0,5949	1,03	0,81

Продовження таблиці 2.3.4

0,96	0,5949	1,04	0,81
------	--------	------	------

Визначимо формулу, для розрахунку потоку випромінювання $\Phi(\lambda)$.

$$\Phi = I_e \cdot \Omega, \quad (2.3.4)$$

де I_e – світлова інтенсивність (Вт/стерадіан)

що досягає вхідної зіниці;

Ω - твердий кут (стерадіани).

В даному випадку, використовуючи дані: Світлова інтенсивність (I) = 170 мВт/ср = 0.17 Вт/ср Твердий кут (Ω) = $2\pi(1 - \cos(20^\circ/2)) = 0,0304\pi$ стерадіан.

$$\Phi = 0,17 \text{ Вт/ср} \cdot 0,0304\pi \text{ стерадіан}$$

$$\Phi \approx 0,00515 \text{ Вт} \approx 5,15(\text{мВт})$$

Давайте розрахуємо значення потоку випромінювання в звичайному середовищі $\Phi_{\text{бд}}(\lambda)$ (Вт) та в задимленому середовищі $\Phi_{\text{зд}}(\lambda)$ (Вт) за формулами:

$$\Phi_{\text{бд}}(\lambda) = \Phi \cdot \tau_{\text{а.бд.сер}}(\lambda), \quad (2.3.5)$$

$$\Phi_{\text{зд}}(\lambda) = \Phi \cdot \tau_{\text{а.зд.сер}}(\lambda), \quad (2.3.6)$$

Розрахуємо середні значення коефіцієнтів пропускання атмосфери $\tau_{\text{а.бд.сер}}(\lambda)$ та $\tau_{\text{а.бд.сер}}(\lambda)$ за формулою (2.3.2)

$$\tau_{\text{а.бд.сер}}(\lambda) = 0,78050 \quad (2.3.7)$$

$$\tau_{\text{а.зд.сер}}(\lambda) = 0,70245 \quad (2.3.8)$$

де $\tau_{\text{а.бд.сер}}(\lambda)$ – значення для звичайного середовища;

$\tau_{\text{а.зд.сер}}(\lambda)$ – значення для задимленого середовища.

Тепер можемо розрахувати середні значення потоки випромінювання $\Phi_{\text{бд}}(\lambda)$ та $\Phi_{\text{зд}}(\lambda)$ за формулами (2.3.5) та (2.3.6):

$$\Phi_{\text{бд}}(\lambda) \approx 4,02 \text{ (мВт)}$$

$$\Phi_{\text{зд}}(\lambda) \approx 3,614 \text{ (мВт)}$$

де $\Phi_{\text{бд}}(\lambda)$ – значення для звичайного середовища,

$\Phi_{\text{зд}}(\lambda)$ – значення для задимленого середовища.

Нарешті можна розрахувати сигнал, що приймає приймач випромінювання. Для цього використаємо формулу:

$$U = S_i \cdot \Phi(\lambda), \quad (2.3.9)$$

де $S_{\text{інт.р.}}$ – абсолютна спектральна чутливість приймача випромінювання,

$\Phi(\lambda)$ – середнє значення потоку випромінювання.

Розрахуємо сигнал, що приймає приймач випромінювання $U_{\text{бд}}$ та $U_{\text{зд}}$ за формулою (2.3.9):

$$U_{\text{бд}} = 2,074 \text{ (мА)} \quad (2.3.10)$$

$$U_{\text{зд}} = 1,8589 \text{ (мА)} \quad (2.3.11)$$

де $U_{\text{бд}}$ – значення для звичайного середовища,

$U_{\text{зд}}$ – значення для задимленого середовища.

Тепер потрібно розрахувати відношення сигнал/шум μ за умови, що в системі переважають внутрішні шуми приймача випромінювання за формулою:

$$\text{SNR} = \frac{U}{(NEP \cdot f)}, \quad (2.3.12)$$

Де SNR – співвідношення сигнал/шум;

NEP – еквівалентна потужність шуму;

F – ширина спектру сигналу.

$$\text{SNR}_{\mu_{\text{ч.р.}}} = \frac{U_{\text{бд}}}{(\text{NEP} \cdot f)}, \quad (2.3.12)$$

$$\text{SNR}_{\text{т.р.}} = \frac{U_{\text{бд}}}{(\text{NEP} \cdot f)}, \quad (2.3.13)$$

$$\text{SNR}_{\mu_{\text{ч.р.}}} = 68.80 \text{ Дб}$$

$$\text{SNR}_{\text{т.р.}} = 61.96 \text{ Дб}$$

2.4 Розрахунок порогової чутливості сповіщувача

Метою даних розрахунків є визначення значення порогу спрацьовування димових сповіщувачів, які працюють на принципі розсіяного або пропущеного світла.

Поріг спрацьовування визначається питомою оптичною щільністю (тобто модулем загасання) випробувального аерозолю, який вимірюється в непосредственной близькості до сповіщувача в момент спрацьовування тривожного сигналу.

Питома оптична щільність випробувального аерозолю Цей показник може використовуватися для калібрування сповіщувача і встановлення порогового значення, яке вказує, коли спрацьовує тривожний сигнал.

Вхідні дані:

Потік випромінювання, що досягає приймача в звичайному середовищі $\Phi_{\text{бд}}(\lambda) = 4,02 \text{ (мВт)}$, потік випромінювання, що досягає приймача в задимленому середовищі $3,614 \text{ (мВт)}$, площа $S = 1,96349 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}$.

Випромінювач та приймач випромінювання розташовані в одній площині один навпроти одного під кутом 120 градусів один від одного в горизонтальній площині.

Відстань, яку проходить випромінювання $l = 0,04 \text{ (м)}$.

Питома оптична щільність розраховується за формулою:

$$m = \frac{10}{l} \cdot \lg \left(\frac{P_0}{P} \right), \quad (2.4.1)$$

де l – відстань, пройдена світлом у випробовувальному аерозолі або в задимленому середовищі від джерела світла до приймача,

P_0 – потужність випромінювання, отримана за умов відсутності випробовувального аерозолю або диму,

P – потужність випромінювання, отримана за умов наявності випробовувального аерозолю або диму.

