

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки
Кафедра мікроелектроніки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Дмитро ТАТАРЧУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Мікро- та наноелектроніка»

спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

на тему: « Система виявлення об'єктів у сліпих зонах автомобілів»

Виконав:

студент IV курсу, групи ДП-21

Третяк Олексій Олексійович _____

Керівник доц.каф.МЕ, к.т.н., доц.,

Діденко Юрій Вікторович _____

Консультант з нормоконтролю: доц.каф.МЕ, к.ф.-м.н., с.н.с.,

Свечніков Георгій Сергійович _____

Консультант з інформаційних питань: доц.каф.МЕ, к.т.н., доц.,

Діденко Юрій Вікторович _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет Електроніки

Кафедра Мікроелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка

Освітньо-професійна програма – Мікро- та нанoeлектроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дмитро Дмитрович Татарчук

« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Третьяку Олексію Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Система виявлення об'єктів у сліпих зонах автомобілів
керівник проєкту доцент кафедри МЕ, к.т.н, Діденко Юрій Вікторович
затверджені наказом по університету від « » 2026 р. №
2. Термін подання студентом роботи « » 2026 року
3. Вихідні дані до роботи: ультразвукові датчики HC-SR04, мікроконтролер ATmega328P, OLED-дисплей SSD1306, система світлового та звукового попередження.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз систем контролю сліпих зон, розробка принципової схеми, друкованої плати та програмного забезпечення мікроконтролерної системи, моделювання роботи системи у середовищі Proteus.
5. Перелік графічного матеріалу: принципова схема, друкована плата, 3D-модель, рисунки
6. Дата видачі завдання: 30.03.2026

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук літератури та аналіз існуючих систем контролю сліпих зон транспортних засобів	16.03.2026 - 25.03.2026	
2	Аналіз методів виявлення перешкод та вибір елементної бази системи	25.03.2026 - 31.03.2026	
3	Розробка принципової електричної схеми системи	01.04.2026 - 09.04.2026	
4	Розробка друкованої плати та тривимірної моделі пристрою	10.04.2026 - 16.04.2026	
5	Розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення системи	16.04.2026 - 04.05.2026	
6	Проведення моделювання роботи системи у середовищі Proteus	05.05.2026 - 10.05.2026	
7	Аналіз результатів роботи та тестування системи	11.05.2026 - 18.05.2026	
8	Оформлення дипломної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти	19.05.2026 - 25.05.2026	

Студент

_____ Олексій ТРЕТЯК,
(підпис)

Керівник роботи

_____ Юрій ДІДЕНКО
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційну роботу викладено на 75 сторінках, вона містить 3 розділи, 19 рисунків, 25 джерел у переліку посилань, 6 додатків.

Об'єктом дослідження є система контролю сліпих зон транспортного засобу.

Предметом дослідження є ультразвукові засоби та мікроконтролерна обробка даних у системах контролю сліпих зон автомобіля.

Метою роботи є розробка мікроконтролерної системи контролю сліпих зон автомобіля з функцією двостороннього світлового попередження учасників дорожнього руху.

У першому розділі проведено аналіз існуючих систем контролю сліпих зон та методів виявлення перешкод, досліджено принцип роботи ультразвукових датчиків HC-SR04 та обґрунтовано вибір елементної бази системи.

У другому розділі розроблено принципову схему пристрою, друковану плату системи та виконано моделювання роботи пристрою у середовищі Proteus.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення системи, описано алгоритм роботи пристрою, проведено тестування системи та аналіз ефективності її роботи.

Ключові слова: сліпі зони автомобіля, HC-SR04, ATmega328P, ультразвуковий датчик, OLED-дисплей, мікроконтролерна система, система активної безпеки.

ABSTRACT

The qualification thesis is presented on 75 pages and contains 3 chapters, 19 figures, 25 references, 6 applications.

The object of research is a vehicle blind spot monitoring system.

The subject of consideration is ultrasonic sensors and microcontroller data processing for continuous monitoring of slip in the vehicle area.

The purpose of the thesis is to develop a microcontroller-based vehicle blind spot monitoring system with a two-way visual warning function for road users.

The first chapter analyzes existing blind spot monitoring systems and obstacle detection methods, investigates the operating principle of HC-SR04 ultrasonic sensors, and substantiates the choice of the system component base.

The second chapter presents the development of the schematic diagram, printed circuit board, and simulation of the system operation in the Proteus environment.

The third chapter describes the development of the software, the operating algorithm of the device, system testing, and analysis of its performance.

Keywords: vehicle blind spot, HC-SR04, ATmega328P, ultrasonic sensor, OLED display, microcontroller system, active safety system.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМЕНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	11
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ СЛІПИХ ЗОН ТА МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД	11
1.1 Проблема сліпих зон транспортних засобів	11
1.2 Існуючі системи контролю сліпих зон та методи виявлення перешкод	15
1.2.1 Ультразвукові системи виявлення перешкод.....	16
1.2.2 Радарні системи	18
1.2.3 Оптичні системи на базі відеокамер	19
1.2.4 Обґрунтування вибору ультразвукового методу.....	20
1.3 Принцип роботи ультразвукового датчика HC-SR04.....	21
1.4 Обґрунтування вибору елементної бази системи.....	24
1.4.1 Вибір мікроконтролера ATmega328P	25
1.4.2 Вибір ультразвукових датчиків HC-SR04.....	28
1.4.3 Вибір OLED-дисплея SSD1306.....	30
1.4.4 Вибір світлодіодної індикації	33
1.4.5 Вибір звукового бузера.....	36
1.4.6 Вибір фоторезистора.....	39
1.4.7 Вибір DC-DC перетворювача LM2596	42
1.4.8 Вибір кварцового резонатора	46
1.5 Висновки до розділу 1.....	49
РОЗДІЛ 2	51

РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

СИСТЕМИ	51
2.1 Розробка принципової схеми системи	51
2.2 Розробка друкованої плати системи	54
2.3 Моделювання роботи системи у середовищі Proteus.....	58
2.4 Розрахунок основних елементів системи	60
2.5 Висновки до розділу 2.....	62
РОЗДІЛ 3	64
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ.....	64
3.1 Алгоритм роботи системи	64
3.2 Тестування та перевірка роботи системи	66
3.3 Особливості програмної реалізації системи	68
3.4 Аналіз ефективності та особливості роботи системи.....	70
3.5 Висновки до розділу 3.....	72
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТОК А. Перелік компонентів	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМЕНІВ

ADC (Analog-to-Digital Converter) – аналого-цифровий перетворювач
DC-DC (Direct Current Converter) – перетворювач постійної напруги
HC-SR04 – ультразвуковий датчик відстані
I2C (Inter-Integrated Circuit) – послідовний інтерфейс передачі даних
LED (Light Emitting Diode) – світлодіод
OLED (Organic Light Emitting Diode) – органічний світлодіодний дисплей
PCB (Printed Circuit Board) – друкована плата
PWM (Pulse Width Modulation) – широтно-імпульсна модуляція
SPI (Serial Peripheral Interface) – послідовний периферійний інтерфейс
UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – універсальний асинхронний приймач-передавач

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку автомобільної промисловості все більшої актуальності набувають системи активної безпеки транспортних засобів. Зростання інтенсивності дорожнього руху, збільшення кількості транспортних засобів у міському середовищі, складність маневрування у щільному потоці автомобілів та обмежена оглядовість водія створюють додаткові ризики виникнення дорожньо-транспортних пригод. Однією з найбільш небезпечних проблем під час руху автомобіля є наявність так званих «сліпих зон» — ділянок простору навколо транспортного засобу, які залишаються поза межами прямої видимості водія та не контролюються дзеркалами заднього виду.

Особливо небезпечними сліпі зони є під час виконання маневрів перестроювання, повороту, руху заднім ходом та паркування. У таких умовах водій може не помітити інший транспортний засіб, велосипедиста або пішохода, що перебуває у зоні недостатньої видимості. Значна частина дорожньо-транспортних пригод у міських умовах пов'язана саме з людським фактором, недостатньою увагою водія та складністю постійного контролю навколишнього простору.

У сучасних автомобілях преміального сегменту для вирішення цієї проблеми використовуються спеціалізовані системи контролю сліпих зон (Blind Spot Detection System), які базуються на застосуванні радарних модулів, відеокамер, ультразвукових або комбінованих сенсорних систем. Однак подібні рішення часто мають високу вартість, складну конструкцію та потребують інтеграції у штатну електронну систему автомобіля. Це ускладнює можливість використання таких систем у транспортних засобах бюджетного сегменту або під час модернізації вже існуючих автомобілів.

У зв'язку з цим актуальною задачею є розробка компактної, недорогої та ефективної мікроконтролерної системи контролю сліпих зон, яка може бути реалізована на доступній елементній базі та забезпечувати достатню точність виявлення об'єктів у небезпечній зоні навколо транспортного засобу.

У даній дипломній роботі розглядається розробка мікроконтролерної системи виявлення об'єктів у сліпих зонах автомобіля на базі ультразвукових датчиків відстані HC-SR04 та мікроконтролера ATmega328P. Розроблена система здійснює безперервний контроль навколишнього простору транспортного засобу, визначає наявність перешкод у контрольованій зоні та повідомляє водія за допомогою звукової та світлової індикації, а також OLED-дисплея.

Особливістю запропонованої системи є реалізація двостороннього принципу попередження небезпечного зближення. На відміну від більшості класичних систем контролю сліпих зон, які орієнтовані виключно на інформування водія, у даному проєкті додатково реалізовано зовнішню світлову індикацію безпосередньо біля ультразвукових датчиків. У разі виявлення об'єкта у сліпій зоні система не лише подає попередження водію транспортного засобу, а й інформує пішохода або іншого учасника дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні автомобіля. Такий підхід дозволяє підвищити загальний рівень безпеки дорожнього руху та зменшити ймовірність виникнення аварійних ситуацій під час маневрування транспортного засобу.

У роботі також реалізовано функцію автоматичної адаптації яскравості індикації залежно від рівня зовнішнього освітлення за допомогою фоторезистора. Це дозволяє підвищити комфорт експлуатації системи у денний та нічний час, а також зменшити рівень відволікання водія під час руху.

Під час виконання роботи було проведено аналіз існуючих систем контролю сліпих зон, розроблено структурну та принципову схеми пристрою, виконано моделювання роботи системи у середовищі Proteus, розроблено друковану плату та тривимірну модель пристрою. Окрему увагу приділено програмній реалізації алгоритму роботи системи, обробці сигналів ультразвукових датчиків та реалізації інтерфейсу користувача.

Об'єктом дослідження є система контролю сліпих зон транспортного засобу.

Предметом дослідження є ультразвукові засоби та мікроконтролерна обробка даних у системах контролю сліпих зон автомобіля.

Метою роботи є розробка мікроконтролерної системи контролю сліпих зон автомобіля з функцією двостороннього світлового попередження учасників дорожнього руху.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити наступні задачі:

1. провести аналіз існуючих систем контролю сліпих зон автомобіля;
2. дослідити принцип роботи ультразвукових датчиків відстані;
3. обґрунтувати вибір елементної бази системи;
4. розробити принципову схеми пристрою;
5. реалізувати алгоритм роботи системи на базі мікроконтролера ATmega328P;
6. розробити систему звукового та світлового оповіщення;
7. реалізувати зовнішню світлову індикацію для попередження пішоходів;
8. провести моделювання роботи системи у середовищі Proteus;
9. розробити друковану плату та 3D-модель пристрою;
10. провести тестування працездатності розробленої системи.

Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю підвищення безпеки дорожнього руху, зменшення кількості аварійних ситуацій під час маневрування транспортних засобів та створення доступних систем активної допомоги водію на базі сучасних мікроконтролерних технологій.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ СЛІПИХ ЗОН ТА МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД

=

1.1 Проблема сліпих зон транспортних засобів

Однією з найбільш актуальних проблем сучасного автомобільного транспорту є обмежена оглядовість водія під час руху транспортного засобу. Незважаючи на постійний розвиток автомобільних технологій, навіть сучасні транспортні засоби мають ділянки простору, які залишаються поза прямою видимістю водія. Такі області отримали назву «сліпі зони». [1]

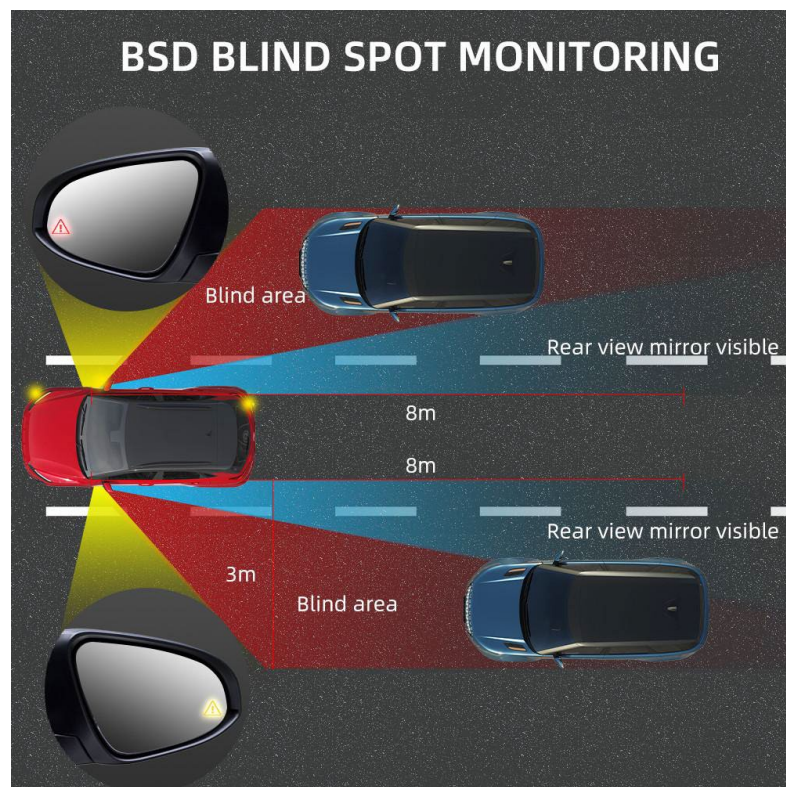


Рисунок 1.1 – Сліпі зони навколо транспортного засобу[2]

Сліпа зона - це частина простору навколо автомобіля, яка не може бути безпосередньо проконтрольована водієм за допомогою дзеркал заднього виду

або прямого огляду через вікна транспортного засобу. Наявність таких зон створює потенційну небезпеку під час руху, особливо у щільному міському трафіку, на багатосмугових дорогах, під час маневрування або паркування.

Найбільш небезпечними є бокові та задні сліпі зони автомобіля. Саме в цих ділянках можуть перебувати:

1. інші транспортні засоби;
2. мотоциклісти;
3. велосипедисти;
4. пішоходи;
5. нерухомі перешкоди.

Особливу небезпеку сліпі зони становлять під час перестроювання між смугами руху. Водій, не помітивши автомобіль у сусідній смузі, може здійснити маневр, що призведе до аварійної ситуації або дорожньо-транспортної пригоди.

Згідно з сучасними дослідженнями у сфері безпеки дорожнього руху, значна кількість ДТП у міських умовах виникає саме через недостатній контроль навколишнього простору транспортного засобу. Людський фактор, втома водія, недостатня концентрація уваги, складні погодні умови або погане освітлення значно підвищують ризик виникнення аварійних ситуацій.

