



Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Автоматики і комп'ютеризованих технол \_\_\_\_\_

Кафедра Комп'ютерно інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_

Освітня програма \_\_\_\_\_ Системна інженерія \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Козаку Владиславу Вадимовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи автоматизації сенсорного комплексу для моніторингу виробничих приміщень

затверджена наказом університету від 3 \_\_\_\_\_ червня 2024 р. № 545 Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи модульна сенсорна система, ІЧ датчик, УЗ сонар, Altium Designer

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_  
Вступ; Оглядовий аналіз сучасних методик детектування та виявлення об'єктів, що випромінюють в інфрачервоному діапазоні; Розробка електричної схеми пристрою; Вибір елементної бази; Проектування друкованої плати; Аналіз можливостей модульної сенсорної системи широкого призначення; Висновки; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій \_\_\_\_\_

Слайди у форматі Power Point. 9 слайдів у форматі pptx. \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	1.02-10.02	Виконано
2	Опрацювання літератури за темою	11.02-10.04	Виконано
3	Оглядовий аналіз сучасних методик детектування та виявлення об'єктів	11.04-24.04	Виконано
4	Розробка електричної схеми пристрою	25.04-10.05	Виконано
5	Вибір елементної бази	11.05-20.05	Виконано
6	Проектування друкованої плати	21.05-31.05	Виконано
7	Модернізація датчиків	01.06-10.06	Виконано
8	Аналіз можливостей модульної сенсорної системи	11.06-14.06	Виконано
9	Оформлювання пояснювальної записки	15.06-17.06	Виконано
10	Подання роботи на рецензію		
11	Подання роботи на підпис зав. кафедри		
12	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ червня 2024 р.

Студент \_\_\_\_\_ Козак В.В.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Стародубцев М.Г.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«16» червня 2024р.

Козак В.В.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с., 9 табл., 43 рис., 1 дод., 24 джерела.

МОДУЛЬНА СЕНСОРНА СИСТЕМА, ІНФРАЧЕРВОНІ ДАТЧИКИ, УЛЬТРАЗВУКОВІ СОНАРИ, СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ, ОХОРОННІ СИСТЕМИ.

Мета роботи – розробка широкого призначення, заснованої на комбінації інфрачервоних датчиків та ультразвукових сонарів для цілей орієнтації в просторі.

Об'єкт розробки – модульна сенсорна система широкого призначення.

Предмет розробки – апаратна частина модульної сенсорної системи.

У роботі розглядається реалізація модульної сенсорної системи широкого призначення, заснованої на пасивних датчиках для цілей виявлення випромінюючого тепло об'єкта в приміщенні, або на комбінації інфрачервоних (пасивних) датчиків і ультразвукових сонарів для цілей орієнтації в просторі, а також для використання в охоронних системах.

## **ABSTRACT**

Explanatory note: 70 pages, 9 tab., 43 figs., 1 additions, 24 sources.

**MODULAR SENSOR SYSTEM, INFRARED SENSORS, ULTRASONIC SONARS, VISION SYSTEMS, SECURITY SYSTEMS.**

The aim is to develop a broad purpose based on a combination of infrared sensors and ultrasonic sonars for purposes of orientation in space.

The object of development is a modular sensor system of wide purpose.

The subject of development is the hardware part of the modular sensor system.

The work considers the implementation of a modular wide-purpose sensor system based on passive sensors for the purpose of detecting a heat-emitting object in the room, or on a combination of infrared (passive) sensors and ultrasonic sonars for the purposes of orientation in space, as well as for use in security systems.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	8
Вступ .....	9
1 Оглядовий аналіз сучасних методик детектування та виявлення об'єктів, що випромінюють в інфрачервоному діапазоні .....	11
1.1 Огляд спеціальних засобів виявлення руху .....	11
1.2 Розробка функціональної схеми пристрою .....	14
2 Розробка електричної схеми пристрою .....	19
3 Вибір елементної бази .....	25
3.1 Мікроконтролер .....	25
3.2 Пасивні SMD елементи .....	27
3.3 Кварцовий генератор .....	29
3.4 Лінійні регулятори напруги .....	30
3.5 Ультразвуковий сонар .....	31
3.6 Піроелектричний інфрачервоний датчик .....	33
3.7 Перелік використовуваних електронних компонентів .....	35
4 Проектування друкованої плати .....	37
4.1 Трасування друкованої плати в САПР Altium Designer .....	38
4.2 Виготовлення друкованої плати .....	43
5 Аналіз можливостей модульної сенсорної системи широкого призначення .....	46
5.1 Модернізація датчиків .....	47
6 Охорона праці .....	53
6.1 Аналіз умов праці .....	53
6.2 Техніка безпеки .....	55
6.3 Виробнича санітарія та гігієна .....	56
6.4 Пожежна профілактика .....	63
Висновки .....	65

Перелік джерел посилання .....	66
Додаток А Демонстраційний матеріал .....	69

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДВ – друкований вузол;

ДП – друкована плата;

ДР – датчики руху;

ІЧ – інфрачервоні;

МК – мікроконтролер;

ПК – персональний комп'ютер;

РЕА – радіоелектронна апаратура;

САПР – системи автоматизованого проектування;

СТЗ – системи технічного зору;

ТВ – телевізійні;

ТЗ – технічні засоби;

УЗ – ультразвукові.

## ВСТУП

Нині сенсорні системи різного типу широко використовують у багатьох сферах діяльності. Подібні технічні засоби можуть бути використані в охоронних засобах, промисловості, побутовій сфері тощо

Для задач орієнтації у просторі зазвичай використовуються системи технічного зору (СТЗ) засновані на телевізійних (ТВ) камерах та складному алгоритмі розпізнавання образів. Однак найчастіше такий складний процес не виправданий, і необхідні простіші та дешевші системи.

Також для роботи охоронних систем використовуються датчики руху (ДР) для детектування об'єктів у зоні охорони. Але в основному всі методи визначення засновані на активних датчиках. Однак, системи, засновані на пасивних датчиках, відрізняються своєю малою точністю визначення розташування об'єкта, що випромінює тепло. Такі системи працюють лише визначення наявності людини у зоні охорони.

У роботі розглядається реалізація модульної сенсорної системи широкого призначення, заснованої на пасивних датчиках для цілей виявлення випромінюючого тепло об'єкта в приміщенні, або на комбінації інфрачервоних (пасивних) датчиків і ультразвукових сонарів для цілей орієнтації в просторі, а також для використання в охоронних системах.

Мета роботи – розробка модульної сенсорної системи широкого призначення, заснованої на комбінації інфрачервоних (ІЧ) датчиків та ультразвукових (УЗ) сонарів для цілей орієнтації в просторі.

Об'єкт розробки – модульна сенсорна система широкого призначення.

Предмет розробки – апаратна частина модульної сенсорної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- повести аналіз сучасних методик детектування та виявлення об'єктів, що випромінюють в інфрачервоному діапазоні;
- розробити функціональну та електричну схеми системи технічного зору;

- вибрати елементну базу;
- спроектувати друковану плату;
- провести аналіз можливостей модульної сенсорної системи широкого призначення.

Кваліфікаційну роботу оформлено згідно з ДСТУ 3008:2015 [1], а також з рекомендаціями з підготовки і оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [2-3].

# 1 ОГЛЯДОВИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДИК ДЕТЕКТУВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ВИПРОМІНЮЮТЬ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ

У сучасному світі вже немає таких сфер діяльності, де не використовуються технічні засоби, вони стають все більш удосконаленими і здатні виконувати багато задач, і в основному ті, що не під силу людині. Для функціонування багатьох технічних засобів (ТЗ) необхідні системи детектування людини, технічного зору, а також всілякі системи, що дозволяють оцінювати обстановку навколо ТЗ, і орієнтуватися у просторі.

## 1.1 Огляд спеціальних засобів виявлення руху

Для вирішення цих задач використовують різні засоби, наприклад, в охоронних системах використовуються ДР, залежно від призначення, в основі використовуються ультразвукові, інфрачервоні, магнітоконтактні, мікрохвильові датчики, томографічні тощо. Всі ці датчики мають свої переваги та недоліки [4].

Але всі ДР можна класифікувати на активні та пасивні. Точність активних датчиків вища порівняно з пасивними, однак, пасивні датчики практично неможливо виявити дистанційно [5].

Активні ДР зазвичай працюють на ультразвукових сонарах, які працюють за принципом вимірювання часу відбиття ультразвукової хвилі від об'єкта, є досить точними, недорогими і простими у використанні, але дані датчики є активними за рахунок випуску УЗ хвилі. Інші датчики, крім інфрачервоних, працюють за аналогічним принципом і мають той самий недолік.

В основі пасивних ДР зазвичай використовують інфрачервоні датчики, що працюють за принципом аналізу теплового (інфрачервоного) випромінювання. Вони є також простими та дешевими, але мають дуже широкую діаграму спрямованості, отже, вони визначають наявність теплового об'єкта у приміщенні,

але не визначають його конкретне розташування [5].

Зазвичай система технічного зору заснована на ТВ камерах і складному алгоритмі розпізнавання предметів. Такі системи витрачають значні обчислювальні ресурси, як наслідок, є дорогими [6, 7].

Часто бувають задачі, при вирішенні яких необхідно одноразово використовувати вироб з подальшим його руйнуванням. В основному це комплекси військового призначення. Для таких завдань доцільно використовувати недорогі роботи з метою економії коштів, витрачених на їх виробництво. Також слід зазначити, що найчастіше ТВ камери, що використовуються в СТЗ при виконанні низки завдань, мають надлишкові функції.

Тому систему технічного зору можна спростити. Пропонується для вирішення даної задачі використовувати комбінацію ультразвукових сонарів, за допомогою яких можна визначати наявність перешкод навколо нього, і інфрачервоних датчиків, за допомогою яких можна розрізнити живі об'єкти серед цих перешкод.

Таким чином, використання інфрачервоних датчиків має виняткові переваги поряд з іншими датчиками. Але широка діаграма спрямованості не дозволяє використовувати їх з метою визначення розташування об'єкта у просторі. Діаграма спрямованості датчиків, що використовуються в даний час, показана на рисунках 1.1 - 1.2.

Тому для визначення розташування об'єкта використовують комбінацію з датчиків, один з яких обов'язково буде активним.

Таким чином, якщо модернізувати ІЧ датчик і зменшити його діаграму спрямованості, то можна використовувати групу з модернізованих датчиків, з метою визначення розташування об'єкта, що випромінює тепло. Також, крім інфрачервоних датчиків, модернізації можна піддати і ультразвукові сонари, зменшивши діаграму спрямованості з метою збільшення точності детектування.



Рисунок 1.1– Горизонтальний сектор огляду ІЧ датчика

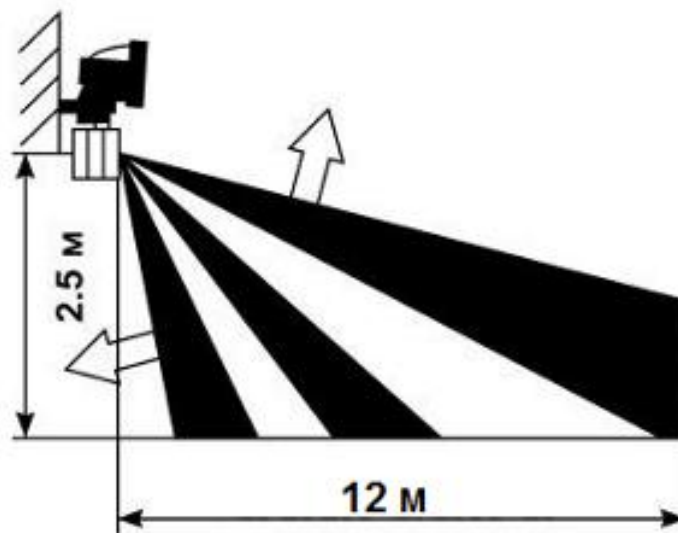


Рисунок 1.2– Вертикальний сектор огляду ІЧ датчика

Пропонується створити сенсорну систему, засновану на модернізованих інфрачервоних датчиках і, виходячи з мети, на ультразвукових сонарах. Дана система повинна мати роз'єм для підключення датчиків, керуючий контролер, а також роз'єм для підключення до іншого контролера. Таким чином, можна буде використовувати кілька сенсорних систем, керованих єдиним контролером, отже, буде збільшена площа детектування.

Ця система конструктивно проста, а також є недорогою. Дана сенсорна

система широкого призначення зможе стати альтернативою для багатьох систем та використовуватись у багатьох сферах.

## 1.2 Розробка функціональної схеми пристрою

Розробка функціональної та електричної схем пристрою проводилася у програмному комплексі Splan. Програма призначена для створення електричних та функціональних схем, розроблена німецькою фірмою АВАКОМ. Інтерфейс програми дуже простий і зручний, дозволяє освоїти програму за короткий час (рисунок 1.3). Програма має внутрішню бібліотеку, яка містить необхідні елементи, які при побудові схеми потрібно перетягнути на аркуш і з'єднати між собою. Усі елементи бібліотеки можуть бути відредаговані та збережені, їх можна групувати, обертати, переміщати, а також можна створювати нові елементи та зберігати їх у бібліотеку. При перенесенні елемента на аркуш вони автоматично прив'язуються до сітки аркуша. Таким чином, програма дозволяє малювати схеми будь-якої складності [8].

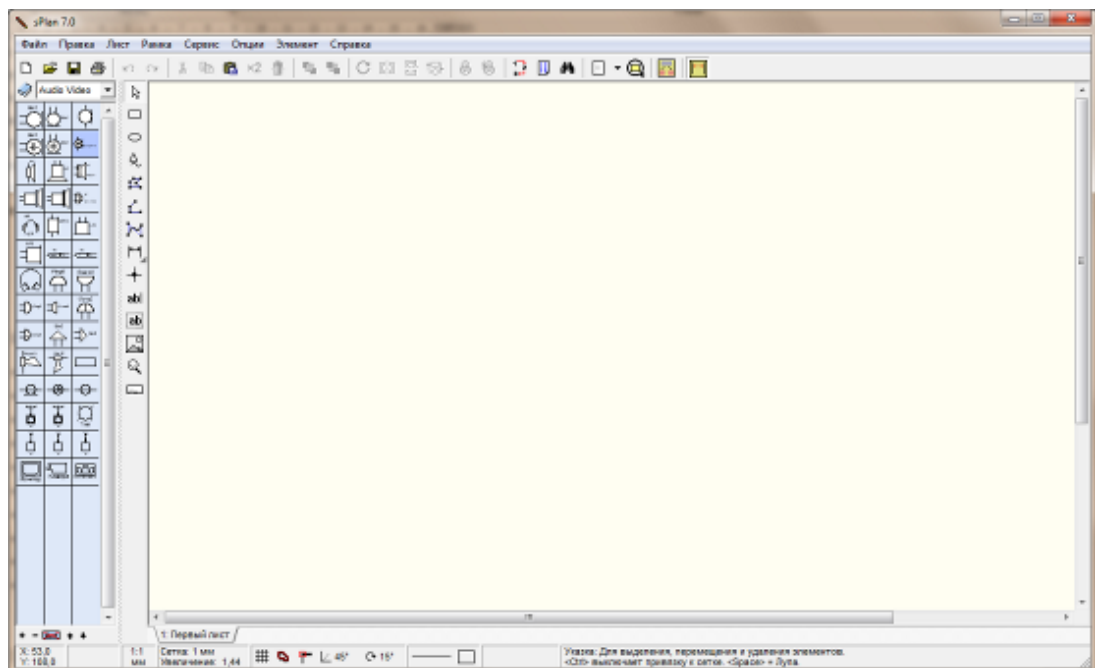


Рисунок 1.3 – Інтерфейс програми Splan

Бібліотека Splan включає такі групи елементів як:

- акустика (мікрофон, гучномовець тощо);
- антени;
- генератори (імпульсний, синусоїдальний, пилкоподібний);
- діоди, тиристори;
- заземлення;
- індуктивності;
- клеми, виделки;
- конденсатори;
- корпуси транзисторів;
- лампи (люмінесцентна лампа, неонова лампа тощо);
- операційні підсилювачі;
- оптрони;
- перемикачі;
- живлення (батарея, акумулятор, сонячний елемент тощо);
- польові транзистори;
- прилади (ватметр, індикатор, амперметр, вольтметр тощо);
- різне (п'єзоелектричний резонатор, екран, екранований дріт тощо);
- роз'єми;
- резистори;
- реле;
- сигнальні пристрої (лампа, дзвінок);
- символи (різні умовні знаки);
- структурні схеми (перетворювач, заземлення, модулятор тощо);
- транзистори;
- трансформатори;
- цифрові інтегральні мікросхеми.