Потужністю випромінювання, що отримана приймачем, можна назвати освітленість на приймачі E .

Освітленість E можна розрахувати за формулою:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (2.4.2)$$

де Φ – потік випромінювання,

S – площа, на яку потрапляє випромінювання.

Визначимо освітленість на приймачі випромінювання E_0 та E За формулою (2.4.2):

$$E_0 \approx 204.69 \left(\text{Вт}/\text{м}^2 \right) \quad (2.4.3)$$

$$E \approx 184.03 \left(\text{Вт}/\text{м}^2 \right) \quad (2.4.4)$$

де E_0 – значення для звичайного середовища, E – значення для задимленого середовища.

Говоримо, що:

$$P_0 = E_0 \approx 204.69 \left(\text{Вт}/\text{м}^2 \right) \quad (2.4.5)$$

$$P = E \approx 184.03 \left(\text{Вт}/\text{м}^2 \right) \quad (2.4.6)$$

Тепер можна розрахувати питому оптичну щільність m за формулою (2.2.1):

$$m = 1,273 \left(\text{дБ}/\text{м} \right)$$

2.5 Висновок до розділу II

У розділі II "Вибір елементної бази та розрахунки параметрів сповіщувача" проведений детальний аналіз і розрахунок необхідних параметрів для ефективного функціонування сповіщувача.

Спочатку ми зосередилися на підборі відповідного джерела світла, враховуючи вимоги та характеристики сповіщувача. Далі, здійснили підбір приймача, забезпечивши його взаємодію з обраним джерелом світла.

Основною частиною розділу були розрахунки параметрів сповіщувача. Проведений розрахунок відношення сигнал/шум дозволив оцінити якість сповіщувача і його здатність розрізняти сигнали від шуму. Також було розраховано порогову чутливість сповіщувача, що визначає його здатність реагувати на слабкі сигнали.

Завершуючи розділ II, ми отримали важливі результати та параметри сповіщувача, які відповідають поставленим вимогам і забезпечують його ефективну роботу. Ці розрахунки є основою для подальшого проектування і розробки сповіщувача, а також допоможуть визначити оптимальні значення компонентів для його реалізації.

Розділ II надав важливий внесок у розуміння та вибір елементної бази для сповіщувача, а також дав підґрунтя для подальших досліджень та розробок у цій області.

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАКТУ

3.1 Підбір мікроконтролера

При розробці нашого пристрою, вибір мікроконтролера (МК) був одним з найважливіших етапів. Ми встановили ряд критеріїв, які були важливі для нашого проекту, такі як продуктивність, надійність та вимоги до умов застосування. Основною метою було знайти мікроконтролер з оптимальною ціною, який задовольняв би всім вимогам системної специфікації.

При виборі мікроконтролера, ми враховували загальну вартість системи, яка включає в себе витрати на інженерне дослідження та розробку, виробництво, гарантійний ремонт, оновлення та обслуговування. Ми також звернули увагу на сумісність з іншими компонентами системи, простоту в обігу та габаритні розміри.

Задоволенням цих критеріїв, ми обрали мікроконтролер STM32F103RC. Цей вибір обумовлений кількома факторами. По-перше, він має конкурентоспроможну ціну, що допомагає знизити загальну вартість системи. По-друге, він відповідає нашим потребам у продуктивності та надійності. По-третє, важливим фактором є його 12-бітний цифро-аналоговий перетворювач, що дозволяє точно вимірювати сигнали і забезпечувати високу якість детектування диму.

Загалом, мікроконтролер STM32F103RC відповідає нашим вимогам з точки зору продуктивності, надійності та ціни, а також має додатковий функціонал, як цифро-аналоговий перетворювач, який покращує функціональні можливості нашого приладу для детектування диму.

