

**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 нанoeлектроніка»

спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

на тему: «Аудіо-візуальна система паркування автомобілів»

Виконав:

студент IV курсу, групи ДП-21

Троян Ярослав Володимирович _____

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 _____

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 наноелектроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дмитро Дмитрович Татарчук

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Троян Ярослав Володимирович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Аудіо-візуальна система паркування 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: розробка аудіо-візуальної системи паркування автомобіля на базі мікроконтролера з використанням ультразвукових датчиків, дисплея та звукової сигналізації
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз сучасних систем паркування автомобілів, вибір елементної бази, розробка структурної та принципової схем, реалізація алгоритму роботи пристрою, розробка друкованої плати та дослідження роботи системи
5. Перелік графічного матеріалу: схема електрична принципова, друкована плата, тривимірна модель друкованої плати, рисунки, графіки
6. Дата видачі завдання: _____ 30.03.2026 _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук літератури та аналіз сучасних систем паркування	10.03.2026 - 23.03.2026	
2	Аналіз елементної бази та вибір компонентів	24.03.2026 - 31.03.2026	
3	Розробка структурної схеми системи	01.04.2026 - 10.04.2026	
4	Розробка принципової електричної схеми	11.04.2026 - 15.04.2026	
5	Розробка алгоритму роботи системи	16.04.2026 - 30.04.2026	
6	Моделювання та тестування роботи пристрою	01.05.2026 - 08.05.2026	
7	Розробка друкованої плати	09.05.2026 - 15.05.2026	
8	Аналіз результатів роботи	16.05.2026 - 19.05.2026	
9	Оформлення дипломної роботи	20.05.2026 - 27.05.2026	

Студент

_____ Ярослав ТРОЯН,
(підпис)

Керівник роботи

_____ Юрій ДІДЕНКО.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 88 с., 28 рис., 6 табл., 4 дод., 30 джерел.

Об'єкт дослідження: системи контролю відстані до перешкод під час паркування автомобіля.

Предмет дослідження: ультразвукові засоби вимірювання відстані та способи аудіо-візуального сповіщення водія.

Мета роботи: розробка аудіо-візуальної системи паркування автомобіля, здатної забезпечувати вимірювання відстані до перешкод, обробку отриманих даних та виведення інформації у звуковому і візуальному вигляді.

Методи дослідження: аналітичний огляд сучасних систем паркування, ультразвукових датчиків, мікроконтролерів та засобів індикації; розробка структурної та принципової електричної схем; розрахунок основних електричних параметрів; моделювання роботи системи у середовищі Proteus; аналіз отриманих результатів.

Результат роботи: розроблено аудіо-візуальну систему паркування на базі мікроконтролера ATmega328P із використанням ультразвукових датчиків JSN-SR04T та OLED-дисплея з інтерфейсом I2C. Реалізовано звукову сигналізацію, автоматичне регулювання яскравості дисплея та температурну компенсацію ультразвукових вимірювань. Розроблено друковану плату та виконано моделювання роботи системи.

Ключові слова: система паркування, ультразвуковий датчик, мікроконтролер, ATmega328P, OLED-дисплей, I2C, audio-візуальна індикація.

ANNOTATION

Qualification work: 88 pages, 28 figures, 6 tables, 4 appendices, 30 references.

Object of research: obstacle distance control systems during car parking.

Subject of research: ultrasonic distance measuring devices and methods of audio-visual driver notification.

Purpose of the work: development of an audio-visual car parking system capable of measuring the distance to obstacles, processing the acquired data, and displaying information in audio and visual formats.

Research methods: analytical review of modern parking systems, ultrasonic sensors, microcontrollers, and indication devices; development of structural and electrical schematic diagrams; calculation of key electrical parameters; simulation of system operation in the Proteus environment; analysis of the obtained results.

Results of the work: an audio-visual parking system based on the ATmega328P microcontroller, utilizing JSN-SR04T ultrasonic sensors and an I2C OLED display, was developed. Acoustic signaling, automatic display brightness adjustment, and temperature compensation for ultrasonic measurements were implemented. A printed circuit board was developed, and the system operation was simulated.

Keywords: parking system, ultrasonic sensor, microcontroller, ATmega328P, OLED display, I2C, audio-visual indication.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ.....	12
1.1 Призначення та область застосування	12
1.2 Аналіз ультразвукових датчиків для вимірювання відстані	15
1.3 Аналіз мікроконтролерів для побудови системи паркування	19
1.4 Аналіз засобів візуальної індикації	24
1.5 Аналіз звукової індикації та сигналізації зближення з перешкодою	27
1.6 Аналіз автоматичного регулювання яскравості дисплея.....	29
1.7 Аналіз впливу температури на точність ультразвукових вимірювань.....	31
1.8 Висновки до розділу 1	32
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АУДІО-ВІЗУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПАРКУВАННЯ	34
2.1 Розробка структурної схеми системи	34
2.2 Розробка алгоритму роботи системи	36
2.3 Розробка принципової електричної схеми	39
2.4 Підключення мікроконтролера.....	41
2.5 Розробка вузла живлення	43
2.6 Розробка вузла підключення ультразвукових датчиків	45
2.7 Розробка вузла візуальної індикації.....	48
2.8 Розробка вузла звукової індикації.....	50
2.9 Розробка вузла автоматичного регулювання яскравості	52
2.10 Розробка вузла температурної компенсації	53
2.11 Загальний принцип роботи системи	55
2.12 Висновки до розділу 2	57
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	58
3.1 Розрахунок струму споживання системи	58
3.2 Розрахунок вузла живлення	59
3.3 Розрахунок часу вимірювання відстані	61
3.4 Розрахунок транзисторного ключа бузера	62
3.5 Розрахунок температурної похибки вимірювання	63

	7
3.6 Розрахунок автоматичного регулювання яскравості	65
3.7 Висновки до розділу 3	67
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ	69
4.1 Розробка друкованої плати системи	69
4.2 Особливості компонування елементів на друкованій платі	73
4.3 Моделювання роботи системи у Proteus.....	74
4.4 Аналіз результатів моделювання системи.....	77
4.5 Висновки до розділу 4	78
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	81
Додаток А.....	85
Додаток Б	86
Додаток В	87
Додаток Г	88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ADC (Analog-to-Digital Converter) — аналого-цифровий перетворювач
ARM (Advanced RISC Machine) — архітектура RISC-мікропроцесорів
AVR (Alf and Vegard's RISC processor) — сімейство мікроконтролерів Atmel
CS (Chip Select) — вибір кристала або вибір пристрою
DC-DC (Direct Current to Direct Current) — перетворювач постійної напруги
Echo (Echo Signal) — сигнал відбитого ультразвукового імпульсу
Flash (Flash Memory) — флеш-пам'ять програм
GPIO (General Purpose Input/Output) — універсальні порти введення-виведення
I2C (Inter-Integrated Circuit) — послідовний інтерфейс обміну даними
LCD (Liquid Crystal Display) — рідкокристалічний дисплей
MISO (Master In Slave Out) — вхід ведучого, вихід веденого
MOSI (Master Out Slave In) — вихід ведучого, вхід веденого
OLED (Organic Light Emitting Diode) — органічний світлодіодний дисплей
PWM (Pulse-Width Modulation) — широтно-імпульсна модуляція
SCK (Serial Clock) — послідовний тактовий сигнал
SPI (Serial Peripheral Interface) — послідовний периферійний інтерфейс
SRAM (Static Random Access Memory) — статична оперативна пам'ять
Trigger (Trigger Signal) — керуючий імпульс запуску ультразвукового датчика
UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) — універсальний асинхронний приймач-передавач

ВСТУП

Стрімкий розвиток автомобільної електроніки та вбудованих мікроконтролерних систем сприяє широкому впровадженню інтелектуальних засобів допомоги водієві [1, 2]. Сучасний автомобіль неможливо уявити без електронних систем контролю, моніторингу та безпеки, які забезпечують підвищення комфорту керування, зменшення ризику аварійних ситуацій та полегшення виконання складних маневрів. Одним із найбільш поширених допоміжних засобів є система паркування автомобіля.

Під час руху у міських умовах водій часто стикається з необхідністю виконання маневрів у вузьких просторах, на переповнених стоянках або в умовах обмеженої видимості. У таких ситуаціях навіть незначна помилка може призвести до пошкодження транспортного засобу або створення аварійної ситуації. Особливо це стосується руху заднім ходом, коли частина простору навколо автомобіля перебуває поза прямою видимістю водія. Саме тому системи допомоги при паркуванні набули широкого поширення як у дорогих автомобілях, так і в бюджетному сегменті.

Одним із найбільш ефективних методів визначення відстані до перешкод є ультразвуковий метод вимірювання. Його принцип роботи базується на випромінюванні ультразвукового сигналу та прийомі ехосигналу від поверхні перешкоди. Відстань до об'єкта визначається за часом проходження ультразвукової хвилі від випромінювача до об'єкта та назад до приймача. Використання ультразвукових датчиків дозволяє реалізувати безконтактне вимірювання відстані з достатньою точністю незалежно від рівня освітленості, часу доби або погодних умов. Завдяки цьому ультразвукові системи залишаються одним із найбільш поширених рішень у сфері автомобільних паркувальних систем.

Актуальність розробки аудіо-візуальної системи паркування обумовлена необхідністю створення компактного, недорогого та надійного електронного пристрою, здатного забезпечувати своєчасне інформування водія про наявність

перешкод поблизу автомобіля. Важливим фактором є також необхідність підвищення точності вимірювання та зручності сприйняття інформації. У сучасних системах паркування недостатньо лише звукової індикації, тому доцільним є використання одночасно візуального та звукового способів інформування.

У дипломному проєкті розробляється аудіо-візуальна система паркування автомобіля, побудована на базі мікроконтролера ATmega328P. Даний мікроконтролер є одним із найбільш поширених рішень для вбудованих систем завдяки достатній продуктивності, наявності апаратних таймерів, зручності програмування та широкому набору периферійних модулів. Використання ATmega328P дозволяє реалізувати опитування кількох ультразвукових датчиків, обробку отриманих даних і керування дисплеєм та звуковою сигналізацією без застосування додаткових спеціалізованих мікросхем.

У якості первинних перетворювачів у системі використовуються чотири ультразвукові датчики JSN-SR04T. На відміну від модулів типу HC-SR04, дані датчики мають герметизоване виконання, що робить їх придатними для використання в умовах автомобільної експлуатації. Застосування чотирьох датчиків дозволяє збільшити контрольовану зону навколо автомобіля та підвищити точність визначення положення перешкоди.

Для відображення результатів вимірювання використовується OLED-дисплей з інтерфейсом I2C та діагоналлю 1,54 дюйма. OLED-технологія забезпечує високу контрастність зображення, широкий кут огляду, низьке енергоспоживання та можливість зручного відображення графічної інформації. На дисплей виводяться значення відстані до перешкод і допоміжна графічна інформація.

Додатково в системі передбачена звукова індикація небезпечного наближення до перешкоди. Для цього використовується бужер, підключений через транзисторний ключ до мікроконтролера. Частота звукових сигналів змінюється залежно від відстані до об'єкта, що дозволяє водієві оперативно оцінювати ступінь небезпеки навіть без постійного контролю дисплея.

Особливістю системи є реалізація автоматичного регулювання яскравості OLED-дисплея залежно від рівня зовнішнього освітлення, а також використання датчика температури для компенсації впливу температури навколишнього середовища на швидкість поширення ультразвукових хвиль. Це дозволяє підвищити точність вимірювання та забезпечити стабільну роботу системи в умовах автомобільної експлуатації.

Живлення системи здійснюється від бортової мережі автомобіля напругою 12–24 В. Для отримання стабілізованої напруги 5 В використовується DC-DC перетворювач, який забезпечує вищий коефіцієнт корисної дії у порівнянні з лінійними стабілізаторами та дозволяє зменшити теплові втрати. Це особливо важливо для автомобільних електронних систем, які повинні стабільно працювати в умовах перепадів напруги та імпульсних завад у бортовій мережі.

Метою дипломного проєкту є розробка аудіо-візуальної системи паркування автомобіля, яка забезпечує вимірювання відстані до перешкод за допомогою ультразвукових датчиків, обробку отриманих даних мікроконтролером та виведення інформації у візуальному і звуковому вигляді.

У процесі виконання дипломного проєкту необхідно провести аналіз існуючих систем паркування та сучасної елементної бази, обґрунтувати вибір основних компонентів пристрою, розробити структурну та принципову електричну схеми, реалізувати алгоритм роботи системи, виконати розрахунок основних електричних параметрів, а також розробити друковану плату пристрою та оцінити його експлуатаційні характеристики.

Розроблювана система повинна забезпечувати стабільну роботу в умовах автомобільної експлуатації, достатню точність вимірювання, високу надійність, низьке енергоспоживання та зручність використання для водія.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Призначення та область застосування

Системи допомоги при паркуванні належать до класу автомобільних електронних систем активної безпеки та призначені для спрощення маневрування транспортного засобу в умовах обмеженого простору. Основною функцією таких систем є визначення відстані між автомобілем та навколишніми об'єктами з подальшим інформуванням водія про небезпечне зближення з перешкодою.

Необхідність використання паркувальних систем обумовлена постійним зростанням кількості транспортних засобів у міських умовах, збільшенням щільності забудови та зменшенням доступного простору для паркування. У процесі руху заднім ходом або виконання маневрів на малих швидкостях водій часто має обмежений огляд навколишнього середовища, що створює ризик пошкодження автомобіля або зіткнення з іншими транспортними засобами чи перешкодами.

Найбільш поширеними є ультразвукові системи паркування, які використовують принцип ехолокації. Під час роботи система формує короткі ультразвукові імпульси, що випромінюються у напрямку потенційної перешкоди. Після відбиття сигнал приймається датчиком, а електронний блок керування визначає час проходження ультразвукової хвилі та обчислює відстань до об'єкта. Принцип визначення відстані за допомогою ультразвукового сигналу наведено на рис. 1.1.

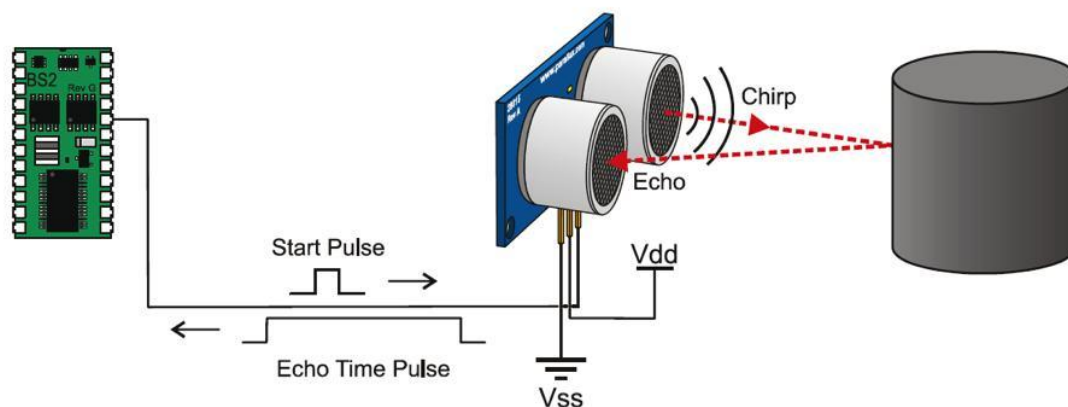


Рисунок 1.1 – Принцип ультразвукового вимірювання відстані [3]

Відстань до перешкоди визначається на основі часу проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад. Для обчислення використовується співвідношення:

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

Де: L — відстань до перешкоди, м; v — швидкість поширення звуку в повітрі, м/с; t — час проходження ультразвукового імпульсу, с.

Ділення на два пояснюється тим, що сигнал проходить шлях двічі: від датчика до перешкоди та у зворотному напрямку.

У більшості сучасних систем швидкість поширення звуку приймається рівною приблизно 343 м/с при температурі навколишнього середовища 20 °С. Однак реальна швидкість звуку залежить від температури, вологості та атмосферного тиску, що може впливати на точність вимірювання.

Сучасні системи паркування можуть використовувати звукову, світлодіодну або графічну індикацію. Найпростішими є системи лише зі звуковим інформуванням, у яких частота звукових сигналів збільшується при зменшенні відстані до перешкоди. Проте такі системи не забезпечують точного числового відображення інформації та не дозволяють водієві оцінити положення перешкоди відносно автомобіля.

Більш сучасні системи використовують аудіо-візуальний спосіб інформування, який поєднує звукову сигналізацію та графічне відображення інформації на дисплеї. Такий підхід забезпечує підвищення інформативності системи та покращує зручність її використання. Типова структура сучасної аудіо-візуальної системи паркування наведена на рис. 1.2.

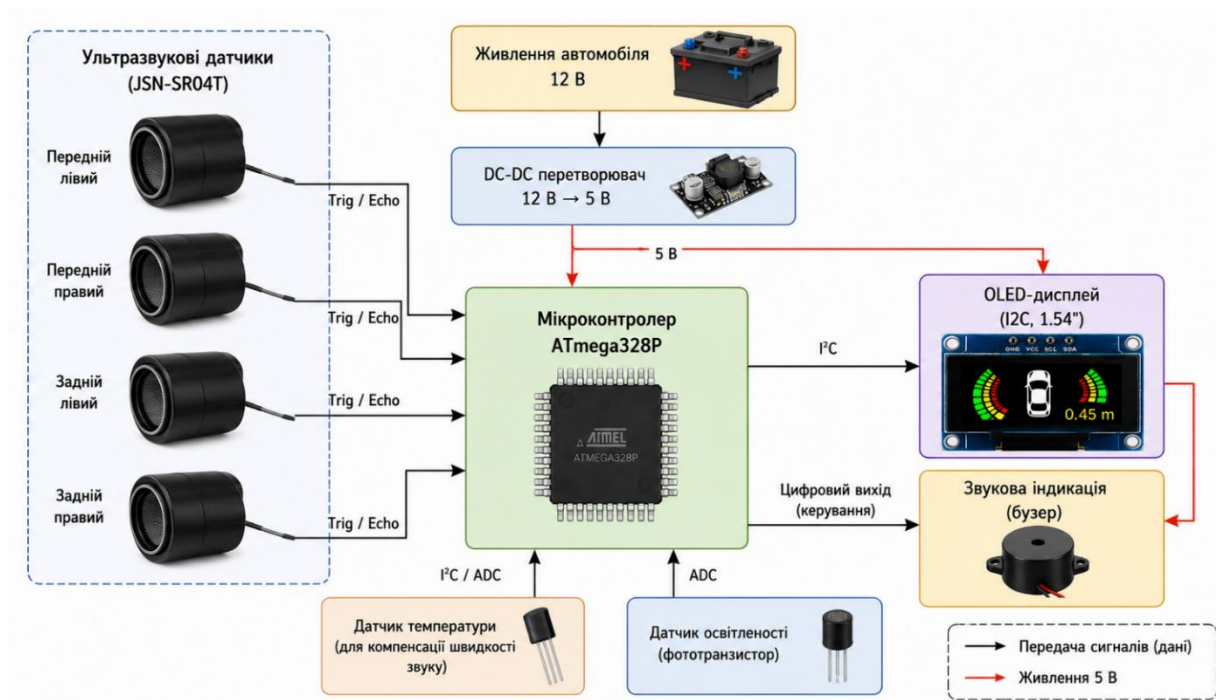


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура аудіо-візуальної системи паркування

Основними елементами системи є ультразвукові датчики, мікроконтролерний блок обробки даних, пристрій візуального відображення інформації, звуковий сигналізатор та джерело живлення. Мікроконтролер здійснює почергове опитування датчиків, виконує обробку отриманих сигналів та формує сигнали керування дисплеєм і звуковою сигналізацією.

Використання кількох ультразвукових датчиків дозволяє збільшити контрольовану зону навколо автомобіля та підвищити точність визначення розташування перешкоди. При цьому важливим фактором є правильна організація алгоритму опитування датчиків, оскільки одночасна робота кількох ультразвукових випромінювачів може призводити до взаємного впливу сигналів та появи помилкових вимірювань.