Складність контролю сліпих зон додатково зростає у великих транспортних засобах:

1. вантажних автомобілях;
2. автобусах;
3. мікроавтобусах;
4. спеціальній техніці.

Через великі габарити таких транспортних засобів площа неконтрольованих зон значно збільшується, що ускладнює безпечне маневрування.

Для часткового вирішення цієї проблеми традиційно використовуються:

1. сферичні дзеркала;
2. додаткові дзеркала огляду;
3. системи відеоспостереження;

4. паркувальні системи;
5. електронні системи допомоги водію.

Однак звичайні дзеркала не забезпечують повного контролю простору навколо транспортного засобу, а відеосистеми часто потребують постійної концентрації уваги водія на дисплеї. У зв'язку з цим сучасна автомобільна промисловість активно переходить до використання автоматизованих електронних систем контролю навколишнього простору.

Сучасні системи контролю сліпих зон входять до складу комплексів активної безпеки автомобіля (ADAS — Advanced Driver Assistance Systems). Подібні системи дозволяють автоматично виявляти об'єкти у небезпечній зоні та попереджати водія про можливу небезпеку[2].

Основними функціями систем контролю сліпих зон є виявлення об'єктів у небезпечній зоні транспортного засобу, контроль відстані до перешкоди, звукове та світлове попередження водія, допомога під час паркування та підвищення загального рівня безпеки дорожнього руху. Використання подібних систем дозволяє значно зменшити ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод під час маневрування, перестроювання, руху заднім ходом або паркування у обмеженому просторі.

Особливо важливими системи контролю сліпих зон є для транспортних засобів із великими габаритами, де водій не може повністю контролювати простір навколо автомобіля за допомогою дзеркал заднього виду. У таких випадках електронні системи допомоги дозволяють своєчасно виявляти перешкоди та попереджати водія про можливу небезпеку.

У сучасних автомобілях для реалізації систем контролю сліпих зон використовуються різні типи сенсорів та технологій. Найбільш поширеними є ультразвукові датчики, радарні модулі, камери комп'ютерного зору, лазерні далекоміри та комбіновані сенсорні системи. Кожен із цих методів має власні переваги, недоліки та особливості використання.

Ультразвукові датчики характеризуються простотою реалізації, низькою вартістю та достатньою точністю роботи на малих дистанціях. Радарні системи

забезпечують більшу дальність виявлення та стабільну роботу у складних погодних умовах, однак мають значно вищу вартість та складність реалізації. Системи комп'ютерного зору на базі відеокамер дозволяють виконувати складний аналіз дорожньої ситуації, але потребують використання потужних процесорів та складних алгоритмів обробки зображень.

Комбіновані сенсорні системи поєднують декілька методів контролю простору навколо транспортного засобу, що дозволяє підвищити точність роботи та надійність виявлення перешкод. Проте використання подібних систем значно ускладнює конструкцію пристрою та збільшує його вартість.

Таким чином, вибір типу сенсорної системи залежить від вимог до точності роботи, вартості пристрою, складності реалізації та умов подальшої експлуатації транспортного засобу.

Кожен із зазначених методів має власні переваги та недоліки. Наприклад, радарні системи характеризуються високою точністю та великим радіусом дії, однак мають значну вартість та складність реалізації. Камери комп'ютерного зору забезпечують високу інформативність, але потребують значних обчислювальних ресурсів та складних алгоритмів обробки зображень. Ультразвукові датчики, навпаки, мають просту конструкцію, низьку вартість та достатню точність для роботи на малих дистанціях.

Саме тому для розробки доступної мікроконтролерної системи контролю сліпих зон у даній роботі було обрано ультразвуковий метод вимірювання відстані. Використання ультразвукових датчиків дозволяє реалізувати недорогу та ефективну систему контролю навколишнього простору транспортного засобу без необхідності використання складних обчислювальних систем. [9, 20]

Особливістю розробленої системи є додаткове зовнішнє світлове попередження пішоходів та інших учасників дорожнього руху. У більшості існуючих систем оповіщення інформація передається лише водію транспортного засобу. У даному проєкті реалізовано принцип двостороннього інформування: система одночасно попереджає як водія, так і об'єкт, що знаходиться у сліпій зоні автомобіля. Це дозволяє значно підвищити ефективність роботи системи у

міських умовах та знизити ризик виникнення небезпечних ситуацій під час руху транспортного засобу.

Таким чином, проблема контролю сліпих зон є важливою задачею сучасних автомобільних систем безпеки, а розробка доступних та ефективних електронних систем допомоги водію є актуальним напрямком розвитку мікроконтролерної техніки та автомобільної електроніки.

1.2 Існуючі системи контролю сліпих зон та методи виявлення перешкод

У сучасній автомобільній промисловості системи контролю сліпих зон є важливою складовою комплексів активної безпеки транспортного засобу. Основною задачею таких систем є своєчасне виявлення об'єктів у небезпечних зонах навколо автомобіля та попередження водія про можливу загрозу зіткнення [2].

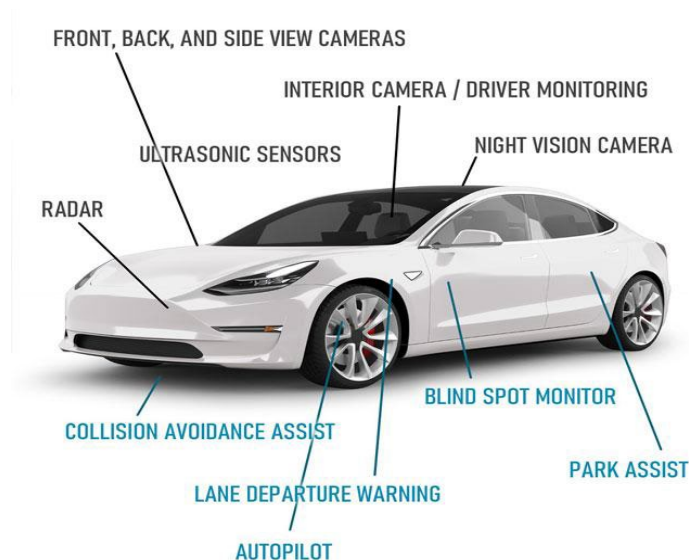


Рисунок 1.2 – Сенсорні системи сучасного автомобіля

Залежно від принципу роботи та типу використовуваних сенсорів сучасні системи виявлення перешкод можна умовно поділити на декілька основних груп:

1. ультразвукові системи;

2. радарні системи;
3. оптичні системи на базі відеокамер;
4. лазерні системи;
5. комбіновані сенсорні системи.

Кожен із зазначених методів має власні особливості, переваги, недоліки та сферу застосування.

1.2.1 Ультразвукові системи виявлення перешкод

Ультразвукові системи є одними з найбільш поширених рішень у системах паркування та контролю близьких перешкод. Принцип їх роботи базується на випромінюванні коротких ультразвукових імпульсів та подальшому аналізі часу повернення відбитого сигналу від об'єкта [3].

У більшості випадків ультразвукові датчики працюють на частотах близько: 40 кГц

Після випромінювання ультразвукового імпульсу датчик переходить у режим прийому та очікує повернення відбитого сигналу. Відстань до об'єкта визначається за часом проходження хвилі до перешкоди та назад [4].

Розрахунок відстані виконується за формулою:

$$S = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1.1)$$

При температурі навколишнього середовища близько: 20°C

швидкість звуку у повітрі становить приблизно:

$$v = 343 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.2)$$

Ультразвукові системи мають ряд переваг, серед яких низька вартість реалізації, простота побудови електронної схеми, невелике енергоспоживання та достатня точність вимірювання на малих дистанціях. Крім цього, ультразвукові датчики характеризуються простим підключенням до мікроконтролерів та не потребують складної цифрової обробки сигналів, що значно спрощує програмну реалізацію системи.

Саме завдяки цим перевагам ультразвукові датчики широко використовуються у сучасних електронних пристроях та системах автоматизації. Найбільш поширеним є їх застосування у парктроніках, робототехніці, автоматичних системах паркування та системах уникнення перешкод. Використання ультразвукових сенсорів дозволяє реалізувати доступні та достатньо ефективні системи контролю простору навколо об'єкта.

Особливо ефективними ультразвукові системи є на невеликих дистанціях, де необхідно забезпечити точне визначення відстані до перешкоди. Саме тому подібні датчики широко застосовуються у автомобільних системах допомоги водію під час паркування або маневрування у обмеженому просторі.

Однак ультразвукові системи мають і певні недоліки. Основним обмеженням є невелика дальність роботи у порівнянні з радарними системами. Крім цього, на точність вимірювання можуть впливати погодні умови, температура навколишнього середовища та форма поверхні об'єкта. Важливим фактором також є обмежений кут огляду ультразвукових датчиків, через що можливе виникнення неконтрольованих зон або помилок при виявленні складних за формою об'єктів

Незважаючи на наявність певних недоліків, ультразвукові системи залишаються одним із найбільш доступних та ефективних рішень для реалізації систем контролю сліпих зон транспортних засобів, особливо у бюджетних та навчальних проєктах.

Незважаючи на це, для задач контролю близьких сліпих зон автомобіля ультразвукові системи є одним із найбільш доцільних рішень завдяки простоті та низькій вартості реалізації.

1.2.2 Радарні системи

Радарні системи контролю сліпих зон використовують електромагнітні хвилі надвисокої частоти для визначення відстані до об'єкта, його швидкості та напрямку руху.

Принцип роботи радарних систем аналогічний ультразвуковим системам, однак замість звукових хвиль використовуються радіохвилі. Радіолокаційний модуль випромінює електромагнітний сигнал та аналізує параметри відбитої хвилі.

Основними перевагами радарних систем є велика дальність виявлення об'єктів, висока точність роботи, стабільне функціонування у складних погодних умовах, можливість визначення швидкості руху об'єкта та стійкість до впливу зовнішнього освітлення. Завдяки використанню радіохвиль подібні системи здатні ефективно працювати у темний час доби, під час дощу, туману або снігу, що є важливою перевагою для автомобільних систем безпеки.

Радарні системи активно використовуються у сучасних транспортних засобах та є основою багатьох електронних систем допомоги водію. Найбільш поширеним є їх застосування у системах адаптивного круїз-контролю, автоматичного екстреного гальмування, утримання смуги руху та професійних системах контролю сліпих зон. Використання радарних технологій дозволяє значно підвищити рівень безпеки руху та автоматизувати частину функцій керування транспортним засобом.

Незважаючи на значні переваги, радарні системи мають і ряд недоліків. Основними з них є висока вартість обладнання, складність реалізації, необхідність використання складних алгоритмів цифрової обробки сигналів та підвищене енергоспоживання. Крім цього, інтеграція подібних систем у бюджетні електронні пристрої є досить складною та економічно недоцільною.

Саме через високу вартість та складність реалізації радарні системи переважно використовуються у транспортних засобах середнього та

преміального сегменту, де до електронних систем безпеки висуваються підвищені вимоги.

1.2.3 Оптичні системи на базі відеокамер

Системи комп'ютерного зору використовують відеокамери для аналізу навколишнього простору та виявлення потенційно небезпечних об'єктів. Подібні системи дозволяють розпізнавати транспортні засоби, виявляти пішоходів, аналізувати дорожню розмітку, визначати дорожні знаки та контролювати смуги руху. Завдяки використанню сучасних алгоритмів обробки зображень та методів комп'ютерного зору подібні системи можуть виконувати складний аналіз дорожньої ситуації у режимі реального часу.

Головною перевагою систем на базі відеокамер є велика кількість інформації, яку можна отримати з відеозображення. На відміну від ультразвукових або радарних систем, відеокамери дозволяють не лише визначати наявність об'єкта, а й аналізувати його форму, тип, напрямок руху та поведінку. Це відкриває широкі можливості для реалізації інтелектуальних систем допомоги водію та елементів автономного керування транспортним засобом.

Однак системи комп'ютерного зору мають і суттєві недоліки. Для їх роботи необхідні складні алгоритми обробки зображень та достатньо потужні процесори, здатні виконувати велику кількість обчислень у режимі реального часу. Крім цього, ефективність роботи подібних систем значною мірою залежить від умов зовнішнього освітлення. Під час дощу, туману, снігу або недостатнього освітлення якість роботи систем комп'ютерного зору може суттєво погіршуватися.

Незважаючи на це, оптичні системи на базі відеокамер активно використовуються у сучасних автомобілях та є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку інтелектуальних транспортних систем.

1.2.4 Обґрунтування вибору ультразвукового методу

Для реалізації даного проєкту було обрано ультразвуковий метод контролю сліпих зон на базі датчиків HC-SR04. Подібне рішення є одним із найбільш доступних та ефективних для створення мікроконтролерних систем контролю простору навколо транспортного засобу. Використання ультразвукових датчиків дозволяє реалізувати систему виявлення перешкод при відносно невеликій вартості електронних компонентів та простоті апаратної і програмної реалізації. [4]

Основними причинами вибору датчиків HC-SR04 стали низька вартість компонентів, простота підключення, сумісність із мікроконтролером ATmega328P, достатня точність вимірювання відстані та невелике енергоспоживання. Крім цього, датчики HC-SR04 мають простий принцип роботи та широко використовуються у сучасних мікроконтролерних системах, що значно спрощує процес розробки програмного забезпечення та налагодження пристрою.

Важливою перевагою є також доступність елементної бази та велика кількість технічної документації, прикладів підключення і програмних бібліотек для роботи з ультразвуковими датчиками. Це дозволяє значно скоротити час розробки системи та спростити інтеграцію датчиків у загальну структуру пристрою.

Ультразвуковий метод контролю сліпих зон забезпечує достатню точність вимірювання на малих дистанціях, що є особливо важливим під час паркування, руху заднім ходом та маневрування у щільному міському середовищі. Завдяки використанню трьох окремих датчиків система дозволяє реалізувати багатозонний контроль простору навколо транспортного засобу та значно підвищити рівень безпеки під час експлуатації автомобіля.

Діапазон вимірювання датчика HC-SR04 становить приблизно: 2 см – 200см

1.3 Принцип роботи ультразвукового датчика HC-SR04

Одним із ключових елементів розробленої системи контролю сліпих зон є ультразвуковий датчик відстані HC-SR04. Даний сенсор використовується для визначення відстані до об'єктів, що знаходяться у контрольованій зоні транспортного засобу.

Ультразвуковий метод вимірювання відстані широко використовується у сучасних електронних системах завдяки простоті реалізації, невисокій вартості та достатній точності вимірювань на малих дистанціях.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд ультразвукового датчика HC-SR04[4]

Принцип роботи датчика HC-SR04 базується на випромінюванні ультразвукової хвилі та подальшому аналізі часу повернення відбитого сигналу від перешкоди. Для генерації та прийому ультразвукових коливань датчик містить два п'єзoeлектричні випромінювачі, передавач і приймач.

Під час роботи мікроконтролер формує короткий імпульс тривалістю: 10 мкс на вході TRIG датчика. Після отримання цього імпульсу модуль HC-SR04 генерує пакет ультразвукових коливань частотою: 40 кГц

Після випромінювання сигналу датчик переходить у режим очікування відбитої хвилі. У разі наявності перешкоди ультразвукова хвиля відбивається від об'єкта та повертається до приймача датчика.

Час між моментом випромінювання сигналу та його поверненням вимірюється за допомогою виходу ЕСНО. Тривалість імпульсу на виході ЕСНО прямо пропорційна відстані до об'єкта.