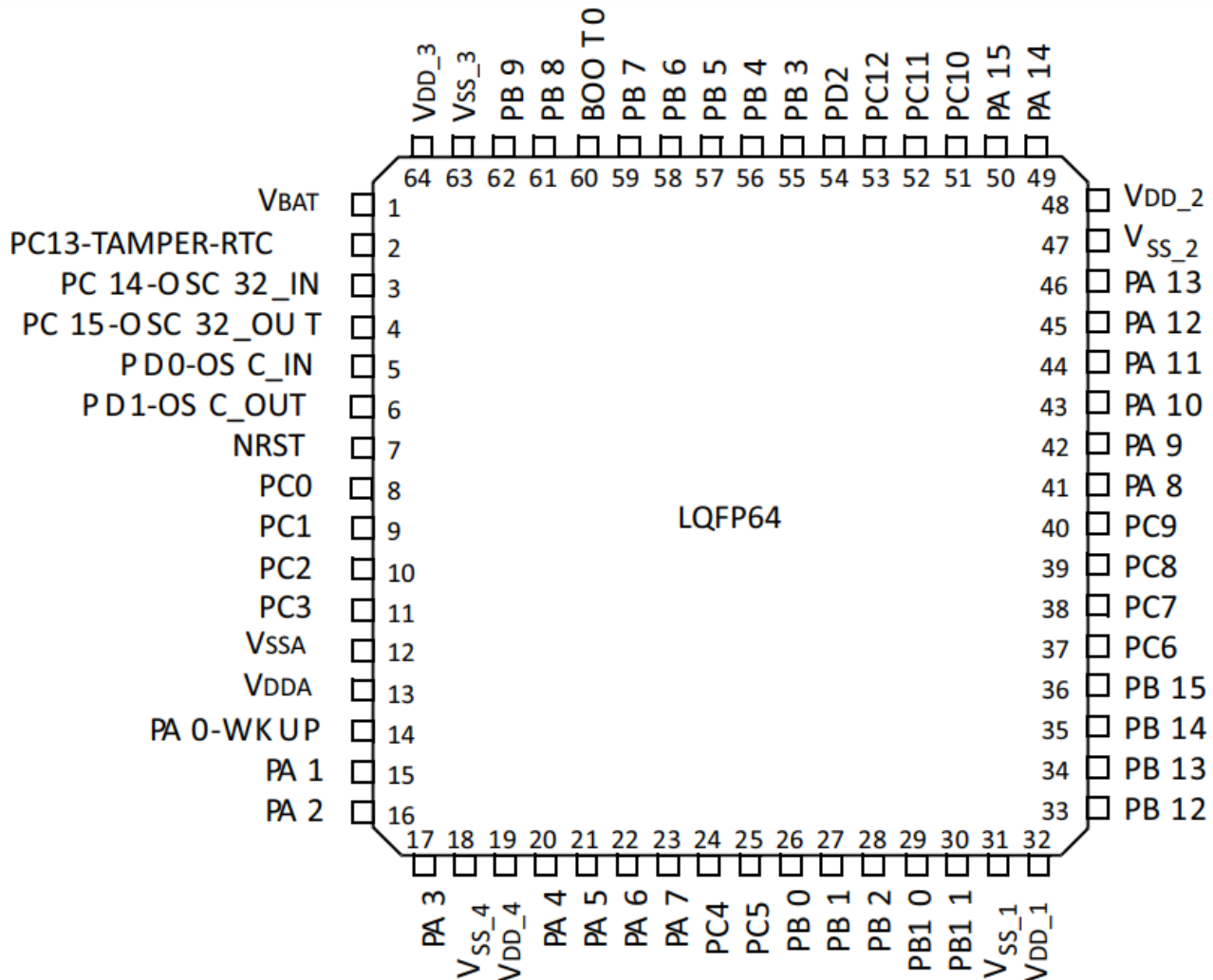


Рис 3.1.1 Мікроконтролер STM32F103RC в корпусі LQFP64[9] (с. 29)

3.2 Розрахунок джерела струму

Для регулювання інтенсивності випромінювання діодів у нашому пристрої, ми використовуємо програмоване джерело струму, відоме як current sink. Це джерело струму має низький опір і дозволяє нам встановлювати струм, що протікає через навантаження, шляхом керування вихідною напругою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).

У схемі програмованого джерела струму, струм протікає через R_{set} , і операційний підсилювач використовується для керування транзистором, який регулює струм, що проходить через навантаження (діоди). Компоненти C_f , R_{iso} та R_{fb} відповідають за компенсацію і забезпечують стабільну роботу схеми.

Така конфігурація дозволяє нам точно контролювати інтенсивність випромінювання діодів шляхом налаштування вихідної напруги ЦАП. Це дозволяє нам створювати різні режими роботи і регулювати інтенсивність світлового випромінювання відповідно до потреб нашого пристрою. Компоненти C_f , R_{iso} та R_{fb} гарантують стабільну роботу схеми і компенсують вплив зовнішніх факторів на точність регулювання струму.

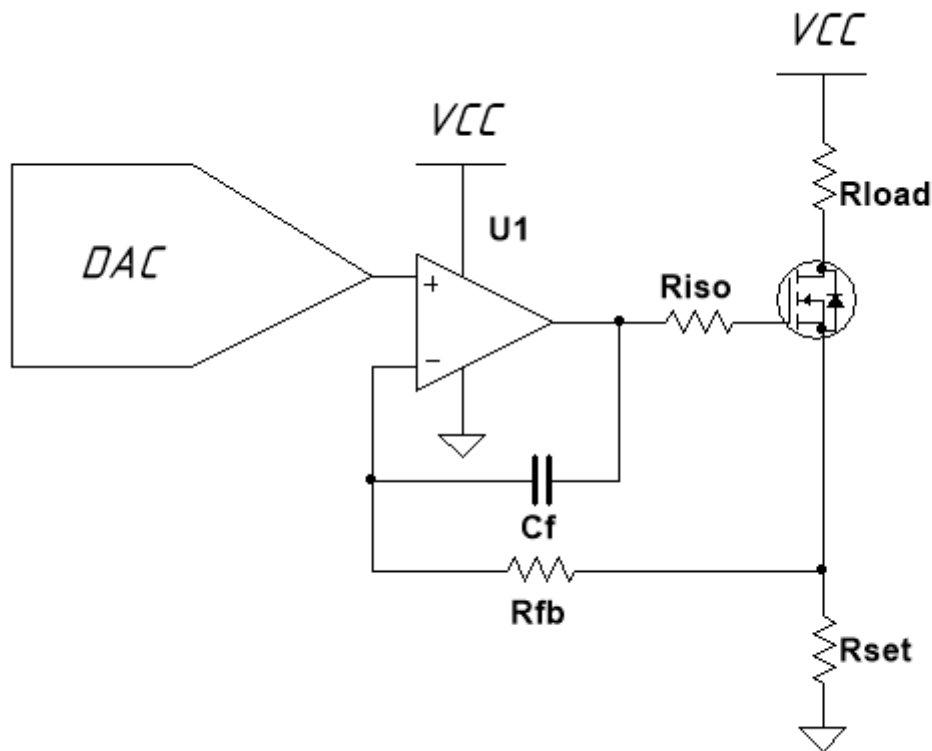


Рис 3.2.1 Схема джерела струму

Для забезпечення стабільної роботи схеми необхідно враховувати деякі ключові моменти.

Вибір ЦАП має враховувати низьку помилку зміщення, помилку посилення та дрейф. Використання підсилювачів RRIO допомагає зменшити похибку біля

кінцевих точок і максимально збільшити опірність навантаження. Для мінімізації помилок, слід обрати оптичний підсилювач з низькою зміщеною напругою.

Для досягнення точного регулювання струму використовуйте високоточний низькодисперсний резистор R_{set} . Це допоможе уникнути значних похибок при встановленні струму.

Мінімізуйте опір резистора R_{set} для підвищення ефективності і зменшення розсіюваної потужності. Більшу частину розсіювальної потужності слід перенести на навантаження. Для живлення навантаження використовуйте окреме джерело високої напруги, щоб забезпечити потік струму до навантаження.

