

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ І КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи магістра на тему:
«Нашлемна система керування FPV дроном»

Завідувач Кафедри ЕКТ

А. С. Опанасюк

Керівник роботи

В. В. Гриненко

Студент групи ЕС.м-21

П. С. Отрощенко

Суми-2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Електроніки та інформаційних технологій

Кафедра Електроніки і комп'ютерної техніки

Спеціальність 171 Електроніка

Освітня програма Електронні системи та компоненти

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою Опанасюк А.С.

" ___ " _____ 2023 р..

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра студентіві

Отроценку Павлу Сергійовичу

1 Тема проекту (роботи) «Нашлемна система керування FPV дроном» затверджена наказом по університету "06" листопада 2023 р.№1233-VI

2 Термін здачі студентом закінченої проекту (роботи) _____

3 Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Розробити систему визначення змін орієнтації об'єкта в просторі по трьом осям координат. 2. Забезпечити можливість підключення до пульта керування за допомогою типового бездротового інтерфейсу та дроту. 3. Основні компоненти: мікроконтролер, блок відстеження орієнтації об'єкта в просторі; бездротові інтерфейси Bluetooth, Wi-Fi для підключення до пульта керування, фізичний інтерфейс типовий для пультів керування.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити) 1. Огляд літератури та поставлення задачі проектування. 2. Наукова-дослідна частина. 3. Вибір та обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми системи. 4. Розробка функціональної схеми блоків системи. 5. Вибір елементної бази та розробка принципових електричних схем блоків. 6. Техніко-економічна частина; Висновок; Список літератури.

5 Перелік графічного матеріалу: 1. Схема алгоритму функціонування. 2. Схема електрична структурна. 3. Схема електрична функціональна. 4. Схема електрична принципова

6 Консультанти по проекту (роботі), із зазначенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економічна частина	МАЦЕНКО О.М.		

7 Дата видачі завдання 24.10.2023р.

Керівник роботи

Гриненко В.В.

Завдання прийняв до виконання

Отрощенко П.С.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літератури та поставлення задачі проектування	05.11.2023	
2	Вибір та обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми системи	13.11.2023	
3	Науково-дослідна частина	19.11.2023	
4	Розробка функціональної схеми блоків системи	25.12.2023	
5	Вибір елементної бази та розробка принципових електричних схем блоків	9.12.2023	
6	Економічна частина	15.12.2023	

Студент-дипломник _____ Отрощенко П.С.

Керівник проекту (роботи) _____ Гриненко В.В.

"__" _____ 2023 р.

Реферат

Випускна кваліфікаційна робота магістра сформована з 98 сторінок, 46 рисунків, 45 таблиць, 18 літературних джерел.

Об'єктом дослідження є методи відстеження рухів голови. Предмет дослідження FPV headtracker.

В ході роботи були розглянуті два методи відстеження рухів голови та проведені досліди на точність акселерометрів. В ході досліджень було визначено, що метод з використанням датчиків інтегрального типу найкраще підходять для виконання поставленої задачі.

За основу було взято мікроконтролер AtMega128AU16, для виміру лінійних прискорень акселерометр MPU6050, для виміру кутового прискорення гіроскоп L3G4200D, для визначення зміни орієнтації з використанням магнітного поля магнітний компас HMC5831, для забезпечення бездротового підключення використано інтерфейс Wi-Fi на модулі ESP8266, а також Bluetooth на модулі HC-05, для реалізації фізичного інтерфейсу драйвер USB2.0 CH341T, з метою коректного заряджання акумулятора контролер зарядки акумулятора TP4056, з метою збереження ресурсу акумулятора контролер розрядки акумулятора DW-01, набір мосфетів для роботи контролерів FS8205A.