Розрахунок відстані виконується за формулою(1.1)

Швидкість поширення звуку у повітрі при температурі: 20°С становить приблизно:

$$v = 343 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.3)$$

Ділення на 2 у формулі враховує те, що ультразвуковий сигнал проходить подвійну відстань:

1. від датчика до об'єкта;
2. від об'єкта назад до датчика.

Для прикладу розглянемо визначення відстані до об'єкта, якщо час проходження сигналу становить: $t = 8\text{мс}$

Тоді:

$$S = \frac{343 \cdot 0,008}{2} = 1.372 \text{ м} \quad (1.4)$$

Отже, об'єкт знаходиться на відстані приблизно: 137см:

У розробленій системі ультразвукові датчики використовуються для контролю простору зліва, справа та позаду транспортного засобу. Для реалізації багатозонного контролю сліпих зон автомобіля у системі застосовано три ультразвукових датчики HC-SR04. Подібне рішення дозволяє значно підвищити

ефективність роботи системи та забезпечити контроль найбільш небезпечних зон навколо транспортного засобу під час руху, паркування або маневрування[6].

Робочий діапазон системи у даному проєкті становить: 5 - 200 см

Саме такий діапазон було обрано як найбільш ефективний для роботи системи контролю сліпих зон транспортного засобу у міських умовах. Подібна дистанція дозволяє своєчасно виявляти перешкоди поблизу автомобіля та оперативно попереджати водія про небезпечне наближення до об'єктів.

При відстані менше: 150 см система активує світлову індикацію, звукове попередження та відображення інформації на OLED-дисплеї. Використання декількох способів попередження дозволяє підвищити ефективність роботи системи та забезпечити швидке реагування водія на зміну дорожньої ситуації[7].

Особливістю розробленої системи є також використання зовнішньої світлодіодної індикації, яка розташовується безпосередньо поблизу ультразвукових датчиків. Подібне рішення дозволяє реалізувати додаткове попередження для пішоходів та інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні транспортного засобу[8].

Використання декількох ультразвукових датчиків дозволяє значно зменшити кількість неконтрольованих зон навколо автомобіля та підвищити ефективність роботи системи контролю сліпих зон. Крім цього, подібне рішення забезпечує більш точне визначення положення перешкоди відносно транспортного засобу.

Основними перевагами датчика HC-SR04 є низька вартість, простота інтеграції у мікроконтролерні системи, сумісність із більшістю сучасних мікроконтролерів, достатня точність вимірювання відстані, невелике енергоспоживання та простота програмної реалізації. Завдяки цим перевагам датчики HC-SR04 широко використовуються у системах автоматизації, робототехніці та автомобільній електроніці.

Однак ультразвукові датчики мають і певні недоліки. На точність вимірювання може впливати температура повітря, форма поверхні об'єкта та наявність сторонніх акустичних шумів. Крім цього, датчики мають обмежений

кут огляду та можуть працювати нестабільно у складних погодних умовах, наприклад під час сильного дощу або снігу. Незважаючи на це, ультразвукові датчики залишаються одним із найбільш доступних та ефективних рішень для реалізації систем контролю сліпих зон транспортних засобів.

Незважаючи на це, для задач контролю близьких сліпих зон транспортного засобу ультразвуковий метод є одним із найбільш доцільних рішень завдяки оптимальному співвідношенню вартості, складності та точності роботи системи.

1.4 Обґрунтування вибору елементної бази системи

Під час розробки мікроконтролерної системи контролю сліпих зон транспортного засобу важливим етапом є правильний вибір елементної бази пристрою. Від обраних електронних компонентів безпосередньо залежать стабільність роботи системи, точність вимірювання відстані, енергоспоживання пристрою, загальна вартість системи, складність програмної та апаратної реалізації, а також можливість подальшої модернізації та розширення функціональних можливостей пристрою[8].

Під час вибору елементної бази особлива увага приділялася доступності компонентів, простоті інтеграції у мікроконтролерну систему, стабільності роботи та сумісності між окремими модулями. Крім цього, враховувалися умови подальшої експлуатації системи у транспортному засобі, де важливими є надійність роботи, стійкість до електромагнітних завад та стабільність живлення.

Для реалізації даного проєкту було обрано доступну та поширену елементну базу, яка дозволяє забезпечити необхідний функціонал системи при відносно невеликій вартості пристрою. Використання популярних електронних компонентів також значно спрощує процес розробки, налагодження та подальшого обслуговування системи.

До складу розробленої системи входять мікроконтролер ATmega328P, ультразвукові датчики HC-SR04, OLED-дисплей SSD1306, світлодіодна

індикація, активний звуковий бугер, фоторезистор, понижуючий DC-DC перетворювач LM2596 та кварцовий резонатор частотою 16 МГц[9].

Використання подібної елементної бази дозволяє реалізувати компактну, функціональну та енергоефективну систему контролю сліпих зон транспортного засобу з можливістю подальшого вдосконалення та розширення функціональних можливостей пристрою.

1.4.1 Вибір мікроконтролера ATmega328P

Центральним елементом системи є мікроконтролер ATmega328P виробництва компанії Microchip Technology.

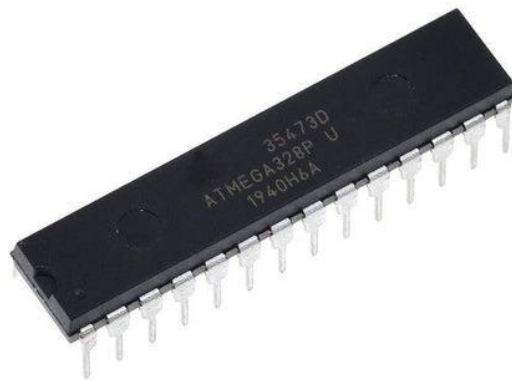


Рисунок 1.4 – Мікроконтролер ATmega328P та схема розташування його виводів[9]

Даний мікроконтролер побудований на базі 8-бітної AVR-архітектури та широко використовується у вбудованих системах, системах автоматизації, робототехніці та різноманітних мікроконтролерних пристроях. Популярність ATmega328P обумовлена вдалим поєднанням продуктивності, низького енергоспоживання, простоти програмування та доступної вартості. Саме тому даний мікроконтролер часто використовується у навчальних, промислових та автомобільних електронних системах[9].

Основними причинами вибору ATmega328P для даного проєкту стали доступність мікроконтролера, невисока вартість, достатня кількість цифрових та аналогових входів, наявність апаратних інтерфейсів зв'язку та низьке енергоспоживання. Крім цього, важливою перевагою є простота програмування та повна сумісність із середовищем Arduino IDE, що значно спрощує процес розробки програмного забезпечення та налагодження системи[9].

Мікроконтролер ATmega328P містить 32 КБ Flash-пам'яті для збереження програмного коду, 2 КБ оперативної пам'яті SRAM, 1 КБ EEPROM для зберігання даних, 23 лінії вводу-виводу, 6 каналів аналого-цифрового перетворювача, вбудовані таймери та апаратні інтерфейси UART, SPI та I2C. Подібний набір функціональних можливостей дозволяє реалізовувати достатньо складні мікроконтролерні системи без необхідності використання додаткових керуючих модулів.

У розробленій системі мікроконтролер виконує функцію центрального вузла обробки інформації. Саме він здійснює опитування ультразвукових датчиків, обчислення відстані до об'єктів, управління OLED-дисплеєм, керування світлодіодною індикацією та генерацію звукових сигналів. Крім цього, мікроконтролер обробляє сигнали від кнопки керування та виконує зчитування даних з фоторезистора для контролю рівня зовнішнього освітлення.

Завдяки використанню ATmega328P вдалося реалізувати компактну, функціональну та енергоефективну систему контролю сліпих зон транспортного засобу з можливістю подальшого розширення функціональних можливостей пристрою.

Тактова частота мікроконтролера у проєкті становить:

$$f = 16\text{МГц} \quad (1.5)$$

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера у системі використовується зовнішній кварцовий резонатор. Використання кварцового

генератора дозволяє забезпечити стабільність тактової частоти та підвищити точність роботи таймерів, інтерфейсів зв'язку та часових затримок[10].

Для коректної роботи кварцового резонатора використовуються два керамічні конденсатори номіналом:22пФ[11].

Які підключаються до виводів кварцу та загальної шини живлення. Подібна схема підключення дозволяє забезпечити стабільну генерацію тактового сигналу та зменшити вплив електромагнітних завад на роботу мікроконтролера.

Сумарна ємність конденсаторів кварцового генератора визначається відповідно до рекомендацій виробника мікроконтролера та параметрів самого кварцового резонатора.

У процесі роботи системи мікроконтролер здійснює послідовне опитування трьох ультразвукових датчиків HC-SR04, обробляє отримані сигнали та визначає відстань до об'єктів, які знаходяться у контрольованій зоні транспортного засобу.

Отримані значення відстані відображаються на OLED-дисплеї у режимі реального часу[7]. Крім цього, мікроконтролер аналізує критичність наближення об'єкта та керує:

1. світлодіодною індикацією;
2. звуковим бузером;
3. режимами роботи системи.

При виявленні об'єкта на відстані менше:150см система активує світлову та звукову сигналізацію. Такий поріг було обрано як оптимальний для своєчасного попередження водія про небезпечне наближення до перешкоди.

Особливістю розробленої системи є реалізація зовнішньої світлової індикації, яка розташовується поблизу ультразвукових датчиків. У разі виявлення об'єкта світлодіоди не лише інформують водія транспортного засобу, а й додатково попереджають пішоходів або інших учасників дорожнього руху про перебування у сліпій зоні автомобіля[11].

Для програмної реалізації системи було використано середовище Arduino IDE. Дане середовище дозволяє значно спростити процес написання, компіляції та налагодження програмного забезпечення для мікроконтролера[12].

Це дозволяє значно скоротити час розробки системи та підвищити стабільність програмної реалізації[13,14].

Важливою перевагою мікроконтролера ATmega328P також є його низьке енергоспоживання. Це особливо важливо для автомобільних електронних систем, які повинні забезпечувати стабільну та безперервну роботу при мінімальному навантаженні на бортову мережу транспортного засобу.

Таким чином, використання мікроконтролера ATmega328P дозволяє реалізувати компактну, функціональну та недорогу систему контролю сліпих зон транспортного засобу з можливістю подальшого розширення функціоналу та модернізації системи.

1.4.2 Вибір ультразвукових датчиків HC-SR04

Для реалізації системи контролю сліпих зон транспортного засобу було обрано ультразвукові датчики відстані HC-SR04. Даний тип сенсорів широко використовується у мікроконтролерних системах завдяки простоті інтеграції, низькій вартості та достатній точності вимірювання відстані на малих дистанціях.

Основною задачею датчиків у даній системі є визначення наявності об'єктів у контрольованих зонах транспортного засобу та передача інформації мікроконтролеру для подальшої обробки.

У розробленій системі використовується три ультразвукові датчики:

1. лівий датчик;
2. правий датчик;
3. задній датчик.

Подібне рішення дозволяє реалізувати багатозонний контроль простору навколо автомобіля та зменшити кількість неконтрольованих ділянок

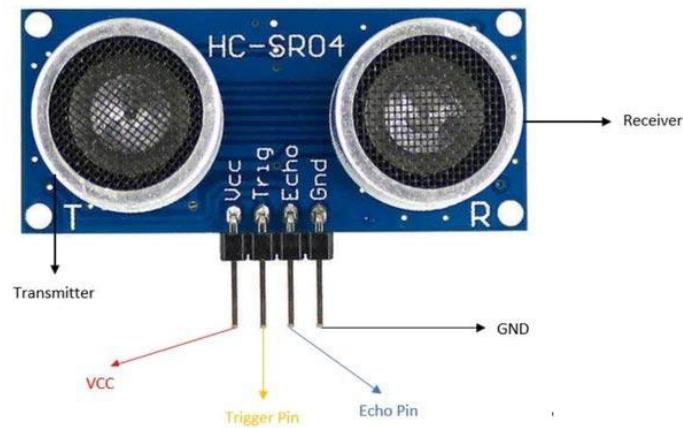


Рисунок 1.5 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Датчик HC-SR04 є одним із найбільш доступних ультразвукових модулів для мікроконтролерних систем. Його конструкція забезпечує достатню точність вимірювання відстані при відносно невеликій вартості, що є важливим фактором під час розробки бюджетних електронних систем безпеки транспортних засобів.

Основні характеристики датчика HC-SR04:

1. напруга живлення: 5V
2. робоча частота: 40кГц
3. робочий діапазон: 5 см – 200 см
4. кут огляду: 15
5. кількість контактів: 4

Живлення датчика здійснюється стабілізованою напругою: 5V

що забезпечує повну сумісність із мікроконтролером ATmega328P та іншими елементами системи.

Підключення датчиків до мікроконтролера виконується за допомогою цифрових входів та виходів. Для роботи кожного датчика використовуються, лінія запуску вимірювання TRIG та лінія прийому сигналу ECHO

Подібний спосіб підключення не потребує використання складних інтерфейсів зв'язку та значно спрощує програмну реалізацію системи.

Важливою перевагою HC-SR04 є його компактність. Невеликі габаритні розміри дозволяють зручно розміщувати датчики на корпусі транспортного засобу без суттєвого впливу на зовнішній вигляд автомобіля.

У розробленій системі кожен датчик працює разом із окремим світлодіодним індикатором. Світлодіоди планується розміщувати безпосередньо поблизу ультразвукових сенсорів. Це дозволяє реалізувати додаткову систему зовнішнього візуального попередження для пішоходів та інших учасників дорожнього руху.

При виявленні об'єкта на відстані менше: 150см
система активує:

1. світлову індикацію;
2. звукове попередження;
3. відображення інформації на OLED-дисплеї.

Таким чином, система виконує функцію двостороннього попередження, інформує водія транспортного засобу та додатково попереджає пішоходів про перебування у небезпечній зоні автомобіля.

Подібний підхід дозволяє підвищити рівень безпеки дорожнього руху та зменшити ймовірність виникнення небезпечних ситуацій під час маневрування транспортного засобу.

Ще однією важливою перевагою HC-SR04 є його низьке енергоспоживання. Це дозволяє забезпечити тривалу та стабільну роботу системи без значного навантаження на джерело живлення транспортного засобу.

Таким чином, використання ультразвукових датчиків HC-SR04 дозволяє реалізувати компактну, доступну та ефективну систему контролю сліпих зон транспортного засобу з можливістю подальшої модернізації та розширення функціоналу системи.

1.4.3 Вибір OLED-дисплея SSD1306

Для відображення інформації про роботу системи у даному проєкті було обрано OLED-дисплей SSD1306. Даний дисплей використовується для виведення інформації про відстань до об'єктів, стан системи та режим роботи пристрою [15].

Використання дисплея дозволяє значно підвищити інформативність системи та забезпечити зручне відображення даних у режимі реального часу.



Рисунок 1.6 – OLED-дисплей [7]

OLED-дисплеї широко використовуються у сучасних мікроконтролерних системах завдяки високій контрастності зображення, низькому енергоспоживанню, компактним габаритним розмірам та широкому куту огляду. Важливою перевагою подібних дисплеїв є також простота інтеграції у мікроконтролерні системи та можливість швидкого відображення текстової й графічної інформації у режимі реального часу.

На відміну від звичайних LCD-дисплеїв, OLED-технологія не потребує окремого підсвічування, оскільки кожен піксель випромінює світло самостійно. Це дозволяє отримати високу якість зображення та зменшити енергоспоживання системи.