Дотримання цих ключових моментів допоможе забезпечити стабільну роботу схеми і точне регулювання струму через навантаження.

Для живлення навантаження слід використовувати окреме джерело високої напруги, щоб забезпечити потік струму до навантаження. Для регулювання струму на виході потрібно використовувати неінвертуючий вхід операційного підсилювача, до якого подається напруга, що дорівнює добутку опору шунтуючого резистора на струм, що проходить через цю частину кола.

Таким чином, шунтуючий резистор встановлюється для контролю струму, а операційний підсилювач використовує цю напругу для регулювання струму на виході схеми. Цей підхід дозволяє точно контролювати струм, який проходить через навантаження, і забезпечує його стабільність.

$$U_{DAC} = R_{set} \cdot I_{Out}, \quad (3.2.1)$$

З формули (3.2.1) ми можемо визначити оптимальний номінал резистора джерела струму, який забезпечить потрібну динамічну поведінку каскаду. Значення компонентів C_f , R_{fb} і R_{iso} впливають на швидкість реакції схеми на зміни вхідних та вихідних параметрів.

Динамічна поведінка відображає, як швидко схема реагує на зміни вхідних сигналів. Якщо схема реагує надзвичайно швидко, це може призвести до помилок, перенапруг та нестабільності. Навпаки, якщо схема реагує дуже повільно, вона буде

стабільною і несхильною до помилок та коливань, але може бути повільною у відгуку на зміни.

Вибір значень компонентів C_f , R_{fb} і R_{iso} визначає швидкість реакції схеми. Підбираючи ці значення, ми забезпечуємо баланс між швидкістю реакції і стабільністю. Чим більше значення цих компонентів, тим повільніше буде реагувати схема, а зменшення їх значень прискорить реакцію. При проектуванні схеми джерела струму важливо враховувати цей компроміс, забезпечуючи необхідну швидкість реакції при достатній стабільності і уникненні помилок та коливань

Для обчислення резистора R_{iso} необхідно знати важливий параметр транзистора, який називається "Total Gate Charge" (Q_g). Total Gate Charge представляє собою заряд, який потрібно подати на затвор транзистора для його повного відкриття. Залежно від значення Q_g , ми можемо визначити потрібний струм для відкриття транзистора і час, за який цей струм буде досягнути необхідного значення. Цей параметр дозволяє нам встановити відповідну реакцію схеми на зміни вхідних сигналів і забезпечити необхідну швидкість реакції транзистора на вхідний сигнал.

$$Q_t = I_{In} \cdot t, \quad (3.2.2)$$

Знаючи струм і напругу на резисторі ми визначаємо значення нашого резистора:

$$R_{iso} = \frac{U_{DAC}}{I_{In}}, \quad (3.2.3)$$

Спростивши, ми отримаємо формулу для розрахунку R_{iso} :

$$R_{iso} = \frac{U_{DAC} \cdot t}{Q_t}, \quad (3.2.4)$$

Компоненти C_f і R_{fb} впливають на фазовий зсув (phase margin), який визначає швидкість зміни струму:

$$\tau = C_f \cdot R_{fb}, \quad (3.2.5)$$

Загальний час за який струм змінюється рівний:

$$T_r = t + \tau, \quad (3.2.6)$$

Після виведення всіх необхідних формул ми проводимо розрахунок схеми джерела струму. За допомогою формули () встановлюємо значення резистора R_{set} , яке приймаємо рівним 1 Ом. Максимальний струм, який необхідний для живлення діодів, визначаємо як 120 мА. З цими значеннями ми здійснюємо необхідні розрахунки для визначення параметрів та компонентів схеми джерела струму:

$$U_{DAC} = 1 \cdot 120 = 120mV,$$

Розраховуємо R_{iso} , Q_t - для даного транзистору рівне 8,9 пС, час ввімкнення приймемо 1μS, розраховуємо за формулою:

$$R_{iso} = \frac{0,12 \cdot 10^{-6}}{8,9 \cdot 10^{-9}} = 13,50m,$$

Оскільки в результаті розрахунків отрималися дробові значення, приймемо значення резистора R_{iso} рівним 10 Ом. Для розрахунку часу зміни струму використовуємо значення ємності C_f , яке приймаємо рівним 100 пФ, і значення резистора R_{fb} , яке приймаємо рівним 1 кОм. Розрахунки проводимо за допомогою формули (), яка дозволяє визначити необхідний час зміни струму.

$$\tau = 100 \cdot 10^{-12} \cdot 100 = 0,1 \cdot 10^{-9}S,$$

Загальний час зміни струму, визначаємо за формулою:

$$T_r = 0,1 \cdot 10^{-9} + 10^{-6} \approx 0.1 \cdot 10^{-6}S,$$

3.3 Розрахунок транзисторного ключа

Для збереження заряду батарей під час простою системи датчиків та періодичного включення діодів для випромінювання ми використовуємо транзисторний ключ, який можна керувати ніжною мікроконтролера. Даний ключ побудований на основі транзисторів типу Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors (MOSFET) п-типу. Вибір типу транзистора вказує на те, яким потенціалом необхідно керувати транзистором. Особливістю таких транзисторів є те, що вони керуються різницею потенціалів, а не струмом. Для розрахунку значення резистора R_{iso} ми використовуємо комбінацію формул (4) і (5), яка дає нам наступне вираження:

