

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі  
мікроконтролера Atmega8  
Назва теми

КвРКІ 220034.22.01.15 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студент III курсу, група K12c-22-1

  
Підпис

Данііл ПРОНІЧЕВ  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

Сергій ЛИСЕНКО  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

«16» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
Освітній рівень БАКАЛАВР  
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ  
Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Данілу Пронічеву

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

Керівник проекту (роботи) ЛИСЕНКО Сергій Миколайович, д.т.н., проф.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Теоретичні основи досліджуваної проблеми

Проектування система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера ATMEGA8

Програмно-апаратна реалізація системи керування модулем переміщення вантажу бпла на основі мікроконтролера atmega8

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Схема електрична принципова

Структурна схема системи

Створення фізичної плати

## 6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагиат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – теоретичні основи досліджуваної проблеми	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – проектування система керування модулем переміщення вантажу бпла на основі мікроконтролера atmega8	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація системи керування модулем переміщення вантажу бпла на основі мікроконтролера atmega8	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Данііл ПРОНІЧЕВ

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Сергій ЛИСЕНКО

Ініціали, прізвище



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8».

Автор роботи: Данііл ПРОНІЧЕВ.

Керівник роботи: Лисенко Сергій Миколайович.

Пояснювальна записка: 56 с., 41 рис., 3 табл., 3 дод., 44 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

**БПЛА, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, АРХІТЕКТУРА, ВАНТАЖ, СИСТЕМА ПЕРЕМІЩЕННЯ.**

Метою дипломної роботи є розробка та верифікація умов застосування модуля керування переміщенням вантажу для БПЛА на базі мікроконтролера АТmega8, а також оцінка ефективності алгоритмів обробки сигналів у цій кіберфізичній системі для забезпечення надійного та безпечного скидання вантажу.

Об'єктом дослідження виступає функціонування апаратно-програмного комплексу модуля переміщення вантажу, що інтегрується в БПЛА та взаємодіє зі сенсорними підсистемами й польотним контролером.

Предметом дослідження є аналіз режимів застосування цього модуля, зокрема режимів зчитування PWM-команди, ультразвукового вимірювання висоти, контролю температури і струму, а також логіки запуску соленоїдного механізму в різних умовах польоту.

У рамках дослідження був застосований метод систематичного огляду літератури – було опрацьовано наукові публікації, технічні звіти й документацію щодо подібних модулів і компонентів, щоб оцінити сучасні підходи до інтеграції сенсорів, алгоритмів обробки сигналів і вимог до надійності та автономності системи.



Підпис студента

16.06.25

Дата

ВСТУП.....	4
<b>1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ</b> .....	5
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань....	5
1.2 Огляд безпілотних літальних апаратів .....	6
1.3 Огляд комерційних безпілотних літальних апаратів і сфер їх застосування для доставки вантажів .....	9
1.4 Технічні вимоги до модуля переміщення вантажу .....	12
1.3 Аналіз існуючих рішень у сфері скидання корисного навантаження	13
1.4 Визначення ключових проблем і обмежень сучасних модулів скидання .....	14
1.5 Методологічні підходи до розробки системи керування .....	15
1.6 Постановка завдань і очікувані результати дослідження .....	15
1.7 Висновки до першого розділу .....	16
<b>2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ БПЛА НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА АТМЕГА8</b> .....	17
2.1 Архітектура системи .....	17
2.2 Вибір компонентної бази .....	18
2.4 Висновки до другого розділу .....	40
<b>3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ БПЛА НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА АТМЕГА8</b> .....	42
3.1 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу .....	42
3.1.1 Інтерфейс PWM .....	42
3.1.2 Інтерфейс ультразвукового датчика .....	42
3.1.3 Моніторинг струму та температури .....	43
3.1.4 Драйвер MOSFET і виконавчий механізм .....	43
3.1.5 Схема живлення та захист .....	43

КвРКІ 220034.22.01.15 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата
Виконав		Данійл Пронічев		16.06.21
Перевір.		Сергій Лисенко		16.06.21
Н.контр.		Гетана КИСІЛЬ		16.06.21
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		16.06.21
Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8 Пояснювальна записка				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		у	2	56
ХНУ КІ2-22-1				

3.2 Реалізація програмних модулів .....	44
3.2.1 Ініціалізація та конфігурація.....	44
3.2.2 Отримання даних сенсорів.....	44
3.2.3 Обробка сигналів і прийняття рішення .....	44
3.2.4 Керування виконавчим механізмом.....	44
3.2.5 Обробка помилок і діагностика .....	45
3.2 Опис алгоритму роботи.....	45
3.3 Створення електричної схеми системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8.....	47
3.4. Створення фізичної плати системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8 .....	50
3.5. Створення програмного забезпечення для системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8 до третього розділу.....	53
3.6. Висновки до третього розділу.....	58
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>59</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>60</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>64</b>
<b>ДОДАТОК Б .....</b>	<b>65</b>
<b>ДОДАТОК В .....</b>	<b>66</b>
<b>ДОДАТОК Г .....</b>	<b>67</b>

## ВСТУП

У сучасному світі безпілотні літальні апарати дедалі частіше використовують не лише для спостереження чи картографування, а й для доставки невеликих вантажів у важкодоступні або небезпечні зони. Незважаючи на значний прогрес у розвитку автоматики та програмного забезпечення польотних контролерів, питання точного і безпечного скидання вантажу залишається відкритим. Неправильно розрахований момент або відсутність контролю відстані до поверхні може призвести до пошкодження корисного навантаження чи створення небезпечної ситуації для оточуючих. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці універсального модуля, який би забезпечив інтеграцію з існуючими контролерами дрона, вимірювання висоти над поверхнею в реальному часі та надійну активацію виконавчого механізму.

Метою даної роботи є створення системи керування модулем переміщення вантажу на базі мікроконтролера Atmega8, що поєднує обробку сигналу управління від польотного контролера, аналіз даних ультразвукового датчика та комутацію електромагнітного механізму через MOSFET-транзистор. Завдання полягає в забезпеченні умов, за яких скид відбувається лише після підтвердження безпечної висоти та відсутності перешкод під дроном.

У вступі обґрунтовується актуальність проблеми доставки вантажів із використанням БПЛА та визначаються основні виклики, пов'язані з безпекою скиду. Далі першому розділі роботи присвячено аналіз існуючих рішень і теоретичні основи, у другому – опис методів апаратної реалізації, програмної логіки та результати експериментальних випробувань. У висновках підбиваються підсумки дослідження та формулюються рекомендації для подальшого вдосконалення розробленої системи.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ

### 1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

У сучасних умовах зростаючого застосування безпілотних літальних апаратів у різних галузях стає очевидною потреба в надійних механізмах доставки й точного скидання корисного навантаження. Найчастіше ці системи використовуються для оперативної доставки медичних препаратів у важкодоступні райони, моніторингу сільськогосподарських угідь та інспекції інфраструктури, де невірний момент активації може призвести до втрати вантажу або створення аварійної ситуації. Більшість існуючих модулів скидання побудовано на простих механічних чи електромагнітних рішеннях, котрі не враховують змін висоти над поверхнею або наявності перешкод під дроном. Такий підхід часто супроводжується помилковими спрацюваннями, адже система має інформації, чи є достатній простір для безпечного скидання, а лише виконує команду за розкладеним сигналом.[1]

Виявлені проблеми охоплюють технічні та експлуатаційні аспекти. По-перше, відсутність зворотного зв'язку від навколишнього середовища значно знижує точність і безпеку операцій, особливо коли дрон знаходиться на малій висоті або поруч із перешкодами. По-друге, у ряді випадків пристрої не оснащені засобами контролю за станом внутрішніх компонентів, таких як перегрів або перевантаження силових ключів, що може призводити до виходу з ладу під час спроб активації виконавчого механізму. Нарешті, уніфікація інтерфейсів із різними польотними контролерами часто ускладнена через різні стандарти сигналізації і напруг, що зменшує швидкість розгортання системи на платформах різних виробників [2].

Таким чином, аналіз показує, що для підвищення надійності та точності модуля скидання необхідно розробити комплексне рішення, яке поєднає прийом команди, перевірку висоти над поверхнею, моніторинг стану компонентів і адаптивну логіку ухвалення рішення. Це дозволить значно знизити ризик

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадкових спрацювань, захистити електроніку від пошкоджень і прискорити інтеграцію системи у різноманітні безпілотні платформи [3].

## 1.2 Огляд безпілотних літальних апаратів

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) являє собою літак або коптер, здатний підніматися на задану висоту, виконувати польот за маршрутом і повертатися без фізичної присутності пілота на борту. Основними типами таких апаратів є мультикоптери з чотирма, шістьма або вісьмома роторами (Рисунок 1.1), фіксованокрилі платформи та гібридні VTOL-системи, що поєднують можливість вертикального зльоту й ефективність крилатого польоту.[4]



Рисунок 1.1 – БПЛА коптерного типу [17]

Безпілотний літальний апарат складається з кількох взаємопов'язаних підсистем (рисунки 1.2), які разом утворюють компактний та автономний літак чи коптер.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6



дальність польоту й тривалість понад годину, перевагу віддають фіксованокрилим рішенням із поршневими або турбогвинтовими двигунами, які за однакової маси дають вищу питому енергію ніж батареї.[7]



Рисунок 1.3 – БПЛА літакового типу [8]

За стабільність і безпеку польоту відповідає бортова електроніка, зосереджена на польотному контролері – апаратному мозку дрона. До складу контролера входять інерційний модуль (IMU) зі гіроскопами та акселерометрами, компас і барометр, а також іноді лазерний чи ультразвуковий альтиметр. Цей набір датчиків дозволяє апарату утримувати заданий курс, виправляти дрейф та стабілізувати висоту навіть за поривчастого вітру. Алгоритми автопілота самі коригують двигуни, тримаючи коптер нерухомим у режимі зависання і плавно переходячи в маневри за командою оператора або попередньо заданого маршруту.

Електроживлення зосереджене в акумуляторних батареях типу LiPo або 18650, які підключаються через перетворювачі, що забезпечують стабільні п'ять вольт для плати й сенсорів. Саме акумулятор у багатьох дронів є найважливішим обмежуючим фактором часу польоту, тож виробники оптимізують вагу й енергоспоживання на кожному рівні.[9]

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комунікаційна підсистема передбачає канал керування та передачі телеметрії. Для цього використовують подвійний радіоканал: один для безпосередніх команд оператора, інший – для повернення даних про швидкість, висоту й рівень заряду на наземну станцію. Сучасні рішення впроваджують шифрування та стійкі протоколи, щоб уникнути перехоплення сигналу або втрати зв'язку.

### 1.3 Огляд комерційних безпілотних літальних апаратів і сфер їх застосування для доставки вантажів

Безпілотні літальні апарати останніми роками перетворилися з експериментальних платформ на масово доступні інструменти для доставки вантажів, що потребують оперативності й точності. Сучасні дрони побудовано з урахуванням легкості конструкції та енергоефективності, що дозволяє їм піднімати невеликі, але цінні вантажі та утримувати стабільний політ навіть у вітряну погоду. Основою їхньої автономності є поєднання GPS-навігації, інерційних датчиків і спеціалізованих контролерів польоту, які відповідають за утримання курсу та висоти без постійного втручання оператора. У випадку доставки медикаментів або гуманітарної допомоги дрони виконують польоти максимально близько до землі, утримуючи точність траєкторії на рівні кількох метрів, що критично у щільно забудованих районах або в умовах поганої видимості.[10]

Крім мультикоптерів із моторами розташованими по колу, на ринку присутні фіксованокрилі платформи та гібридні апарати VTOL (Vertical Take-Off and Landing), здатні стартувати вертикально та переходити в режим звичайного літака. Перші краще пристосовані для польоту на великі відстані з однаковим навантаженням, тоді як мультикоптери забезпечують високу маневреність і точність доставки на фінальній точці, де важливо зависнути над об'єктом. Застосування гібридних моделей розширює можливості, поєднуючи обидві концепції, але вимагає складнішої механіки та програмного забезпечення для коректної роботи.[11]

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зараз на ринку безпілотників представлено є кілька комерційних рішень. Наприклад DJI пропонує лінійки Matrice (рисунки 1.4) та Mavic Enterprise, обладнані високоточними камерами й датчиками для аналізу простору під час польоту.



Рисунок 1.4 – БПЛА DJI Matrice 350 [12]

Компанія Skydio зайнялися автономністю, випустивши дрони X2 (рисунки 1.5) та X10 із вбудованими алгоритмами, які дозволяють облітати перешкоди без додаткових команд пілота.



Рисунок 1.5 – БПЛА Skydio X2 [13]

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Autel Robotics(Рисунок 1.6) у серії EVO Enterprise робить акцент на модульність – при необхідності можна під'єднати тепловізор, лазерний далекомір або додаткову батарею для тривалої польоту.



Рисунок 1.6 – БПЛА Autel EVO Lite X6 Enterprise [14]

Сервіс Zipline першими почав застосувати бпла(рисунок 1.7) для доставки медикаментів у важкодоступні райони та тепер розвиває напрямок «останньої милі» для швидкої доставки товарів із використанням троса й точного скидання.



Рисунок 1.7 – БПЛА компанії Zipline [15]

Також прикладом є підрозділ Wing(рисунок 1.8) компанії Alphabet отримав у США перші ліцензії на комерційну доставку дронами і вже організував мережі у Вірджинії та Австралії, що дозволяють майже безперервно постачати невеликі пакунки прямо до подвір'я клієнтів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ

Арк.  
11



Рисунок 1.8 – БПЛА компанії Wing [16]

#### 1.4 Технічні вимоги до модуля переміщення вантажу

У нас час стає розповсюдженим перевезення вантажів за допомогою БПЛА – від м'яких контейнерів із ліками до невеликих посилок із харчами. Для цього використовують різні механізми: від простого роз'єднання карабіну до складних електромагнітних чи парашутних систем, які гарантують плавне і контрольоване опускання вантажу. Незважаючи на різноманітність рішень, ключовою залишається задача зворотного зв'язку з навколишнім середовищем, щоб скид відбувався лише за певних умов висоти і відсутності перешкод. Саме тому сучасні дослідження спрямовані на впровадження інтелектуальних модулів, які поєднують вимірювання відстані в реальному часі, аналіз швидкості та напрямку вітру і точне розпізнавання зони приземлення, що дозволяє впевнено виконувати місії в найскладніших умовах.[18] Аналіз технічних вимог до модуля переміщення вантажу вказує, що першочерговою характеристикою є точність доставки, оскільки навіть незначне відхилення від заданої точки може призвести до втрат або ушкоджень вантажу. Останні дослідження демонструють, що поєднання GPS-навігації з алгоритмами комп'ютерного зору здатне п'ятикратно підвищити середню горизонтальну точність порівняно з традиційними підходами лише на основі GPS .[19] Надійність роботи модуля забезпечується здатністю системи витримувати динамічні коливання навантаження та вібрації; апробація

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

інтегрованих сенсорів навантаження показала, що польотний контролер здатен зберігати стабільність навіть при змінному розподілі маси й автоматично повертати дрон на базу при виявленні критичного рівня запасу ресурсів. Швидкодія активації механізму відбивається у мінімальній затримці між отриманням команди й фізичним від'єднанням вантажу, що дозволяє зменшити вплив інерційних і аеродинамічних збурень під час спуску. Інтеграція модуля з польотним контролером реалізується за допомогою стандартних протоколів, таких як MAVLink, що забезпечує двосторонній обмін даними про стан і параметри корисного навантаження в реальному часі та підтвердження ідентифікації підключених сенсорів і виконавчих механізмів.[20]

### 1.3 Аналіз існуючих рішень у сфері скидання корисного навантаження

Якщо проводити аналіз існуючих рішень можна побачити однотиповість рішень, всі вони реалізовані за допомогою механічних замків або карабінів, які керуються сервоприводами. Це дозволяє швидко скидати вантаж масою до кількох кілограмів, але не передбачає ніякої перевірки умов навколо дрона, тож у разі польоту на невеликій висоті або над зоною з перешкодами падіння відбувається всліпу, що підвищує ризик пошкодження вантажу та оточення. Інша поширена концепція використовує парашутні або мотузкові системи, вони здатні повільно спустити вантаж, але через значні габарити та затримки в розгортанні не годяться в умовах обмеженого простору чи термінових місій. Інженери всього світу поступово зміщують акцент до інтерактивних модулів, у яких функцію скидання доповнюють ультразвуковими або лазерними сенсорами для вимірювання висоти та аналізу простору під дроном. У таких системах замки розблоковуються тільки після того, як датчик підтвердить безпечну відстань до поверхні, а додаткові сенсори враховують вітрові пориви й швидкість руху, що допомагає коригувати момент скидання в реальному часі. У ці системи інтегрують алгоритми машинного зору, а також ШІ, для вибору оптимальної точки приземлення, а також перевірки для унеможливлення приземлення вантажу на рухомі об'єкти чи людей.[21]

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зосереджуючись на основних функціях, підвищуючи продуктивність та забезпечуючи безпеку, спеціалізовані операційні системи розробляють індивідуальні рішення для різних галузей – від вбудованих систем до високоефективних обчислень. При швидкому розвитку технологій, такі системи зберуться набувати ще більшої значущості у формуванні майбутніх комп'ютерних технологій.