Основні характеристики дисплея SSD1306:

1. напруга живлення: 5В
2. інтерфейс підключення: I2C
3. роздільна здатність: 128×64
4. тип дисплея: OLED
5. колір відображення: білий

Використання інтерфейсу I2C дозволяє значно зменшити кількість ліній підключення OLED-дисплея до мікроконтролера. Для роботи дисплея використовуються лише дві сигнальні лінії - SDA та SCL, через які здійснюється передача даних між мікроконтролером ATmega328P і дисплеєм SSD1306. Подібний спосіб підключення є однією з головних переваг інтерфейсу I2C, оскільки дозволяє значно економити виводи мікроконтролера та спрощує підключення периферійних пристроїв у мікроконтролерних системах.

Завдяки використанню лише двох сигнальних ліній з'являється можливість підключення додаткових датчиків та модулів без суттєвого збільшення кількості з'єднань. Це особливо важливо для компактних електронних систем, у яких кількість доступних виводів мікроконтролера є обмеженою.

У розробленій системі OLED-дисплей використовується для відображення інформації про роботу пристрою у режимі реального часу. На дисплей виводяться значення відстані до об'єктів, активні зони контролю, службова інформація та поточний стан системи. Використання дисплея дозволяє водію оперативно отримувати інформацію про ситуацію навколо транспортного засобу та швидко реагувати на появу перешкод у сліпих зонах.

Крім цього, OLED-дисплей забезпечує високу контрастність та хорошу читабельність інформації навіть при різних умовах освітлення. Завдяки компактним розмірам дисплей може бути зручно розміщений у салоні транспортного засобу без значного впливу на ергономіку системи [6, 7].

Інформація на дисплеї оновлюється у режимі реального часу, що дозволяє водію оперативно контролювати ситуацію навколо транспортного засобу.

Важливою перевагою OLED-дисплея є його висока контрастність. Інформація добре читається як у темний час доби, так і при достатньому зовнішньому освітленні.

Крім цього, дисплей має компактні габаритні розміри, що дозволяє зручно розмістити його у салоні транспортного засобу без значного впливу на ергономіку системи.

Для програмної реалізації роботи дисплея у системі використовуються готові бібліотеки: Adafruit GFX, Adafruit SSD1306

Використання готових бібліотек значно спрощує процес програмування та дозволяє швидко реалізувати виведення текстової інформації на дисплей.

Однією з особливостей OLED-дисплея є низьке енергоспоживання. Це особливо важливо для автомобільних електронних систем, які повинні забезпечувати стабільну роботу при мінімальному навантаженні на джерело живлення транспортного засобу.

Таким чином, використання OLED-дисплея SSD1306 дозволяє реалізувати компактну, енергоефективну та інформативну систему відображення даних у складі мікроконтролерної системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

1.4.4 Вибір світлодіодної індикації

Для реалізації системи візуального попередження у даному проєкті використовуються світлодіодні індикатори. Основною задачею світлодіодів є візуальне інформування водія та інших учасників дорожнього руху про наявність об'єкта у контрольованій зоні транспортного засобу.

У системі використовується три світлодіодні індикатори:

1. для лівої зони контролю;
2. для правої зони контролю;
3. для задньої зони контролю.

Подібне рішення дозволяє реалізувати окрему індикацію для кожного ультразвукового датчика та забезпечити більш зручне сприйняття інформації водієм



Рисунок 1.7 – Світлодіодні індикатори системи [16]

Світлодіоди є одним із найбільш поширених типів електронної індикації завдяки низькому енергоспоживанню, простоті підключення, високій яскравості, довговічності та компактним габаритним розмірам. Саме тому світлодіодна індикація широко використовується у сучасних електронних та автомобільних системах, де важливими є надійність роботи, енергоефективність та швидкість реагування на зміну стану системи [16, 17].

Особливістю розробленої системи є те, що світлодіоди планується розташовувати безпосередньо поблизу ультразвукових датчиків. Подібне рішення дозволяє реалізувати не лише внутрішню систему індикації для водія транспортного засобу, а й додаткову зовнішню систему попередження для пішоходів та інших учасників дорожнього руху. Таким чином, система виконує не тільки функцію інформування водія про наявність перешкоди, а й підвищує загальний рівень безпеки навколо автомобіля.

У разі виявлення об'єкта у сліпій зоні транспортного засобу відповідний світлодіод активується та попереджає про небезпечне наближення до автомобіля. Завдяки використанню окремих світлодіодів для кожної зони контролю водій може швидко визначити напрямок розташування перешкоди та оперативно реагувати на зміну дорожньої ситуації.

Подібний підхід дозволяє реалізувати двосторонній принцип інформування, при якому водій отримує візуальний та звуковий сигнал про небезпечне наближення до об'єкта, а пішохід або інший учасник дорожнього руху отримує

додаткове зовнішнє світлове попередження. Використання такої системи особливо ефективно під час паркування, руху заднім ходом, перестроювання та маневрування у щільному міському середовищі, де ризик виникнення небезпечних ситуацій є найбільш високим.

Крім цього, світлодіодна індикація характеризується високою швидкістю спрацювання та стабільною роботою навіть при тривалому використанні системи. Це дозволяє забезпечити надійне функціонування пристрою у різних умовах експлуатації транспортного засобу.

Живлення світлодіодів здійснюється напругою: 5В

Для обмеження струму через світлодіоди використовуються струмообмежувальні резистори.

Розрахунок опору резистора виконується за законом Ома:

$$R = \frac{U_{\text{жив}} - U_{LED}}{I_{LED}} \quad (1.6)$$

Підставимо значення у формулу:

$$R = \frac{5 - 2}{0.015} = 200 \text{ Ом} \quad (1.7)$$

Найближчим стандартним номіналом є: 220 Ом

Саме тому у схемі використовуються резистори номіналом: 220 Ом

Використання струмообмежувального резистора дозволяє:

1. обмежити струм через світлодіод;
2. запобігти перегріву р-п переходу;
3. збільшити термін служби індикатора;
4. забезпечити стабільний режим роботи.

Світлодіоди підключаються до цифрових виходів мікроконтролера ATmega328P та керуються програмно. При наближенні об'єкта на відстань менше:150 см

мікроконтролер активує відповідний світлодіодний індикатор.

Завдяки використанню окремих світлодіодів для кожної зони контролю водій може швидко визначити, з якого боку транспортного засобу знаходиться перешкода.

Важливою перевагою світлодіодної індикації є також її висока швидкодія. Світлодіоди практично миттєво реагують на зміну сигналу керування, що дозволяє оперативно попереджати про появу об'єкта у небезпечній зоні.

Таким чином, використання світлодіодної індикації дозволяє реалізувати просту, надійну та ефективну систему візуального попередження у складі системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

1.4.5 Вибір звукового бузера

Для реалізації системи звукового попередження у даному проєкті використовується активний звуковий бузер. Основною задачею бузера є оперативне звукове інформування водія про наявність об'єкта у небезпечній зоні транспортного засобу.

Використання звукової сигналізації дозволяє значно підвищити ефективність роботи системи, оскільки водій отримує попередження навіть у випадку, коли не контролює OLED-дисплей або світлодіодну індикацію.



Рисунок 1.8 – Активний звуковий бузер [18]

Активний бузер містить вбудований генератор звукового сигналу, тому для його роботи достатньо подати живлення на відповідні контакти. Це значно спрощує програмну реалізацію системи та зменшує навантаження на мікроконтролер.

Основними перевагами активного бузера є:

Основними перевагами використання активного бузера у даній системі є простота підключення, низьке енергоспоживання, достатня гучність звукового сигналу, компактні габаритні розміри та висока надійність роботи. Крім цього, активний бузер характеризується швидкою реакцією на сигнал керування, що дозволяє практично миттєво формувати звукове попередження при виявленні об'єкта у небезпечній зоні транспортного засобу.

На відміну від пасивних звукових випромінювачів, активний бузер містить вбудований генератор звукового сигналу, тому для його роботи достатньо подати напругу живлення на відповідні контакти. Подібне рішення значно спрощує програмну реалізацію системи та дозволяє зменшити навантаження на мікроконтролер.

Живлення бузера здійснюється напругою: 5В

Керування бузером виконується мікроконтролером ATmega328P через транзисторний ключ. Використання транзистора дозволяє зменшити навантаження на вихід мікроконтролера, забезпечити стабільну роботу звукової

сигналізації та підвищити загальну надійність системи. Крім цього, транзисторний ключ дозволяє безпечно комутувати навантаження без ризику перевищення допустимого струму вихідних ліній мікроконтролера.

У розробленій системі транзистор працює у ключовому режимі. При подачі керуючого сигналу з мікроконтролера транзистор відкривається та подає живлення на буюер, у результаті чого формується звуковий сигнал попередження. Подібний спосіб керування є простим, надійним та широко використовується у сучасних мікроконтролерних системах.

У схемі використовується NPN-транзистор, який працює у ключовому режимі. При подачі сигналу з мікроконтролера транзистор відкривається та подає живлення на буюер.

Для обмеження струму бази транзистора використовується резистор.

Розрахунок базового резистора виконується за законом Ома:

$$R_b = \frac{U_{out} - U_{BE}}{I_b} \quad (1.8)$$

У результаті розрахунків було обрано резистор номіналом: 1кОм

що забезпечує стабільне відкривання транзистора та коректну роботу буюера.

У системі звукове попередження активується при виявленні об'єкта на відстані менше: 150см

Подібний поріг дозволяє своєчасно попередити водія про небезпечне наближення до перешкоди.

Особливістю розробленої системи є наявність кнопки керування звуковою сигналізацією. Користувач має можливість тимчасово вимкнути буюер у випадку роботи системи в умовах щільного міського руху або під час тривалого маневрування.



Рисунок 1.9 – Кнопка керування звуковою сигналізацією

Використання кнопки дозволяє:

1. підвищити комфорт експлуатації системи;
2. зменшити звуковий дискомфорт;
3. адаптувати роботу системи до умов використання.

Незважаючи на можливість вимкнення звукового сигналу, світлодіодна індикація та OLED-дисплей продовжують працювати у штатному режимі.

Важливою перевагою використання звукового бузера є його висока швидкість реакції. Звуковий сигнал формується практично миттєво після виявлення об'єкта, що дозволяє своєчасно попереджати водія про небезпечну ситуацію.

Таким чином, використання активного звукового бузера дозволяє реалізувати просту, ефективну та надійну систему звукового попередження у складі системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

1.4.6 Вибір фоторезистора

Для реалізації автоматичної адаптації системи до умов зовнішнього освітлення у даному проєкті використовується фоторезистор типу LDR. Основною задачею фоторезистора є визначення рівня освітленості

навколишнього середовища та передача відповідної інформації мікроконтролеру [19].

Використання фоторезистора дозволяє підвищити комфорт експлуатації системи у денний та нічний час, а також забезпечити більш гнучку роботу світлодіодної індикації.



Рисунок 1.10 – Фоторезистор типу LDR [19]

Основними перевагами використання фоторезистора у даній системі є простота підключення, невисока вартість, компактні габаритні розміри та низьке енергоспоживання. Крім цього, фоторезистори широко використовуються у мікроконтролерних системах завдяки простоті програмної реалізації та достатній чутливості до зміни рівня зовнішнього освітлення. Використання подібного сенсора дозволяє реалізувати автоматичну адаптацію роботи системи до умов навколишнього середовища без необхідності застосування складних або дорогих датчиків освітлення.

Принцип роботи фоторезистора базується на зміні його електричного опору залежно від рівня освітленості. При збільшенні освітлення опір фоторезистора зменшується, а при зменшенні рівня освітлення - збільшується. Подібна особливість дозволяє використовувати фоторезистор для визначення рівня

зовнішнього освітлення та подальшої обробки отриманих даних мікроконтролером.

Для зчитування рівня освітленості у системі використовується схема подільника напруги, яка складається з фоторезистора та постійного резистора. Подібне рішення дозволяє перетворювати зміну опору фоторезистора у зміну електричної напруги, яка подається на аналоговий вхід мікроконтролера ATmega328P.

Отримані значення напруги аналізуються мікроконтролером та можуть використовуватися для автоматичної зміни режиму роботи системи залежно від умов зовнішнього освітлення. Використання подільника напруги є простим та ефективним способом підключення аналогових сенсорів до мікроконтролерних систем та широко застосовується у сучасних електронних пристроях.

Вихідна напруга подільника визначається за формулою:

$$U_{out} = U_{cc} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.9)$$

У даному проєкті використовується резистор номіналом: 10кОм

При середньому рівні освітлення опір фоторезистора також становить приблизно: 10кОМ

Тоді вихідна напруга подільника буде дорівнювати:

$$U_{out} = 5 \cdot \frac{10}{10 + 10} = 2.5V \quad (1.10)$$

Отримане значення є оптимальним для аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера ATmega328P.

Підключення фоторезистора здійснюється до аналогового входу мікроконтролера, що дозволяє безперервно контролювати рівень зовнішнього освітлення та програмно аналізувати отримані значення.

У розробленій системі фоторезистор використовується для:

1. контролю рівня освітлення;
2. адаптації режиму роботи системи;
3. покращення візуального сприйняття індикації;
4. зменшення навантаження на водія у темний час доби.

Використання автоматичної адаптації освітлення дозволяє зробити систему більш комфортною для повсякденного використання у різних умовах експлуатації транспортного засобу.

Важливою перевагою фоторезистора є також його низьке енергоспоживання. Даний елемент практично не створює значного навантаження на систему живлення та може безперервно працювати протягом тривалого часу.

Крім цього, фоторезистор має просту конструкцію та не потребує складного програмного забезпечення для роботи, що значно спрощує реалізацію системи.

Таким чином, використання фоторезистора типу LDR дозволяє реалізувати просту та ефективну систему контролю зовнішнього освітлення у складі мікроконтролерної системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

1.4.7 Вибір DC-DC перетворювача LM2596

Оскільки розроблена система призначена для використання у транспортному засобі, важливим етапом проєктування є забезпечення стабільного живлення всіх електронних компонентів системи.

Бортова мережа транспортного засобу має напругу: 24В

У той же час більшість електронних компонентів системи працюють при напрузі: 5В

Тому для забезпечення коректної роботи пристрою необхідно реалізувати пониження та стабілізацію напруги живлення.

Для вирішення даної задачі у проєкті було обрано імпульсний понижуючий DC-DC перетворювач LM2596.

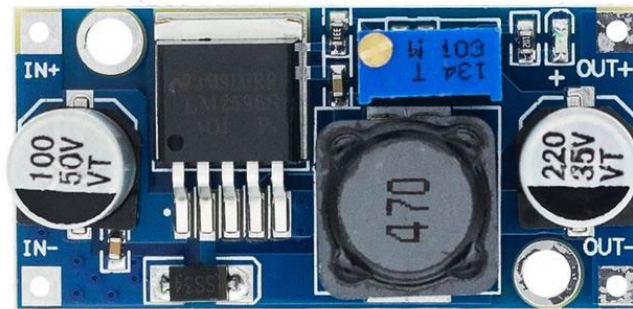


Рисунок 1.11 – Понижуючий DC-DC перетворювач LM2596 [20]

Модуль LM2596 широко використовується у сучасних електронних системах завдяки:

Модуль LM2596 широко використовується у сучасних електронних системах завдяки високому коефіцієнту корисної дії, стабільності вихідної напруги, простоті використання, компактним габаритним розмірам та широкому діапазону вхідних напруг. Основною задачею перетворювача у даній системі є пониження напруги бортової мережі транспортного засобу, стабілізація живлення електронних компонентів, захист системи від перенапруги та забезпечення стабільної роботи всіх функціональних вузлів пристрою.