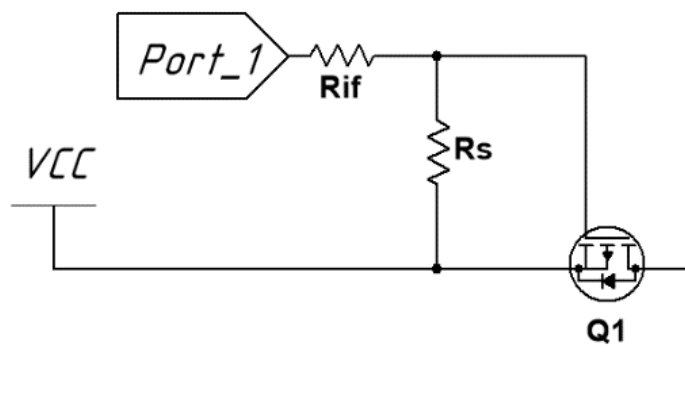


Рис 3.3.1 Схема транзисторного ключа

$$R_{if} = \frac{U_{Port_1} \cdot t}{Q_t}, \quad (3.3.1)$$

Резистор R_s використовується для підтяжки ніжки транзистора до живлення, що забезпечує контрольований стан транзистора, навіть якщо сигнал з мікроконтролера відсутній. Це допомагає уникнути неконтрольованого відкриття транзистора. Щоб запобігти короткому замиканню, номінал R_s повинен бути принаймні в 10 разів більший за резистор R_{if} . Окрім того, варто забезпечити, щоб значення R_s було більше 100 кОм. Такі умови допомагають зберегти стабільну роботу схеми та уникнути проблем, пов'язаних зі скороченням контактів.

Для розрахунку резистора ключа використовуємо формулу:

$$R_{if} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-9}} = 500m$$

Резистор R_s прийmemo 100kОм.

3.4 Розрахунок трансімпедансного підсилювача

Для нашого пристрою ми використовуємо трансімпедансний підсилювач для фотодіода, який перетворює вхідний струм, утворений при попаданні випромінювання на фотодіод, на вихідну напругу.

У конфігурації схеми трансімпедансного підсилювача джерело вхідного струму перетворюється у вихідну напругу. Опір зворотного зв'язку визначає струм для

посилення напруги. Ця схема дозволяє підтримувати сталу зміщення напруги на вхідному джерелі при зміні вхідного струму, що дозволяє уникнути впливу зміщення напруги операційного підсилювача.

Схема трансімпедансного підсилювача включає фотодіод, підсилювач, конденсатор та пару резисторів зворотного зв'язку (див. рис. 8).

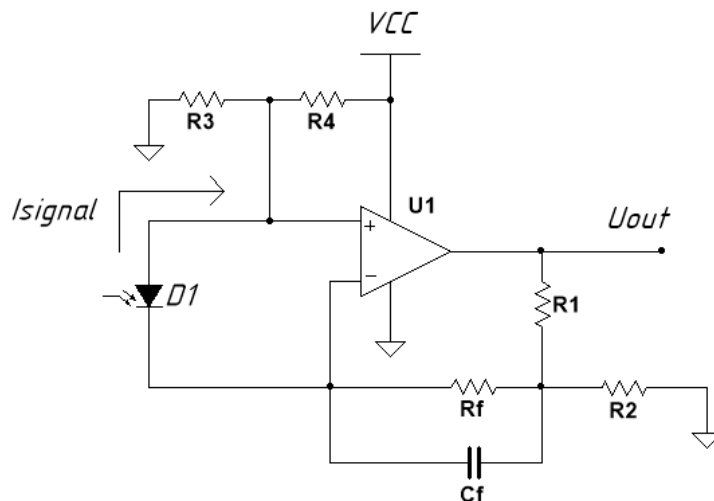


Рис 3.4.1 Схема трансімпедансного підсилювача

Щоб забезпечити стабільну роботу схеми, важливо врахувати такі ключові аспекти:

1. Операційний підсилювач повинен мати високий вхідний опір, що дозволяє ефективно приймати вхідний сигнал без його втрати.
2. Зважаючи на чутливість схеми до високочастотних перешкод, рекомендується розміщати її на платі в окремому місці і, якщо можливо, забезпечити екранування для запобігання небажаному впливу зовнішніх сигналів.
3. Якщо операційний підсилювач має зміщення по напрузі, його потрібно компенсувати шляхом подачі позитивної напруги на неінвертований вхід. Це допомагає збалансувати зміщення і забезпечити належну роботу схеми.

При попаданні світла на фотодіод формується струм ($I_{\text{сигнал}}$), який протікає через резистор зворотного зв'язку (R_f) від катода до анода діода (мал. 1). Цей струм також протікає через резистор зворотного зв'язку, R_f . Значення струму $I_{\text{сигнал}}$ визначає

вихідну напругу на виході підсилювача (V_{out}). При збільшенні освітленості світла вихідна напруга стає більш позитивною.

Для розрахунку трансїмпедансного підсилювача з опорною напругою ми використовуємо формулу, що дозволяє обчислити вихідну напругу на основі вхідного струму:

$$R_f + R_1 + \frac{R_f + R_1}{R_2} = \frac{U_{out} - U_{os}}{I_{signal}} \quad (3.4.1)$$

де U_{os} це опорна напруга,

I_{signal} .- струм який протікає через фотодіод.

Визначимо ємність зворотнього зв'язку C_f застосовуючи формулу:

$$C_f \leq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_f \cdot f_p} \quad (3.4.2)$$

де f_p – це частота пропускну здатності ланцюга.

Для виставлення опорної напруги в трансїмпедансному підсилювачі ми будемо використовувати напругу операційного підсилювача, яка буде підключена через дільник напруги з високим вхідним опором. Це дозволить нам створити стабільну опорну напругу для роботи підсилювача.