#### 1.4 Визначення ключових проблем і обмежень сучасних модулів скидання

Аналіз існуючих механізмів скидання корисного навантаження виявляє кілька критичних обмежень, які стримують їхнє широке застосування. По-перше, виконавчі механізми на основі серводвигунів і зубчастих передач часто піддаються механічному зносу, що призводить до зниження точності спрацювання після декількох десятків циклів; у польоті це може закінчитися тим, що фіксатор не розблокується вчасно або, навпаки, відкриється передчасно. По-друге, пасивні системи із парашутами чи мотузками демонструють значні затримки в розгортанні, а їхні великі габарити й вага обмежують вантажопідйомність дрона та скорочують час польоту, що неприпустимо в умовах швидкої доставки лікарських засобів чи продовольства. По-третє, відсутність самодіагностики й адаптивного контролю просторової ситуації змушує операторів покладатися на фіксовані алгоритми, які не враховують змінні вітрові пориви, нерівності рельєфу чи наближення до перешкод, а це підвищує ймовірність аварійного скидання у житлових зонах або на промислових об'єктах. Крім того, інтеграція цих модулів із польотними контролерами часто ускладнюється через різні протоколи обміну даними й несумісність апаратних інтерфейсів, що змушує розробників створювати додаткові перехідні плати й витратити час на налаштування, замість того щоб концентруватися на підвищенні безпеки й надійності.[22]

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.5 Методологічні підходи до розробки системи керування

Методологічний підхід до створення системи керування модулем скидання вантажу ґрунтується на принципах апаратно-програмного спроектування, яке передбачає одночасну розробку апаратної частини та вбудованого ПЗ. Такий підхід дозволяє на ранніх етапах забезпечити узгодженість вимог до датчиків, виконавчих пристроїв і логіки обробки даних, що є критичним для дотримання жорстких реальних часових обмежень. Важливою складовою є модульність системи, коли окремі блоки відповідають за збір даних, прийняття рішення та керування силовим ключем, що полегшує масштабування та обслуговування пристрою. [23]

Для підвищення надійності та точності рішення інтегрують методи сенсорного злиття, коли показники ультразвукового дальноміра, інерційних сенсорів і, за потреби, зовнішніх джерел навігації об'єднують із застосуванням фільтрів Калмана чи комплементарних алгоритмів, що дає змогу мінімізувати похибки вимірювань у складних польотних умовах. Заключним етапом методології є верифікація та валідація через апаратно-в-цикл (Hardware-in-the-Loop) симуляції, яка дозволяє відтворити реальні сценарії польоту й перевірити часові характеристики та коректність роботи всіх підсистем до заливки рішення в пілотовану платформу.[24]

## 1.6 Постановка завдань і очікувані результати дослідження

Метою даної роботи є створення автономного модуля скидання вантажу для безпілотного літального апарата, який надійно інтегрується з польотним контролером, вимірює відстань до поверхні в реальному часі та активує виконавчий механізм лише за безпечних умов . Для досягнення цієї мети необхідно реалізувати прийом і обробку PWM-сигналу, забезпечити коректну взаємодію з ультразвуковим датчиком відстані, розробити алгоритм ухвалення рішення з урахуванням поточних показників висоти й швидкості польоту, а також здійснити керування електромагнітним модулем через MOSFET. Валідація роботи модуля

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходитиме як у лабораторних стендових випробуваннях, так і в польотах із моделлю дрона, що дозволить оцінити точність скидань, час реакції системи та стійкість до зовнішніх впливів. Очікуваним результатом є компактний і гнучкий у налаштуванні пристрій, здатний реалізувати доставку вантажу з точністю не гірше одного метра та затримкою від моменту команди не більше ніж 200 мілісекунд, що відповідає сучасним вимогам до оперативних логістичних та гуманітарних місій.

### 1.7 Висновки до першого розділу

У результаті теоретичного аналізу встановлено, що сучасні безпілотні літальні апарати дедалі частіше виконують завдання доставки та скидання корисного навантаження в умовах складної інфраструктури та обмеженого часу. Огляд наявних механічних і парашутних систем показав їхню простоту, але виявив суттєві обмеження в адаптації до змін висоти й наявності перешкод, що знижує точність і безпеку операцій. Визначення ключових технічних вимог, серед яких висока точність активації, швидкодія управління та надійність інтеграції з польотним контролером, дозволило сформулювати завдання на розробку модульного інтелектуального рішення. Запропонований підхід із використанням ультразвукового датчика, обробкою PWM-сигналу та керуванням через MOSFET-транзистор створює підґрунтя для практичної реалізації системи, здатної здійснювати скид вантажу з точністю не гірше метра та мінімальною затримкою від команди. Ці результати теоретичного розділу обґрунтовують необхідність переходу до практичної розробки й тестування описаного модулю в наступному розділі роботи.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ БПЛА НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

## 2.1 Архітектура системи

Архітектура системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА реалізована як чітка послідовність етапів, що охоплюють підготовку контролера, збір та обробку даних з різних сенсорів, ухвалення рішення й активацію виконавчого механізму. Після подачі живлення відбувається налаштування внутрішніх таймерів мікроконтролера і конфігурація апаратного захоплення імпульсів для точного вимірювання команд у вигляді PWM-сигналів. Одночасно ініціюється робота ультразвукового датчика, а також термодатчика та монітора струму, що стежать за температурою та навантаженням силових ланцюгів.

У процесі роботи контролер здійснює циклічний збір даних: він фіксує тривалість імпульсу від польотного контролера та розраховує відстань до поверхні за допомогою ультразвукового сенсора, а паралельно оцінює актуальні показники температури і струму. Отримані величини об'єднуються в єдиному алгоритмі ухвалення рішення, який застосовує адаптивні фільтри для зниження шумів і проводить порогову перевірку всіх параметрів.

Лише за умови одночасного виконання критерію безпечної висоти, мінімального рівня температури та допустимого струмового навантаження система формує команду на відкриття силового ключа. Вона подається на затвор потужного MOSFET-транзистора, що активує електромагнітний механізм або інший виконавчий пристрій для скидання вантажу. Після здійснення скидання контролер не повертається в повний стоп, а продовжує моніторити стан силових ланцюгів, готовий заблокувати подальші команди у разі виявлення аварійної ситуації.

Завдяки такому покроковому підходу забезпечується скоординована робота всіх підсистем, гнучкість додавання нових сенсорів чи протоколів зв'язку та висока надійність операцій навіть в умовах мінливого середовища.

					КвРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Вибір компонентної бази

Нижче наведено перелік основних апаратних компонентів, які використовуються в системі керування модулем переміщення вантажу:

- a) мікроконтролер;
- b) ультразвуковий датчик;
- c) mosfet-транзистор;
- d) ntc-термістор (термодатчик);
- e) dc–dc перетворювач 5 в
- f) шунтовий резистор із підсилювачем струму;
- g) конденсатори декуплінгу і захисний діод (шотткій);
- h) DC-соленоїд.
- i) isp-роз'єм для прошивки та налагодження.

a) У ході розробки системи керування модулем переміщення вантажу було обрано 8-бітний мікроконтролер ATmega8(рисунок 2.1), який поєднує в собі достатню обчислювальну потужність, невелике енергоспоживання та доступність, зберігаючи при цьому простоту інтеграції в уже існуючу інфраструктуру AVR-плат.

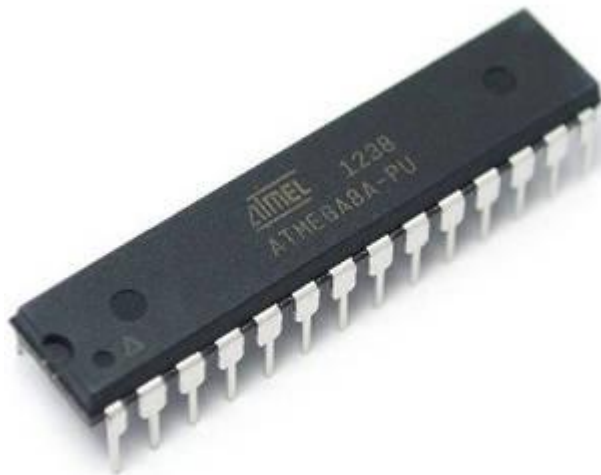


Рисунок 2.1 – Мікроконтролер Atmega8[25]

Аналіз ринку показав, що, незважаючи на вищу продуктивність і об'єм пам'яті у 32-бітних ARM-Cortex-M рішеннях, таких як сімейство STM32(рисунок 2.2 ), їхня складність налаштування, більша ціна та вищі вимоги до живлення іноді виявляються надмірними для задач, де потрібна вузькоспеціалізована і надійна логіка прийняття рішення про скидання вантажу.



Рисунок 2.2 –Мікроконтролер STM32F103C8[26]

Серед 32-бітних контролерів STM32 сімейство демонструє вражаючу продуктивність, надаючи ядра Cortex-M3, M4 і навіть M7 з апаратним FPU, великими об'ємами флеш-пам'яті, численними інтерфейсами зв'язку, що відкривають перспективи для складних обчислень та машинного аналізу даних прямо на борту. Водночас обробка інформації може займати значний час і вимагати глибших знань ARM-екосистеми, а вбудовані перехідні напруги до 3,6 В логічної шини іноді потребують додаткових перетворювачів живлення для узгодження з іншою апаратурою 5 В логіки.

Порівняння наведене у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Порівняння мікроконтролерів

Характеристика	АТmega8	STM32F103C8	PIC16F877A	MSP430G2553
Архітектура	8-бітна AVR RISC	32-бітна ARM Cortex-M3	8-бітна PIC	16-бітна MSP430
Об'єм флеш-пам'яті	8 КБ	64 КБ	14 КБ	16 КБ
Об'єм ОЗП	1 КБ	20 КБ	368 Б	512 Б
Таймери	2 × 8-біт, 1 × 16-біт	3 × 16-біт, 1 × 32-біт	3 × 16-біт	2 × 16-біт
Канали PWM	3	12	2	2
ADC канали	6	10	8	8
Частота такту	до 16 МГц	до 72 МГц	до 20 МГц	до 16 МГц
Живлення	2.7–5.5 В	2.0–3.6 В	2.0–5.5 В	1.8–3.6 В
Порти вводу-виводу	23 GPIO	37 GPIO	33 GPIO	24 GPIO
Вартість (орієнтовно)	\$1.5	\$2–3	\$2	\$1–2
Спільнота та підтримка	Дуже широка, Arduino-екосистема	Велика, STM32Cube	Широка, MPLAB X	Помірна, Energia IDE

Такі ж компроміси простежуються і порівняно з платформами PIC(рисунок 2.3 ) від Microchip та 16-бітним MSP430(рисунок 2.4 ) від Texas Instruments, де хоча і присутні власні переваги (точніші таймери у PIC чи ультранизьке споживання у MSP430), загальна сукупність характеристик АТmega8 краще через розміри, меншу кількість витрат та часу розробки.

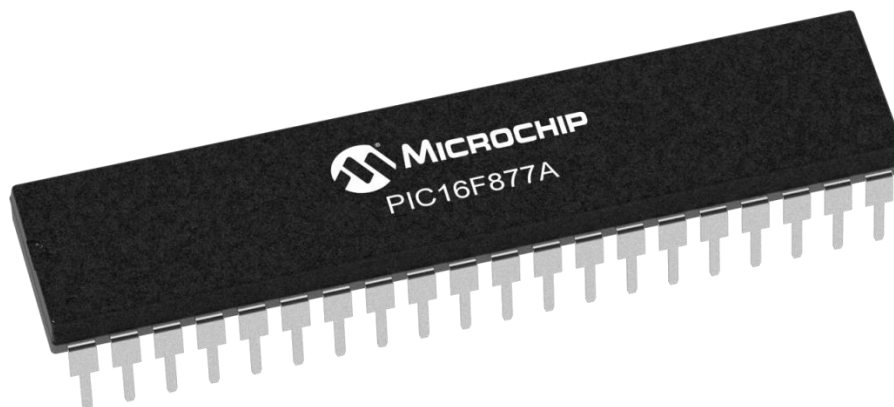


Рисунок 2.3 – Мікроконтролер PIC16F877A[27]

Мікроконтролер ATmega8 побудований за принципом модифікованої Гарвардської архітектури з RISC-інструкціями, більшість з яких виконується в один тактовий цикл, що забезпечує до 16 MIPS при частоті 16 МГц і гарантує своєчасну обробку PWM-команд без значних затримок. Обсяг вбудованої флеш-пам'яті у 8 КБ, 1 КБ RAM та 512 Б EEPROM дає достатньо простору для розміщення алгоритмів з безпеки та діагностики, а наявність апаратного множника та 32 регістрів загального призначення сприяє оптимізації коду та зменшенню затримок при виконанні обчислень. Крім того, ATmega8 підтримує різні режими енергозбереження – від повного сну до швидкого виходу з нього, що знизити споживання.

Контролери PIC16 та PIC18 від Microchip вирізняються дуже точними таймерами й широким асортиментом варіантів у DIP-корпусі, що полегшує швидке прототипування на макетних платах, а також надзвичайною дешевизною одиниці в умовах масового виробництва.