Вхідна напруга модуля становить: 24В

Вихідна стабілізована напруга: 5В

Саме така напруга необхідна для живлення мікроконтролера ATmega328P, ультразвукових датчиків HC-SR04, OLED-дисплея, світлодіодної індикації та звукового бузера.

Перевагою імпульсного перетворювача над лінійними стабілізаторами є значно вищий коефіцієнт корисної дії, що дозволяє зменшити втрати енергії та нагрів елементів системи під час роботи пристрою.

Коефіцієнт перетворення напруги визначається як:

$$K = \frac{5}{24} = 0.208 \quad (1.11)$$

Отримане значення показує, що вихідна напруга становить приблизно: 20.8%

від вхідної напруги.

Використання лінійного стабілізатора при такому співвідношенні напруг призвело б до значних втрат енергії та сильного нагрівання елементів системи.

На відміну від лінійних стабілізаторів, LM2596 працює в імпульсному режимі, що дозволяє значно зменшити тепловиділення, підвищити коефіцієнт корисної дії, знизити навантаження на систему живлення та забезпечити стабільну роботу пристрою. Коефіцієнт корисної дії подібних імпульсних перетворювачів може досягати: 80 – 90%

що є важливою перевагою для автомобільних електронних систем, де особливе значення мають енергоефективність та стабільність роботи пристрою.

Для додаткового захисту системи у схемі також використовується запобіжник, який забезпечує захист електронних компонентів від перевантаження, запобігає пошкодженню системи при короткому замиканні та підвищує загальну надійність роботи пристрою.



Рисунок 1.12 – Автомобільний запобіжник

Використання стабілізованого живлення є особливо важливим для мікроконтролерних систем, оскільки навіть незначні коливання напруги можуть негативно впливати на роботу електронних компонентів пристрою. Нестабільне живлення здатне призводити до порушення роботи мікроконтролера, появи помилок під час вимірювання відстані ультразвуковими датчиками, самовільного перезавантаження системи та виникнення програмних збоїв. Особливо критичними подібні проблеми є для систем реального часу, де точність обробки сигналів та стабільність функціонування мають важливе значення для безпечної роботи пристрою.

Крім цього, нестабільна напруга живлення може викликати некоректну роботу OLED-дисплея, помилки передачі даних через інтерфейс I2C, нестабільне спрацювання світлодіодної індикації та звукового бузера. У деяких випадках різкі перепади напруги можуть навіть призвести до пошкодження окремих електронних компонентів системи, що особливо небажано для автомобільних електронних пристроїв.

Саме тому у розробленій системі використовується імпульсний DC-DC перетворювач LM2596, який забезпечує стабільне пониження напруги бортової мережі транспортного засобу та підтримує постійне значення вихідної напруги

незалежно від зміни навантаження або коливань вхідної напруги. Використання стабілізованого джерела живлення дозволяє забезпечити коректну роботу мікроконтролера, точність вимірювання відстані, стабільне функціонування OLED-дисплея та надійну роботу всієї системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

Таким чином, використання DC-DC перетворювача LM2596 дозволяє забезпечити стабільне, надійне та ефективне живлення всіх елементів системи при мінімальних енергетичних втратах та високій ефективності роботи пристрою.

1.4.8 Вибір кварцового резонатора

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера ATmega328P у даному проєкті використовується зовнішній кварцовий резонатор. Використання зовнішнього генератора тактової частоти є важливим елементом мікроконтролерної системи, оскільки саме тактова частота визначає швидкість виконання програмного коду та стабільність роботи всіх функціональних вузлів пристрою .

Тактова частота мікроконтролера безпосередньо впливає на швидкість обробки інформації, роботу таймерів, точність формування часових затримок, стабільність інтерфейсів зв'язку та коректність функціонування периферійних модулів системи. Особливо важливе значення стабільна тактова частота має для систем, у яких виконується точне вимірювання часових інтервалів, оскільки навіть незначні відхилення можуть призводити до помилок у роботі пристрою.

У даній системі використовується кварцовий резонатор із частотою: 16 МГц

Подібне значення тактової частоти є одним із найбільш поширених для мікроконтролерів сімейства AVR та забезпечує оптимальне співвідношення між продуктивністю системи, стабільністю роботи та енергоспоживанням.

Використання зовнішнього кварцового резонатора дозволяє забезпечити значно вищу точність генерації тактового сигналу у порівнянні з внутрішнім RC-

генератором мікроконтролера. Це особливо важливо для роботи ультразвукових датчиків HC-SR04, оскільки визначення відстані до об'єкта виконується на основі точного вимірювання часу проходження ультразвукового сигналу.

Крім цього, стабільна тактова частота забезпечує коректну роботу OLED-дисплея SSD1306 та інтерфейсу I2C, через який виконується передача даних між мікроконтролером і дисплеєм. Нестабільна робота генератора може призводити до помилок передачі даних, спотворення інформації на дисплеї та появи програмних збоїв.

Таким чином, використання зовнішнього кварцового резонатора дозволяє забезпечити стабільну, точну та надійну роботу всієї мікроконтролерної системи контролю сліпих зон транспортного засобу.



Рисунок 1.13 – Кварцовий резонатор 16 МГц [21]

Використання зовнішнього кварцового генератора дозволяє забезпечити значно вищу стабільність тактової частоти у порівнянні з внутрішнім RC-генератором мікроконтролера.

Основними перевагами використання кварцового резонатора є висока точність генерації тактової частоти, стабільність роботи всієї системи, коректне функціонування таймерів мікроконтролера, точність формування часових затримок, стабільна робота інтерфейсу I2C та зменшення ймовірності

виникнення програмних збоїв. У розробленій системі кварцовий резонатор використовується для забезпечення стабільної роботи OLED-дисплея, ультразвукових датчиків HC-SR04, таймерів мікроконтролера та алгоритмів вимірювання часу проходження ультразвукового сигналу.

Особливо важливою стабільність тактової частоти є для роботи ультразвукових датчиків HC-SR04, оскільки визначення відстані виконується на основі точного вимірювання часових інтервалів. При нестабільній тактовій частоті можливі похибки вимірювання, нестабільна робота системи, помилки обчислення відстані та порушення роботи OLED-дисплея.

Для підключення кварцового резонатора використовуються два керамічні конденсатори номіналом: 22пФ

Конденсатори підключаються між выводами кварцу та загальною шиною живлення.

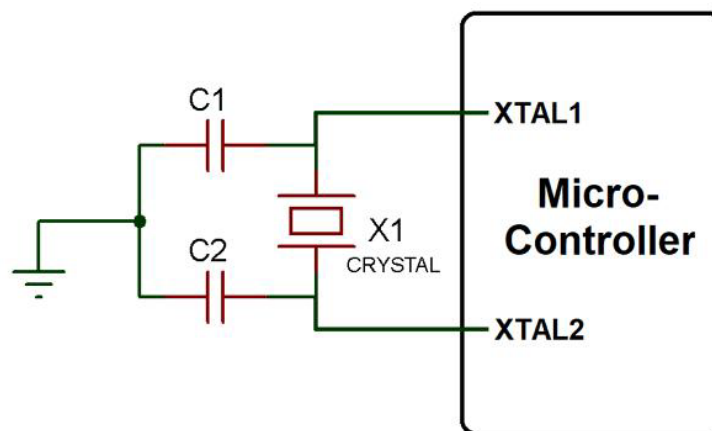


Рисунок 1.14 – Схема підключення кварцового резонатора

Використання конденсаторів дозволяє стабілізувати генерацію сигналу, зменшити вплив електромагнітних завад, забезпечити надійний запуск генератора та підвищити загальну стабільність роботи мікроконтролерної системи [21].

Ємність конденсаторів вибирається відповідно до рекомендацій виробника мікроконтролера та параметрів кварцового резонатора.

У більшості схем на базі ATmega328P використовуються конденсатори:

18 – 22пФ

У даному проєкті було обрано значення: 22пФ

що забезпечує стабільну роботу генератора при частоті: 16 МГц

Використання зовнішнього кварцового резонатора також забезпечує коректну роботу середовища моделювання Proteus та стабільне виконання програмного коду під час симуляції системи.

Таким чином, використання кварцового резонатора 16 МГц дозволяє забезпечити стабільну, точну та надійну роботу мікроконтролерної системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

1.5 Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи проведено аналіз проблеми виникнення сліпих зон транспортних засобів та розглянуто сучасні методи контролю простору навколо автомобіля. Встановлено, що сліпі зони є однією з основних причин виникнення небезпечних ситуацій під час паркування, руху заднім ходом, перестроювання та маневрування.

У результаті аналізу існуючих систем визначено, що для реалізації доступної та ефективної мікроконтролерної системи доцільно використовувати ультразвукові датчики відстані. Таке рішення забезпечує достатню точність виявлення перешкод при невеликій вартості та простоті реалізації.

Розглянуто принцип роботи ультразвукових датчиків HC-SR04, їх основні характеристики та особливості застосування. Встановлено, що використання трьох датчиків дозволяє реалізувати багатозонний контроль простору навколо транспортного засобу та зменшити кількість неконтрольованих ділянок.

Також проведено вибір основних компонентів системи: мікроконтролера ATmega328P, OLED-дисплея SSD1306, світлодіодної індикації, звукового бузера, фоторезистора, DC-DC перетворювача LM2596 та кварцового резонатора. Для кожного елемента обґрунтовано доцільність його використання.

Особливу увагу приділено системі живлення пристрою. Визначено необхідність використання імпульсного DC-DC перетворювача для пониження напруги бортової мережі автомобіля з 24 В до 5 В. Встановлено, що застосування мікроконтролера ATmega328P забезпечує достатню продуктивність системи при низькому енергоспоживанні.

Особливістю розробленої системи є зовнішня світлодіодна індикація, яка дозволяє попереджати не лише водія, а й пішоходів та інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні автомобіля.

Також визначено основні вимоги до розробки друкованої плати, розміщення компонентів та організації ліній живлення і сигнальних провідників.

Таким чином, сформовано технічну основу для подальшої розробки системи контролю сліпих зон транспортного засобу та обґрунтовано вибір основних технічних рішень і елементної бази проєкту.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ СИСТЕМИ

2.1 Розробка принципової схеми системи

Після проведення аналізу існуючих систем контролю сліпих зон транспортних засобів та вибору елементної бази наступним етапом розробки стала побудова принципової електричної схеми системи. Принципова схема є основою будь-якого електронного пристрою, оскільки саме вона визначає спосіб підключення компонентів, взаємодію функціональних вузлів системи та організацію живлення всіх елементів пристрою.

Під час розробки принципової схеми особлива увага приділялася простоті реалізації системи, стабільності роботи мікроконтролера, мінімізації кількості з'єднань та забезпеченню зручності подальшого трасування друкованої плати. Крім цього, враховувалися особливості подальшого використання системи у транспортному засобі та необхідність забезпечення стабільної роботи пристрою в умовах можливих електромагнітних завад і перепадів напруги бортової мережі.

Розроблена система контролю сліпих зон транспортного засобу складається з декількох основних функціональних вузлів, серед яких мікроконтролерний блок, система ультразвукових датчиків, OLED-дисплей, світлодіодна індикація, звуковий бузер, система контролю освітлення та блок живлення. Усі функціональні елементи системи взаємодіють між собою через мікроконтролер ATmega328P, який виконує функцію центрального вузла обробки інформації.

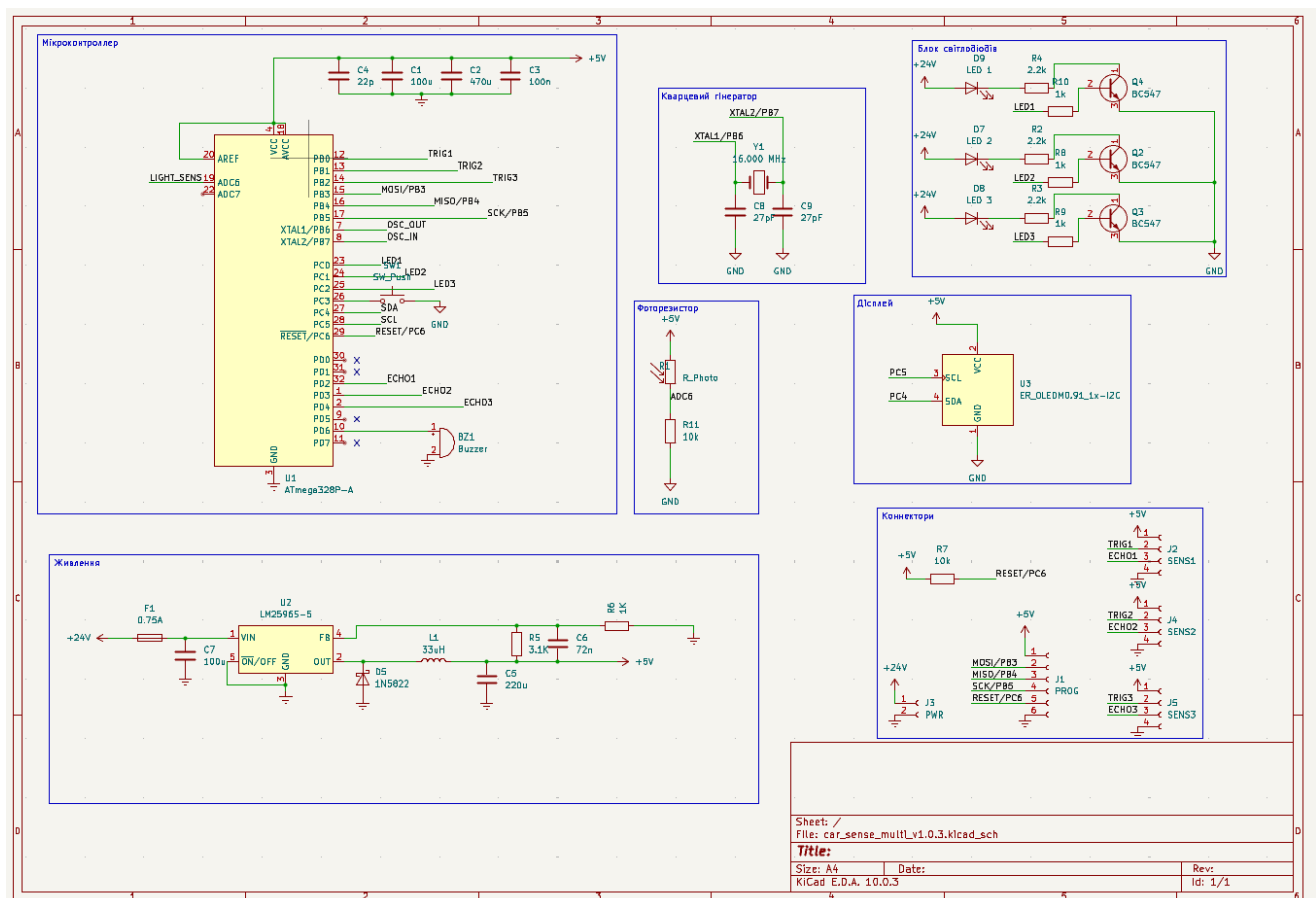


Рисунок 2.1 – Принципова схема системи контролю сліпих зон

Основним елементом системи є мікроконтролер ATmega328P, який забезпечує обробку інформації, отриманої від ультразвукових датчиків, виконує обчислення відстані до об'єктів та керує всіма периферійними елементами системи. Саме мікроконтролер здійснює опитування датчиків, формування звукових сигналів, керування світлодіодною індикацією та виведення інформації на OLED-дисплей.