Передбачається, що сенсорна система широкого призначення включатиме:

- єдиний керуючий мікроконтролер (МК), за допомогою якого буде здійснюватися збір та обробка даних отриманих з датчиків, а також передача цієї інформації на пристрій наступного рівня або загальний контролер;
- датчики в залежності від поставленої задачі.

Тип і швидкодія МК, вибирається виходячи з необхідної кількості датчиків, що у свою чергу визначається виходячи з необхідного сектора огляду самого пристрою

Також варто відзначити, що для правильного функціонування піроелектричних датчиків, їм необхідно підсилювальний і керуючий пристрій, який надалі передаватиме інформацію на контролер, що управляє [9, 10].

Функціональна схема пристрою передбачає два варіанти реалізації.

### 1.2.1 Розробка функціональної схеми пристрою на пасивних датчиках

Перший варіант, показаний на рисунку 1.4, передбачає наявність лише ІЧ датчиків, таким чином сенсор є пасивним і може бути використаний, з метою детектування об'єкта, що виробляє ІЧ випромінювання, в зоні роботи сенсора з подальшим визначенням розташування даного об'єкта.

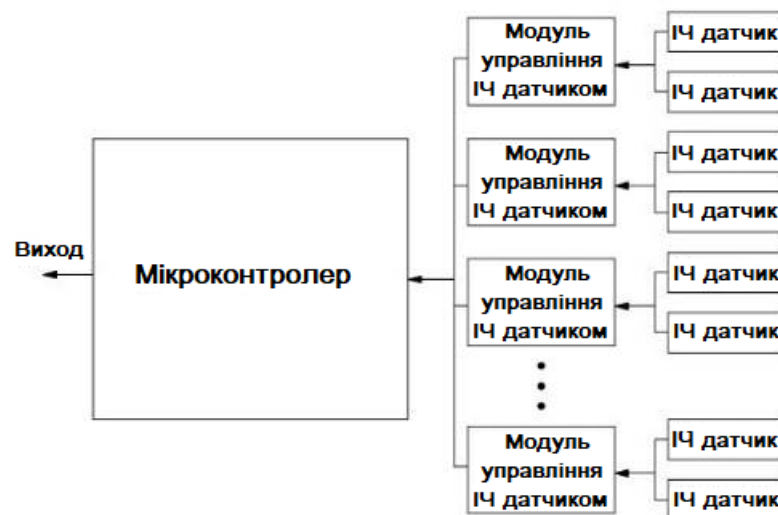


Рисунок 1.3– Функціональна схема сенсорної системи широкого призначення, що базується на ІЧ датчиках

Кількість ІЧ датчиків залежить від поставленої задачі. Зі збільшенням

точності роботи пристрою зменшується площа детектування (рисунок 1.5).

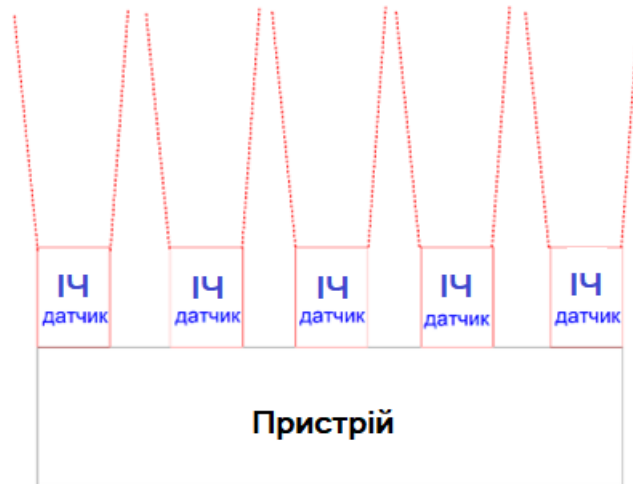


Рисунок 1.4– Принцип розташування датчиків

### 1.2.2 Розробка функціональної схеми пристрою системи технічного зору

Функціональна схема пристрою модульної системи технічного зору, показана на рисунку 1.6, передбачає наявність інфрачервоних датчиків та ультразвукових сонарів у співвідношенні, що залежить від поставленої задачі (рисунок 1.7) [11]. Даний сенсор буде здатний орієнтуватися в просторі, а також визначати об'єкти, що випромінюють тепло, які імовірно можуть бути людьми. Такий детектор може стати альтернативою системи технічного зору.

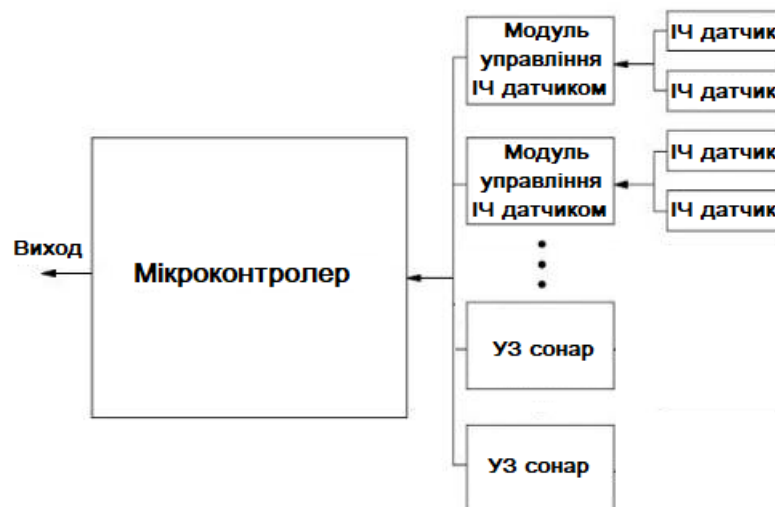


Рисунок 1.5– Функціональна схема сенсорної системи широкого призначення,

заснованої на ІЧ датчиках та УЗ сонарах

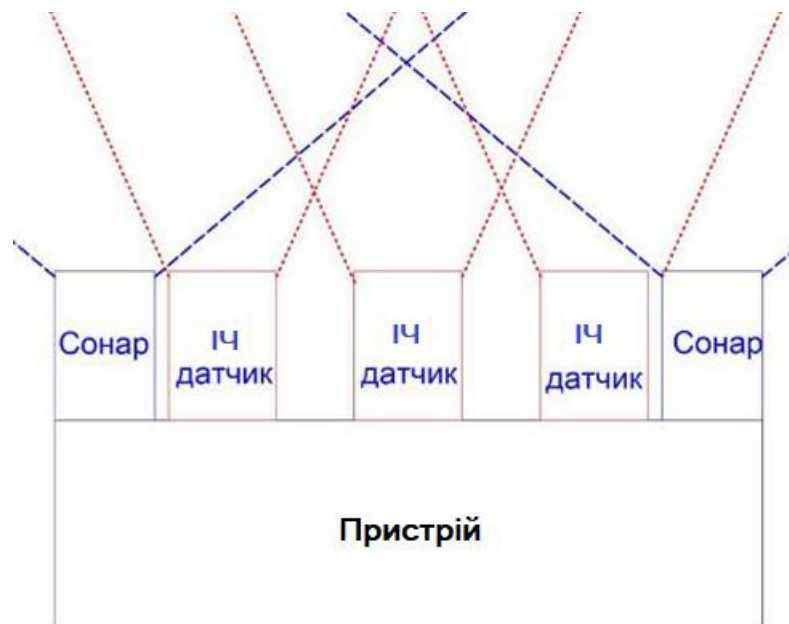


Рисунок 1.6– Приклад пристрою модуля сектороутворювальної системи

При зменшенні діаграми спрямованості ультразвукового сонара, можна досягти однакового кута огляду двох датчиків. Таким чином, розташувачи їх у безпосередній близькості, ми можемо спостерігати за переміщенням об'єкта у більш вузьких секторах, що значно підвищить точність визначення розташування об'єкта, що детектується.

## 2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

Електрична схема – документ, що містить у вигляді умовних зображень або позначень складові виробу, що діють за допомогою електричної енергії, та їх взаємозв'язок.

На принциповій схемі зображують всі електричні елементи або пристрої, необхідні для здійснення у виробі встановлених електричних процесів, всі електричні взаємозв'язки між ними, а також електричні елементи (з'єднувачі, затискачі, роз'єми), якими закінчуються вхідні та вихідні кола.

Електрична схема була розроблена відповідно до рекомендацій підключення елементів від виробника, а також відповідно до єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

Схема електрична принципова розроблялася у комплексній системі автоматизованого проектування радіоелектронних засобів Altium Designer (рисунок 2.1). В даний час Altium Designer [12] дозволяє розробляти проекти електронних засобів практично будь-якої складності. Відмінною особливістю програми є проектна структура та наскрізна цілісність ведення розробки на різних рівнях проектування.

Починаючи з проектування проекту, необхідно розробити бібліотеку елементів в Altium Designer – це дозволить використовувати елементи при побудові принципової схеми пристрою, а в подальшому і при трасуванні плати.

Оскільки розробка проекту в Altium Designer є наскрізною, необхідно не тільки накреслити елемент для принципової схеми пристрою, але також розробити footprint, виходячи з конструктивних особливостей елемента, описаних у даних записах.

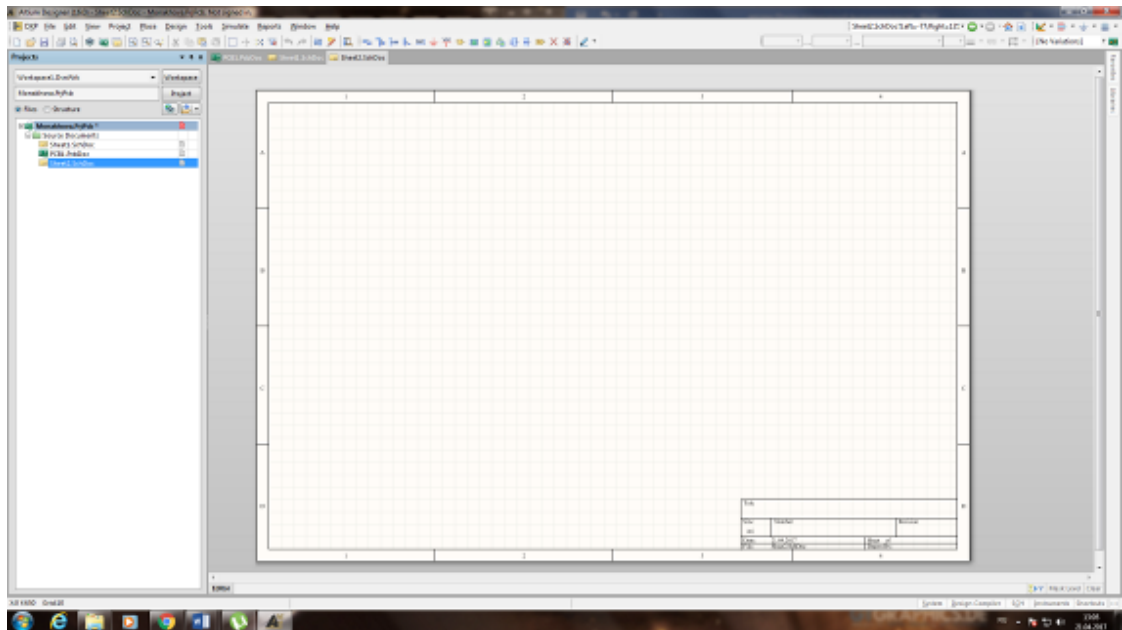


Рисунок 2.1 – Інтерфейс схемного редактора Altium Designer

На рисунку 2.2 показано розробку бібліотечного елемента на прикладі фільтра живлення MC78M00. Кожен вивод елемента у схемному редакторі синхронізований із виводом у редакторі друкованої плати.

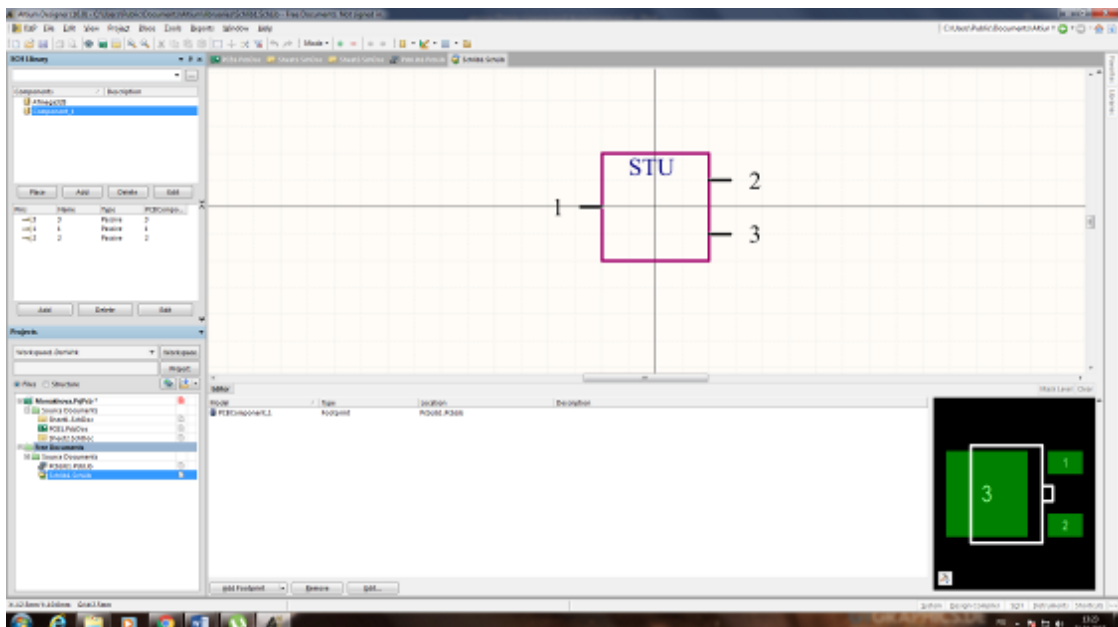


Рисунок 7.2 – Редактор бібліотек Altium Designer

Електрична схема системи була розроблена відповідно до рекомендацій

підключення окремих елементів та їх обв'язки, а також підключення цих елементів до мікроконтролера.

Система датчиків має роз'єм для трьох піроелектричних датчиків, двох сонарів, а також гіроскопа та акселерометра. Оскільки наявна система побудована на мікроконтролері ATmega 328, то кількість датчиків варіюватися не може, але для сектороутворюючої системи гіроскоп і акселерометр є зайвими, і тому обчислювальні ресурси, а також виводи контролера, що звільнилися, можна задіяти для підключення додаткових датчиків. Схема підключення мікроконтролера (далі МК) була побудована виходячи з особливостей роботи мікроконтролера та завдяки представленим довідковим матеріалам на нього.

Базова схема включення мікроконтролера складається з кола синхронізації (ZQ1, C9, C10), кола автоскидання (C14, R12), фільтра електроживлення (C7, C8) та роз'єму програмування ISP (X2).