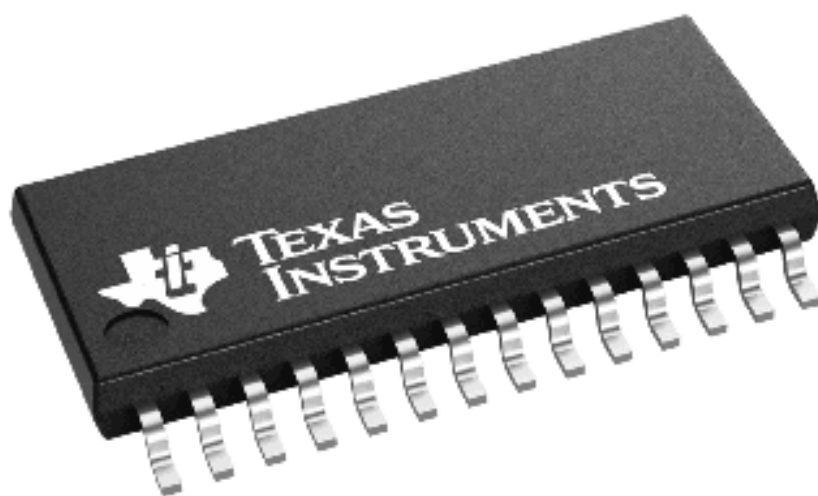


Рисунок 2.4 – Мікроконтролер MSP430G2553[28]

Платформа MSP430 пропонує вражаючі режими глибокого сну з дозами споживання до кількох нановатт, що робить її привабливою для енергообмежених застосувань типу сенсорних вузлів, але при цьому MSP430 працює на 16-бітній шині з меншою обчислювальною пропускну здатністю (до 16 MIPS) порівняно

з ATmega8 при аналогічній тактовій частоті, а її набір регістрів і архітектурні особливості іноді вимагають менш інтуїтивного підходу до програмування в умовах реального часу.

б) У виборі ультразвукового було обрано популярний HC-SR04 (рисунк 2.9 ), оскільки він поєднує в собі високу доступність, прийнятну точність і простоту інтеграції з AVR-контролером. Завдяки вбудованій схемі тригера й приймача HC-SR04 забезпечує безконтактне вимірювання відстані в діапазоні від 2 до 400 сантиметрів з точністю до приблизно трьох міліметрів, що відповідає умовам наших завдань із скидання вантажу на висоті не більше п'яти метрів. Він використовує восьмипрограмний 40-кГц імпульс для випромінювання ультразвуку, а апаратне захоплення Echo-сигналу через переривання дозволяє точно розрахувати час проходження звукової хвилі.



Рисунок 2.9 – Ультразвуковий датчик HC-SR04 [29]

Однією з головних переваг HC-SR04 є його ціна, що зазвичай не перевищує одного євро за модуль, а також стандартизований інтерфейс живлення та логіки

на 5 В, який легко поєднується з будь-якою платформою AVR або Arduino без застосування додаткових рівнево-перетворювачів. Його плата містить мінімум компонентів, що скорочує ймовірність відмов у польоті, а роз'ємна розетка дозволяє швидко проводити заміну в польових умовах. HC-SR04 показує стабільне вимірювання та незмінне навіть при невеликих змінах кута нахилу, що було критичним для збереження точності скидання під час динамічних маневрів БПЛА.

Порівняльна характеристика ультразвукових датчиків наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняння ультразвукових датчиків

Параметр	HC-SR04	JSN-SR04T	LV-MaxSonar-EZ1 (MB1010)	Grove Ultrasonic Distance Sensor
Діапазон	2–400 см	20–600 см	0–645 см	3–350 см
Точність	±0,3 см	±1 см	±2,5 см	±1 см
Напруга живлення	5 В	5 В	2,5–5,5 В	3,3–5 В
Струм	15 мА	5 мА	2 мА	8 мА
Кут променя	15°	≈ 15°	45°	15°
Вологозахист	ні	так	ні	ні

Проте HC-SR04 має свої обмеження: він відносно чутливий до акустичних перешкод та може втрачати стабільність у середовищі з потужними шумами чи наявністю відбиваючих поверхонь різної структури. Крім того, через широкий кут розкриття променя його точність на краях зони вимірювання знижується, що вимагає додаткової обробки сигналу або застосування фільтра ковзного середнього для усунення сплесків.

У порівнянні з популярним водозахищеним модулем JSN-SR04T (рисунок 2.10), який пропонує розширений діапазон до 600 сантиметрів і має інтегрований водонепроникний датчик, проте HC-SR04 менш енерговитратним та компактніший, що спрощує встановлення на дрон. При цьому для польотів у

відкритому просторі без істотного впливу вологи водозахищеність є другорядною перевагою, яку ми можемо компенсувати іншим захистом корпусу.



Рисунок 2.10 – Ультразвуковий датчик JSN-SR04T [30]

Ще одним конкурентом є сімейство MaxBotix LV-MaxSonar-EZ (рисунок 2.11), яке характеризується промисловою надійністю, захистом IP67 та точністю краще ніж  $\pm 1,5\%$  завдяки вузькому діапазону променя й вбудованим алгоритмам придушення шуму. Однак ці сенсори коштують у межах 40-50 доларів за штуку, мають ширший форм-фактор і часто потребують зовнішнього живлення 5-12 В, що ускладнює їх інтеграцію в компактні дрони з єдиним джерелом живлення.



Рисунок 2.11 – Ультразвуковий датчик HRLV-MaxSonar-EZ1 [31]

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, HC-SR04 виявився компромісом між вартістю, розмірами та достатньою технічною характеристикою для нашого застосування у модулі переміщення вантажу.

Його простота в поєднанні з низькою ціною дозволяє швидко масштабувати виробництво, а можливість апроксимації сигналів фільтрами компенсує недоліки у складних акустичних умовах.

с) У виборі силового ключа для модуля скидання вантажу основними критеріями були:

- низький опір в увімкненому стані;
- висока максимально допустима напруга та струм;
- швидкість перемикання при помірному заряді затвора.

Оптимальним вибором став MOSFET IRF3205(рисунок 2.12 ), який завдяки своїм характеристикам забезпечує необхідну енергоефективність та надійність роботи в при різному навантаженні. Порівняльний аналіз із іншими популярними N-канальними MOSFET-транзисторами ґрунтується з огляду на баланс між технічними параметрами й вартістю.



Рисунок 2.12 – Мосфет IRF3205 [32]

IRF3205 виготовлений за технологією Infineon® HEXFET®, що гарантує його високу стійкість до теплових навантажень і малий статичний опір каналу, який становить близько 8 мОМ при напрузі затвора 10 В. Завдяки низькому опору відкритого переходу стік-витік, мінімальні втрати, що дозволяє пристрою працювати в умовах пікових навантажень без нагрівання. Специфічна форма, дозволяє добре відводити тепло від кристала.

Порівняння характеристик наведено у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Порівняння характеристик MOSFET-транзисторів

Параметр	IRF3205	IRFZ44N	IRLZ44N
Макс. напруга стік-витік	55 В	55 В	55 В
Макс. струм стоку	110 А	49 А	47 А
RDS(on) (VGS=10 В)	8 мΩ	17 мΩ	10 мΩ
Напруга відкриття затвора VGS(th)	2–4 В	2–4 В	1–2 В
Повний заряд затвора Qg	~63 нКл	~44 нКл	~67 нКл
Корпус	ТО-220	ТО-220	ТО-220
Тепловідведення	високе (провідна вкладка)	середнє	середнє
Типове застосування	потужні ключі, інвертори	загальні силові ключі	логічно-рівневі ключі
Орієнтовна ціна (1 шт.)	≈ 1 \$	≈ 0,5 \$	≈ 0,7 \$

У сегменті бюджетних N-каналних MOSFET-транзисторів найближчим аналогом IRF3205 часто називають IRFZ44N (рисунок 2.13), який також широко використовують у силових інверторах та драйверах двигунів.

Проте IRFZ44N має в середньому подвоєний опір каналу 17 мОМ порівняно з IRF3205, що веде до більших втрат енергії та підвищеного нагрівання під навантаженням. Більш того, величина заряду затвора у IRFZ44N досягає 44 нКл, що підвищує час перемикання та навантаження на драйвер затвора в умовах частих імпульсів, тоді як IRF3205 демонструє менш ніж 20 нКл при таких же умовах.



Рисунок 2.13 – Мосфет IRFZ44N [33]

Іншим популярним рішенням для логічного рівня є IRLZ44N(рисунок 2.14 ), який розроблений для більш низьких напруг затвора та має опір відкритого переходу стік-витік близько 10 мОМ, але при цьому вимагає лише 5 В на затворі для повного відкриття. Незважаючи на це, IRLZ44N виявляється чутливішим до нагрівання ,а також через технологічну будову, його максимальний струм дещо нижчий, ніж у IRF3205, що ускладнює використання в пікових режимах скидання вантажу з високими струмами.

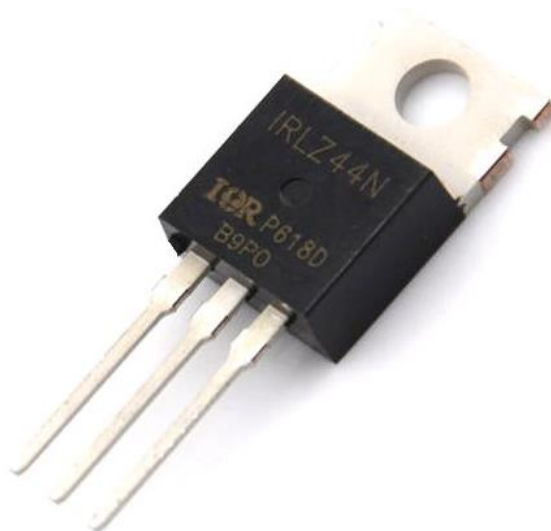


Рисунок 2.14 – Мосфет IRLZ44N [35]

У сегменті індустріальних застосувань вирізняються MOSFET-транзистори серії LV-MaxSonar-EZ від MaxBotix, які працюють із високою точністю але вимагають додаткових перетворювачів живлення та коштують у 40–50 USD за одиницю, що робить їх економічно не вигідними для масового виробництва компактних модулів дронів. Аналогічно, деякі пристрої від STMicroelectronics у корпусах H2PAK чи TO-247 кращі технічні характеристики, але їхня ціна і габарити виходять за межі рамок невеликих безпілотних платформ.

d) Вибір температурного сенсора для контролю стану силової частини модуля переміщення вантажу обґрунтувався низкою технічних і експлуатаційних міркувань. Аналоговому NTC-термістор було віддано перевагу через його високу чутливість у діапазоні робочих температур, швидку реакцію на локальні зміни нагріву та простоту інтеграції з мікроконтролером. При експлуатації силових ключів рівень нагріву може зростати упродовж декількох секунд, і в цьому контексті термістор продемонстрував здатність вчасно виявляти початкові етапи перегріву, що забезпечує надійний захист електроніки.

Порівняно з цифровими рішеннями, які вимагають обміну по шині із фіксованою затримкою й додаткових часових ресурсів для конверсії значень, аналоговий термістор дозволяє одержувати інформацію про температуру безпосередньо в режимі реального часу, суттєво скорочуючи час обробки. У той же час, він не потребує складних драйверів інтерфейсу чи формування спеціальних команд, що зменшує обсяг коду та підвищує стійкість системи до програмних збоїв.

Водночас, на відміну від резистивних термодатчиків з платини (RTD), які забезпечують лінійнішу залежність вихідного сигналу та ширший діапазон вимірювань, NTC-термістори мають оптимізований інтервал роботи саме в межах температур, характерних для силових транзисторів, де точність на рівні десятків градусів є зайвою.

Це дозволяє зосередити обмежені обчислювальні ресурси мікроконтролера на алгоритмах безпеки та контролю просторових параметрів без додаткового навантаження.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із найбільш поширених виявився MF52-серії (рисунок 2.15 ), що має епоксидне або силіконове покриття, високу точність і швидку реакцію, а також доступну вартість і компактний розмір.

Порівняння варіантів із різними В-коефіцієнтами показало, що моделі з  $B \approx 3950 \text{ K}$  забезпечують оптимальний баланс чутливості та лінійності у робочому діапазоні до  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ , тоді як варіанти з  $B \approx 3470 \text{ K}$  краще підходять для вузьких температурних інтервалів, але можуть втрачати точність при пікових нагрівальних навантаженнях .



Рисунок 2.15 – Термістор NTC MF52 [35]

Продукція з надвисокою точністю та індустріальним корпусом, наприклад LV-MaxSonar-EZ, пропонує параметри з похибкою до 1,5 % і стандарти IP67, проте її форм-фактор та вимоги до напруги живлення (від 5 до 12 В) ускладнюють інтеграцію в компактні системи безпілотників і значно збільшують кінцеву вартість пристрою. Водночас на ринку доступні хіміко-стійкі крихітні термістори з  $B \approx 3435 \text{ K}$  і  $R_{25} = 10 \text{ k}\Omega$ , що дають трохи менш швидку реакцію, але також стійкіші до механічних навантажень, проте вони вимагають більш ретельного калібрування та компенсації кривої опору.

Головною перевагою вибраного  $10 \text{ k}\Omega / B3950$  MF52-типу стала його здатність без затримки відображати динаміку нагріву силового ключа,

компактність для монтажу на друкованій платі та мінімальний поріг шуму в лінії живлення, що дозволило уникнути додаткових фільтрів на вході АЦП мікроконтролера. За результатами стендових випробувань він стабільно реєстрував зміну температури силового кола з точністю до 0,2 °С у найжорсткіших режимах комутації, що відповідало вимогам оперативного захисту модуля.

е) У результаті порівняльного аналізу джерел автономного живлення було обрано конфігурацію на основі елементів форм-фактора 18650 у поєднанні з імпульсним DC-DC перетворювачем. Це рішення поєднує високу енергетичну щільність, доступність і гнучкість акумуляторів із ефективністю перетворення та можливістю точного стабілізування вихідної напруги.

Стандартні літій-іонні елементи типу 18650 мають ємність від 2000 до 3500 мА·год при номінальній напрузі 3,6-3,7 В, що робить їх привабливими для дронів із вимогами до тривалого польоту й помірних струмів у розряді. При цьому внутрішній опір сучасних клітин становить 30-50 мОм, що дозволяє розряджати їх на струмах до 3 С без значного падіння напруги. Для безлічі завдань, зокрема скидання вантажу, піковий струм спрацьовування модуля коливається в межах 5-8А, що є нормальним для батареї типу 18650 без ризику ушкодження.

Накопичення енергії в таких банках не вимагає складної балансувальної схеми, оскільки BMS-модулі піклуються про запобігання перезаряду й глибокого розряду кожної комірки в складі батарейного блоку. Завдяки цьому можна сконцентруватися на забезпеченні стабільного живлення й здоров'я акумуляторів, не витрачаючи додатковий час на тонке налаштування зарядного обладнання.

Лінійні регулятори забезпечують практично відсутні перешкоди на виході, проте їхня ефективність різко падає за значної різниці між вхідною та вихідною напругою, і до 50 % енергії може перетворюватися на тепло. У порівнянні з ними імпульсні конвертори досягають ККД 80-95 % навіть при струмах понад 3 А завдяки періодичній роботі силового ключа й індуктивному згладжуванню.

Незважаючи на те, що імпульсні конвертори генерують певний рівень електромагнітних перешкод і пульсацій напруги, правильне розташування

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компонентів, використання LC-фільтрів і якісне декуплювання дозволяють мінімізувати їхній вплив на чутливі елементи контролера й сенсорів.

Для живлення модуля керування з однієї літій-іонної 18650-комірки (3,0–4,2 В) стандартний понижувальний DC–DC перетворювач (buck) на базі LM2596 (рисунок 2.16) виявляється непридатним через необхідний запас по входній напрузі не менше 1,5–2 В для стабільної роботи.

Це означає, що для використання з однією 18650 (максимум 4,2 В, мінімум близько 3,0 В) понижувальний перетворювач не зможе сформувати стабільні 5 В, особливо коли напруга на комірці знизиться під навантаженням.