Для контролю простору навколо транспортного засобу у системі використовується три ультразвукові датчики HC-SR04, які відповідають за контроль лівої, правої та задньої зон автомобіля. Використання трьох окремих датчиків дозволяє реалізувати багатозонний контроль сліпих зон та значно зменшити кількість неконтрольованих ділянок навколо транспортного засобу.

Підключення ультразвукових датчиків до мікроконтролера виконується за допомогою цифрових ліній TRIG та ECHO. Лінія TRIG використовується для запуску процесу вимірювання, а лінія ECHO - для передачі інформації про час проходження ультразвукового сигналу. На основі отриманих даних мікроконтролер виконує обчислення відстані до об'єкта та визначає рівень небезпеки наближення перешкоди.

У розробленій системі робочий діапазон ультразвукових датчиків становить:

Для реалізації звукового попередження використовується активний буюер, який активується при виявленні об'єкта на відстані менше: 150 см

Користувач має можливість тимчасового вимкнення звукового сигналу за допомогою кнопки керування.

Для автоматичної адаптації системи до умов зовнішнього освітлення використовується фоторезистор. Отримані значення освітленості аналізуються мікроконтролером та можуть використовуватися для зміни режиму роботи індикації.

Живлення системи здійснюється від бортової мережі транспортного засобу з напругою: 24 В

Для пониження та стабілізації напруги використовується імпульсний DC-DC перетворювач LM2596, який формує стабілізовану напругу: 5В

Необхідну для роботи всіх електронних компонентів системи.

Для захисту системи від перевантаження та короткого замикання у схемі використовується автомобільний запобіжник.

Усі функціональні блоки системи взаємодіють між собою через мікроконтролер ATmega328P, який забезпечує узгоджену та стабільну роботу всього пристрою. [21]

Таким чином, розроблена принципова схема дозволяє реалізувати компактну, функціональну та ефективну систему контролю сліпих зон

транспортного засобу з можливістю подальшої модернізації та розширення функціональних можливостей пристрою.

2.2 Розробка друкованої плати системи

Після завершення розробки принципової електричної схеми наступним етапом створення системи контролю сліпих зон транспортного засобу стала розробка друкованої плати. Друкована плата є одним із найважливіших елементів електронного пристрою, оскільки саме вона забезпечує електричне з'єднання всіх компонентів системи, стабільність роботи пристрою, компактність конструкції та зручність монтажу. Якість проєктування друкованої плати безпосередньо впливає на надійність роботи електронної системи, рівень електромагнітних завад, стабільність живлення та загальну ефективність роботи пристрою [22].

Для розробки друкованої плати у даному проєкті використовувалося середовище автоматизованого проєктування KiCad. Дане програмне забезпечення дозволяє виконувати повний цикл проєктування електронних систем, включаючи створення принципових схем, трасування друкованих провідників, побудову тривимірних моделей та формування виробничої документації. Використання KiCad дозволило значно спростити процес розробки системи та забезпечити зручне компонування електронних елементів.

Під час проєктування друкованої плати особлива увага приділялася правильному розташуванню основних компонентів системи, мінімізації довжини сигнальних ліній, зменшенню рівня електромагнітних завад та забезпеченню стабільного живлення всіх вузлів пристрою. Крім цього, враховувалися особливості подальшого монтажу системи у транспортному засобі та необхідність зручного підключення зовнішніх елементів.

На друкованій платі були розміщені мікроконтролер ATmega328P, роз'єми підключення ультразвукових датчиків HC-SR04, OLED-дисплей SSD1306,

світлодіодна індикація, активний звуковий бузер, фоторезистор, DC-DC перетворювач LM2596, кварцовий резонатор та ISP-роз’єм програмування мікроконтролера.

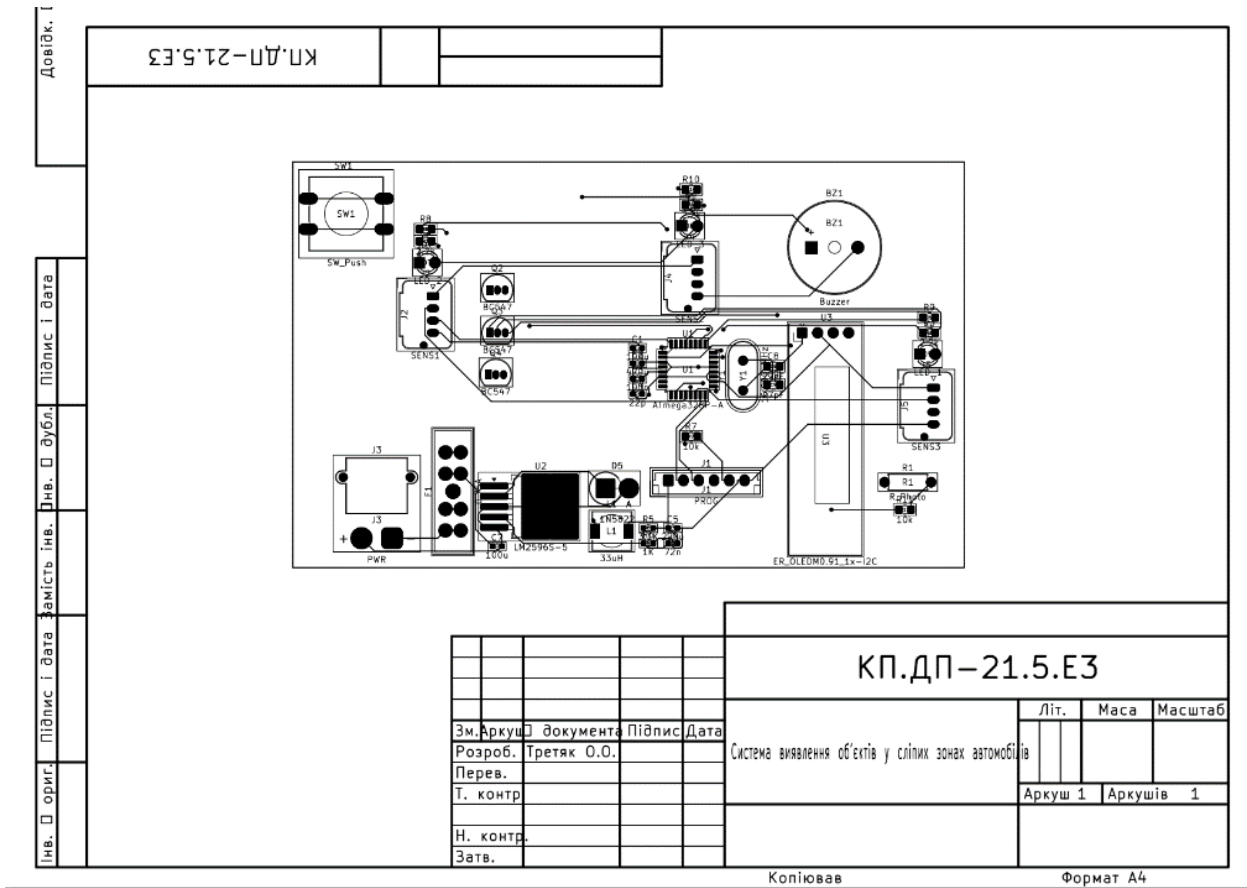


Рисунок 2.2 – Верхній шар друкованої плати системи контролю сліпих зон

На рисунку 2.2 представлено верхній шар друкованої плати системи контролю сліпих зон транспортного засобу. Під час компонування елементів особлива увага приділялася компактному розміщенню компонентів та забезпеченню зручності трасування друкованих провідників. Основні функціональні вузли системи були розташовані таким чином, щоб забезпечити мінімальну довжину сигнальних ліній між компонентами та зменшити вплив зовнішніх електромагнітних завад на роботу пристрою.

Для сигнальних ліній використовувалася ширина провідників: 0.25 мм

Для ліній живлення використовувалися ширші провідники: 0.5мм

Подібне рішення дозволяє зменшити падіння напруги на провідниках, покращити стабільність живлення та знизити нагрів друкованих доріжок при роботі системи. Особливу увагу було приділено організації ліній живлення та заземлення, оскільки неправильне розведення силових провідників може призводити до нестабільної роботи мікроконтролера та появи помилок під час вимірювання відстані ультразвуковими датчиками.

Під час розробки плати також враховувалися особливості підключення зовнішніх компонентів системи. Роз’єми ультразвукових датчиків були розташовані таким чином, щоб забезпечити зручне підключення сенсорів та мінімізувати довжину з’єднувальних провідників. Подібне рішення дозволяє зменшити вплив електричних шумів та підвищити стабільність роботи системи.

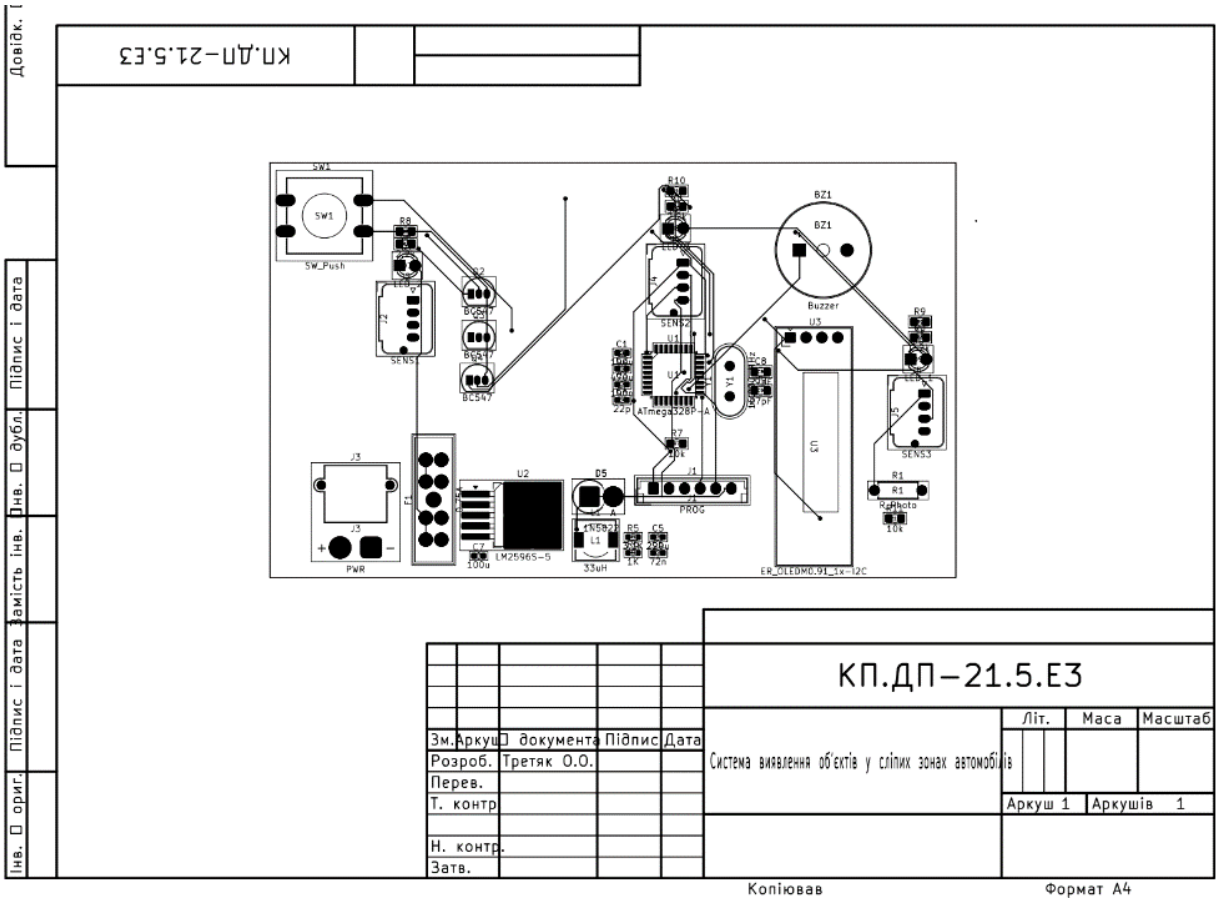


Рисунок 2.3 – Нижній шар друкованої плати системи контролю сліпих зон

На рисунку 2.3 представлено нижній шар друкованої плати системи. Нижній шар використовується для трасування сигнальних та силових ліній між основними компонентами системи. Під час трасування друкованих провідників враховувалися правила проєктування електронних пристроїв, що дозволило забезпечити стабільну та надійну роботу системи.

Важливою частиною друкованої плати є ISP-роз'єм програмування, який використовується для прошивки мікроконтролера ATmega328P. Використання даного інтерфейсу дозволяє виконувати оновлення програмного забезпечення, тестування роботи системи та налагодження пристрою без необхідності демонтажу мікроконтролера.

Для підвищення наочності конструкції у середовищі KiCad також було створено тривимірну модель друкованої плати, яка дозволяє оцінити правильність розташування компонентів, перевірити габаритні розміри конструкції та виявити можливі помилки компоновання ще до етапу виготовлення реальної друкованої плати.

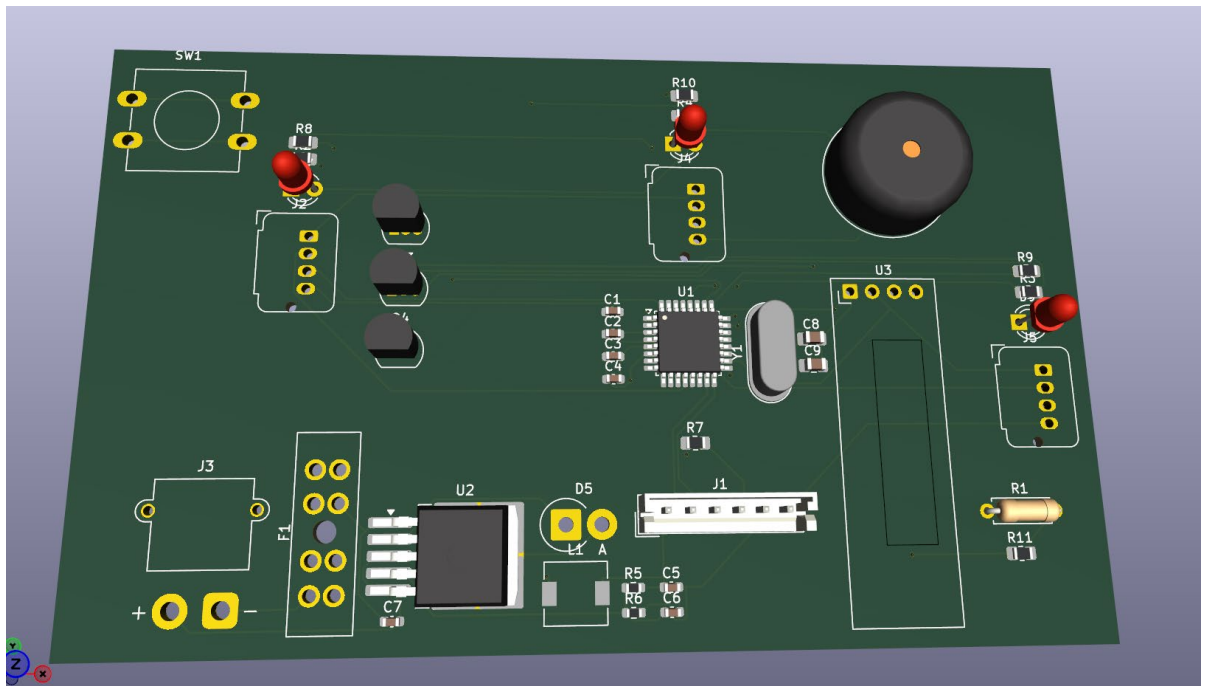


Рисунок 2.4 – Тривимірна модель друкованої плати системи

Використання тривимірної моделі дозволяє більш наочно представити конструкцію розробленого пристрою та оцінити загальний зовнішній вигляд системи. Крім цього, 3D-візуалізація дозволяє перевірити правильність встановлення компонентів, відповідність посадкових місць та зручність подальшого монтажу.

