

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Електронної та біомедичної інженерії _____

Кафедра _____ Кафедра мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 153 Мікро- та наносистемна техніка _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____

Освітня програма _____ «Мікро- та наноелектроніка» _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові _____ Удовіченко Валерії Романівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи "Парктронік" за допомогою сучасної елементної бази

Затверджена наказом університету від 26.05.2025 р. №414Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 2025 р.

3. Вихідні дані про роботу _____

Arduino Uno

HC-SR04 ультразвуковий датчик відстані

LCD дисплей 16x2

Світлодіоди

Резистори 220 Ом

Бузер для звукового сигналу

Макетна плата (breadboard)

Проводи Dupont

Блок живлення (USB або адаптер 5V)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: Які типи паркувальних систем існують? Які сучасні електронні компоненти доцільно використовувати для побудови системи «Парктронік»? Як розробити та реалізувати принципову

схему і програмне забезпечення для роботи парктроніка?

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) 2 схеми, 25 ілюстрацій, 11 слайдів

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	01.05.25	Виконано
2	Аналітичний огляд джерел	03.05.25	Виконано
3	Оформлення пояснювальної записки	08.05.25	Виконано
4	Вибір структури приладу	13.05.25	Виконано
5	Розробка та написання програм	19.05.25	Виконано
6	Оформлення креслеників	02.06.25	Виконано
7	Підготовка презентації	14.06.25	Виконано
8	Рецензування, нормоконтроль	15.06.25	Виконано
9	Захист роботи	16.06.25	Виконано

Дата видачі завдання 28 квітня 2025 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ ст. викл. Каф. МЕЕПП Васильєв Ю.С.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра містить: 49 сторінок, 27 рисунків, 3 додатка, 15 джерел.

ПАРКТРОНІК, УЛЬТРАЗВУКОВІ ДАТЧИКИ, ARDUINO UNO, СИСТЕМА ПАРКУВАННЯ, БЕЗПЕКА ВОДІЯ

Об'єкт дослідження – система паркування на базі платформи Arduino з використанням ультразвукового датчика.

Мета роботи – розробити та реалізувати прототип системи паркування, здатної ефективно виявляти перешкоди та надавати водієві інформацію для безпечного паркування в умовах обмеженого простору.

Актуальність роботи – з огляду на зростання числа транспортних та обмеженість паркувального простору, розробка доступних, ефективних і надійних систем паркування є надзвичайно актуальною. Дана система сприятиме підвищенню безпеки та зручності паркування, а також зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод, пов'язаних із маневруванням в обмежених умовах.

У першому розділі аналіз сучасних систем парктроніків, їх переваги та недоліки, обґрунтування вибору ультразвукової технології та контролера ARDUINO UNO.

У другому розділі зроблено розрахунки параметрів, що підтверджують правильність вибору компонентів.

У третьому розділі опис структурної схеми системи, її компоненти та принципи взаємодії: ультразвукові датчики, світлодіоди, звуковий сигналізатор, і LCD дисплей

У четвертому розділі розглянуто програмне забезпечення, алгоритми обробки сигналів і визначення відстані до перешкод.

ABSTRACT

The explanatory note of the bachelor's qualification work contains: 49 pages, 27 figures, 3 appendix, 15 references.

PARKING SENSOR, ULTRASONIC SENSORS, ARDUINO UNO, PARKING SYSTEM, DRIVER SAFETY

Object of the research – a parking assistance system based on the Arduino platform using an ultrasonic sensor.

Purpose of the work – to develop and implement a prototype of a parking system capable of effectively detecting obstacles and providing the driver with information for safe parking in limited space conditions.

Relevance of the work – given the increasing number of vehicles and the limited availability of parking spaces, the development of affordable, efficient, and reliable parking systems is extremely relevant. This system will enhance parking safety and convenience and reduce the number of traffic accidents related to maneuvering in confined areas.

The first chapter provides an analysis of modern parking systems, their advantages and disadvantages, and justifies the choice of ultrasonic technology and the ARDUINO UNO controller.

The second chapter contains calculations of system parameters that confirm the correctness of component selection.

The third chapter describes the structural diagram of the system, its components, and principles of interaction: ultrasonic sensors, LEDs, buzzer, and LCD display.

The fourth chapter examines the software, signal processing algorithms, and methods for determining the distance to obstacles.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ.....	8
1.1 Аналітичний огляд радарних систем для автомобільного паркування	8
1.2 Порівняння комерційно доступних паркувальних систем	11
1.3 Аналіз апаратних засобів для створення електронних пристроїв.....	15
1.3.1 Огляд функціональних можливостей та параметрів плати Arduino Uno з мікроконтролером ATmega328.	15
1.3.2 Опис LCD-дисплея МТ-16S2Н.	17
1.3.3 Ультразвуковий далекомір HC-SR04.....	20
1.3.4 Відтворювач звуку НРА17А.....	21
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК АКУСТИЧНОГО ТРАКТУ	ТА
ПЕРЕТВОРЮВАЧА	23
2.1 Теоретичне обґрунтування побудови акустичного тракту.....	23
2.2 Аналіз акустичного тракту прямого проходження ПЕП у ближній зоні: випадок донної поверхні як відбивача.....	26
2.3 Аналіз та розрахунок акустичного тракту ультразвукового датчика парктроніка	28
2.4 Узагальнення результатів розрахунків параметрів парктроніка	30
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПАРКУВАЛЬНОГО РАДАРУ НА ОСНОВІ ARDUINO UNO	32
3.1 Загальна структура та обрана апаратна база	32
3.2 Елементи згладжування, фільтрації та захисту.....	33

3.3 Мікроконтролер і генерація тактових імпульсів.....	34
3.4 Передача та прийом сигналів: підсилювачі та ультразвукові модулі	34
3.5 Комунікація з ПК та кнопка скидання	35
3.6 Принцип роботи паркувального асистента	35
3.7 Підключення до електросистеми автомобіля.....	35
3.8 Структура та опис принципової електричної схеми парктроніка.....	36
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПАРКУВАННЯ	41
4.1 Імпортування бібліотек та початкове налаштування.....	41
4.2 Обробка сигналу від ультразвукового датчика	42
4.3 Візуальна та звукова індикація відстані.....	42
4.4 Робота з LCD дисплеєм (опціонально)	43
4.5 Призначення елементів коду та їх апаратна реалізація.....	44
ВИСНОВКИ.....	46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	48
ДОДАТОК А	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК В.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

У сучасних реаліях, коли автомобіль став невід'ємною частиною життя більшості людей, питання зручного та безпечного паркування набуває особливого значення. З року в рік кількість автомобілів невпинно зростає, особливо у великих містах, де дорожній трафік постійно ускладнюється. Водночас розвиток інфраструктури для паркування часто не відповідає темпам зростання кількості транспорту, що призводить до значних труднощів при пошуку місця для стоянки, підвищення рівня ДТП та загального напруження водіння.

У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні новітніх технологій, здатних допомогти водіям швидко й безпечно орієнтуватися в умовах обмеженого простору. Одним із ефективних підходів до вирішення цієї проблеми є автоматизовані паркувальні системи, що використовують сенсори для виявлення перешкод та оперативного інформування водія про потенційну небезпеку.

Дипломний проєкт на тему “Розробка системи "Парктронік" за допомогою сучасної елементної бази” присвячений створенню інноваційного, надійного та водночас економічного прототипу, що відповідає запитам сучасного автомобіліста. Основою системи є мікроконтролер Arduino — одна з найпоширеніших платформ для розробки електроніки, яка відзначається простотою у використанні, відкритим кодом і широкою спільнотою користувачів. Завдяки комбінації з ультразвуковими сенсорами платформа дозволяє створити точну й стабільну систему для вимірювання відстані до об'єктів, навіть у складних середовищах.

Основне завдання цієї роботи — розробити, запрограмувати й реалізувати прототип паркувального пристрою, який на основі даних з ультразвукових датчиків виявлятиме перешкоди та подаватиме водієві сигнали різного типу —

візуальні, звукові або світлові (наприклад, за допомогою дисплея). Це дозволить кермувальнику краще орієнтуватися в просторі під час паркування та зменшити ймовірність зіткнень з іншими об'єктами.

Реалізація подібної системи сприятиме не лише покращенню безпеки на дорогах, а й зробить процес паркування зручнішим навіть для водіїв-початківців. Це особливо важливо в умовах щільної міської забудови, де кожне вільне місце має велике значення. Упровадження таких проєктів також відкриває перспективи для подальшого розвитку автомобільної електроніки та сприяє формуванню високої культури водіння.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ

1.1 Аналітичний огляд радарних систем для автомобільного паркування

У сучасних умовах стрімкого розвитку автомобільної галузі питання паркування набуває особливої актуальності. Щодня на дорогах з'являється все більше транспортних засобів, і з кожним роком ситуація стає дедалі складнішою. У великих містах, де вулична інфраструктура не завжди встигає за темпами автомобілізації, проблема пошуку вільного місця для стоянки стала справжнім викликом для багатьох водіїв.

Згадаймо, як ще не так давно процес паркування був виключно справою досвіду та інтуїції водія (рис. 1.1). Маневрування у вузьких просторах, оцінка відстані до сусідніх автомобілів чи бордюрів без будь-якої технічної підтримки нерідко призводили до неприємних ситуацій. Це був не лише клопіткий, а й часто стресовий процес, особливо для новачків або в умовах обмеженого простору.