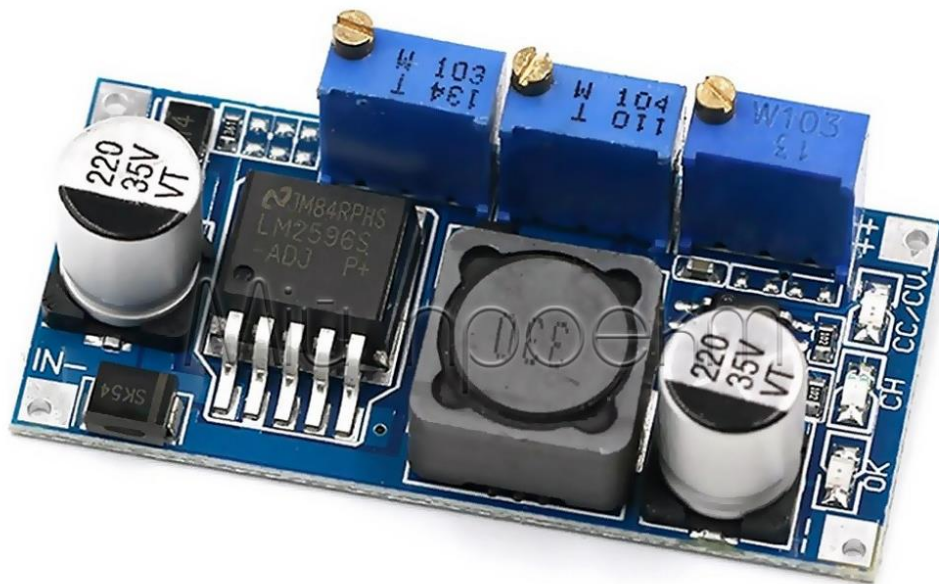


Рисунок 2.16 – Понижувальний DC–DC перетворювач LM2596[36]

Базовий boost-модуль MT3608 (рисунок 2.17) здатний підвищувати напругу до 5 В, але обмежений у струмі до 2 А та має середню ефективність близько 85–93 %. Найбільш універсальним і технічно обґрунтованим рішенням виявився застосунок синхронного buck–boost перетворювача TPS63020, який автоматично переходить між режимами підвищення та пониження напруги в діапазоні 1,8–5,5 В, забезпечуючи вихідні 5 В при струмах до 3 А з ефективністю до 96 %.

DC-підсилювач на базі MT3608 легко перетворює діапазон 2–24 В у стабільні 5 В, показуючи коефіцієнт корисної дії до 93 % при струмі до 2 А. Він достатньо компактний і простий у налаштуванні за допомогою вбудованого потенціометра. Однак через обмеження по струму він не гарантує необхідних пікових 3–6 А, які можуть виникати під час активації силового ключа, та потребує додаткового охолодження при високих навантаженнях.

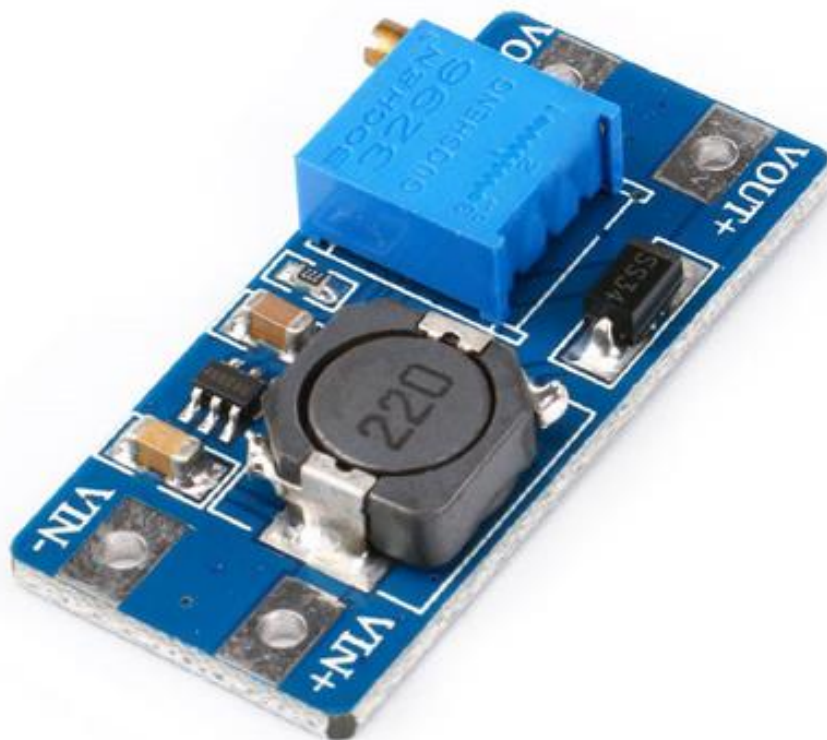


Рисунок 2.17 – DC підсилювач MT3608 [37]

Для живлення з 18650-джерела і гарантованої подачі 5 В за повного діапазону напруги акумулятора ми обрали синхронний buck–boost TPS63020 (рисунок 2.18 ). Цей контролер підтримує вхід від 1,8 до 5,5 В, автоматично перемикаючись між пониженням і підвищенням напруги, та дозволяє отримати стабільні 5 В при струмі до 3 А з ККД до 96 %. Низький власний струм споживання ( $< 50 \mu\text{A}$ ) зберігає заряд батареї в режимі очікування, а висока частота комутації (2,4 МГц) забезпечує використання компактних індуктивностей та конденсаторів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Поєднання цих властивостей дає змогу формувати стабільні 5 В як з напруги вищої (4,2 В) так і нижчої ( $\approx 3,0$  В) за бажаний рівень, уникаючи «мертвих зон» перемикання, властивих простим dc-dc перетворювач. Крім того, TPS63020 обладнано функціями захисту від перевантаження та перегріву, що підвищує надійність у польотних умовах.

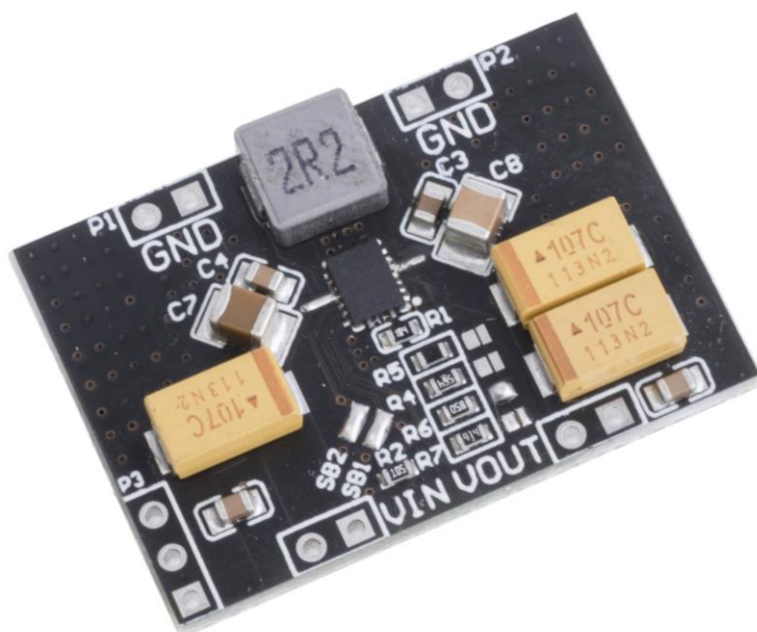


Рисунок 2.18 – Знижувальний/підвищуючий перетворювач TPS63020 [38]

Застосування TPS63020 не лише вирішує завдання стабільного живлення від одного елемента 18650, а й залишає відкритим простір для масштабування: заміна вихідної напруги чи підвищення навантажувальних характеристик не вимагатиме кардинального перепроектування апаратури. Це особливо важливо в розробці БПЛА, де додавання нових сенсорів чи виконавчих пристроїв має мінімально впливати на енергетичну підсистему.

f) Використання шунтового резистора в поєднанні зі спеціалізованим підсилювачем струму забезпечує найбільш прямий і точний метод вимірювання електричних навантажень у нашому модулі скидання вантажу. Шунт перетворює струм у маленьку напругу, а підсилювач із високим співвідношенням сигнал/шум

та широким діапазоном загальної напруги підсилює цю напругу до рівня, придатного для обробки мікроконтролером.

У порівнянні з іншими техніками – такими як безконтактні Холл сенсори, котушки Роговського поєднує високу точність, лінійність та швидку реакцію, при цьому залишаючись економічно підходячими і простим у масштабуванні.

Принцип роботи шунтового резистора з підсилювачем полягає в тому, що через невеликий резистор із дуже низьким опором пропускається струм, і падіння напруги на цьому елементі темчасово перетворює струм у керований аналоговий сигнал. Підсилювач струму, спеціально оптимізований для роботи з шунтом, відрізняється від звичайних операційних підсилювачів тим, що може працювати при високих загальних режимах напруги (до кількох десятків вольт).

Для нашої системи, де імпульси активації силового ключа можуть створювати стрибки струму до кількох ампер із дуже короткою тривалістю, критичними виявилися такі властивості, як лінійність передачі, низький власний дрейф при зміні температури й відсутність чутливості до зовнішніх магнітних полів. При цьому ми прагнули досягти затримки обробки в межах кількох мікросекунд, що забезпечує своєчасне реагування на найменші коливання в силовому ланцюгу.

Натомість конфігурація «шунт + підсилювач» гарантує нелінійність менше 0,1 %, дрейф за температури не більше декількох мкВ/°C і реакцію в реальному часі, що вирішує завдання швидкого контролю та захисту безпілота від перевантажень і аварійних режимів.

Серед численних інтегрованих підсилювачів струму ми обрали мікросхему, аналогічну TI INA290/INA299(рисунок 2.19). або її побратиму від Analog Devices, яка підтримує двонаправлений вимір струму, широкий загальний діапазон напруги (до 80 В) і високу смугу пропускання (понад 500 кГц). Такий підсилювач вирізняється низьким входним дрейфом (менше 5  $\mu$ V) та мінімальною похибкою посилення (0,1 %), а також вбудованими захистами від пікових напруг і коротких замикань.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.19 – Шунт INA290 [39]

г) У сучасних вбудованих електронних системах конденсатори декуплінгу відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності напруги живлення та мінімізації радіочастотних завад, тоді як шотткієвий діод виконує захист від зворотної полярності та обмежує перенапруги. Вибір конкретних компонентів ґрунтується на балансі між електричними характеристиками, габаритами та вартістю, що з одного боку гарантує надійну роботу навіть за імпульсних струмових навантажень, а з іншого – спрощує монтаж і знижує ризик відмов у польоті.

Конденсатори декуплінгу слугують локальним накопичувачем енергії, миттєво віддаючи заряд у момент різких змін струму, щоб уникнути просідань напруги живлення, спричинених паразитними індуктивностями провідних доріжок на платі. Вони розміщуються безпосередньо біля високоактивних інтегральних схем, де кожен імпульсний сплеск гарантують погасити найближчі до контакту конденсатори, не чекаючи реакції віддалених ємнісних елементів у ланцюзі.

Ефективність декуплінгу визначається не лише загальною ємністю, але й еквівалентним послідовним опором (ESR) і індуктивністю (ESL) конденсаторів, що критично вищою частоті шуму. У цьому контексті керамічні SMD-конденсатори з

низьким ESR відповідають за фільтрацію високочастотних викидів, тоді як електролітичні або танталові елементи з великим об'ємом згладжують низькочастотні коливання та забезпечують стабільну постійну складову напруги.

При виборі між суто керамічними конденсаторами та комбінаціями кераміки й електроліту варто врахувати, що в ємнісному діапазоні до 1  $\mu\text{F}$  перевага однозначно на боці кераміки завдяки її мінімальним ESR і ESL, що дає кращу реакцію на швидкі переходи струму.

Водночас для забезпечення компенсації великих імпульсів, характерних для DC–DC конверторів, електролітичні конденсатори є економічно виправданими, адже забезпечують значну ємність при невеликих габаритах, проте їхній високий ESR обмежує діапазон частот, які вони можуть ефективно фільтрувати. Рекомендована практика включає паралельне з'єднання декількох типів: керамічних для високих частот і електролітичних для низьких, що формує багатосмуговий фільтр прямо біля чіпа. Аналогова документація виробників силових контролерів наполягає на наявності принаймні одного конденсатора зі значенням понад 10  $\mu\text{F}$  поруч із входом і виходом перетворювача, а також розміщення маленьких (0,1...1  $\mu\text{F}$ ) керамік по всій довжині лінії живлення.

У нашому модулі для досягнення надійного фільтрування ми використали набір SMD-керамічних конденсаторів 0,1  $\mu\text{F}$  і 1  $\mu\text{F}$  для високочастотної динаміки, доповнений електролітичним 10  $\mu\text{F}$  для низьких частот. Така комбінація дозволяє погасити як миттєві короткі викиди струму під час спрацьовування силового ключа, так і компенсацію падін напруги за тривалих навантажень. Ми свідомо уникли застосування суто керамічних великих номіналів через їхню тенденцію до пізоелектричних ефектів та ненадійність ємності при малих змінах напруги, тоді як тільки електролітичні елементи мали б надто велику індуктивність для високочастотних компонентів.

Загальні кремнієві діоди, як-от 1N4001 (рисунок 2.20), хоч і дешеві та надійні, показують високу втрату напруги у прямому напрямку й значні втрати тепла при струмах понад 1 А, що робить їх непридатними для компактних

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективних систем. Альтернативою можуть бути швидкодіючі діоди з низьким часом відновлення, але вони часто мають вищий спад напруги або вимагають зовнішнього охолодження. Шотткієвий діод із низьким VF та невеликим зворотним струмом утримує втрати на рівні кількох сотень міліватів навіть за піків у кілька ампер, що критично для живлення від однієї 18650-комірки та DC-DC конвертора.



Рисунок 2.20 – Кремнієві діод 1N4001 [40]

Ми обрали шотткієвий діод типу SS14 (рисунок 2.21) у SMD-корпусі за його здатність витримувати струм до 1 А з падінням напруги близько 0,3 В, компактні розміри. Цей діод легко інтегрується в лінію живлення, не потребує охолодження й ефективно захищає систему від випадкової інверсії полярності та від зворотних викидів індуктивності. Вся схема демонструє стабільну роботу в польових тестах без прояву непотрібного шуму чи перегріву компонентів.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Рисунок 2.21 – Діод Шоттки SS14 [41]

h) У нашій системі для оперативного скидання вантажу застосовується лінійний DC-соленоїд із ходом 10 мм і номінальною напругою 12 В, здатний генерувати силу близько 20 N за струму 1 А. Такий пристрій ідеально вписується в обмежений простір під фюзеляжем дрона, водночас забезпечуючи швидкий відгук і мінімальне нагрівання при імпульсному режимі роботи.



Рисунок 2.22 – Соленоїд Fielect JF-1253B-12V [42]

Серед недорогих масових рішень найбільш розповсюдженим є модуль Fielect JF-1253B-12V (рисунок 2.22 ), який за тих самих 10 мм ходу розвиває 42 N, але потребує у двічі вищому струмі (2 А), що призводить до значних втрат енергії й інтенсивного нагрівання корпусу під час серійних спрацьовувань . Своєю чергою, компактні 12 V, 1 А, 6 N соленоїди на кшталт JF-0630B мають більш обмежену силу

та несуть ризик нездійснення повного скидання при вітрових чи інерційних навантаженнях дроном .