Особливістю розробленої друкованої плати є реалізація зовнішньої світлодіодної індикації, яка розташовується поблизу ультразвукових датчиків. Подібне рішення дозволяє реалізувати додаткову систему попередження пішоходів та інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні транспортного засобу. Таким чином, система не лише інформує водія про наявність перешкоди, а й додатково підвищує рівень безпеки навколо автомобіля.

Отже, розроблена друкована плата забезпечує компактність конструкції, стабільність роботи системи, надійність електричних з'єднань та зручність монтажу всіх компонентів системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

2.3 Моделювання роботи системи у середовищі Proteus

Після завершення розробки принципової схеми та друкованої плати наступним етапом роботи стало моделювання системи контролю сліпих зон транспортного засобу у середовищі Proteus. Використання програмного моделювання дозволяє перевірити працездатність електронної системи ще до етапу виготовлення реального пристрою, виявити можливі помилки у схемі та перевірити правильність роботи програмного забезпечення мікроконтролера [23].

Середовище Proteus широко використовується під час розробки мікроконтролерних систем завдяки можливості одночасного моделювання електронної схеми та виконання програмного коду мікроконтролера. Подібний підхід дозволяє значно спростити процес налагодження системи та зменшити кількість можливих помилок під час подальшого виготовлення пристрою.

У середовищі Proteus було створено повну модель системи контролю сліпих зон транспортного засобу, яка включає мікроконтролер ATmega328P, ультразвукові датчики HC-SR04, OLED-дисплей SSD1306, світлодіодну індикацію, звуковий буюер, фоторезистор та інші елементи системи.

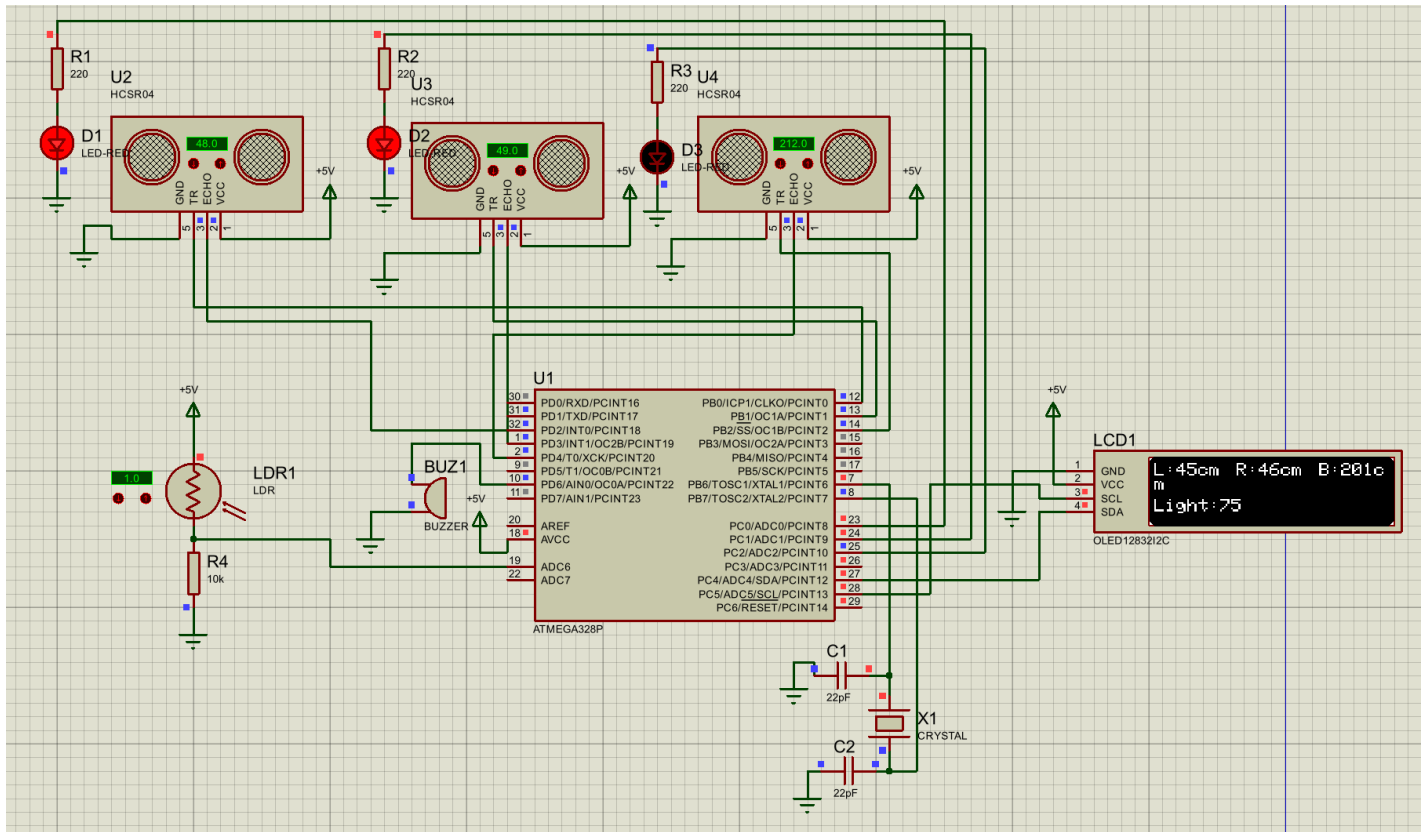


Рисунок 2.5 – Модель системи контролю сліпих зон у середовищі Proteus

Під час моделювання особлива увага приділялася перевірці коректності взаємодії всіх функціональних вузлів системи. У процесі симуляції контролювалася стабільність роботи мікроконтролера, правильність обробки сигналів ультразвукових датчиків, коректність роботи OLED-дисплея та системи світлової і звукової індикації.

Після запуску моделі мікроконтролер виконував ініціалізацію всіх периферійних пристроїв та переходив у основний цикл роботи системи. У процесі роботи виконувалося постійне опитування ультразвукових датчиків та обчислення відстані до об'єктів у контрольованих зонах транспортного засобу.

У розробленій системі робочий діапазон вимірювання відстані становить: 5см – 200 см. При наближенні об'єкта на відстань менше: 150см

Під час моделювання було встановлено, що система стабільно працює у всьому заданому діапазоні вимірювання відстані. При зміні положення перешкоди показники на OLED-дисплеї коректно оновлювалися у режимі реального часу, а система світлової та звукової індикації правильно реагувала на зміну дистанції до об'єкта.

Під час симуляції було підтверджено коректну роботу світлодіодної індикації, звукового бузера та алгоритмів опитування ультразвукових датчиків. Також перевірялася робота фоторезистора та правильність зчитування аналогових значень мікроконтролером.

Результати моделювання у середовищі Proteus підтвердили працездатність розробленої системи контролю сліпих зон транспортного засобу, правильність підключення компонентів та ефективність обраних технічних рішень.

2.4 Розрахунок основних елементів системи

Під час розробки системи контролю сліпих зон було виконано розрахунок основних електронних компонентів, необхідних для забезпечення стабільної та надійної роботи пристрою.

Для забезпечення стабільної роботи кварцового генератора мікроконтролера використовуються два конденсатори. Їх номінал визначається за формулою:

$$C_L = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_{stray} \quad (2.1)$$

Для кварцового резонатора частотою: 16 МГц

у схемі використовуються конденсатори номіналом: 22 пФ

що відповідає рекомендаціям виробника мікроконтролера ATmega328P.

$$C_L = \frac{22 \cdot 22}{22 + 22} + 5 \quad (2.2)$$

$$C_L = 11 + 5 = 16 \text{ пФ} \quad (2.3)$$

Для зчитування рівня освітлення використовується подільник напруги на базі фоторезистора. Напруга на виході подільника визначається за формулою:

$$U_{out} = U_{cc} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.4)$$

$$U_{out} = 5 \cdot \frac{10}{10 + 10} \quad (2.5)$$

$$U_{out} = 5 \cdot 0.5 = 2.5 \text{ В} \quad (2.6)$$

Отримане значення забезпечує коректне зчитування аналогового сигналу мікроконтролером ATmega328P.

Для живлення системи використовується імпульсний DC-DC перетворювач LM2596, який забезпечує пониження напруги бортової мережі транспортного засобу: 24В→5В

Коефіцієнт перетворення визначається за формулою:

$$K = \frac{U_{out}}{U_{in}} \quad (2.7)$$

$$K = \frac{5}{24} = 0.208 \quad (2.8)$$

Отримане значення підтверджує необхідність використання понижуючого перетворювача для стабільного живлення електронних компонентів системи.

Таким чином, виконані розрахунки підтверджують правильність вибору основних номіналів електронних компонентів системи контролю сліпих зон транспортного засобу.

2.5 Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи було розроблено принципову електричну схему системи контролю сліпих зон транспортного засобу на базі мікроконтролера ATmega328P та ультразвукових датчиків HC-SR04. Визначено структуру взаємодії основних вузлів системи, зокрема сенсорів, OLED-дисплея, звукової та світлової індикації, а також системи живлення.

На основі розробленої схеми виконано проєктування друкованої плати пристрою. Під час трасування враховано вимоги щодо мінімізації завад, оптимального розташування компонентів та забезпечення надійного живлення

всіх елементів системи. Також створено тривимірну модель друкованої плати, що дозволило оцінити конструктивні особливості майбутнього пристрою.

Для перевірки працездатності системи проведено моделювання її роботи у середовищі Proteus. Результати моделювання підтвердили правильність обраних схемотехнічних рішень та коректність взаємодії всіх складових системи.

Крім того, виконано розрахунок основних елементів схеми, що забезпечило стабільну роботу пристрою та відповідність його параметрів поставленим вимогам.

Таким чином, у другому розділі розроблено апаратну частину системи контролю сліпих зон, підтверджено її працездатність шляхом моделювання та створено основу для подальшої програмної реалізації пристрою.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

3.1 Алгоритм роботи системи

Після завершення розробки апаратної частини системи було виконано створення програмного забезпечення для мікроконтролера ATmega328P. Програмне забезпечення забезпечує взаємодію всіх функціональних вузлів системи, обробку інформації з ультразвукових датчиків та формування сигналів попередження.

Для розробки програмного забезпечення використовувалося середовище Arduino IDE, яке дозволяє виконувати програмування мікроконтролерів сімейства AVR та забезпечує просту інтеграцію з периферійними пристроями системи.

Після подачі живлення мікроконтролер виконує ініціалізацію всіх периферійних модулів системи, налаштування портів вводу-виводу та запуск основного циклу програми. Під час ініціалізації також виконується запуск OLED-дисплея, налаштування інтерфейсу I2C та підготовка ультразвукових датчиків до роботи.

Основний алгоритм роботи системи побудований за циклічним принципом. У процесі роботи мікроконтролер постійно виконує опитування ультразвукових датчиків HC-SR04 та обчислення відстані до об'єктів у контрольованих зонах транспортного засобу.

У розробленій системі використовуються три ультразвукові датчики, які контролюють простір зліва, справа та позаду автомобіля. Отримані значення відстані аналізуються програмним забезпеченням для визначення наявності об'єкта у небезпечній зоні.

Визначення відстані виконується на основі часу проходження ультразвукового сигналу. Для цього мікроконтролер формує короткий імпульс запуску на вході TRIG датчика та вимірює тривалість сигналу на виході ЕЧО.

Обчислення відстані виконується за формулою:

$$S = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2.9)$$

Після обробки отриманих даних система визначає рівень небезпеки наближення об'єкта. При виявленні перешкоди у контрольованій зоні активується світлодіодна індикація та звукове попередження.

Особливістю розробленої системи є використання зовнішньої світлодіодної індикації, яка розташовується поблизу ультразвукових датчиків. Подібне рішення дозволяє додатково попереджати пішоходів та інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні транспортного засобу.

Для відображення інформації про роботу системи використовується OLED-дисплей SSD1306. На дисплей виводяться значення відстані до об'єктів та активні зони контролю. Оновлення інформації виконується у режимі реального часу.

Крім цього, програмне забезпечення виконує зчитування значень з фоторезистора для контролю рівня зовнішнього освітлення. Отримані дані можуть використовуватися для автоматичної адаптації режимів роботи системи.

Під час розробки програмного забезпечення особлива увага приділялася стабільності роботи системи, правильності обробки даних та мінімізації ймовірності виникнення програмних помилок. Для цього використовувалися перевірка коректності отриманих значень, програмні затримки та оптимізація алгоритму опитування датчиків.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення забезпечує стабільну та надійну роботу системи контролю сліпих зон транспортного засобу у режимі реального часу.

3.2 Тестування та перевірка роботи системи

Після завершення розробки програмного забезпечення було виконано тестування системи контролю сліпих зон транспортного засобу. Основною метою тестування була перевірка правильності роботи всіх функціональних вузлів пристрою, стабільності роботи мікроконтролера та коректності взаємодії між окремими компонентами системи [23].

Перевірка роботи системи виконувалася як у середовищі моделювання Proteus, так і під час роботи з реальними електронними компонентами. У процесі тестування особлива увага приділялася точності вимірювання відстані ультразвуковими датчиками HC-SR04, швидкості реакції системи на появу об'єктів у контрольованих зонах та стабільності роботи OLED-дисплея.

Під час тестування було встановлено, що система стабільно працює у всьому заданому діапазоні вимірювання відстані: 5см- 200 см

Отримані значення відстані коректно відображалися на OLED-дисплеї та оновлювалися у режимі реального часу. При наближенні об'єкта до контрольованої зони система активувала світлодіодну індикацію та звуковий сигнал попередження.

При відстані менше: 150 см

система переходила у режим попередження та активувала відповідні засоби індикації. Було встановлено, що зміна частоти звукових сигналів дозволяє більш точно оцінювати ступінь наближення до перешкоди та покращує зручність використання системи водієм.

Окрему увагу під час тестування було приділено роботі трьох ультразвукових датчиків одночасно. У результаті перевірки було встановлено, що система стабільно виконує послідовне опитування датчиків без виникнення конфліктів між ультразвуковими сигналами. Отримані результати підтвердили правильність реалізації алгоритму опитування сенсорів та стабільність роботи програмного забезпечення.

Також перевірялася робота системи світлодіодної індикації. Було встановлено, що світлодіоди коректно відображають активну контрольовану зону та забезпечують достатню яскравість для візуального попередження. Особливістю системи є використання зовнішньої світлової індикації, що дозволяє додатково попереджати пішоходів та інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні транспортного засобу.