Резистори R_3 і R_4 це елементи дільника напруги, які визначаються за таким співвідношенням:

$$U_{out} = U_{in} \frac{R_3}{R_3 + R_4} \quad (3.4.3)$$

Після проведення моделювання ми визначили діапазон струму, в межах якого діод буде генерувати сигнал, який ми перетворимо на напругу і підсилімо. Крайнє значення діапазону відповідає струму, що протікає через діод у повній темряві, а друге значення становить 1000 нА. Оскільки наше моделювання є наближеним, ми встановлюємо регульований резистор, яким зможемо змінювати коефіцієнт підсилення і налаштовувати наш підсилювач. Ми приймаємо значення $R_f=1,5$ МОм, $R_2=3,3$ кОм, $U_{out}=3,3$ В, $U_{os}=0,1$ мВ, і потім знаходимо значення R_1 , використовуючи формулу (10) для виразу R_1 і проводимо розрахунки:

$$R_1 = \frac{I_{signal} \cdot R_f + R_2 \cdot U_{os} - R_2 \cdot U_{out} + I_{signal} \cdot R_2 \cdot R_f}{I_{signal} - I_{signal} \cdot R_2} = 1.7 \cdot 10^6 \quad (3.4.4)$$

Розрахуємо ємності зворотного зв'язку C_f застосовуючи формулу, f_p візьмемо 100кГц:

$$C_f \leq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^3} = 1pF \quad (3.4.5)$$

Для розрахунку резисторів R3 і R4 приймаємо значення R3 рівним 3.3 кОм, а другий резистор R4 розраховуємо за допомогою формули (12). Застосовуючи цю формулу, ми можемо розрахувати необхідне значення R4 для належного функціонування нашого перетворювача.

$$R_4 = \frac{R_3 \cdot U_{in}}{U_{out}} - R_3 = 1M\Omega \quad (3.4.6)$$

3.5 Висновок до розділу III

В даному розділі ми виконали проектування електричного тракту нашого пристрою. Ми вибрали та підібрали всі необхідні елементи для складання функціональної схеми. Застосувавши розрахунки, ми визначили оптимальні значення номіналів елементів для досягнення бажаної функціональності та ефективності пристрою.

Для подальшого проектування друкованої плати, ми використовували програмне забезпечення Altium Designer. Це інструментальне середовище надає широкі можливості для зручного проектування електронних пристроїв, включаючи створення схеми, розміщення компонентів, трасування слідів та генерацію готових файлів для замовлення друкованої плати.

Завдяки використанню Altium Designer, ми забезпечили більш легкий та зручний процес проектування, що сприяє точності і ефективності нашої роботи. Після завершення проектування друкованої плати, ми готові перейти до наступного етапу - виготовлення прототипу нашого пристрою.

РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЕТЕКТОРА

У цьому розділі ми розглянемо процес розробки сповіщувача та його конструкцію в програмі SolidWorks. Ми спроектуємо всі необхідні деталі і створимо збірку з них.

Особливістю корпусу цього автоматизованого пристрою для виявлення диму є те, що для складання всього корпусу ми використовуємо лише чотири гвинти. Всі інші з'єднання виконані у вигляді зачіпок.

Усі деталі, що належать до конструкції пристрою, будуть виготовлені з пластмаси PC 2807 IV. Ми обрали цей матеріал через його стійкість до інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювання, а також тому, що він не пропускає інфрачервоне випромінювання.

4.1 Розробка камери диму

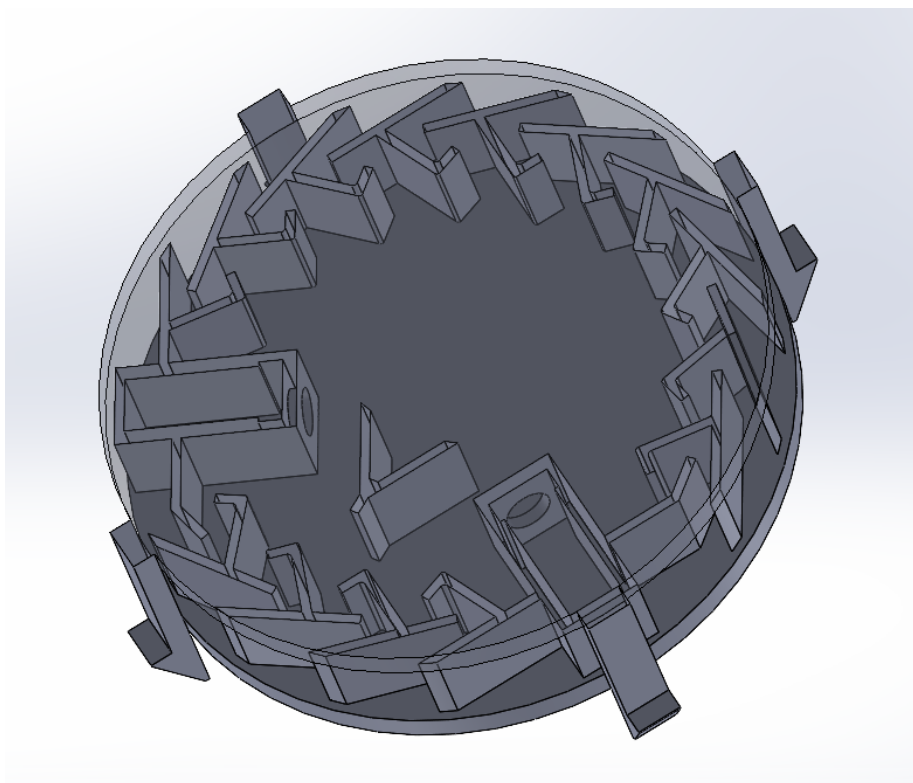


Рис 4.1.1 камера диму

Наша розробка сповіщувача починається з основи нашого пристрою - камери диму. Головною метою камери є захист приймача від навколишнього світла, щоб уникнути його сліпоти. При розробці камери ми керуємося кількома ключовими критеріями, які визначають конструкцію датчика.

Першим критерієм є забезпечення захисту від навколишнього світла та запобігання виходу світла з камери. Ми розробили спеціальну світлову завісу, яка перешкоджає проходу світла в камеру, але дозволяє диму проникати через неї без перешкод.

Другим критерієм є надійний проникнення диму до камери без жодних перешкод. Ми забезпечуємо вільний доступ диму до камери, щоб він міг ефективно виявлятися і спричиняти спрацювання сповіщувача.

Завдяки цим розробкам ми досягли бажаного ефекту, забезпечивши захист від навколишнього світла і вільний проникнення диму до камери, що робить наш прилад ефективним та надійним у виявленні пожеж.