На рисунку 2.3 представлена цоколівка мікроконтролера ATmega 328 із зазначенням адресації виводів, що використовуються в платі Arduino, що дозволяє використовувати базові програми при програмуванні, і, як наслідок, спрощує процес програмування.

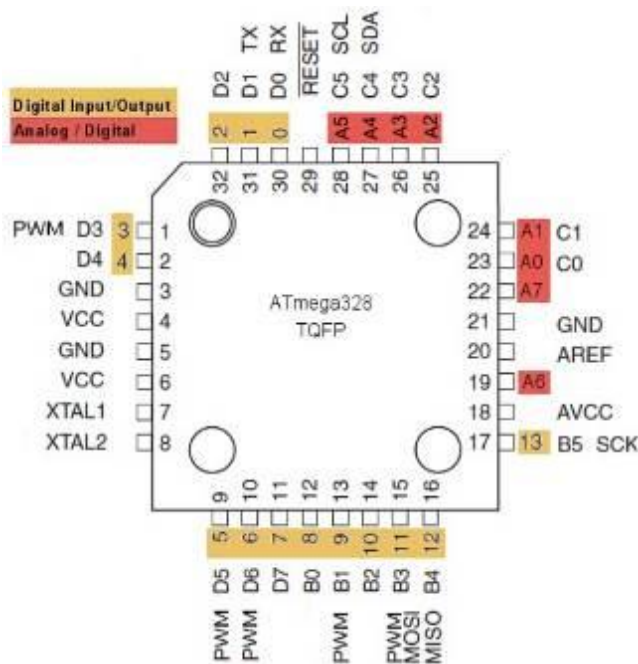
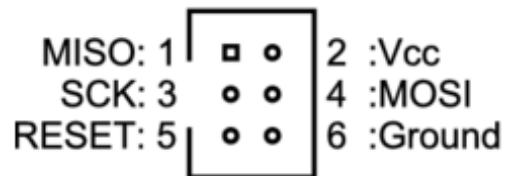


Рисунок 2.3 – Цоколівка мікроконтролера Atmega 328

Для завантаження мікропрограми використовується роз'єм ISP (In System Programming), що також став стандартом для плат Arduino. На рисунку 2.4 показана схема цоколівки роз'ємів.



Masterout / Slavein (MOSI) – дані; Slaveout / Masterin (MISO) – дані;  
 Syncclock (SCK) – синхросигнал; TargetVoltage (VCC) – живлення;  
 RESET – скидання; Ground (GND) – загальна шина

Рисунок 2.4 – Цоколівка ISP роз'єму

Виходячи з особливостей роботи мікроконтролера і завдяки представленим довідковим матеріалам на нього була побудована схема включення, представлена на рисунку 2.5.

У даному проекті буде використаний ультразвуковий далекомір HC-SR04, який має 4 виводи:

- 5V Supply (VCC) – живлення;
- Trigger Pulse Input (Trig) – тригерний імпульсний вхід;
- Echo Output (Echo) – аналоговий вихід;
- Ground (GND) – загальна шина.

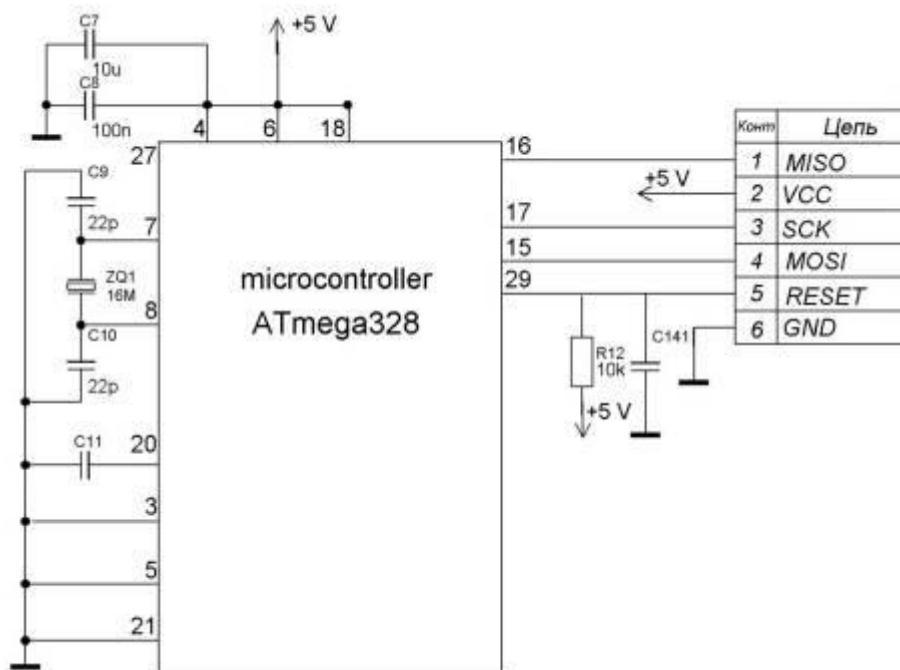


Рисунок 2.5 – Схема включення мікроконтролера ATmega 328

Також буде використаний піроелектричний датчик D203B, який має 3 виводи:

- 5V Supply (VCC) – живлення;
- Echo Output (Echo) – аналоговий вихід;
- Ground (GND) – загальна шина.

Таким чином, роз'єм для зовнішніх датчиків буде універсальним, але при використанні піроелектричного датчика вивод Trig буде не підключено.

Електрична схема, що вийшла, показана на рисунку 2.6.

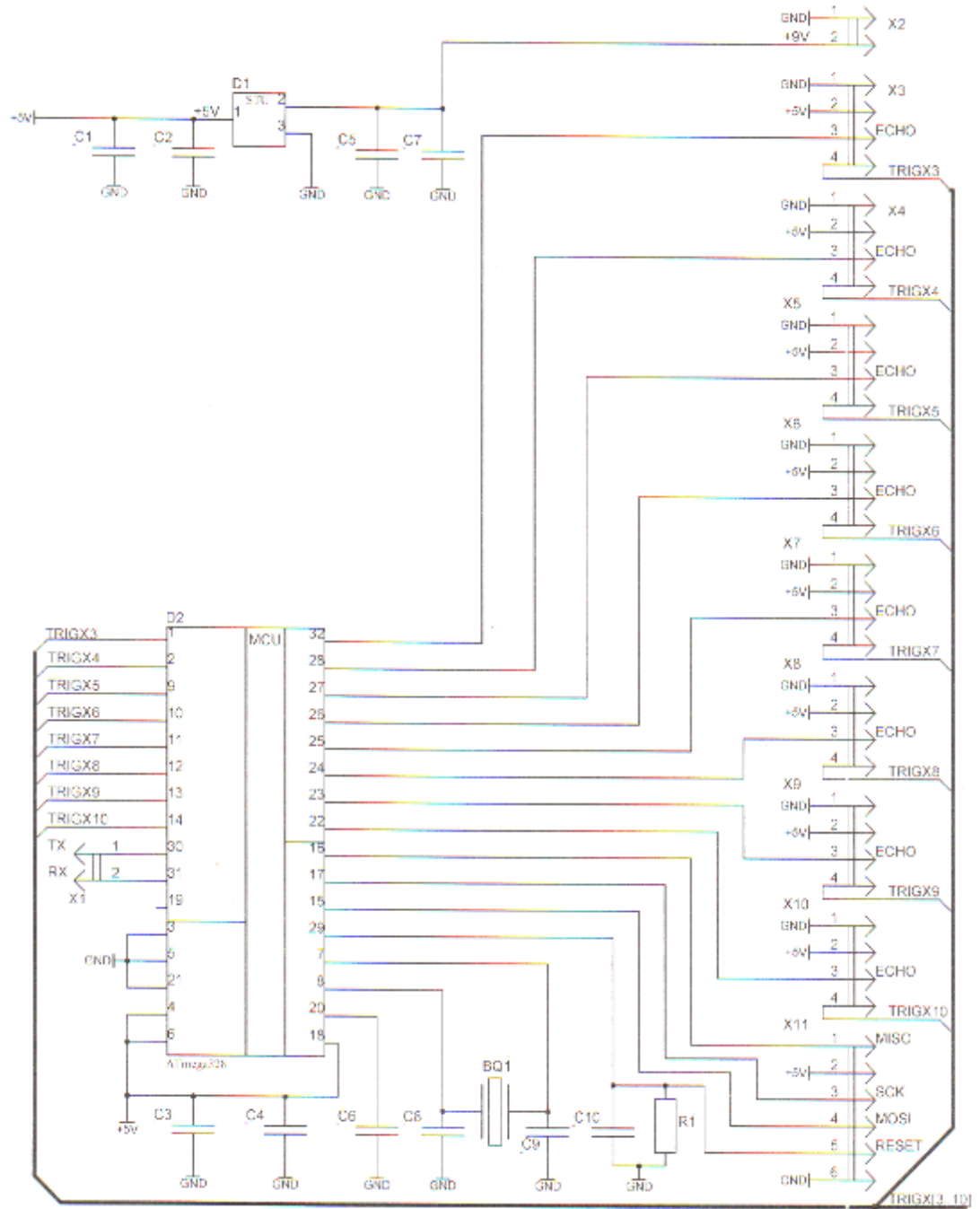


Рисунок 2.6 – Схема електрична принципова

### 3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Вибір елементної бази для модуля сектороутворювальної системи здійснювався виходячи з функціональності елементів, їх розмірів, а також доступності на ринку та економічної складової.

#### 3.1 Мікроконтролер

Мікроконтролер ATmega 328 (рисунок 3.1) є базовою ланкою платформи ArduinoUNO [13]. Мікроконтролер є керуючим ядром пристрою, так як у його функції входить збір та обробка інформації з датчиків, а також подальша передача сигналів модулю, що управляє.



Рисунок 3.1 – Мікроконтролер ATmega 328

Мікроконтролер ATmega 328 має 32 кБ вбудованої flash пам'яті, 32 вивода, з них 8 аналогових та 15 цифрових, з них 6 виводів ШІМ (широтно-імпульсна модуляція). Сам контролер є досить мініатюрним, що є важливим фактором при врахуванні задачі мікромініатюризації конструкції.

Конфігурація контактних майданчиків для мікроконтролера показано на рисунку 3.2.

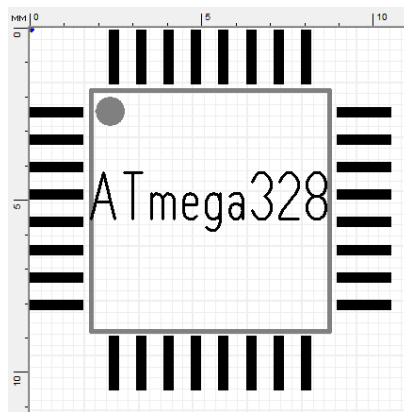


Рисунок 3.2 – 8Конфігурація контактних майданчиків для мікроконтролера ATmega 328

Характеристики мікроконтролера ATmega 328 наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики мікроконтролера ATmega 328

Параметр	Значення
Діапазон напруги	1,8 ... 5,5 В
Максимальна тактова частота	до 20 МГц
Пам'ять: Flash	32 кБ
Пам'ять: RAM	2 кБ
Пам'ять: EEPROM	1 кБ
Лінії введення/виводу (I/O)	23
Таймери: 8-біт	2 шт
Таймери: 16-біт	1 шт
Таймери: каналів ШІМ	6 шт
Таймери: RTC	Так
Інтерфейси: UART	1 шт
Інтерфейси: SPI	1 шт
Інтерфейси: I <sup>2</sup> C	1 шт
Аналогові входи: розрядів АЦП	10 біт
Аналогові входи: каналів АЦП	8 шт
Аналогові входи: швидкодія АЦП	76,9 kSPS
Аналогові входи: аналоговий компаратор	2 шт
Збереження інформації	20 років за 85 °С / 100 років за 25 °С

### 3.2 Пасивні SMD елементи

При розробці пристрою було вирішено використовувати компоненти для поверхневого монтажу в корпусі типорозміру – 0805 (рисунок 3.3), оскільки такі компоненти є мініатюрними (рисунок 3.4), але також піддаються ручному монтажу [14].



Рисунок 3.3 – SMD компонент у корпусі типорозміру 0805

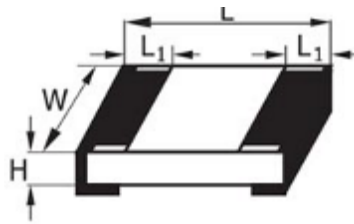


Рисунок 3.4 – Розмір SMD компонента

Конфігурація контактних майданчиків для компонентів SMD показана на рисунку 3.5.

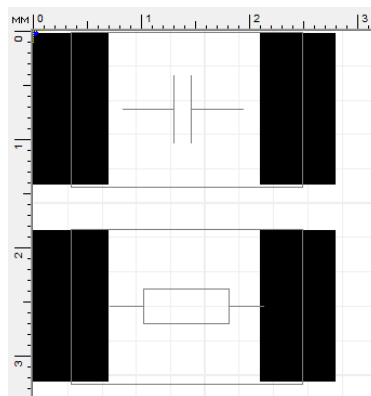


Рисунок 3.5 – Конфігурація контактних майданчиків для компонентів SMD

Безкорпусні товстоплівкові резистори, призначені для роботи в колах постійного та імпульсного струму, є доступними та економічно вигідними, а також, діапазон номінальних опорів (1 Ом – 10 МОм) дозволяє підібрати необхідний резистор. Такі резистори використовуються при поверхневому монтажі та мають номінальну потужність 0,125 Вт.

Керамічні ЧИП конденсатори є доступними та недорогими, діапазон можливих ємностей коливається в межах від 0,3 пФ до 100 мкФ, а також дані конденсатори мають низький рівень власних шумів, за рахунок низького рівня імпедансу на високих частотах.

Характеристики компонентів наведено в таблицях 3.2 - 3.3.

Таблиця 3.2 – Характеристики SMD резистора

Параметр	Значення
Номінальна потужність	0,125 Вт
Робоча напруга	150 В
Максимально допустима напруга	300 В
Діапазон робочих температур	- 55 ...+125 °С
Точність	5 %
Діапазон номінальних опорів	1 Ом - 10 МОм

Таблиця 3.3 – Характеристики SMD конденсатора

Параметр	Значення
Номінальна потужність	0,125 Вт
Робоча напруга	50 В
Діапазон робочих температур	- 55 ... +125 °С
Тип діелектрика	C0G; C0H; P2H; S2H; T2H; U2J; SL; X5R; X7R; Z5U; Y5V
Діапазон номінальних ємностей	0,3 пФ - 100 мкФ

### 3.3 Кварцовий генератор

Для стабільної роботи мікроконтролера ATmega 328 необхідний кварцовий генератор із тактовою частотою 16 МГц. Він призначений для отримання коливань фіксованої частоти. Для конструювання пристрою було обрано кварцовий генератор КХ-7Т (рисунок 3.6) на 16 МГц, виконаним у корпусі SMD для поверхневого монтажу [15].



Рисунок 3.6 – Кварцовий генератор КХ-7Т

Конфігурацію контактних майданчиків для кварцового генератора показано на рисунку 3.7, а характеристики наведено в таблиці 3.4.