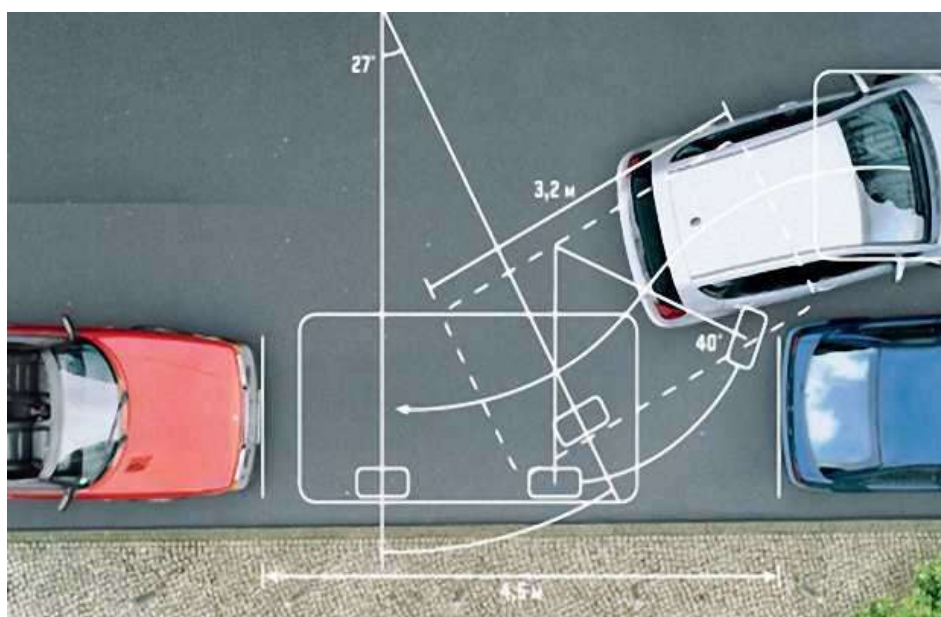


Рисунок 1.1 – Процес паркування водієм самостійно

На щастя, технічний прогрес не стоїть на місці. Сьогодні дедалі більше автомобілів оснащуються системами допомоги при паркуванні, серед яких особливу роль відіграють парктроніки — спеціальні пристрої, що дозволяють значно полегшити цю процедуру. Вони стали своєрідною технологічною підмогою водієві, перетворюючи складне завдання у керований і передбачуваний процес.

Парктронік, або система паркувального асистування, — це електронна система, яка допомагає виявляти перешкоди поблизу автомобіля за допомогою різноманітних датчиків. Вони найчастіше монтуються в передній та/або задній частині кузова і передають водієві звукові, світлові чи візуальні сигнали, залежно від конфігурації системи. Найбільш поширеними є ультразвукові радары, однак сучасні моделі автомобілів можуть також використовувати інфрачервоні або навіть лазерні сенсори в поєднанні з відеокамерами.

Окрему категорію в цій сфері становлять повністю автоматизовані системи паркування, які вже здатні частково або повністю перебирати на себе функції водія під час маневру. Це означає, що автомобіль може самостійно аналізувати ситуацію навколо, знаходити відповідне місце для паркування, обчислювати траєкторію руху та без участі водія заїжджати на обране місце (рис. 1.2). Все це відбувається завдяки точній роботі систем датчиків, керуючих модулів і програмного забезпечення.



Рисунок 1.2 – Автоматична система паркування автомобіля

Для того щоб повністю оцінити ефективність парктроніків, важливо розглянути технічні характеристики, які визначають їхню якість і функціональність. Серед них можна виділити кілька ключових параметрів:

- точність виявлення перешкод є одним із найважливіших критеріїв. Від того, наскільки точно система здатна визначити відстань до об'єкта, залежить її практична цінність для водія. Висока точність дозволяє уникати помилкових спрацювань або, навпаки, ігнорування небезпечних об'єктів;
- чутливість датчиків являє собою здатність системи виявляти дрібні або малопомітні перешкоди. Наприклад, тонкі металеві штирі, малі бордюри або навіть тварини можуть становити небезпеку, якщо система не здатна їх розпізнати;
- швидкість реакції, ще один критично важливий параметр. Паркування часто відбувається у динамічному середовищі, де кожна секунда може мати значення. Надто повільна система може не встигнути попередити водія про наближення до перешкоди;
- зона покриття визначає, яку площу навколо автомобіля може охопити система. Чим ширше покриття, тим кращий контроль над ситуацією. Наприклад, деякі системи працюють лише на задній частині авто, тоді як інші забезпечують повне кругове бачення.

Загалом, якісний аналіз технологічних можливостей паркувальних радарів дозволяє зробити усвідомлений вибір серед великої кількості пристроїв, доступних на ринку. Завдяки ретельному порівнянню технічних характеристик, типів сигналів, методів кріплення та сумісності з конкретною моделлю автомобіля, водій може підібрати систему, яка найкраще відповідатиме його стилю водіння, потребам та бюджету.

1.2 Порівняння комерційно доступних паркувальних систем

З метою аналізу сучасних систем паркування було розглянуто шість типових моделей ультразвукових парктроніків, що доступні на ринку. Розгляд охоплює як бюджетні рішення, орієнтовані на доступність і простоту, так і високотехнологічні системи преміум-класу, призначені для інтеграції в електронну інфраструктуру транспортного засобу.

Sho-Me Y-2616N (рис. 1.3) є базовою моделлю ультразвукового парктроніка, що надає користувачеві мінімальний, але достатній функціонал для підвищення безпеки під час паркування. До складу системи входять чотири сенсори, дисплей із візуальною шкалою відстані та звукове сповіщення. Простота інсталяції та низька вартість роблять цю модель популярною серед власників компактних автомобілів.



Рисунок 1.3 – Парктронік Sho-Me Y-2616N

Eagle Parking Sensor PS-03 (рис 1.4) вирізняється наявністю цифрового дисплея, який виводить точне числове значення відстані до перешкоди. Універсальність моделі забезпечується можливістю вибору комплектації з трьома або чотирма сенсорами, а також вбудованою функцією самодіагностики.



Рисунок 1.4 – Парктронік Eagle Parking Sensor PS-03

Steelmate PTS400M8 (рис. 1.5) належить до середнього класу та пропонує більш точне зонування простору навколо автомобіля завдяки покращеним сенсорам. Наявність світлодіодного дисплея та гнучкість у налаштуваннях робить цю модель популярною серед водіїв, які шукають оптимальне співвідношення ціни та якості.



Рисунок 1.5 – Парктронік Steelmate PTS400M8

Valeo Veer&Park 628000 (рис. 1.6) є прикладом системи, що поєднує звукові й візуальні методи оповіщення. Завдяки високій якості матеріалів і точності вимірювань система здатна виявляти навіть дрібні або вузькі об'єкти, які можуть становити небезпеку під час маневрування.



Рисунок 1.6 – Парктронік Valeo Beep&Park 628000

Cobra Park Master 4200 (рис. 1.7) демонструє більш високий рівень інтеграції в електронні системи транспортного засобу. Система здатна розрізняти рухомі й нерухомі об'єкти, а також адаптувати свою роботу відповідно до особливостей кузова автомобіля. Такий підхід сприяє підвищенню точності та зниженню хибних спрацювань.



Рисунок 1.7 – Парктронік Cobra Park Master 4200

Bosch Parkpilot URF7 (рис. 1.8) — це високоточна інтелектуальна система, яка використовує спеціалізовані алгоритми обробки сигналу для надійного визначення відстані в складних умовах навколишнього середовища. Модель підтримує функцію адаптації до постійних елементів (наприклад, фаркопа), що дозволяє зменшити кількість помилкових сповіщень.



Рисунок 1.8 – Парктронік Bosch Parkpilot URF7

У результаті аналізу можна зробити висновок, що системи паркування істотно різняться як за функціональними можливостями, так і за вартістю. Бюджетні моделі, такі як Sho-Me та Eagle, забезпечують базову підтримку під час паркування, проте мають обмежену точність і мінімальний рівень налаштувань. Натомість системи середнього та преміум-сегменту (Steelmate, Valeo, Cobra, Bosch) демонструють вищу якість збірки, покращену адаптацію до умов експлуатації, можливість інтеграції в електроніку автомобіля, а також застосування інтелектуальних алгоритмів. Таким чином, вибір конкретної моделі має здійснюватися з урахуванням технічних вимог, бюджету користувача та умов експлуатації транспортного засобу.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики розглянутих парктроніків

Модель	Кількість сенсорів	Діапазон виявлення, м	Тип індикації	Орієнтована ціна, грн
1	2	3	4	5
Sho-Me Y-2616N	4	0,3-1,5	Світлодіод + звук	630-1050
Eagle Parking Sensor PS-03	3-4	0,3-2,0	Цифровий дисплей	840-1260

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Steelmate PTS400M8	4	0,3-2,0	LED-дисплей + звук	1260-1680
Valeo Beep&Park 628000	4	0,3-1,5	Дисплей + звук	2100-2940
Cobra Park Master 4200	4	0,2-1,7	Дисплей + звук	3360-5040
Bosch Parkpilot URF7	4	0,2-1,5	Звукова + CAN-сумісна	5040-6720

1.3 Аналіз апаратних засобів для створення електронних пристроїв

1.3.1 Огляд функціональних можливостей та параметрів плати Arduino Uno з мікроконтролером ATmega328.

Arduino Uno – одна з найпопулярніших плат мікроконтролерів, розроблена для спрощення процесу розробки електронних систем (рис. 1.9). Вона базується на мікроконтролері ATmega328, який пропонує високу універсальність та простоту використання. Завдяки своїй доступності, багатому функціоналу та підтримці широкого спектру зовнішніх компонентів, ця плата підходить як для початківців, так і для досвідчених розробників.