4.2 Розробка конструкції корпусу

Після визначення розмірів камери диму, ми переходимо до розробки корпусу. Для нашого пристрою я обрав циліндричну форму, оскільки вона відповідає принципам простоти технології і забезпечує легку циркуляцію повітря. Аналізуючи конструкції димових детекторів від інших виробників і дізнавшись про їхні проблеми, ми вдосконалили конструкцію нашого детектора.

Конкуренти мали деякі проблеми, зокрема: складний монтаж сповіщувача, повільна реакція на виявлення диму через неправильну конструкцію, складнощі зі заміною батарейок, утруднене розбирання та очищення камери диму від пилу, а також значні розміри. Ми вирішимо ці проблеми у нашому сповіщувачі.

Для зручного кріплення детектора ми розробили спеціальний радіальний механізм кріплення, який дозволяє легко встановлювати та знімати детектор, а

водночас надійно його закріплює на стіні. Механізм кріплення - це окрема деталь, яка кріпиться до стіни, а сам детектор монтується на цю деталь.

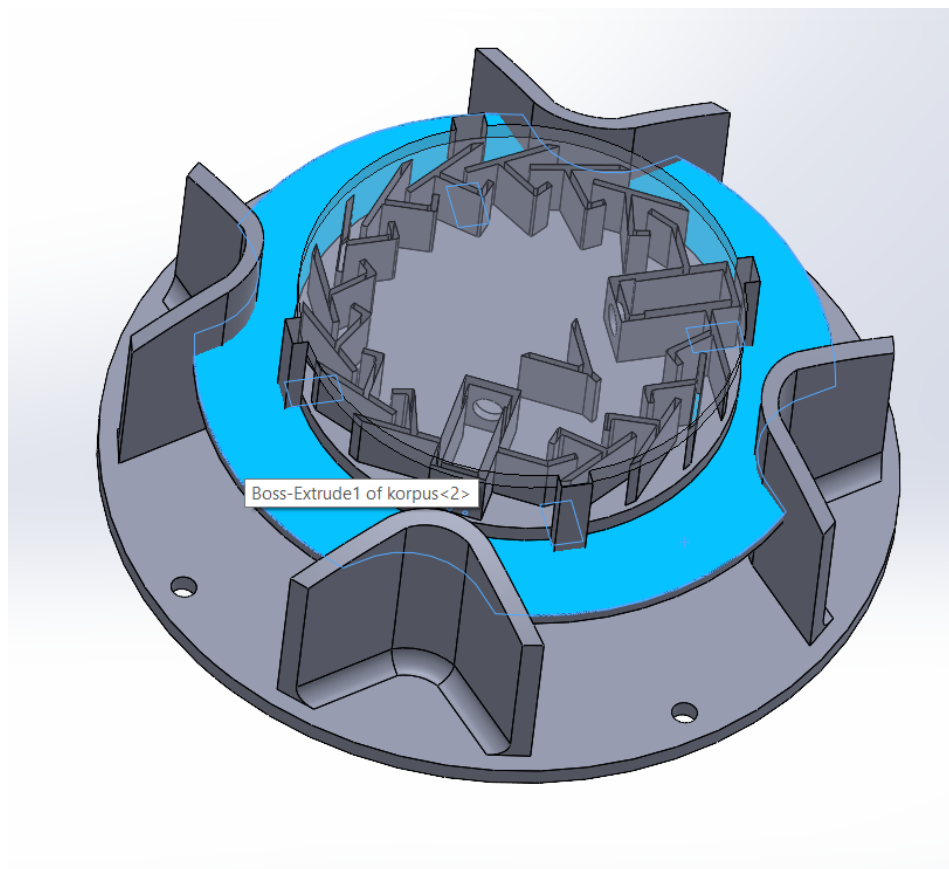


Рис 4.2.1 Внутрішній вигляд сповіщувача

Для зручності заміни батарейок і очищення камери, ми розробили конструкцію таким чином, що доступ до внутрішніх компонентів детектора здійснюється шляхом зняття верхньої деталі. Виготовлення деталей, які складаються з бокових литтів і складних пластмасових защіпок, може бути вимогливим завданням. Однак, ми застосуємо технологію лиття в форму для їх виготовлення. Ця технологія дозволяє швидко і якісно виготовляти багато однакових деталей, які будуть майже нерозрізнимі одна від одної.

Для формування внутрішніх защіпок, що утримують плату, ми використовуватимемо слайдер. Слайдер - це рухомий елемент прес-форми, який автоматично зсувається на певну відстань при відкритті форми за допомогою похилої площини. Головною особливістю є те, що для правильної роботи необхідно, щоб деталь ковзала по внутрішній поверхні.

Для формування бокових вікон ми використовуватимемо ліфтер. Ліфтер - це рухомий елемент прес-форми, який не зсувається автоматично і потребує додаткової сили при відкритті форми. Головна особливість полягає в тому, що для правильної роботи деталь повинна відокремлюватися від внутрішньої поверхні форми.

Важливою умовою є використання форми найвищої якості. Бокова і передня поверхні форми не повинні мати подряпин, холодних стиків, ліній або слідів. Особливу увагу слід звернути на форми з отворами. Для цього рекомендується використовувати систему опалення або гарячу гонку, щоб забезпечити якісне формування деталей.

4.3 Висновок до розділу IV

В цьому розділі ми розглянули розробку приладу для детектування диму та зосередилися на конструкції камери диму та корпусу. З метою забезпечення ефективності та надійності детектора, ми приділили увагу таким аспектам, як захист від навколишнього світла, проникнення диму, зручність монтажу, заміни батарейок та очищення камери.

Проаналізувавши конструкційні проблеми сповіщувачів від інших виробників, ми розробили вдосконалений конструктивний підхід, який дозволяє уникнути цих проблем. Нашими рішеннями були використання спеціального радіального кріплення для зручного монтажу, розробка доступу до внутрішніх частин детектора шляхом знімання верхньої деталі, а також застосування технології лиття в форму для виготовлення складних пластмасових деталей.