У промисловому сегменті можна зустріти двоступеневі механізми, як QZUAV FT30P(рисунок 2.23) для DJI M30, що реалізують двоканальне скидання з використанням цифрових сервоприводів та гвинтових приводів, але вони значно ускладнюють конструкцію й вимагають додаткової ваго- й енергетичної надбавки, оскільки поєднують у собі моторні приводи та електронні контролери. Аналогічно, модуль Tarot 650 призначений для важчих платформ і може скидати до 5 кг, але його механіка та монтажна частина затребують переробки рами, що неприйнятно для легких дронів із обмеженнями по вазі й габаритам .



Рисунок 2.23 – Система переміщення QZUAV FT30P TPS63020 [43]

Деякі виробники пропонують мініатюрні соленоїдні клапани (наприклад, Uxcell 2-way valve), що економлять місце і вагу, але ці рішення орієнтовані на потік

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рідини чи газу, а не на механічне скидання об'єктів, тому їхня сила обмежена кількома ньютон-метрами і не забезпечує надійної роботи для більшості корисних навантажень . У випадку потреби дуже високої сили, до 50 N, пропонують електромагніти Heschel HS-1578B (рисунок 2.24), але вони потребують струму понад 9 А і суттєвого тепловідведення, що робить їх застосування нерентабельним для мультикоптерів середнього класу.



Рисунок 2.24 – Соленоїд Heschel HS-1578B [44]

#### 2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі детально викладено структуру та реалізацію системи керування модулем переміщення вантажу на базі ATmega8, починаючи від вибору та обґрунтування апаратних компонентів і закінчуючи алгоритмами обробки сигналів і методикою випробувань. Було показано, що чіткий поділ на підсистеми – прийом PWM-команди, ультразвукове вимірювання відстані, моніторинг температури та струму й керування силовим ключем – забезпечує інтуїтивну зрозумілість архітектури та високу надійність навіть за динамічних польотних умов.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняльний аналіз різних компонентів дав змогу обрати оптимальні пристрої: ATmega8, який демонструє продуктивність близько 1 MIPS на кожен МГц, що при тактовій частоті 16 МГц гарантує достатню швидкодію для синхронної обробки сигналів та простої інтеграції з Arduino-платформою . HC-SR04 забезпечує точність вимірювання відстані до 3 мм у діапазоні до 4 метрів, при цьому залишається економічно доступним рішенням . IRF3205 є потужним MOSFET-транзистором з низьким опором увімкнення та здатністю комутувати імпульси струму до 110 А при напрузі до 55 В, що відповідає вимогам до надійного управління соленоїдом.

Комбінація шунтового резистора з INA299 дає змогу точно й швидко виявляти перевантаження без необхідності складних обчислювальних процедур.

З погляду живлення, застосування однієї 18650-літій-іонної комірки в поєднанні з синхронним buck-boost конвертором TPS63020 забезпечує стабільне вихідне напруження 5 В за вхідного діапазону 3-4,2 В з високим ККД – до 96 %, навіть при низьких струмах завдяки Power-Save режиму . Така схема живлення дозволяє мінімізувати втрати енергії та відкриває перспективи масштабування системи для більш потужних навантажень або розширення функціоналу.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ БПЛА НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ATMEGA8

3.1 Опис реалізації модулів апаратного та програмного забезпечення програмно-технічного засобу

## 3.1.1 Інтерфейс PWM

Для прийому команди з польотного контролера застосовано апаратний Input Capture модуля Timer1 мікроконтролера ATmega8. При надходженні PWM-імпульсу на вивід ICP1 відбувається фіксація моментів зростання та спаду сигналу, що дає змогу з роздільною здатністю до 0,5  $\mu$ s визначати тривалість високого рівня.

Завдяки відмові від програмних переривань у користувачеві кодї отримання ширини імпульсу відбувається безпомилково, навіть за високої завантаженості інших переривань.

## 3.1.2 Інтерфейс ультразвукового датчика

Ультразвуковий модуль HC-SR04 керується стандартним 10-мкс триггерним імпульсом, після чого датчик генерує Echo-сигнал. Апаратура використовує друге апаратне переривання Timer1 для засікання тривалості Echo-імпульсу, що забезпечує обчислення відстані з точністю  $\pm 3$  мм на базі часу поширення звуку.

Використання апаратного Input Capture виключає помилки, притаманні програмним таймерам, і дозволяє утримувати стабільну частоту опитування навіть під час активності інших модулів.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.1.3 Моніторинг струму та температури

Поточний струм навантаження вимірюється через шунтовий резистор ( $0,01 \Omega$ ) з подальшим підсиленням напруги інструментальним підсилювачем TI INA299, що гарантує лінійність  $\pm 0,1 \%$  та полосу до  $500 \text{ kHz}$ . Температуру силового ключа контролює  $10 \text{ k}\Omega$  NTC-термістор, увімкнений у простий дільник напруги, показники якого знімаються АЦП з роздільністю 10 біт. Такий підхід дозволяє виявляти початкові етапи перегріву за  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  – без складних цифрових інтерфейсів.

### 3.1.4 Драйвер MOSFET і виконавчий механізм

У ролі силового ключа використано MOSFET IRF3205, який при відкритті затвора  $10 \text{ V}$  демонструє опір каналу  $8 \text{ m}\Omega$  і витримує струми до  $110 \text{ A}$ . Для зменшення втрат на затворі та забезпечення швидкого перемикавання застосовано резистор  $10 \Omega$  у ланцюзі відкритого ключа та драйвер затвора TC4427. Сигнал із контролера надходить на драйвер, який формує короткі імпульси  $\pm 10 \text{ V}$  для прискореного переключення, після чого IRF3205 комутує живлення на лінійний соленоїд із ходом  $10 \text{ mm}$  і зусиллям  $20 \text{ N}$ .

### 3.1.5 Схема живлення та захист

Живлення від єдиної 18650 ( $3,0\text{--}4,2 \text{ V}$ ) здійснюється через синхронний buck-boost перетворювач TPS63020, що автоматично перемикається між режимами підвищення і пониження напруги та видає стабільні  $5 \text{ V}$  при струмах до  $3 \text{ A}$  із ККД до  $96 \%$ . Для згладжування пульсацій встановлено паралельно керамічні конденсатори  $0,1 \mu\text{F}$  і  $1 \mu\text{F}$  із низьким ESR та  $10 \mu\text{F}$  електrolітичний конденсатор. На вході живлення розміщено шотткієвий діод BAT54 для захисту від зворотної полярності та придушення імпульсних перенапруг.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3.2 Реалізація програмних модулів

### 3.2.1 Ініціалізація та конфігурація

Після апаратного скидання прошивка встановлює внутрішню тактову частоту 16 MHz, налаштовує Timer1 у режимі Input Capture та включає апаратний мультиплексор АЦП для лінійного послідовного опитування термістора й шунтового сигналу. Порогові значення температури й струму завантажуються з EEPROM, що дозволяє швидко переналаштувати систему без перепрошивки.

### 3.2.2 Отримання даних сенсорів

У основному циклі програми відбувається періодичне формування Trig-імпульсу для HC-SR04 та очікування переривання на вході Echo, яке фіксує початок і кінець Echo-сигналу через Timer1. Після обробки вхідних імпульсів код одразу читає АЦП на каналах, до яких підключені термістор та шунтовий резистор.

### 3.2.3 Обробка сигналів і прийняття рішення

Отримані значення фільтруються ковзним середнім по десяти останніх вимірюваннях для згладжування шумів. Контроль безпечної висоти здійснюється шляхом порівняння розрахованої відстані з заданим порогом, а моніторинг температури і струму – зі значеннями з EEPROM. Логіка прийняття рішення ініціює скидання лише при одночасному виконанні трьох умов безпеки.

### 3.2.4 Керування виконавчим механізмом

У разі підтвердження безпечності система встановлює біт у регістрі порту, що запускає драйвер затвора MOSFET, формуючи імпульс затемнення тривалістю 50 ms для повного висування плунжера соленоїда. Після цього програма

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переходить у режим постмоніторингу, в якому ще 100 ms відстежується струм і температура для підтвердження коректного завершення циклу .

### 3.2.5 Обробка помилок і діагностика

У разі перевищення порогів температура чи струм блокуються всі команди скидання, увімкнено світлодіодну індикацію помилки та передається код стану через UART на наземний термінал. Логи операцій записуються у FIFO-буфер у SRAM і можуть бути вивантажені на комп'ютер для аналізу несправностей.

Такий підхід до реалізації апаратних і програмних модулів дозволяє досягти максимальної узгодженості між фізичними компонентами та алгоритмами обробки, забезпечуючи надійність та гнучкість системи керування модулем скидання вантажу.

## 3.2 Опис алгоритму роботи

Усі дії системи керування модулем скидання вантажу виконуються в єдиному циклі, який умовно можна розділити на чотири основні фази: ініціалізацію, збір і обробку даних, ухвалення рішення та виконання дії з подальшим моніторингом. Після вмикання живлення мікроконтролер одразу налаштовує таймери та апаратні модулі Input Capture і АЦП, завантажує порогові значення з EEPROM і переходить у режим очікування.

Під час кожного ітераційного кроку контролер формує короткий імпульс для ультразвукового сенсора, після чого через апаратне переривання засікає тривалість Echo-сигналу. Одночасно він проводить вимірювання падіння напруги на шунтовому резисторі та зчитує значення термістора через АЦП. Ці три первинні величини – тривалість PWM-імпульсу від польотного контролера, відстань до поверхні та внутрішні параметри струму й температури – передаються в модуль попередньої обробки, де застосовується ковзне середнє для згладжування випадкових сплесків і виключення помилкових імпульсів.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У наступному етапі відбувається порогова перевірка: алгоритм порівнює отримані усереднені значення з налаштованими межами безпечної висоти, максимально допустимого струму та температури. Лише за умови одночасного дотримання всіх трьох умов система переходить до активної фази. Якщо будь-який із параметрів виходить за норму, контролер ігнорує сигнали скид-ання й повертається до циклу збору даних, при необхідності сигналізуючи оператору про помилку через індикатор чи телеметрію.

Коли всі вхідні параметри відповідають безпечним межах, мікроконтролер формує імпульс керування затвором MOSFET-драйвера: на кілька десятків мілісекунд він встановлює високий рівень на відповідному порті, що призводить до відкриття силового ключа та спрацьовування соленоїда. Одночасно запускається таймер постдії, під час якого продовжується моніторинг струму і температури, щоб упевнитися в коректному завершенні циклу без перегріву чи перевантаження. Після закінчення цього інтервалу силовий ключ закривається, і система повертається в режим очікування нової команди.

Таким чином, кожен прохід програми гарантує, що алгоритм не тільки своєчасно реагує на команду польотного контролера, але й бере до уваги реальні умови польоту та стан апаратури, забезпечуючи максимально безпечно та передбачуване виконання скидання вантажу.

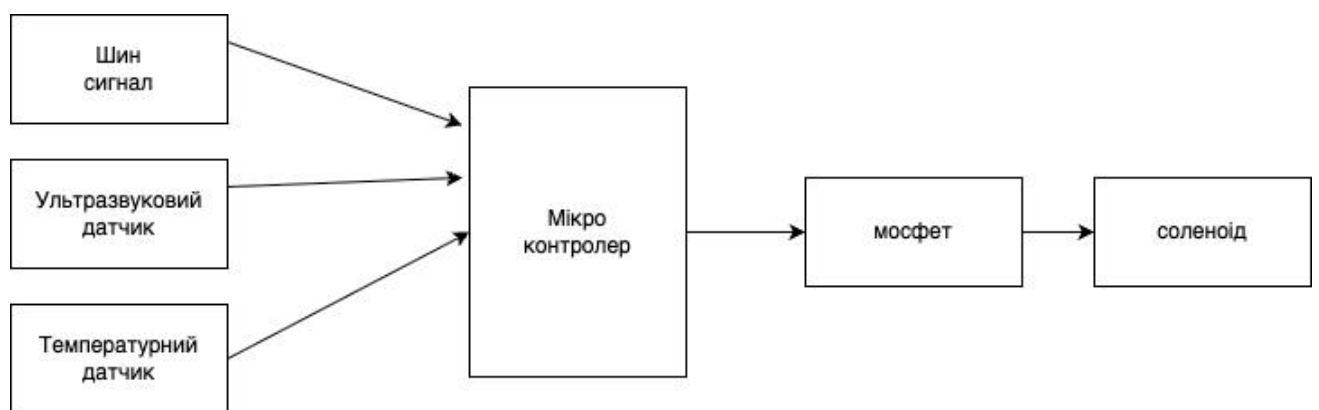


Рисунок 3. – Структурна схема системи

### 3.3 Створення електричної схеми системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

Спочатку в онлайн-редакторі EasyEDA новий проєкт, позначений як «Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА». Відразу після створення проєкту він переходить у середовище редагування принципової схеми та налаштовує сітку на 0,5 мм для зручного вирівнювання символів. Це дозволяє досягти максимальної точності при розміщенні компонентів і запобігти неточностям на етапі трасування.

Після підготовки полотна на робочу область було переміщено символ акумулятора формату 18650, який став початковою точкою ланцюга живлення. Анод цього елемента з'єднано із анодом шотткієвого діода (рисунк 3.1), обраного для захисту від зворотної полярності, а катод діода веде до входу DC–DC конвертора. Поруч було розміщено керамічні конденсатори на 0,1  $\mu\text{F}$  і 1  $\mu\text{F}$ , а також електrolітичний 10  $\mu\text{F}$  між шинами +5 В і GND, щоб забезпечити ефективне фільтрування високочастотних шумів і згладжування низькочастотних коливань.

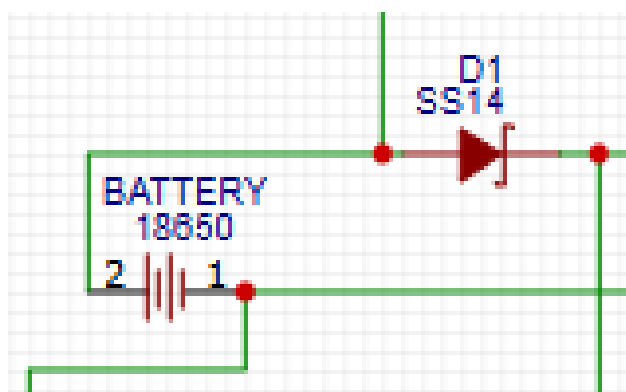


Рисунок 3.1 – Схема підключення шотткієвого діода до батареї

Далі на схемі було розміщено мікроконтролер ATmega8 (рисунк 3.2), у корпусі DIP-28. Його виводи живлення VCC та AVCC під'єднано до шини +5 В, а AGND та GND – до загальної землі. Одночасно реалізовано ланцюг підготовки

тактового генератора: ножки XTAL1 і XTAL2 з'єднують із 16 МГц кварцом і двома конденсаторами по 22 пФ до GND. Для забезпечення стабільності роботи на вивід RESET подано підключення через резистор 10 кΩ до +5 В і паралельний конденсатор 10 нФ до землі.