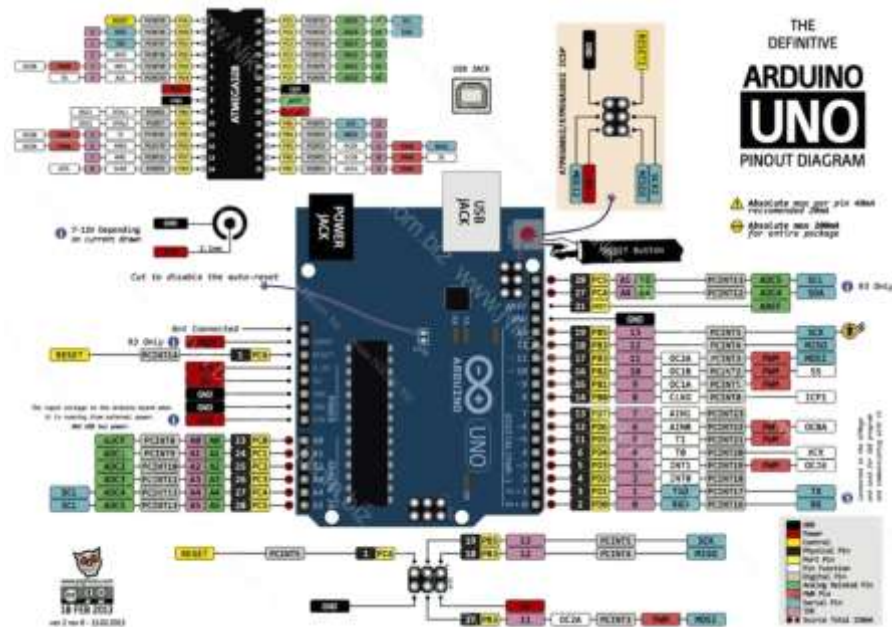


Рисунок 1.9 – Плата Arduino Uno з мікроконтролером ATmega328

Основні переваги використання:

- простота використання. Arduino Uno підключається до комп'ютера через USB-кабель, що забезпечує як живлення, так і можливості програмування. Інтуїтивно зрозуміле інтегроване середовище розробки (IDE) Arduino та простий синтаксис дозволяють користувачам швидко розпочати розробку проектів;

- гнучкість розширення. Плата підтримує додаткові модулі-плагіни (шилд), які можуть розширити її функціональність без необхідності складного підключення або модифікації програмного забезпечення;

- широка сумісність. Arduino Uno сумісний з численними датчиками, виконавчими пристроями та модулями. Наявність великої кількості бібліотек та активна спільнота користувачів значно спрощує інтеграцію зі сторонніми компонентами.

- платформа з відкритим вихідним кодом. Усі апаратні та програмні компоненти Arduino мають відкритий вихідний код, що дозволяє користувачам адаптувати плату до вимог свого конкретного проекту та вільно змінювати схеми або код.

Основні характеристики:

- мікроконтролер – ATmega328P;
- архітектура – 8-біт AVR;

- тактова частота – 16 МГц;
- робоча напруга – 5 В;
- живлення (через роз'єм VIN) – 7-12 В (допустимо 6-20 В);
- цифрові входи/виходи – 14 (з них 6 із підтримкою ШІМ);
- аналогові входи – 6;
- flash-пам'ять – 32 КБ (0.5 КБ зарезервовано під завантажувач);
- оперативна пам'ять (SRAM) – 2 КБ;
- EEPROM – 1 КБ;
- максимальний струм на пін I/O – 40 мА;
- ынтерфейси зв'язку – UART, SPI, I2C;
- розміри плати ~ 68.6 мм × 53.4 мм.

1.3.2 Опис LCD-дисплея MT-16S2H.

На початковому етапі проєкт складався з ультразвукового датчика відстані та звукового випромінювача (спікера), що генерував сигнал з частотою, приблизно пропорційною виміряній відстані до об'єкта. Надалі до системи було інтегровано рідкокристалічний індикатор та резистор, призначений для регулювання контрастності зображення. Згодом, з метою підвищення ергономіки пристрою під час тестування, було реалізовано можливість регулювання гучності звукового сигналу шляхом додавання змінного резистора. У результаті цих удосконалень пристрій набув завершеної функціональної структури, що відповідає концепції паркувального радару.

У системі було використано текстовий рідкокристалічний дисплей типу MT-16S2H (рис. 1.12) виробництва компанії Мелт, що підтримує підсвічування. Візуально дисплей нагадує РКІ, що застосовувалися в мобільних телефонах початку 2000-х років, таких як Nokia 3310 (рис. 1.10) або Siemens C35.



Рисунок 1.10 – Телефон Nokia 3310

Індикатор MT-16S2H реалізує виведення текстової інформації у вигляді двох рядків по 16 символів. Кожен символ формується в матриці 5×8 пікселів, а між символами автоматично формується горизонтальний інтервал шириною в одну точку, що покращує зчитуваність інформації.

Формування зображення на дисплеї здійснюється шляхом надсилання до контролера відповідних ASCII-кодів символів, які зберігаються у вбудованій пам'яті типу ОЗУ. Дисплей також містить модуль генерації користувацьких символів (CG RAM) і схему керування на основі мікросхеми (рис. 1.11), сумісної зі стандартом HD44780. Цей стандарт де-факто є загальноприйнятим у виробництві текстових LCD-модулів.



Рисунок 1.11 – Плата текстового екрану

Апаратно дисплей має 16 контактів, з яких достатньо задіяти 6 для базового управління. Елемент постачається з встановленими штифтовими роз'ємами, що забезпечує просте підключення до макетної плати без додаткових монтажних операцій.



Рисунок 1.12 – Текстовий екран

Основні характеристики LCD-дисплея MT-16S2H:

- тип дисплея – текстовий рідкокристалічний (LCD), 16×2 символи;
- розмір символу – 5×8 точок;
- контролер – сумісний із HD44780;
- живлення логіки (V_{CC}) – 5 В;
- кількість контактів – 16;
- інтерфейс – паралельний (4- або 8-бітний режим);
- підсвічування – LED (світлодіодне);
- регулювання контрастності – за допомогою потенціометра;
- підтримка користувацьких символів – через CGRAM;
- робоча температура – від 0 °С до +50 °С;
- габарити модуля – приблизно 80 мм × 36 мм.

1.3.3 Ультразвуковий далекомір HC-SR04.

HC-SR04 (рис. 1.13) є електронним вимірювальним модулем, що функціонує на основі ультразвукової локації та призначений для безконтактного визначення відстані до об'єктів у навколишньому середовищі. Завдяки своїй конструктивній простоті, стабільним характеристикам та широкому діапазону застосувань, він широко використовується у різноманітних автоматизованих системах: від побутових приладів до інженерних прототипів.

Модуль працює за принципом активної ехолокації: спочатку передається імпульс ультразвукової хвилі заданої частоти, після чого реєструється сигнал, відбитий від об'єкта. Вбудована логіка вимірює інтервал часу між передачею та прийомом сигналу, що дозволяє визначити відстань до об'єкта з високою точністю.

HC-SR04 складається з двох п'єзоелектричних елементів – випромінювача (трансдюсера) та приймача, а також електронної схеми керування. Для ініціації вимірювання необхідно подати короткий цифровий імпульс на вхід Trig. У відповідь модуль формує імпульс на виході Echo, тривалість якого відповідає часу проходження звукової хвилі до об'єкта та назад. Отриману тривалість можна легко обробити мікроконтролером, таким як Arduino.

HC-SR04 не потребує калібрування чи складних налаштувань, має високий рівень сумісності з більшістю сучасних платформ, а також підтримку з боку великої розробницької спільноти. Простий інтерфейс та наявність численних бібліотек дозволяють легко інтегрувати його до складу складніших систем з візуалізацією або логічною обробкою даних.



Рисунок 1.13 – Ультразвуковий далекомір HC-SR04

Основні характеристики:

- робоча напруга – 5 В;
- споживаний струм – приблизно 15 мА;
- частота випромінювання – 40 кГц;
- діапазон вимірювання – від 2 см до 400 см;
- точність – ± 3 мм;
- кут огляду – приблизно 15° ;
- час відповіді – близько 200 мс;
- інтерфейс – цифрові входи/виходи (Trig і Echo);
- габарити модуля – 45 мм \times 20 мм \times 15 мм.

1.3.4 Відтворювач звуку НРА17А.

НРА17А — це компактний електроакустичний пристрій, призначений для генерації звукових сигналів у межах звукового діапазону. Даний компонент відноситься до класу п'єзоелектричних звукових випромінювачів (так званих п'єзодинаміків) і здатен відтворювати акустичні сигнали шляхом перетворення електричних імпульсів у механічні коливання.



Рисунок 1.14 – Відтворювач звуку

У конструктивному плані НРА17А складається з п'єзокерамічного елемента, закріпленого на металевій пластині-резонаторі. При подачі напруги змінного струму або імпульсного сигналу на електроди п'єзоелемента, виникають мікроскопічні деформації, що створюють механічні коливання, які трансформуються в чутний звук. Типовим прикладом застосування даного

модуля є звукове сповіщення в автоматизованих системах, сигналізаціях, парктроніках, таймерах та інших пристроях, де необхідна індикація стану системи або попередження користувача.