У процесі тестування OLED-дисплея перевірялася коректність передачі даних через інтерфейс I2C, стабільність оновлення інформації та правильність відображення значень відстані. Під час роботи системи не було виявлено помилок відображення або зависань дисплея.

Крім цього, перевірялася робота системи при зміні рівня зовнішнього освітлення. Під час тестування фоторезистора система коректно зчитувала аналогові значення та реагувала на зміну освітленості навколишнього середовища.

Особлива увага приділялася стабільності роботи системи після тривалого часу функціонування. Під час тестування не було виявлено самовільних перезавантажень мікроконтролера, програмних помилок або нестабільної роботи окремих компонентів системи.

Проведене тестування підтвердило працездатність розробленої системи контролю сліпих зон транспортного засобу, правильність роботи програмного забезпечення та ефективність обраних технічних рішень. Отримані результати підтвердили можливість практичного використання системи для підвищення безпеки руху транспортного засобу.

3.3 Особливості програмної реалізації системи

Під час розробки програмного забезпечення системи контролю сліпих зон транспортного засобу особлива увага приділялася стабільності роботи мікроконтролера, швидкості обробки даних та правильній взаємодії між усіма функціональними вузлами системи. Програмне забезпечення реалізоване для мікроконтролера ATmega328P із використанням середовища Arduino IDE [5].

Основою роботи системи є циклічний алгоритм обробки даних. Після подачі живлення мікроконтролер виконує ініціалізацію всіх периферійних модулів системи, налаштування портів вводу-виводу, запуск OLED-дисплея та підготовку ультразвукових датчиків до роботи. Після завершення ініціалізації система переходить у безперервний режим роботи.

У процесі роботи мікроконтролер послідовно виконує опитування трьох ультразвукових датчиків HC-SR04. Подібний підхід дозволяє уникнути взаємного впливу ультразвукових сигналів між датчиками та забезпечує стабільність вимірювання відстані. Для кожного датчика формується короткий імпульс запуску, після чого виконується вимірювання часу проходження ультразвукового сигналу до об'єкта та назад.

Отримані значення часу обробляються програмним забезпеченням, після чого виконується обчислення відстані до об'єкта. Після завершення вимірювання система аналізує отримані результати та визначає наявність перешкоди у контрольованій зоні транспортного засобу.

Особливістю програмної реалізації є використання послідовного опитування датчиків із невеликими програмними затримками між вимірюваннями. Подібний підхід дозволяє зменшити кількість помилкових спрацювань та забезпечити більш стабільну роботу системи у режимі реального часу.

Для відображення інформації використовується OLED-дисплей SSD1306, який підключається до мікроконтролера через інтерфейс I2C. Використання

даного інтерфейсу дозволяє зменшити кількість сигнальних ліній та спростити підключення дисплея до системи. У процесі роботи на дисплей виводяться значення відстані до об'єктів, активні контрольовані зони та службова інформація про стан системи.

Оновлення інформації на OLED-дисплеї виконується у режимі реального часу. Під час розробки програмного забезпечення особлива увага приділялася оптимізації процесу оновлення дисплея для зменшення навантаження на мікроконтролер та забезпечення стабільної роботи системи.

Крім цього, програмне забезпечення забезпечує керування світлодіодною індикацією та звуковим бузером. При виявленні об'єкта у небезпечній зоні система активує відповідний світлодіод та формує звуковий сигнал попередження. Частота звукових сигналів змінюється залежно від відстані до об'єкта, що дозволяє водію більш точно оцінювати ступінь небезпеки наближення до перешкоди.

У програмному забезпеченні також реалізовано обробку сигналів з фоторезистора. Зчитування аналогових значень виконується за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера ATmega328P. Отримані значення можуть використовуватися для автоматичної адаптації режимів роботи системи залежно від рівня зовнішнього освітлення.

Під час розробки програмного забезпечення особлива увага приділялася забезпеченню стабільності роботи системи при тривалому функціонуванні. Для цього використовувалися програмні перевірки коректності отриманих значень, оптимізація алгоритму опитування датчиків та мінімізація ймовірності виникнення конфліктів між периферійними пристроями.

У процесі тестування було встановлено, що програмне забезпечення забезпечує стабільну роботу системи без зависань, самовільних перезавантажень або критичних помилок під час тривалої роботи пристрою. Отримані результати підтвердили правильність реалізації алгоритмів роботи системи та ефективність використаних програмних рішень.

3.4 Аналіз ефективності та особливості роботи системи

Розроблена система контролю сліпих зон транспортного засобу призначена для підвищення безпеки руху під час експлуатації автомобіля у міських умовах. Основною задачею системи є своєчасне виявлення об'єктів у небезпечних зонах транспортного засобу та попередження водія про можливу небезпеку під час маневрування, паркування або руху заднім ходом.

У процесі тестування було встановлено, що використання трьох ультразвукових датчиків HC-SR04 дозволяє реалізувати багатозонний контроль простору навколо транспортного засобу та значно зменшити кількість неконтрольованих ділянок. Контроль простору здійснюється зліва, справа та позаду автомобіля, що дозволяє своєчасно виявляти об'єкти у найбільш небезпечних зонах.

Однією з основних переваг розробленої системи є простота конструкції та невелика вартість електронних компонентів. Використання доступної елементної бази дозволяє створити ефективну систему контролю сліпих зон без використання дорогих радарних модулів або складних систем комп'ютерного зору.

Під час роботи система забезпечує постійний контроль відстані до об'єктів та своєчасно інформує водія про появу перешкоди у контрольованій зоні. При виявленні об'єкта активується світлодіодна індикація, звукове попередження та відображення інформації на OLED-дисплеї. Використання декількох способів інформування дозволяє підвищити ефективність сприйняття попереджувальних сигналів водієм.

Особливістю розробленої системи є використання зовнішньої світлодіодної індикації. Світлодіоди розташовуються поблизу ультразвукових датчиків та виконують функцію додаткового попередження пішоходів або інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні транспортного

засобу. Подібне рішення дозволяє підвищити загальний рівень безпеки під час експлуатації автомобіля у міських умовах.

У результаті тестування було встановлено, що система стабільно працює у діапазоні вимірювання: 5см–200см

Отримані результати підтвердили достатню точність вимірювання відстані для реалізації системи контролю сліпих зон транспортного засобу. Похибки вимірювання у межах робочого діапазону не мають критичного впливу на ефективність роботи системи та не заважають своєчасному виявленню перешкод.

Перевагою використання мікроконтролера ATmega328P є достатня продуктивність для одночасної роботи з ультразвуковими датчиками, OLED-дисплеєм, системою світлодіодної індикації та звуковим бусером. Крім цього, мікроконтролер забезпечує простоту програмної реалізації та можливість подальшого вдосконалення системи.

У процесі роботи також було встановлено, що система має певні обмеження, характерні для ультразвукових датчиків. На точність вимірювання можуть впливати температура повітря, форма поверхні об'єкта, погодні умови та наявність сторонніх ультразвукових завад. Однак у межах поставлених задач подібні фактори не мають критичного впливу на загальну працездатність системи.

Під час тестування було підтверджено стабільну роботу OLED-дисплея та коректність передачі даних через інтерфейс I2C. Оновлення інформації виконувалося без помітних затримок, а відображення даних залишалося стабільним навіть при одночасному функціонуванні всіх елементів системи.

Крім цього, було перевірено роботу системи у режимі тривалого функціонування. У процесі тестування не було виявлено самовільних перезавантажень мікроконтролера, зависань програмного забезпечення або нестабільної роботи окремих функціональних вузлів системи.

Отримані результати підтвердили працездатність розробленої системи та ефективність обраних технічних рішень. Розроблений пристрій може

використовуватися як основа для створення доступних систем допомоги водію та подальшого розвитку мікроконтролерних систем автомобільної безпеки.

3.5 Висновки до розділу 3

У даному розділі було розроблено програмне забезпечення системи контролю сліпих зон транспортного засобу на базі мікроконтролера ATmega328P. Реалізовано алгоритм роботи, який забезпечує безперервний контроль простору навколо автомобіля, обробку даних з ультразвукових датчиків та формування сигналів попередження в режимі реального часу.

Програмне забезпечення виконує опитування трьох ультразвукових датчиків HC-SR04, обчислення відстані до об'єктів, керування світлодіодною та звуковою індикацією, відображення інформації на OLED-дисплеї SSD1306, а також контроль рівня зовнішнього освітлення за допомогою фоторезистора. Для підвищення стабільності роботи використано послідовне опитування датчиків із програмними затримками, що дозволило зменшити кількість помилкових спрацювань.

У результаті тестування встановлено, що система стабільно функціонує в діапазоні вимірювання від 5 до 200 см та забезпечує коректну роботу всіх функціональних вузлів. Підтверджено правильність роботи світлової та звукової сигналізації, OLED-дисплея і взаємодії між компонентами системи.

Особливістю розробленої системи є наявність зовнішньої світлодіодної індикації, яка дозволяє попереджати не лише водія, а й пішоходів та інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні автомобіля.

Проведене тестування підтвердило ефективність обраних технічних рішень, відсутність критичних програмних помилок та стабільність роботи системи. Отримані результати свідчать про можливість практичного використання розробленої системи для підвищення безпеки під час паркування та маневрування транспортного засобу.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи досягнуто поставленої мети — розроблено систему виявлення об'єктів у сліпих зонах автомобіля на базі мікроконтролера ATmega328P та ультразвукових датчиків HC-SR04. Розроблена система забезпечує контроль простору навколо транспортного засобу, визначення відстані до перешкод та своєчасне інформування про небезпечне наближення об'єктів.

У роботі обґрунтовано вибір ультразвукового методу контролю сліпих зон як оптимального рішення з точки зору вартості, простоти реалізації та точності вимірювання на малих відстанях. Використання трьох ультразвукових датчиків дозволило реалізувати багатозонний контроль простору та зменшити кількість неконтрольованих ділянок навколо транспортного засобу.

Розроблено принципову схему пристрою, друковану плату та програмне забезпечення системи. Виконане моделювання та проведені тестування підтвердили працездатність розробленого пристрою, коректність функціонування його апаратної та програмної частин, а також стабільність роботи в заданому діапазоні вимірювання.

Особливістю системи є реалізація зовнішньої світлодіодної індикації, яка забезпечує додаткове попередження пішоходів та інших учасників дорожнього руху про перебування у небезпечній зоні автомобіля. Це дозволяє підвищити ефективність системи порівняно з традиційними рішеннями, орієнтованими виключно на водія.

Отримані результати підтверджують можливість практичного використання розробленої системи для підвищення безпеки під час паркування, маневрування та руху в умовах обмеженої оглядовості. Розробка може бути основою для подальшого вдосконалення автомобільних систем активної безпеки та розширення їх функціональних можливостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arduino Projects Book.
https://www.eitkw.com/wp-content/uploads/2020/03/Arduino_Projects_Book.pdf
2. National Instruments. *Introduction to Sensors*.
<https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals.html>
3. SparkFun Electronics. *Ultrasonic Distance Sensor Tutorial*.\
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/ultrasonic-distance-sensor-hookup-guide>
4. Microchip Technology Inc. *ATmega328P Datasheet*.
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
5. Valvano J. *Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers*.
<https://users.ece.utexas.edu/~valvano/>
6. Banzi M. *Getting Started with Arduino*. — 4th ed. — Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.
https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781680456912_A49421005/preview-9781680456912_A49421005.pdf
7. Predko M. *Programming and Customizing the AVR Microcontroller*. — McGraw-Hill, 2001.
<https://learn.adafruit.com/monochrome-oled-breakouts>
8. Adafruit Industries. *SSD1306 OLED Displays for Arduino*.
<https://artofelectronics.net/>
9. Horowitz P., Hill W. *The Art of Electronics*. — 3rd ed. — Cambridge University Press, 2015.
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega328P-DataSheet-DS40002061B.pdf>
10. HC-SR04 Ultrasonic Sensor Datasheet.

<https://www.handsontec.com/dataspecs/HC-SR04-Ultrasonic.pdf>

11. Sedra A., Smith K. *Microelectronic Circuits*. — Oxford University Press, 2015.

<https://docs.arduino.cc/software/ide/>

12. Ibrahim D. *Microcontroller Based Applied Digital Control*. - John Wiley & Sons, 2006.

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

13. Tocci R., Widmer N. *Digital Systems: Principles and Applications*. — Pearson, 2017.

<https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/wire/>

14. Arduino. *Arduino IDE Documentation*.

<https://docs.kicad.org/>

15. Arduino. *Wire Library Documentation*.

<https://www.labcenter.com/support/>

16. Kurniawan A. *Arduino Development Cookbook*.

<https://www.packtpub.com/en-us/product/arduino-development-cookbook-9781783982929>

17. National Instruments. *Introduction to Sensors*.

<https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals.html>

18. SparkFun Electronics. *Ultrasonic Distance Sensor Tutorial*.

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/ultrasonic-distance-sensor-hookup-guide>

19. Arduino Projects Book.

https://www.eitkw.com/wp-content/uploads/2020/03/Arduino_Projects_Book.pdf

20. Valvano J. *Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers*.

<https://users.ece.utexas.edu/~valvano/>

21.Kurniawan A. *Arduino Development Cookbook*.

<https://www.packtpub.com/en-us/product/arduino-development-cookbook-9781783982929>

22.KPI Faculty of Electronics.

https://kpi.ua/en/fel?utm_source=chatgpt.com

23.KPI Educational Program “Micro- and Nanoelectronics” PDF

https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/oop/g5_oppm_mne_2025.pdf?utm_source=chatgpt.com

24.KPI Educational Program “Electronic Systems and IoT” PDF.

https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/opfiles/171_OPPB_ESMZIR_2021eng.pdf?utm_source=chatgpt.com

25.IEEE Standards Association. *IEEE Standard for Software Test Documentation (IEEE 829-2008)*.

<https://standards.ieee.org/ieee/1484.11.1/3398/>

ДОДАТОК А. Перелік компонентів

Позначення	Номинал / Назва	Виробник
"BZ1"	"Buzzer"	Kingstate
"C1"	"100u"	Generic
"C2"	"470u"	Generic
"C3"	"100n"	Generic
"C4"	"22p"	Generic
"C5"	"220u"	Generic
"C6"	"72n"	Generic
"C7"	"100u"	Generic
"C8"	"27pF"	Generic
"C9"	"27pF"	Generic
"D5"	"1N5822"	Generic
"D7"	"LED 2"	Generic
"D8"	"LED 3"	Generic
"D9"	"LED 1"	Generic
"F1"	"0.75A"	Generic
"J1"	"PROG"	Generic
"J2"	"SENS1"	Generic
"J3"	"PWR"	Generic
"J4"	"SENS2"	Generic
"J5"	"SENS3"	Generic
"L1"	"33uH"	Generic
"Q2"	"BC547"	Generic
"Q3"	"BC547"	Generic
"Q4"	"BC547"	Generic
"R1"	"R Photo"	Generic
"R10"	"1k"	Generic
"R11"	"10k"	Generic
"R2"	"2.2k"	Generic
"R3"	"2.2k"	Generic
"R4"	"2.2k"	Generic
"R5"	"3.1K"	Generic
"R6"	"1K"	Generic
"R7"	"10k"	Generic
"R8"	"1k"	Generic
"R9"	"1k"	Generic
"SW1"	"SW Push"	Generic
"U1"	"ATmega328P-A"	Microchip
"U2"	"LM2596S-5"	Texas Instruments
"U3"	"ER_OLED M0.91_1x-I2C"	Generic