Зміст

Вступ	7
1. Огляд літератури та постановка задачі	9
1.1 Огляд технології безпілотних систем та апаратів.....	9
1.2 Огляд технології FPV.....	11
1.2.1 Будова систем FPV.....	11
1.2.2 Камера	12
1.2.3 Відеотрансмітер.....	12
1.2.4 Відеогарнітура.....	13
1.3 Огляд аналогів та серійних рішень представлених на ринку	14
1.3.1 FatShark Trinity	14
1.3.2 TrackHat V2 та Opentrack.....	17
1.4 Постановка задачі.....	18
2. Науково-дослідна частина	20
2.1 Дослідження методів відстеження рухів голови в хедтрекері.....	20
2.1.1 Метод з використанням датчиків	20
2.1.2 Оптичний метод відстеження рухів	22
2.1.3 Практичне застосування методу.....	26
2.1.4 Метод відстеження з використанням інфрачервоного спектру.....	27
2.2 Аналіз типів датчиків.....	29
2.2.1 Плівкові п'єзоелектричні датчик	29
2.2.2 Ємнісні інтегральні акселерометри	30
2.2.3 Поверхневі ємнісні інтегральні акселерометри.....	32
2.3 Математична модель акселерометрів.....	35
3 Вибір та обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми системи	40

					ЕЛІТ 8.171.00.10.519 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>	Нашлемна система керування FPV дронм Пояснювальна записка.	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Разроб.		Отрощенко						
Преревір.		Гриненко					5	121
Реценз.								
Н. Контр.		Гапич						
Затверд		Опанасюк						СумДУ, ЕС.м-21

3.1 Алгоритм роботи системи керування FPV дроном.....	40
3.2 Структурна схема системи керування FPV дроном.....	42
4.Розробка функціональної схеми	44
5 Вибір елементної бази та розробка принципових електричних схем блоків	47
5.1 Мікроконтролерний блок	47
5.2 Розробка блоку датчиків.....	55
5.2.1 Акселерометр	55
5.2.2 Гіроскоп	60
5.2.3 Магнітний компас	63
5.3 Розробка блоку бездротового підключення.....	66
5.3.1 Bluetooth модуль.....	66
5.3.2 Модуль Wi-Fi	69
5.4 Розробка блоку фізичного інтерфейсу підключення	73
5.5 Розробка блоку сторожового таймеру	76
5.6 Блок живлення.....	78
6. Розробка програмного забезпечення МК для роботи системи.....	85
7. Техніко економічна частина	88
7.1 Розрахунок повної собівартості пристрою.....	88
7.2 Визначення ціни пристрою	93
Висновок.....	95
Список літератури.....	96
Додаток А	

Вступ

Технологія безпілотних пристроїв, таких як безпілотні літальні апарати (дрони), роботи та автономні транспортні засоби, стає все більш важливою в сучасному світі. Ця технологія передбачає використання пристроїв, які можуть функціонувати без прямого втручання людини, виконуючи завдання на підставі попередньо заданих програм або в режимі автономності, здатності до навігації, взаємодії з навколишнім середовищем та збору і передачі даних.

Дрони - це безпілотні літальні апарати, конструкція яких відрізняється від області використання, так вони можуть бути малих розмірів з чотирма двигунами для зйомки відео з висоти або в складно доступних місцях, а можуть бути великогабаритним та оснащеними більше шістьох двигунів та використовуватися для перевезення вантажів.

Існує безліч способів використання дронів, від фотозйомки та фермерства до пошуку та рятування. Однак, серед цієї різноманітності функцій і застосувань, FPV дрони виділяються як окрема та захоплююча галузь.

FPV дрони, що означає "First Person View" або "вид з першої особи", дозволяють пілотам відчувати, ніби вони знаходяться прямо в кабіні дрону, завдяки відеостріму в реальному часі з камери на борту. Ця технологія відкриває безмежні можливості для забудови навичок польоту, відкриття нових перспектив в гонках дронів і зйомках з повітря, а також створення захоплюючого хобі для тисяч людей по всьому світу.

В даній роботі ми розглянемо можливості удосконалення технології FPV. Мета удосконалення полягає в розробці системи, яка додатково буде керувати дроном за допомогою рухів голови – це збільшить відчуття присутності на борту дрона, а також підвищить точність керування, що буде корисно в галузях де необхідна висока акуратність. Так як безпілотники наразі є доступними майже для кожного то і дана система також повинна бути простою для інтеграції до готових пристроїв, не дорогою в виробництві, та мати прості техпроцеси виробництва.