Особливістю модуля НРА17А є попередньо налаштований резонансний контур, який забезпечує фіксовану частоту звукового сигналу, зазвичай у діапазоні від 2кГц до 4 кГц. Ця особливість дає змогу досягти високої гучності за мінімального енергоспоживання. Модуль не вимагає складного підсилення або фільтрації сигналу, що робить його сумісним із більшістю мікроконтролерів, включаючи Arduino, без використання додаткових драйверів.

НРА17А часто використовується у поєднанні з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), яка дозволяє програмно змінювати частоту та інтенсивність звукового сигналу. Це надає змогу реалізовувати різні режими звукової індикації залежно від умов роботи пристрою.

Основні характеристики:

- тип – п'єзоелектричний звуковий випромінювач (п'єзодинамік);
- номінальна напруга – 3–12 В (оптимально: 5 В);
- споживаний струм – ≤ 20 мА;
- робоча частота – 2.7 ± 0.5 кГц;
- рівень звукового тиску – приблизно 85–95 дБ (на відстані 10 см);
- тип сигналу – змінна напруга або ШІМ-імпульси;
- полярність – не критична;
- робоча температура – від -20 °С до $+70$ °С;
- габарити – приблизно 17 мм × 9 мм (висота × діаметр);

Тип монтажу – з дротовими або піновими виводами.

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК АКУСТИЧНОГО ТРАКТУ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЧА

2.1 Теоретичне обґрунтування побудови акустичного тракту

Акустичний тракт (рис. 2.1) у контексті ультразвукових систем неруйнівного контролю являє собою умовний шлях, яким проходить акустична енергія — від моменту її генерації до фіксації приймачем після взаємодії з внутрішніми структурами об'єкта. Цей тракт охоплює сукупність елементів і середовищ, через які поширюється ультразвуковий сигнал, включаючи випромінювальний елемент (перетворювач), захисні шари (протектори), з'єднувальне середовище (зазвичай контактну рідину), об'єкт контролю (ОК), можливі неоднорідності або дефекти, та кінцевий приймач хвильового сигналу.

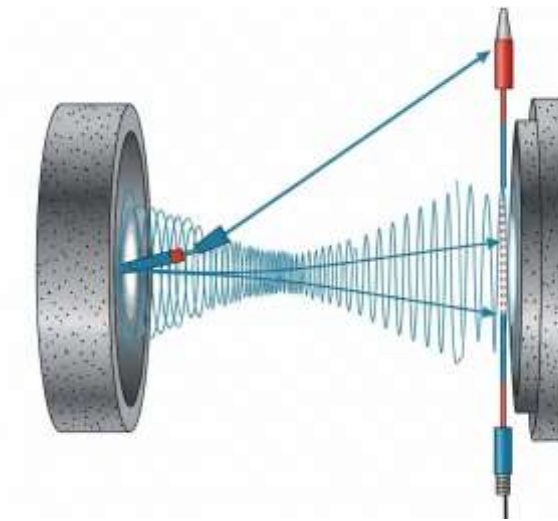


Рисунок 2.1 – Акустичний тракт

У процесі поширення акустичної хвилі відбувається ряд фізичних явищ, зокрема:

- поглинання і розсіяння хвиль в середовищах;
- відбиття і заломлення на межах з різними акустичними імпедансами;

- трансформація типу хвиль (наприклад, з поздовжніх у поперечні) на дефектах або границях середовищ.

Системне дослідження акустичного тракту вимагає формалізації його структури у вигляді послідовної або розгалуженої акустичної схеми. Однією з ключових характеристик, яка дозволяє кількісно оцінити ефективність тракту, є коефіцієнт ослаблення акустичного тракту.

Він визначається як відношення тиску, що досягає приймача, до тиску, створеного на виході випромінювача:

$$K = \frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{вип}}},$$

де $P_{\text{пр}}$ – амплітуда акустичного тиску на приймальному перетворювачі;

$P_{\text{вип}}$ – початковий тиск, створений випромінювачем.

Цей коефіцієнт може бути поданий у логарифмічній формі (в децибелах):

$$K_{\text{дБ}} = 20 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{вип}}} \right).$$

Значення $K_{\text{дБ}}$ залежить від численних факторів, серед яких:

- геометричні параметри системи (розміри перетворювача, глибина розміщення дефекту, просторове положення),
- акустичні характеристики середовищ (щільність, швидкість звуку, імпеданс),
- частота ультразвукових коливань, яка визначає довжину хвилі й ступінь проникності в конкретне середовище.

Окремо варто зупинитися на направленості випромінювання, яка описується так званою променевою картою — розподілом інтенсивності ультразвукової енергії у просторі. Врахування цих характеристик є критичним при моделюванні та розрахунку звукових полів. Наприклад, функція спрямованості може бути апроксимована як:

$$D(\theta) = \frac{2J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta},$$

де J_1 – функція Бесселя першого роду;

a – радіус апертури випромінювача;

k – хвильове число;

θ – кут відносно осі випромінювання.

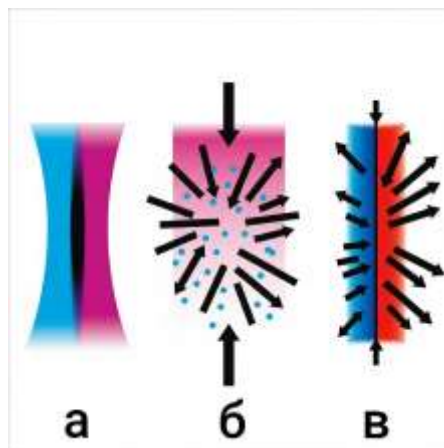
Крім структурних параметрів, значний вплив на кінцеву амплітуду сигналу має форма, орієнтація і розмір дефекту. Вони визначають, як саме відбивається ультразвук: дзеркально, дифузно або із зміненою фазою (рис. 2.2). Наприклад, щілиноподібний дефект, розташований перпендикулярно до променя, відбиватиме сигнал з максимальною ефективністю, тоді як нахилений або круглий дефект може частково розсіювати хвилю, змінюючи її фазу та напрям. Чим більша глибина залягання дефекту, тим більше акустична хвиля зазнає загасання, що описується експоненційною залежністю:

$$A(x) = A_0 e^{-\alpha x},$$

де $A(x)$ – амплітуда хвилі на глибині x ,

A_0 – початкова амплітуда,

α – коефіцієнт загасання, що залежить від частоти та матеріалу.



а) дзеркальне; б) дифузне;

в) зі змінною фазою

Рисунок 2.2 – Види дефектів

З огляду на вищенаведене, проектування та обґрунтування структури акустичного тракту є багатофакторним завданням, яке вимагає інтеграції

фізичних моделей поширення хвиль, аналізу взаємодії сигналу з дефектами та врахування технічних характеристик випромінювально-приймального комплексу. Такий підхід забезпечує точне визначення параметрів сигналу, необхідного для якісної інтерпретації результатів ультразвукового контролю.

2.2 Аналіз акустичного тракту прямого проходження ПЕП у ближній зоні: випадок донної поверхні як відбивача

У контексті ультразвукової дефектоскопії важливим аспектом є вибір адекватної моделі акустичного тракту, що визначається не лише типом зондування (ближня або дальня зона), а й співвідношенням геометричних параметрів перетворювача та об'єкта відбиття (рефлектора). Зокрема, коли площа відбивача суттєво менша або навпаки значно перевищує площу активної поверхні перетворювача, це безпосередньо впливає на розподіл акустичного тиску та визначення ефективності збудження та приймання сигналів.

У рамках класичної ультразвукової дефектоскопії розрахунок коефіцієнтів акустичного тракту ($K_{a.t.}$) зазвичай базується на спрощених аналітичних моделях, розроблених для рефлекторів з ідеалізованими геометричними характеристиками. Такі моделі дозволяють ефективно описати процес поширення, відбиття та загасання ультразвукових хвиль у середовищі, де рефлектор розташований строго на осі ультразвукового променя і має перпендикулярну орієнтацію відносно нього. Для дефектів складної форми вводиться поняття еквівалентного розміру, що дозволяє адаптувати існуючі аналітичні формули до більш складних сценаріїв.

У випадках, коли дослідження проводиться у ближній зоні, спостерігається виражена неоднорідність структури звукового поля. У цій області тиск не має стабільного просторового розподілу, що ускладнює побудову точних математичних моделей. Проте на практиці використовуються апроксимації, що враховують експоненційне загасання сигналу при проходженні матеріалу, а також відбиття від основних типів поверхонь.

Для дальньої зони акустичного поля коефіцієнт акустичного тракту визначається за узагальненою формулою:

$$K_{a.t.} = R_p \cdot T_l \cdot \frac{S}{\lambda H} \cdot e^{-2H\delta_p},$$

де $K_{a.t.}$ – коефіцієнт акустичного тракту;

R_p – коефіцієнт відбиття ультразвуку від донної поверхні;

T_l – тривалість зондуючого імпульсу;

S – площа активної поверхні перетворювача;

λ – довжина ультразвукової хвилі в матеріалі;

H – відстань до рефлектора (глибина сканування);

δ_p – коефіцієнт загасання ультразвукових хвиль у матеріалі;

$e^{-2H\delta_p}$ – експоненційний множник, що враховує енергетичні втрати при поширенні сигналу.

Ця формула є справедливою за умови, що розміри відбивача та перетворювача перевищують половину довжини хвилі ($> \lambda/2$), а ефекти дифракції можна вважати незначними. Враховуючи ці припущення, формула є ефективною для технічного моделювання та апріорних оцінок.