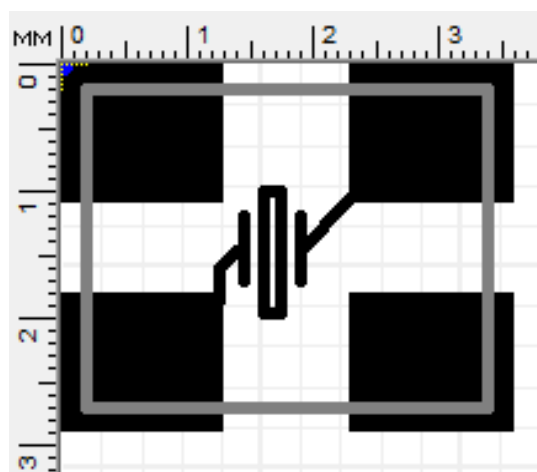


Рисунок 3.7 – Конфігурація контактних майданчиків для кварцового генератора КХ-7Т

Таблиця 3.4 – Характеристики кварцового генератора

Параметр	Значення
Частота	16 МГц
Стабільність при 25 °С	50
Стабільність у робочому температурному діапазоні	100
Шунтуюча ємність	5 пФ
Навантажувальна ємність	12 пФ
Номер робочої гармоніки	1
Резонансний опір	100 Ом
Робоча температура	- 40 ... + 85 °С

### 3.4 Лінійні регулятори напруги

Лінійний регулятор напруги в електричній схемі відповідає за зниження напруги з 9 В (загальне живлення) до 5 В, необхідного для живлення мікроконтролера та зовнішніх датчиків. Для розробки пристрою було вибрано регулятор напруги MC78M05CDT (рисунок 3.8) [16].



Рисунок 3.8 – Регулятор напруги MC78M05CDT

Конфігурацію контактних майданчиків (рисунок 3.9) було взято з довідкового матеріалу на цей елемент.

Характеристики регулятора напруги MC78M05CDT наведено в таблиці 3.5.

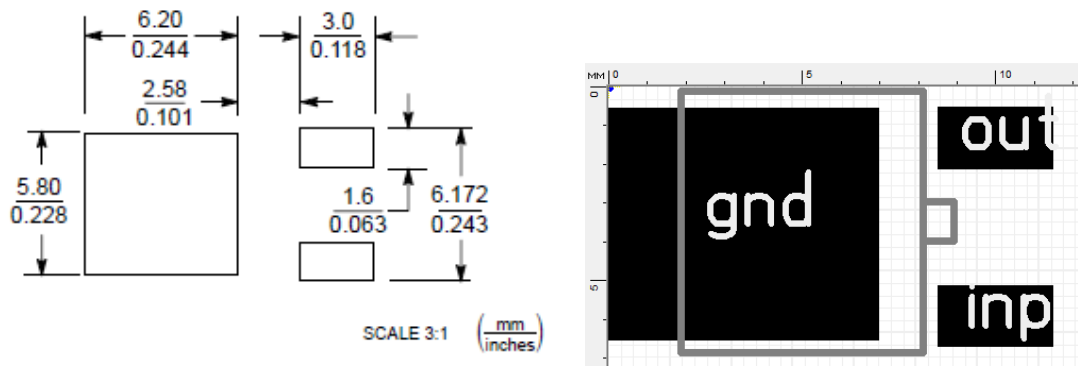


Рисунок 3.9 – Конфігурація контактних майданчиків для регулятора напруги MC78M05CDT

Таблиця 3.5 – Характеристики регулятора напруги MC78M05CDT

Параметр	Значення
Мін. вхідна напруга	7 В
Макс. вхідна напруга	35 В
Вихідна напруга	5 В
Номінальний вихідний струм	0,5 А
Падіння напруги вх / вих	2
Тип монтажу	поверхневий
Полярність включення	позитивна
Робоча температура	0 ... 125 °С

### 3.5 Ультразвуковий сонар

У задачі системи технічного зору входить визначення відстані до об'єктів, тому необхідно застосувати ультразвуковий або інфрачервоний далекомір. Для зручності було прийнято рішення використовувати ультразвуковий сонар HC-SR04 (рисунок 3.10), оскільки він пристосований до роботи з контролером ATmega 328, а також є доступним та економічно вигідним [17].



Рисунок 3.10 – Ультразвуковий сонар HC-SR04

Він має 4 виводи:

- 5V Supply (VCC) – живлення;
- Trigger Pulse Input (Trig) – тригерний імпульсний вхід;
- Echo Output (Echo) – аналоговий вихід;
- Ground (GND) – загальна шина.

Характеристики ультразвукового сонара HC-SR04 наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристики ультразвукового сонара HC-SR04

Параметр	Значення
Напруга живлення	5 В
Споживання в режимі "тиші"	2 мА
Споживання під час роботи	15 мА
Діапазон відстаней	2-400 см
Ефективний кут спостереження	15°
Робочий кут спостереження	30°

Дані сонари будуть піддані модернізації, з метою зменшення діаграми спрямованості, оскільки на даний момент кут огляду для нашого завдання занадто великий (рисунок 3.11).

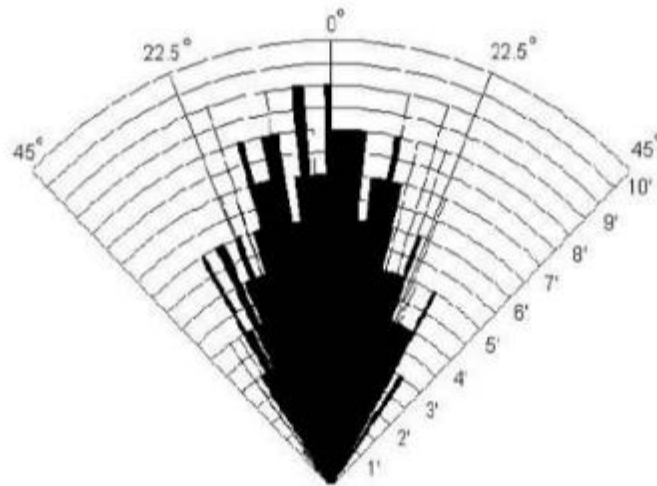


Рисунок 3.11 – Діаграма спрямованості ультразвукового сонара HC-SR04

### 3.6 Піроелектричний інфрачервоний датчик

Для використання в сенсорній системі, а також для подальшої модернізації, було обрано датчик D203B (рисунок 3.12), оскільки він пристосований до роботи з контролером ATmega 328, а також є зручним для модернізації [18].



Рисунок 3.12 – Піроелектричний інфрачервоний датчик D203B

Характеристики інфрачервоного датчика D203B наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Характеристики інфрачервоного датчика D203В

Параметр	Значення
ГЧ приймального електрода	2×1 мм, 2 елементи
Розмір вікна	5×3, 8 мм
Спектральний відгук	5-14 мкм
Прозорість	≥ 75 %
Вихідний сигнал	≥ 3500 мВ
Чутливість	≥ 3300 В/Вт
Шум	< 70 мВ
Вихідний баланс	< 10 %
Напруга зміщення	0,3-1,2 В
Напруга живлення	3-15 В
Робоча температура	-30-70 °С

Горизонтальний та вертикальний сектори огляду датчика D203В з лінзою Френеля зображено на рисунку 3.13, без лінзи Френеля на рисунку 3.14.

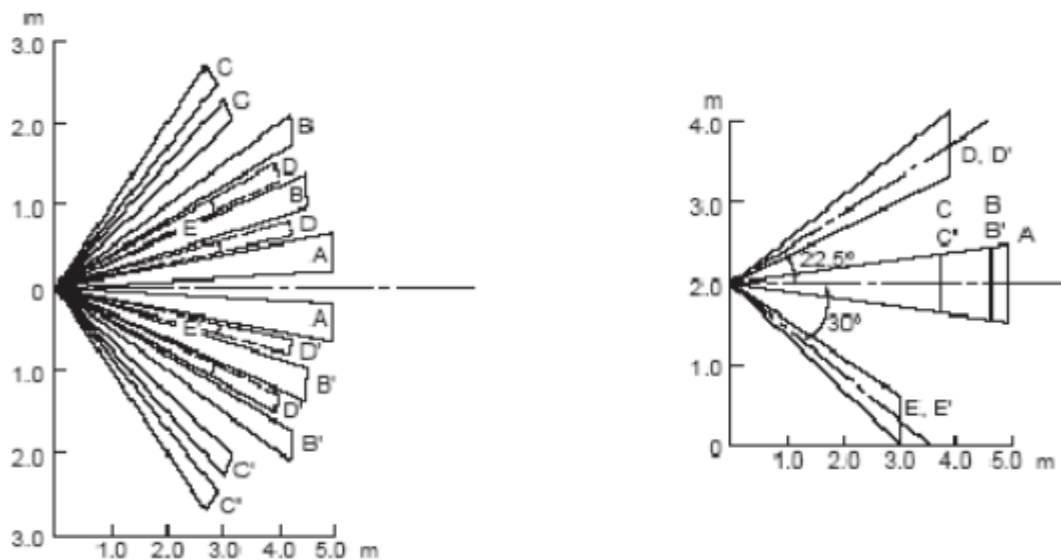


Рисунок 3.13 – Горизонтальний та вертикальний сектори огляду датчика D203В з лінзою Френеля

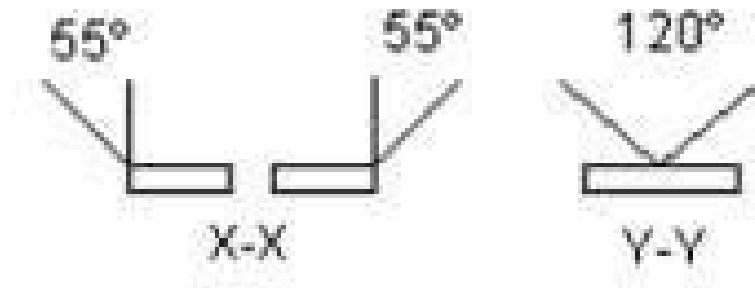


Рисунок 3.14 – Горизонтальний та вертикальний сектори огляду датчика D203B без лінзи Френеля

Дані датчики служать для реєстрації інфрачервоного випромінювання поблизу пристрою. Зазвичай, для захоплення поля огляду датчика використовують лінзу Френеля, що дозволяє реєструвати появу випромінюючого тепло об'єкта в широкому секторі огляду.

### 3.7 Перелік використовуваних електронних компонентів

Перелік використовуваних електронних компонентів представлений у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Перелік електронних компонентів пристрою

№	Найменування	Кількість	Примітка
Резистори			
1	SMD 0805 0.125Вт - 10 кІм ±1%	1	
Конденсатори			
2	SMD 0805 0.125Вт - 10 мкФ ±5%	4	
3	SMD 0805 0.125Вт - 100нФ ±5%	4	
4	SMD 0805 0.125Вт - 22 пФ ±10%	2	
Кварцовий генератор			
5	SMD 0805 КХ-7Т 16 МГц	1	

Продовження таблиці 3.8

ІМС			
6	Microcontroller ATmega328	1	
Роз'єми			
7	ISP	1	d=0,7 мм, 6 отв.
8	Зовнішній датчик	8	d=0,7 мм, 4 отв.
9	RS232	1	d=0,7 мм, 2 отв.

## 4 ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Одним з основних етапів проектування радіоелектронної апаратури (РЕА) є трасування друкованих плат (ДП), що полягає в покроковому проектуванні структури провідників вручну або в автоматичному режимі [19].

При розведенні друкованої плати завжди слід пам'ятати, що при високих частотах ДП треба розцінювати як компонент схеми. Так як на високих частотах будь-який провідник на платі впливатиме на роботу схеми.

Усуваючи перешкоди по шинах живлення та відскоку опорної напруги, варто розуміти фізичну суть повного опору. Щодо зниження повного опору системи живлення існують загальні рекомендації:

- розташовувати шини живлення та заземлення (поворотні провідники) на мінімальній відстані один від одного, ця відстань визначається в ДП мінімально можливою товщиною діелектричної прокладки між шарами, що проводять;
- необхідно застосовувати розв'язувальні конденсатори з низькою індуктивністю (власною та виводів);
- доцільно розподіляти подачу напруги живлення між кількома паралельними виводами мікросхеми;
- слід віддавати перевагу застосуванню конденсаторів, що розв'язують, вбудованих в корпуси мікросхеми.

При розміщенні і підключенні конденсаторів мінімізація індуктивності розв'язуючого конденсатора і його приєднувальних провідників є однією з найважливіших вимог. Виходячи з цього, конденсатор повинен встановлюватись на мінімально можливій відстані від виводів живлення та заземлення мікросхеми. Отже, конденсатор малої ємності повинен бути розташований на мінімальній відстані від мікросхеми, оскільки забезпечує швидкий заряд/розряд.

Провідники, що проходять від виводів живлення до шару живлення (або

розв'язуючого конденсатора) повинні бути широкими наскільки це можливо. Це зменшує послідовну індуктивність провідників і тому зменшує втрати напруги від джерела живлення до живлення і знижує рівень підскоку напруги заземлення.

#### 4.1 Трасування друкованої плати в САПР Altium Designer

Трасування друкованої плати було виконано вручну за допомогою САПР Altium Designer [20]. І оскільки даний САПР має наскрізну цілісність ведення розробки, а схема цього проекту було розроблено з допомогою цієї програми, бібліотека розроблялася з урахуванням подальшої трасировки. Altium Designer дозволяє інтегрувати схему з електричними зв'язками на проект друкованого вузла, як показано рисунку 4.1.

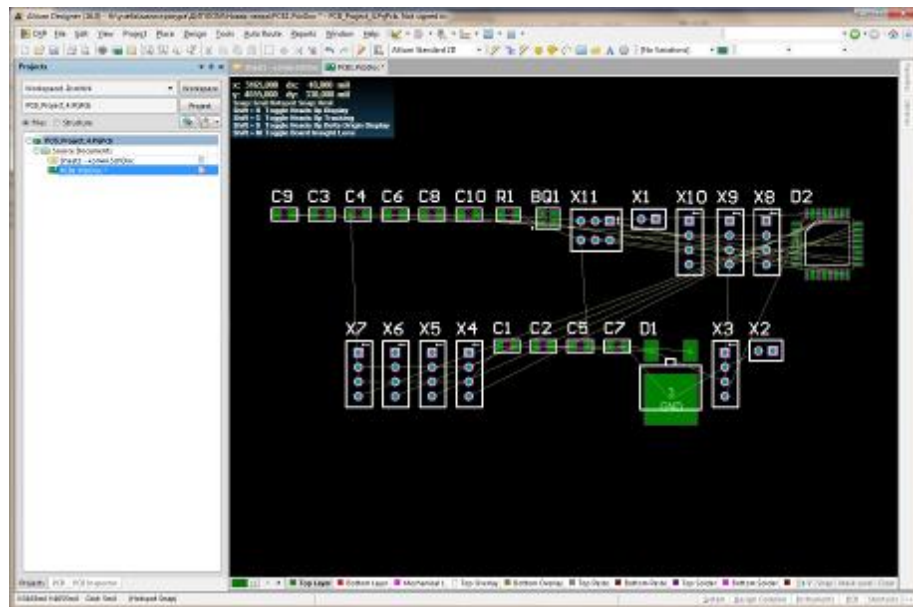


Рисунок 4.1 – Інтерфейс редактора ДП Altium Designer

При успішній компіляції, всі зв'язки збережені, що істотно полегшує процес трасування. Altium Designer надає можливість автоматизованого трасування, але в цьому випадку не враховуються всі правила проектування ДП, тому було обрано ручний режим [21].

Також при проектуванні ДП, враховувалися вимоги мікромініатюризації,

тобто ДП повинна бути розроблена мінімального розміру, а провідники ДП, повинні бути мінімальної товщини, яка залежить від технологічного оснащення при виробництві плати (рисунок 4.2).