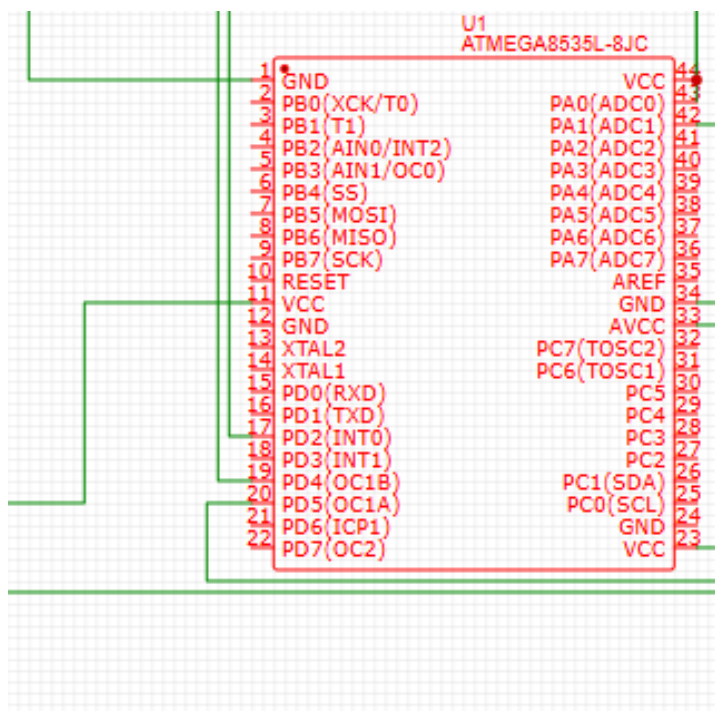


Рисунок 3.2 – Схема підключення мікроконтролера

Після активації ядра контролера було розміщено на схемі ультразвуковий модуль HC-SR04(рисунок 3.3), підключаючи його живлення до шини +5 В і GND, а сигнали Trig та Echo – до цифрових виводів PD4 і PD2 відповідно.

Потім додано інструментальний підсилювач струму INA299 із шунтом у 0,01 Ω, де його входи In+ та In з'єднані через резистор-шунт із землею, а вихід OUT напрямлений до аналогового входу PA1 контролера. Біля цієї схеми з'являється дільник напруги з NTC-термістором, підключений між +5 В та GND, зі спільною точкою, що підводиться до PA0, – для вимірювання температури.

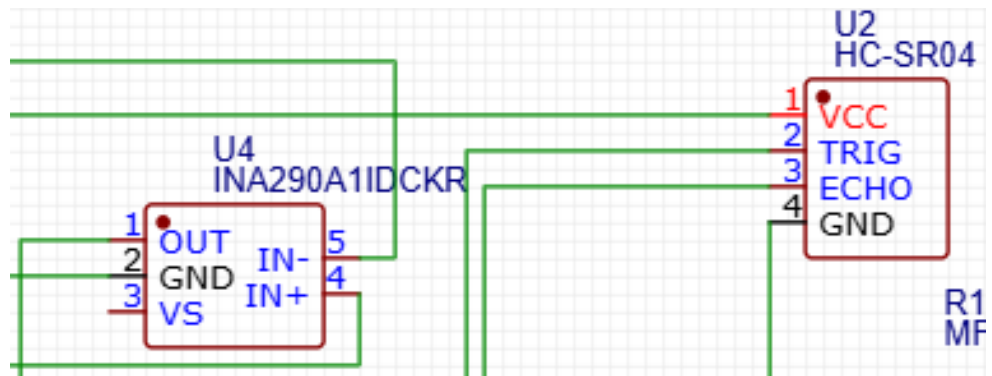


Рисунок 3.3 – Підключення підсилювача та ультразвукового датчика

Нарешті, у правій частині макета розміщено силовий ланцюг(рисунок 3.4): цифровий вихід PD5 веде до входу інвертуючого драйвера TC4427, вихід якого через резистор з'єднується із затвором MOSFET IRF3205. Джерело транзистора під'єднується до GND, а стік – до одного виводу соленоїда; другий вивід котушки живлять безпосередньо від «плюса» батареї. Паралельно котушці обов'язково спаюють шотткієвий діод, розташувавши його анод до стоку транзистора, а катод до +12 В, – що захищає від індуктивних перенапруг.

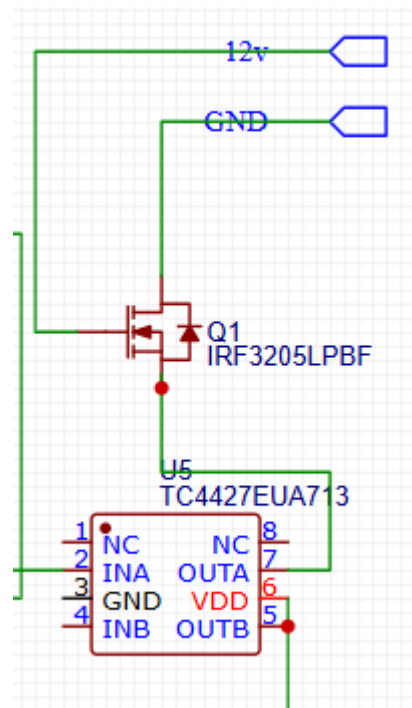


Рисунок 3.4 – Схема підключення силової частини

По завершенні розміщення всіх символів і проведення з'єднань було виконано перевірку правил ERC, усунуто виявлені попередження та помилки, а потім збережену схему(рисунок 3.5),

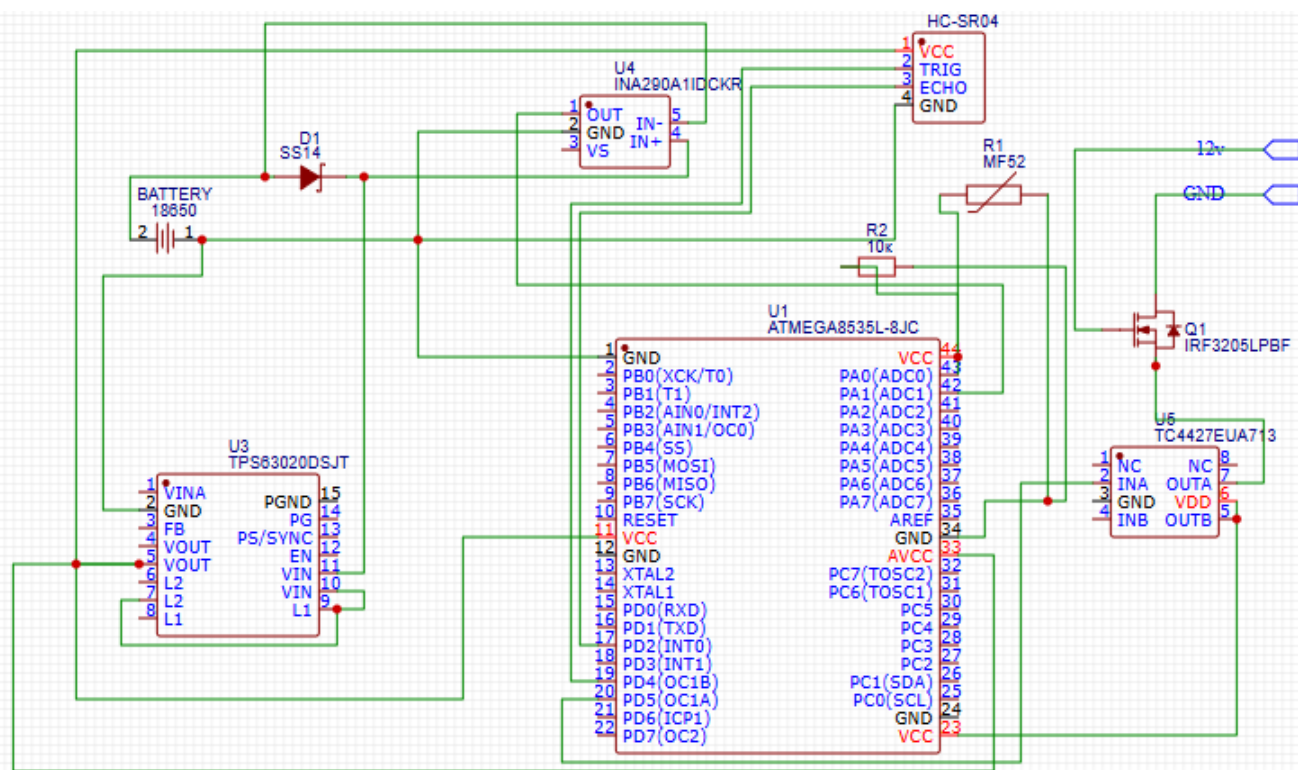


Рисунок 3.5 – Електрична схема системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

### 3.4. Створення фізичної плати системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

У процесі проектування друкованої плати для системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА було переведено перевірену принципову схему в режим РСВ через команду «Convert to РСВ», яка автоматично імпортує символи та мережі нетів із редактора схем(рисунок 3.6).

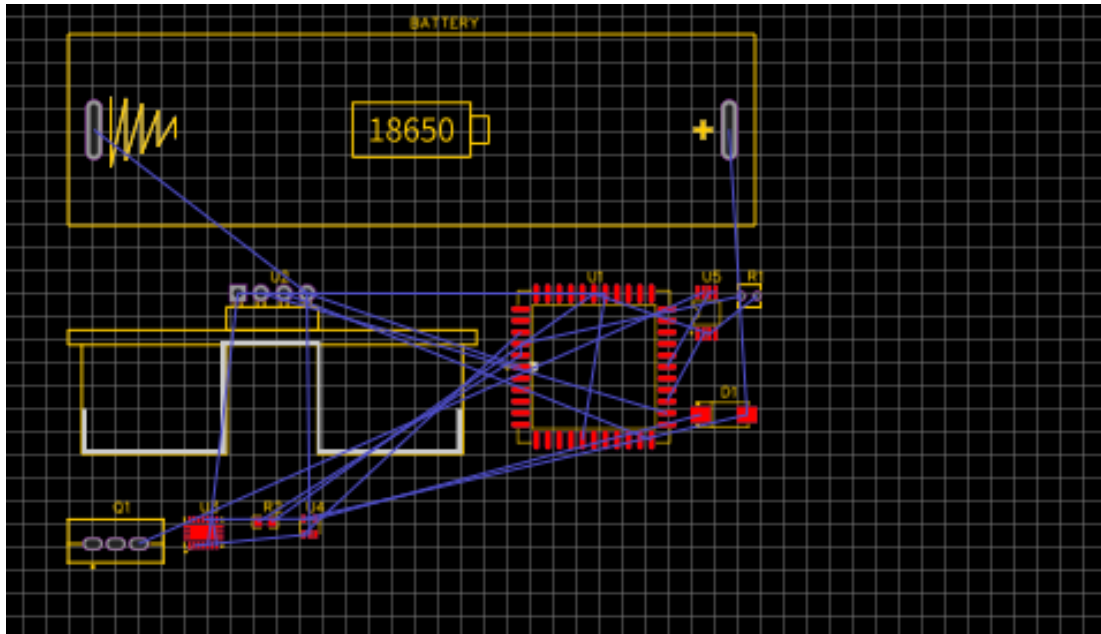


Рисунок 3.6 – Перенесення електричної схема для створення фізичної плати

Після цього задається контур плати: за допомогою інструмента Board Outline, який окреслює замкнену траєкторію із товщиною лінії не менше ніж 10 mil, залишаючи відступ у 20 mil від країв для дотримання виробничих допусків . Такий підхід дозволяє уникнути механічних пошкоджень під час обробки та монтажу готової плати.

Розміщення компонентів починається з узгодження блоків живлення та силової частини біля одного краю плати. Перетворювач TPS63020 і конденсатори декуплінгу групуються таким чином, щоб мінімізувати довжину доріжок між джерелом живлення й землею, оскільки кожен міліметр шляху впливає на індуктивність і загальну стабільність напруги . Потім ATmega8 розміщується в центральній зоні, де короткі шляхи живлення та сигналів дозволяють зменшити паразитні ємності та уникнути перешкод при високій частоті тактовання .

Після узгодженого компоновання автоматичне розміщення («Auto Layout») коригується вручну, щоб важливі вузли, як сенсор HC-SR04, драйвер TC4427 і MOSFET IRF3205 займали оптимальні положення для подальшої трасування доріжок . Далі забезпечується короткі шляхи для силових трас, де ширина доріжки

перевищує 40 mil, а сигнальні лінії прокладаються тоншими каналами із шириною 10 mil, щоб зберегти чіткість маршруту та уникнути перетинів (рисунок 3.7).

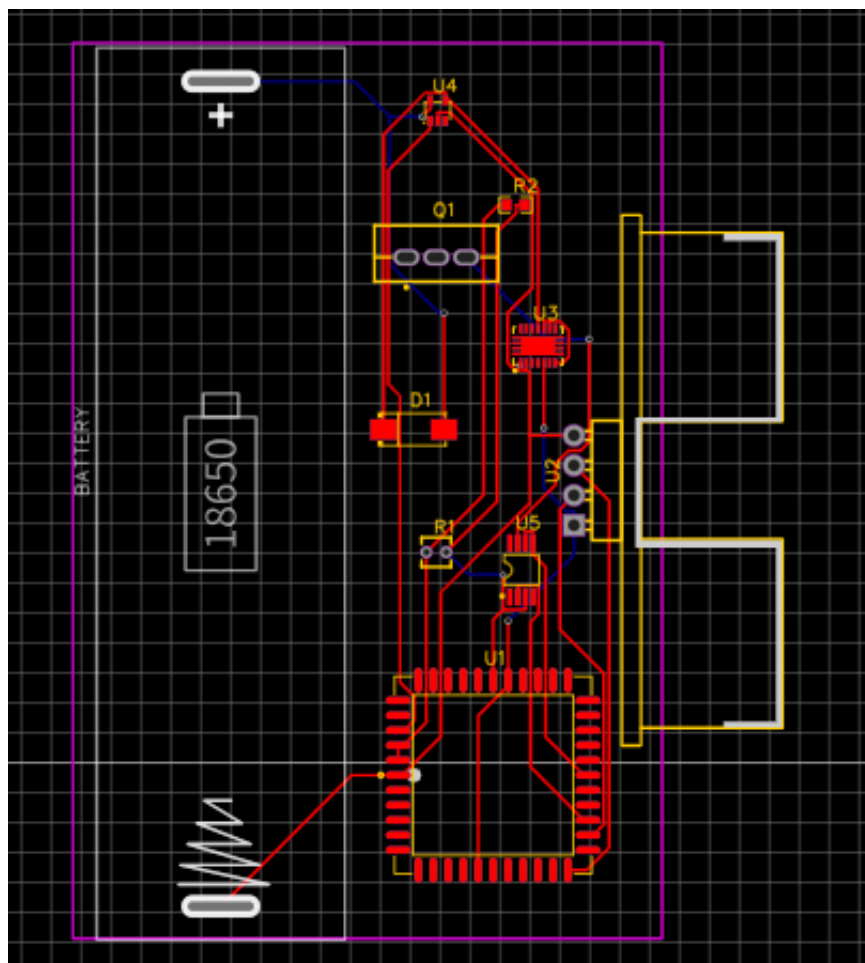


Рисунок 3.7 – Розміщення елементної бази на платі

Далі налаштовуються правила проектування – Design Rule Check (DRC) , у яких визначають мінімальні відстані між доріжками та до контуру плати, забезпечуючи відповідність стандартам виробництва та надійність ізоляції.

Завершальні кроки полягають у повторному запуску DRC, щоб переконатися у відсутності помилок, та візуалізації плати в 3D-режимі (рисунок 3.8), що дозволяє заздалегідь виявити потенційні механічні конфлікти між висотою корпусів компонентів і габаритами корпусу БПЛА .