Коефіцієнт акустичного тракту для ближньої зони: випадок плоскодонного отвору у вигляді диску. У ближній зоні, через складність аналітичного опису інтерференційного малюнку та неоднорідність поля, використовують спрощену модель для конкретного типу дефекту — плоский диск. Формула має вигляд:

$$K_{a.t.} = R_p \cdot T_l \cdot \frac{S_d}{\lambda H} \cdot e^{-2H\delta_p},$$

де S_d – ефективна площа приймача;

T_l – коефіцієнт проходження хвиль через матеріал;

інші змінні – як у попередній формулі.

Цей вираз використовується для попередніх розрахунків у зоні ближнього поля та підлягає подальшому коригуванню на основі емпіричних даних або моделювання з урахуванням просторової орієнтації дефекту.

Важливо відзначити, що для реальних дефектів характеристики відбитого сигналу можуть суттєво відрізнятися від ідеалізованих умов. Саме тому

початкове налаштування дефектоскопічної системи зазвичай базується на детермінованих рефлекторах з подальшим уточненням на основі ймовірнісного аналізу.

Таким чином, у рамках ультразвукової дефектоскопії правильне розуміння природи ближнього акустичного поля та грамотне застосування відповідних моделей дозволяє суттєво підвищити точність виявлення та класифікації внутрішніх дефектів у матеріалах.

2.3 Аналіз та розрахунок акустичного тракту ультразвукового датчика парктроніка

Ультразвукові системи, що застосовуються в паркувальних датчиках, функціонують за принципом вимірювання часу, який проходить між передачею імпульсу та його відбиттям від перешкоди. Надійність роботи такої системи залежить від кількох факторів: розмірів перетворювача, фізичних властивостей матеріалу, через який проходить ультразвук, та особливостей поверхні, яка відбиває сигнал.

Акустичне поле такого перетворювача умовно ділиться на ближню та дальню зони. Якщо відстань до перешкоди перевищує довжину ближньої зони, ми маємо справу з дальнім полем, де розрахунки значно спрощуються. У цьому випадку коефіцієнт передачі сигналу можна визначити за такою формулою:

$$K_{a.т} = \frac{S_{\text{неп}} \cdot R \cdot T}{\lambda \cdot H} \cdot e^{-H\delta},$$

де $S_{\text{неп}}$ – активна площа випромінювальної поверхні датчика;

R – коефіцієнт відбиття;

T – коефіцієнт проходження хвилі на межі розділу середовища;

λ – довжина хвилі у середовищі;

H – відстань до перешкоди;

δ – коефіцієнт згасання в матеріалі середовища.

Вихідні дані:

- тип відбивача: бордюр з бетону;
- матеріал середовища: бетон;
- діаметр датчика: 15 мм;
- товщина п'єзoeлементa: 0,66 мм (для стандартного HC-SR04);
- відстань до об'єкта: 1 м;
- швидкість ультразвуку в бетоні: 3500 м/с;
- швидкість у матеріалі датчика: 5840 м/с;
- щільність бетону: 2400 кг/м³;
- щільність матеріалу датчика: 7500 кг/м³;
- згасання ультразвуку в бетоні: 1,2 дБ/см.

Розрахунки.

Визначення робочої частоти датчика:

Частота ультразвукової хвилі розраховується як:

$$f = \frac{c}{2d} = \frac{5840}{2 \cdot 0,66 \cdot 10^{-3}} \approx 4,42 \text{ МГц.}$$

Довжина хвилі у бетонному середовищі:

$$\lambda = \frac{3500}{4,42 \cdot 10^6} \approx 0,79 \text{ мм.}$$

Межа ближньої зони випромінювання:

$$r_{\text{бл}} = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{(0,015)^2}{4 \cdot 0,0079} \approx 0,071 \text{ мм.}$$

Оскільки об'єкт знаходиться на відстані 1000 мм, яка значно перевищує 71 мм, ми маємо справу з дальнім полем.

Розрахунок площі активної поверхні:

$$S_{\text{пеп}} = \pi \cdot \left(\frac{0,015}{2}\right)^2 \approx 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Акустичні імпеданси:

Для бетону:

$$Z_{\text{бетон}} = 2400 \cdot 3500 = 8,4 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

Для матеріалу ПЕП:

$$Z_{\text{ПЕП}} = 7500 \cdot 5840 = 4,37 \cdot 10^7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}.$$

Коефіцієнт проходження:

$$\Gamma = \frac{2Z_{\text{ПЕП}}}{Z_{\text{ПЕП}} + Z_{\text{бетон}}} = \frac{2 \cdot 4,37 \cdot 10^7}{4,37 \cdot 10^7 + 8,4 \cdot 10^6} \approx 0,912.$$

Коефіцієнт згасання (переведений у Непери):

$$\delta = \frac{0,012}{20 \cdot \log_{10} e} \approx 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}.$$

Розрахунок коефіцієнта акустичного тракту:

$$K_{a.T} = \frac{1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 0,912 \cdot e^{-1,38 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}}{0,79 \cdot 1000} \approx 1,84 \cdot 10^{-8}.$$

Прийнята напруга на виході приймача:

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{вх}} \cdot K_{a.T} = 5 \cdot 1,84 \cdot 10^{-8} \approx 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ В}.$$

2.4 Узагальнення результатів розрахунків параметрів парктроніка

У процесі аналізу принципової схеми ультразвукового паркувального радара та моделювання його функціонування (рис. 2.3) були отримані наступні ключові характеристики системи, що визначають її ефективність і точність:

Частота роботи системи складає приблизно 4,42 МГц, що відповідає резонансній частоті ультразвукових датчиків. Ця частота забезпечує оптимальне поширення хвиль у середовищі типу повітря або бетон.

Довжина ультразвукової хвилі у бетонному середовищі становить близько 0,79 мм, що дозволяє досягти високої точності виявлення навіть дрібних об'єктів, розташованих поблизу транспортного засобу.

Ближня зона приймача (мертва зона) має розмір приблизно 71 мм, що вказує на мінімальну відстань, на якій ще можливо впевнено виявляти відбитий сигнал без значних переключень або втрат.

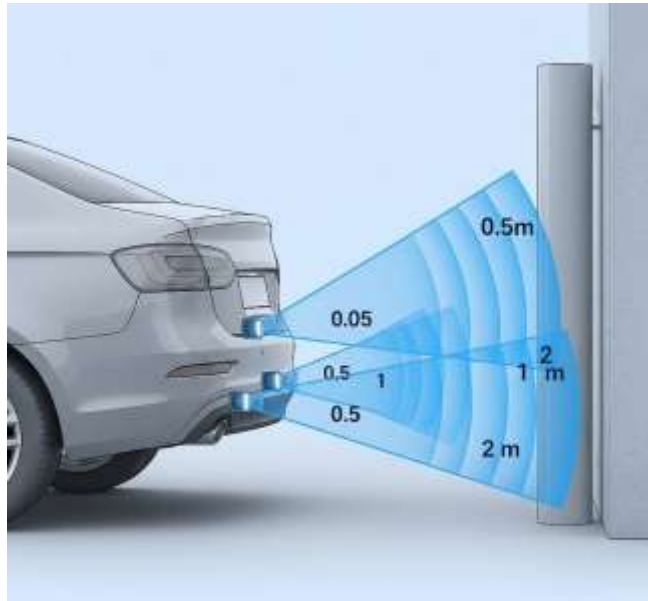


Рисунок 2.3 – Ультразвуковий паркувальний радар

Площа поверхні п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП) становить орієнтовно $0,000177 \text{ м}^2$. Цей параметр безпосередньо впливає на інтенсивність випромінювання та чутливість прийому ультразвукових хвиль.

Коефіцієнт передачі акустичної потужності (Ка.т.) розрахований на рівні приблизно $0,0000000184$, що характеризує ефективність передачі ультразвукового сигналу від випромінювача до приймача через середовище з урахуванням втрат.

Напряга прийнятого сигналу на вході підсилювача становить близько 92 нВ (нановольт). Такий низький рівень сигналу потребує використання високочутливих підсилювальних каскадів із фільтрацією шумів.

Мінімальна вимірювана відстань дорівнює 2 см , що дозволяє виявляти об'єкти практично впритул до бампера, наприклад бордюри чи паркувальні стовпчики.

Максимальна надійна відстань виявлення перешкод для цієї системи становить близько $2...3 \text{ метрів}$, що є достатнім діапазоном для паркування більшості легкових автомобілів.

РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПАРКУВАЛЬНОГО РАДАРУ НА ОСНОВІ ARDUINO UNO

3.1 Загальна структура та обрана апаратна база

Основою апаратної частини розроблюваного парктроніка виступає добре відома плата Arduino Uno (рис. 3.1), побудована на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega328P. Цей контролер є серцем системи: він виконує опрацювання вхідних сигналів, логічне управління, генерацію вихідних команд та зв'язок із периферійними пристроями.