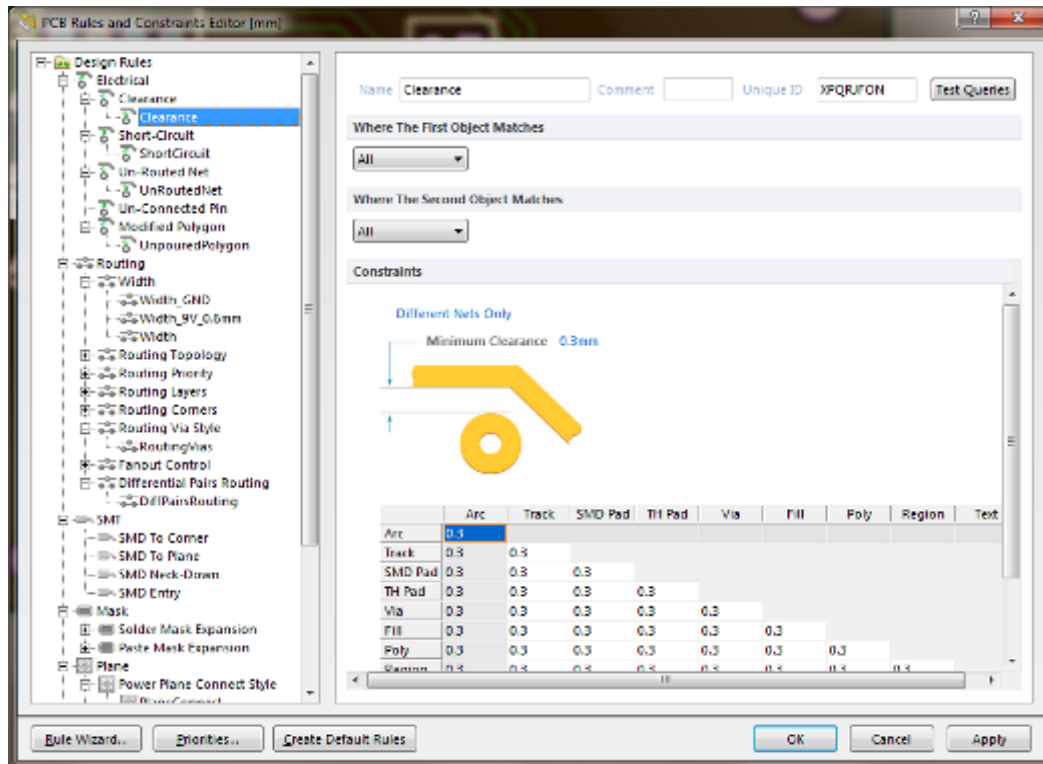


Рисунок 4.2 – Вікно введення правил проектування ДП в Altium Designer

Altium Designer надає можливість занесення цього правила у структуру програми. Таким чином, виключаються помилки під час трасування. Також даний САПР дозволяє відрегулювати ширину між провідниками з метою спрощення подальшого виготовлення плати, а також відрегулювати мінімальну товщину провідника «живлення» та загальної шини.

Розробимо двосторонню плату, яка дає багато переваг. На двосторонніх платах нижній шар (bottom) необхідно відводити під полігон землі, інші сигнали розводити у верхньому шарі (top). Використання полігону, як земляної шини, дає кілька переваг:

- загальний провід є проводом, що найбільш часто підключається в схемі, тому резонно мати "багато" загального проводу для спрощення

розведення;

- збільшується механічна міцність плати;
- зменшується опір всіх підключень до загального проводу, що, у свою чергу, зменшує шум та наведення;
- збільшується розподілена ємність для кожного кола схеми, допомагаючи пригнічувати шум, що випромінюється;
- полігон, що є екраном, пригнічує наведення, які випромінюють джерела, що розташовуються з боку полігону.

Незважаючи на всі свої переваги двосторонні друковані плати, мають ряд недоліків, зокрема стосовно малосигнальних або високошвидкісних схем. Зазвичай товщина діелектрика в двосторонній ДП, дорівнює 1,5 мм, що унеможлиблює здійснення деяких переваг двосторонньої ДП наведених вище, наприклад, розподілена ємність, буде недостатньо велика через настільки велику відстані між металізованими шарами.

У даному випадку двостороння плата є найбільш придатною.

При проектуванні друкованого вузла (ДВ) було дотримано всіх вищевикладених правил і було розроблено трасування плати, показане на рисунку 4.3.

Також варто зауважити, що весь вільний простір був використаний для полігону загальної шини, таким чином це дає ті ж переваги, що і при полігоні землі на шарі bottom. Також це зменшує витрати на розчин при травленні плати.

При трасуванні шару bottom були використані деякі припущення, щоб шину живлення, було зручніше розташувати на шарі Bottom. Шар показаний на рисунку 4.4.

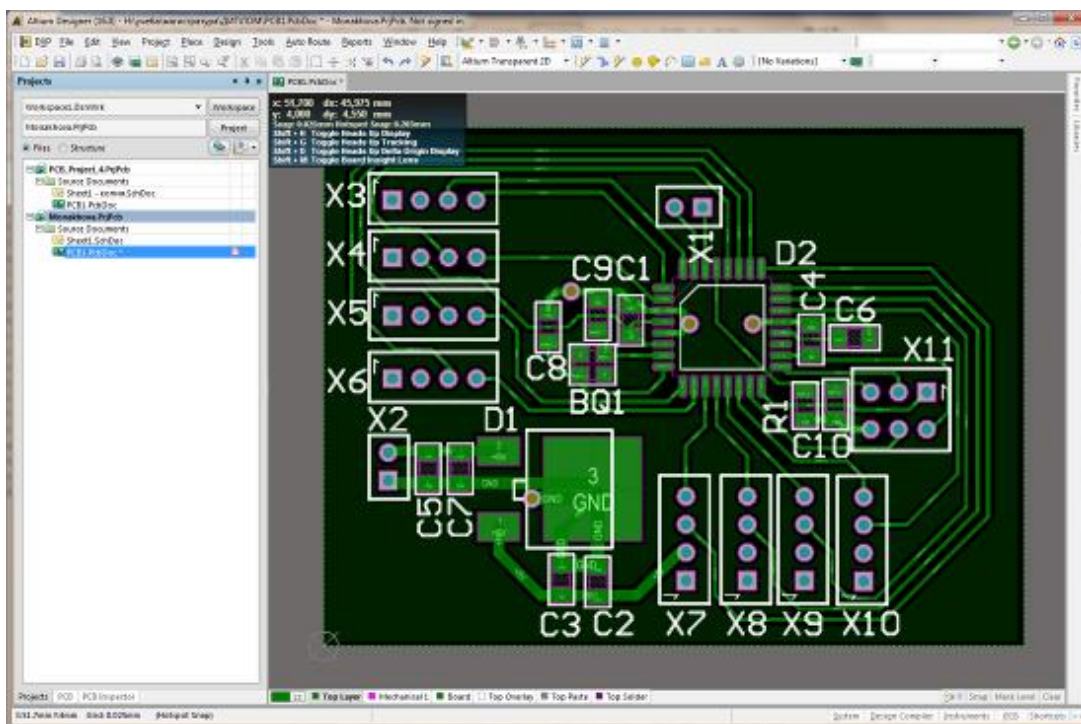


Рисунок 4.3 – Трасування шару top

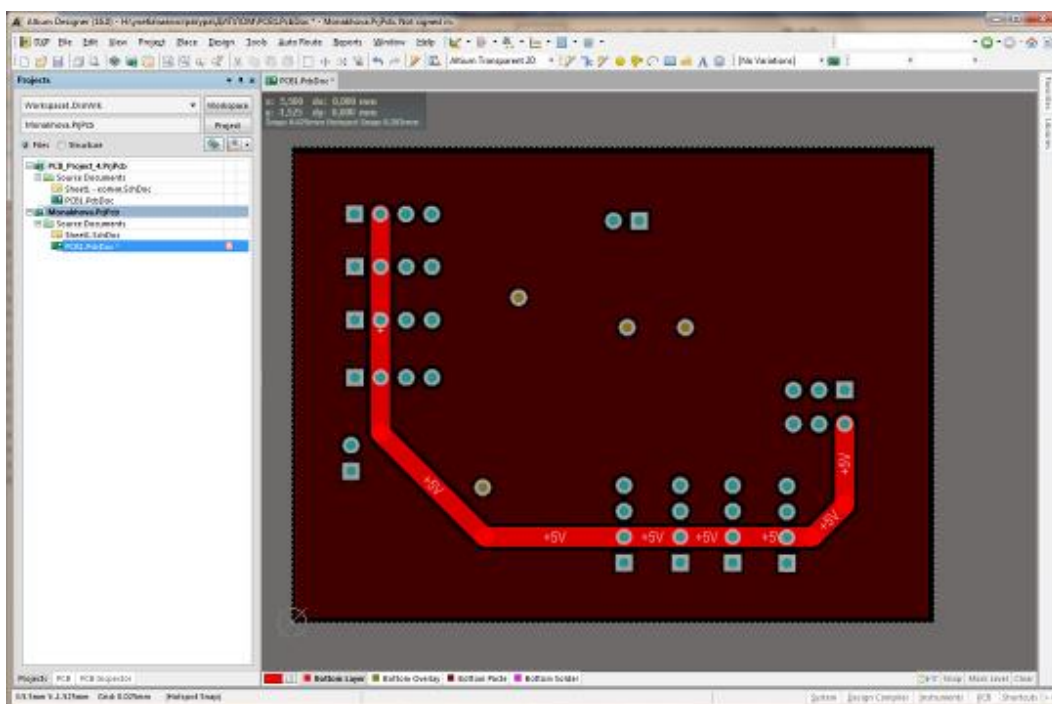


Рисунок 4.4 – Трасування шару bottom

При проектуванні ДВ не врахували кріпильні отвори.

Також після трасування проект ДВ має пройти внутрішню перевірку в

Altium Designer. Це дозволить визначити помилки у підключенні зв'язків, якщо такі є, а також проміжки між провідниками, які вводилися на початку проектування.

Перевірка на помилки у програмному комплексі Altium Designer показано на рисунку 4.5.

Програма показала дві помилки, т.к. цей провідник було доцільно вивести саме таким чином. Помилка полягає в тому, що не дотримано відстані 0,3 мм між провідниками. Помилку було усунуто.

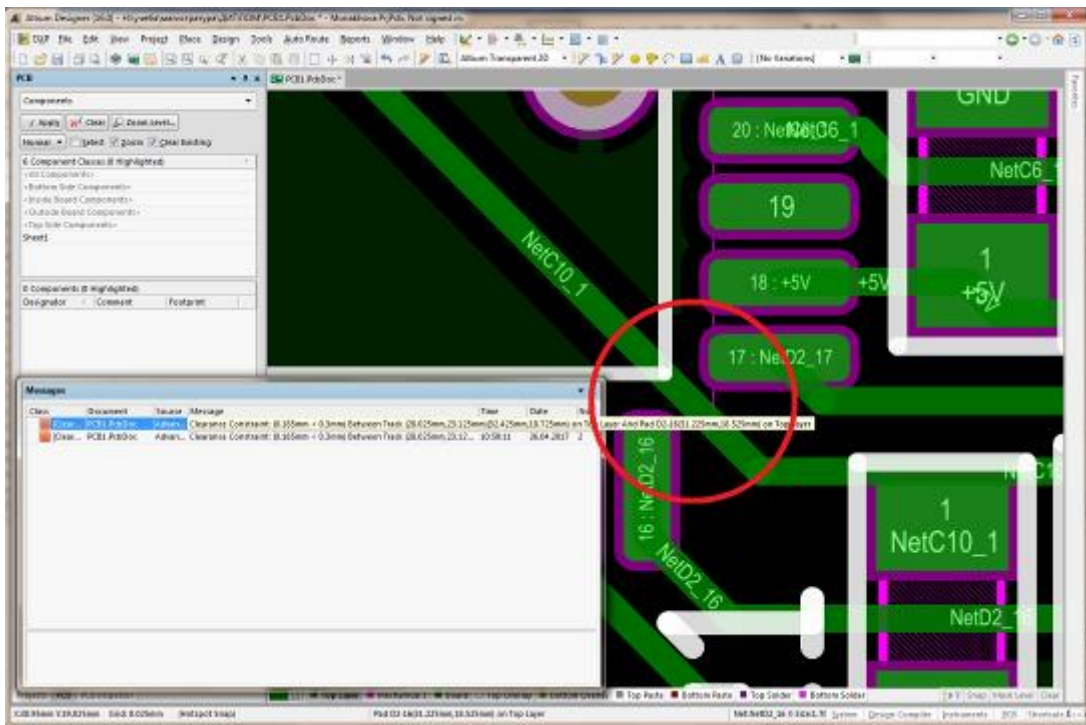


Рисунок 4.5 – Перевірка на помилки в Altium Designer

Підсумковий варіант друкованого вузла показаний на рисунку 4.6. Даний ДВ має 11 роз'ємів, 8 з яких для підключення зовнішніх датчиків (X3-X10), роз'єм для програмування МК (X11), роз'єм для входу живлення та загальної шини пристрою, на якому розташовуватиметься даний сенсор (X2) та роз'єм для підключення до МК верхнього рівня (X1), 4 отвори для кріплення модуля до пристрою, а також елементи для функціонування схеми.

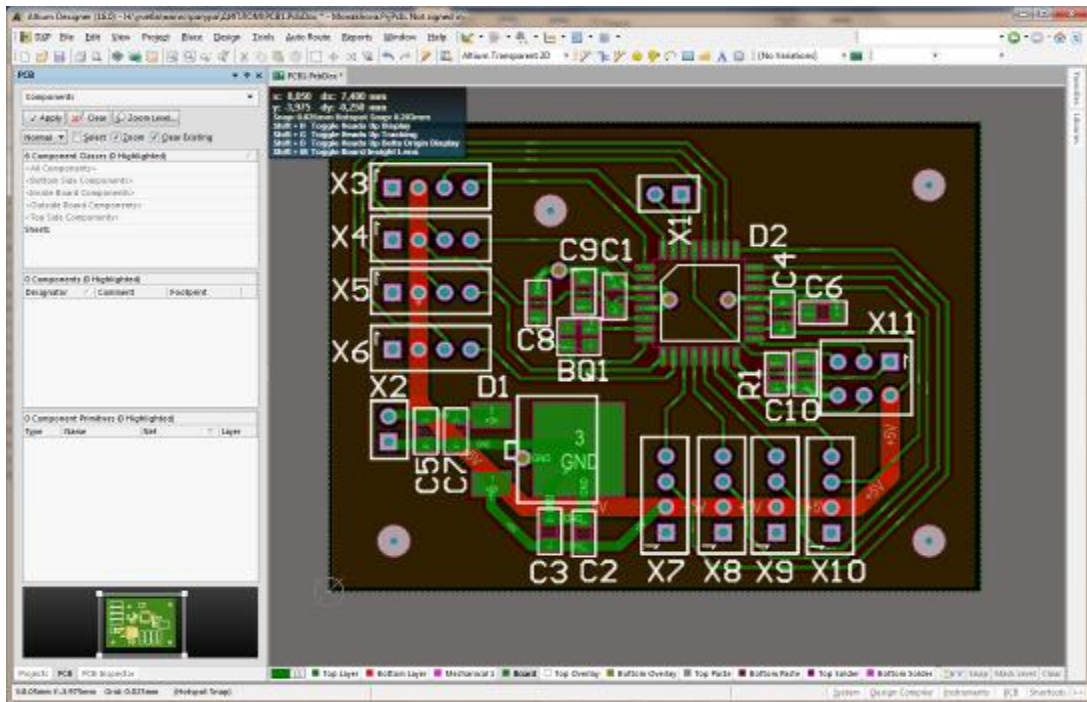


Рисунок 4.6 – Проект ДВ розроблений в Altium Designer

## 4.2 Виготовлення друкованої плати

Для виготовлення плати було вибрано фотохімічний метод. Даний метод є найбільш вигідним при виготовленні плати в невеликій кількості, тому що відсутнє складне обладнання, а точність і здатність виготовлення плати, що дозволяє, не поступаються промисловим методам [22].