У сучасних автомобільних системах також приділяється значна увага енергоефективності, компактності та завадостійкості електронних пристроїв. Це обумовлено специфікою автомобільної бортової мережі, у якій присутні імпульсні завади, перепади напруги та значні температурні коливання.

Таким чином, аудіо-візуальні системи паркування є важливим елементом сучасної автомобільної електроніки та забезпечують підвищення безпеки й зручності експлуатації транспортного засобу.

1.2 Аналіз ультразвукових датчиків для вимірювання відстані

Ультразвукові датчики відстані широко застосовуються в системах автоматизації, робототехніці, охоронних системах та автомобільній електроніці. Основною перевагою таких датчиків є можливість безконтактного вимірювання відстані до об'єктів незалежно від рівня освітленості навколишнього середовища. Завдяки простоті реалізації, низькій вартості та достатній точності ультразвукові датчики набули значного поширення у системах допомоги при паркуванні автомобілів.

Принцип роботи ультразвукового датчика базується на випромінюванні короткого акустичного імпульсу високої частоти та подальшому прийомі сигналу, відбитого від поверхні перешкоди. Після формування імпульсу мікроконтролер вимірює час між моментом передачі та прийому сигналу, після чого виконується обчислення відстані до об'єкта. Типова часова діаграма роботи ультразвукового датчика наведена на рис. 1.3.

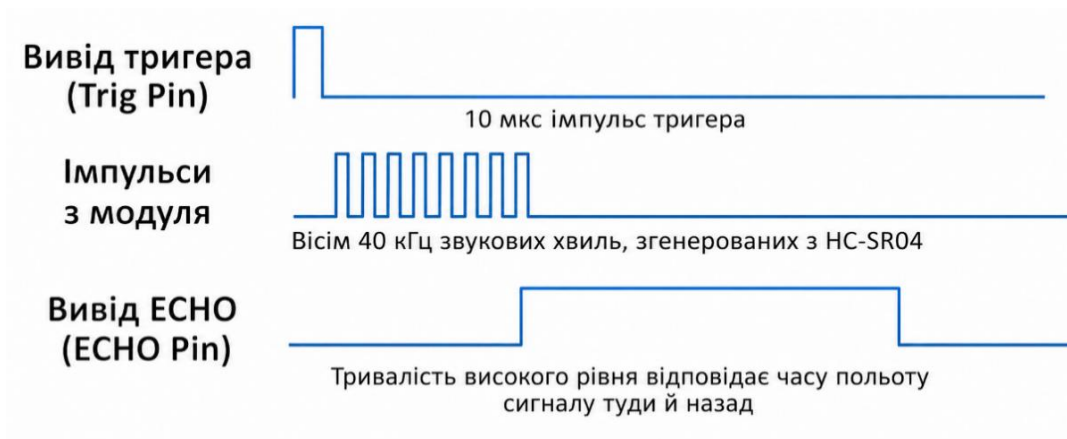


Рисунок 1.3 – Часова діаграма роботи ультразвукового датчика [4]

У сучасних мікроконтролерних системах найбільшого поширення набули ультразвукові датчики типу HC-SR04, JSN-SR04T та A02YYUW [5, 6]. Кожен із зазначених датчиків має власні особливості, переваги та обмеження, що визначають доцільність їх використання в конкретних умовах експлуатації.

Одним із найпоширеніших ультразвукових модулів є HC-SR04, який широко використовується у навчальних та експериментальних проєктах. Даний модуль забезпечує вимірювання відстані в діапазоні приблизно від 2 до 400 см та використовує інтерфейс типу Trigger/Echo. Основною перевагою HC-SR04 є низька вартість, простота підключення та достатня точність вимірювання. Зовнішній вигляд датчика HC-SR04 наведений на рис. 1.4.

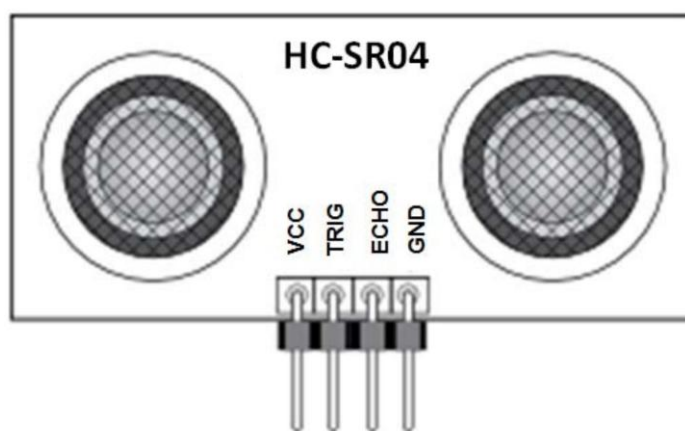


Рисунок 1.4 – Ультразвуковий датчик HC-SR04 [7]

Незважаючи на популярність, датчик HC-SR04 має низку суттєвих недоліків при використанні в автомобільних системах. Конструкція датчика не передбачає захисту від вологи, пилу та механічних впливів. Відкриті ультразвукові випромінювачі роблять модуль непридатним для експлуатації в умовах підвищеної вологості та забруднення. Крім того, робота датчика потребує точного вимірювання тривалості імпульсу Echo у мікросекундному діапазоні, що збільшує навантаження на мікроконтролер.

Більш пристосованим до експлуатації в автомобільних умовах є датчик JSN-SR04T. Даний модуль має герметизований ультразвуковий перетворювач та виносний сенсор, що забезпечує стійкість до впливу вологи, пилу та температурних змін. Саме тому датчики даного типу часто використовуються в системах паркування автомобілів. OLED-дисплей Зовнішній вигляд ультразвукового датчика JSN-SR04T наведений на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Ультразвуковий датчик JSN-SR04T [8]

На відміну від HC-SR04, датчик JSN-SR04T використовує один спільний ультразвуковий перетворювач для передачі та прийому сигналу. Завдяки

герметичному виконанню він може використовуватися в умовах автомобільної експлуатації, однак така конструкція призводить до появи збільшеної «мертвої зони» на малих відстанях. Зазвичай мінімальна стабільна відстань вимірювання становить близько 20 см.

Ще одним сучасним рішенням є ультразвуковий датчик A02YYUW, який має цифровий інтерфейс UART та виконує внутрішню обробку сигналів. Датчик передає вже готове значення відстані у цифровому вигляді, що значно спрощує програмну реалізацію системи та зменшує навантаження на мікроконтролер. Зовнішній вигляд датчика A02YYUW наведений на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Ультразвуковий датчик A02YYUW [9]

Основною перевагою датчика A02YYUW є висока завадостійкість та зменшення вимог до програмної обробки сигналів. Однак використання UART-інтерфейсу потребує додаткових апаратних ресурсів мікроконтролера, а вартість таких датчиків є вищою у порівнянні з модулями типу HC-SR04 та JSN-SR04T. Для більш наочного порівняння характеристик розглянутих датчиків доцільно використати таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння ультразвукових датчиків

Параметр	HC-SR04	JSN-SR04T	A02YYUW
Діапазон вимірювання	2–400 см	20–600 см	3–450 см
Тип інтерфейсу	Trigger/Echo	Trigger/Echo	UART
Захист від вологи	Відсутній	Є	Є
Точність	± 3 мм	± 1 см	± 1 см
Робоча напруга	5 В	5 В	5 В

Аналіз характеристик показує, що датчик HC-SR04 є малоприматним для використання в автомобільних умовах через відсутність захисту від зовнішніх впливів. Датчик A02YYUW забезпечує високу стабільність роботи та цифровий інтерфейс передачі даних, однак має вищу вартість та складнішу інтеграцію.

Для розроблюваної системи найбільш доцільним є використання датчиків JSN-SR04T, оскільки вони поєднують достатню точність вимірювання, герметичне виконання, простоту підключення та відносно невисоку вартість. Використання чотирьох таких датчиків дозволяє забезпечити ефективний контроль простору позаду автомобіля та реалізувати надійну систему допомоги при паркуванні.

1.3 Аналіз мікроконтролерів для побудови системи паркування

Центральним елементом будь-якої сучасної системи паркування є мікроконтролер, який виконує функції керування периферійними пристроями, обробки сигналів від датчиків, виконання математичних обчислень та формування інформації для засобів індикації. Саме від вибору мікроконтролера значною мірою залежать функціональні можливості системи, швидкодія, енергоспоживання, складність програмної реалізації та загальна вартість пристрою.

У системах паркування мікроконтролер повинен забезпечувати можливість роботи з кількома ультразвуковими датчиками, виконувати точне вимірювання часових інтервалів, підтримувати роботу інтерфейсів зв'язку та забезпечувати формування керуючих сигналів для дисплея й звукової сигналізації. Крім того, важливими вимогами є висока стабільність роботи, достатня кількість портів введення-виведення та можливість роботи в умовах автомобільного середовища.

Для реалізації систем допомоги при паркуванні можуть використовуватись як 8-бітні, так і сучасні 32-бітні мікроконтролери. Найбільш поширеними є мікроконтролери сімейств AVR, STM32 та ESP32.

Одними з найбільш продуктивних рішень є 32-бітні мікроконтролери STM32, побудовані на базі архітектури ARM Cortex-M. Дані мікроконтролери мають високу швидкодію, значний обсяг пам'яті та широкий набір периферійних модулів. Вони дозволяють реалізовувати складні алгоритми цифрової обробки сигналів, графічні інтерфейси та бездротовий обмін даними. Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32 наведений на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Мікроконтролер STM32 [10]

Незважаючи на високу продуктивність, використання STM32 у простих системах паркування часто є недоцільним через надлишкові ресурси та складнішу програмну реалізацію. Для роботи таких мікроконтролерів необхідне використання складніших середовищ розробки, а також більш детальне налаштування периферійних модулів. Крім того, застосування STM32 може

призводити до збільшення вартості пристрою без суттєвого покращення його функціональних можливостей.

Ще одним сучасним рішенням є мікроконтролери ESP32, які окрім високої продуктивності мають вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth. Це дозволяє реалізовувати бездротову передачу даних та інтеграцію з мобільними пристроями. Зовнішній вигляд мікроконтролера ESP32 наведений на рис. 1.8.

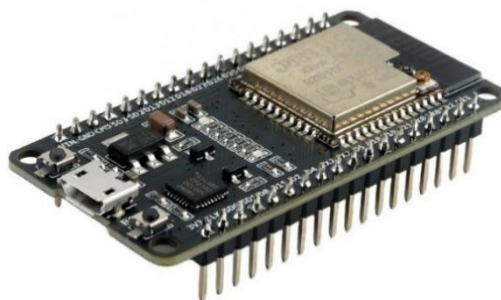


Рисунок 1.8 – Мікроконтролер ESP32 [11]

Основною перевагою ESP32 є висока обчислювальна потужність та підтримка бездротових технологій. Однак для системи паркування використання таких можливостей є надлишковим. Крім того, ESP32 характеризується підвищеним енергоспоживанням, що є небажаним для автомобільних електронних пристроїв. Використання бездротових інтерфейсів також може знижувати загальну завадостійкість системи в умовах автомобільної електромережі.

У малопотужних вбудованих системах широкого поширення набули 8-бітні мікроконтролери AVR компанії Atmel. До цієї групи належать мікроконтролери сімейств ATtiny та ATmega [12, 13], які відзначаються простотою програмування, низьким енергоспоживанням та достатнім набором периферійних модулів.

Мікроконтролер ATtiny 2313 часто використовуються в простих системах керування та бюджетних електронних пристроях. Вони мають невелику кількість портів введення-виведення та обмежений обсяг пам'яті програм. Зовнішній вигляд мікроконтролера ATtiny 2313 наведений на рис. 1.9.

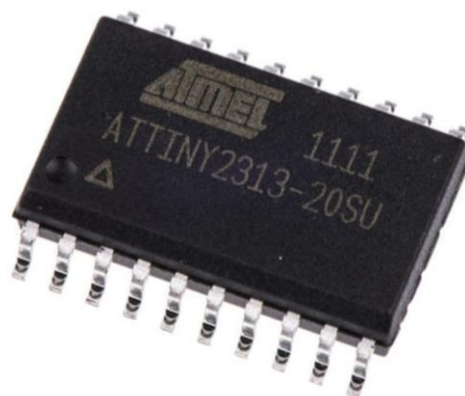


Рисунок 1.9 – Мікроконтролер ATtiny 2313 [14]

Незважаючи на компактність та низьке енергоспоживання, можливостей мікроконтролерів ATtiny недостатньо для реалізації багатоканальної системи паркування з графічним OLED-дисплеєм та одночасною роботою чотирьох ультразвукових датчиків. Обмежена кількість периферійних модулів та пам'яті ускладнює реалізацію складнішого програмного забезпечення.

Для розроблюваної системи найбільш доцільним є використання мікроконтролера ATmega328P [15]. Даний мікроконтролер належить до сімейства AVR та широко використовується у вбудованих системах завдяки оптимальному співвідношенню між функціональними можливостями, вартістю та складністю реалізації. Зовнішній вигляд мікроконтролера ATmega328P наведений на рис. 1.10.

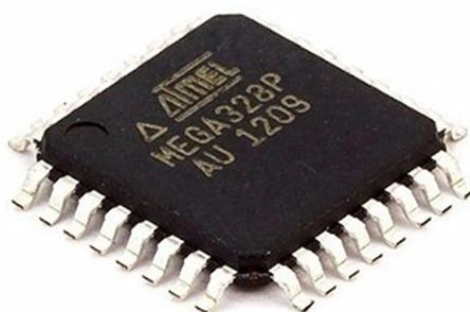


Рисунок 1.10 – Мікроконтролер ATmega328P [16]

Мікроконтролер ATmega328P має достатню кількість портів введення-виведення для підключення чотирьох ультразвукових датчиків, OLED-дисплея, фототранзистора та вузла звукової сигналізації. Наявність апаратних таймерів дозволяє реалізувати точне вимірювання тривалості ехосигналів, а підтримка інтерфейсу I2C забезпечує зручне підключення OLED-дисплея.

Важливою перевагою ATmega328P є також достатній обсяг флеш-пам'яті та оперативної пам'яті для реалізації алгоритмів обробки сигналів, виведення графічної інформації та автоматичного регулювання яскравості дисплея. Мікроконтролер підтримує роботу при напрузі живлення 5 В, що спрощує узгодження рівнів сигналів із більшістю периферійних пристроїв системи. Для більш наочного порівняння характеристик розглянутих мікроконтролерів доцільно використати таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння мікроконтролерів

Параметр	ATtiny2313	ATmega328P	STM32F103	ESP32
Розрядність	8 біт	8 біт	32 біти	32 біти
Flash-пам'ять	2 КБ	32 КБ	64 КБ	4 МБ
SRAM	128 Б	2 КБ	20 КБ	520 КБ
Тактова частота	до 20 МГц	до 20 МГц	72 МГц	240 МГц
I2C	Ні	Є	Є	Є
Кількість GPIO	18	23	37	34
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Середнє	Підвищене

Проведений аналіз показує, що мікроконтролер ATmega328P є найбільш оптимальним рішенням для реалізації аудіо-візуальної системи паркування. Він забезпечує достатню продуктивність, необхідний набір периферійних модулів, простоту програмування та невисоке енергоспоживання. На відміну від 32-бітних мікроконтролерів, використання ATmega328P не призводить до надлишковості апаратних ресурсів, що дозволяє зменшити складність та вартість пристрою при збереженні необхідної функціональності системи.

1.4 Аналіз засобів візуальної індикації

Одним із важливих елементів сучасної системи паркування є вузол відображення інформації, який забезпечує передачу водієві даних про відстань до перешкод та ступінь небезпеки під час маневрування автомобіля. Від способу візуальної індикації значною мірою залежить зручність використання системи, швидкість сприйняття інформації та ефективність взаємодії водія з електронним пристроєм.

У системах паркування можуть використовуватися різні способи індикації, серед яких найбільш поширеними є світлодіодні шкали, семисегментні індикатори, LCD-дисплеї та OLED-дисплеї. Кожен із зазначених варіантів має власні особливості, переваги та недоліки.

Найпростішим способом відображення інформації є використання світлодіодної шкали. У таких системах ступінь наближення до перешкоди визначається кількістю активних світлодіодів або зміною їх кольору. Основною перевагою такого рішення є простота реалізації та мінімальні вимоги до мікроконтролера. Проте світлодіодні шкали не дозволяють точно визначати відстань до об'єкта та мають низьку інформативність.

Іншим поширеним способом є використання семисегментних індикаторів, які забезпечують числове відображення відстані. Такі індикатори характеризуються простотою підключення, високою яскравістю та невеликою вартістю. Однак для роботи багаторозрядних індикаторів необхідне використання мультиплексування, що збільшує навантаження на мікроконтролер та ускладнює схемотехнічну реалізацію пристрою. Крім того, семисегментні індикатори дозволяють відображати лише обмежений набір символів і не підтримують графічний режим роботи.

У більш складних системах використовуються рідкокристалічні дисплеї. LCD-дисплеї дозволяють відображати текстову та графічну інформацію, мають низьке енергоспоживання та широко застосовуються у мікроконтролерних системах. Проте такі дисплеї мають обмежений кут огляду, нижчу контрастність

та погіршення якості зображення при низьких температурах, що є суттєвим недоліком для автомобільних застосувань.

Більш сучасним рішенням є OLED-дисплеї, побудовані на основі органічних світловипромінюючих елементів. Основною перевагою OLED-технології є відсутність необхідності використання окремого підсвічування, оскільки кожен піксель випромінює світло самостійно. Це забезпечує високу контрастність зображення, широкий кут огляду та хорошу видимість інформації за різних умов освітлення.

Для розроблюваної системи використовується OLED-дисплей з інтерфейсом I2C та діагоналлю 1,54 дюйма [17, 18]. Даний дисплей забезпечує компактність конструкції, невелике енергоспоживання та достатню роздільну здатність для відображення графічної й текстової інформації. На дисплей можуть виводитися значення відстані до перешкод, графічні шкали наближення, попереджувальні символи та службова інформація.

Для підключення дисплеїв у мікроконтролерних системах найчастіше використовуються інтерфейси I2C та SPI. Інтерфейс I2C використовує лише дві сигнальні лінії — SDA та SCL, що дозволяє суттєво зменшити кількість задіяних виводів мікроконтролера. Крім того, до однієї шини I2C можна підключати кілька пристроїв, що спрощує схемотехнічну реалізацію системи.

Інтерфейс SPI забезпечує вищу швидкість передачі даних, однак для його роботи необхідно більше сигнальних ліній: MOSI, MISO, SCK та окремий сигнал CS для кожного пристрою. Через це збільшується кількість використовуваних виводів мікроконтролера, ускладнюється друкована плата та зростає вартість реалізації системи. Для даного проєкту використання SPI є недоцільним, оскільки швидкість обміну даними дисплея не є критичною, а використання додаткових ліній підключення лише ускладнює конструкцію пристрою. Порівняння засобів візуальної індикації наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння візуальної індикації

Тип індикації	Інформативність	Енергоспоживання	Графічний режим
Світлодіодна шкала	Низька	Низьке	Ні
Семисегментний індикатор	Середня	Середнє	Ні
LCD-дисплей	Висока	Низьке	Обмежено
OLED-дисплей	Висока	Низьке	Є

Для розроблюваної аудіо-візуальної системи паркування найбільш доцільним є використання OLED-дисплея з інтерфейсом I2C, оскільки такий варіант забезпечує достатню швидкість передачі даних, простоту підключення, зменшення кількості задіяних виводів мікроконтролера та нижчу вартість реалізації у порівнянні з інтерфейсом SPI. Порівняння візуальної індикації наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Порівняння візуальної індикації

Параметр	I2C	SPI
Кількість сигнальних ліній	2	4 і більше
Швидкість передачі даних	Середня	Висока
Кількість пристроїв на шині	Підтримується	Обмежено
Використання GPIO	Мінімальне	Значне
Складність підключення	Низька	Вища
Вартість реалізації	Нижча	Вища
Доцільність для проєкту	Висока	Низька

Після проведеного аналізу можна зробити висновок, що OLED-дисплей з інтерфейсом I2C є найбільш доцільним варіантом для використання в аудіо-візуальній системі паркування. Він забезпечує високу інформативність, компактність, низьке енергоспоживання та простоту підключення. Використання інтерфейсу I2C дозволяє ефективно використовувати ресурси

мікроконтролера та зменшити складність і вартість реалізації системи. На рис. 1.11 показано OLED-дисплей DM-OLED154.