Важливою складовою успіху є висока якість форм для лиття, яка забезпечує відсутність дефектів на поверхні деталей. Для цього ми рекомендуємо використовувати систему опалення або гарячу гонку, щоб забезпечити оптимальні умови формування.

У результаті наших розробок ми досягли зручності у монтажі, ефективного функціонування та легкості обслуговування пристрою для детектування диму. Ми

створили конструкцію, яка враховує потреби користувачів і водночас забезпечує високу якість та надійність пристрою.

ВИСНОВОК

На основі проведених досліджень та розробок, виконаних у рамках дипломного проєкту, було розроблено оптико-електронний сповіщувач. Проєкт включав аналітичний огляд і класифікацію сповіщувачів, вибір елементної бази та розрахунки параметрів сповіщувача, розробку електричного тракту та конструкції пристрою.

У розділі аналітичного огляду були визначені основні характеристики та класифікація сповіщувачів, що дозволило визначити оптимальний напрямок розробки. Вибір елементної бази був проведений з урахуванням вимог до пристрою, а розрахунки параметрів дозволили визначити оптимальні значення для забезпечення його ефективної роботи.

Розробка електричного тракту включала вибір мікроконтролера, розрахунок джерела струму, транзисторного ключа та трансїмпедансного підсилювача. Ці кроки допомогли побудувати функціональний та надійний електричний тракт для сповіщувача.

У розділі розробки конструкції були розроблені камера диму та корпус пристрою. Камера диму була розроблена з урахуванням вимог до проникності повітря та легкості очищення, а корпус був спроектований з урахуванням зручності монтажу, заміни батарейок та доступу до внутрішніх частин пристрою.

Результат дипломного проєкту - розроблений сповіщувач, який відповідає поставленим вимогам. Цей пристрій є ефективним, надійним та зручним у використанні, забезпечуючи вчасне виявлення пожежі та забезпечення безпеки для користувачів. Він має переваги порівняно з існуючими сповіщувачами, такі як висока чутливість до диму, швидка реакція на зміни концентрації диму, надійна передача сигналу та простота в управлінні.

Проєкт також врахував економічні та екологічні аспекти. Використання енергоємних компонентів та оптимізована система керування дозволяють знизити споживання електроенергії та продовжити термін служби батарейок. Крім того, відпрацьовані компоненти можуть бути піддані вторинній переробці, що сприяє збереженню ресурсів та зниженню впливу на довкілля.

Дипломний проєкт є вдалою комбінацією теоретичного аналізу, розрахунків та практичної реалізації, що дозволило створити ефективний пристрій для детектування диму. Результати проєкту можуть бути використані в промислових та побутових умовах для покращення систем безпеки та запобігання пожежам. Дана розробка має потенціал для подальшого вдосконалення та розширення функціональних можливостей з метою забезпечення ще більшої безпеки та комфорту користувачів.

Загальний висновок полягає в тому, що даний дипломний проєкт успішно вирішує задачу розробки ефективного сповіщувача з використанням інфрачервоного випромінювання. Результати дослідження та розробки свідчать про високий рівень технічних знань та навичок автора, а також його здатність до реалізації технічних проєктів у практичній сфері.

Список використаних джерел

1. **Пожешні Сповіщувачі. Засади оптимізації роботи та алгоритми прийняття рішень** [Журнал] / авт. С.П. Яцишин І.П. Кравець. - Львів : Пожежна безпека Мо17,, 2010 р..
2. **Пожешні сповіщувачі, як засоби інформаційновимірбвальної техніки** [Журнал] / авт. С.П. Яцишин, Б.П. Яцишин. - Львів : Вісник ЛДУ БЖД М 4, 2010 р.
3. **ДСТУ EN 54-1. 2003** [Книга] / авт. Сигналізації системи пожежної. - Держспоживстандарт України, 2003 : (Національні стандарти України), чинний від 2004-07-01. - с. 9 с. - 54-1. 2003.
4. **Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, аэрозолям Часть 2** [Журнал] / авт. А.В. Зайцев. - [б.м.] : Алгоритм безопасности, 2012 р.. - Т. 29 с.
5. **Теория рассеяния света и ее применение к вопросам прозрачности атмосферы и туманов** [Книга] / авт. Хвостиков А.. - [б.м.] : Успехи физических наук, т. XXIV, вып. 2, 1940. - Т. 209.
6. **Проверка временем. Ее не всегда выдерживает чувствительность пожарных извещателей** [Журнал] / авт. В. Пивинская И.. - Санкт-Петербург : Безопасность Достоверность Информация (БДИ), 2004 р.
7. **Vishay Intertechnology TSAL6100 Element Infrared LED, 940nm**, <https://www.amazon.com/> [Онлайновий] / авт. Amazon. - <https://www.amazon.com/Vishay-Intertechnology-TSAL6100-Element-Infrared/dp/B01N4P0BQ8>.
8. **TSAL6100 (ІЧ-світлодіод 5мм, 940нм, 10 °) Vishay** [Онлайновий] // Радіомаг мережа магазинів радіодеталей. - https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/tsal6100-ich-svitlodiod-5mm-940nm-10_25956.html.
9. **Vishay Intertechnology TSAL6100 Element Infrared LED, 940nm**, <https://www.amazon.com/> [Онлайновий] / авт. Amazon. - <https://www.amazon.com/Vishay-Intertechnology-TSAL6100-Element-Infrared/dp/B01N4P0BQ8>.
10. **Vishay Semiconductors** [Онлайновий] / авт. Vishay BPV10NF // Радіомаг мережа магазинів Радіодеталей. - https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/bpv10nf_28356.html.
11. **Vishay, BPV10NF IR Si Photodiode, Through Hole 5mm package** [Онлайновий] / авт. RS Components Ltd. Birchington Road Corby, Northants, NN17 9RS, UK. - <https://uk.rs-online.com/web/p/photodiodes/6997607>.
12. **Mainstream Performance line, Arm Cortex-M3 MCU with 256 Kbytes of Flash memory, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN** [Онлайновий] / авт. STMicroelectronics All rights reserved © 2023. - <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103rc.html>.