Фотохімічний метод не підходить для виготовлення плат високого рівня складності (кілька шарів), оскільки він не дозволяє виготовляти металізовані отвори. Але цей недолік є незначним при одиничному виробництві.

Процес виготовлення плати починається з друку фотошаблону трасування друкованої плати у негативному зображенні на прозорій плівці. Друк шаблону краще проводити на струменевому принтері, тому що точність друку тонких провідників не поступається лазерному принтеру, а заливка полігонів робиться більш насиченою, що при експонуванні ультрафіолетом є важливим фактором [22].

Далі, після друку, проводиться вирубка заготовки необхідного розміру,

бажано із запасом 5-10 мм. Перед нанесенням фоторезиста на заготовку її необхідно очистити для покращення функцій адгезійного зчеплення поверхні із захисним шаром, а також прискорення процесу травлення. Очищення проводиться у два етапи. На першому етапі заготовка зачищається механічно наждачним папером від бруду та оксидів. Після механічного методу переходять до хімічного. Фольгований текстоліт поміщають у лужний розчин для видалення залишкових оксидів, з подальшим промиванням в деіонізованій воді [22].

Попередньо до нанесення фоторезиста на текстоліт, одну сторону необхідно захистити від подальшого травлення, так як одна зі сторін відповідатиме за загальний полігон (GND) і, як наслідок, матиме екранні властивості для захисту від електромагнітних завад.

Процес нанесення фоторезистивної плівки є найбільш відповідальним, оскільки від якості нанесення плівки залежатиме якість безпосередньо друкованої плати. Якщо при нанесенні плівки на поверхню заготовки утворилися бульбашки повітря, то необхідно переклеїти плівку, так як у місцях, де плівка не стикається з фольговою поверхнею, при стравлюванні фоторезиста в кальцинованій соді вона видаляється з плати. Після наклеювання плівки її необхідно прокатати через ламінатор, таким чином, підвищується адгезія плівкового фоторезиста з поверхнею плати. Весь процес нанесення плівки потрібно проводити в приміщенні, куди не потрапляє ультрафіолет.

Експонування плати проводиться за допомогою ультрафіолетової лампи, попередньо перед поміщенням плати в лампу до неї прикладається фотошаблон із боку, що засвічуватиметься. Прояв рисунка відбувається за допомогою розчину кальцинованої соди, в який на деякий час поміщається плата, до тих пір, поки незасвічені ділянки фоторезиста не стравляються з плати [22].

Далі відбувається травлення плати у розчині хлорного заліза, тобто, видалення зайвого шару металу для отримання топології плати. Після витравлення плати відбувається повторний процес видалення фоторезиста, але цього разу відбувається видалення фоторезиста з провідників плати. Далі, після просушування плати, плата готується до монтажу, отже, на ділянки провідників,

де зберігся фольгований шар, наносять шар паяльної пасти, із застосуванням припою для видалення оксидів та підвищення рівня адгезії. Таким чином, відбувається лудіння плати.

Після необхідно перевірити ДП на наявність короткого замикання між провідниками за допомогою, наприклад, цифрового мультиметра в режимі прозвонки. Після даної операції плата підготовлена до монтажу елементів [22].

## 5 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДУЛЬНОЇ СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ ШИРОКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Аналіз можливостей модульної сенсорної системи широкого призначення показує, що в перспективі система може стати альтернативою системам технічного зору і засобам виявлення руху.

Сенсорна система на основі пасивних модернізованих піроелектричних датчиків має стати підмогою сучасних методів виявлення людини. Дану систему вигідно відрізняє її «невидимість» для приймачів, що є перевагою для охоронних систем.

В охоронних системах повинен використовуватися комплексний метод із кількох сенсорів, підключених до єдиного керуючого контролера. Таким чином, при використанні мінімум 3 сенсорів, розташованих у різних площинах, простір розбивається на квадратні сектори, як показано на рисунку 5.1.

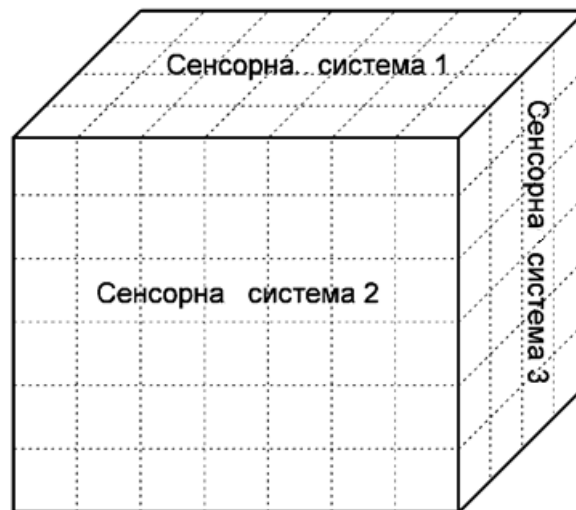


Рисунок 5.1 – Приклад розташування сенсорів системи

Точність роботи системи залежить від розміру сектора, який у свою чергу залежить від довжини апертури модернізованого датчика. Площа роботи всієї сектороутворюючої системи залежить від кількості сенсорних систем,

включених до однієї групи.

Також варто зазначити, що для даної задачі може використовуватися сенсорна система з ультразвуковими датчиками, але в цьому випадку, МК, що відповідає за управління сенсорною системою, повинен бути запрограмований таким чином, що ультразвукові датчики в звичайному режимі є неактивними, але при детектуванні піроелектричним датчиком об'єкта випромінюючого ІЧ випромінювання, ультразвуковий сонар, що відповідає за цей сектор активізується та вимірює відстань до об'єкта. Ця система, також не споживатиме велику кількість обчислювальних ресурсів, і не «захаращуватиме» простір зайвими ультразвуковими перешкодами.

Сенсорна система на основі модернізованих піроелектричних датчиків та ультразвукових сонарів може стати альтернативою класичної системи технічного зору. Даний сенсор буде здатний орієнтуватися в просторі, будувати карту місцевості, а також визначати об'єкти, що випромінюють тепло, які імовірно можуть бути людьми. Дану систему вигідно відрізняє її конструктивна простота та дешевизна, що при роботі в «одноразових» системах є перевагою.

А при використанні в сенсорі ультразвукових сонарів, інтегрованих у «дзеркало», зменшується діаграма спрямованості сонара, таким чином можна досягти однакового кута огляду двох датчиків. Отже, розташували їх у безпосередній близькості, ми можемо спостерігати за переміщенням об'єкта у більш вузьких секторах, що значно підвищить точність визначення розташування об'єкта, що детектується. Отже, заплативши надмірністю датчиків у схемі, але підключаючи їх у міру потреби, можна досягти значного зменшення потужності, що є позитивним моментом, в ізольованих системах.

## 5.1 Модернізація датчиків

Для реалізації даного проекту необхідно модернізувати використовувані датчики, тому що для вирішення поставленої задачі піроелектричні датчики мають точність визначення об'єктів в недостатніх межах, а діаграма

спрямованості ультразвукового сонара повністю не підходить для даного проекту.

Таким чином, необхідно модернізувати піроелектричні датчики, а ультразвукові сонари в залежності від необхідної точності роботи системи.

### 5.1.1 Модернізація піроелектричного датчика

Піроелектричні датчики служать для реєстрації інфрачервоного випромінювання поблизу пристрою. Зазвичай, для захоплення поля огляду датчика використовують лінзу Френеля, що дозволяє реєструвати появу об'єкта, що випромінює тепло, в широкому секторі огляду (рисунок 5.2). Але при вирішенні задач визначення розташування об'єкта поблизу пристрою подібні характеристики неприйнятні.

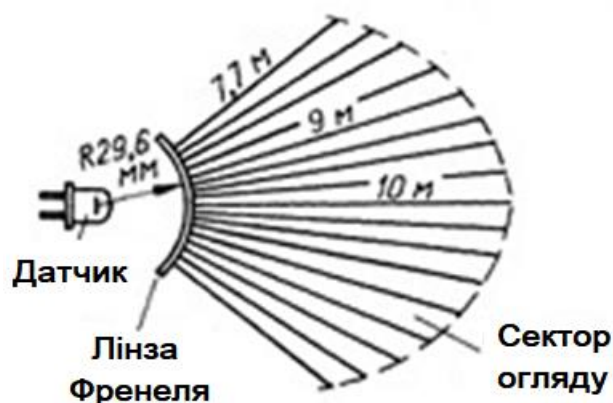


Рисунок 5.2 – Горизонтальний сектор огляду датчика

Виходячи з вище сказаного, було вирішено замінити лінзу Френеля апертурою, довжина якої визначається із законів геометричної оптики, таким чином, щоб діаграма спрямованості звузилася (рисунок 5.3).

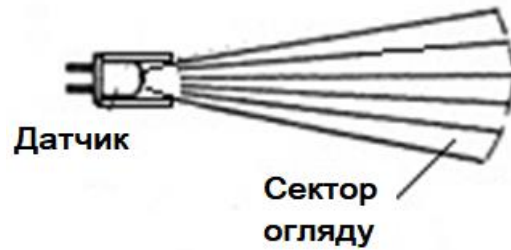
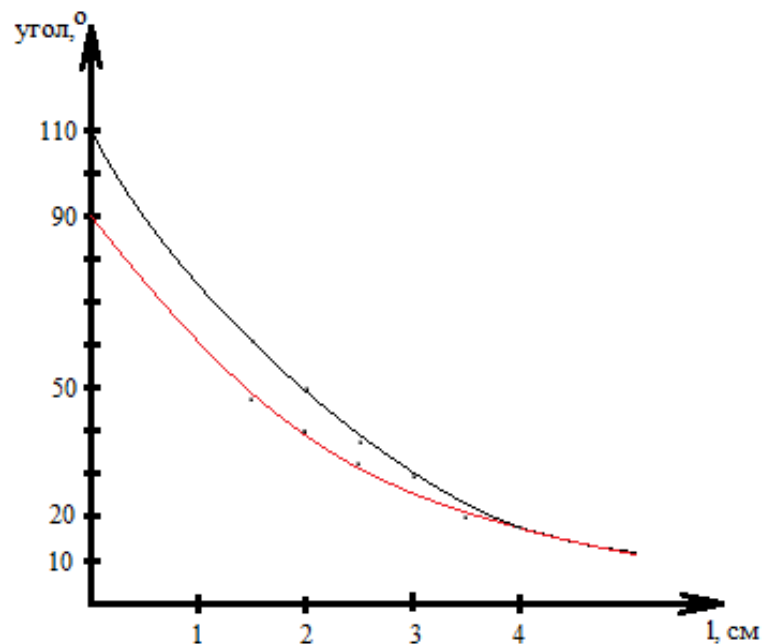


Рисунок 5.3 – Горизонтальний сектор огляду модернізованого датчика

Експериментально було доведено, що діаграма спрямованості є прогнозованою, а отже, довжина апертури може бути розрахована. Залежність кута огляду датчика від довжини апертури показано на діаграмі (рисунок 5.4). В експериментальному дослідженні інтерференція випромінювання не враховувалася.



— вертикальне розташування датчика; — горизонтальне розташування датчика

Рисунок 5.4 – Графік залежності кута огляду датчика від довжини апертури (змінної насадки)

Після зменшення сектора огляду датчика стало можливим розміщення декількох модернізованих інфрачервоних датчиків таким чином, щоб діаграми спрямованості перетиналися один з одним (рисунок 5.5).

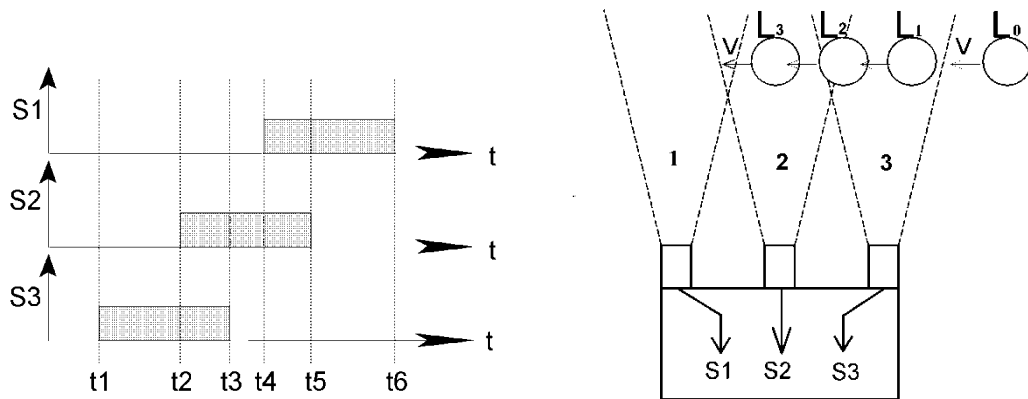


Рисунок 5.5 – Розміщення кількох модернізованих ІЧ датчиків і часова діаграма спрацьовування системи датчиків, при русі випромінюючого тепло об'єкта вліво

Цифрами 1,2,3 позначені зони виявлення датчиків, встановлених у передній частині шасі. У разі виявлення випромінюючого об'єкта тепло датчики формують активні сигнали  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ .

Така система розташування датчиків, допомагає явно визначити напрями руху об'єкта щодо шасі, а також їхнє взаєморозташування.

При попаданні випромінюючого тепло тіла (наприклад, людини) в зону виявлення датчика 3 (проміжок часу  $t_1 \dots t_2$ ), він формує активний сигнал  $S_3$ . При русі об'єкта справа наліво, в момент часу  $t_2$  він потрапить в зону виявлення датчика 2, залишаючись у зоні виявлення датчика 3 (сигнали  $S_3$  та  $S_2$  мають активний рівень). У момент часу  $t_3$  об'єкт вийде із зони виявлення датчика 3 і до моменту  $t_4$  перебуватиме лише в зоні датчика 2 (активний тільки вихід  $S_2$ ). У момент  $t_4$  датчик 1 виявить об'єкт та сформує активний сигнал  $S_1$ . З  $t_5$  по  $t_6$  активний сигнал буде формуватися лише датчиком 1 (сигнал  $S_1$ ). Аналізуючи дану картину зміни вихідних сигналів датчиків, можна зробити висновок про рух випромінюючого тіла вліво щодо системи датчиків, а також обчислити відносну

швидкість цього переміщення.

Таким чином, стало можливим детектувати об'єкт, що випромінює тепло, в секторах, притому, точність системи визначається кількістю датчиків і шириною діаграми спрямованості.

### 5.1.2 Модернізація ультразвукового сонара

Ультразвукові сонари використовуються для безконтактного вимірювання відстані, використовуючи метод вимірювання часу відбиття хвилі в ультразвуковому діапазоні. Ультразвуковий сонар використовуваний у цьому проекті має діаграму спрямованості, показану рисунку 3.11, тобто. робочий кут спостереження близько  $30^\circ$ . Але даний кут є широким, тому що при детектуванні об'єкта на значній відстані точність визначення розташування зменшується.

Також варто відзначити, що при модернізації піроелектричного датчика діаграма спрямованості була зменшена, але також при збільшенні відстані до об'єкта, що визначається, точність зменшується. Тому слід цю похибку компенсувати використанням модернізованого ультразвукового сонара з точковою діаграмою спрямованості.

Так як ультразвуковий далекомір працює за принципом випускання ультразвукової хвилі і розрахунку часу відбиття її від об'єкта, можна направити хвилю, що випускається на дзеркало, яке збере випромінювання в пучок і відіб'є в потрібному напрямку (рисунок 5.6). Для цього можна використовувати дзеркало, роздруковане на 3D принтері.

При роботі сонара через дзеркало теоретично його діаграма спрямованості буде у вигляді лінійного пучка, але на практиці діаграма спрямованості датчика становитиме в межах  $5-10^\circ$ .

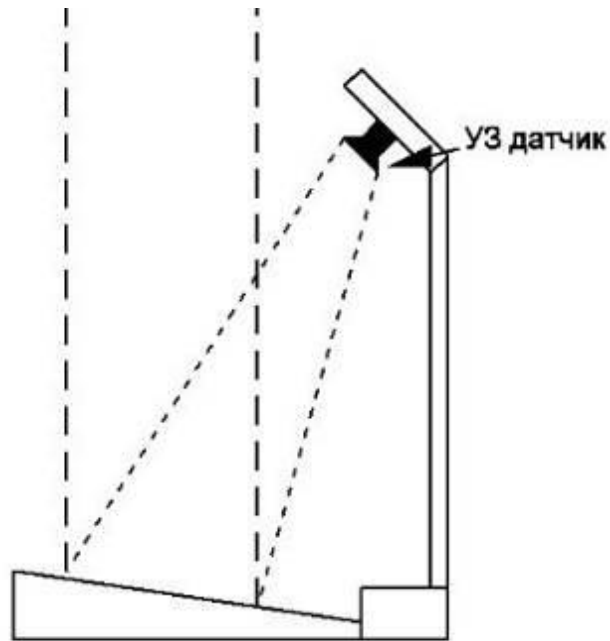


Рисунок 5.6 – Схематична презентація роботи модернізованого УЗ сонара

Таким чином, датчик вимірюватиме відстань до об'єкта в досить вузьких межах, що при задачах орієнтації є великим плюсом. Однак варто зауважити, що за рахунок дзеркала конструкція досить сильно збільшується у розмірах, а також на пристрої повинні бути передбачені кріплення для дзеркала, тому завжди використовувати модернізований сонар не є доцільним.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

В розділі розроблено заходи з техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, пожежної профілактики.

### 6.1 Аналіз умов праці

Приміщення, що розглядається в кваліфікаційній роботі, має наступні характеристики:

- розмір  $8 \text{ м} \times 5 \text{ м} \times 4,8$  при цьому  $S = 40 \text{ м}^2$ ,  $V = 160 \text{ м}^3$ ;
- у приміщенні працює 4 особи;
- у приміщенні розташовані 4 ПК.

Електроживлення:

- джерело живлення – трьохфазна 4-х провідна мережа з глухозаземленою нейтраллю 380/220 В;
- загальна споживана потужність обладнання до 1000 Вт.

Згідно з НПАОП 0.00-131-99 площа, що виділяється для одного робочого місця з ПК, має бути не менше  $6 \text{ м}^2$ , а об'єм не менше  $20 \text{ м}^3$ . Для цього приміщення ці умови виконані, т.к. на одне робоче місце приходить  $10 \text{ м}^2$  площі та  $40 \text{ м}^3$  об'єму.

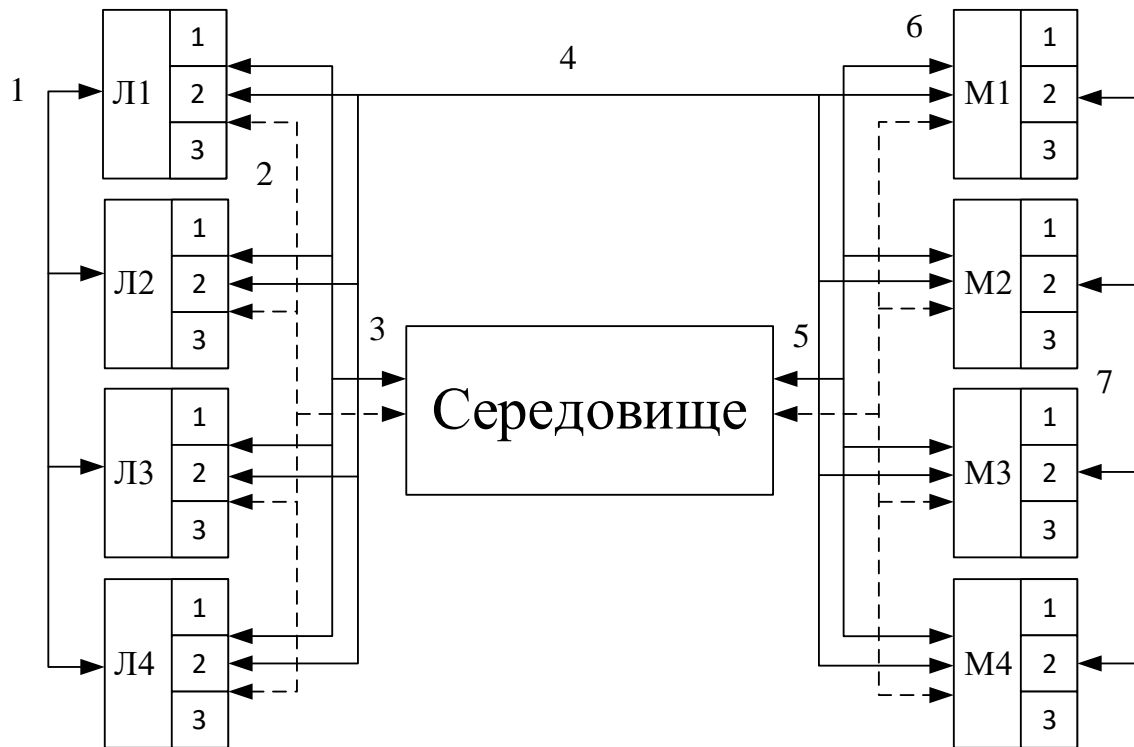
Аналіз умов праці почнемо з опису системи «людина-машина-середовище» з погляду задач безпеки життя та діяльності. При цьому виходимо з рівноелементного структурно-функціонального підходу [23].

Виділяються два типи зв'язків між елементами системи: інформаційні зв'язки та дії для виконання поставленої задачі ( $\rightarrow$ ); сторонні впливи, що мають місце поза зв'язками з метою функціонування людини та техніки ( $---\rightarrow$ ).

У роботі під елементом «машина» (ПК1-ПК4) розумітимемо комп'ютери.

Покажемо структуру системи "Л-М-С" для нашого випадку – робота операторів ПК (рисунок 6.1).

Таким чином, проведено декомпозицію системи «Л-М-С» на сім елементів та виділено зв'язки між ними.



- 1 – вплив стану організму людини на якість її роботи, фізіологічного стану на ступінь інтенсивності обміну речовин між організмом та середовищем;  
 2,3 – вплив середовища на стан організму людини і людини як біологічного об'єкта на середовище; 4 – вплив людини на машину та машини на людину;  
 5,6 – вплив середовища на роботу машини та машини на середовище;  
 7 – аварійна керуюча дія – сигналізація та аварійне сповіщення, якщо отримані виміри не відповідають необхідним нормам, а також інформація, яка необхідна для створення аварійного керуючого впливу

Рисунок 6.1 – Система «Л-М-С» у приміщенні центру

З таблиці 6.1, виявили недостатнє освітлення робочої зони, яке може призвести до швидкого перевтоми та погіршення зору. Тому необхідно зробити розрахунки щодо організації загального рівномірного штучного освітлення.

Таблиця 6.1 – Оцінка факторів виробничого середовища та трудового процесу

Чинники виробничого середовища та трудового процесу	Значення фактора (ГДК, ПДК)		3 клас - небезпечні та шкідливі умови праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
	Норма	Факт	1с	2с	3с	
1 Шум, дБ	50	45	-	-	-	до 15
2 Неіонізуючі випромінювання: у діапазоні 5 Гц-2 кГц, В/м	25	20				до 85
у діапазоні 2-400 кГц, В/м	2,5	2	-	-	-	до 85
3. Мікроклімат: - температура повітря (влітку), °С	23...25	25		+		100
- швидкість руху повітря, м/с	<0,1	0,1	-	-	-	100
- відносна вологість, %	40...60	60	-	-	-	100
4. Освітлення: - природне – КЕО, %	1,5	1,5				до 90 літа
- штучне, Лк	300-500	200	+	-	-	70 взимку
6. Тяжкість праці: - дрібні стереотипні рухи кистей та пальців рук, за зміну	до 40000	до 20000				95
- робоча поза, перебування у похилому становищі протягом зміни	похилий стан до 30° 25 % зміни	вільна	-	-	-	до 90
- переміщення у просторі, км	до 10	до 0,5	-	-	-	10
7. Напруженість праці: - увага, тривалість зосередження, % від зміни	до 75	до 75				до 95
- напруженість зорових аналізаторів, категорія робіт	середньо-точна	високо-точна	-	-	-	до 80
- емоційна та інтелектуальна напруга	робота за встановленим графіком		-	-	-	91
8. Змінність	змінна робота з нічною зміною	однорізна робота	-	-	-	-

## 6.2 Техніка безпеки

У приміщенні застосовується трифазна 4-х провідна мережа з глухозаземленою нейтраллю, напругою 380/220 В, частотою 50 Гц. Згідно з ПУЕ-85, дане приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, так як воно є сухим, відсутній струмопровідний пил, підлога є струмоізолюваною,

відсутня можливість одночасного дотику до конструкцій будівлі, що мають з'єднання із землею та корпусами ПК, які можуть опинитися під напругою.

До основних причин виникнення умов, за яких з'являється можливість ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом, належать:

- випадкові дотики до струмоведучих частин;
- невиконання вимог ПУЕ;
- порушення правил експлуатації ПК.

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих нетоковедучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, згідно з ГОСТ 12.1.030-81, застосовується занулення, що забезпечує автоматичне відключення ділянки мережі, на якій стався пробій на корпус. Опір ізоляції мережі становить 0,5 МОм, згідно з ПУЕ-85. Вимірювання проводяться 1 раз на рік за відключеної мережі електроживлення. Відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 проводяться вступний інструктаж (при вступі на роботу), первинний інструктаж (у перший день виходу на роботу), повторний інструктаж (не рідше 1 разу на 6 місяців) та при необхідності позаплановий та цільовий інструктажі.

### 6.3 Виробнича санітарія та гігієна

Категорія робіт з енерговитрат організму Іа (легка – роботи проводяться сидячи, не супроводжуються значними фізичними напругами) витрата енергії при виконанні робіт (енерговитрати організму) при цьому дорівнює 90-120 ккал/год.

Для даної категорії робіт, згідно з ДСанПіН 3.3.6-042-99 підтримуються нормовані оптимальні параметри мікроклімату (у холодну пору року): температура повітря 23...25 градусів, відносна вологість повітря 40-60 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с.

Для підтримки зазначених метеопараметрів приміщення має бути обладнане системою опалення та кондиціонування згідно зі СНіП 2.04.05-91. У приміщенні

встановлено 2 кондиціонери SAMSUNG AW -0.5 EO.

Відповідно до НПАОП 0.00-1.31-99, приміщення має природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В 2.5-28-2006, згідно з яким розряд зорової роботи оцінюється як III, підрозряд В (високої точності; розмір об'єкта 0,3- 0,5 мм).

Відповідно до цього розряду природне освітлення, що надходить через вікна, має коефіцієнт природного освітлення не менше 2,0 %. Вікна приміщення мають регульовані пристрої для відкриття, а також жалюзі.

Штучне освітлення має бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Освітлення приміщення та робочого місця має бути м'яким, без блиску. Для штучного освітлення приміщення використовують люмінесцентні лампи, у яких велика світлова віддача, мала яскравість поверхні, що світиться, близький до природного спектральний склад випромінювання. Згідно з будівельними нормами та правилами ДБН В 2.5-28-2006 мінімальна освітленість 300 лк. При роботі з дисплеєм та текстовою документацією рекомендована освітленість 300-500 лк.

Найбільш несприятливим фактором для цього приміщення є недостатня освітленість робочої зони. Як джерела світла при штучному освітленні будемо використовувати люмінесцентні лампи, які мають високу світлову віддачу (до 75 лм/Вт і більше), тривалий термін служби (до 10000 годин), малу яскравість поверхні, що світиться, близький до природного спектрального складу випромінюваного світла, що забезпечує хорошу передачу кольору.

Розрахунок штучного освітлення здійснимо за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку, який застосовується для розрахунку загального рівномірного штучного освітлення.

Розрахунковим рівнянням методу є

$$\Phi_{CB} = \frac{E_H \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta \cdot \gamma}, \quad (6.1)$$

де  $E_H$  – нормована мінімальна освітленість, 200 лк;

$k$  – коефіцієнт запасу, що враховує запилення світильників та зношування джерел світла в процесі експлуатації,  $k = 1,3$ ;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $z = 1,1$ ;

$S$  – площа підлоги освітлюваного приміщення,  $S = 40 \text{ м}^2$ ;

$N$  – число світильників, що визначається з умови створення рівномірного освітлення всієї площі приміщення;

$\eta$  – коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку, який показує, яка частина загального світлового потоку посідає розрахункову площину;

$u$  – коефіцієнт затінення,  $u = 0,9$ .

Коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta$  залежить від типу світильника, коефіцієнтів відображення світлового потоку від стін  $p_c$ , стелі  $p_{cm}$ , підлоги  $p_{nidl}$ , а також геометричних розмірів приміщення та висоти підвісу світильників над робочою поверхнею  $H_p$  (умовно робочою поверхнею вважається горизонтальна площина, що знаходиться на висоті 0,8 м від підлоги), що враховується однією комплексною характеристикою – індексом приміщення

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}. \quad (6.2)$$

$H_p$  розрахуємо за формулою

$$H_p = H - h_1 - h_2, \quad (6.3)$$

де  $H = 4 \text{ м}$  – висота приміщення;

$h_1 = 0,8 \text{ м}$  – висота робочої поверхні;

$h_2 = 0,1 \text{ м}$  – відстань від світильника до стелі.

$$H_p = 4 - 0,8 - 0,1 = 3,1 \text{ ,}$$

$$i = \frac{8 \cdot 5}{3,1 \cdot (8 + 5)} = 0,992556.$$

Для даного приміщення використовуватимемо 4-х лампові світильники зі світлопропускаючими боковинами – Л201Г. За допомогою таблиці [24] визначаємо, що даний світильник відноситься до 10-ї групи. ККД цього світильника 60 %.

Враховуючи, що  $p_c = 50 \%$ ,  $p_{ст} = 70 \%$ ,  $p_{\text{підлоги}} = 30 \%$ , а індекс приміщення  $i = 0,992556$ , за допомогою таблиці визначимо коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,6$ .

Світильники розташовані вздовж довгої стінки приміщення. Визначимо відстань між сусідніми світильниками чи рядами люмінесцентних світильників

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (6.4)$$

де  $\lambda$  – найвигідніше співвідношення між відстанню та висотою;

$H_p = 3,1$  м – розрахункова висота.

Рекомендується, щоб  $\lambda$  не перевищувала приблизно 0,5 розрахункової висоти. При  $z = 1,1$  для вибраних світильників Л201Г  $\lambda = 1,4$ :

$$L = 1,4 \cdot 3,1 = 4,34 \text{ м.}$$

Визначимо число рядів світильників:

$$n = \frac{B}{L} = \frac{5}{4,34} \approx 2. \quad (6.5)$$

Таким чином, у даному приміщенні світильники будуть розташовані у 2 ряди.

Визначимо відстань від стін до ряду світильників.

$$l = \frac{B - L(n-1)}{2} = \frac{5 - 4,34(2-1)}{2} \approx 0,33 \text{ м.}$$

Для освітлення застосовані 4-х лампові світильники Л201Г з люмінесцентними лампами білого світла потужністю 40 Вт, які мають у порівнянні з ЛБ20 та ЛБ80 найбільшу світловіддачу (62 лм/Вт проти 49 лм/Вт та 50 лм/Вт відповідно). Номінальний світловий потік лампи ФЛ для ЛБ 40 становить 3120 лм.