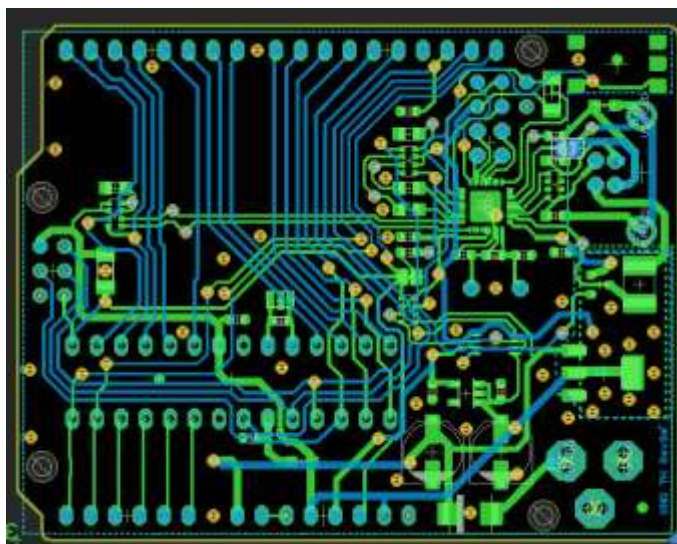


Рисунок 3.1 – Плата Arduino Uno

Схема живлення реалізована через штекер типу DC 2.1MMX, що дозволяє зручно підключити зовнішнє джерело напруги. Після подачі вхідної напруги на схему вона стабілізується за допомогою низькодропного стабілізатора NCP1117ST50T3G, який знижує її до 5 В — стандартного рівня для живлення більшості компонентів на базі Arduino. Для деяких вузлів, зокрема, модулів, що працюють на пониженій напрузі, застосовується стабілізатор LM6206-3.3, який

забезпечує стабільні 3,3 В. Схематичне зображення побудови апаратної частини паркувального пристрою представлено на рисунку 3.2.

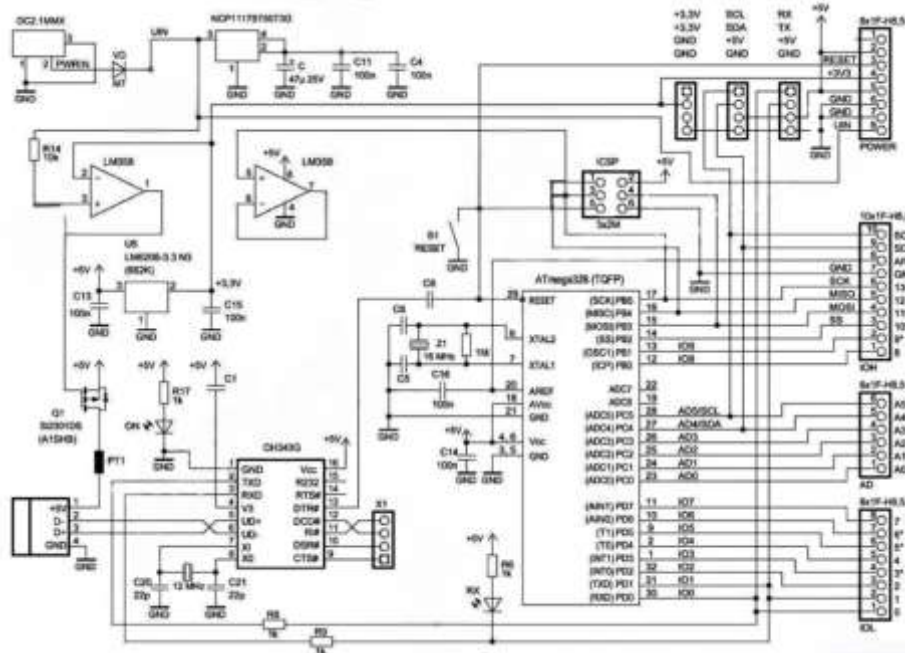


Рисунок 3.2 – Схема паркувального пристрою

3.2 Елементи згладжування, фільтрації та захисту

Для забезпечення надійної та стабільної роботи електронної схеми особливу увагу приділено згладжуванню напруги та боротьбі з імпульсними перешкодами. З цією метою в схемі застосовуються конденсатори C4, C11, C13, C15, C20, C21, які формують фільтри живлення. Завдяки цим елементам досягається ефективне придушення шумів та стабілізація напруги на входах мікросхеми.

Система також оснащена обмежувальними діодами VD1, VD2 та VD3, які виконують функції захисту від перенапруги та обмеження амплітуд вхідних сигналів до безпечного діапазону (від 0 до 5 В). Для додаткового захисту та фільтрації також застосовуються резистори R6, R13, R16 у поєднанні з відповідними конденсаторами.

3.3 Мікроконтролер і генерація тактових імпульсів

Мікроконтролер ATmega328P — центральний керуючий пристрій, що відповідає за опрацювання сигналів, логіку роботи системи та обмін даними. Для формування стабільної тактової частоти в схемі використовується кварцовий резонатор Z1 на 16 МГц, до якого підключені конденсатори C5 та C6.

Така частота дозволяє забезпечити швидке й точне виконання алгоритмів керування. Крім того, до деяких периферійних модулів, що потребують нижчої частоти, підключено окремий генератор на 8 МГц (ZQ) із відповідними конденсаторами C3 та C4. Це дозволяє створити оптимальні умови для точного вимірювання часу проходження ультразвукових сигналів.

3.4 Передача та прийом сигналів: підсилювачі та ультразвукові модулі

Основу функціонування парктроніка складає система генерації, передавання та прийому ультразвукових сигналів. Для цього застосовуються ультразвукові передавачі та приймачі (BQ), розміщені по периметру автомобіля. До виводів 9...12 контролера підключаються передавачі, яким надходять імпульси тривалістю 1 мс з амплітудою 10 В.

Після відбиття від перешкоди сигнал приймається приймачами BQ1–BQ4, підключеними до трикаскадного підсилювача, зібраного на транзисторах КТ3102 (VT1–VT3). Підсилений сигнал передається на неінвертуючий вхід компаратора мікроконтролера (наприклад, A0), що дозволяє оцінити його амплітуду.

Для порівняння сигналу з порогом використовується еталонна напруга +2,7 В, яку формує дільник на резисторах R1...R3. Така структура дозволяє точно детектувати наявність перешкоди в зоні дії сенсорів.

3.5 Комунікація з ПК та кнопка скидання

Зв'язок плати Arduino Uno з персональним комп'ютером для програмування здійснюється через UART–USB перетворювач, побудований на мікросхемі CH340G. Він забезпечує швидке завантаження прошивки та обмін даними у реальному часі.

Також передбачено кнопку скидання (RESET, S1), яка дозволяє примусово перезапустити мікроконтролер. Це зручно під час налагодження та тестування. Світлодіод L індикуює роботу схеми та допомагає у візуальній діагностиці стану пристрою.

3.6 Принцип роботи паркувального асистента

Після активації системи — яка відбувається автоматично при включенні задньої передачі або поворотника, система надсилає ультразвукові сигнали. У разі наявності перешкоди хвиля відбивається назад до приймача. За допомогою вимірювання часу затримки між переданим та прийнятим сигналом мікроконтролер розраховує відстань до об'єкта.

Залежно від отриманої відстані формується звуковий сигнал попередження: чим ближча перешкода, тим вища частота сигналу. Наприклад, при відстані менше 1 м — сигнал частий; при 1–2 м — більш рідкий. Якщо протягом 60 мс відбитий імпульс не надходить, цикл повторюється.

3.7 Підключення до електричної системи автомобіля

Для живлення всієї системи використовується бортова напруга автомобіля 12 В, яка подається через відповідну лінію на стабілізатор DA1 (типу 7805). Він перетворює напругу на постійні 5 В, необхідні для живлення Arduino Uno та

інших компонентів. Для стабілізації та фільтрації також використовуються резистори R6 та конденсатори C2, C8, C13, що формують фільтр низьких частот.

3.8 Структура та опис принципової електричної схеми парктроніка

Проектування електронних пристроїв, зокрема систем допомоги під час паркування (парктроніків), вимагає точного і логічного підходу до побудови електричної схеми, яка є основою функціонування всього пристрою. Розроблена принципова електрична схема парктроніка ґрунтується на використанні сучасного мікроконтролера Arduino Uno, який забезпечує гнучкість, надійність та можливість реалізації складних алгоритмів обробки даних:

а) загальна побудова схеми;

- принципова схема, на основі якої функціонує вся система парктроніка, представлена на рисунку 3.3. Цей рисунок відображає структурну побудову та взаємозв'язки між ключовими елементами системи, що включає модулі живлення, підсилення, передавання й приймання ультразвукових сигналів, а також інтерфейс взаємодії з автомобільною мережею;

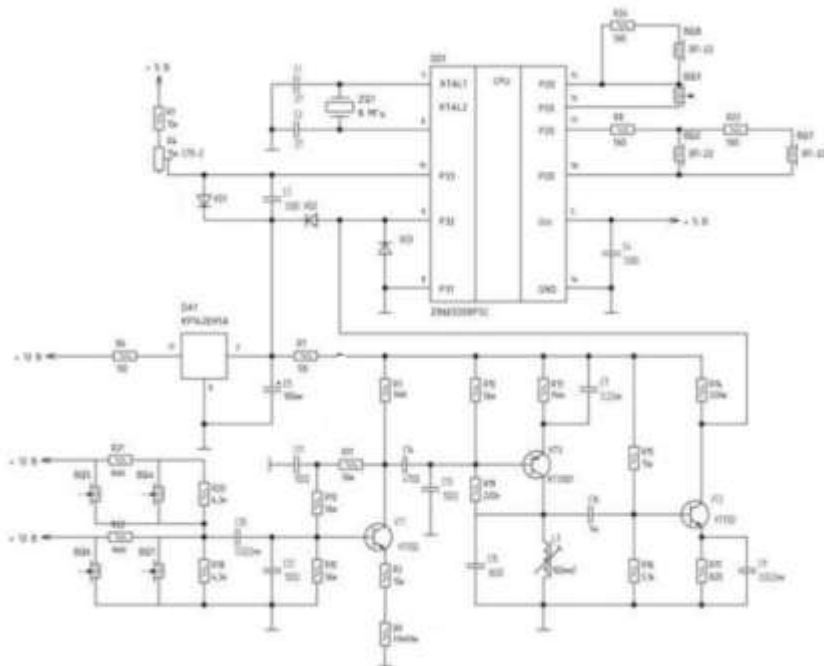


Рисунок 3.3 – Принципова схема паркувальної системи

б) система живлення і стабілізація напруги;

- для коректної роботи мікроконтролера та периферійних компонентів необхідно забезпечити стабільне живлення. У нашому випадку використовується стабілізатор напруги типу 7805 (DA1), який перетворює стандартну напругу бортової мережі автомобіля (12 В) у стабільну напругу +5 В. Саме це джерело живлення подається на мікроконтролер Arduino Uno та інші ключові вузли системи;

- з метою зниження рівня високочастотних перешкод та стабілізації електроживлення додатково використано фільтрувальні елементи – резистор R6 разом із конденсаторами C2, C8 та C13. Це дозволяє уникнути збоїв, які можуть виникнути через нестабільну роботу автомобільної електромережі або вплив зовнішніх джерел завад;

- формування та передача ультразвукових сигналів;

- основною функціональною особливістю парктроніка є передача та прийом ультразвукових сигналів. Для генерації таких сигналів до мікроконтролера підключено кварцовий генератор на 8 МГц, з'єднаний із платою Arduino Uno через конденсатори C3 та C4. Це дозволяє сформувати необхідну частоту імпульсів та забезпечити їх стабільність;

- ультразвукові передавачі, у кількості чотирьох штук, підключаються до цифрових виводів 9–12 плати Arduino Uno. Вони отримують імпульсні сигнали тривалістю 1 мс з амплітудою до 10 В, які формують збуджуючу напругу для генерації високочастотного звуку. У результаті створюється спрямоване ультразвукове поле, що дозволяє покривати зону навколо транспортного засобу.

г) прийом, обробка та підсилення сигналу;

- після того, як ультразвукові хвилі, випромінені передавачами, відбиваються від навколишніх об'єктів, вони приймаються чотирма окремими приймачами (BQ1–BQ4). Прийнятий слабкий сигнал передається на трикаскадний підсилювач, реалізований на транзисторах типу KT3102 (VT1–VT3). Така побудова дозволяє досягти суттєвого підсилення, що є критично важливим для точного визначення навіть найменших відбитих коливань.

Сигнал із підсилювача подається на аналоговий вхід А0 мікроконтролера, який одночасно виконує роль неінвертуючого входу внутрішнього компаратора. На інвертуючий вхід цього компаратора подається еталонна напруга величиною +2,7 В, яка формується за допомогою резистивного дільника на основі R1–R3.

д) захист і фільтрація сигналів;

- з метою захисту аналогового входу мікроконтролера від перенапруги та високочастотних перешкод у схемі передбачено застосування діодів VD1, VD2 і VD3, а також захисного фільтрувального конденсатора C1. VD2 і VD3 обмежують коливання сигналу в межах безпечного діапазону (0...5 В), а VD1 із C1 додатково захищають від електромагнітних завад та імпульсних перенапруг, які можуть виникати в умовах реальної експлуатації на автомобілі.

е) підключення до систем автомобіля;

-важливим елементом функціонування системи є її взаємодія з електрообладнанням транспортного засобу. Підключення здійснюється до лампи заднього ходу та поворотних індикаторів. Таким чином, схема активується автоматично при включенні заднього ходу або під час повороту, що сприяє підвищенню безпеки та мінімізації навантаження на водія.

ж) принцип дії системи;

- після активації електронної паркувальної системи, яка зазвичай відбувається при увімкненні задньої передачі автомобіля, мікроконтролер Arduino Uno переходить у активний режим роботи. У цей момент від мікроконтролера на відповідні вихідні порти подаються короткотривалі керуючі сигнали, які призначені для запуску ультразвукових передавачів. Ці передавачі, використовуючи збуджуючі імпульси, генерують високочастотні акустичні коливання – імпульсні ультразвукові хвилі, які поширюються у навколишньому середовищі.

Ультразвукові хвилі, поширюючись прямолінійно від передавача, зустрічають на своєму шляху різноманітні фізичні об'єкти – перешкоди. Після зіткнення з поверхнею об'єкта хвиля змінює напрямок руху й повертається у зворотному напрямку, де її фіксує приймальний модуль. Приймачі перетворюють

зворотний ультразвуковий сигнал на електричний, який подається до вхідного підсилювача та обробляється мікроконтролером.

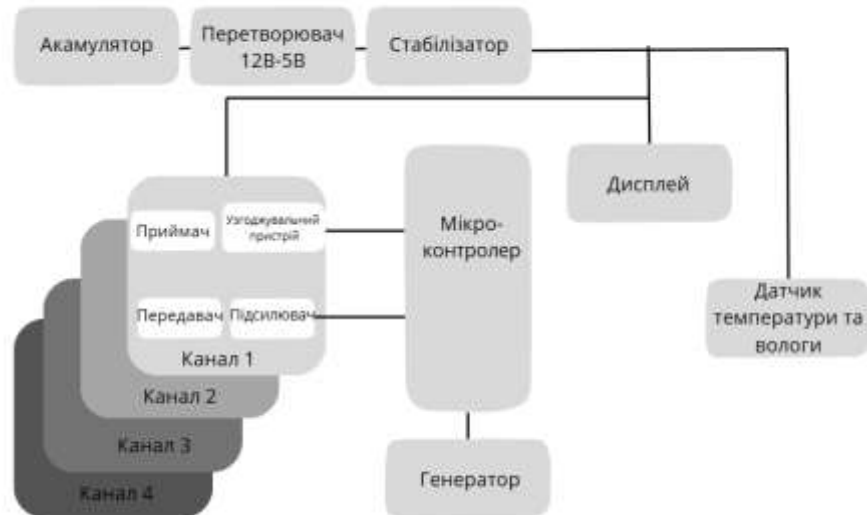


Рисунок 3.4 – Структурна схема роботи паркувальної системи на базі Arduino Uno

Основним методом визначення відстані до об'єкта є обчислення часу затримки між моментом передачі імпульсу та моментом його повернення у вигляді відбитого сигналу. Мікроконтролер використовує спеціалізовані алгоритми, реалізовані у програмному забезпеченні, для визначення цього інтервалу з високою точністю. Шлях звукової хвилі в обидва боки вимірюється в мікросекундах, а за формулою швидкості звуку в повітрі (близько 343 м/с) розраховується фактична відстань до перешкоди.

Залежно від визначеної відстані, система генерує відповідні попереджувальні сигнали, які відтворюються у вигляді звукових або світлових індикаторів. Наприклад, якщо об'єкт знаходиться на відстані меншій за 1 метр, система формує високочастотні звукові сигнали, що сповіщають водія про критичну близькість до перешкоди. Якщо ж об'єкт знаходиться у межах від 1 до 2 метрів, інтенсивність сигналів зменшується, забезпечуючи поступове попередження про наближення. Такий принцип адаптивної індикації дозволяє

забезпечити оперативну реакцію водія та значно знижує ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод під час паркування або маневрування у тісному просторі.

Після завершення передачі імпульсного сигналу, який має тривалість приблизно 1 мілісекунду, мікроконтролер переходить у режим очікування. У цей період система аналізує, чи було зафіксовано відбиту хвилю протягом контрольного інтервалу часу – зазвичай він становить 60 мс. Якщо протягом цього часу приймач не виявляє жодного сигналу, система автоматично переходить до наступного циклу формування нового імпульсу. Цей процес повторюється багаторазово, з певною періодичністю, що забезпечує безперервний моніторинг простору навколо автомобіля.

Завдяки такому підходу система створює ефективне «акустичне сканування» простору, яке дає змогу водію орієнтуватися навіть у складних паркувальних умовах. Стабільність і точність обробки сигналів значною мірою залежать від правильності апаратної реалізації схеми, зокрема резонансного підсилювача, кварцового генератора, фільтрів та системи живлення.

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПАРКУВАННЯ

4.1 Імпортування бібліотек та початкове налаштування

У даному розділі розглядається структура програмного коду, використаного для керування паркувальною системою на основі Arduino Uno. Початковий етап включає підключення бібліотек, які забезпечують взаємодію з периферійними пристроями. На початку програми використовується директива препроцесора `#define`, що дозволяє створити зрозумілі імена для контактів мікроконтролера:

```
#define trigPin 9
#define echoPin 10
#define buzzer 11
#define led1 2
#define led2 3
#define led3 4
```

Рисунок 4.1 – Оголошення контактів мікроконтролера

Таке оголошення дозволяє уникнути плутанини в коді та полегшує налагодження програми. Після цього у функції `setup()` виконується ініціалізація контактів. За допомогою функції `pinMode()` задається режим роботи кожного з них.

```
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);
pinMode(buzzer, OUTPUT);
pinMode(led1, OUTPUT);
pinMode(led2, OUTPUT);
pinMode(led3, OUTPUT);
```

Рисунок 4.2 – Ініціалізація пінів: ультразвуковий датчик, світлодіоди та звуковий сигналізатор

У цьому коді `trigPin` використовується для надсилання ультразвукового імпульсу, `echoPin` – для прийому відбитого сигналу, `buzzer` – для звукового сповіщення, а `led1`, `led2`, `led3` – для індикації наближення до об'єкта.