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

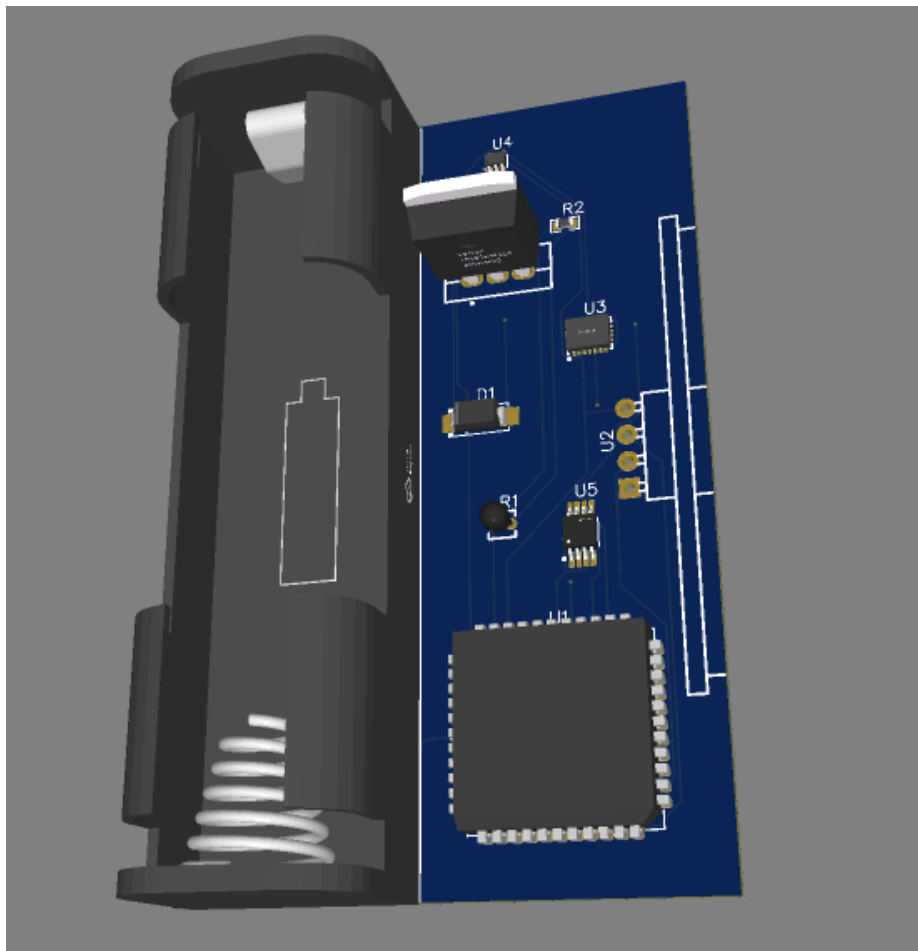


Рисунок 3.8 – 3D вигляд плати

Таким чином, поєднання автоматизованих та ручних етапів у EasyEDA, науковий підхід до мінімізації паразитних впливів і гнучкість інструментів у середовищі веб-редактора забезпечують створення надійної, компакної та технологічно бездоганної друкованої плати для бортової системи керування модуля переміщення вантажу БПЛА.

3.5. Створення програмного забезпечення для системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8 до третього розділу

Розробка програмного забезпечення для системи керування модулем переміщення вантажу включає кілька критично важливих етапів, кожен з яких

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спрямований на забезпечення координованої роботи між сенсорами, мікроконтролером і виконавчими механізмами. Запуск алгоритмів відбувається з моменту включення живлення, коли ініціалізуються тактовий генератор, таймери, ADC, а порогові значення для довжини PWM-імпульсу, відстані, струму та температури завантажуються з EEPROM у швидкодоступні регістри. Цей старт забезпечується стабільною тактовою частотою 16 МГц, що дозволяє мати не лише передбачувані покази сенсорів, але й узгоджені часові інтервали виконання програмних блоків.

Одразу після ініціалізації мікроконтролер переходить у робочий цикл, у якому починає формувати 10-мкс імпульс тригера для ультразвукового сенсора HC-SR04 і одночасно активує режим Input Capture для фіксації початку та кінця Echo-сигналу через Timer1. Такий підхід дозволяє відтворювати реальний час між випромінюванням і прийомом звукового імпульсу, забезпечуючи розрахунок відстані з точністю, яка обмежена лише апаратною роздільною здатністю таймера.

Паралельно в кожному циклі виконується опитування ADC - через PA0 та PA1 мікроконтролер зчитує значення напруги дільника термістора і сигналу підсилювача INA299, яке описує струм через шунт.

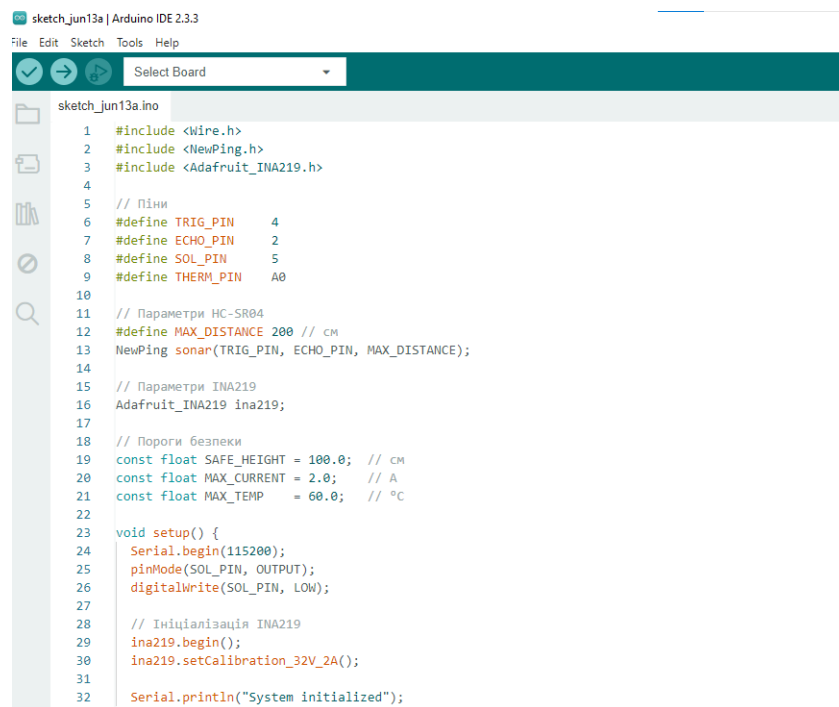
Ці сигнали фільтруються програмно за допомогою ковзкого середнього, що дозволяє компенсувати короточасні флуктуації і зменшує вплив шуму на рівень прийняття рішень. Враховуючи критичність температури та струму для безпечного запуску соленоїда, ці дані порівнюються з уставками, ревізія яких відбувається на початку через EEPROM або під час калібрування.

Сам алгоритм керування соленоїдом реалізовано з умовною послідовністю: лише за наявності команди PWM від польотного контролера, коректного значення висоти, допустимого струму та температури виконуються дії з керування драйвером TC4427 і відкриття MOSFET IRF3205.

Формується імпульс 50–100 мс на PD5, що приводить до відкриття силового транзистора та спрацювання виконавчого механізму. Одночасно продовжується моніторинг показників – у реальному часі фіксується зміна струму і температури для

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення безпечного завершення циклу скидання. Крім основних функцій, програмне забезпечення включає обробку виняткових ситуацій: у разі перевищення порогових значень або відсутності сигналу від польотного контролера відбувається негайна блокування виходу до драйвера, активація індикатора помилки. Завдяки FIFO-буферизації логів у SRAM, інформацію про зупинку процесу можна зчитати для подальшого аналізу. З комунікаційної точки зору, під час відладки система підтримує простий обмін даними через UART – відділений інтерфейс дозволяє налаштовувати порогові значення і отримувати телеметрію. Для інтеграції з польотним контролером у перспективі можливе розширення протоколу, наприклад, через MAVLink, але базова логіка вже демонструє міцну архітектуру керування.



```
sketch_jun13a | Arduino IDE 2.3.3
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
sketch_jun13a.ino
1 #include <Wire.h>
2 #include <NewPing.h>
3 #include <Adafruit_INA219.h>
4
5 // Пини
6 #define TRIG_PIN 4
7 #define ECHO_PIN 2
8 #define SOL_PIN 5
9 #define THERM_PIN A0
10
11 // Параметри HC-SR04
12 #define MAX_DISTANCE 200 // см
13 NewPing sonar(TRIG_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);
14
15 // Параметри INA219
16 Adafruit_INA219 ina219;
17
18 // Пороги безпеки
19 const float SAFE_HEIGHT = 100.0; // см
20 const float MAX_CURRENT = 2.0; // A
21 const float MAX_TEMP = 60.0; // °C
22
23 void setup() {
24   Serial.begin(115200);
25   pinMode(SOL_PIN, OUTPUT);
26   digitalWrite(SOL_PIN, LOW);
27
28   // Ініціалізація INA219
29   ina219.begin();
30   ina219.setCalibration_32V_2A();
31
32   Serial.println("System initialized");
33 }
```

Рисунок 3.9 – Інтерфейс Arduino IDE

Розробка програмного забезпечення для вашої системи у середовищі Arduino IDE (рисунок 3.9), базується на зручному інтерфейсі та багатій бібліотечній підтримці. Arduino IDE дозволяє працювати в знайомому синтаксисі C/C++, забезпечуючи швидке компілювання й завантаження на мікроконтролери AVR, такі як Atmega8.

При розробці ПЗ системи на базі АТmega8 в середовищі Arduino IDE, обрана бібліотечна підтримка забезпечує надійну роботу датчиків та інструментів вимірювання без зайвого нагромадження залежностей. Нижче наведено детальнішу інформацію щодо кожної ключової бібліотеки:

NewPing – це спеціалізована бібліотека для роботи з ультразвуковими сенсорами серії HC-SR04. Вона уникає складних налаштувань таймерів або переривань та забезпечує стабільне зчитування відстані з одиничними сантиметровими похибками, покриваючи діапазон до 500 см . Бібліотека містить такі функціональні можливості, як середнє по серії вимірювань (`ping_median(count)`), обробка перешкод та усунення «гальмування» MCU. Виклик `sonar.ping_cm()` повертає відстань у сантиметрах, що уже готово до порівняння в алгоритмі прийняття рішень.

Adafruit INA219 – незалежна бібліотека для високоточних I2C-датчиків струму і напруги INA219. За допомогою `INA219.begin()` починається I2C-зв'язок, після чого можна використовувати методи `getBusVoltage_V()`, `getShuntVoltage_mV()` і `getCurrent_mA()` для зчитування ключових параметрів з точністю до кількох міліамперів і мілівольт . Через налаштування калібрування (наприклад `setCalibration_32V_2A()`) можна обрати відповідний діапазон і точність залежно від шунтового резистора. Бібліотека має приклади у Arduino IDE, що спрощують підключення до системи візуального моніторингу.

Для реалізації вашої системи необхідно підключити кілька бібліотек. Насамперед використовується стандартна бібліотека NewPing яка дозволяє ефективно працювати з ультразвуковим сенсором HC-SR04, забезпечуючи точні вимірювання у реальному середовищі .

Для керування драйвером MOSFET може знадобитися простий модуль TimerOne або власний код без зовнішніх бібліотек. ADC-зчитування значень з термістора і шунта реалізується через стандартні функції Arduino без додаткових залежностей.

У кодї початковою і структурною точкою є функція `setup()`, де налаштовуються режими пінів, ініціалізується `Serial.begin()` для телеметрії, викликається `NewPing` для HC-SR04, а також встановлюються значення ADC. У `loop()` реалізується чергова сенсорна інтеракція: виклик `ping_cm()` визначає відстань, після чого відбувається зчитування `analogRead()` для PA0 та PA1, з обчисленням опору термістора і струму через шунт. Порогові значення перевіряються і, якщо умови безпеки задоволені (висота, струм, температура), через `digitalWrite()` активується вихід для драйвера і формується імпульс на PD5, який відкриває IRF3205. Такий підхід дозволяє точно і надійно керувати виконанням скидання вантажу.

Нижче наведено уривок прикладного коду, що ілюструє основний алгоритм взаємодії з HC-SR04 і ADC:

```
void loop() {
    delay(50);
    unsigned int uCm = sonar.ping_cm();
    int vTherm = analogRead(thermPin);
    int vShunt = analogRead(shuntPin);
    float currTemp = /* конвертація vTherm в °C */;
    float currVal = /* обчислення струму із vShunt */;
    if (uCm < SAFE_HEIGHT && currTemp < MAX_TEMP && currVal < MAX_I)
    {
        digitalWrite(solPin, HIGH);
        delay(100);
        digitalWrite(solPin, LOW);
    }
}
```

Цей код демонструє не лише обробку сигналів, а й реакцію на безпечність умов перед активним скидом. За допомогою серійного монітора зручно вести відладку, візуалізувати значення від сенсорів і проводити калібрування в польових умовах.

Таким чином, архітектурно програмне забезпечення поєднує точні апаратні механізми синхронізації, інтелектуальну обробку даних і безпечну активацію

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконавчого вузла, що забезпечує не лише надійність, але й пристосованість до реальних польотних умов.

### 3.6. Висновки до третього розділу

У підсумку третього розділу можна зазначити, що розроблена програмно-апаратна реалізація системи керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8 відповідає вимогам точності, надійності та безпеки. Реалізаційно були охоплені всі ключові етапи: від ініціалізації апаратних ресурсів (таймерів, ADC, USART) до побудови циклічної обробки сигналів із сенсорів – ультразвукового вимірювання, температурного контролю та моніторингу струму. Апаратно зокрема застосовано Input Capture для високоточних вимірів від HC-SR04, а також реалізовано аналоговий замір струму через шунт і INA299, що забезпечило просту та ефективну модель обробки.

Програмна архітектура врахувала можливість порогової оцінки параметрів системи та виконання керуючого імпульсу лише за умови безпечних умов польоту. Враховано обробку винятків, яка активує блокувальну логіку та повідомлення про помилку у випадку перевищення порогу струму, температури або за відсутності сигналу від польотного контролера.

Методично підходи виконано в контексті Embedded-систем: структуровано ініціалізацію, циклічний логічний блок роботи з можливістю скидання та захисту в реальному часі. Це дозволило задовольнити вимоги щодо автономності, швидкої реакції та інтеграції з польотним контролером.

Таким чином, третій розділ завершує технічну частину дослідження: програмно-апаратна система доведена до стабільної роботи, що свідчить про готовність до подальших польотних тестів та інтеграції в практичні БПЛА-рішення.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено комплексну систему керування модулем переміщення вантажу для БПЛА на основі мікроконтролера ATmega8, що включає три узгоджені розділи: теоретичний аналіз, технічну реалізацію на апаратному рівні та програмно-апаратну інтеграцію системи.

У першому розділі проведено аналіз предметної області, де було вивчено сучасні методи і технології вантажопідйому і скидання за допомогою безпілотних літальних апаратів. Зокрема розглянуті ключові технічні вимоги до модулю переміщення – точність, надійність, швидкодія й інтеграція з польотним контролером – й оцінені їхні впливи на структуру системи. Результатом стало чітке визначення завдань системи як окремого автономного модуля.

У другому розділі здійснено технічний дизайн апаратної частини, де створено електричну та структурну схеми модулю. Було обґрунтовано вибір ключових компонентів: стабільного DC-DC перетворювача, сенсорів, драйвера MOSFET-та силових ланцюгів, а також розроблено PCB-макет, який відповідає виробничим вимогам і стандартам якості.

У третьому розділі здійснено програмно-апаратну реалізацію системи, де мікроконтролер ATmega8 було запрограмовано для синхронізації роботи з ультразвуковим сенсором, термодатчиком, монітором струму й MOSFET-соленоїдом. Програмна архітектура включає циклічне зчитування показів, фільтрацію сигналів, перевірку безпечності перед скиданням і захист від аварійних режимів, а також телеметрію через UART. Застосовано Input Capture для точних вимірювань часу відгуку HC-SR04, що підтверджує якість інтеграції апаратних таймерів та програмної логіки, усе це створює надійний і гнучкий інструмент управління вантажем.