Світловий потік світильника

$$\Phi_{cv} = 43\ 120 = 12\ 480 \text{ лм.}$$

Визначимо необхідну кількість світильників, використовуючи формулу (6.1)

$$N = \frac{E_H \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \Phi_{cv} \cdot \eta \cdot \gamma},$$

$$N = \frac{200 \cdot 1,4 \cdot 40 \cdot 1,1}{2 \cdot 12480 \cdot 0,6 \cdot 0,9} \approx 2.$$

Таким чином, у ряду є 2 світильники. Довжина одного світильника дорівнює  $l_{cv} = 1275$  мм. Сумарна довжина світильників дорівнює

$$l = 2 \cdot 1275 = 2550 \text{ мм.}$$

Відстань між світильниками в ряду дорівнює

$$R = \frac{B - N \cdot l_{cv}}{N + 1}, \quad (6.7)$$

$$R = \frac{8 - 2 \cdot 1,275}{2 + 1} \approx 1,82 \text{ м.}$$

Схема розташування світильників у приміщенні показана на рисунку 6.2.

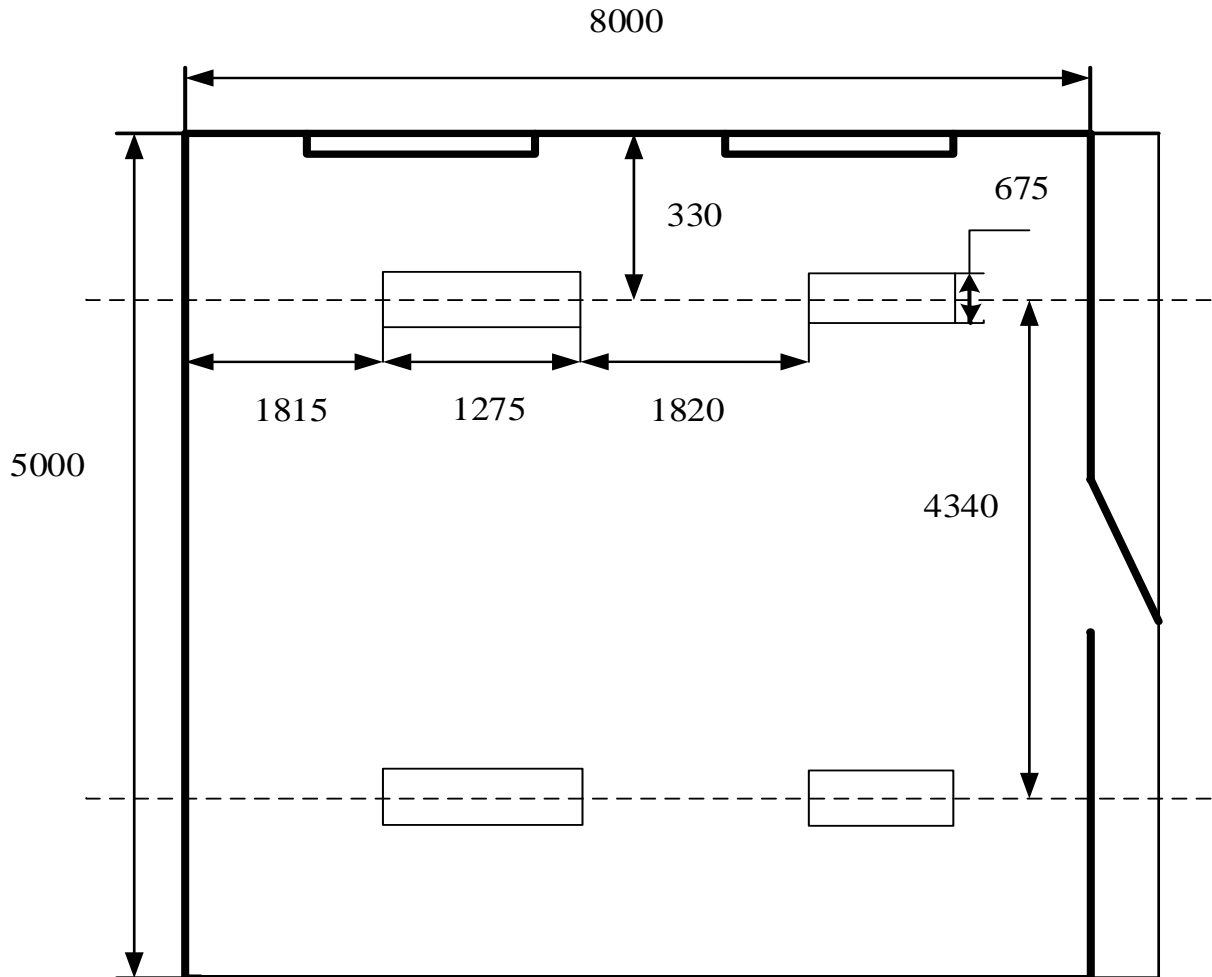


Рисунок 6.2 – Схема розташування світильників

Використовуючи формулу (6.1), визначимо величину освітленості приміщення

$$E_H = \frac{\Phi_{CB} \cdot N \cdot \eta \cdot \gamma \cdot n}{k \cdot S \cdot z},$$

$$E_H = \frac{12480 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 2}{1,4 \cdot 40 \cdot 1,1} = 441,19 \text{ лк.}$$

Величина освітленості приміщення дорівнює 441,19 лк і є нормальною, тому що не перевищує відхилення від норми 400 лк (відповідно до стандартів допускається відхилення від -10 % до +20 %).

Керуючись НПАОП 0.00-1.31-99 у приміщенні рівні звукового тиску відповідають вимогам ДСН 3.3.6-037-99.

Шум на робочому місці створюється внутрішніми джерелами: перетворювачами напруги та іншими технічними засобами, а також шумами, що проникають ззовні.

Згідно з НПАОП 0.00-1.31-99 організація робочого місця користувача ПК повинна забезпечувати відповідність всіх елементів робочого місця та їх розміщення ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032-78; характеру та особливостями трудової діяльності.

Робочі місця щодо вікон розташовуються так щоб природне світло падає зліва.

При розміщенні робочих місць з ПК необхідно дотримуватися наступних вимог:

- відстань від стін з вікнами не менше 1 м;
- відстань між бічними поверхнями ПК не менше 1,2 м;
- відстань між тильною стороною одного терміналу та екраном іншого не менше 2 м;
- прохід між рядами робочих місць не менше 1 м.

Вимоги до робочих місць:

- висота робочої поверхні столу для ПК 800 мм, а ширина забезпечує можливість виконання операцій в зоні моторного поля;
- робочий стілець підйомно-поворотний, що регулюється щодо спинки до переднього краю сидіння, а також висотою підлокітників.

Дані вимоги виконані для приміщення, що розглядається. На рисунку 6.3 показано розміщення робочих місць.

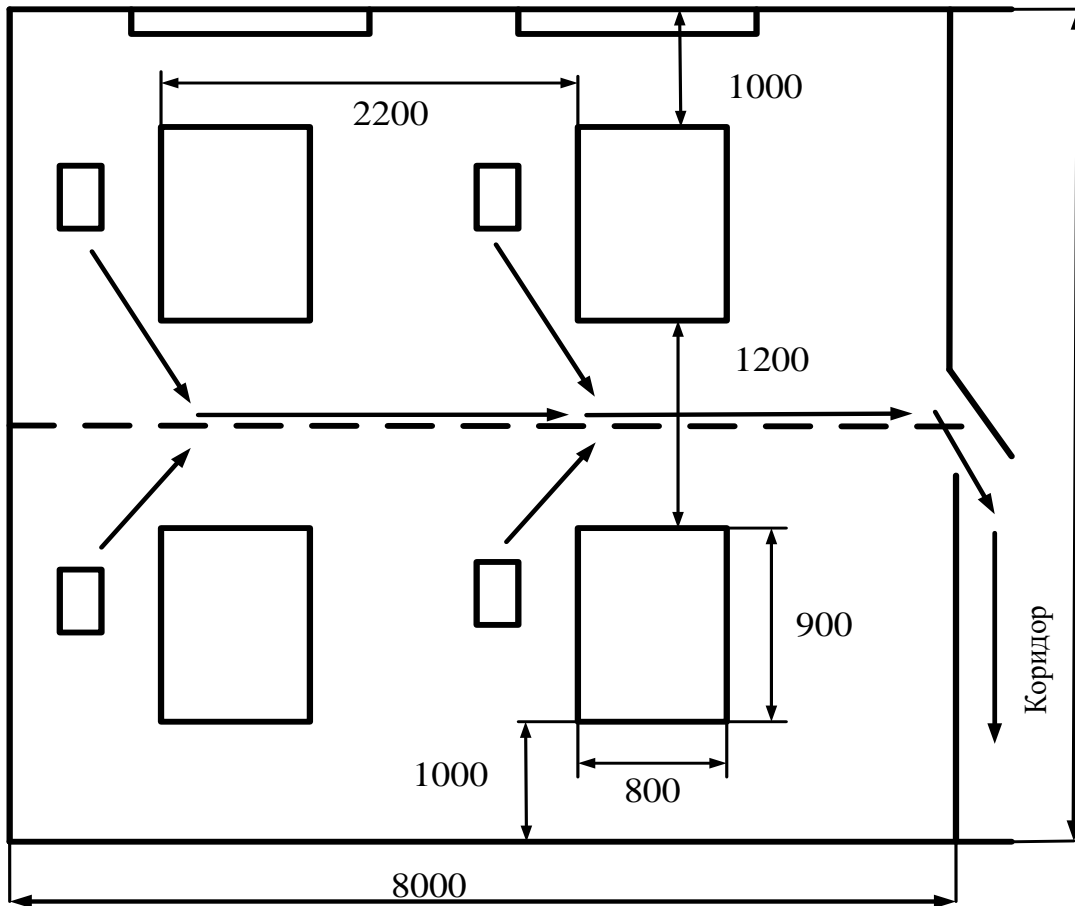


Рисунок 6.3 – Схема розміщення робочих місць операторів ПК та схема евакуації під час пожежі

#### 6.4 Пожежна профілактика

Пожежна безпека відповідно до ГОСТ 12.01.004 – 91 ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги» забезпечується системою запобігання пожежі, пожежному захисту та організаційно-технічними заходами.

Відповідно до ГОСТ 12.01.004-91 виробництво в даному приміщенні відноситься до категорії В (речовини та матеріали, що згорають, в холодному стані), а сама будівля відноситься до другого ступеня вогнестійкості відповідно до ДБН В 1.1.7-2002, оскільки в приміщенні знаходиться дороге обладнання. Пожежонебезпечність приміщення має категорію П-Па (тверді речовини та матеріали, що згорають).

Згідно з ГОСТ 12.4.009-83, дане приміщення оснащено системою автоматичної пожежної сигналізації, що складається з чотирьох димових пожежних датчиків (з розрахунку 2 штуки на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення). Для сповіщення про пожежу та швидкий виклик міської пожежної частини використовується пожежна сигналізація.

Як засоби пожежогасіння в загальному випадку використовуються пісок та вогнегасники. При гасінні пожежі в електромережах використовується ручний вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 ємністю 5 л (2 шт., т.к. площа приміщення 40 м<sup>2</sup>, а норма – два вогнегасники на 20 м<sup>2</sup> та не менше 2 у приміщеннях з ПК), згідно з НАПБ Б 01.008-2004. Також у будівлі передбачено водогін з внутрішнім пожежним краном.

Двері в приміщенні відділу програмістів відчиняються у напрямку виходу. Ширина дверей дорівнює 1,2 м, що задовольняє вимогам.

## ВИСНОВКИ

У роботі було проведено аналіз сучасних методик детектування та виявлення об'єктів, які випромінюють в інфрачервоному діапазоні. В результаті розгляду технічних засобів, що відповідають за виявлення руху, а також систем технічного зору було поставлено задачу розробити модульну сенсорну систему широкого призначення.

При проектуванні даної системи розробили різні варіанти функціональних схем пристрою. Відповідно до першого варіанта, пристрій буде заснований на пасивних датчиках і є датчиком руху. У другому випадку сенсор буде заснований на комбінації датчиків, а також є альтернативою системи технічного зору.

Однак розроблена електрична схема пристрою є універсальною для обох випадків. Вона була розроблена відповідно до єдиної системи конструкторської документації.

Для подальшого проектування друкованої плати було проведено вибір елементної бази виходячи з проведеного аналізу ринку, функціональності елементів, розмірів, доступності та економічної складової. Також було запропоновано проект модернізації датчиків з метою зменшено діаграми спрямованості і збільшення точності роботи системи.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. Київ, 2018. 320 с.
3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. 45 с.
4. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипченко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 366 с.
5. Технології інтернету речей. Навчальний посібник / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.
6. Основи автоматики та робототехніки: Навчальний посібник/А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін:–Дніпро:«ГарантСВ», 2021. 243 с.
7. Навігація мобільних наземних роботів у недетермінованих середовищах. Сергієнко О.Ю., Карташов В.М., Колендовська М.М. Харків: ХНУРЕ, 2020. 297 с.
8. ABACOM Electronics software. Products. sPlan «sPlan 7.0»: <http://www.abacom-online.de/uk/html/splan.html> (date of access: 15.04.2024).
9. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. 208 с.

10. Технічні засоби автоматизації (Частина 2) / М.В. Лукінюк, В.П. Лисенко, В.Є. Лукін, А.М. Гладкий, С.А. Шворов, А.А. Руденський, А.А. Заверткін. Ніжин.: Видавець ПП Лисенко М.М., 2018. 455 с.
11. С.С. Афзел Розробка комбінованого датчика руху об'єктів. XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна. С. 16-19.
12. Altium Designer. <http://www.altium.com> (date of access: 11.05.2024).
13. ATmega328P. [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf) (date of access: 6.05.2024).
14. A guideline to SMD PCB-meaning, design, soldering, SMD components aseembly. <https://www.mainpcb.com/a-guideline-to-smd-pcb-meaning-design-soldering-smd-components-aseembly/> (date of access: 4.05.2024).
15. Кварцовий генератор КХ-7Т 8.0 MHz 30/100 12pF. <https://imrad.com.ua/ua/kx-7t-8-0-mhz-30-100-12pf-1> (date of access: 4.05.2024).
16. MC78M05CDT-3-Terminal 0.5A Positive Voltage Regulator. [https://www.radioradar.net/datasheet\\_search/M/C/7/MC78M05CDT\\_FairchildSemiconductor.pdf.html](https://www.radioradar.net/datasheet_search/M/C/7/MC78M05CDT_FairchildSemiconductor.pdf.html) (date of access: 7.05.2024).
17. HC-SR04 User's Manual. URL: [https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL\\_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit](https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit) (date of access: 6.05.2024).
18. PIR Sensor D203B Datasheet. [https://www.futurlec.com/PIR\\_D203B.shtml](https://www.futurlec.com/PIR_D203B.shtml) (date of access: 10.05.2024).
19. Комп'ютерне проектування електронних схем / Р.М. Галаган, К.М. Серни. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 163 с.
20. Altium Designer: <http://www.altium.com/altium-designer/overview> (date of access: 12.04.2024).

21. Хвостівська Л.В., Дунець В.Л. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів”. Тернопіль: ТНТУ, 2020. 109 с.

22. Невлюдов І.Ш. Комп’ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 2: підручник. – Кривий Ріг: видавець Чернявський Д.О., 2022. 424 с.

23. Методичні вказівки до виконання розділу “Безпека життя і діяльності людини” у дипломних проектах (роботах) для студентів усіх форм навчання / Упоряд.: В.А.Айвазов, Н.Л.Березуцька, Б.В.Дзюндзюк, А.В. Мамонтов, Т.Є.Стищенко – Харків: ХНУРЕ, 2003. 56 с.

24. Дзюндзюк Б. В. Охорона праці : навч. посібник / Б.В. Дзюндзюк, В.Г. Іванов. – Харків: ХНУРЕ. 2006. 236 с.