4.2 Обробка сигналу від ультразвукового датчика

Після налаштування обладнання, у головному циклі `loop()` реалізується логіка роботи системи. Спочатку генерується імпульс для ініціації вимірювання.

```
digitalWrite(trigPin, LOW);  
delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(trigPin, HIGH);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(trigPin, LOW);
```

Рисунок 4.3 – Генерація збуджуючого імпульсу для ультразвукового датчика

Після цього зчитується тривалість відбитого сигналу та розраховується відстань до об'єкта.

```
long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
int distance = duration * 0.034 / 2;
```

Рисунок 4.4 – Обчислення відстані до об'єкта на основі тривалості сигналу

4.3 Візуальна та звукова індикація відстані

У залежності від отриманої дистанції, активуються відповідні світлодіоди та подається звуковий сигнал.

```

if(distance < 20){
  digitalWrite(led3, HIGH);
  tone(buzzer, 1000);
  delay(300);
  noTone(buzzer);
}
else if(distance < 30){
  digitalWrite(led2, HIGH);
  tone(buzzer, 1000);
  delay(200);
  noTone(buzzer);
}
else if(distance < 40){
  digitalWrite(led1, HIGH);
}
}

```

Рисунок 4.5 – Реакція на зміну відстані: індикація та звукове попередження

Таким чином, чим ближче автомобіль під'їжджає до перешкоди, тим активніше працює індикація. Світлодіоди змінюються від зеленого до червоного, а частота звукових сигналів збільшується.

4.4 Робота з LCD дисплеєм (опціонально)

У деяких модифікаціях системи передбачено використання рідкокристалічного дисплея для виведення значень відстані.

```

lcd.begin(16, 2);
lcd.print("Distance: ");
lcd.print(distance);
lcd.print(" cm");

```

Рисунок 4.6 – Виведення значень відстані на LCD-дисплей

Це забезпечує водієві додаткову візуальну інформацію під час паркування. Проте система може повноцінно функціонувати і без дисплея.

4.5 Призначення елементів коду та їх апаратна реалізація

Команди (функції Arduino):

- `#define` – оголошує сталі імена для пінів, щоб зробити код зрозумілішим;
- `pinMode(pin, mode)` – встановлює режим роботи піну (вхід або вихід);
- `digitalWrite(pin, value)` – встановлює високий (HIGH) або низький (LOW) рівень сигналу на піні;
- `delayMicroseconds(time)` – затримка в мікросекундах, використовується для формування імпульсу;
- `pulseIn(pin, value)` – вимірює тривалість імпульсу (у мікросекундах), що надійшов на pin;
- `tone(pin, frequency)` – генерує звуковий сигнал заданої частоти на вказаному піні;
- `noTone(pin)` – припиняє генерування звукового сигналу;
- `lcd.begin(cols, rows)` – ініціалізує LCD-дисплей з вказаною кількістю стовпців і рядків;
- `lcd.print(value)` – виводить значення на екран дисплея.
- Апаратні компоненти:
- `trigPin` (наприклад, 9 пінів) – відповідає за надсилання ультразвукового імпульсу (вихід);
- `echoPin` (наприклад, 10 пінів) – приймає відбитий ультразвуковий сигнал (вхід);
- `buzzer` (пізоелемент) – генерує звукові сигнали для водія (вихід);
- `led1` (зелений світлодіод) – загоряється, коли об'єкт на відстані більше 30 см;
- `led2` (жовтий світлодіод) – вмикається при відстані близько 25–30 см;
- `led3` (червоний світлодіод) – сигналізує про небезпечне наближення (менше 20 см);
- LCD-дисплей (опціонально) – показує точне значення відстані в сантиметрах;

- ультразвуковий датчик HC-SR04 – головний сенсор, що визначає відстань до перешкоди.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи була розроблена сучасна та ефективна система допомоги при паркуванні — парктронік, що базується на використанні мікроконтролерної платформи Arduino Uno з мікроконтролером ATmega328 та ультразвуковим датчиком HC-SR04. Такий підхід дозволив створити доступний, надійний і точний пристрій, який може значно покращити безпеку та зручність водіння.

У першому аналітичному розділі було проведено ґрунтовний огляд сучасних радарних та ультразвукових систем, що використовуються для автоматичного паркування. Порівняння існуючих комерційних пристроїв дало змогу визначити основні переваги та недоліки різних рішень, що послужило основою для вибору оптимальної апаратної бази. Особлива увага приділялась аналізу Arduino Uno, який завдяки своїй універсальності, наявності широкого набору бібліотек та підтримці різноманітних датчиків, є ідеальним вибором для прототипування та створення парктроніка.

Другий розділ роботи був присвячений теоретичним основам та практичним розрахункам акустичного тракту ультразвукового перетворювача. Детальний аналіз параметрів акустичного тракту дозволив оптимізувати роботу ультразвукового датчика HC-SR04 для максимально точного вимірювання відстані до перешкод у ближній зоні. Це особливо важливо для парктроніка, оскільки точність вимірювання визначає надійність роботи всієї системи.

У третьому розділі було розроблено та обґрунтовано принципову електричну схему паркувального радара, яка включає в себе не лише ультразвуковий модуль і мікроконтролер, а й елементи фільтрації, згладжування та захисту сигналів, що забезпечують стабільну роботу пристрою в реальних умовах експлуатації. Особливу увагу приділено комунікації з персональним комп'ютером та можливості скидання налаштувань, що підвищує функціональність та гнучкість системи.

Четвертий розділ розкрив особливості програмної реалізації парктроніка. Завдяки модульній структурі коду було досягнуто чіткої та зручної логіки роботи з ультразвуковим датчиком, обробки отриманих даних та керування індикацією. Візуальна індикація за допомогою трьох світлодіодів різних кольорів у поєднанні зі звуковим сигналом забезпечує водію зрозуміле та своєчасне попередження про близькість перешкоди. Опціональна підтримка LCD-дисплея підвищує інформативність системи та полегшує її використання.

Практична реалізація показала, що розроблена система характеризується високою точністю вимірювання відстані, швидкістю обробки сигналів та стабільністю роботи в реальних умовах. Використання Arduino Uno дозволило швидко адаптувати систему під різні конфігурації автомобіля, а модульність програмного коду — легко впроваджувати нові функції.

Важливо зазначити, що парктронік, розроблений у цій роботі, є не тільки ефективним, а й економічно вигідним рішенням, яке може бути впроваджене як у серійне виробництво, так і для самостійного монтажу ентузіастами. Це відповідає сучасним тенденціям розвитку автомобільної електроніки, де важливу роль відіграє доступність та простота обслуговування.

Отже, виконана дипломна робота зробила вагомий внесок у розвиток систем допомоги водієві, зокрема в області паркування. Вона відкриває перспективи подальшого удосконалення та розширення функціоналу, наприклад, шляхом інтеграції з іншими сенсорами, використанням більш складних алгоритмів обробки сигналу, а також впровадженням бездротових технологій зв'язку.

Результати роботи можуть бути застосовані у виробництві бюджетних систем допомоги при паркуванні, що позитивно вплине на безпеку дорожнього руху та комфорт водіїв. Крім того, отримані знання й досвід послужать базою для подальших досліджень у сфері автомобільної електроніки та вбудованих систем керування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Arduino – офіційний сайт. URL: <https://www.arduino.cc> (дата звернення 09.06.2025).
2. Adafruit Learning System – навчальні матеріали з електроніки. URL: <https://learn.adafruit.com> (дата звернення 09.06.2025).
3. Колі А., Малхотра Г. Розробка та реалізація системи вимірювання відстані на платформі Arduino з використанням ультразвукових датчиків // Міжнародний журнал інженерних досліджень і технологій. — Т. 7, № 6, 2018.
4. Кудрявцев Д. А., Цапенко І. В. Arduino та мікроконтролери в електроніці: навч. посібник. — Київ: КНЕУ, 2021. — 196 с.
5. Куліш Л. С. Застосування мікроконтролерів Arduino у сучасних автоматизованих системах // Електроніка та системи управління. — № 2, 2021. — С. 88–92.
6. Монк С. Програмування Arduino: Вступ до скетчів. — МакГроу-Гілл Ед'юкейшн, 2016. — 192 с.
7. Перрі Дж. Arduino в дії. — Маннінг Паблікейшнс, 2013. — 408 с.
8. ScienceDirect – база наукових статей з технічних наук. URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата звернення 09.06.2025).
9. Сінг Р., Гупта М. Інтелектуальна система паркування автомобіля з використанням Інтернету речей та ультразвукових датчиків // Міжнародний журнал передових досліджень в комп'ютерних науках. — Т. 10, № 3, 2019. — С. 50–56.
10. SparkFun Electronics – документація на сенсори та модулі. URL: <https://www.sparkfun.com> (дата звернення 09.06.2025).

11. Tinkercad – онлайн-платформа для моделювання схем. URL: <https://www.tinkercad.com> (дата звернення 09.06.2025).
12. Що таке ультразвуковий датчик HC-SR04? URL: <https://arduinoua.net/blog/ultrazvukovyy-datchyk-hcsr04/> (дата звернення 09.06.2025).
13. Характеристики сенсора HC-SR04 – технічна документація. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> (дата звернення 09.06.2025).
14. Електронні підручники – навчальні матеріали з електроніки. URL: <https://www.electronics-tutorials.ws> (дата звернення 09.06.2025).
15. ScienceDirect – база наукових статей з технічних наук. URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата звернення 09.06.2025).