Рисунок 1.11 – OLED-дисплей DM-OLED154 [19]

1.5 Аналіз звукової індикації та сигналізації зближення з перешкодою

Окрім візуального відображення інформації, важливим елементом систем допомоги при паркуванні є звукова сигналізація. Використання звукового інформування дозволяє водієві оперативно реагувати на зміну відстані до перешкоди без необхідності постійного контролю дисплея. Це особливо важливо під час виконання маневрів у складних умовах, коли увага водія повинна бути зосереджена на дорожній обстановці.

У сучасних системах паркування звукова індикація зазвичай реалізується за допомогою п'єзоелектричних бузерів або динаміків невеликої потужності. [20] Найбільш поширеним рішенням є використання активних або пасивних бузерів, які характеризуються компактними розмірами, низьким енергоспоживанням та простотою підключення.

Активні бузери містять вбудований генератор сигналу та потребують лише подачі живлення для формування звукового сигналу. Основною перевагою таких пристроїв є простота використання, однак можливості керування звуковими параметрами є обмеженими. Пасивні бузери не мають вбудованого генератора

та потребують формування сигналу безпосередньо мікроконтролером, що дозволяє змінювати частоту та тривалість звукових імпульсів.

У системах паркування звукова сигналізація зазвичай працює за принципом зміни частоти повторення сигналів залежно від відстані до перешкоди. При великій відстані звукові сигнали відсутні або мають значний інтервал між повтореннями. У процесі наближення до перешкоди частота повторення імпульсів збільшується, а при критично малій відстані формується безперервний звуковий сигнал.

Такий принцип роботи дозволяє водієві оцінювати ступінь небезпеки без необхідності постійного візуального контролю системи. Крім того, звукове інформування є ефективним у ситуаціях із недостатньою видимістю дисплея або при короткочасному відволіканні уваги водія.

У розроблюваній системі для реалізації звукової індикації використовується буюер, підключений до мікроконтролера через транзисторний ключ. Застосування транзистора дозволяє зменшити навантаження на вихідні порти мікроконтролера та забезпечити комутацію струму, необхідного для роботи звукового випромінювача.

Використання транзисторного ключа також дозволяє підвищити надійність роботи системи та зменшити вплив імпульсних навантажень на мікроконтролер. Керування буюером здійснюється програмно шляхом формування імпульсного сигналу на виході мікроконтролера.

Використання програмного керування дозволяє змінювати алгоритм звукової сигналізації залежно від умов експлуатації та вимог до роботи системи. За необхідності можуть бути реалізовані додаткові режими індикації, зміна тональності сигналу або використання різних звукових шаблонів.

Важливим фактором при розробці звукової сигналізації є забезпечення достатньої гучності сигналу в умовах автомобільного середовища. Під час руху автомобіля рівень зовнішнього шуму може бути досить високим, тому звукові сигнали повинні залишатися добре помітними для водія. Водночас надмірна гучність може негативно впливати на комфорт використання системи.

Таким чином, використання звукової індикації дозволяє підвищити ефективність системи паркування та забезпечити оперативне інформування водія про небезпечне наближення до перешкод. Поєднання звукового та візуального способів інформування забезпечує більш зручну та безпечну взаємодію користувача з електронною системою.

1.6 Аналіз автоматичного регулювання яскравості дисплея

Однією з важливих вимог до сучасних електронних систем автомобіля є забезпечення комфортного сприйняття інформації за різних умов освітлення. У денний час дисплей повинен мати достатню яскравість для забезпечення чіткої видимості інформації при потраплянні сонячного світла, тоді як у нічний час надмірна яскравість може створювати дискомфорт для водія та відволікати його під час керування транспортним засобом. Саме тому в сучасних автомобільних системах широко застосовується автоматичне регулювання яскравості індикаторів та дисплеїв.

Принцип автоматичного регулювання яскравості базується на вимірюванні рівня зовнішнього освітлення за допомогою світлочутливих елементів. Найбільш поширеними елементами для реалізації подібних систем є фоторезистори, фотодіоди та фототранзистори.

Фоторезистори характеризуються простою схемою підключення та низькою вартістю. Їх опір змінюється залежно від інтенсивності освітлення. Однак фоторезистори мають порівняно невисоку швидкодію та значний розкид параметрів, що може негативно впливати на стабільність роботи системи.

Фотодіоди мають вищу швидкодію та кращу стабільність характеристик, проте вихідний струм таких елементів є відносно малим, що потребує використання додаткових підсилювальних каскадів.

Більш доцільним рішенням для мікроконтролерних систем є використання фототранзисторів [21]. Дані елементи поєднують високу чутливість до світла, достатню швидкодію та простоту схемотехнічної реалізації. Під дією світлового

поток змінюється струм колектора фототранзистора, що дозволяє формувати сигнал, пропорційний рівню освітлення навколишнього середовища.

У розроблюваній системі автоматичне регулювання яскравості реалізується за допомогою фототранзистора, підключеного до мікроконтролера ATmega328P. Мікроконтролер аналізує рівень сигналу з фототранзистора та виконує програмну зміну яскравості OLED-дисплея. Принцип роботи системи автоматичного регулювання яскравості наведений на рис. 1.11.

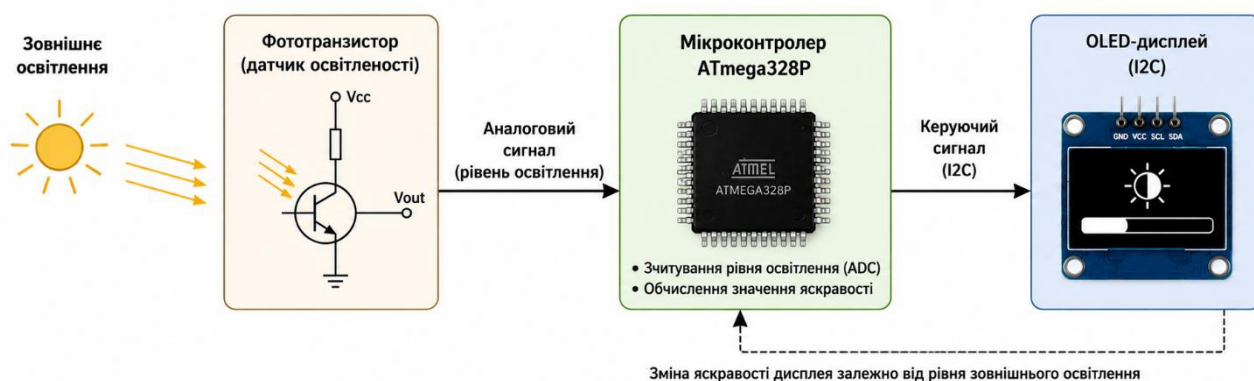


Рисунок 1.12 – Принцип автоматичного регулювання яскравості дисплея

У денний час при високому рівні освітлення мікроконтролер встановлює підвищене значення яскравості дисплея, що забезпечує кращу читабельність інформації. При зменшенні рівня освітлення яскравість дисплея автоматично знижується, що дозволяє уникнути засліплення водія у темний час доби.

Використання автоматичного регулювання яскравості має також позитивний вплив на енергоспоживання системи. У нічному режимі OLED-дисплей працює зі зниженою яскравістю, що дозволяє зменшити струм споживання пристрою та тепловиділення елементів схеми.

Додатковою перевагою програмного регулювання є можливість реалізації різних алгоритмів адаптації яскравості. Наприклад, зміна яскравості може виконуватись плавно для уникнення різких змін освітлення дисплея або із застосуванням цифрової фільтрації для зменшення впливу короточасних змін освітленості.

Використання фототранзистора в системі є доцільним також з точки зору схемотехнічної реалізації, оскільки даний елемент не потребує складних додаткових вузлів та може бути безпосередньо інтегрований у мікроконтролерну систему.

Таким чином, автоматичне регулювання яскравості OLED-дисплея дозволяє підвищити комфорт використання системи паркування, покращити сприйняття інформації водієм та забезпечити більш ефективне використання енергетичних ресурсів пристрою.

1.7 Аналіз впливу температури на точність ультразвукових вимірювань

Одним із факторів, що суттєво впливають на точність ультразвукових систем вимірювання відстані, є температура навколишнього середовища. Принцип роботи ультразвукових датчиків базується на вимірюванні часу проходження акустичної хвилі від випромінювача до перешкоди та назад. Оскільки швидкість поширення звуку в повітрі залежить від температури, зміна температурних умов призводить до виникнення похибки вимірювання.

У більшості спрощених систем швидкість звуку приймається сталою та становить приблизно 343 м/с при температурі 20 °С. Проте в реальних умовах експлуатації автомобіля температура навколишнього середовища може змінюватися в широких межах — від від’ємних температур у зимовий період до значного нагрівання повітря влітку.

Залежність швидкості звуку від температури описується виразом:

$$v = 331 + 0,6T \quad (1.2)$$

Де v — швидкість звуку в повітрі, м/с; T — температура повітря, °С.

При низьких температурах швидкість звуку зменшується, у результаті чого система може завищувати виміряну відстань. При високих температурах

швидкість звуку збільшується, що призводить до зменшення похибки у протилежному напрямку. У системах без температурної компенсації це може спричиняти помітне зниження точності вимірювання.

Для зменшення температурної похибки у розроблюваній системі передбачено використання датчика температури, підключеного до мікроконтролера [22]. Мікроконтролер виконує періодичне вимірювання температури навколишнього середовища та коригує значення швидкості звуку під час обчислення відстані.

Використання температурної компенсації дозволяє підвищити точність роботи системи в широкому діапазоні температур та забезпечити стабільність вимірювання в умовах автомобільної експлуатації.

1.8 Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналітичного огляду було розглянуто основні принципи побудови сучасних аудіо-візуальних систем паркування автомобілів та виконано аналіз елементної бази для реалізації розроблюваного пристрою.

Проведений аналіз показав, що найбільш доцільним методом визначення відстані є ультразвуковий метод вимірювання, який забезпечує достатню точність, простоту реалізації та незалежність від рівня освітлення. Серед розглянутих ультразвукових датчиків найбільш придатним для автомобільних умов експлуатації є датчик JSN-SR04T, що має герметизоване виконання та достатній діапазон вимірювання.

У процесі аналізу мікроконтролерів встановлено, що найбільш оптимальним рішенням для розроблюваної системи є мікроконтролер ATmega328P, який забезпечує необхідну продуктивність, підтримку інтерфейсу I2C та достатню кількість портів введення-виведення при невисокому енергоспоживанні.

Аналіз засобів індикації показав доцільність використання OLED-дисплея з інтерфейсом I2C, який забезпечує високу інформативність, компактність та

можливість графічного відображення інформації. Для звукового попередження водія використовується бузер з транзисторним ключем, що дозволяє реалізувати зміну частоти звукових сигналів залежно від відстані до перешкоди.

У роботі також враховано вплив температури навколишнього середовища на точність ультразвукових вимірювань. Для компенсації температурної похибки у системі передбачено використання датчика температури, за допомогою якого мікроконтролер виконує корекцію швидкості звуку під час обчислення відстані.

Таким чином, проведений аналіз підтвердив доцільність використання мікроконтролера ATmega328P, ультразвукових датчиків JSN-SR04T, OLED-дисплея, системи звукової індикації, фототранзистора та датчика температури для реалізації аудіо-візуальної системи паркування автомобіля.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АУДІО-ВІЗУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПАРКУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми системи

Під час розробки аудіо-візуальної системи паркування основна увага приділялась забезпеченню достатньої точності вимірювання відстані, стабільності роботи в умовах автомобільної експлуатації та зручності використання для водія. Система повинна забезпечувати безперервний контроль простору позаду автомобіля, своєчасне інформування про наявність перешкод та стабільну роботу при зміні температури навколишнього середовища, рівня освітлення та напруги бортової мережі автомобіля. Крім цього, під час розробки враховувалась необхідність мінімізації габаритів пристрою, спрощення принципової схеми та зменшення кількості зовнішніх компонентів. Структурна схема розроблюваної системи наведена на рис. 2.1.

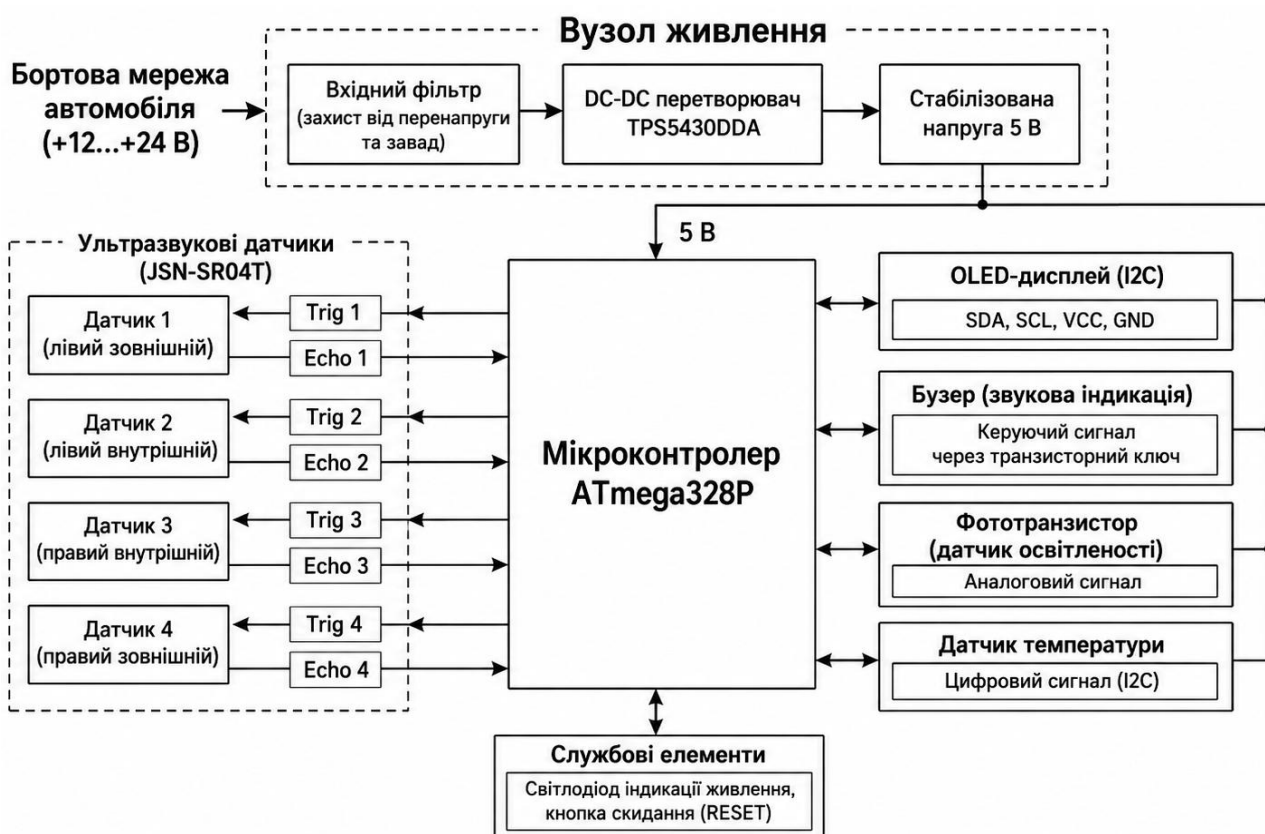


Рис.2.1 – Структурна схема розроблюваної системи

Основним елементом системи є мікроконтролер ATmega328P, який виконує функції керування всіма вузлами пристрою, обробки сигналів та формування інформації для користувача. Використання даного мікроконтролера обумовлене наявністю достатньої кількості цифрових та аналогових входів, апаратних таймерів, інтерфейсу I2C та вбудованого аналогово-цифрового перетворювача. Це дозволяє реалізувати всі необхідні функції системи без використання додаткових спеціалізованих мікросхем. Додатковою перевагою ATmega328P є простота програмування, широка поширеність та наявність великої кількості програмних бібліотек для роботи з периферійними пристроями.

Для вимірювання відстані до перешкод у системі використовуються чотири ультразвукові датчики JSN-SR04T. Використання декількох датчиків дозволяє суттєво збільшити контрольовану зону та підвищити точність визначення положення об'єкта відносно автомобіля. На відміну від більш поширених модулів HC-SR04, датчики JSN-SR04T мають герметизовану конструкцію, що забезпечує можливість експлуатації в умовах підвищеної вологості, забруднення та перепадів температур. Це є особливо важливим для автомобільних систем, які працюють в умовах дощу, снігу та пилу.

Для відображення інформації про відстань до перешкод використовується OLED-дисплей з інтерфейсом I2C. Застосування OLED-дисплея дозволяє отримати високу контрастність зображення, широкий кут огляду та низьке енергоспоживання. Передача даних через інтерфейс I2C дозволяє значно зменшити кількість задіяних виводів мікроконтролера, що спрощує принципову схему та подальше трасування друкованої плати. На дисплей виводяться значення відстані до перешкод, графічні елементи індикації та службова інформація про роботу системи.

Для додаткового інформування водія у системі використовується звукова індикація, реалізована за допомогою бузера. Частота звукових сигналів змінюється залежно від відстані до перешкоди, що дозволяє водієві оцінювати ступінь наближення до об'єкта без постійного контролю дисплея. Підключення бузера здійснюється через транзисторний ключ, що дозволяє зменшити

навантаження на виходи мікроконтролера та забезпечити стабільну роботу звукового вузла.

Для забезпечення комфортного використання системи у різних умовах освітлення передбачено автоматичне регулювання яскравості OLED-дисплея. Для цього використовується фототранзистор, сигнал з якого надходить на аналоговий вхід мікроконтролера. На основі виміряного рівня освітлення мікроконтролер програмно змінює яскравість дисплея, що дозволяє зменшити навантаження на зір водія у темний час доби та покращити читабельність інформації при яскравому зовнішньому освітленні.

Оскільки швидкість поширення звуку в повітрі залежить від температури навколишнього середовища, у системі використовується датчик температури. Отримані значення температури застосовуються для корекції швидкості звуку під час обчислення відстані до перешкоди. Використання температурної компенсації дозволяє зменшити похибку ультразвукових вимірювань та забезпечити стабільну роботу системи у широкому діапазоні температур.

Живлення системи здійснюється від бортової мережі автомобіля через імпульсний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430DDA. Використання імпульсного стабілізатора дозволяє забезпечити високий коефіцієнт корисної дії, низькі теплові втрати та стабільну роботу пристрою при зміні вхідної напруги в широких межах. Стабілізована напруга 5 В використовується для живлення мікроконтролера, датчиків, OLED-дисплея та інших вузлів системи.

2.2 Розробка алгоритму роботи системи

Після розробки структурної схеми системи було виконано формування алгоритму її роботи. Алгоритм визначає послідовність виконання основних операцій мікроконтролером, порядок опитування датчиків, обробку отриманих даних та формування сигналів індикації. Правильно побудований алгоритм роботи системи дозволяє забезпечити стабільне функціонування пристрою в

режимі реального часу та мінімізувати ймовірність помилкових спрацювань. Алгоритм роботи аудіо-візуальної системи паркування наведений на рис. 2.2.

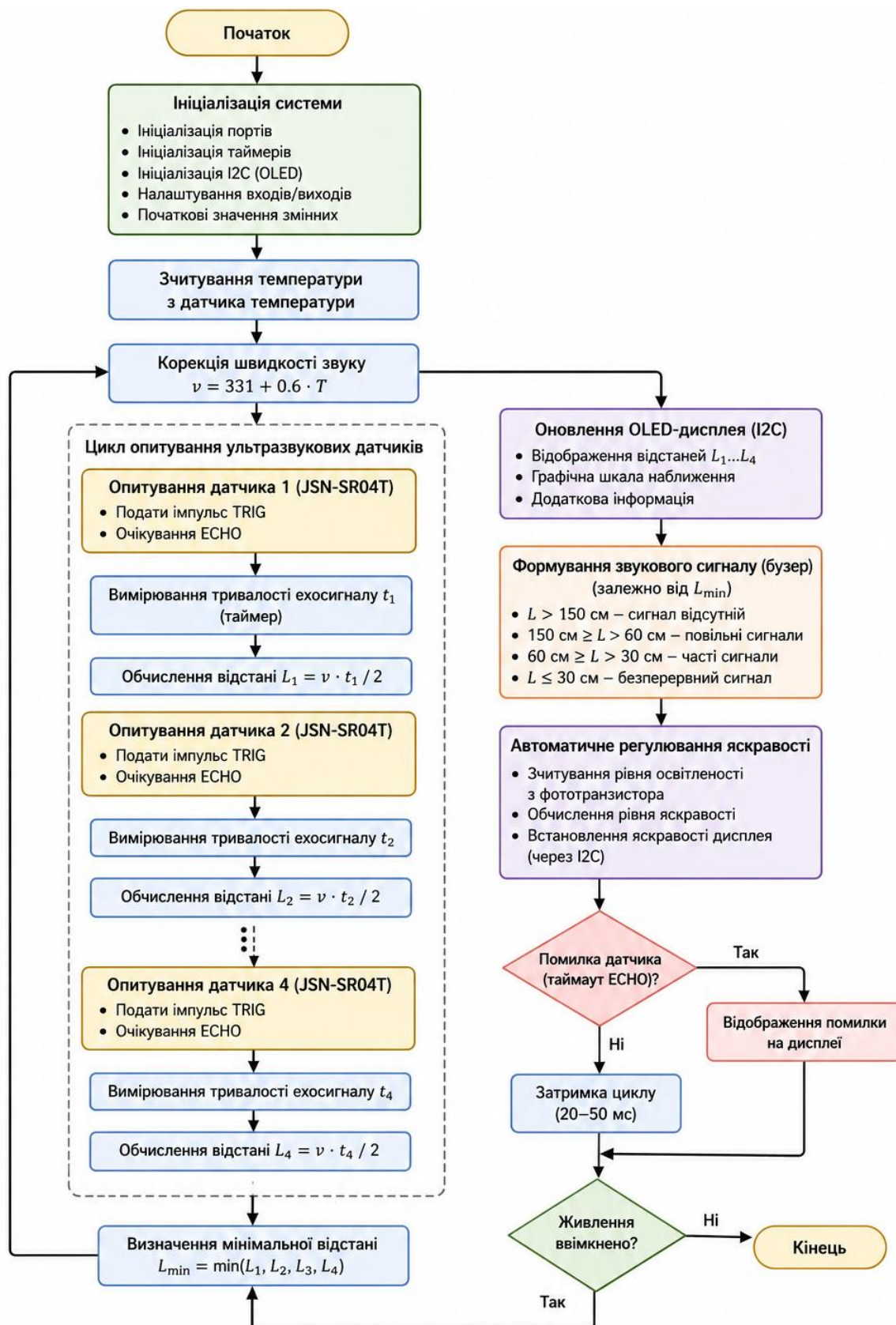


Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи аудіо-візуальної системи паркування

Після подачі живлення мікроконтролер ATmega328P виконує ініціалізацію внутрішніх периферійних модулів. На даному етапі налаштовуються цифрові порти введення-виведення, апаратні таймери, інтерфейс I2C для роботи з OLED-дисплеєм, а також аналогово-цифровий перетворювач для зчитування сигналу з фототранзистора. Одночасно виконується ініціалізація службових змінних програми та очищення буфера дисплея.

Після завершення ініціалізації система переходить у режим циклічного виконання програми. Основною задачею мікроконтролера у процесі роботи є почергове опитування ультразвукових датчиків та визначення відстані до перешкод. Для запуску вимірювання мікроконтролер формує короткий імпульс Trigger тривалістю приблизно 10 мкс [23]. Після отримання імпульсу датчик JSN-SR04T генерує ультразвуковий сигнал частотою близько 40 кГц та переводить вихід Echo у високий логічний рівень.

Тривалість сигналу Echo визначається часом проходження ультразвукової хвилі до перешкоди та назад. Для вимірювання цього часу використовується апаратний таймер мікроконтролера, що дозволяє отримати достатню точність вимірювання навіть при невеликих відстанях до об'єкта. Після завершення вимірювання отримані значення використовуються для обчислення відстані до перешкоди. Визначення відстані виконується за формулою (1.1).

Оскільки швидкість звуку залежить від температури навколишнього середовища, у системі реалізовано температурну компенсацію вимірювань. Для цього мікроконтролер періодично виконує зчитування значення температури та коригує значення швидкості звуку відповідно до виразу (1.2).

Однією з особливостей алгоритму роботи є почергове опитування датчиків. Якщо декілька ультразвукових датчиків працюють одночасно, їх сигнали можуть взаємно впливати один на одного, що призводить до появи помилкових результатів вимірювання. Для уникнення цього мікроконтролер активує лише один датчик у певний момент часу, після чого очікує завершення вимірювання та переходить до наступного датчика.

Додатково у програмі реалізовано таймаут очікування ехосигналу. Якщо відбитий сигнал не був отриманий протягом встановленого часу, вимірювання вважається недійсним. Це дозволяє уникнути зависання програми при відсутності відбитого сигналу або виникненні перешкод.

Після завершення обробки результатів вимірювання мікроконтролер формує інформацію для OLED-дисплея. На дисплей виводяться значення відстані до перешкод, графічні індикатори та службова інформація про роботу системи. Для зменшення мерехтіння зображення оновлення інформації на дисплеї виконується циклічно через певні проміжки часу.

Одночасно із візуальною індикацією формується звукове попередження за допомогою бузера. Частота звукових сигналів залежить від мінімальної відстані до перешкоди. При наближенні до об'єкта інтервал між звуковими сигналами зменшується, а при критично малій відстані система переходить у режим безперервного звукового сигналу.

Паралельно мікроконтролер виконує зчитування сигналу з фототранзистора та автоматично регулює яскравість OLED-дисплея залежно від рівня зовнішнього освітлення. Це дозволяє покращити читабельність інформації та зменшити навантаження на зір водія у темний час доби.

Завдяки безперервному циклічному виконанню програми система забезпечує роботу в режимі реального часу та дозволяє своєчасно інформувати водія про наявність перешкод під час виконання маневрів паркування.

2.3 Розробка принципової електричної схеми

Після розробки структурної схеми та алгоритму роботи системи було виконано розробку принципової електричної схеми пристрою. Принципова схема визначає електричні з'єднання між усіма елементами системи та забезпечує реалізацію необхідних функціональних можливостей пристрою. Під час розробки схеми особлива увага приділялась забезпеченню стабільної роботи системи в умовах автомобільної експлуатації, зменшенню впливу

електромагнітних завад та спрощенню подальшого проєктування друкованої плати. Принципову електричну схему аудіо-візуальної системи паркування наведено в додатку Б

Центральним елементом системи є мікроконтролер ATmega328P, який виконує обробку сигналів ультразвукових датчиків, обчислення відстані до перешкод, керування OLED-дисплеєм та формування звукової індикації. Вибір даного мікроконтролера обумовлений наявністю достатньої кількості цифрових та аналогових входів, вбудованих таймерів, інтерфейсу I2C та аналогово-цифрового перетворювача. Це дозволило реалізувати всі необхідні функції системи без використання додаткових керуючих мікросхем.

Для вимірювання відстані у системі використовуються чотири ультразвукові датчики JSN-SR04T. Кожен датчик підключений до окремих цифрових виводів мікроконтролера за допомогою ліній Trigger та Echo. Таке підключення дозволяє реалізувати незалежне почергове опитування датчиків та зменшити вплив взаємних ультразвукових перешкод.

Використання чотирьох датчиків дозволяє розширити контрольовану зону та підвищити точність визначення положення перешкоди відносно автомобіля. Датчики розташовуються таким чином, щоб забезпечити перекриття зон вимірювання та мінімізувати появу «мертвих зон» під час роботи системи.

Для передачі даних між мікроконтролером та OLED-дисплеєм використовується інтерфейс I2C. Використання послідовного інтерфейсу дозволило суттєво зменшити кількість задіяних виводів мікроконтролера порівняно з паралельним підключенням дисплея. Це спрощує принципову схему, зменшує кількість міжз'єднань та полегшує трасування друкованої плати.

Для звукового попередження використовується буюер, який підключений через транзисторний ключ. Таке рішення дозволяє зменшити навантаження на вихідні лінії мікроконтролера та забезпечити стабільну роботу вузла звукової індикації. Керування буюером здійснюється програмно залежно від відстані до перешкоди.

Автоматичне регулювання яскравості OLED-дисплея реалізоване за допомогою фототранзистора, сигнал з якого надходить на аналоговий вхід мікроконтролера. На основі виміряного рівня освітлення мікроконтролер програмно змінює параметри яскравості дисплея. Це дозволяє покращити читабельність інформації та зменшити навантаження на зір водія у темний час доби.

Для компенсації температурної похибки ультразвукових вимірювань у системі використовується датчик температури. Отримані значення температури застосовуються для корекції швидкості звуку під час обчислення відстані. Використання температурної компенсації дозволяє підвищити точність вимірювання та забезпечити стабільну роботу системи у широкому діапазоні температур.

Живлення всіх вузлів системи здійснюється від імпульсного DC-DC перетворювача на базі мікросхеми TPS5430DDA, який формує стабілізовану напругу 5 В від бортової мережі автомобіля. Використання імпульсного стабілізатора дозволяє забезпечити високий коефіцієнт корисної дії та зменшити теплові втрати порівняно з лінійними стабілізаторами.

Під час розробки принципової схеми особлива увага приділялась розділенню силових та сигнальних ланцюгів. Це необхідно для зменшення впливу імпульсних завад від DC-DC перетворювача на роботу аналогових та цифрових вузлів системи. Для додаткового зменшення рівня високочастотних завад біля виводів живлення мікроконтролера та інших чутливих елементів встановлюються блокувальні керамічні конденсатори малої ємності.

2.4 Підключення мікроконтролера

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера ATmega328P у розроблюваній системі особлива увага приділяється організації живлення цифрової та аналогової частин мікросхеми. Оскільки система використовує аналогово-цифровий перетворювач для зчитування сигналів із фототранзистора

та датчика температури, важливим є зменшення впливу імпульсних завад від цифрових та силових вузлів.

У мікроконтролері ATmega328P для живлення аналогової частини використовується окремий вивід AVCC. Даний вивід підключається до основної лінії живлення 5 В через фільтрувальні елементи, що дозволяє знизити рівень високочастотних завад та покращити стабільність роботи аналогово-цифрового перетворювача.

Для формування стабільної опорної напруги використовується вивід AREF, біля якого встановлений керамічний конденсатор малої ємності. Це дозволяє зменшити рівень шумів та підвищити точність аналогових вимірювань.

Біля виводів живлення мікроконтролера встановлені блокувальні керамічні конденсатори ємністю 100 нФ. Дані конденсатори забезпечують локальну фільтрацію імпульсних завад, що виникають під час перемикання цифрових вузлів системи та роботи імпульсного DC-DC перетворювача.

Використання фільтрації живлення дозволяє підвищити стабільність роботи мікроконтролерної системи, зменшити вплив електромагнітних завад та покращити точність роботи аналогових вузлів пристрою.

Крім цього, у схемі реалізовано кнопку аварійного скидання мікроконтролера, підключену до виводу RESET. У випадку зависання програми або виникнення програмних помилок кнопка дозволяє виконати примусове перезавантаження мікроконтролера без вимкнення живлення всієї системи.

Для забезпечення стабільного рівня логічної одиниці на вході RESET використовується підтягувальний резистор. Під час натискання кнопки вивід RESET короткочасно підключається до загального проводу, у результаті чого виконується апаратне перезавантаження мікроконтролера та повторна ініціалізація всіх вузлів системи.

2.5 Розробка вузла живлення

Живлення аудіо-візуальної системи паркування здійснюється від бортової мережі автомобіля. Оскільки напруга автомобільної мережі може змінюватися у широких межах залежно від режиму роботи генератора, стану акумулятора та пускових процесів, вузол живлення повинен забезпечувати стабільне формування вихідної напруги для всіх електронних компонентів системи. Крім цього, до автомобільної мережі характерна наявність імпульсних завад та короткочасних перенапруг, що також необхідно враховувати під час розробки електронного пристрою. Схема вузла живлення наведена на рис. 2.3.

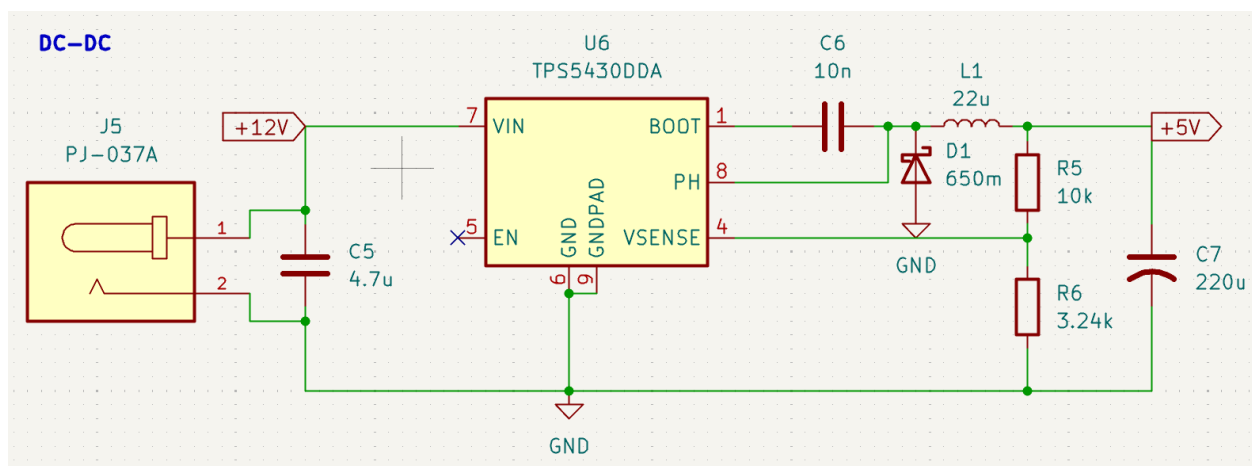


Рисунок. 2.3 – DC-DC перетворювач

Для живлення системи використовується імпульсний понижувальний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430DDA [24]. Вибір імпульсного стабілізатора обумовлений його високим коефіцієнтом корисної дії та низькими тепловими втратами порівняно з лінійними стабілізаторами. При використанні лінійного стабілізатора значна частина енергії перетворювалася б у тепло через велику різницю між вхідною та вихідною напругою, що призвело б до перегріву елементів та необхідності використання додаткових радіаторів.

Мікросхема TPS5430DDA є імпульсним понижувальним перетворювачем із вбудованим силовим MOSFET-ключем. Принцип роботи перетворювача полягає

у періодичному перемиканні внутрішнього транзистора з високою частотою. Під час відкривання ключа енергія накопичується у дроселі L1, а після закривання ключа накопичена енергія передається у навантаження через діод Шотткі D1. Завдяки цьому забезпечується ефективне перетворення напруги з мінімальними втратами потужності.

Вхідна напруга від бортової мережі автомобіля надходить на вхід перетворювача через фільтрувальний конденсатор C5. Даний конденсатор забезпечує згладжування імпульсних завад та зменшення рівня високочастотних пульсацій у ланцюзі живлення. Для забезпечення стабільної роботи імпульсного стабілізатора конденсатор повинен розташовуватись максимально близько до виводів живлення мікросхеми.

Одним із основних елементів вузла живлення є дросель L1, який виконує функцію накопичення енергії та згладжування струму. Значення індуктивності дроселя безпосередньо впливає на рівень пульсацій струму та стабільність роботи перетворювача. Для даної системи було обрано дросель індуктивністю 22 мкГн, що забезпечує стабільну роботу перетворювача при струмі навантаження до 2 А.

Для передачі струму в навантаження у момент закривання внутрішнього MOSFET-ключа використовується діод Шотткі D1. Використання саме діода Шотткі обумовлене його малою прямою напругою та високою швидкодією. Це дозволяє зменшити втрати потужності та підвищити ефективність роботи перетворювача.

Вихідний конденсатор C7 забезпечує згладжування пульсацій вихідної напруги та стабілізацію живлення всієї системи. Для імпульсних перетворювачів особливо важливим є використання конденсаторів з малим еквівалентним послідовним опором, оскільки це дозволяє суттєво зменшити рівень високочастотних пульсацій.

Стабілізація вихідної напруги здійснюється за допомогою кола зворотного зв'язку, утвореного резисторами R5 та R6. Мікросхема постійно контролює рівень вихідної напруги та автоматично змінює тривалість імпульсів керування

внутрішнім MOSFET-ключем. Завдяки цьому забезпечується підтримання стабільної вихідної напруги навіть при зміні навантаження або вхідної напруги.

Використання імпульсного DC-DC перетворювача дозволяє забезпечити стабільну роботу аудіо-візуальної системи паркування при вхідній напрузі від 12 до 24 В. Це дозволяє використовувати пристрій у різних типах транспортних засобів та забезпечує достатній запас по потужності для живлення всіх вузлів системи.

Для захисту системи від помилкового підключення живлення у схемі використовується діод Шотткі, встановлений послідовно у вхідному колі живлення. При правильній полярності діод пропускає струм до DC-DC перетворювача, а у випадку зміни полярності переходить у закритий стан та запобігає пошкодженню електронних компонентів системи.

Використання діода Шотткі дозволяє зменшити падіння напруги та теплові втрати порівняно зі звичайними кремнієвими діодами, що є особливо важливим для автомобільних електронних пристроїв.

2.6 Розробка вузла підключення ультразвукових датчиків

Основним вимірювальним елементом розроблюваної системи є ультразвукові датчики JSN-SR04T, які призначені для визначення відстані до перешкод. Використання ультразвукових датчиків у системах паркування є одним із найбільш поширених рішень завдяки достатній точності вимірювання, простоті реалізації та відносно низькій вартості. Основною перевагою ультразвукового методу є можливість визначення відстані незалежно від кольору або освітленості поверхні об'єкта. Схема підключення ультразвукових датчиків наведена на рис. 2.4.

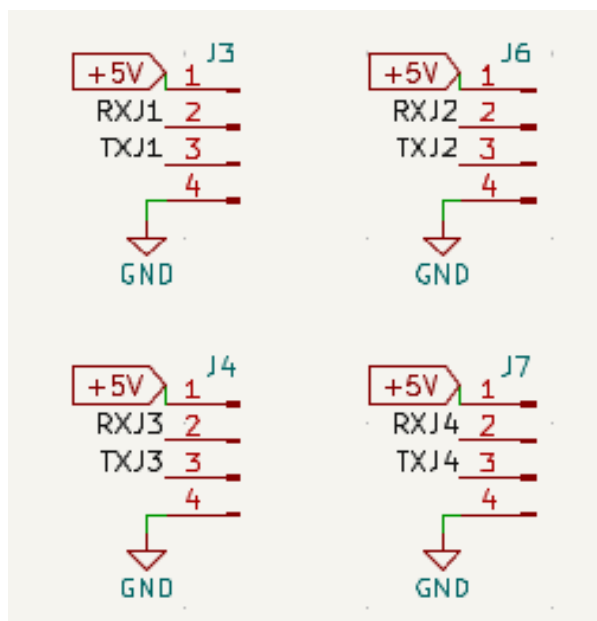


Рисунок 2.4 – Роз’єми підключення ультразвукових датчиків JSN-SR04T

На відміну від поширених модулів HC-SR04, датчики JSN-SR04T мають герметизоване виконання, що забезпечує можливість їх експлуатації в умовах підвищеної вологості, забруднення та перепадів температур. Це є особливо важливим для автомобільних систем, які працюють під впливом атмосферних опадів, пилу та дорожнього бруду. Датчик складається з електронного модуля керування та окремого ультразвукового випромінювача, з’єднаного кабелем, що спрощує його встановлення у бампері автомобіля.

Принцип роботи ультразвукового датчика базується на вимірюванні часу проходження ультразвукової хвилі до перешкоди та назад. Для запуску вимірювання мікроконтролер формує короткий імпульс Trigger тривалістю приблизно 10 мкс. Після отримання імпульсу датчик генерує ультразвуковий сигнал частотою близько 40 кГц та переводить вихід Echo у високий логічний рівень.

Після прийому відбитого сигналу вихід Echo повертається у низький рівень. Тривалість сигналу Echo пропорційна часу проходження ультразвукової хвилі до перешкоди та назад. Мікроконтролер ATmega328P вимірює тривалість імпульсу Echo за допомогою апаратного таймера, що дозволяє отримати достатню

точність вимірювання навіть при невеликих відстанях до об'єкта. Визначення відстані здійснюється за формулою (1.1)

Однією з особливостей ультразвукових систем є можливість виникнення взаємного впливу датчиків. Якщо декілька ультразвукових модулів працюють одночасно, їх сигнали можуть накладатися один на одного, що призводить до появи помилкових вимірювань. Для уникнення цього у системі реалізовано почергове опитування датчиків. Мікроконтролер активує лише один датчик у певний момент часу, після чого очікує завершення вимірювання та переходить до наступного датчика.

Додатково у програмі реалізовано таймаут очікування ехосигналу. Якщо відбитий сигнал не був отриманий протягом встановленого часу, вимірювання вважається недійсним. Це дозволяє уникнути зависання програми при відсутності відбитого сигналу або виникненні завад.

На точність ультразвукових вимірювань також впливають форма, матеріал та кут нахилу поверхні перешкоди. М'які або нерівні поверхні можуть частково поглинати ультразвукові хвилі, що призводить до зменшення амплітуди відбитого сигналу. Крім цього, при значному нахилі поверхні частина ультразвукової хвилі може відбиватись у сторону від датчика, що також знижує точність вимірювання.

Для зменшення впливу випадкових перешкод у програмі може використовуватись усереднення декількох послідовних вимірювань. Це дозволяє зменшити вплив одиничних помилкових значень та підвищити стабільність роботи системи.

Живлення датчиків здійснюється стабілізованою напругою 5 В від DC-DC перетворювача. Для зменшення впливу імпульсних завад у ланцюгах живлення використовуються фільтрувальні конденсатори невеликої ємності, розташовані поблизу модулів датчиків.

2.7 Розробка вузла візуальної індикації

Для візуального відображення інформації у розроблюваній системі використовується OLED-дисплей з діагоналлю 1,54 дюйма та інтерфейсом I2C. Дисплей призначений для відображення відстані до перешкод, графічних елементів індикації та службової інформації про стан системи. Використання візуальної індикації дозволяє водієві більш точно оцінювати розташування перешкод та підвищує зручність використання системи під час виконання маневрів паркування. Схема підключення OLED-дисплея наведена на рис. 2.5.

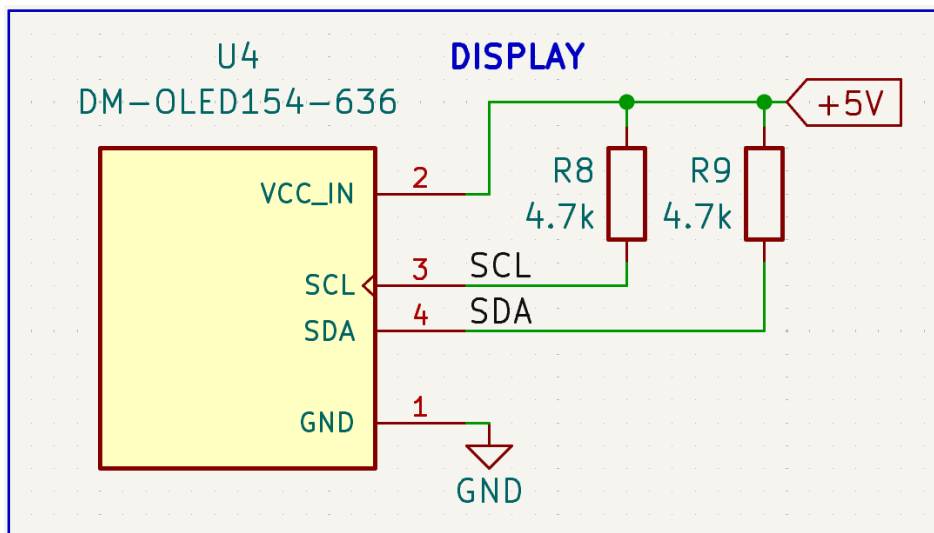


Рисунок 2.5 – Схема підключення OLED-дисплея

Для підключення дисплея використовується інтерфейс I2C, який забезпечує послідовну передачу даних між мікроконтролером та OLED-модулем. Передача інформації здійснюється за допомогою двох сигнальних ліній: SDA — лінії передачі даних та SCL — лінії синхронізації. Використання інтерфейсу I2C дозволяє суттєво зменшити кількість задіяних виводів мікроконтролера порівняно з паралельним підключенням дисплея. Це спрощує принципову схему, зменшує кількість міжз'єднань та полегшує трасування друкованої плати.

OLED-дисплей побудований на основі контролера SSD1306 або сумісного з ним драйвера. Контролер виконує зберігання графічних даних у внутрішній

пам'яті дисплея та забезпечує формування зображення на екрані. Мікроконтролер формує графічний буфер, після чого передає його вміст до дисплея через інтерфейс I2C. Це дозволяє реалізувати відображення тексту, числових значень, графічних шкал та інших елементів інтерфейсу.

На дисплеї відображаються значення відстані до перешкод для кожного ультразвукового датчика, а також додаткові графічні елементи, які дозволяють водієві швидше оцінювати ступінь наближення до об'єкта. Використання графічної індикації дозволяє спростити сприйняття інформації та зменшити час реакції водія.

Однією з основних переваг OLED-дисплеїв є висока контрастність та широкий кут огляду. На відміну від LCD-дисплеїв, OLED-екрани не потребують окремого підсвічування, оскільки кожен піксель випромінює світло самостійно. Це дозволяє забезпечити хорошу видимість інформації як у денний, так і у нічний час.

Додатковою перевагою OLED-дисплея є низьке енергоспоживання. Оскільки у OLED-матрицях світяться лише активні пікселі, енергоспоживання дисплея залежить від кількості відображуваних елементів. Це дозволяє зменшити загальне споживання струму системи.

Для забезпечення комфортного використання системи у різних умовах освітлення у пристрої реалізовано автоматичне регулювання яскравості дисплея. На основі сигналу з фототранзистора мікроконтролер змінює параметри яскравості OLED-дисплея. При недостатньому освітленні яскравість автоматично зменшується, що дозволяє знизити навантаження на зір водія та зменшити засліплення у темний час доби.

Для забезпечення стабільної передачі даних по шині I2C довжина сигнальних ліній повинна бути мінімальною, а самі лінії повинні бути розташовані на друкованій платі на достатній відстані від силових ланцюгів імпульсного перетворювача. Це дозволяє зменшити вплив електромагнітних завад та підвищити надійність передачі даних.

2.8 Розробка вузла звукової індикації

Для додаткового інформування водія у системі використовується звукова індикація. Використання звукового попередження дозволяє оцінювати відстань до перешкоди без постійного контролю дисплея, що значно підвищує зручність використання системи під час виконання маневрів паркування. Особливо важливим це є у випадках, коли водій одночасно контролює дорожню ситуацію, дзеркала заднього виду та положення автомобіля. Схема вузла звукової індикації наведена на рис. 2.6.

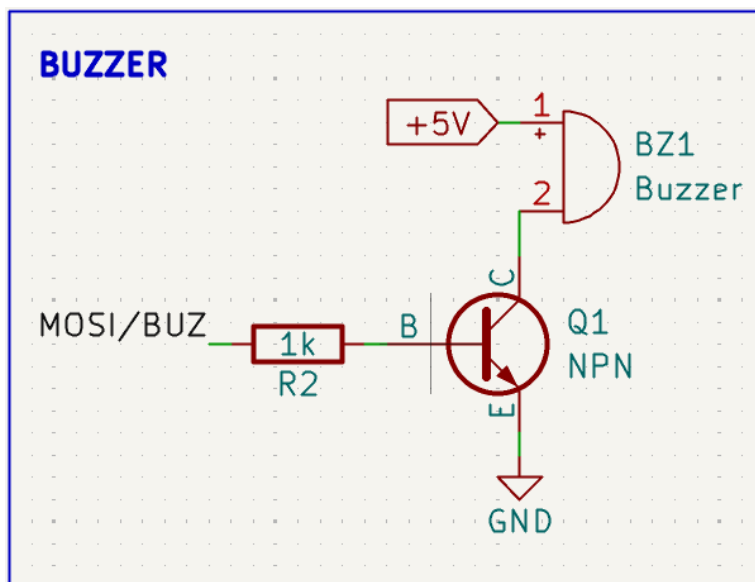


Рисунок 2.6 – Схема вузла звукової індикації

У якості звукового випромінювача у системі використовується активний бузер, який підключений до мікроконтролера через транзисторний ключ. Використання активного бузера дозволяє спростити схему керування, оскільки генерація звукового сигналу виконується безпосередньо всередині модуля бузера. Для роботи такого пристрою достатньо лише подачі напруги живлення.

Підключення бузера безпосередньо до виходу мікроконтролера є небажаним через обмеження максимально допустимого струму GPIO-виводів ATmega328P. Для зменшення навантаження на мікроконтролер використовується транзисторний ключ на базі NPN-транзистора [25]. Керуючий

сигнал з виходу мікроконтролера надходить через базовий резистор на транзистор, після чого виконується комутація живлення бузера.

Використання транзисторного ключа дозволяє підвищити надійність роботи системи та забезпечити стабільне керування звуковим випромінювачем навіть при збільшенні струму навантаження. Крім цього, транзистор забезпечує електричне розділення силового навантаження та цифрової частини системи.

Формування звукових сигналів здійснюється програмно. Частота повторення сигналів залежить від мінімальної відстані до перешкоди. При великій відстані звукові сигнали відсутні або формуються з великим інтервалом часу. У процесі наближення автомобіля до перешкоди інтервал між звуковими сигналами поступово зменшується. При критично малій відстані система переходить у режим безперервного звукового сигналу.

Такий принцип роботи дозволяє водієві інтуїтивно оцінювати ступінь наближення до об'єкта навіть без візуального контролю дисплея. Завдяки цьому підвищується швидкість сприйняття інформації та покращується безпека виконання маневрів паркування.

Для підвищення стабільності роботи звукового вузла у схемі використовується базовий резистор, який обмежує струм бази транзистора та захищає вихід мікроконтролера від перевантаження. Значення резистора було вибране таким чином, щоб забезпечити надійне відкривання транзистора при мінімальному навантаженні на GPIO-вивід. Режимми звукової індикації системи наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Режими звукової індикації системи

Відстань до перешкоди	Режим звукової сигналізації
більше 150 см	сигнал відсутній
100–150 см	рідкі короткі сигнали
50–100 см	сигнали середньої частоти
20–50 см	часті сигнали
менше 20 см	безперервний сигнал

2.9 Розробка вузла автоматичного регулювання яскравості

Для забезпечення комфортного використання системи у різних умовах освітлення у пристрої реалізовано автоматичне регулювання яскравості OLED-дисплея. Необхідність використання такої функції обумовлена тим, що в умовах недостатнього освітлення надмірна яскравість дисплея може створювати додаткове навантаження на зір водія та погіршувати комфорт використання системи. У той же час при яскравому зовнішньому освітленні недостатня яскравість дисплея ускладнює сприйняття інформації. Схема вузла автоматичного регулювання яскравості наведена на рис. 2.7.

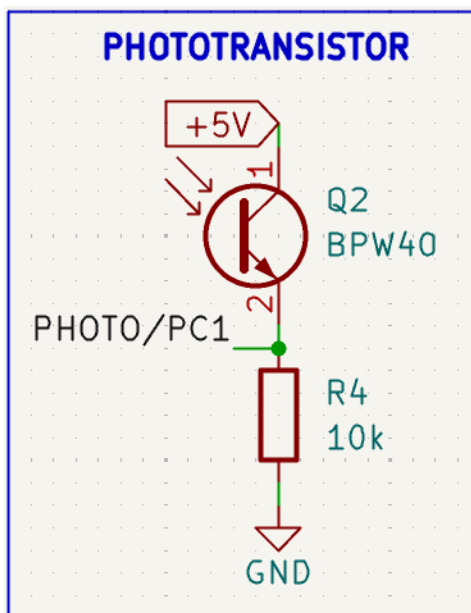


Рисунок 2.7 – Схема підключення фототранзистора

Для визначення рівня зовнішнього освітлення у системі використовується фототранзистор. Даний елемент змінює свій опір залежно від інтенсивності світла, що дозволяє використовувати його у якості датчика освітленості. Фототранзистор разом із резистором утворює подільник напруги, вихідний сигнал якого надходить на аналоговий вхід мікроконтролера.

При збільшенні рівня освітлення змінюється струм через фототранзистор, у результаті чого змінюється напруга на вході аналогово-цифрового

перетворювача мікроконтролера. Отримане значення аналізується програмою, після чого виконується зміна яскравості OLED-дисплея.

У мікроконтролері ATmega328P використовується 10-бітний аналогово-цифровий перетворювач, що дозволяє отримувати значення у діапазоні від 0 до 1023. Така роздільна здатність є достатньою для плавного регулювання яскравості дисплея без різких змін рівня підсвічування.

Для підвищення стабільності роботи системи у програмі може використовуватись усереднення декількох послідовних вимірювань ADC. Це дозволяє зменшити вплив короточасних змін освітлення та випадкових електричних завад.

Автоматичне регулювання яскравості дисплея здійснюється програмно шляхом зміни параметрів OLED-дисплея через інтерфейс I2C. При високому рівні зовнішнього освітлення яскравість дисплея збільшується, що покращує читабельність інформації. У темний час доби яскравість автоматично зменшується, завдяки чому знижується навантаження на зір водія та зменшується засліплення.

Застосування автоматичного регулювання яскравості також дозволяє зменшити енергоспоживання системи. Оскільки OLED-дисплеї споживають струм пропорційно яскравості активних пікселів, зниження яскравості у темний час доби дозволяє зменшити загальне споживання потужності пристрою.

2.10 Розробка вузла температурної компенсації

Одним із факторів, що суттєво впливають на точність ультразвукових вимірювань, є температура навколишнього середовища. Оскільки принцип роботи ультразвукових датчиків базується на вимірюванні часу проходження звукової хвилі до перешкоди та назад, зміна швидкості поширення звуку безпосередньо впливає на результати вимірювання відстані. У разі відсутності температурної компенсації похибка вимірювання може суттєво збільшуватись,

особливо при роботі системи в зимових або літніх умовах. Схема підключення датчика температури наведена на рис. 2.8.

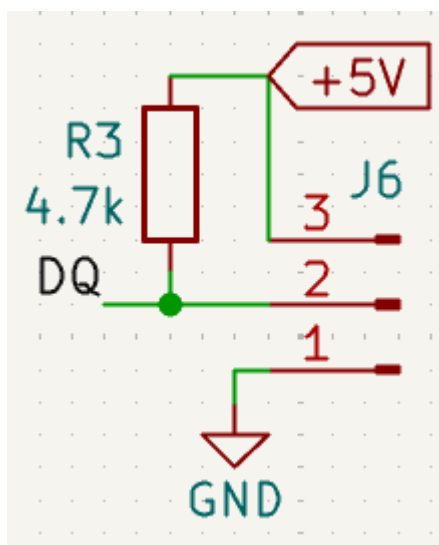


Рисунок 2.8 – Схема підключення датчика температури

Для компенсації температурної похибки у системі використовується датчик температури, підключений до мікроконтролера ATmega328P. Мікроконтролер періодично виконує зчитування значення температури та використовує його для корекції швидкості звуку під час обчислення відстані до перешкоди.

Швидкість поширення звуку в повітрі залежить від температури та може бути визначена за виразом (1.2).

При температурі 20 °C швидкість звуку становить приблизно 343 м/с, однак при зниженні температури вона помітно зменшується. Наприклад, при температурі -20 °C швидкість звуку становить приблизно 319 м/с. Якщо при цьому використовувати фіксоване значення швидкості звуку, похибка вимірювання може досягати декількох відсотків.

Для автомобільних систем така похибка є небажаною, оскільки навіть незначна помилка визначення відстані може впливати на точність роботи системи паркування. Саме тому використання температурної компенсації дозволяє суттєво підвищити стабільність та точність вимірювань у широкому діапазоні температур.

Отримані значення температури використовуються мікроконтролером під час кожного циклу вимірювання. Після зчитування температури програма автоматично обчислює актуальне значення швидкості звуку та використовує його під час визначення відстані до перешкоди. Завдяки цьому система адаптується до умов навколишнього середовища в режимі реального часу.

Для зменшення впливу випадкових завад та короточасних коливань температури у програмі може використовуватись усереднення декількох послідовних вимірювань температури. Це дозволяє забезпечити більш стабільну роботу системи та зменшити ймовірність різких змін результатів вимірювання.

2.11 Загальний принцип роботи системи

Після подачі живлення від бортової мережі автомобіля напруга надходить на імпульсний DC-DC перетворювач, який формує стабілізовану напругу 5 В для живлення всіх вузлів системи. Після стабілізації живлення мікроконтролер ATmega328P виконує ініціалізацію периферійних модулів, налаштування портів введення-виведення, запуск таймерів, інтерфейсу I2C та аналогово-цифрового перетворювача. Одночасно виконується очищення буфера OLED-дисплея та ініціалізація службових змінних програми.

Після завершення ініціалізації система переходить у режим циклічного виконання програми. Основною задачею мікроконтролера є почергове опитування ультразвукових датчиків та визначення відстані до перешкод. Для кожного датчика формується короткий імпульс Trigger, після чого виконується вимірювання тривалості ехосигналу Echo за допомогою апаратного таймера.

Отриманий час проходження ультразвукового сигналу використовується для обчислення відстані до перешкоди. Для підвищення точності вимірювання мікроконтролер додатково виконує зчитування значення температури навколишнього середовища та коригує швидкість звуку відповідно до поточних умов роботи системи.

Однією з особливостей роботи системи є почергове опитування датчиків. Такий режим роботи дозволяє уникнути взаємного впливу ультразвукових сигналів та зменшити ймовірність появи помилкових вимірювань. Після завершення опитування одного датчика мікроконтролер переходить до наступного, доки не буде завершено повний цикл вимірювання для всіх чотирьох датчиків.

Після обробки результатів вимірювання мікроконтролер формує інформацію для OLED-дисплея. На дисплей виводяться значення відстані до найближчої перешкоди, графічно показуючи відстань до найближчої перешкоди для кожного датчика. Оновлення зображення виконується циклічно через певні проміжки часу.

Одночасно із візуальною індикацією формується звукове попередження за допомогою бузера. Частота звукових сигналів змінюється залежно від мінімальної відстані до перешкоди. При наближенні автомобіля до об'єкта інтервал між сигналами зменшується, а при критично малій відстані система переходить у режим безперервного звукового сигналу.

Паралельно мікроконтролер виконує зчитування сигналу з фототранзистора та автоматично регулює яскравість OLED-дисплея залежно від рівня зовнішнього освітлення. Це дозволяє забезпечити комфортне використання системи як у денний, так і у нічний час.

Для підвищення стабільності роботи у програмі реалізовано додаткові механізми обробки даних. Зокрема, використовується таймаут очікування ехосигналу, який дозволяє уникнути зависання програми при відсутності відбитого сигналу. Крім цього, для зменшення впливу випадкових завад може використовуватись усереднення декількох послідовних вимірювань.

Завдяки безперервному циклічному виконанню програми система забезпечує роботу в режимі реального часу та дозволяє своєчасно інформувати водія про наявність перешкод під час виконання маневрів паркування. Реалізований алгоритм роботи забезпечує достатню швидкодію, стабільність та

точність функціонування аудіо-візуальної системи паркування в умовах автомобільної експлуатації.

2.12 Висновки до розділу 2

У даному розділі було виконано розробку аудіо-візуальної системи паркування автомобіля та розглянуто основні принципи її побудови. Було розроблено структурну та принципову електричні схеми системи, а також алгоритм роботи пристрою.

У процесі розробки були розглянуті принципи роботи та особливості підключення основних вузлів системи, зокрема ультразвукових датчиків JSN-SR04T, OLED-дисплея, вузла звукової індикації, фототранзистора та датчика температури. Для живлення системи використано імпульсний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430DDA, який забезпечує формування стабілізованої напруги 5 В від бортової мережі автомобіля.

У системі реалізовано температурну компенсацію ультразвукових вимірювань та автоматичне регулювання яскравості OLED-дисплея залежно від рівня зовнішнього освітлення. Для підвищення стабільності роботи використовується по чергове опитування датчиків та програмна обробка результатів вимірювання.

Розроблена система забезпечує вимірювання відстані до перешкод, візуальне та звукове інформування водія, а також стабільну роботу в широкому діапазоні температур та умов експлуатації.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок струму споживання системи

Одним із важливих етапів проєктування електронного пристрою є визначення загального струму споживання системи. Даний розрахунок необхідний для правильного вибору джерела живлення, оцінки теплових режимів роботи та забезпечення стабільної роботи всіх компонентів пристрою.

До складу розроблюваної аудіо-візуальної системи паркування входять мікроконтролер ATmega328P, чотири ультразвукові датчики JSN-SR04T, OLED-дисплей, вузол звукової індикації, фототранзистор та датчик температури.

Значення струмів споживання компонентів були взяті з технічної документації (datasheet) відповідних електронних компонентів та модулів. Основні значення струмів споживання компонентів наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Споживання струму компонентів

Компонент	Кількість	Струм споживання елемента	Загальний струм
ATmega328P	1	20 мА	20 мА
JSN-SR04T	4	30 мА	120 мА
OLED-дисплей	1	25 мА	25 мА
Бузер	1	35 мА	35 мА
Датчик температури	1	2 мА	2 мА
Фототранзистор	1	1 мА	1 мА

Загальний струм споживання системи визначається як сума струмів усіх компонентів:

$$I_{\Sigma} = I_{МК} + I_{датч} + I_{OLED} + I_{buzzer} + I_{temp} + I_{photo} \quad (3.1)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$I_{\Sigma} = 20 + 120 + 25 + 35 + 2 + 1 = 203 \text{ мА}$$

Отже, максимальний струм споживання системи приблизно $I_{\Sigma} \approx 0,2 \text{ А}$.

Отримане значення використовується для подальшого розрахунку вузла живлення та оцінки енергоспоживання пристрою.

3.2 Розрахунок вузла живлення

Живлення аудіо-візуальної системи паркування здійснюється від бортової мережі автомобіля. Оскільки напруга автомобільної мережі може змінюватися в широких межах, вузол живлення повинен забезпечувати стабільне формування напруги 5 В при зміні вхідної напруги від 12 до 24 В.

Для живлення системи використовується імпульсний понижувальний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430DDA.

Основні параметри перетворювача: $U_{IN} = 12 \dots 24$ В; $U_{OUT} = 5$ В; $I_{OUT} = 2$ А

Максимальна вихідна потужність визначається за формулою:

$$P_{OUT} = U_{OUT} \cdot I_{OUT} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ Вт} \quad (3.2)$$

Коефіцієнт перетворення для мінімальної вхідної напруги:

$$D_{MAX} = \frac{U_{OUT}}{U_{IN(min)}} = \frac{5}{12} = 0,417 \quad (3.3)$$

Коефіцієнт перетворення для максимальної вхідної напруги:

$$D_{MIN} = \frac{5}{24} = 0,208 \quad (3.4)$$

Для імпульсних понижувальних перетворювачів величина індуктивності дроселя визначається за формулою [26]:

$$L = \frac{U_{OUT} \cdot (U_{IN} - U_{OUT})}{\Delta I_L \cdot f \cdot U_{IN}} \quad (3.5)$$

де: L — індуктивність дроселя; ΔI_L — амплітуда пульсацій струму дроселя; f — частота перемикавання; U_{IN} — вхідна напруга.

Допустиме значення пульсацій струму дроселя приймається:

$$\Delta I_L = 0,3 \cdot I_{OUT} = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ A} \quad (3.6)$$

Частота перемикавання мікросхеми TPS5430DDA, $f = 500 \text{ кГц}$

Підставляючи значення для найгіршого режиму роботи при $U_{IN} = 24 \text{ В}$, отримаємо:

$$L = \frac{5 \cdot (24 - 5)}{0,6 \cdot 500000 \cdot 24} \approx 13,2 \text{ мкГн}$$

Найближчим стандартним номіналом є $L = 15 \text{ мкГн}$, однак для зменшення пульсацій струму та покращення стабільності роботи було обрано дросель $L = 22 \text{ мкГн}$.

Ємність вихідного конденсатора визначається з умови обмеження пульсацій вихідної напруги:

$$C_{OUT} \geq \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f \cdot \Delta U} \quad (3.7)$$

При допустимих пульсаціях $\Delta U = 50 \text{ мВ}$, отримаємо:

$$C_{OUT} \geq \frac{0,6}{8 \cdot 500000 \cdot 0,05} = 3 \text{ мкФ}$$

Для забезпечення стабільної роботи та зменшення рівня пульсацій у схемі використовується конденсатор $C_{OUT} = 220 \text{ мкФ}$.

Коефіцієнт корисної дії імпульсного перетворювача згідно datasheet TPS5430DDA становить приблизно $\eta \approx 88\%$.

Вхідна потужність перетворювача:

$$P_{IN} = \frac{P_{OUT}}{\eta} = \frac{10}{0,88} \approx 11,36 \text{ Вт} \quad (3.8)$$

Максимальний вхідний струм:

$$I_{IN(max)} = \frac{P_{IN}}{U_{IN(min)}} = \frac{11,36}{12} \approx 0,95 \text{ А} \quad (3.9)$$

Отримані результати підтверджують правильність вибору мікросхеми TPS5430DDA та номіналів елементів вузла живлення для забезпечення стабільної роботи системи при струмі навантаження до 2 А.

3.3 Розрахунок часу вимірювання відстані

Одним із основних параметрів ультразвукової системи паркування є час вимірювання відстані до перешкоди. Від швидкості виконання вимірювання залежить швидкодія системи та оперативність інформування водія.

Визначення відстані в системі виконується за допомогою вимірювання часу проходження ультразвукової хвилі від датчика до перешкоди та назад. Розрахунок здійснюється за формулою (1.1).

Максимальна відстань вимірювання для датчика JSN-SR04T становить $L_{MAX} = 6$ м. Швидкість звуку при температурі 20 °C, $v = 343$ м/с

Максимальний час проходження ультразвукового сигналу:

$$t_{MAX} = \frac{2 \cdot L_{MAX}}{v} = \frac{2 \cdot 6}{343} \approx 35 \text{ мс} \quad (3.10)$$

Отже, максимальний час одного вимірювання становить приблизно 35 мс.

У системі використовується чотири ультразвукові датчики, які опитуються по чергово для уникнення взаємного впливу сигналів.

Час повного циклу опитування визначається за формулою:

$$t_{cycle} = n \cdot t_{MAX} = 4 \cdot 35 = 140 \text{ мс} \quad (3.11)$$

де n — кількість датчиків.

Таким чином, повний цикл опитування всіх датчиків займає приблизно $t_{cycle} \approx 0,14 \text{ с}$

Частота оновлення інформації:

$$f = \frac{1}{t_{cycle}} = \frac{1}{0,14} \approx 7 \text{ Гц} \quad (3.12)$$

Отримана частота оновлення є достатньою для роботи системи паркування в режимі реального часу.

3.4 Розрахунок транзисторного ключа бузера

Для керування бузером у системі використовується транзисторний ключ. Застосування транзистора дозволяє зменшити навантаження на вихід мікроконтролера та забезпечити необхідний струм керування звуковим випромінювачем.

Для розрахунку базового резистора необхідно визначити струм бази транзистора.

Струм бузера $I_C = 35 \text{ мА}$, коефіцієнт підсилення транзистора $h_{21} = 100$.
Необхідний струм бази:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21}} = \frac{35}{100} = 0,35 \text{ мА} \quad (3.13)$$

Напруга на виході мікроконтролера $U_{OUT} = 5 \text{ В}$, а падіння напруги на базі-емітері $U_{BE} = 0,7 \text{ В}$. Базовий резистор визначається за формулою:

$$R_B = \frac{U_{OUT} - U_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 0,7}{0,00035} \approx 12,3 \text{ кОм} \quad (3.14)$$

Найближчим стандартним номіналом є $R_B = 10 \text{ кОм}$, отримане значення забезпечує надійне відкривання транзистора та стабільну роботу вузла звукової індикації.

3.5 Розрахунок температурної похибки вимірювання

Точність ультразвукового вимірювання значною мірою залежить від температури навколишнього середовища, оскільки зі зміною температури змінюється швидкість поширення звуку в повітрі.

У більшості спрощених систем швидкість звуку приймається сталою $v_0 = 343 \text{ м/с}$ що відповідає температурі $T = 20^\circ \text{C}$.

Однак при зміні температури швидкість звуку визначається виразом (1.1). Розглянемо зміну швидкості звуку при температурі $T = -20^\circ \text{C}$:

$$v = 331 + 0,6 \cdot (-20) = 319 \text{ м/с}$$

Для температури $T = 40^\circ \text{C}$:

$$v = 331 + 0,6 \cdot 40 = 355 \text{ м/с}$$

Таким чином, зміна температури може призводити до суттєвої зміни швидкості поширення ультразвукової хвилі.

Відносна похибка вимірювання визначається за формулою:

$$\delta = \frac{v - v_0}{v_0} \cdot 100\% \quad (3.15)$$

Для температури -20°C :

$$\delta = \frac{319 - 343}{343} \cdot 100\% \approx -7\%$$

Для температури 40°C :

$$\delta = \frac{355 - 343}{343} \cdot 100\% \approx 3,5\%$$

Отримані результати показують, що без температурної компенсації похибка вимірювання може досягати кількох відсотків.

Використання датчика температури дозволяє виконувати корекцію швидкості звуку в реальному часі та суттєво зменшити похибку вимірювання. Залежність швидкості звуку від температури наведена на рис. 3.3.

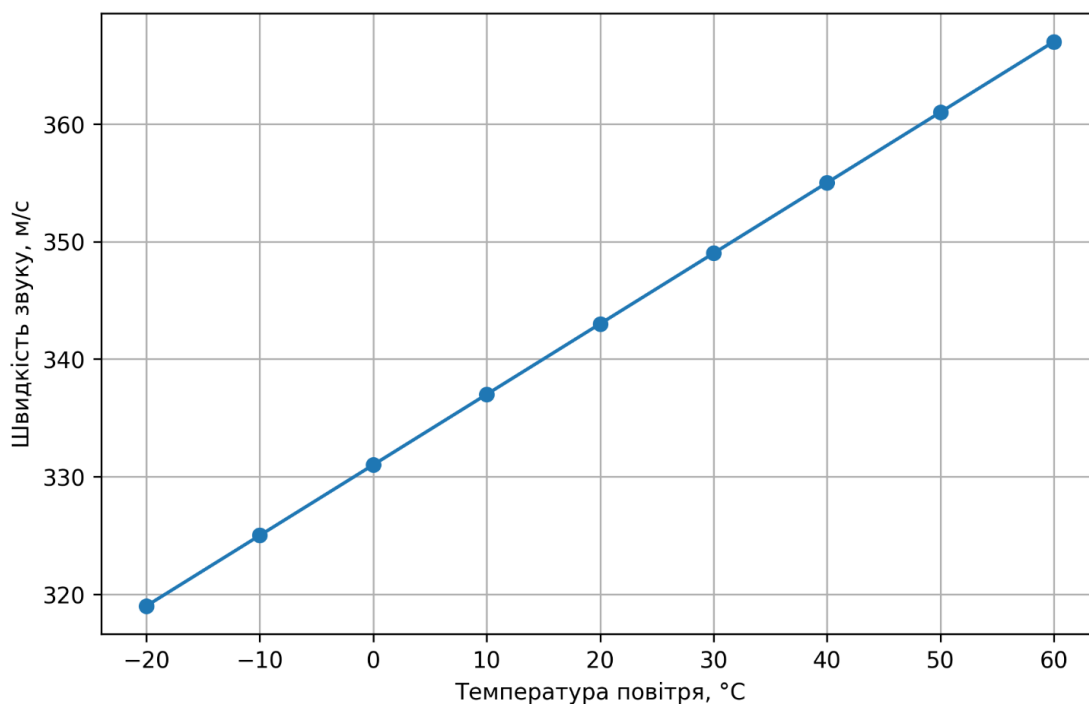


Рисунок 3.1 – Залежність швидкості звуку від температури

3.6 Розрахунок автоматичного регулювання яскравості

Для забезпечення комфортного сприйняття інформації водієм у різних умовах освітлення в системі передбачене автоматичне регулювання яскравості OLED-дисплея. Регулювання здійснюється за допомогою фототранзистора, сигнал з якого надходить на аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера ATmega328P.

Принцип роботи вузла базується на зміні струму фототранзистора залежно від рівня зовнішнього освітлення. При збільшенні освітленості опір фототранзистора зменшується, що призводить до зміни напруги на вході ADC мікроконтролера. Отримане значення використовується для програмного регулювання яскравості OLED-дисплея.

Для формування вимірювального сигналу фототранзистор підключається у вигляді подільника напруги разом із резистором R_1 . Напруга на вході аналого-цифрового перетворювача визначається за формулою:

$$U_{ADC} = U_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_{FT}} \quad (3.15)$$

де: U_{ADC} — напруга на вході ADC мікроконтролера; U_{CC} — напруга живлення системи; R_{FT} — еквівалентний опір фототранзистора; R_1 — резистор подільника напруги.

У системі використовується напруга живлення $U_{CC} = 5$ В та резистор $R_1 = 10$ кОм. При середньому рівні освітлення еквівалентний опір фототранзистора становить приблизно $R_{FT} = 10$ кОм. Тоді напруга на вході ADC дорівнює:

$$U_{ADC} = 5 \cdot \frac{10}{10 + 10} = 2,5 \text{ В}$$

Мікроконтролер ATmega328P має 10-бітний аналого-цифровий перетворювач, тому максимальне цифрове значення ADC визначається як:

$$ADC_{max} = 2^{10} - 1 = 1023$$

Цифрове значення сигналу при напрузі 2,5 В становить:

$$ADC = \frac{U_{ADC}}{U_{REF}} \cdot 1023 = \frac{2.5}{5} \cdot 1023 \approx 512 \quad (3.16)$$

Отримане значення використовується програмою для встановлення необхідного рівня яскравості дисплея. При високому рівні освітлення мікроконтролер збільшує яскравість OLED-дисплея, а при низькому — зменшує її для уникнення засліплення водія у темний час доби.

Для плавного регулювання яскравості використовується широтно-імпульсна модуляція (PWM). Коефіцієнт заповнення PWM-сигналу змінюється пропорційно значенню ADC:

$$D = \frac{ADC}{1023} \cdot 100\% \quad (3.17)$$

При отриманому значенні $ADC \approx 512$ коефіцієнт заповнення PWM становить:

$$D = \frac{512}{1023} \cdot 100\% \approx 50\%$$

Таким чином, при середньому рівні освітлення дисплей працює приблизно на 50 % максимальної яскравості, що забезпечує комфортне сприйняття інформації та зменшує енергоспоживання системи.

Використання автоматичного регулювання яскравості дозволяє підвищити комфорт експлуатації системи паркування, покращити читабельність дисплея за різних умов освітлення та зменшити енергоспоживання OLED-дисплея.

3.7 Висновки до розділу 3

У даному розділі виконано розробку друкованої плати аудіо-візуальної системи паркування автомобіля та проведено моделювання її роботи в середовищі Proteus. Під час проектування друкованої плати було враховано вимоги до компактності конструкції, надійності електричних з'єднань та зручності монтажу елементів. Компонування елементів виконано таким чином, щоб забезпечити мінімальну довжину провідників, зменшення впливу електромагнітних завад та стабільну роботу всіх функціональних вузлів системи.

У процесі розробки друкованої плати реалізовано підключення мікроконтролера ATmega328P, ультразвукових датчиків JSN-SR04T, OLED-дисплея, датчика температури, вузла автоматичного регулювання яскравості та звукового сигналізатора. Аналіз трасування показав відсутність конфліктів між провідниками та відповідність плати вимогам до виготовлення.

Для перевірки працездатності розробленої системи було виконано моделювання її роботи в середовищі Proteus. У ході моделювання перевірено правильність функціонування алгоритму вимірювання відстані до перешкод, обробки сигналів від ультразвукових датчиків та формування інформації для відображення на OLED-дисплеї. Також досліджено роботу звукової індикації, яка змінює частоту сигналів залежно від ступеня наближення до перешкоди.

Результати моделювання підтвердили правильність прийнятих схемотехнічних та програмних рішень. Розроблена система забезпечує своєчасне виявлення перешкод, відображення результатів вимірювання у зручній для користувача формі та формування попереджувальних звукових сигналів. Крім того, реалізовані функції автоматичного регулювання яскравості дисплея та температурної компенсації сприяють підвищенню зручності використання і точності вимірювань у різних умовах експлуатації.

Отримані результати свідчать про можливість практичної реалізації розробленої аудіо-візуальної системи паркування автомобіля та підтверджують її відповідність поставленим технічним вимогам. Розроблена конструкція може бути використана як основа для подальшого вдосконалення систем допомоги водієві та впровадження додаткових функцій контролю навколишнього простору.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

4.1 Розробка друкованої плати системи

Після завершення розробки принципової електричної схеми було виконано проєктування друкованої плати аудіо-візуальної системи паркування. Основною метою розробки друкованої плати було забезпечення компактного розташування компонентів, стабільної роботи системи та зменшення впливу електромагнітних завад на аналогові та цифрові вузли пристрою.

Під час проєктування друкованої плати особлива увага приділялась розташуванню силових та сигнальних ланцюгів. Імпульсний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430DDA є джерелом високочастотних імпульсних завад, тому його було розміщено окремо від аналогових вузлів системи, зокрема фототранзистора, датчика температури та ліній аналогово-цифрового перетворювача мікроконтролера. Топологію друкованої плати наведений на рис. 4.1.1 та рис. 4.1.2.

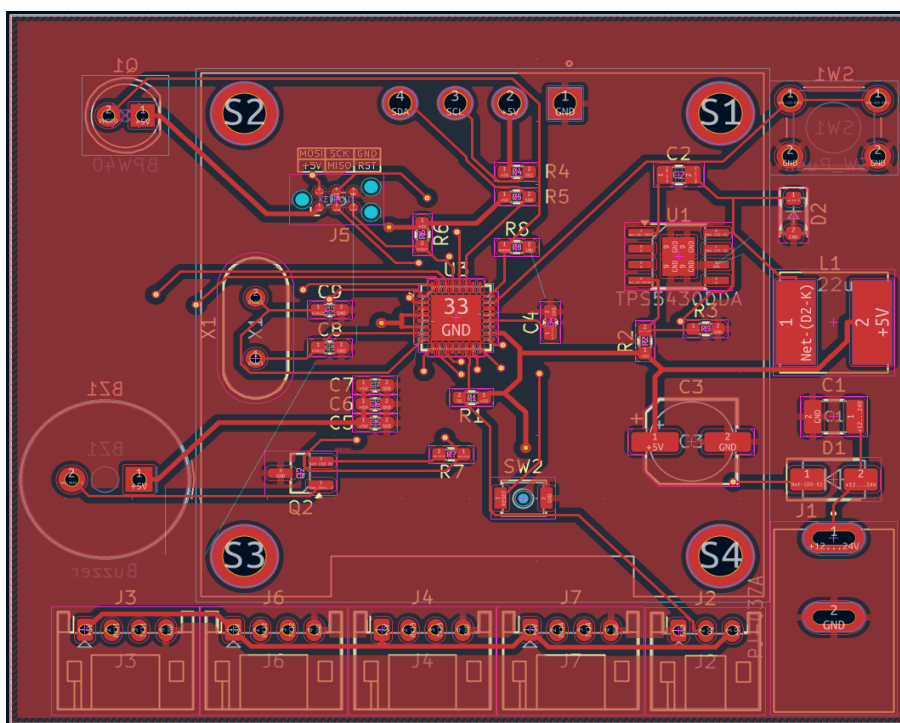


Рисунок 4.1.1 –Топологія першого шару друкованої плати

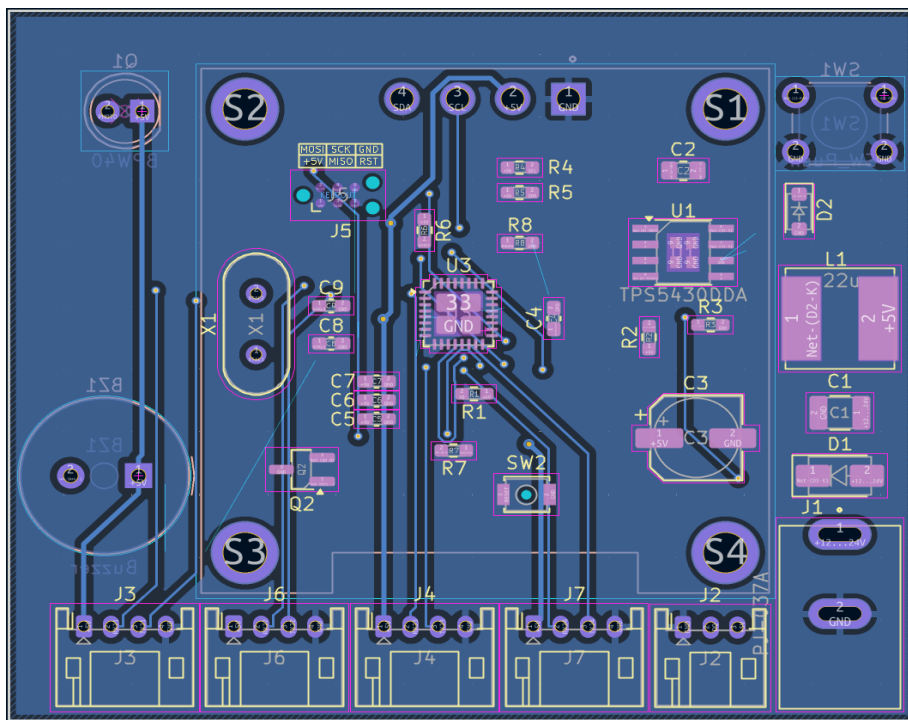


Рисунок 4.1.2 – Топологія другого шару друкованої плати

При трасуванні друкованої плати використовувались двосторонні мідні шари [27, 28]. Для зменшення опору та покращення відведення струму силові ланцюги живлення були виконані доріжками збільшеної ширини. Особлива увага приділялась трасуванню ліній живлення та заземлення імпульсного DC-DC перетворювача, оскільки неправильне трасування силових ланцюгів може призводити до підвищення рівня електромагнітних завад та нестабільної роботи системи.

Для зменшення рівня шумів на друкованій платі використовувався суцільний полігон заземлення. Це дозволяє зменшити паразитні опори та покращити електромагнітну сумісність цифрових і аналогових вузлів системи [29, 30].

Мікроконтролер ATmega328P розташований у центральній частині плати, що дозволило мінімізувати довжину сигнальних ліній між мікроконтролером та периферійними пристроями. Біля виводів живлення мікроконтролера встановлені блокувальні керамічні конденсатори ємністю 100 нФ, призначені для локальної фільтрації високочастотних завад.

Для забезпечення стабільної роботи аналогово-цифрового перетворювача аналогові сигнальні лінії фототранзистора та датчика температури були максимально віддалені від силових вузлів імпульсного перетворювача. Крім цього, для аналогової частини мікроконтролера використовувалось окреме підключення виводів AVCC та AREF із додатковою фільтрацією живлення. Розташування основних компонентів друкованої плати наведено на рис. 4.2.1. та рис. 4.2.2.

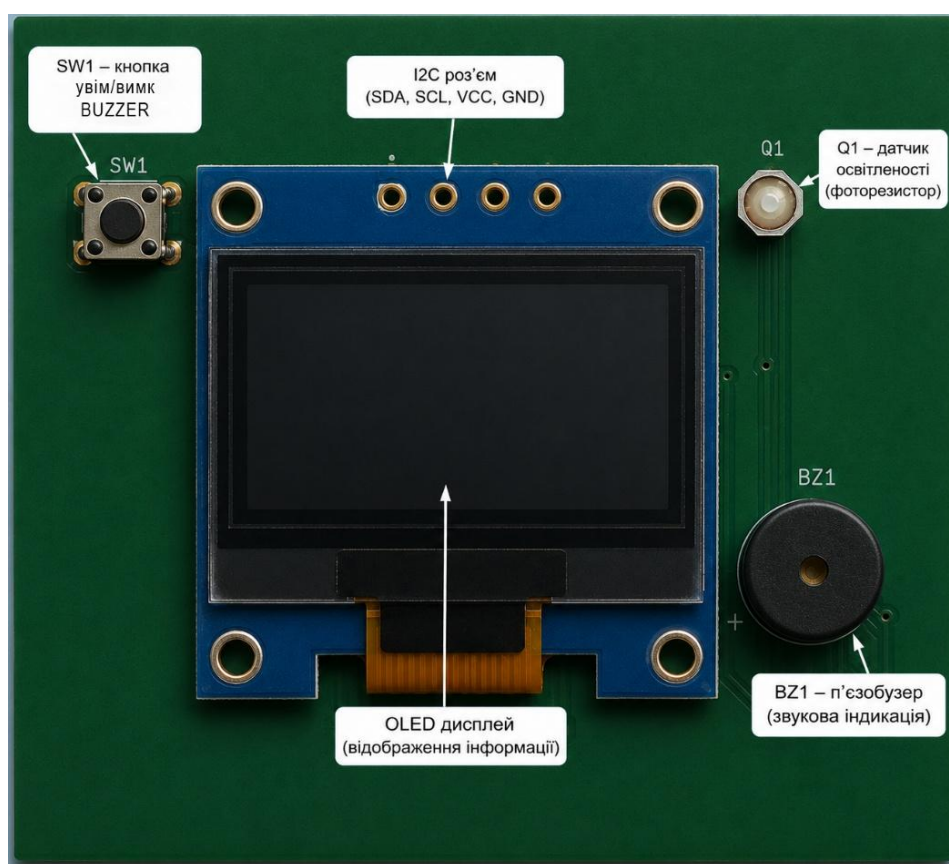


Рисунок 4.2.1 – Розташування основних компонентів друкованої плати на першій стороні

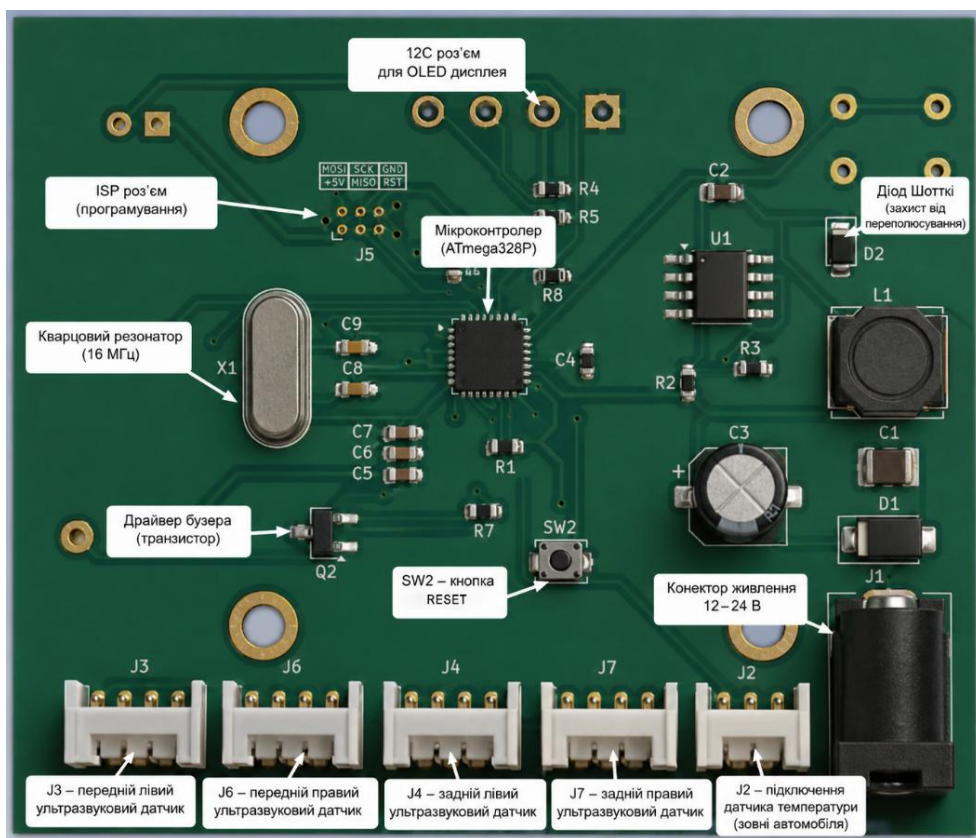


Рисунок 4.2.2 – Розташування основних компонентів друкованої плати на другій стороні

Під час проєктування друкованої плати також враховувались особливості роботи ультразвукових датчиків JSN-SR04T. Лінії Echo та Trigger були прокладені на достатній відстані від силових імпульсних ланцюгів для зменшення впливу електромагнітних завад та запобігання появі помилкових спрацьовувань датчиків.

Для захисту системи від помилкового підключення живлення у вхідному колі використовується діод Шотткі SS34. Даний елемент розташований безпосередньо біля вхідного роз'єму живлення, що дозволяє мінімізувати ймовірність пошкодження електронних компонентів при переполюсуванні.

Розроблена друкована плата забезпечує компактне розташування компонентів, стабільну роботу системи та можливість експлуатації пристрою в умовах автомобільного середовища.

4.2 Особливості компонування елементів на друкованій платі

Під час проєктування друкованої плати особлива увага приділялась правильному розташуванню основних функціональних вузлів системи. Грамотне компонування елементів дозволяє зменшити вплив електромагнітних завад, спростити трасування сигнальних ліній та забезпечити стабільну роботу пристрою в умовах автомобільної експлуатації.

Мікроконтролер ATmega328P розташований у центральній частині друкованої плати. Таке компонування дозволило мінімізувати довжину сигнальних доріжок між мікроконтролером та периферійними пристроями системи. Крім цього, центральне розташування мікроконтролера спрощує трасування цифрових та аналогових ліній, а також забезпечує більш рівномірний розподіл з'єднань по всій площі плати.

У правій частині друкованої плати розміщений вузол живлення на базі імпульсного DC-DC перетворювача TPS5430DDA. Даний вузол містить силові компоненти, зокрема дросель, діоди Шотткі та фільтрувальні конденсатори. Розміщення силового вузла окремо від аналогової частини дозволяє зменшити рівень високочастотних завад та покращити стабільність роботи системи.

Роз'єм живлення J1 для підключення бортової мережі автомобіля 12–24 В розташований у нижній правій частині плати безпосередньо біля вузла живлення. Таке компонування дозволяє зменшити довжину силових доріжок та мінімізувати втрати напруги. Біля вхідного роз'єму також розташовані діоди Шотткі D1 та D2, які забезпечують захист системи від переполюсування та імпульсних завад бортової мережі автомобіля.

У нижній частині друкованої плати розташовані роз'єми J3, J6, J4 та J7, призначені для підключення задніх ультразвукових датчиків JSN-SR04T. Таке розташування дозволяє спростити підключення датчиків та забезпечує зручне виведення кабелів під час встановлення системи в автомобілі.

Окремий роз'єм J2 використовується для підключення зовнішнього датчика температури. Датчик може встановлюватися у зовнішній частині автомобіля,

наприклад у боковому дзеркалі, що дозволяє вимірювати реальну температуру навколишнього середовища та виконувати температурну компенсацію швидкості звуку.

На окремій платі індикації розташовані OLED-дисплей, бузер та кнопка керування. OLED-дисплей використовується для відображення відстані до перешкоди та графічної інформації. Бузер забезпечує звукову сигналізацію під час наближення до перешкоди, а кнопка SW1 використовується для вимкнення звукової індикації під час роботи системи.

4.3 Моделювання роботи системи у Proteus

Для перевірки працездатності розробленої системи було виконано моделювання роботи пристрою у середовищі Proteus. Дане середовище дозволяє виконувати комплексне тестування електронних схем та програмного забезпечення мікроконтролерних систем ще до виготовлення друкованої плати.

Під час моделювання було перевірено роботу основних функціональних вузлів системи, зокрема мікроконтролера ATmega328P, ультразвукових датчиків JSN-SR04T, OLED-дисплея, вузла звукової сигналізації, датчика температури та системи автоматичного регулювання яскравості дисплея. Загальний вигляд моделі системи у Proteus наведено у додатку Г.

Під час тестування моделі мікроконтролер почергово виконував опитування ультразвукових датчиків та обчислював відстань до перешкоди на основі часу проходження ультразвукового сигналу. Отримані значення передавались на OLED-дисплей та відображались у режимі реального часу.

Для перевірки роботи звукової індикації моделювалось наближення перешкоди до автомобіля. При зменшенні відстані система автоматично змінювала частоту звукових сигналів бузера. Чим меншою ставала відстань до перешкоди, тим меншою була пауза між звуковими сигналами. Інтерфейс аудіо-візуальної системи паркування зображено на рис. 4.3.

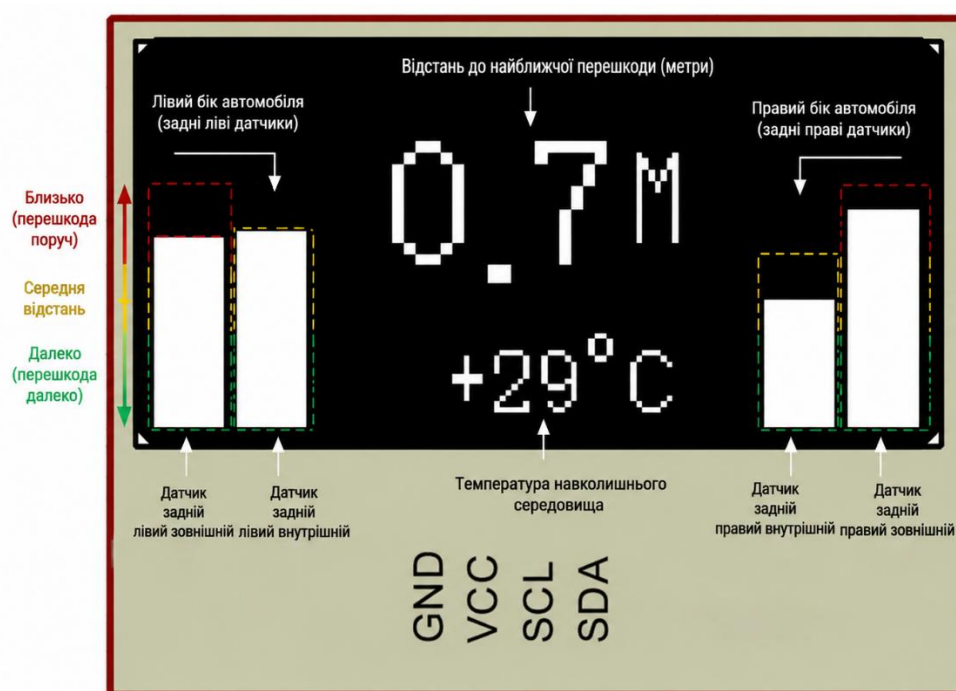


Рисунок 4.3 – Інтерфейс аудіо-візуальної системи паркування

Також у процесі моделювання було перевірено роботу кнопки SW1, призначеної для вимкнення звукової сигналізації. Після натискання кнопки система продовжувала виконувати вимірювання відстані та відображення інформації на дисплеї, однак звукова індикація вимикалась.

Окремо виконувалась перевірка роботи системи автоматичного регулювання яскравості OLED-дисплея. Під час зміни рівня освітлення фототранзистора система автоматично змінювала яскравість дисплея залежно від зовнішніх умов освітлення.

Крім цього, у процесі моделювання перевірялась робота температурної компенсації швидкості звуку. При зміні температури навколишнього середовища мікроконтролер автоматично коригував значення швидкості звуку, що дозволяло підвищити точність вимірювання відстані. Приклад роботи системи під час моделювання наведений на рис. 4.4.1 та рис. 4.4.2.

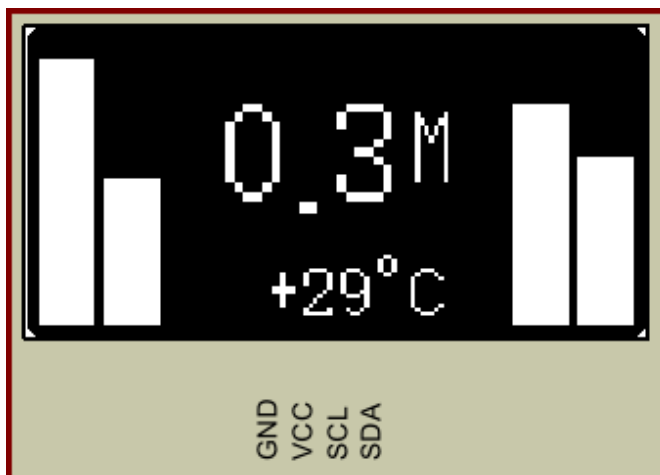


Рисунок 4.4.1 – Відображення результатів вимірювання під час моделювання системи

При відстані менше 0,3 метра на екрані з'являється напис STOP, що блимає.



Рисунок 4.4.2 – Відображення результатів вимірювання під час моделювання системи

У результаті моделювання було підтверджено працездатність розробленої системи, правильність роботи алгоритму керування та стабільність взаємодії між окремими вузлами пристрою. Отримані результати показали можливість практичної реалізації аудіо-візуальної системи паркування на базі мікроконтролера ATmega328P.

4.4 Аналіз результатів моделювання системи

У результаті проведеного моделювання було підтверджено працездатність усіх основних вузлів аудіо-візуальної системи паркування. Під час тестування система коректно виконувала опитування ультразвукових датчиків, обробку отриманих даних та відображення інформації на OLED-дисплеї.

Моделювання показало, що мікроконтролер ATmega328P стабільно виконує обробку сигналів від ультразвукових датчиків JSN-SR04T та забезпечує правильне обчислення відстані до перешкоди. Отримані значення відповідали заданим параметрам моделювання та коректно змінювались при наближенні або віддаленні об'єкта.

Під час перевірки роботи системи індикації OLED-дисплей стабільно відображав інформацію про відстань до перешкод, температуру навколишнього середовища та рівень наближення об'єктів до автомобіля. Графічна індикація дозволяє візуально оцінювати положення перешкод з лівого та правого боку автомобіля.

Результати моделювання також підтвердили правильність роботи звукової сигналізації. При зменшенні відстані до перешкоди частота звукових сигналів збільшувалась, що відповідає алгоритму роботи системи паркування. Кнопка SW1 коректно виконувала функцію вимкнення звукової індикації без впливу на основну роботу системи.

Окремо було перевірено роботу системи автоматичного регулювання яскравості дисплея. При зміні рівня освітлення фототранзистора яскравість OLED-дисплея автоматично змінювалась залежно від зовнішніх умов освітлення, що покращує зручність використання системи у денний та нічний час.

Під час тестування температурної компенсації система коректно враховувала зміну швидкості звуку залежно від температури навколишнього середовища. Це дозволило зменшити похибку вимірювання відстані та підвищити точність роботи ультразвукових датчиків.

Результати моделювання підтвердили правильність вибору елементної бази, працездатність розробленої електричної схеми та можливість практичної реалізації аудіо-візуальної системи паркування на базі мікроконтролера ATmega328P.

4.5 Висновки до розділу 4

У даному розділі виконано розробку друкованої плати аудіо-візуальної системи паркування автомобіля та проведено моделювання її роботи в середовищі Proteus. Під час проєктування друкованої плати було враховано вимоги до компактності конструкції, надійності електричних з'єднань та зручності монтажу елементів. Компонування елементів виконано таким чином, щоб забезпечити мінімальну довжину провідників, зменшення впливу електромагнітних завад та стабільну роботу всіх функціональних вузлів системи.

У процесі розробки друкованої плати реалізовано підключення мікроконтролера ATmega328P, ультразвукових датчиків JSN-SR04T, OLED-дисплея, датчика температури, вузла автоматичного регулювання яскравості та звукового сигналізатора. Аналіз трасування показав відсутність конфліктів між провідниками та відповідність плати вимогам до виготовлення.

Для перевірки працездатності розробленої системи було виконано моделювання її роботи в середовищі Proteus. У ході моделювання перевірено правильність функціонування алгоритму вимірювання відстані до перешкод, обробки сигналів від ультразвукових датчиків та формування інформації для відображення на OLED-дисплеї. Також досліджено роботу звукової індикації, яка змінює частоту сигналів залежно від ступеня наближення до перешкоди.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було розроблено аудіо-візуальну систему паркування автомобіля на базі мікроконтролера ATmega328P. Основною метою роботи було створення компактної та функціональної системи допомоги водію під час паркування, яка забезпечує візуальне та звукове інформування про наявність перешкод позаду автомобіля.

У ході роботи було проведено аналіз сучасних систем паркування та існуючих технічних рішень. На основі проведеного аналізу обрано ультразвуковий метод вимірювання відстані як найбільш простий, доступний та ефективний для реалізації автомобільної системи паркування.

У роботі було виконано вибір елементної бази системи. Для керування пристроєм обрано мікроконтролер ATmega328P, який забезпечує достатню кількість входів та виходів, підтримку необхідних периферійних інтерфейсів та низьке енергоспоживання. Для вимірювання відстані використано герметичні ультразвукові датчики JSN-SR04T, що дозволяють забезпечити стабільну роботу системи в умовах автомобільної експлуатації.

У процесі розробки було створено структурну та принципову електричну схеми системи. Для живлення пристрою розроблено імпульсний DC-DC перетворювач на базі мікросхеми TPS5430DDA, який забезпечує формування стабільної напруги 5 В при живленні від бортової мережі автомобіля 12–24 В. Для захисту системи від переполюсування використано діоди Шотткі.

У дипломній роботі також реалізовано систему автоматичного регулювання яскравості OLED-дисплея залежно від рівня зовнішнього освітлення. Для підвищення точності вимірювання відстані реалізовано температурну компенсацію швидкості звуку на основі вимірювання температури навколишнього середовища.

Під час виконання роботи було розроблено друковану плату пристрою та виконано компонування основних функціональних вузлів системи. Під час

трасування друкованої плати враховувались особливості роботи імпульсного перетворювача, аналогових сигнальних ліній та ультразвукових датчиків.

Для перевірки працездатності системи виконано моделювання роботи пристрою у середовищі Proteus. Результати моделювання підтвердили правильність роботи алгоритму керування, стабільність роботи системи та коректність взаємодії між окремими вузлами пристрою.

Розроблена аудіо-візуальна система паркування може бути використана як основа для створення автомобільних допоміжних систем паркування та має можливість подальшого вдосконалення, зокрема шляхом додавання бездротового зв'язку, збільшення кількості датчиків або інтеграції з мультимедійною системою автомобіля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Electronics for Embedded Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/35456/1/Electronics%20for%20Embedded%20Systems.pdf> — Дата звернення: 26.05.2026.
2. Introduction to Embedded Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://weblibrary.mila.edu.my/upload/ebook/engineering/2014_Book_IntroductionToEmbeddedSystems.pdf — Дата звернення: 26.05.2026.
3. PING Sensor Product Guide [Електронний ресурс] // Mouser. – Режим доступу: <https://www.mouser.com.gt/ds/2/321/28015-PING-Sensor-Product-Guide-v2.0-461050.pdf>. – Дата звернення: 26.05.2026.
4. Ultrasonic Sensor Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eprints.uad.ac.id/37877/1/document.pdf>. – Дата звернення: 30.05.2026.
5. SEN0311 Waterproof Ultrasonic Sensor Datasheet [Електронний ресурс] // DFRobot. – Режим доступу: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0311_Web.pdf — Дата звернення: 26.05.2026.
6. JSN-SR04T Ultrasonic Sensor Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.makerguides.com/wp-content/uploads/2019/02/JSN-SR04T-Datasheet.pdf> — Дата звернення: 26.05.2026.
7. HC-SR04 User's Manual [Електронний ресурс] // Handson Technology. – Режим доступу: <https://www.handsontec.com/dataspecs/HC-SR04-Ultrasonic.pdf>. – Дата звернення: 26.05.2026.
8. JSN-SR04T Waterproof Ultrasonic Distance Sensor [Електронний ресурс] // ESPboards. – Режим доступу: <https://www.espboards.dev/sensors/jsn-sr04t/>. – Дата звернення: 26.05.2026.
9. A02YYUW Waterproof Ultrasonic Sensor [Електронний ресурс] // DFRobot. – Режим доступу: <https://www.dfrobot.com/product-1935.html>. – Дата звернення: 26.05.2026.

10. Relay and Matrix Boards [Электронный ресурс] // Tedlinx. – Режим доступа: <https://tedlinx.com/aerospace-and-defense-solutions/relay-and-matrix-boards/>. — Дата звернення: 26.05.2026.
11. ESP32 vs Arduino [Электронный ресурс] // NTCHIP. – Режим доступа: <https://www.ntchip.com/de/electronics-news/esp32-vs-arduino>. – Дата звернення: 26.05.2026.
12. Wilmshurst T. Designing Embedded Systems With PIC Microcontrollers [Электронный ресурс] / T. Wilmshurst. – Newnes, 2010. – Режим доступа: [http://staroceans.org/kernel-and-driver/Designing%20Embedded%20Systems%20With%20PIC%20Microcontrollers%202nd%20ed%20-%20T.%20Wilmshurst%20\(Newnes%202010\)%20BBS.pdf](http://staroceans.org/kernel-and-driver/Designing%20Embedded%20Systems%20With%20PIC%20Microcontrollers%202nd%20ed%20-%20T.%20Wilmshurst%20(Newnes%202010)%20BBS.pdf) — Дата звернення: 26.05.2026.
13. AVR Instruction Set Manual [Электронный ресурс] // Microchip Technology. – Режим доступа: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/AVR-Instruction-Set-Manual-DS40002198A.pdf> — Дата звернення: 26.05.2026.
14. ATTINY2313 SMD SOP-20 Microcontroller [Электронный ресурс] // Nanocomponent. – Режим доступа: <https://nanocomponent.in/product/attiny2313-smd-sop-20-package-8-bit-avr-microcontroller/>. – Дата звернення: 26.05.2026.
15. ATmega328P Datasheet [Электронный ресурс] // Atmel Corporation. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html> — Дата звернення: 26.05.2026.
16. Мікроконтролер ATMEGA 328P-AU [Электронный ресурс] // BeeGreen. – Режим доступа: <https://beegreen.com.ua/mikrokontroler-chip-mikroshema-atmega-328p-au-tqfp-10301>. – Дата звернення: 26.05.2026.
17. 1.54inch IIC OLED Module Documentation [Электронный ресурс] // LCDWiki. – Режим доступа: https://www.lcdwiki.com/1.54inch_IIC_OLED_Module_SKU%3AMC154GX — Дата звернення: 26.05.2026.

18. UM10204 I2C-bus Specification and User Manual [Электронный ресурс] // NXP Semiconductors. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf> — Дата звернения: 26.05.2026.
19. Interfacing OLED Display with ESP32 [Электронный ресурс] // Last Minute Engineers. – Режим доступа: <https://lastminuteengineers.com/oled-display-esp32-tutorial/>. – Дата звернения: 26.05.2026.
20. Piezoelectric Sound Components Catalog [Электронный ресурс] // Murata Manufacturing. – Режим доступа: <https://www.murata.com/~media/webrenewal/support/library/catalog/products/sound/p15e.ashx> — Дата звернения: 26.05.2026
21. BPW40 Photodiode Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.voti.nl/docs/BPW40.pdf> — Дата звернения: 26.05.2026.
22. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet [Электронный ресурс] // Analog Devices. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf> — Дата звернения: 26.05.2026.
23. Monk S. Programming Arduino [Электронный ресурс] / S. Monk. – Режим доступа: <https://agsci.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/95/2020/03/Programming-Arduino.pdf> — Дата звернения: 26.05.2026.
24. TPS5430-EP Step-Down Converter Datasheet [Электронный ресурс] // Texas Instruments. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps5430-ep.pdf?ts=1779867814187> — Дата звернения: 26.05.2026.
25. Transistor as a Switch [Электронный ресурс] // Electronics Tutorials. – Режим доступа: https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_4.html — Дата звернения: 26.05.2026.
26. Understanding Buck Power Stages in Switchmode Power Supplies [Электронный ресурс] // Texas Instruments. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/an/slva057/slva057.pdf> — Дата звернения: 26.05.2026.

27. KiCad Eeschema Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.kicad.org/10.0/en/eeschema/eeschema.html> — Дата звернення: 26.05.2026.
28. KiCad PCB Editor Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.kicad.org/10.0/en/pcbnew/pcbnew.html> — Дата звернення: 26.05.2026.
29. PCB Thermal Design Considerations [Электронный ресурс] // Texas Instruments. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/an/szza009/szza009.pdf> — Дата звернення: 26.05.2026.
30. Embedded Systems for Engineers and Students [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.scribd.com/document/648897389/Embedded-Systems-for-Engineers-and-Students> — Дата звернення: 26.05.2026.

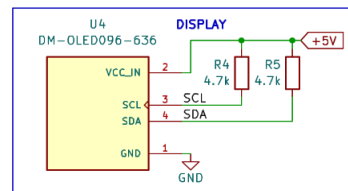
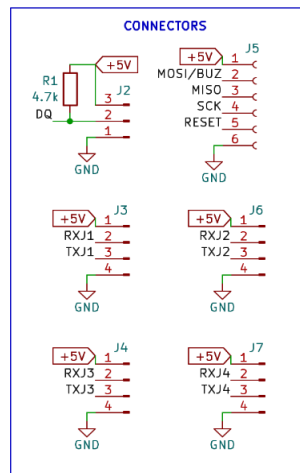
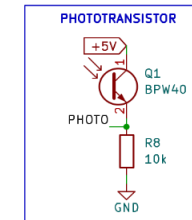
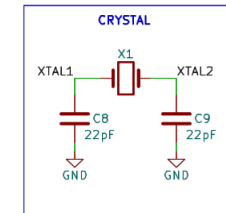
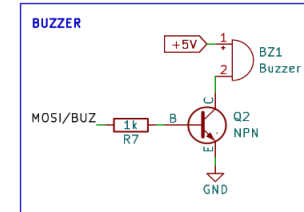
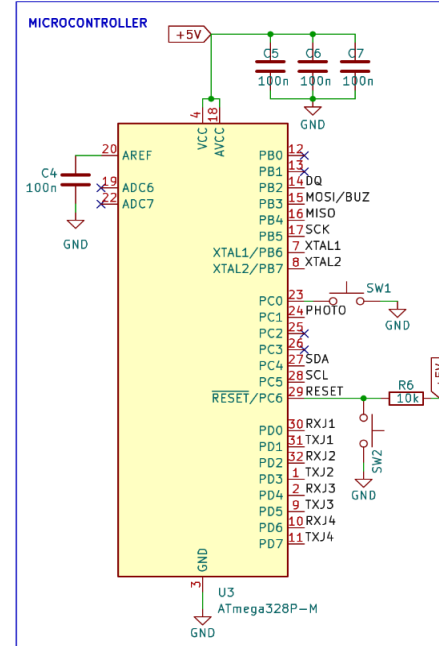
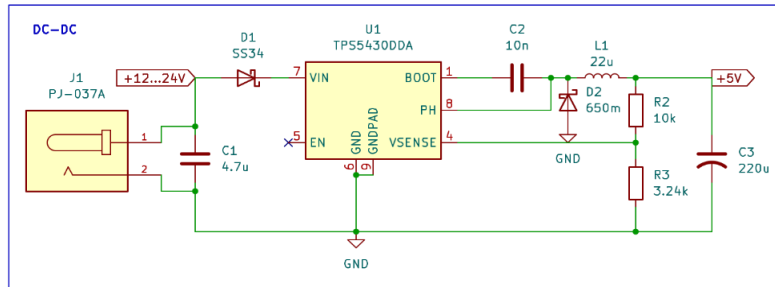
Додаток А
Перелік компонентів

Позиційне позначення	Найменування	Кіл	Примітка
Звукові випромінювачі			
BZ1	Звуковий випромінювач TDK PS1240P02BT	1	П'єзо
Конденсатори			
C1	Конденсатор Taiyo Yuden MSASU32MSB7475MPNA01 4,7 мкФ $\pm 20\%$ 50 В	1	SMD 1210
C2	Конденсатор керамічний AVX 08055C103KAT2A 10 нФ $\pm 10\%$ 50 В	1	SMD 0805
C3	Конденсатор Panasonic 6TPE220MAZB 220 мкФ $\pm 20\%$ 6,3 В	1	SMD
C4,C5,C6,C7	Конденсатор керамічний Murata GRM188R71H104KA93D 100 нФ $\pm 10\%$	4	SMD 0603
C8,C9	Конденсатор керамічний Murata GRM1885C1H220JA01D 22 пФ $\pm 5\%$	2	SMD 0603
Діоди			
D1	Діод Шоттки Diodes Inc. SS34 40 В 3 А	1	SMD D SMA
D2	Діод Шоттки Fairchild Semiconductor FSV360FP 60 В 3 А	1	SOD-123HE
Роз'єми			
J1	Роз'єм живлення CUI PJ-037A	1	CUI_PJ-037A
J2	Роз'єм сигнальний JST PHS3B-PH-K	1	3-контактний
J3,J4,J6,J7	Роз'єм сигнальний JST B4B-PH-SM4A	4	4-контактний
J5	Роз'єм програмування TC2030-IDC-NL	1	6-контактний
Індуктивності			
L1	Дросель NIC Components NPI34W220MTRF 22 мкГн $\pm 20\%$	1	SMD
Транзистори			
Q1	Фототранзистор BPW40	1	THT
Q2	Транзистор NPN ON Semiconductor MMBT2222A	1	SOT-23
Резистори			
R1,R4,R5	Резистор постійний 4,7 кОм $\pm 5\%$	3	SMD 0603
R6,R8	Резистор Yageo RC0603JR-0710KL 10 кОм $\pm 5\%$	2	SMD 0603
R2	Резистор Yageo RC0201FR-0710KL 10 кОм $\pm 1\%$	1	SMD 0201
R3	Резистор Vishay CRCW04023K24FKED 3,24 кОм $\pm 1\%$	1	SMD 0402
R7	Резистор постійний 1 кОм $\pm 5\%$	1	SMD 0603
Кнопки			
SW1	Кнопка тактова Omron B3F-1000	1	THT
SW2	Кнопка тактова Omron B3U-1000P-B	1	SMD
Мікросхеми			
U1	Мікросхема Texas Instruments TPS5430DDA	1	SOIC
U3	Мікроконтролер Microchip ATmega328P-M	1	FCSP-32-1EP
U4	OLED-дисплей DM-OLED154	1	DM-OLED154
Кварцовий резонатор			
X1	Кварцовий резонатор ECS Inc. ECS-160-20-4X 16 МГц	1	HC49-4H

Додаток Б

Схема електрична принципова

ME.ДП.ДП2100.002E3



ME.ДП.ДП2100.002E3

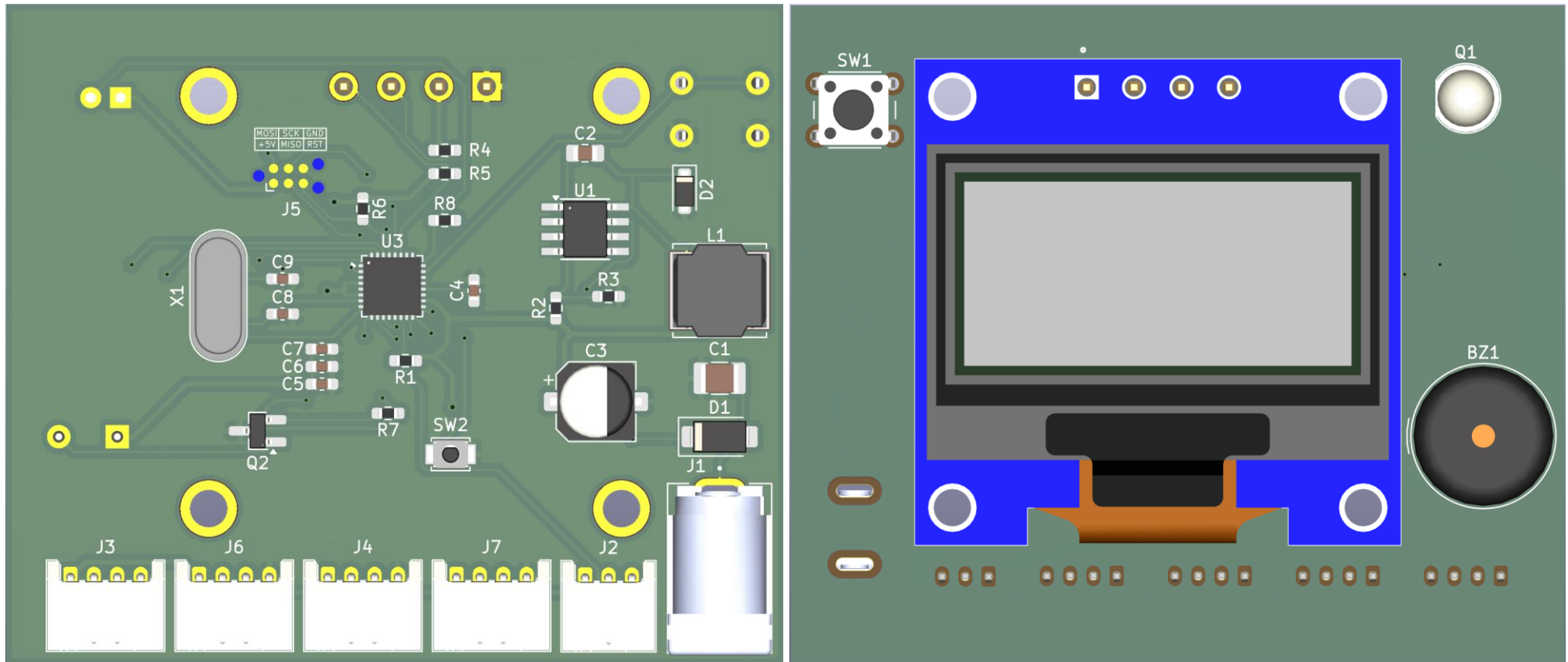
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Троян Я.В.		
Перевір.			
Т.контр.			
Н.контр.			
Затверд.			

АУДІО-ВІЗУАЛЬНА СИСТЕМА ПАРКУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Літера	Маса	Масштаб
Аркуш 1	Аркушів 1	

ФЕЛ НТУУ

Тривимірна модель друкованої плати



Додаток Г

Моделювання роботи системи у Proteus