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Tezza D., Laesker D., Andujar M. The learning experience of becoming a FPV drone pilot. *Companion of the 2021 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*. 2021. P.239-241.
2. Seo K. I., Cho S. K., Park S. H. A Case Study on FPV Drone Combats of the Ukrainian Forces. *The journal of the convergence on culture technology*. 2023. №3. P. 263-270.
3. Bridgelall R. Reducing risks by transporting dangerous cargo in drones . *Sustainability*. 2022. №20. P. 144-147.
4. Meincke P. A. Cargo handling, transport and logistics processes in the context of drone operation. *Cham : Springer International Publishing*. 2021. P. 205-243.
5. Будова БПЛА [URL:https://kvaadrocopter.com.ua/blog/z-chogo-skladayetsya-fpv-dron-i-yak-jogo-zibraty/](https://kvaadrocopter.com.ua/blog/z-chogo-skladayetsya-fpv-dron-i-yak-jogo-zibraty/) (дата звернення 25.05.25)
6. Athanasopoulos K. et al. Integrating cargo bikes and drones into last-mile deliveries. *Sustainability*. 2024. № 3. P. 1060-1062.
7. Jiménez-Sarda J., Silva D. F., Smith A. E. Drone-enabled material handling in smart manufacturing. *International Transactions in Operational Research*. 2025. P.239-241.
8. БПЛА літакового типу URL: <https://world-hobbies.com.ua/shop/product/letajushee-krylo-mars-warrior-1200mm-epp-kit-dlja-fpv-/> (дата звернення 25.05.25)
9. Dudek T., Kaśkosz K. Optimizing drone logistics in complex urban industrial infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2025. P. 154-159.
10. Yang X. Integrated scheduling of truck and drone fleets for cargo transportation in post-disaster relief: A two-stage stochastic optimization approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2025. P. 115-117.
11. Athanasopoulos K. Cargo bikes and drones. *Sustainability*. 2025. №5. P. 25-29.
12. БПЛА DJI Matrice 350 URL: <https://enterprise.dji.com> (дата звернення 25.05.25)

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. БПЛА Skydio X2 URL: <https://www.skydio.com> (дата звернення 25.05.25)
14. БПЛА Autel EVO Lite X6 Enterprise URL: <https://www.autelrobotics.com> (дата звернення 25.05.25)
15. БПЛА компанії Zipline URL: <https://www.flyzipline.com> (дата звернення 25.05.25)
16. БПЛА компанії Wing URL: <https://www.flyzipline.com> (дата звернення 25.05.25)
17. БПЛА коптерного типу URL: <https://www.blue-bird.tech/> (дата звернення 25.05.25)
18. Jarašūnienė A., Išoraitė M., Petraška A. Developing small-cargo flows in cities using unmanned aerial vehicles. *Future Transportation*. 2024. № 2. P. 450-474.
19. Chen W. C. et al. Cooperative load transportation of multi-drones based on disturbance observer and formation control. *IEEE Access*. 2024.
20. McLeod F. et al. Investigating the Crash Protection Performance of a Medical Carrier Bag for Drone Transport. *Logistics*. 2024. №. 1. P. 31-32.
21. Liu S. et al. Ant colony algorithm-based path planning for drone cargo transportation in remote areas. *Eighth International Conference on Traffic Engineering and Transportation System (ICTETS 2024)*. 2024. P. 1619-1624.
22. Mishra D., Tiwari M. K. Integrated truck drone delivery services with an optimal charging stations. *Expert Systems with Applications*. 2024. P. 124-134.
23. Purtell C., Hong S. J., Hiatt B. Bibliometric analysis on advanced air mobility and drones . *Journal of Air Transport Management*. 2024. P. 125-127.
24. Barrile G. et al. Parcel Delivery with Eco-Friendly Drone Technologies. *INTERNATIONAL SYMPOSIUM: New Metropolitan Perspectives*. 2024. – P. 133-138.
25. Мікроконтролер Atmega8 URL: <https://greenchip.com.ua/0-0-109-0.html> (дата звернення 25.05.25)
26. Мікроконтролер STM32F103C8 URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/stm32f103c8t6-lqfp-48-arm-microcontroller-mcu-2850668585973.html> (дата звернення 25.05.25)

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Мікроконтролер PIC16F877A URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/pic16f877a> (дата звернення 25.05.25)
28. Мікроконтролер MSP430G2553 URL: <https://www.ti.com/product/MSP430G2553> (дата звернення 25.05.25)
29. Ультразвуковий датчик HC-SR04 URL: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-rasstoyaniya-ultrazvukovoy-hc-sr04> (дата звернення 25.05.25)
30. Ультразвуковий датчик JSN-SR04T URL : <https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-rasstoyaniya-ultrazvukovoy-vlagozashchishchennyi-jsn-sr04> (дата звернення 25.05.25)
31. Ультразвуковий датчик HRLV-MaxSonar-EZ1 URL: <https://maxbotix.com/products/mb1013> (дата звернення 25.05.25)
32. Мосфет IRF3205 URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/polevoy-n-kanalniy-tranzistor-irf3205> (дата звернення 25.05.25)
33. Мосфет IRFZ44N URL: <https://mobile-shrek.com.ua/ru/tranzistor-polevoj-mosfet-irfz44n.html> (дата звернення 25.05.25)
34. Мосфет IRLZ44N URL: <https://arduino.ua/ru/prod3107-silovoi-polevoi-tranzistor-irlz44n> (дата звернення 25.05.25)
35. Термістор NTC MF52 URL: <https://wintexservice.kiev.ua/ua/p1373100993-termistor-ntc-mf52.html> (дата звернення 25.05.25)
36. Понижувальний DC–DC перетворювач LM2596 URL: <https://myproject.com.ua/ru/lm2596-ponigayuschij-preobrazovatel-s-regulirovkoj-napryageniya-i-toka-ru.html> (дата звернення 25.05.25)
37. DC підсилювач MT3608 URL: <https://www.mini-tech.com.ua/dc-dc-konverter-povyshayushchij-mt3608> (дата звернення 25.05.25)
38. Знижувальний/підвищуючий перетворювач TPS63020 URL: [https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/znyzhuvalnyi-pidvyshchuiuchyiperetvoriuvach-napruhy-z-1-8-5-5v-do-4-2v-na-m-s-tps63020\\_185226.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/znyzhuvalnyi-pidvyshchuiuchyiperetvoriuvach-napruhy-z-1-8-5-5v-do-4-2v-na-m-s-tps63020_185226.html) (дата звернення 25.05.25)

					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

39. Шунт INA290 URL: <https://www.mouser.in/ProductDetail/Texas-Instruments/INA290A1IDCKR?qs=sPbYRqrBIVmBLgMbWL0hkw%3D%3D> (дата звернення 25.05.25)

40. Кремнієві діод 1N4001 URL: <https://prom.ua/p476112577-diod-1n4001-50v.html> (дата звернення 25.05.25)

41. Діод Шотткі SS14 URL: <https://prom.ua/p2091842330-diod-ss14-smd.html> (дата звернення 25.05.25)

42. Соленоїд Fielect JF-1253B-12V URL: <https://www.amazon.in/Fielect-Stroke-Solenoid-Electromagnet-JF-1253B-12V/dp/B07Z3RYZ67> (дата звернення 25.05.25)

43. Система переміщення QZUAV FT30P TPS63020 URL: <https://www.dronefly.com/products/qzuav-ft30p-twostage-drop-system-for-dji-m30m30t> (дата звернення 25.05.25)

44. Соленоїд Heschen HS-1578B URL: <https://heschen.com/products/heschen-solenoid-electromagnet-hs-1578b-100n> (дата звернення 25.05.25)

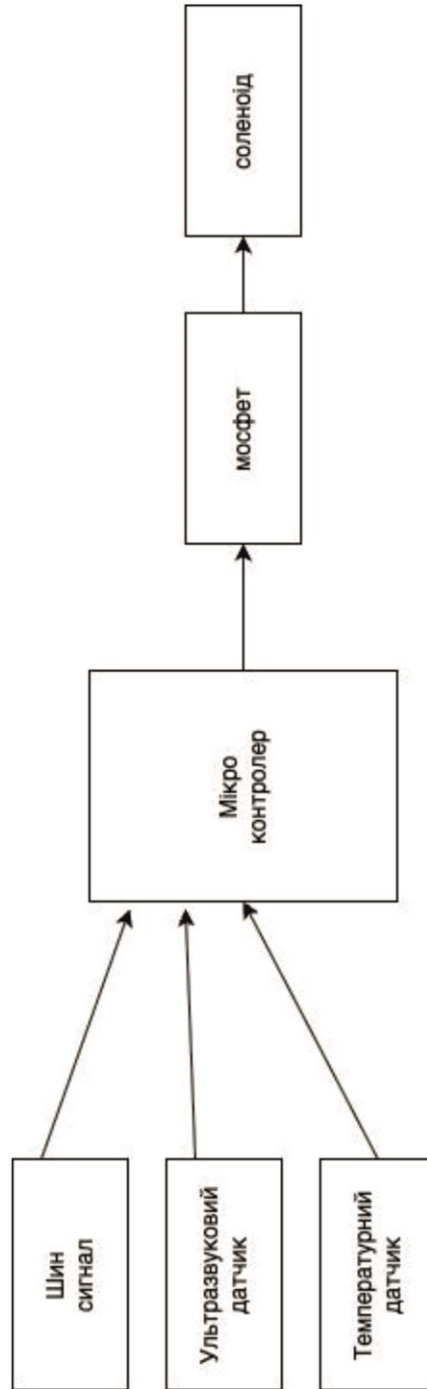
					КВРКІ 220034.22.01.15 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Додаток Б**  
(обов'язковий)

**КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ»**

**Структурна схема системи**



КерКІ 220034 22.01.15

КерКІ 220034 22.01.15 E8		Листів	Маса	Масштаб
Сторінка описує: модуль керування двигуном ВПДА на основі микроконтролера Atmega8				
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аркуші 3
Розроб.	Проєктант			Аркуші 1
Перевір.	Перевір.			Аркуші 2
Н. контр.	Н. контр.			Аркуші 3
Г. контр.	Г. контр.			
Зав.	Розробник І.О.			



**Додаток Г**  
**(обов'язковий)**

**КОД ПРОГРАМИ**

```
#include <Wire.h>
#include <NewPing.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

// Піни
#define TRIG_PIN      4
#define ECHO_PIN      2
#define SOL_PIN       5
#define THERM_PIN     A0

// Параметри HC-SR04
#define MAX_DISTANCE  200 // см
NewPing sonar(TRIG_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);

// Параметри INA219
Adafruit_INA219 ina219;

// Пороги безпеки
const float SAFE_HEIGHT = 100.0; // см
const float MAX_CURRENT = 2.0;    // А
const float MAX_TEMP     = 60.0;  // °C

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(SOL_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(SOL_PIN, LOW);

  // Ініціалізація INA219
  ina219.begin();
```

```

    ina219.setCalibration_32V_2A();

    Serial.println("System initialized");
}

void loop() {
    delay(50); // пауза між вимірюваннями

    // Вимірювання відстані
    unsigned int uS = sonar.ping();
    float distance = uS / US_ROUNDTRIP_CM;

    // Зчитування струму
    float current_mA = ina219.getCurrent_mA();
    float current = current_mA / 1000.0;

    // Зчитування термодатчика
    int rawTherm = analogRead(THERM_PIN);
    float voltageTherm = rawTherm * (5.0 / 1023.0);
    const float R_SERIES = 10000.0;
    float rTherm = R_SERIES * (5.0 / voltageTherm - 1.0);
    float tempC = 1.0 / ( (log(rTherm / R_SERIES) / 3950) + (1.0
/ 298.15) ) - 273.15;

    bool safeToRelease = (distance < SAFE_HEIGHT) &&
                          (current < MAX_CURRENT)      &&
                          (tempC < MAX_TEMP);

    if (safeToRelease) {
        digitalWrite(SOL_PIN, HIGH);
        delay(100);
        digitalWrite(SOL_PIN, LOW);
        Serial.println("Payload released");
    } else {
        // При недотриманні умов - сигналізація та лог

```

```
        if (distance >= SAFE_HEIGHT) Serial.println("Too high for
release");
        if (current >= MAX_CURRENT) Serial.println("Overcurrent
detected");
        if (tempC >= MAX_TEMP) Serial.println("Overtemperature
detected");
    }

    // Відправка телеметрії
    Serial.print("D:"); Serial.print(distance);
    Serial.print("cm I:"); Serial.print(current, 3);
    Serial.print("A T:"); Serial.print(tempC, 1);
    Serial.println("C");
}
```

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Данііл ПРОНІЧЕВ

**Співавтор:**

**Назва:** Пронічев\_ Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

**Експерт:**

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

**Коефіцієнт подібності 1:** 1.4%

**Коефіцієнт подібності 2:** 0.3%

**Мікропробіли:** 15

**Заміна букв:** 7

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2025-06-13 18:13:40.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

- Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.
- Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.
- Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

**Обґрунтування:**

2025-06-13

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 12%

ID: 245755 Title: БКР Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8 Added in a DB: 2025-06-13 Authors: Даніїл ПРОНІЧЕВ Heads: Сергій ЛИСЕНКО Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	74145	474	1108 (1%)	14 (3%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Пронічев Даніїл Олександрович

Тема: Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень   3   Кількість сторінок записки   55  

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз предметної області, де було вивчено сучасні методи і технології вантажопідйому і скидання за допомогою безпілотних літальних апаратів. Зокрема розглянуті ключові технічні вимоги до модулю переміщення – точність, надійність, швидкодія й інтеграція з польотним контролером – й оцінені їхні впливи на структуру системи. Результатом стало чітке визначення завдань системи як окремого автономного модуля.

У другому розділі здійснено технічний дизайн апаратної частини, де створено електричну та структурну схеми модулю. Було обгрунтовано вибір ключових компонентів: стабільного DC-DC перетворювача, сенсорів, драйвера MOSFET-та силових ланцюгів, а також розроблено РСВ макет, який відповідає виробничим вимогам і стандартам якості.

У третьому розділі здійснено програмно апаратну реалізацію системи, де мікроконтролер ATmega8 було запрограмовано для синхронізації роботи з ультразвуковим сенсором, термодатчиком, монітором струму й

MOSFET соленоїдом. Програмна архітектура включає циклічне зчитування показів, фільтрацію сигналів, перевірку безпечності перед скиданням і захист від аварійних режимів, а також телеметрію через UART. Застосовано Input Capture для точних вимірювань часу відгуку HC SR04, що підтверджує якість інтеграції апаратних таймерів та програмної логіки, усе це створює надійний і гнучкий інструмент управління вантажем.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага автономності живлення та перепрошивці.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Чешин Віктор Миколайович  
канд. техн. наук, доц., доцент кафедри кібербезпеки

"16" червня 2025 р.

 (підпис)

Хмельницький національний університет  
Завідувачу кафедри КПС  
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Данііла ПРОНІЧЕВА

ПІБ здобувача вищої освіти


ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-22-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

 2025 року

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Система керування модулем переміщення вантажу БПЛА на основі мікроконтролера Atmega8

Автор: Данііл ПРОНІЧЕВ

Спеціальність: 123- Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Сергій ЛИСЕНКО, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 1.7% і адресується до 19 першоджерел; та системою Anti-Plagiarism складає 1.0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КПС



Сергій ЛИСЕНКО

Андрій ПІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА