

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

(повне найменування факультету)

Кафедра електроніки, фізики та SMART-систем

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АВТОМОБІЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ
INTELLIGENT AUTOMOTIVE LIGHTING SYSTEM**

спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільна електроніка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЛ(АЕ)-41
Степанюк Євгеній Андрійович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Приступа Станіслав Олексійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
« » 2026 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Приступа Станіслав Олексійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність: 171 Електроніка

Освітня програма: «Автомобільна електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«_____» _____ доц. В. ЗАБЛОЦЬКИЙ
2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Степанюку Євгенію Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи _____ інтелектуальна система автомобільного освітлення

Керівник роботи к.т.н., доцент Приступа Станіслав Олексійович

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 року №560/01-02

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи _____ 04.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Структурна схема AFS; сигнали швидкості, кута повороту керма, положення кузова та освітленості; частота 1–100 кГц; напруга живлення 5 В.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ

Розділ 1 Аналітичний огляд існуючих систем автомобільного освітлення

Розділ 2 Схемне представлення та принцип функціонування системи AFS

Розділ 3 Технічний аналіз та програмно-апаратне моделювання системи AFS

Розділ 4 Охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації Power Point.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітичний огляд існуючих систем автомобільного освітлення	Приступа С. О., доцент		
Схемне представлення та принцип функціонування системи AFS	Приступа С. О., доцент		
Технічний аналіз та програмно-апаратне моделювання системи AFS	Приступа С. О., доцент		
Охорона праці	Заблоцький В. Ю., доцент		
Нормоконтроль	Селепина Й. Р., доцент		
Гарант ОП	Приступа С. О., доцент		
Показник запозичень тексту	_____ %		
Академічна доброчесність	Приступа С. О., доцент		

7. Дата видачі завдання 31 грудня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1 Аналітичний огляд існуючих систем автомобільного освітлення	до 14.02.2026 р.	
2.	Розділ 2 Схемне представлення та принцип функціонування системи afs	до 14.03.2026 р.	
3.	Розділ 3 Технічний аналіз та програмно-апаратне моделювання системи AFS	до 14.04.2026 р.	
4.	Розділ 4 Охорона праці	до 14.05.2026 р.	
5.	Висновки	до 20.05.2026 р.	
6.	Формування списку використаних джерел	до 25.05.2026 р.	
7.	Оформлення ілюстративного матеріалу	до 30.05.2026 р.	
8.	Нормоконтроль	до 02.06.2026 р.	
9.	Інструментальна перевірка на академічний плагіат	до 03.06.2026 р.	
10.	Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту	до 04.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Степанюк Є.А.

_____ (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Приступа С. О.

_____ (прізвище, ініціали)

АННОТАЦІЯ

Степанюк Є. А. Інтелектуальна система автомобільного освітлення.
Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автомобільна електроніка».
Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, чотирьох розділів,
висновків і списку використаних джерел.

У роботі розглянуто інтелектуальну систему автомобільного освітлення на базі адаптивного переднього освітлення AFS. У першому розділі проаналізовано сучасний стан розвитку систем автомобільного освітлення, принципи побудови інтелектуальних та адаптивних систем керування світлом, а також виконано аналіз існуючих технічних рішень і обґрунтовано вибір напрямку розробки. У другому розділі досліджено структурну схему системи AFS, основні функціональні вузли, принцип роботи в основних режимах освітлення та алгоритм керування системою. У третьому розділі виконано розрахунок системних параметрів, вибір радіоелектронних компонентів і режимів їх роботи, розрахунок енергоспоживання та визначення вимог до джерела живлення. У четвертому розділі наведено питання охорони праці під час проєктування та дослідження електронних систем автомобільного освітлення, зокрема заходи електробезпеки, пожежної безпеки та організації робочого місця.

У висновках узагальнено результати виконання кваліфікаційної роботи.

Ключові слова: інтелектуальна система автомобільного освітлення, AFS, адаптивне переднє освітлення, світлодіодні модулі, електронний блок керування, CAN, LIN, алгоритм керування, сервоприводи, автомобільна електроніка.

ANNOTATION

Stepanyk E.A. Intelligent Automotive Lighting System. Manuscript.

Bachelor's qualification work in the Educational Program «Automotive Electronics». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references.

The work considers an intelligent automotive lighting system based on the Adaptive Front-lighting System (AFS). The first chapter analyzes the current state of development of automotive lighting systems, the principles of intelligent and adaptive light control systems, and presents an analysis of existing technical solutions with justification of the selected development direction. The second chapter examines the structural scheme of the AFS system, its main functional units, the operating principle in the main lighting modes, and the control algorithm. The third chapter includes the calculation of system parameters, the selection of radio-electronic components and their operating modes, the calculation of power consumption, and the determination of power supply requirements. The fourth chapter presents occupational safety issues related to the design and study of electronic automotive lighting systems, including electrical safety, fire safety, and workplace organization measures.

The conclusions summarize the results of the qualification work.

Keywords: intelligent automotive lighting system, AFS, adaptive front-lighting, LED modules, electronic control unit, CAN, LIN, control algorithm, servo drives, automotive electronics.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	10
1.1 Сучасний стан розвитку систем автомобільного освітлення.....	10
1.2 Інтелектуальні та адаптивні системи керування світлом автомобіля.....	13
1.3 Аналіз існуючих технічних рішень і вибір напрямку розробки.....	17
РОЗДІЛ 2 СХЕМНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ПРИНЦИП ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ AFS.....	23
2.1 Структурна схема та основні функціональні вузли системи AFS.....	23
2.2 Архітектура системи AFS та схематичний розподіл периферії мікроконтролера.....	26
2.3 Алгоритм керування системою AFS.....	29
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ AFS.....	32
3.1 Комплексний технічний аналіз плати центрального блока керування AFS Controller.....	32
3.2 Змістовний аналіз виконавчого блока AFS Slave та силового каскаду фар.....	35
3.3 Системний аналіз засобів захисту, фільтрації, друкованої плати та програмної логіки електронного блока керування.....	37
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС	41
4.1 Виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	41
4.2 Заходи щодо приведення виявлених небезпечних і шкідливих виробничих факторів до нормативних вимог.....	43
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Сучасний автомобіль є складним комплексом електронних систем, які виконують функції не лише забезпечення зручності користування транспортним засобом, але й гарантують безпеку руху та якість експлуатації. Важливу роль серед цих систем відіграє автомобільне освітлення, оскільки воно створює необхідні умови для адекватного сприйняття дорожньої обстановки в темний час доби, під час опадів, туману або інших несприятливих умов. Характеристики освітлення визначають дальність огляду, своєчасність виявлення перешкод, розпізнавання дорожніх знаків, розмітки та інших учасників дорожнього руху.

У сучасних транспортних засобах система зовнішнього освітлення вже не обмежується традиційними режимами ближнього та дальнього світла. Вона інтегрується в загальну електронну архітектуру автомобіля та взаємодіє з іншими підсистемами через електронний блок керування, сенсорні елементи, виконавчі механізми, драйвери світлових модулів і канали передачі даних. В процесі експлуатації автомобіля виникає необхідність вдосконалення систем освітлення, підвищення точності їх роботи та зменшення негативного впливу на інших учасників дорожнього руху. Особливої уваги потребують питання адаптації світлового пучка до змінних дорожніх умов, узгодження роботи сенсорної, обчислювальної та виконавчої частин, а також забезпечення стабільного функціонування системи в різних режимах руху. Таким чином, дослідження інтелектуальної системи автомобільного освітлення на основі адаптивного переднього освітлення AFS є актуальним і технічно обґрунтованим.

Об'єктом дослідження є процес функціонування системи автомобільного освітлення транспортного засобу.

Предметом дослідження виступають електронний блок керування, сенсорні пристрої, виконавчі механізми, світлодіодні модулі, електричні кола живлення, канали зв'язку та алгоритми керування системою адаптивного переднього освітлення AFS.

Метою роботи є дослідження структури, принципу функціонування та основних параметрів інтелектуальної системи автомобільного освітлення на базі AFS.

Завданнями роботи є:

Провести аналіз сучасних систем автомобільного освітлення та обґрунтувати вибір системи AFS як напрямку подальшого дослідження.

Дослідити структурну побудову, принцип функціонування та основні режими роботи системи адаптивного переднього освітлення AFS.

Дослідити структуру та принцип роботи центрального блока керування системою AFS на базі мікроконтролера ATmega328P.

Виконати аналіз виконавчого блока AFS Slave, засобів захисту, фільтрації, друкованої плати та програмної логіки електронного блока керування.

Виконати аналіз програмно-апаратного моделювання системи AFS з дослідженням взаємодії сенсорних, процесорних, виконавчих і силових вузлів.

Розробити заходи з охорони праці під час роботи з електронними системами автомобільного освітлення.

Під час підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра інструменти штучного інтелекту використовувалися як допоміжний засіб для мовного редагування, уточнення окремих формулювань, впорядкування структури тексту та попереднього опрацювання інформаційних джерел. Остаточний зміст роботи, технічні положення, результати аналізу та висновки були сформовані автором самостійно на основі власного опрацювання матеріалів. Інформація, отримана за допомогою генеративних інструментів, була додатково перевірена на коректність, достовірність і відповідність вимогам академічної доброчесності.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Сучасний стан розвитку систем автомобільного освітлення

Автомобільне освітлення – одна з ключових підсистем активної безпеки транспортного засобу. Воно забезпечує видимість дорожньої обстановки в умовах обмеженої освітленості та безпосередньо впливає на своєчасність виявлення перешкод, пішоходів, дорожніх знаків і розмітки.

Сучасний етап розвитку автомобільного освітлення визначається переходом від статичних оптичних приладів до електронно-керованих систем, інтегрованих у загальну архітектуру автомобіля. Основна зміна пов'язана не лише з удосконаленням джерел світла, а й зі зміною способу формування та керування світловим пучком.

Еволюція систем освітлення безпосередньо пов'язана зі зміною джерел світла. Галогенні системи мають низьку світлову віддачу на рівні приблизно 15–20 лм/Вт, значне тепловиділення та обмежений ресурс роботи. Газорозрядні ксенонові системи забезпечують вищу світлову віддачу, орієнтовно 80–90 лм/Вт, але потребують високовольтних блоків розпалу та мають обмежені можливості швидкого динамічного регулювання. Світлодіодні джерела світла характеризуються світловою віддачею приблизно 100–140 лм/Вт, малим часом відгуку, тривалим ресурсом і можливістю прямого електронного керування інтенсивністю випромінювання за допомогою широтно-імпульсної модуляції.

Перехід до LED-рішень змінив архітектуру автомобільних фар. У традиційних системах регулювання положення фари виконувалося переважно механічними коректорами. У сучасних конструкціях значну частину цих функцій реалізують електронні драйвери, DC/DC-перетворювачі, мікроконтролерні модулі та керовані світлові секції. Це забезпечило формування світлового пучка в режимі реального часу відповідно до параметрів руху автомобіля.

На рисунку 1.1 показано локальне обмеження світлового потоку в зоні

розташування зустрічного транспортного засобу при збереженні достатньої освітленості інших ділянок дороги. Такий принцип лежить в основі сучасних адаптивних систем дальнього світла.

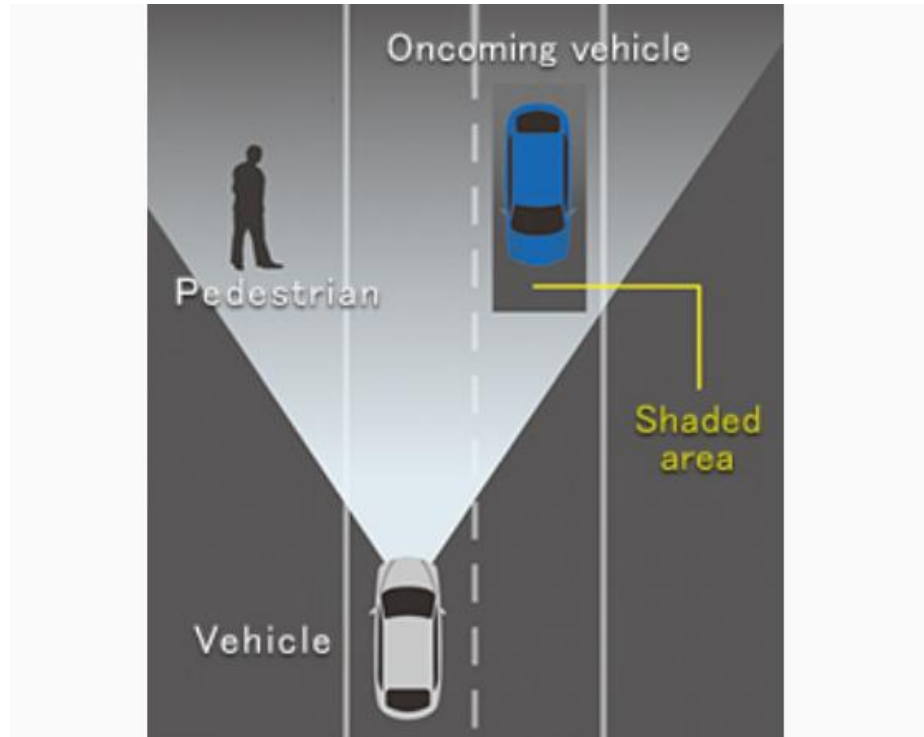


Рисунок 1.1 – Приклад інтелектуального керування дальнім світлом без засліплення зустрічного транспорту [1]

Сучасні системи автомобільного освітлення працюють як мережеві підсистеми бортової електроніки автомобіля. Обмін даними між датчиками швидкості, кута повороту керма, положення кузова та електронним блоком керування освітленням реалізується через стандартизовані інтерфейси CAN і LIN. Це дозволяє узгодити роботу освітлення з іншими електронними системами автомобіля, зокрема з комплексами допомоги водієві.

За функціональними можливостями сучасні системи керування автомобільним освітленням доцільно поділяти на наступні класи.

1. AFS (Adaptive Front-lighting System) Система змінює напрямок світлового пучка в горизонтальній і вертикальній площинах залежно від кута повороту керма, швидкості руху та положення кузова. Для AFS характерні дискретні режими роботи: міський – до 50 км/год, заміський – від 50 до 100

км/год, автомагістральний – понад 100 км/год.

2. AFL (Adaptive Front-lighting) Система розширює функціональність AFS шляхом підключення додаткових світлових секцій або окремих оптичних модулів. Це підвищує ефективність освітлення в зоні поворотів, перехресть і на малих швидкостях.

3. ADB (Adaptive Driving Beam) Система адаптивного дальнього світла, яка змінює структуру світлового пучка залежно від розташування інших транспортних засобів. Основне завдання – зберегти високу освітленість дороги без засліплення зустрічного та попутного транспорту.

4. Matrix LED Система, у якій світловий пучок формується множиною незалежно керованих світлодіодних елементів або груп елементів. Це дозволяє локально затемнювати окремі зони та точно змінювати просторовий розподіл світла.

5. Digital Light та micro-LED системи Це найбільш складні рішення, у яких використовується високощільний масив керованих світлових елементів. Такі системи забезпечують дуже точне формування пучка та підтримують додаткові проєкційні функції.

З інженерної та економічної точок зору для подальшої розробки в межах цієї кваліфікаційної роботи найбільш доцільним об'єктом є система AFS. Такий вибір обумовлений доступністю елементної бази, помірною складністю реалізації, можливістю побудови чіткої мехатронної структури та достатнім рівнем адаптивності до умов руху. На відміну від Matrix LED і Digital Light, система AFS не потребує надскладної сегментованої оптики, фронтальної камери з високою швидкодією та потужної обчислювальної платформи.

Отже, сучасний стан розвитку автомобільного освітлення характеризується переходом до напівпровідникових джерел світла, заміною механічного регулювання на електронне керування та інтеграцією системи освітлення в бортову мережу автомобіля. У цьому ряду система AFS є технічно доцільним і практично реалізованим класом адаптивного освітлення, що і визначає її вибір для подальшого розгляду в роботі.

1.2 Інтелектуальні та адаптивні системи керування світлом автомобіля

Інтелектуальна система керування автомобільним освітленням являє собою багатовходову та багатовиходову мехатронну систему, у якій вхідні сигнали від сенсорів перетворюються на керуючі дії для світлових модулів і виконавчих механізмів. З позиції теорії автоматичного керування така система може працювати в розімкненому або замкненому циклі. У розімкненому режимі електронний блок керування (ЕБК) формує команду лише на основі поточних вхідних параметрів. У замкненому режимі використовується зворотний зв'язок, що дозволяє коригувати параметри освітлення за фактичним станом системи та дорожньої ситуації.

Сенсорний рівень формує вхідну інформацію про стан автомобіля та навколишнього середовища. До основних сигналів належать швидкість руху, кут повороту керма, положення кузова, рівень зовнішньої освітленості, наявність опадів і параметри дорожньої обстановки. Сигнал кута повороту керма може зніматися потенціометричним, магніторезистивним або оптичним датчиком. Дані про положення кузова формуються за допомогою важільних сенсорів ходу підвіски або інших сенсорів положення осей. Сигнал швидкості надходить від колісних сенсорів системи ABS або з бортової мережі автомобіля. Рівень зовнішньої освітленості визначається фотосенсорами, а інформація про опади — датчиком дощу. Саме на цьому рівні фізичні параметри перетворюються в електричні сигнали, придатні для подальшої обробки. Сенсорний рівень показано на рисунку 1.2.

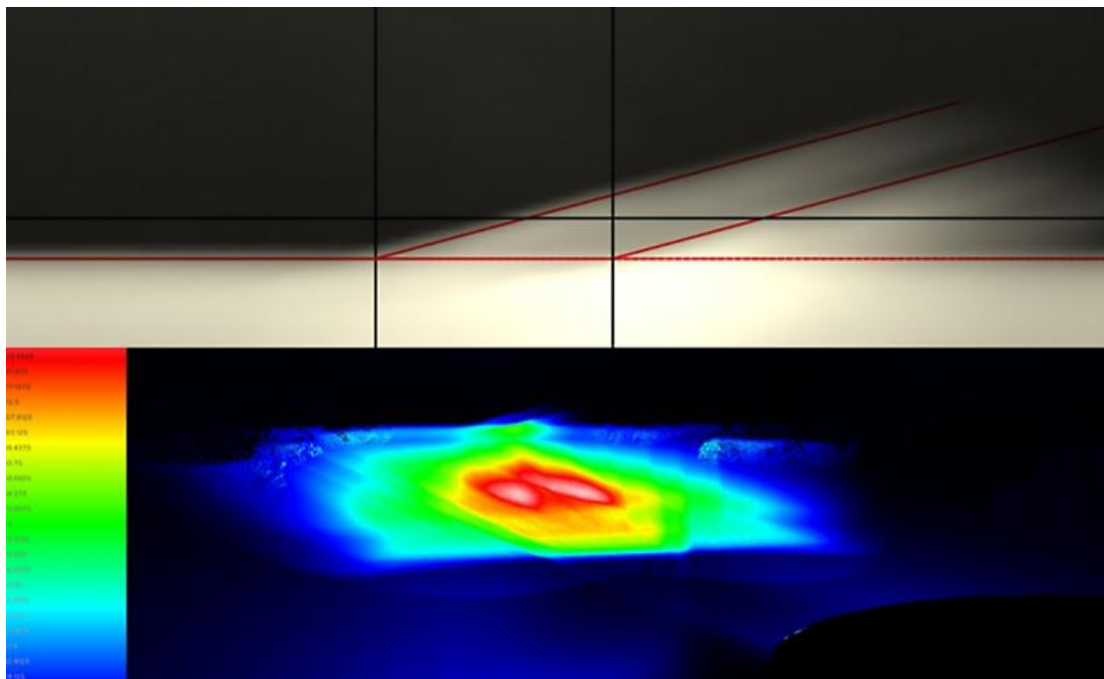


Рисунок 1.2 – Сенсорна підсистема інтелектуальної системи автомобільного освітлення [2]

Інформаційно-комунікаційний рівень забезпечує передавання даних між сенсорами, ЕБК та виконавчими вузлами. У сучасних автомобілях для цього використовуються шини CAN і LIN. CAN-шина застосовується для передавання критично важливих сигналів верхнього рівня, оскільки забезпечує вищу швидкість обміну, стійкість до завад і надійність передавання даних. Через неї до системи освітлення можуть надходити сигнали швидкості руху, кута повороту керма, дані від систем ABS, ESP та інших електронних підсистем. LIN-шина показано на рисунку 1.3, доцільна для локального зв'язку з підлеглими виконавчими вузлами завдяки нижчій вартості реалізації. Саме через LIN доцільно організовувати зв'язок з драйверами, сервоприводами або допоміжними модулями всередині фари.

Обчислювальний рівень реалізується електронним блоком керування, який виконує обробку вхідних сигналів та формує рішення щодо режиму роботи системи. На цьому рівні система працює з багатопараметричною інформацією, частина якої має нечіткий характер. До таких параметрів належать інтенсивність опадів, рівень зовнішньої освітленості, стан дорожнього покриття та складність дорожньої ситуації. Для обробки таких сигналів

доцільно використовувати елементи нечіткої логіки. У цьому випадку вхідні чіткі змінні проходять процедуру фазифікації, далі обробляються за базою лінгвістичних правил, після чого виконується дефазифікація для формування чітких команд виконавчим пристроєм. Такий підхід дозволяє перейти від жорсткого перемикання режимів до більш гнучкого керування параметрами світлового пучка.

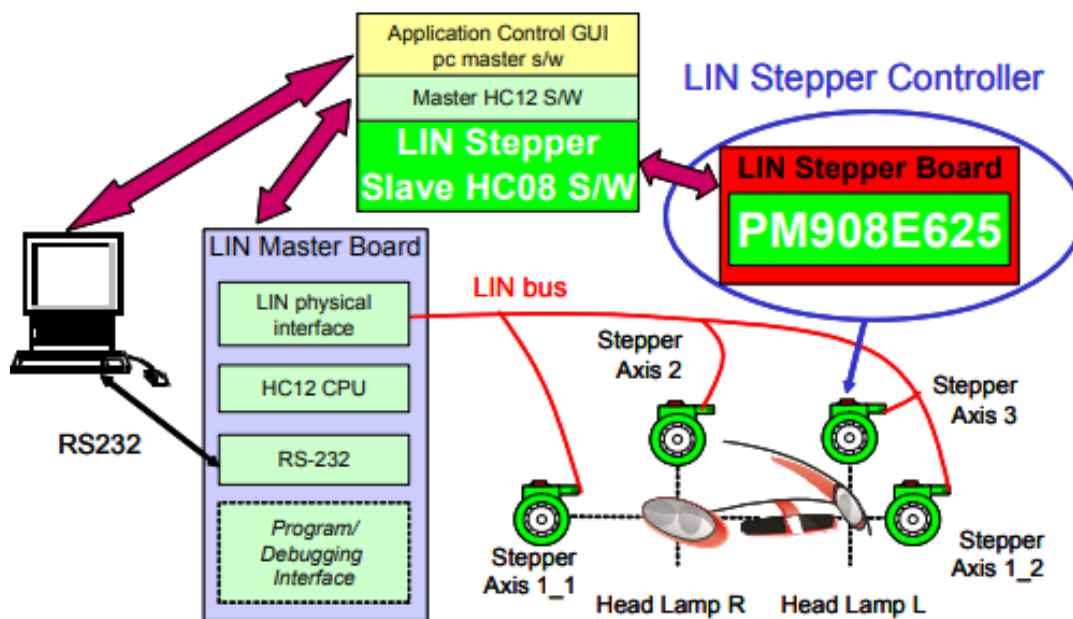


Рисунок 1.3 – Інформаційно-комунікаційна підсистема системи адаптивного освітлення автомобіля [3]

Виконавчий рівень забезпечує перетворення електронного сигналу ЕБК у механічну або електричну дію. До виконавчих вузлів належать ШІМ-драйвери керування струмом світлодіодних модулів, сервоприводи або крокові двигуни горизонтального й вертикального позиціонування оптичних елементів, а також допоміжні секції освітлення. ШІМ-драйвери забезпечують регулювання яскравості та стабілізацію режиму роботи світлодіодів. Сервоприводи або крокові двигуни змінюють положення лінз чи відбивачів у горизонтальній та вертикальній площинах. Цей рівень показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Виконавча підсистема адаптивного автомобільного освітлення на основі приводів корекції фар [4]

Окреме місце в інтелектуальних системах освітлення займають модулі розширеного аналізу обстановки, що поєднують фронтальні камери, LiDAR, додаткові сенсори та засоби попередньої обробки сигналів. Такі модулі дозволяють виконувати поглиблений аналіз дорожньої сцени, виявляти транспортні засоби, пішоходів, межі проїзної частини та інші об'єкти, які впливають на вибір режиму освітлення. Саме такий принцип показано на рисунку 1.5, де зображено розширений сенсорний модуль верхнього рівня, а не спрощену блок-схему замкненого контуру керування.



Рисунок 1.5 – Адаптивна система освітлення з використанням сенсорного модуля розширеного аналізу обстановки [5]

Отже, інтелектуальна система керування автомобільним освітленням має багаторівневу структуру, що включає сенсорний, інформаційно-комунікаційний,

обчислювальний та виконавчий рівні. Така побудова забезпечує автоматичне формування керуючих дій на основі багатьох вхідних параметрів і створює структурну основу для подальшого схемного розгляду системи AFS у наступному розділі.

1.3 Аналіз існуючих технічних рішень

Після аналізу сучасного стану автомобільного освітлення та принципів побудови інтелектуальних систем керування доцільно виконати порівняння існуючих технічних рішень за критеріями, які мають безпосереднє значення для бакалаврського проєкту. До таких критеріїв належать складність реалізації, вартість елементної бази, вимоги до електронного блока керування (ЕБК), наявність механічних вузлів, надійність та загальна доцільність використання в межах заданого технічного завдання.

Найпростішими залишаються традиційні фари з фіксованим світловим пучком. Їх перевагами є низька складність, мінімальні вимоги до електроніки та невисока вартість. Однак такі системи не забезпечують адаптації світлового пучка до швидкості руху, повороту автомобіля, зміни навантаження кузова або зовнішньої дорожньої обстановки. Через це вони не відповідають меті розробки інтелектуальної системи автомобільного освітлення.

Системи адаптивного переднього освітлення AFS мають вищий технічний потенціал і водночас залишаються реалізованими в межах помірної складності. Їх функціонування базується на використанні світлодіодних модулів, сервоприводів або аналогічних виконавчих механізмів, а також ЕБК середнього рівня продуктивності. Для такого класу систем достатнім є застосування 8-бітного мікроконтролера або простого 32-бітного контролера класу AVR чи ARM Cortex-M0 з тактовою частотою від 16 МГц, що дозволяє реалізувати алгоритми перемикання режимів, ШІМ-керування та обробки вхідних сигналів без використання спеціалізованих платформ цифрового відеоаналізу.

Системи AFL забезпечують розширення функціоналу AFS за рахунок додаткових світлових секцій. Вони не вимагають принципово іншого класу ЕБК,

але ускладнюють структуру світлового модуля, збільшують кількість драйверів та каналів керування. Через це їх доцільність для бакалаврського проєкту є нижчою, ніж у базового варіанта AFS, оскільки приріст функціональності супроводжується ускладненням конструкції.

Системи Matrix LED та ADB реалізують локальне керування окремими зонами світлового пучка. Для їх ефективної роботи потрібні багатоканальні драйвери, фронтальна камера або інші сенсори розширеного аналізу дорожньої сцени, а також значно вищі обчислювальні ресурси. У таких системах доцільним є застосування продуктивних 32-бітних платформ, DSP або спеціалізованих процесорів обробки зображень, здатних працювати з потоковими даними в реальному часі. Це різко підвищує складність реалізації та вартість елементної бази.

Найскладнішими є цифрові системи Digital Light на основі micro-LED масивів. Вони потребують високощільних світлових модулів, спеціалізованих драйверів, високопродуктивних SoC і складних алгоритмів керування. Такі рішення технічно належать до найвищого рівня автомобільної світлотехніки, однак для бакалаврського проєкту вони є надмірними як за вартістю, так і за складністю реалізації.

Вибір на користь адаптивної системи переднього освітлення AFS на базі світлодіодних джерел світла та сервоприводів позиціонування оптичних елементів додатково підтверджується вихідними даними завдання на кваліфікаційну роботу. Згідно з ТЗ, напруга живлення логічної частини становить 5 В, а частота вхідних сигналів лежить у діапазоні 1–100 кГц. Такі параметри дозволяють реалізувати обчислювальний рівень системи на базі доступного мікроконтролера середнього класу з тактовою частотою 16 МГц без використання високовартісних платформ цифрового відеоаналізу.

Система AFS у такій конфігурації забезпечує достатній рівень адаптивності, підтримує зміну напрямку світлового пучка залежно від швидкості руху, кута повороту керма та положення кузова, а також може бути побудована на доступній елементній базі. При цьому вона дозволяє реалізувати повноцінну мехатронну структуру з сенсорним, комунікаційним,

обчислювальним і виконавчим рівнями без переходу до надскладних оптичних і процесорних рішень.

Отже, на основі проведеного порівняльного аналізу для подальшої розробки доцільно обрати систему AFS на базі світлодіодних модулів і сервоприводів. Такий вибір обумовлений раціональним співвідношенням між функціональністю, складністю реалізації, вартістю елементної бази та вимогами до ЕБК.

1.4 Принцип роботи системи AFS в основних режимах освітлення

Принцип роботи системи AFS базується на керованій зміні положення світлового пучка в горизонтальній і вертикальній площинах, а також на виборі класу світлорозподілу залежно від швидкості руху автомобіля та умов зовнішнього середовища. Така побудова дозволяє поєднати механічну адаптацію напрямку випромінювання з фотометричною адаптацією форми світлового пучка.

Під час входження автомобіля в поворот система виконує горизонтальне регулювання положення фар. Внутрішня щодо повороту фара відхиляється на більший кут, ніж зовнішня, що забезпечує краще освітлення траєкторії руху та обмежує зміщення світлового потоку в бік зустрічного транспорту. Максимальний кут повороту внутрішньої фари становить 20° , а зовнішньої – 10° . Такий принцип горизонтального регулювання наведено на рисунку 1.6.

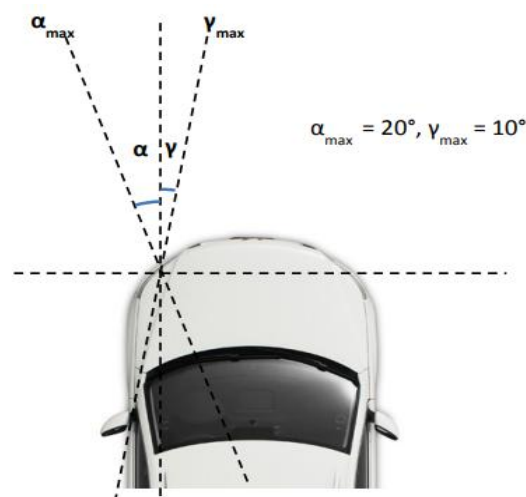


Рисунок 1.6 – Горизонтальний діапазон регулювання фар у системі AFS [6]

Вертикальне регулювання використовується для компенсації поздовжнього крену кузова під час розгону, гальмування або зміни завантаження автомобіля. У разі зміни положення кузова система коригує нахил світлового пучка, щоб зберегти правильне положення світлотіньової межі відносно дорожнього полотна. Діапазон вертикального коригування становить $\pm 3^\circ$. Така схема роботи вертикального коректора наведена на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Вертикальний діапазон регулювання фар у системі AFS [6]

Окрім просторового позиціонування оптичного модуля, система AFS змінює режим світлорозподілу. Основні класи світлорозподілу наведено на рисунку 1.8. Кожен клас відповідає певним умовам руху та визначає геометрію світлового пучка.

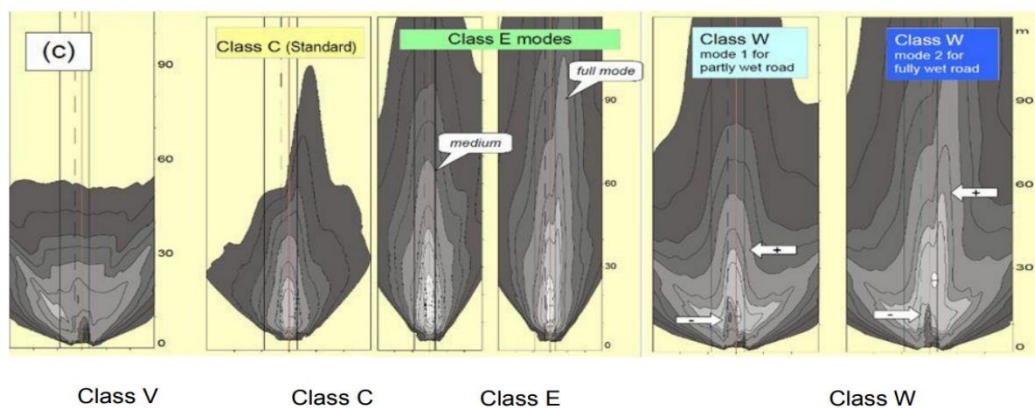


Рисунок 1.8 – Класи світлорозподілу системи AFS [6]

Клас С відповідає базовому замському режиму ближнього світла. Він використовується при швидкості від 50 до 100 км/год. У цьому режимі формується асиметричний світловий пучок із дальністю освітлення приблизно до 90 м. Такий режим є основним для руху поза межами міста та забезпечує збалансоване співвідношення між дальністю освітлення і шириною освітленої зони.

Клас V відповідає міському режиму освітлення. Він активується при швидкості менше 50 км/год. Для цього режиму характерне зменшення дальності світлового пучка при одночасному розширенні бокових зон освітлення. Така конфігурація покращує видимість пішохідних зон, узбіч і ділянок біля перехресть.

Клас E відповідає автомагістральному режиму. Він активується при швидкості не менше 100 км/год. Для цього режиму характерне звуження світлового пучка та підняття світлотіньової межі, що збільшує дальність огляду вздовж осі руху автомобіля. У результаті освітлення концентрується в зоні найбільшої значущості для водія під час швидкісного руху.

Клас W відповідає режиму для мокрого дорожнього покриття. Його активація відбувається за сигналом від датчика дощу або іншого сенсора, що фіксує погіршення умов видимості. У цьому режимі зменшується інтенсивність випромінювання в зоні безпосередньо перед автомобілем і коригується форма пучка для зниження дзеркального відбиття від вологого асфальту. Такий підхід обмежує паразитні відблиски та підвищує контрастність освітленої ділянки

дороги.

Отже, принцип роботи системи AFS поєднує два механізми адаптації. Перший механізм пов'язаний зі зміною положення оптичного модуля в горизонтальній площині на кути до 20° і 10° для внутрішньої та зовнішньої фар відповідно, а також із вертикальним коригуванням у межах $\pm 3^\circ$. Другий механізм реалізується через вибір класу світлорозподілу C, V, E або W залежно від швидкості руху автомобіля та стану дорожнього середовища. Сукупність цих двох механізмів забезпечує адаптивне переднє освітлення в системі AFS.

РОЗДІЛ 2

СХЕМНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ПРИНЦИП ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ AFS

2.1 Структурна схема та основні функціональні вузли системи AFS

Система адаптивного переднього освітлення AFS у межах даної кваліфікаційної роботи розглядається як багаторівнева електронно-мехатронна система, що об'єднує сенсорний, обчислювальний, комунікаційний та виконавчий рівні. Центральним вузлом керування є контролер AFS, який виконує приймання вхідних сигналів, обробку параметрів руху автомобіля та формування команд для виконавчих модулів освітлення. У складі системи також функціонує центральний кузовний модуль BCM, який бере участь в обміні даними між окремими електронними вузлами автомобіля.

На рисунку 2.1 наведено структурну схему системи AFS у складі автомобіля. На ній показано взаємодію контролера AFS, підлеглих модулів AFS та HD, кузовного модуля BCM, датчиків швидкості, кута повороту керма, переднього і заднього датчиків положення кузова, а також комунікаційних шин HS-CAN і LIN. Крім того, на схемі відображено геометричні параметри світлового пучка відносно ближнього краю дороги, центральної лінії дороги та дальнього краю дороги, що дозволяє пов'язати структурну побудову системи з її функціональним призначенням.

автомобіля, що необхідно для вертикального коригування фар при зміні навантаження, розгоні або гальмуванні. Передній датчик положення кузова та задній датчик положення кузова працюють як елементи зворотного зв'язку, що дозволяють системі підтримувати необхідне положення оптичної осі фар.

Комунікаційний рівень побудований на використанні двох шин обміну даними. Високошвидкісна шина HS-CAN забезпечує передавання даних між контролером AFS, модулем BCM, датчиком швидкості та датчиком кута повороту керма. Через цю шину передаються параметри, що мають критичне значення для оперативного керування освітленням. Шина LIN використовується для зв'язку з підлеглими модулями освітлення та датчиками положення кузова. Таке розділення комунікаційних функцій відповідає типовій автомобільній архітектурі, у якій HS-CAN застосовується для швидкого обміну між основними електронними блоками, а LIN – для локального зв'язку з виконавчими та периферійними вузлами.

Виконавчий рівень схеми представлений підлеглими модулями AFS та HD, розташованими в зоні лівої та правої фар. Підлеглий модуль AFS забезпечує формування команд на механізм адаптивного позиціонування оптичного модуля. Підлеглий модуль HD виконує функції, пов'язані з керуванням світловим модулем у складі фари. На структурному рівні ці модулі відображають локальні електронні вузли, які безпосередньо реалізують команди центрального контролера та забезпечують зміну параметрів світлового пучка.

Отже, структурна схема системи AFS відображає взаємозв'язок між датчиками, центральним блоком керування, кузовним модулем BCM, шинами обміну даними та підлеглими виконавчими модулями фар. Така побудова дозволяє реалізувати адаптивне керування положенням і напрямком світлового пучка залежно від швидкості руху, кута повороту керма та положення кузова автомобіля, що забезпечує технічно обґрунтовану основу для подальшого розгляду принципу функціонування системи AFS.

2.2 Архітектура системи AFS та схематичний розподіл периферії мікроконтролера

У межах даної роботи система адаптивного переднього освітлення AFS розглядається як багаторівнева електронно-мехатронна структура, центральним процесорним вузлом якої є мікроконтролер ATmega328P. Його застосування дозволяє реалізувати в одному електронному модулі приймання аналогових сигналів від сенсорів, їх цифрову обробку, вибір режиму роботи освітлення та формування керуючих сигналів для виконавчих і силових вузлів.

Підключення датчика зовнішньої освітленості доцільно виконувати за схемою подільника напруги на основі фоторезистора. Один вивід фоторезистивного сенсора підключається до шини +5 В, другий – до сигнального вузла, з якого напруга надходить на вхід ADC0 (PC0). До цього ж вузла підключається постійний резистор на землю. У такому включенні зміна освітленості призводить до зміни рівня напруги на вході АЦП, що дозволяє мікроконтролеру оцінювати поточний стан зовнішнього середовища.

Потенціометричний датчик кута повороту керма підключається до входу ADC1 (PC1). Крайні виводи датчика з'єднуються з +5 В та GND, а повзунок формує сигнальну напругу, яка надходить на відповідний аналоговий вхід мікроконтролера. Така схема дає безперервний аналоговий сигнал, пропорційний положенню рульового механізму.

Важільний датчик нахилу кузова підключається до входу ADC2 (PC2). За принципом підключення він аналогічний потенціометричному сенсору. Його сигнальний вивід формує напругу, яка змінюється залежно від положення кузова та використовується для формування вертикального коригування фар.

Для аналогової частини мікроконтролера використовується опорна напруга $AVCC = 5\text{ В}$. Живлення лінії AVCC доцільно подавати через LC-фільтр, що складається з дроселя 10 мкГн та керамічного конденсатора 0.1 мкФ. Такий підхід знижує вплив високочастотних завад бортової мережі автомобіля на

роботу АЦП. Лінія AREF додатково фільтрується конденсатором на землю, що підвищує стабільність опорного каналу.

Керування виконавчими механізмами реалізується через апаратні виходи таймера Timer1. Вивід PB1 / OC1A використовується для формування сигналу керування одним сервоприводом, а PB2 / OC1B – другим. Вихід PD6 / OC0A використовується для формування ШІМ-сигналу керування LED-драйвером. Для зв'язку із зовнішнім інтерфейсним модулем використовуються лінії PD0 / RXD та PD1 / TXD.

На рисунку 2.2 подається функціональна схема модуля керування системою AFS на базі мікроконтролера ATmega328P, яка відображає взаємозв'язок сенсорного, процесорного, виконавчого та силового рівнів.

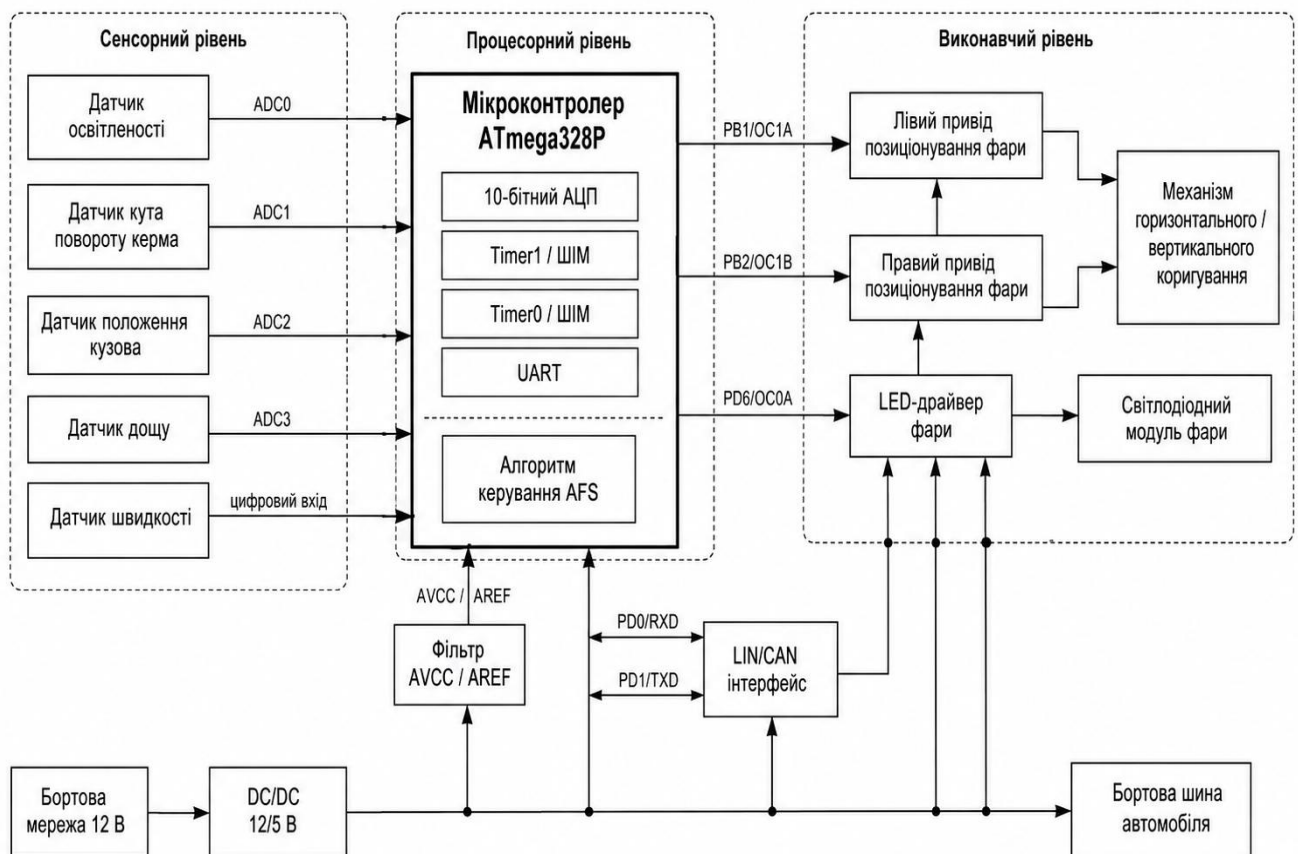


Рисунок 2.2 – Функціональна схема модуля керування системою AFS на базі мікроконтролера ATmega328P

У системі AFS задіюються такі виводи мікроконтролера ATmega328P:

- PC0 / ADC0 – підключення датчика зовнішньої освітленості; тип сигналу – аналоговий вхід.
- PC1 / ADC1 – підключення датчика кута повороту керма; тип сигналу – аналоговий вхід.
- PC2 / ADC2 – підключення датчика нахилу кузова; тип сигналу – аналоговий вхід.
- PC3 / ADC3 – резервний аналоговий канал або вхід датчика дощу; тип сигналу – аналоговий вхід.
- PB1 / OC1A – керування першим сервоприводом; тип сигналу – вихід ШІМ.
- PB2 / OC1B – керування другим сервоприводом; тип сигналу – вихід ШІМ.
- PD6 / OC0A – керування LED-драйвером; тип сигналу – вихід ШІМ.
- PD0 / RXD – приймання даних від зовнішнього інтерфейсного модуля; тип сигналу – цифровий вхід.
- PD1 / TXD – передавання даних до зовнішнього інтерфейсного модуля; тип сигналу – цифровий вихід.
- PC6 / RESET – апаратне скидання мікроконтролера; тип сигналу – службовий вхід.
- PB6 / XTAL1 – вхід кварцового резонатора; тип сигналу – тактовий вхід.
- PB7 / XTAL2 – вихід кварцового резонатора; тип сигналу – тактовий вихід.
- VCC – цифрове живлення мікроконтролера.
- AVCC – живлення аналогової частини та АЦП.
- AREF – опорний вхід аналогово-цифрового перетворювача.
- GND – загальна шина системи.

На рисунку 2.3 подається розташування та призначення виводів мікроконтролера ATmega328P із зазначенням функціонального призначення його виводів, що використовуються в системі AFS.

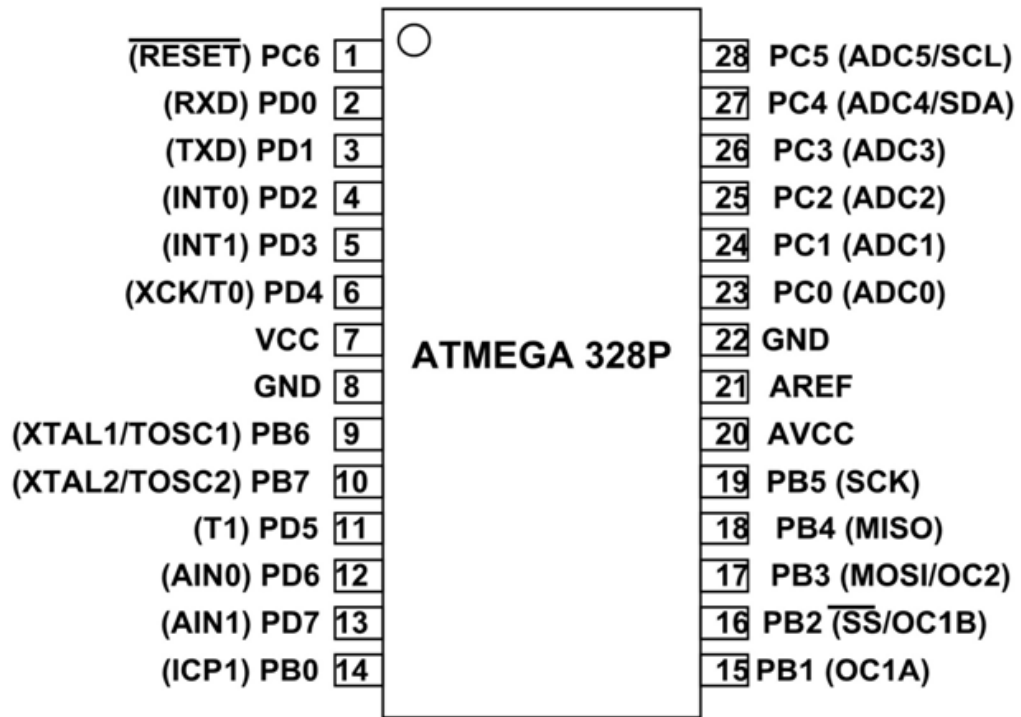


Рисунок 2.3 – розташування та призначення виводів та функціональне призначення виводів мікроконтролера ATmega328P[7]

Отже, ATmega328P забезпечує достатній набір периферійних ресурсів для побудови центрального процесорного вузла системи AFS та реалізації її сенсорних, виконавчих і керуючих функцій.

2.3 Алгоритм керування системою AFS

Алгоритм керування системою AFS реалізує послідовну обробку вхідних сигналів, вибір режиму освітлення та формування керуючих дій для виконавчих вузлів. У межах даної роботи електронний блок керування створено на основі мікроконтролера ATmega328P, який здійснює зчитування аналогових і дискретних сигналів, їх цифрову обробку та генерацію керуючих ШІМ-сигналів

для сервоприводів і силового каскаду світлодіодних модулів.

Після подачі живлення алгоритм починається з етапу ініціалізації мікроконтролера. На цьому етапі виконується налаштування портів вводу-виводу, каналів 10-бітного АЦП, апаратних таймерів, ШІМ-виходів і внутрішніх регістрів керування. Далі система переходить до процедури самодіагностики, під час якої перевіряється наявність сигналів від основних датчиків, справність виконавчих приводів і коректність подачі живлення на логічну та силову частини. Одночасно виконується короткий тестовий хід приводів позиціонування, що дозволяє встановити початкові положення механізмів і перевірити працездатність горизонтального та вертикального каналів регулювання.

Після завершення ініціалізації система переходить у циклічний режим роботи. У кожному циклі мікроконтролер зчитує сигнали швидкості руху автомобіля, кута повороту керма, положення кузова, рівня зовнішньої освітленості та стану датчика дощу. Оскільки вхідні сигнали в реальних умовах мають випадкові коливання, безпосереднє використання їх миттєвих значень є недоцільним. Тому в алгоритмі передбачено цифрову фільтрацію сигналів, зокрема згладжування методом ковзного середнього, а також введення гістерезису для порогів швидкості й освітленості. Це унеможливорює паразитні перемикання режимів при короткочасних коливаннях параметрів і зменшує навантаження на виконавчі механізми.

Після попередньої обробки вхідних даних алгоритм виконує перевірку умов активації системи. Якщо рівень зовнішньої освітленості перевищує встановлений поріг, адаптивне керування не активується, а система залишається в базовому режимі. Якщо освітленість є нижчою за порогове значення, блок керування переходить до вибору класу світлорозподілу. За швидкості руху менше 50 км/год активується міський режим Class V, у діапазоні від 50 до 100 км/год – базовий заміський режим Class C, а при швидкості 100 км/год і вище – автомагістральний режим Class E. Якщо додатково надходить сигнал про мокре дорожнє покриття, формується режим Class W, у якому коригується структура світлового пучка для зменшення

відбиття від вологого асфальту.

Після визначення режиму освітлення виконується розрахунок команд для виконавчих механізмів. Горизонтальне відхилення фар визначається на основі згладженого сигналу кута повороту керма. Якщо автомобіль рухається прямолінійно, фари залишаються в базовому положенні. Якщо кут повороту керма перевищує встановлений поріг, система переходить до режиму адаптивного повороту, у якому внутрішня щодо повороту фара отримує більший кут відхилення, а зовнішня – менший. Вертикальне коригування розраховується за сигналом датчика положення кузова. У разі зміни нахилу автомобіля формується команда на компенсаційне переміщення оптичного модуля у вертикальній площині.

Після обчислення кутів коригування мікроконтролер формує вихідні сигнали керування. Для сервоприводів позиціонування використовуються імпульсні сигнали керування, сформовані апаратними таймерами. Для силового каналу світлодіодних модулів формується ШІМ-сигнал частотою 1 кГц, який надходить на MOSFET-ключ або LED-драйвер. Таким чином, алгоритм забезпечує одночасне керування як оптичним позиціонуванням фар, так і режимом роботи світлодіодного джерела світла.

Графічне представлення розробленого алгоритму у вигляді блок-схеми наведено на рисунку 2.4. Блок-схема відображає послідовність основних етапів роботи системи: ініціалізацію, самодіагностику, зчитування вхідних сигналів, цифрову фільтрацію, перевірку рівня освітленості, вибір режиму світлорозподілу, розрахунок горизонтального і вертикального коригування, формування ШІМ-сигналів та передачу команд на виконавчі вузли.

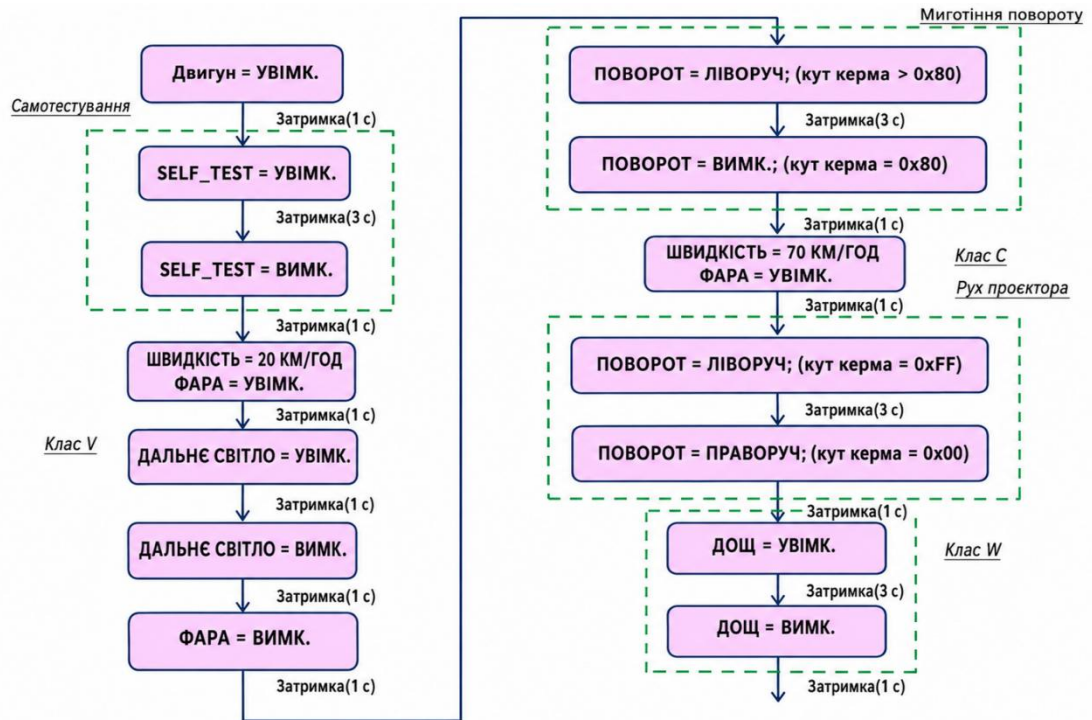


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму керування системою AFS

Таким чином, алгоритм керування системою AFS являє собою циклічну мікроконтролерну процедуру, у якій поєднуються ініціалізація, самодіагностика, багатопараметричне опитування сенсорів, цифрова обробка сигналів і формування керуючих дій. Така структура забезпечує стабільну роботу системи, запобігає хаотичному перерегулюванню приводів і створює підґрунтя для подальшого розрахункового обґрунтування параметрів AFS.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ AFS

3.1 Комплексний технічний аналіз плати центрального блока керування AFS Controller

Центральний блок керування AFS Controller є головним обчислювальним вузлом системи. Саме він приймає сигнали від сенсорів, виконує їх аналіз, визначає поточний режим освітлення та формує команди для виконавчих механізмів і силового світлодіодного каналу. У межах даної роботи функції такого блока реалізуються на базі мікроконтролера ATmega328P, який має достатній набір периферійних ресурсів для побудови компактного електронного блока керування AFS.

Під час технічного аналізу плати центрального контролера доцільно виділити кілька основних апаратних вузлів. Першим із них є вузол тактування. Для забезпечення стабільної роботи внутрішніх таймерів і послідовних інтерфейсів до виводів XTAL1 і XTAL2 підключається зовнішній кварцовий резонатор на 16 МГц. Його застосування забезпечує стабільну синхронізацію всієї логіки мікроконтролера та формує надійну часову основу для роботи АЦП, ШІМ-каналів і інтерфейсних модулів.

Другим апаратним вузлом є коло апаратного скидання. Лінія RESET підтягнута до шини живлення через резистор 10 кОм. Це рішення забезпечує правильний старт мікроконтролера після подачі живлення та знижує ймовірність випадкових перезавантажень при наявності короткочасних імпульсних завад, характерних для автомобільного середовища.

Третім важливим вузлом є аналоговий інтерфейс збору даних. До входів ADC0–ADC3 підключаються датчики зовнішньої освітленості, кута повороту керма, положення кузова та дощу. Така організація дозволяє сформувати централізований сенсорний тракт, у якому всі фізичні параметри перетворюються у цифрову форму в межах одного мікроконтролерного модуля.

Це є важливим для системи AFS, оскільки саме від якості збору цих даних залежить правильність вибору режиму освітлення та траєкторії повороту світлового пучка.

Окрему роль у структурі центрального блока відіграють автомобільні інтерфейси зв'язку. Для інтеграції в електронну архітектуру автомобіля на платі передбачаються трансивери CAN і LIN. Через CAN доцільно одержувати інформацію верхнього рівня, зокрема сигнал швидкості руху автомобіля, а через LIN – передавати локальні команди до підлеглих виконавчих блоків усередині системи освітлення. У такій архітектурі центральна плата виконує функцію не лише обчислювального, а й координаційного вузла.

Наступним важливим елементом аналізу є система вихідних керуючих сигналів. Для керування виконавчими пристроями в ATmega328P використовуються апаратні виходи таймерів. Два з них формують сигнали для виконавчих механізмів позиціонування фар, а ще один – сигнал керування LED-драйвером. Така організація дозволяє знизити навантаження на центральне програмне ядро й забезпечити стабільні часові параметри керування.

На рисунку 3.1 наведено розташування та призначення виводів мікроконтролера ATmega328P, що використовуються у блоці керування системою AFS. На рисунку відображено аналогові входи сенсорів, виходи ШІМ-керування, лінії інтерфейсного обміну та службові виводи живлення, тактування й скидання.

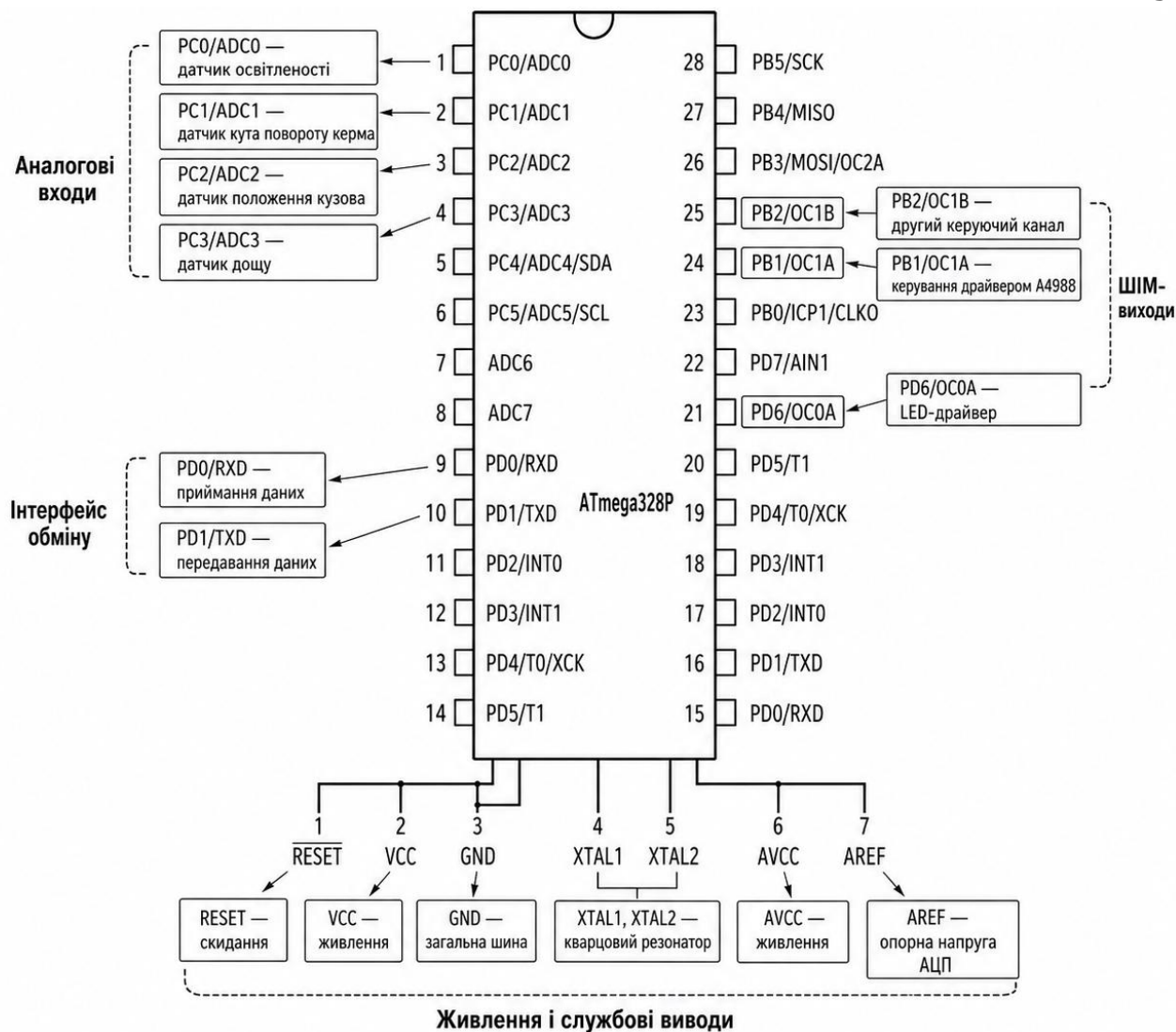


Рисунок 3.1 – Розташування та призначення виводів мікроконтролера ATmega328P у системі AFS

Розташування та функціональний розподіл виводів є важливими для подальшого побудування принципової схеми, трасування друкованої плати й узгодження апаратної структури з програмною конфігурацією периферії. Саме на цьому етапі формується зв'язок між логічною роллю сигналу та його фізичним місцем у мікроконтролерному модулі.

На рисунку 3.2 наведено електричну принципову схему процесорного вузла системи AFS. На ній показано підключення кварцового резонатора, кола RESET, сенсорних входів ADC0–ADC3, виходів ШІМ-керування та інтерфейсних ліній зв'язку.

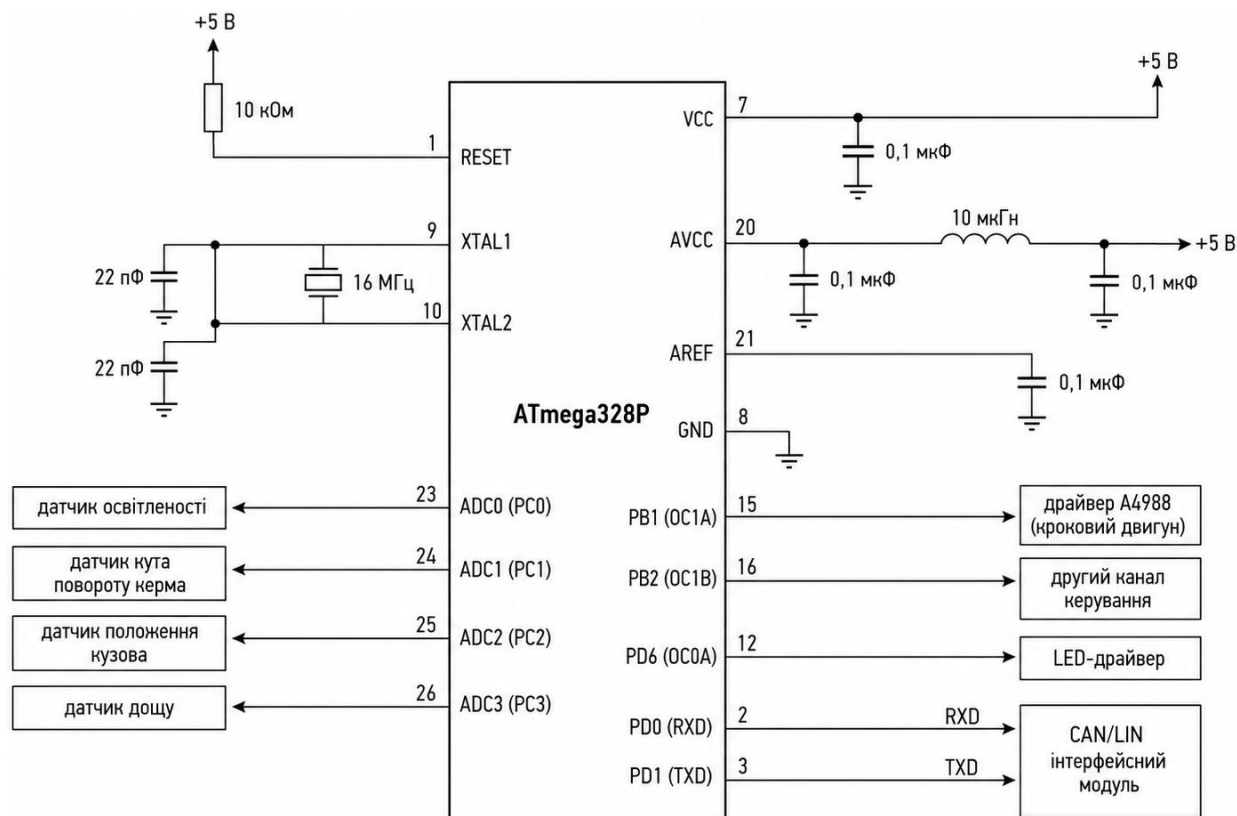


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова процесорного вузла системи AFS на базі мікроконтролера ATmega328P

Таким чином, центральний блок AFS Controller являє собою завершений електронний модуль, у якому поєднані вузли тактування, збору сенсорної інформації, інтерфейсного обміну та формування керуючих сигналів для виконавчої й силової частин системи AFS.

3.2 Особливості функціонування виконавчого блока AFS Slave та силового каскаду фар

Виконавчий рівень системи AFS забезпечує безпосереднє відпрацювання команд, сформованих центральним блоком керування. Якщо процесорний вузол визначає, яким має бути режим освітлення та на який кут необхідно змінити положення оптичного модуля, то виконавчий блок реалізує ці команди у вигляді механічного переміщення та зміни режиму світлового випромінювання.

У межах даної роботи виконавчий блок AFS Slave аналізується як підлеглий модуль керування приводом позиціонування фари. Для реалізації переміщення оптичного модуля доцільно використати біполярний кроковий двигун, керування яким виконується через спеціалізований драйвер A4988. Таке рішення дозволяє повністю розділити обчислювальну і силову функції. Центральний мікроконтролер ATmega328P формує лише керуючі сигнали напрямку переміщення та імпульси крокування, тоді як A4988 самостійно виконує комутацію обмоток двигуна.

Перевага такого підходу полягає в тому, що мікроконтролер не перевантажується задачами силового перемикання фаз, а може зосередитися на аналізі сенсорної інформації та формуванні логіки керування. Крім того, драйвер A4988 забезпечує стабільне та дискретне переміщення виконавчого механізму, що є важливим для системи AFS, де необхідне передбачуване позиціонування світлового модуля в горизонтальній та вертикальній площинах.

Окремим складником виконавчого рівня є силовий каскад світлодіодної фари. Для його реалізації використовується N-канальний MOSFET IRF540N, який працює як силовий електронний ключ. У цій схемі мікроконтролер формує ШІМ-сигнал керування затвором транзистора, а силовий струм світлодіодного модуля проходить через окремий комутаційний вузол. Така побудова дозволяє не навантажувати цифрові виходи мікроконтролера силовим струмом і реалізувати регулювання режиму роботи світлодіодного модуля засобами імпульсного керування.

Силовий каскад аналізується як низькобоковий ключовий вузол. У ньому MOSFET керує підключенням навантаження до загальної шини, а LED-модуль отримує живлення від окремої силової лінії. Такий підхід є зручним з точки зору схемотехніки, дозволяє чітко розділити логічну і силову частини системи та забезпечує достатню керованість світлодіодного каналу.

На рисунку 3.3 наведено схему підключення силових контурів та виконавчих пристроїв системи AFS. На ній показано взаємодію центрального мікроконтролера з виконавчим драйвером A4988, сервоприводними або кроковими каналами позиціонування, LED-драйвером і силовим живленням.

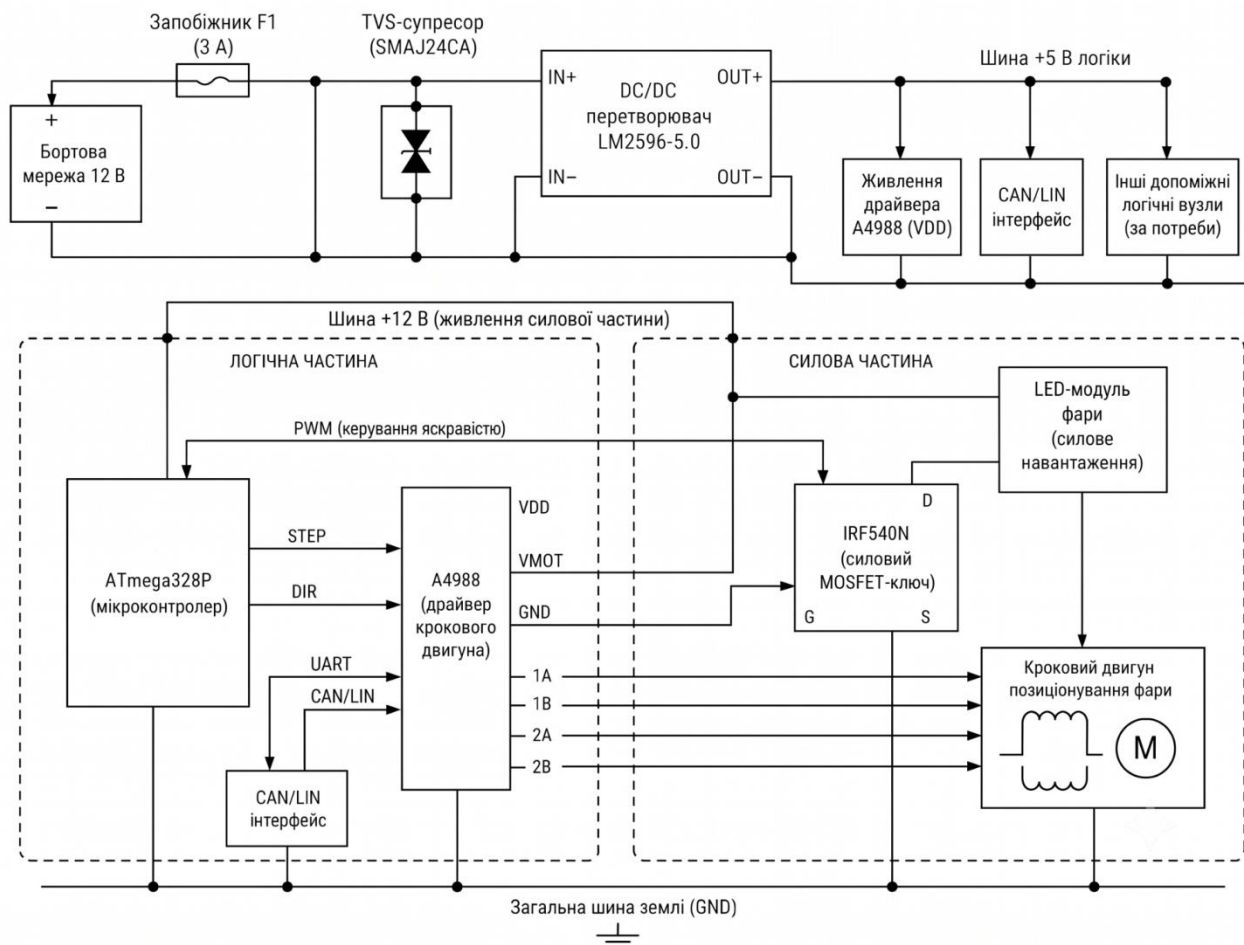


Рисунок 3.3 – Схема підключення силових контурів та виконавчих пристроїв системи AFS

Отже, виконавчий рівень системи AFS складається з двох взаємопов'язаних частин: механічного каналу позиціонування фари на базі драйвера A4988 та силового світлодіодного каналу на базі MOSFET IRF540N. Саме вони реалізують фізичне відпрацювання команд, сформованих центральним блоком керування.

3.3 Системний аналіз засобів захисту, фільтрації, друкованої плати та програмної логіки електронного блока керування

Бортова мережа автомобіля є середовищем із високим рівнем перешкод, імпульсних перенапруг і аварійних режимів, тому електронний блок керування системою AFS повинен містити не лише функціональні, а й захисні вузли. Їх

наявність визначає надійність роботи як центрального процесорного модуля, так і виконавчих та силових каналів.

Першим рівнем захисту є вхідне коло живлення 12 В. У ньому доцільно встановити плавкий запобіжник, що обмежує наслідки короткого замикання або перевантаження по струму. Додатково мають бути передбачені швидкодійні елементи захисту від імпульсних перенапруг, зокрема TVS-діоди або супресори. Їх завданням є поглинання короточасних високовольтних викидів, які можуть виникати в бортовій мережі внаслідок роботи генератора, стартера або комутації індуктивних навантажень.

Другим рівнем є вузол стабілізації живлення логічної частини. Для цього доцільно застосувати імпульсний понижувальний DC/DC-перетворювач на базі LM2596, який формує стабілізовану шину +5 В для живлення мікроконтролера, інтерфейсних вузлів і частини периферії. Використання такого рішення дозволяє зменшити теплові втрати порівняно з лінійними стабілізаторами та забезпечити стабільну напругу живлення в умовах зміни вхідної напруги бортової мережі.

Третім рівнем є система локальної фільтрації. Біля виводів живлення мікроконтролера доцільно встановлювати блокувальні конденсатори малої ємності, а в колах живлення аналогової частини – окремі фільтрувальні елементи для AVCC і AREF. Це особливо важливо для системи AFS, де в одному модулі поєднані як аналогові сенсорні входи, так і імпульсні силові вузли.

Окремого розгляду потребує конструктивне виконання друкованої плати. Для блока керування системою AFS доцільно використати двошарову друковану плату. Верхній шар призначений для розміщення компонентів та прокладання сигнальних доріжок, а нижній – для формування суцільного полігону землі. Така побудова дозволяє знизити рівень електромагнітних перешкод, покращити стабільність потенціалу загальної шини та підвищити завадостійкість усієї системи.

На платі доцільно розділити контури AGND, DGND і PGND. Аналогова земля використовується для сенсорного тракту, цифрова – для мікроконтролера

та логічних вузлів, а силова – для драйверів, виконавчих механізмів і світлодіодного каскаду. Об'єднання цих контурів в одній точці за схемою «зірка» зменшує вплив силових імпульсних струмів на аналогову і цифрову частини модуля.

На рисунку 3.5 наведено топологію та трасування друкованої плати блока керування системи AFS. На рисунку показано центральне розміщення ATmega328P, винесення сенсорних роз'ємів у зону аналогової частини, розташування інтерфейсних вузлів, розміщення силового каскаду та поділ на сигнальні й силові доріжки.

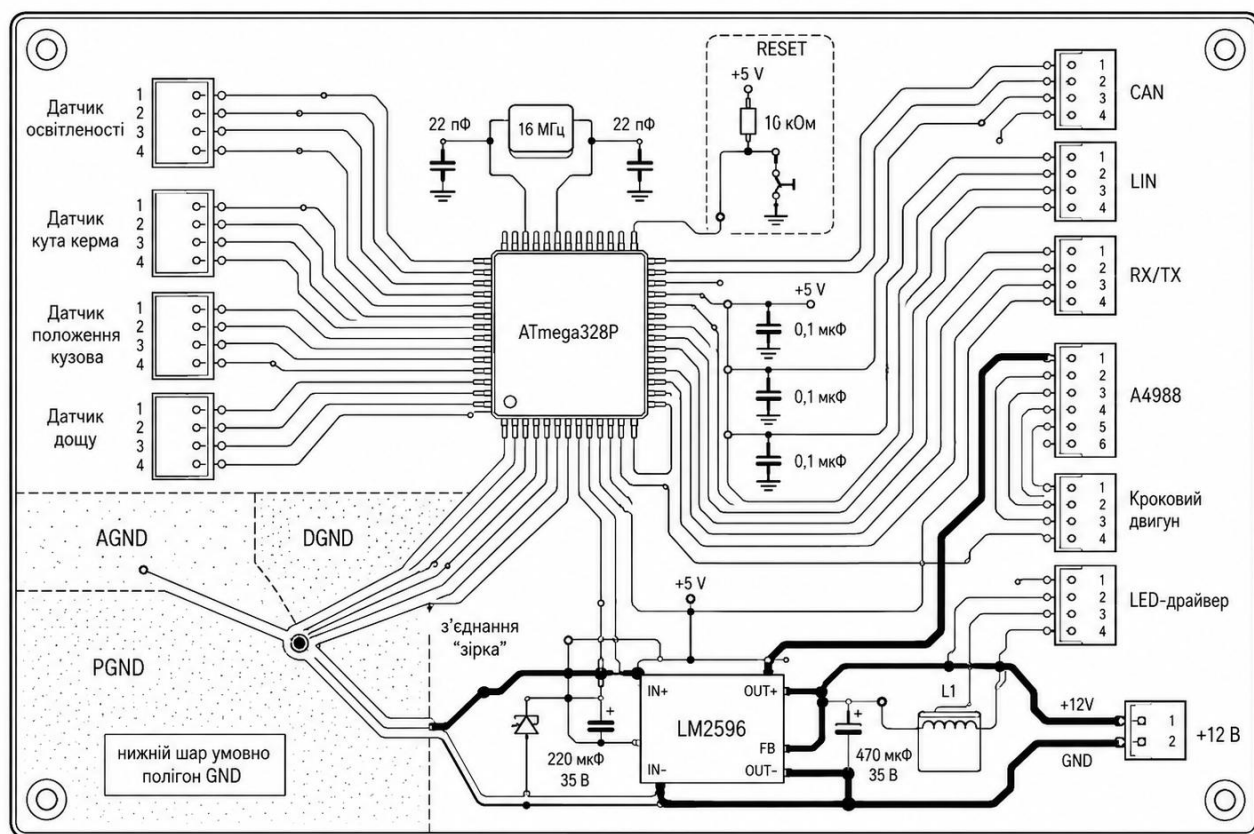


Рисунок 3.4 – Топологія та трасування друкованої плати блока керування системи AFS

Завершальним етапом системного аналізу є розгляд програмної логіки електронного блока керування. Після подачі живлення мікроконтролер виконує ініціалізацію портів, аналого-цифрового перетворювача, таймерів і службових регістрів. Далі програма переходить у циклічний режим роботи, у якому

послідовно виконується зчитування значень з ADC0–ADC3, цифрове згладжування вхідних сигналів, аналіз поточного режиму руху автомобіля та формування керуючих впливів на виконавчі пристрої.

Програмна архітектура в даній системі не існує окремо від апаратної частини. Вона безпосередньо спирається на розподіл виводів мікроконтролера, структуру друкованої плати, наявність захисних вузлів і призначення виконавчих каналів. Саме тому програмна логіка повинна розглядатися як продовження апаратного проєкту, а не як окремий програмний модуль.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів

У процесі виконання дипломної роботи, присвяченої розробці інтелектуальної системи автомобільного освітлення, основна частина діяльності пов'язана з використанням персонального комп'ютера, електронних компонентів, вимірювальних приладів, макетних з'єднань та джерел живлення. Внаслідок цього на робочому місці можуть виникати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які здатні негативно впливати на здоров'я людини, її працездатність та безпеку виконання робіт.

Одним із ключових факторів є підвищене зорове навантаження, що виникає під час тривалої роботи за комп'ютером, аналізу електричних схем, моделювання режимів роботи системи, підготовки графічних матеріалів і текстової документації. Тривале зосередження на екрані монітора може призводити до втоми очей, зниження гостроти зору, головного болю, подразнення слизової оболонки очей та загального зниження працездатності. Додатково негативний вплив може посилюватися через недостатню або надмірну освітленість робочого місця, появу відблисків на екрані та невдале розташування джерел світла.

Іншим важливим шкідливим фактором є статичне фізичне навантаження та тривале перебування працівника в одній позі. Під час роботи над дипломним проєктом значний час витрачається на сидячу роботу, що може призводити до перенапруження м'язів шиї, спини, попереку, плечового пояса та кистей рук. Неправильна організація робочого місця, невідповідність висоти столу або стільця антропометричним параметрам користувача, а також відсутність перерв негативно впливають на опорно-руховий апарат і спричиняють швидку втому.

Суттєвим небезпечним фактором є електричний струм. Під час роботи з електронними схемами, макетами, блоками живлення, світлодіодними модулями, драйверами, вимірювальними приладами та іншими елементами системи AFS існує ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження

ізоляції, неправильного підключення елементів, дотику до струмопровідних частин або використання несправного обладнання. Хоча більшість вузлів розроблюваної системи працює при відносно низьких напругах, небезпека все ще зберігається, особливо у випадку використання мережевих блоків живлення або лабораторного обладнання.

До небезпечних факторів також належить пожежна небезпека, яка може виникнути через коротке замикання, перевантаження електричних кіл, перегрів провідників, помилки під час монтажу, неправильне використання подовжувачів, залишення обладнання під напругою без нагляду або застосування несправних джерел живлення. Для тематики, пов'язаної з електронними системами керування освітленням, даний фактор є особливо актуальним, оскільки світлодіодні модулі, драйвери та силові елементи системи можуть споживати значну потужність і в разі порушення режиму роботи створювати підвищене теплове навантаження.

Під час виконання робіт із макетування та дослідження електронних вузлів може виникати також ризик механічного травмування. Він пов'язаний із використанням інструментів для монтажу, обрізання виводів елементів, розбирання або складання макетів, свердління чи закріплення конструктивних частин. Хоча ймовірність таких травм невисока, але порізи, подряпини, проколи та дрібні механічні ушкодження залишаються можливими.

Ще одним шкідливим фактором є психоемоційне навантаження, яке пов'язане з високою концентрацією уваги, необхідністю виконання розрахунків, аналізу схем, програмного моделювання, виправлення помилок та дотримання встановлених термінів виконання роботи. Тривале інтелектуальне навантаження без належного режиму праці та відпочинку може викликати нервову перенапругу, зниження уваги, втомлюваність і погіршення загальної ефективності роботи.

До шкідливих факторів варто також віднести мікрокліматичні умови приміщення. Якщо температура, вологість або швидкість руху повітря не відповідають комфортним умовам, це може негативно впливати на самопочуття працівника, знижувати його працездатність та погіршувати умови виконання

інтелектуальної праці. Надмірно сухе повітря, перегрів приміщення або недостатня вентиляція особливо небажані при тривалій роботі за комп'ютером.

Таким чином, при виконанні дипломної роботи з розробки інтелектуальної системи автомобільного освітлення основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є зорове перенапруження, статичне фізичне навантаження, ризик ураження електричним струмом, пожежна небезпека, можливість дрібного механічного травмування, психоемоційне перенапруження та несприятливі параметри мікроклімату. Виявлення зазначених факторів є необхідною умовою для розробки ефективних заходів з охорони праці та забезпечення безпечних умов виконання робіт.

4.2 Заходи щодо приведення виявлених небезпечних і шкідливих виробничих факторів до нормативних вимог

Для адаптації умов праці до нормативних вимог під час виконання кваліфікаційної роботи необхідно впровадити комплекс організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів. Реалізація цих заходів має на меті зниження або повне усунення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час роботи з персональним комп'ютером, електронними вузлами, джерелами живлення, вимірювальним обладнанням і монтажним інструментом. Основна мета таких заходів полягає у створенні безпечного робочого середовища, збереженні працездатності виконавця та запобіганні аварійним і травмонебезпечним ситуаціям.

Одним із ключових аспектів забезпечення безпеки праці є правильна організація робочого місця. Робоча зона повинна бути впорядкованою, вільною від сторонніх предметів і мати достатню площу для розміщення комп'ютера, вимірювальних приладів, монтажного інструменту та документації. Усі прилади і матеріали необхідно розміщувати так, щоб мінімізувати зайві рухи, виключити випадкове пошкодження елементів та забезпечити зручний доступ до основних органів керування. Провідники, кабелі живлення й сигнальні лінії

повинні бути прокладені таким чином, щоб не перетинати робочу поверхню хаотично, не створювати небезпеку зачеплення та не піддаватися механічним пошкодженням.

Для зменшення зорового навантаження слід забезпечити раціональне освітлення робочого місця. Освітлення повинно бути рівномірним, достатнім для роботи з текстовими матеріалами, схемами, електронними компонентами та екраном монітора. Джерела світла не повинні створювати відблиски на дисплеї або безпосередньо потрапляти в поле зору користувача. Монітор необхідно розташовувати на оптимальній відстані від очей, орієнтовно в межах 50–70 см, а верхню межу екрана – на рівні очей або трохи нижче. Яскравість і контрастність дисплея повинні відповідати рівню освітленості приміщення. Для зниження втоми очей доцільно дотримуватися регламентованого режиму праці та відпочинку, робити короткі перерви, періодично переводити погляд на віддалені об'єкти та змінювати вид діяльності під час тривалої роботи з кресленнями, схемами та електронною документацією.

Значна увага повинна приділятися ергономічним вимогам до робочого місця. Висота столу і стільця має забезпечувати правильне положення тіла під час роботи. Спина повинна мати опору, ноги – вільно стояти на підлозі або підставці, а передпліччя – розміщуватися на робочій поверхні без надмірного напруження м'язів плечового пояса. Клавіатура, миша, вимірювальні прилади та інструмент повинні знаходитися в межах зони досяжності без необхідності постійного нахилу корпусу або витягування рук. Під час тривалої роботи необхідно періодично змінювати положення тіла, виконувати короткі вправи для рук, шиї та спини, що дозволяє зменшити статичне навантаження на опорно-руховий апарат і попередити розвиток професійної втоми.

Для забезпечення електробезпеки під час роботи з електронними вузлами необхідно використовувати лише справне обладнання та перевірені джерела живлення. Не допускається використання пошкоджених мережевих шнурів, подовжувачів із порушеною ізоляцією, блоків живлення сумнівної якості або саморобних неізольованих з'єднань. Під час складання, монтажу та налагодження електронних схем усі зміни в колах необхідно виконувати тільки

після відключення живлення. Особливу увагу слід приділяти правильній полярності підключення елементів, відповідності напруги живлення паспортним параметрам мікроконтролера, драйверів, сервоприводів і світлодіодних модулів, а також наявності захисту від короткого замикання. Робота повинна проводитися в сухому приміщенні, а вимірювальні прилади та джерела живлення повинні мати справний корпус, надійну ізоляцію та, за потреби, захисне заземлення.

У межах даної роботи особливу небезпеку можуть становити блоки живлення, силові ключі, перетворювачі напруги та кола живлення світлодіодних модулів. Тому при перевірці та налагодженні системи необхідно уникати одночасного дотику до відкритих струмопровідних частин, не допускати випадкового замикання виводів металевим інструментом, а також контролювати температурний режим елементів силового каскаду. Перед повторним увімкненням схеми після зміни монтажу доцільно візуально перевіряти правильність підключень, наявність спільного проводу, полярність джерел живлення та правильність встановлення напівпровідникових елементів.

Для зниження пожежної небезпеки необхідно забезпечити справний стан електромережі, блоків живлення, паяльного обладнання та вимірювальної апаратури. Забороняється перевантажувати розетки, підключати до однієї лінії надмірну кількість споживачів або використовувати несправні подовжувачі. Не допускається залишення увімкнених приладів без нагляду на тривалий час, особливо якщо йдеться про паяльні станції, лабораторні блоки живлення або експериментальні макети. Усі легкозаймисті матеріали, папір, упаковка компонентів і допоміжні речовини повинні зберігатися на безпечній відстані від нагрівальних елементів і силових модулів. У приміщенні повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння, а виконавець повинен знати порядок дій у разі виникнення загоряння або короткого замикання.

Для запобігання механічним травмам необхідно дотримуватися правил безпечного поводження з ручним інструментом та монтажним приладдям. Викрутки, кусачки, пінцети, ножі для зняття ізоляції та інші інструменти повинні використовуватися тільки за призначенням і зберігатися в

упорядкованому вигляді. На робочій поверхні не повинно бути накопичення обрізків провідників, гострих виводів компонентів, стружки припою або дрібних металевих частин. Монтажні та налагоджувальні роботи слід виконувати уважно, без поспіху, із забезпеченням стійкого положення рук і деталей. Це особливо важливо під час роботи з друкованими платами, роз'ємами, клемами та дрібними радіoeлектронними компонентами.

Окремим напрямом є забезпечення електромагнітної та технологічної надійності робочого процесу. Для зменшення ризику пошкодження електронних компонентів доцільно застосовувати антистатичні заходи: не торкатися мікросхем і чутливих елементів без потреби, використовувати антистатичний килимок або заземлений браслет під час роботи з мікроконтролером, драйверами та іншими напівпровідниковими елементами. Застосування таких засобів особливо актуальне під час макетування та налагодження системи AFS, де до складу електронних вузлів входять керуючі мікросхеми та силові напівпровідникові елементи.

Для зниження психоемоційного навантаження необхідно раціонально організовувати робочий час, чергувати аналітичну, розрахункову та практичну роботу, не допускати багатогодинного безперервного виконання одноманітних операцій. Важливе значення має попереднє планування етапів роботи, чітке розмежування часу на розрахунки, моделювання, оформлення тексту та налагодження електронних вузлів. Такий підхід сприяє зниженню нервового напруження, зменшує ймовірність помилок і підвищує загальну ефективність праці.

Не менш важливим є забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в приміщенні. Робоча зона повинна регулярно провітрюватися, а температура, вологість та рухомість повітря мають підтримуватися на комфортному рівні. Підвищена температура, задуха, сухе повітря або недостатня вентиляція погіршують самопочуття, знижують концентрацію уваги й прискорюють настання втоми. Крім того, неналежні мікрокліматичні умови негативно впливають і на роботу самої електронної апаратури, особливо під час тривалого використання блоків живлення, драйверів і комп'ютерної техніки.

Таким чином, приведення умов праці до нормативних вимог під час виконання кваліфікаційної роботи досягається за рахунок комплексного застосування організаційних, ергономічних, електротехнічних, протипожежних і санітарно-гігієнічних заходів. Реалізація зазначених вимог дозволяє мінімізувати вплив небезпечних і шкідливих виробничих факторів, забезпечити безпечні умови роботи з електронними вузлами та вимірювальним обладнанням, а також підвищити надійність виконання робіт, пов'язаних із розробкою інтелектуальної системи автомобільного освітлення.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено інтелектуальну систему автомобільного освітлення на базі адаптивного переднього освітлення AFS.

У результаті виконання першого завдання проведено аналіз сучасних систем автомобільного освітлення та обґрунтовано вибір системи AFS як напряму подальшого дослідження. Встановлено, що система AFS є технічно доцільним рішенням завдяки достатньому рівню адаптивності, помірній складності реалізації та доступній елементній базі.

У другому завданні досліджено структурну побудову, принцип функціонування та основні режими роботи системи AFS. Визначено, що система має сенсорний, обчислювальний, комунікаційний і виконавчий рівні та забезпечує зміну положення світлового пучка залежно від умов руху автомобіля.

У третьому завданні виконано технічний аналіз центрального блока керування системою AFS на базі мікроконтролера ATmega328P.

У четвертому завданні проведено аналіз виконавчого блока, силового каскаду світлодіодного модуля та засобів захисту і фільтрації живлення. Обґрунтовано використання драйвера A4988, силового MOSFET-ключа IRF540N, запобіжника, TVS-захисту та DC/DC-перетворювача.

У п'ятому завданні виконано програмно-апаратне моделювання системи AFS у середовищі Proteus. Результати моделювання підтвердили працездатність прийнятої структурної та схемотехнічної побудови системи.

У шостому завданні розроблено заходи з охорони праці під час роботи з електронними системами автомобільного освітлення.

Отже, у роботі досліджено систему AFS як інтелектуальну електронно-мехатронну систему автомобільного освітлення, проаналізовано її основні вузли та підтверджено доцільність використання мікроконтролера ATmega328P як центрального блока керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Newest Lighting System. KOITO MANUFACTURING CO., LTD. URL: <https://www.koito.co.jp/english/technology/system> (дата звернення 09.03.2026).
2. What are Adaptive Headlights? Ansys. URL: <https://www.ansys.com/simulation-topics/what-are-adaptive-headlights> (дата звернення 10.03.2026).
3. LIN-bus HID Lamp Levelling Stepper Motor Control Using Freescale 908E625 Reference Design. NXP Semiconductors. URL: <https://www.nxp.com.cn/docs/en/reference-manual/DRM047.pdf> (дата звернення 15.03.2026).
4. Headlamp Actuators. Johnson Electric. URL: <https://www.johnsonelectric.com/en/products/actuators-automotive/headlamp-actuators> (дата звернення 02.06.2026).
5. Advanced Technology. KOITO MANUFACTURING CO., LTD. URL: <https://www.koito.co.jp/english/technology/advanced> (дата звернення 01.04.2026).
6. Automotive Adaptive Front-lighting System Reference Design. SlideShare. URL: <https://www.slideshare.net/slideshow/automotive-adaptive-frontlighting-system-reference-design/63301756> (дата звернення 18.04.2026).
7. ATmega328P Pinout, Features, Datasheet. Components101. URL: <https://components101.com/microcontrollers/atmega328p-pinout-features-datasheet> (дата звернення: 05.06.2026).
8. ATmega328P: характеристики, розпіновка, схема підключення. RElectronic. URL: <https://ruselectronic.com/atmega328p/> (дата звернення: 05.06.2026).