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Для реалізації даної системи необхідний хедтрекер. Хедтрекер – пристрій призначений для відстеження рухів голови користувача та передачі інформації на сторонні пристрої. Такий пристрій може робити це різними методами з різною швидкістю, точністю та реакцією. В роботі будуть розглянуті різні методи та обраний, що краще відповідає вимогам.

В ході роботи буде розроблена принципова схема системи керування дроном з технологією FPV, за допомогою хедтрекера. Основою для розробки системи буде мікроконтролер, що буде з достатньою швидкістю та точністю обробляти сигнали від трекара та передавати опрацьовані сигнали на органи керування квадрокоптера. Головною перевагою розробленої системи буде її простота використання, що посприяє популярності та розвитку даної системи.

В даний момент на представлено лише декілька аналогічних систем але вони мають високу вартість та є невід’ємною частиною окулярів пілота дрону та використовуються лише на літальних апаратах. Розроблена система буде виконана з урахуванням цих недоліків та позбавлена них.

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. Огляд літератури та постановка задачі

1.1 Огляд технології безпілотних систем та апаратів

Безпілотний апарат – являє собою моторизований апарат керування якого виконуються без пілота або екіпажу на борту. Вони можуть бути обладнані системами різного ступеню автономності – від дистанційного керування до повністю автоматичного. Керування також може виконуватися епізодично або безперервною подачею команд. В незалежності від типу керуванні та ступеню автономності - всі дрони використовують систему безпілотного керування яка включає в себе декілька основних елементів:

- Безпілотний літальний апарат (БПЛА): Це фактично безпілотний апарат, який може бути літаком, гелікоптером, дроном або іншим типом апарату. БПЛА обладнаний сенсорами, системами навігації та комунікації.
- Систему навігації: Система навігації, така як GPS, гіроскопи, акселерометри і барометри, використовуються для визначення місцезнаходження та орієнтації UAV у просторі.
- Комунікаційну систему: Вона забезпечує зв'язок між оператором та UAV, дозволяючи передавати команди, отримувати дані та забезпечувати зв'язок з іншими системами або контрольними пунктами.
- Систему сенсорів: Сенсори включають в себе камери, лідари, радары, теплові камери та інші прилади, які дозволяють UAV збирати інформацію про навколишнє середовище, таку як зображення, відео, відстань, об'єкти тощо.
- Автоматичну керуючу систему: Ця система відповідає за стабільність і керованість UAV, розраховують шлях і виконують автоматичні рухи для виконання завдань.
- Комп'ютерну систему керування: Вона обробляє інформацію з сенсорів, виконує алгоритми для керування польотом, а також передає дані операторові або іншим користувачам.

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Засоби зберігання і передачі даних: Інформація, зібрана сенсорами, зберігається і передається через вбудовані системи зберігання і передачі даних.
- Пульти керування або програмне забезпечення: Оператор може використовувати пульт керування або спеціальне програмне забезпечення для визначення маршруту, введення команд і відслідковування статусу UAV.

Вище перелічені компоненти складають типову систему безпілотного керування (СБК). Кожен з цих компонентів важливий і є невід'ємною частиною. СБК працює наступним чином:

1. Збір даних: Безпілотники оснащені різними сенсорами, такими як GPS, камери, лідари (лазерні радары), радары, теплові камери та інші пристрої. Ці сенсори збирають інформацію про навколишнє середовище та стан безпілотника.
2. Приймання і обробка даних: СБК приймає дані з сенсорів та обробляє їх, щоб отримати інформацію про положення, швидкість, висоту та інші параметри. Програмне забезпечення СБК використовує ці дані для прийняття рішень.
3. Планування маршруту: На основі зібраних даних і програмованого завдання, СБК створює оптимальний маршрут для досягнення мети. Це може бути попередньо заданий маршрут, визначений користувачем або задача для автономного дослідження.
4. Автономне керування: Після створення маршруту СБК самостійно приймає рішення про керування і навігацію. Він виправляє маршрут, уникнення перешкод, зберігає стабільність і виконує інші дії відповідно до програмованого завдання та обставин навколишнього середовища.
5. Комунікація: СБК може бути підключений до центрального сервера або оператора через бездротовий зв'язок. Це дозволяє оператору надсилати команди, отримувати дані та відстежувати стан безпілотника у режимі реального часу.

6. Завершення завдання: Після завершення завдання або досягнення пункту призначення СБК виконує відповідні дії, наприклад, збирає дані, виконує фото- або відеозйомку, випускає карго і т.д.

При використанні дрона в простих задачах можливо використовувати вище описану технологію де безпілотник керується на відстані видимості його з землі, що зменшує його можливості по роботі на великих відстанях. При використанні в галузях де потрібна підвищена точність керування та робота на великих відстанях від оператора, використовують наступну технологію. FPV технологія дозволяє керувати безпілотником на відстані роботи приймачі та передавачів, яка перевищує поле бачення людини, а також підвищує точність керування, через ефект присутності. Розглянемо вказану технологію більш глибоко.

1.2 Огляд технології FPV

FPV (від англійського "First Person View") - це технологія, яка дозволяє користувачеві отримувати відчуття першої особи (тобто відчуття, що ви перебуваєте в тому самому місці, де знаходиться дрон або інший об'єкт, на який встановлені камери або датчики) за допомогою відеостріму або трансляції в реальному часі з цього об'єкта. Ця технологія зазвичай використовується в квадрокоптерах, дронах, радіокерованих літаках, автомоделях та інших подібних апаратах для отримання відчуття, ніби ви пілотуєте їх з місця оператора.

1.2.1 Будова систем FPV

Складається така система з наступних основних елементів:

- камера;
- відеотрансмітер;
- відеогарнітура.

Коротко розглянемо використання та необхідність даних компонентів.

					ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

1.2.2 Камера

Камера встановлюється на борту дрона або іншого безпілотного об'єкту і здійснює відеозйомку оточуючого середовища тому технологія FPV без неї неможлива. Камери, що встановлюються на безпілотники, є спеціальним і мають деякі характеристики, що роблять їх ідеальними для використання. В залежності від специфікації безпілотника, змінюється і специфікація камер, так для дронів використовують наступні камери: Runcam Split – має високу якість відзнятого матеріалу та зберігає його на карту пам'яті, Foxeer Predator – ця камера має високоякісну зйомку при різних рівнях освітленості та низьку затримку, Caddx Tarsier – в цієї камери є можливість відслідковувати об'єкти та мати якісний відеострім.

В квадрокоптерах та радіокерованих літаках зазвичай використовую побутові камери такі як: GoPro Hero – екшн-камера, яка має достатню якість картинки та частоту зйомки, DJI FPV Camera – спеціально розроблена камера для системи FPV від DJI, яка забезпечує високоякісний відеостріму та низьку затримку.

Камери для дронів вузької направленості є спеціальними і відповідають вимогам специфікації обставин використання наприклад: RunCam 2 - ця камера має високу якість відеозйомки та легкий корпус та використовується для спортивних змагань, або Insta360 ONE R - камера дозволяє створювати вражаючі панорамні та 360-градусні відео та фотографії.

1.2.3 Відеотрансмітер

Наступним невід'ємним елементом системи FPV є відеотрансмітер. Відеотрансмітер – пристрій що з'єднаний з приймачем та передає відеосигнал в реальному часі з камери на відеогарнітуру, або екран оператора з мінімальною затримкою, для цього використовуються частоти 2.4 або 5.8 ГГц. Існує безліч різних даних систем на ринку, які відрізняються за рівнем затримки, якістю передачі, робочою частотою, радіусом роботи. Залежно від специфікації їх можна розділити на:

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

- аналогові;
- цифрові;
- радіоімпульсні;
- швидкодіючі (гоночні);
- високодистанційні.

Аналогові відеоприймачі використовуються з аналоговими камерами. Перевагою таких систем є менша затримка працюють такі приймача на частоті 5.8 ГГц, та підтримують стандарти PAL та NTSC. Часто їх використовують на радіокерованих літак, та спортивних квадрокоптерах.

Цифрові приймачі використовуються там де необхідна висока якість зображення та можна знехтувати затримкою. Такі системи стиснене цифрове зображення передає через цифрові канали. Використовуються на більшості побутових квадрокоптерах.

Радіоімпульсні приймачі це спеціалізовані приймачі які сумісні з певними радіопередавачами або пультами дистанційного керування.

Швидкодіючі приймачі це спеціалізовані приймачі в яких мінімальна затримка їх використають там де вона є критичною. Найчастіше їх використовують в спортивних дронах.

Високодистанційні це спеціалізовані приймачі високої потужності. Такі системи чутливі до слабких сигналів. При використанні високодистанційних приймачів використовують габаритні зовнішні антени та посилене джерело живлення.

1.2.4 Відеогарнітура

Відеогарнітура – дозволяють оператору переглядати відеострім з камери на борту дрона або іншого об’єкта в режимі реального часу і отримувати відчуття присутності. В якості відеогарнітури можливо використовувати як спеціалізовані гарнітури так і побутові VR-окуляри. В представлених на ринку екземплярах принципової різниці немає, відрізняються вони за декількома

параметрами які є спільними для всіх: роздільна здатність, частота оновлення дисплеїв, вологозахист.

Технологія FPV надає можливість оператору відчуття перебування на борту дрона, вона також збільшує точність керування ним, але тільки шляхом надання операторові можливості бачити напрямлення руху в фіксованому напрямку відносно безпілотної. Для більш точного позиціонування безпілотної в повітрі та огляду обстановки навколо FPV системи додатково оснащують хедтрекером, що дозволяє керувати камерою на дроні, а також і ним самим.

Хедтрекер – це система що відстежує рухи голови, шляхом різниці позиції її відносно початкової точки яка задається при увімкненні або калібруванні. Хедтрекер можуть мати різні габарити, способи підключення та методи позиціонування голови в просторі. Деякі використовують для цього набір датчиків акселерометри, гіроскопи та інші, також виробники використовують інфрачервоне випромінювання для цього. Для хедтрекера може бути достатньо і самої камери, але в такому випадку будуть потрібні великі обчислювальні потужності розглянемо декілька серійних моделей від різних виробників.

1.3 Огляд аналогів та серійних рішень представлених на ринку

Зараз на ринку у вільному продажі є декілька серійних рішень систем хедтрекінгу для FPV дронів. Відрізняються вони за дизайном характеристиками, принципом дії та сумісністю з системами. Так сьогодні можна придбати Fat Shark Trinity, TrackHat. Розглянемо кожен з них більш детально.

1.3.1 FatShark Trinity

Хедтрекер Trinity це продукт компанії FatShark який розроблений спеціально для відеогранітур Dominator власного виробництва. Даний модуль представляє із себе інерціальний вимірювальний блок, який оснащений трьома тривісними датчиками акселерометром гірокосмічним і магнітним компасом. Ці компоненти працюють за особливим векторним алгоритмом, що розробила компанія. Зовнішній вигляд модуля Trinity представлений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд модуля Trinity

Модуль являє собою плату для монтажу в відеогранітуру DominatorV2 та DominatorHD, що представлена на рисунку 1.2 виробника FatShark. Плата побудована на базі мікроконтролера stm32f103, який працює з трьома датчиками, а саме:

- акселерометром;
- гірокоsmічним компасом;
- магнітним компасом.

Ці датчики реагують на зміни при рухах голови та передають дані на МК. Вони разом з мікроконтролером утворюють вимірювальний блок, що має 9 ступенів свободи. Працює дана система на векторному алгоритмі, що розроблений компанією FatShark, який опрацьовує дані з усіх датчиків та коректує їх для точного позиціонування голови в просторі. Система здатна керувати панорамуванням коптера, а також поворотом та нахилом, деяких випадках є можливість керувати лише камерою на борту дрона.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд FatShark Dominator HD V2

Можливо зробити підсумки та визначити головні плюси та мінуси даної системи.

До плюсів можливо віднести:

- Простота виготовлення, так як даний модуль немає нічого дорого вартісних пристроїв та складних мікропроцесорів.
- Простота використання, монтаж модуля виконуються в підготовлене місце в відеогарнітурі DominatorV2 та DominatorHD, та підключення виконується по підготовленому алгоритму виробника.
- Точність та коректність керування дроном, через використання 3 датчиків що мають різні принципи роботи.

Але система FatShark Trinity, не є ідеальною і має мінус який в майбутній системі повинен бути врахований і виправлений. Цим мінусом є не можливість використання з подібними система інших виробників. Тобто даний модуль можливо використовувати лише з відеогарнітурами DominatorV2 та DominatorHD компанії FatShark, що зменшує круг використання і змушує використовувати фіксовану продукцію.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

1.3.2 TrackHat V2 та Opentrack

Система TrackHat V2 це система компанії TrackHat Ltd яка виробляє дані системи з 2017 року. Головною особливістю даної системи в тому, що для відстеження голови використовує інфрачервоні сигнали що зчитуються камерою. Перша генерація даної система мала станцію в яку вбудовано камеру та будову що носить в себе на голові оператор. Камера зчитувала сигнали, з інфрачервоного світлодіоду, що знаходився в пристрої на голові оператора. Наступна генерація вже не потребувала додаткових будов та мала вбудовані інфрачервоні світлодіоди. Для його використання пристрій потрібно розмістити під монітором, або напроти себе. Зовні система схожа на веб камеру зі шістьма ІЧ діодами по обидва боки від камери, що знаходиться в центрі. Габаритні розміри 50x50 мм. Підключається до ПК або відеогарнітури вона за допомогою інтерфейсу USB 2.0.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд TrackHat V2

Для відстеження рухів голови та їх обробки TrackHat V2 6 інфрачервоних діодів та спеціальну камеру. Кількість датчиків що може бути підключена до однієї базової станції або ПК може варіюватися від особливостей використання. Працює система за рахунок зчитування інфрачервоних сигналі

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

спеціальною камерою, сигнали для камери подаються зі встановлених на ній світлодіодів. TrackHat V2 є лише апаратною частиною системи для роботи необхідне ще додаткове програмне забезпечення Orentrack. Orentrack – ПЗ розроблене для роботи з TrackHat V2, воно обробляє інформацію з камери. За допомогою програмного забезпечення виконується калібрування та доналаштування системи.

Підсумком для даної системи стане наголошення її плюсів та мінусів. До плюсів системи можливо віднести:

- легкість монтажу, адже для її використання достатньо встановити блок TrackHat V2 напроти оператора та підключити до ПК;
- простота налаштування, для налаштування системи існує спеціально розроблене ПЗ;
- дешевизна, так як для використання непотрібно додаткового обладнання окрім TrackHat V2, ПЗ є в вільному доступі на сайті виробника.

Мінусами є наступні аспекти системи:

- Не коректність роботи системи в ускладнених умовах освітлення та температурному режимі. Так як TrackHat V2 використовує ІЧ світлодіоди та камеру, що зчитує світіння від них то при використанні в умовах де є додаткові ІЧ промені система може не зчитувати рухи.
- Ускладнене використання з відеогарнітурами формату VR окулярів. Через те що інтерфейс підключення USB 2.0, підключення до ПК виконується просто, що не можливо сказати про нашоломні відеогарнітури в яких не завжди вони присутні, і дрiт буде створювати додатковий дискомфорт при використанні.

1.4 Постановка задачі

На основі вище описаного можливо підбити підсумки та сформулювати постановку задачі. Головною задачею даної роботи є виготовлення системи хедтрекінгу, з можливістю підключення бездротовими та фізичними інтерфейсами до пристроїв керування.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		18

Для цього необхідно спроектувати систему, в яка буде виконувати функцію відстеження рухів голови з урахуванням недоліків серійних пристрої аналогів.

Для цього система повинна:

- забезпечити вимірювання змін в орієнтації системи в трьох осях координат;
- забезпечити точність вимірів системи в межах $1 - 3^\circ$;
- забезпечити затримку відгуку від системи до пульта керування меншу ніж $3 - 5\text{мс}$;
- забезпечити підключення системи до пульта керування за допомогою типових для них інтерфейсів, фізичний стандарту USB та бездротові стандартів Bluetooth та Wi-Fi.

Для досягнення поставленої мети потрібно :

- провести аналіз методів відстеження рухів голови;
- провести аналіз точності методу відстеження рухів голови;
- розробити алгоритм роботи системи відстеження голови в просторі;
- розробити структурну та функціональну схеми системи хедтрекінгу;
- зробити аналіз елементної бази та обрати необхідні елементи та на їх основі розробити принципову схему;
- розрахувати економічну частину;
- розробити програму для роботи мікроконтролера.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

2. Науково-дослідна частина

2.1 Дослідження методів відстеження рухів голови в хедтрекері.

Для реалізації хедтрекера потрібний спеціальний блок що буде зчитувати необхідні дані. Таким блоком є блок відстеження рухів і він може бути побудований на основі двох методів. Ці методи мають різні принципи роботи та характеристики по точності та затримці реагуванні. Один з них оснований на використанні датчиків прискорення та магнітного компасу інший з використанням оптичних даних з камер.

2.1.1 Метод з використанням датчиків

В даному методі пристрій, що відстежує рухи розташовується на голові оператора та підключається до органів управління, як це схематично показано на рисунку 2.1.

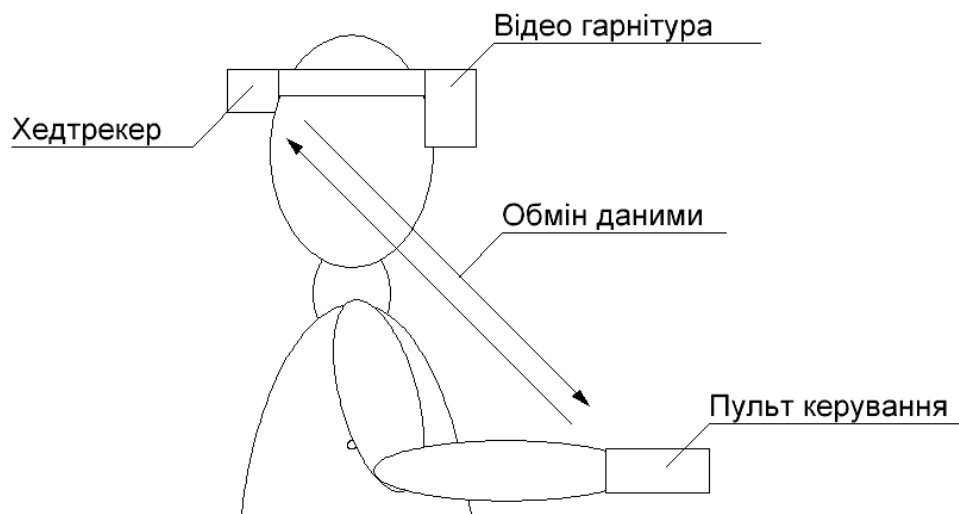


Рисунок 2.1 – Зображення системи керування на основі методу з використанням датчиків

При здійсненні рухів головою сенсори відстежую зміни та на основі даних утворюються сигнали, що відповідають здійсненим рухам, після чого передаються на органи управління для повторення цих рухів дроном. Таким чином для роботи системи потрібно розташувати блок з сенсорами на голові оператора та мати зв'язок з пультом керування квадрокоптером. При такій реалізації системи оператору достатньо закріпити блок з датчиками в себе на

голови та підключити його до пульта керування, при цьому зовнішні умови такі як: освітленість, температура навколишнього середовища та обмежений простір навколо оператора не впливають на роботу системи.

Для реалізації такого методу необхідно отримувати інформацію про зміни в орієнтації голови відносно горизонталі та вертикалі. Окрім відстеження нахилу голови також потрібні дані про оберти голови для зміни напрямку руху в горизонтальному напрямку. Так необхідні сенсори, що будуть відстежувати лінійні зміни в осях x , y , z , та визначати кутове прискорення, після чого передавати отриману інформацію на обробку.

Датчики, що можуть знімати дані про зміни в лінійному напрямку є акселерометрами, схематичне зображення про дані, що збирає даний тип датчиків наведено на рисунку 2.2.

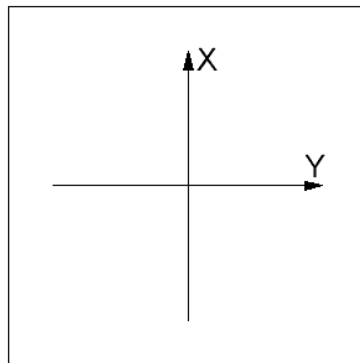


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення про тип даних, що визначає акселерометр

Іншим типом датчиків є гіроскоп. Саме цей тип сенсорів має можливість відстежувати кутове прискорення, схематичне зображення про дані, що збирає даний тип датчиків наведено на рисунку 2.3.

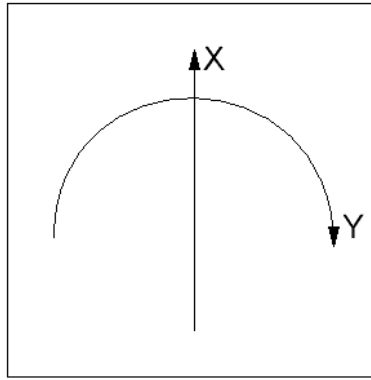


Рисунок 2.3 – Схематичне зображення про тип даних, що визначає гіроскоп

Окрім двох вище вказаних типів потрібний ще один датчик який може визначає відстежує зміни положення та орієнтації в просторі за допомогою відстеження змін в слабкому магнітному полі. Такий тип датчиків називають магнітометром, або магнітним компасом, необхідний він в даній системі для виконання розрахунків, що забезпечує більш точну інформацію про зміни.

Всі ці датчики збирають інформацію для проведення розрахунків. Розрахунки необхідні для запобігання небажаних дій в керуванні безпілотною пристроєм та підвищенню гостроти керування.

2.1.2 Оптичний метод відстеження рухів

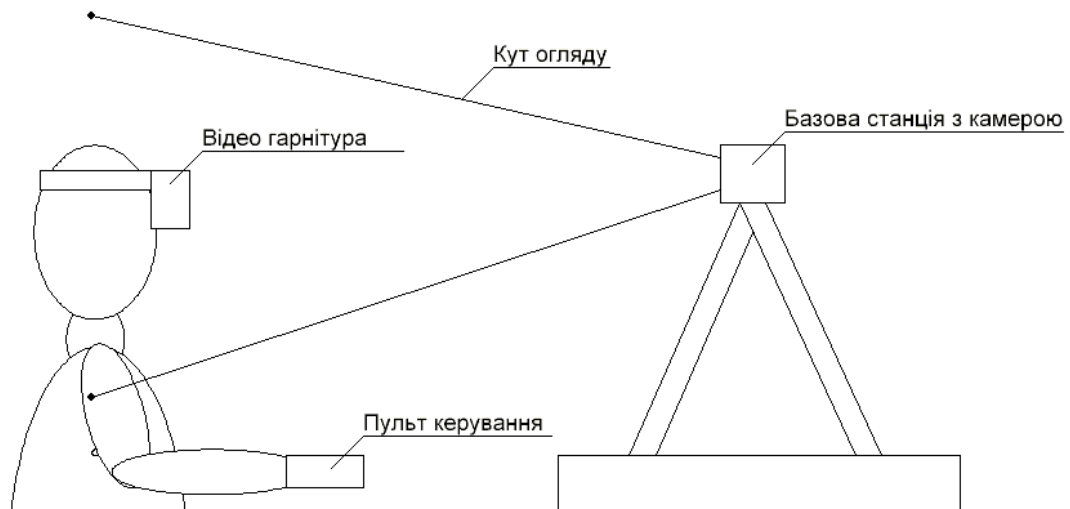
Оптичний метод відстеження рухів голови заснований на використанні оптичних пристроїв камер або інфрачервоних світлодіодів та датчики. Даний метод можна розділити на два під види:

1. З використанням камери та машинного навчання;
2. З використанням ІЧ діапазону світла.

Метод з використанням камери та машинного навчання потребує камери високого розширення та великих обчислювальних потужностей.

Метод базується на використанні оптичного пристрою збору інформації – камери. Камера розташовується напроти оператора та відстежує позиціонування його голови при зміні позиції вона реагує на зміни та посилає відповідні сигнали на пристрій керування. Камера та базова станція до якої вона підключається є лише апаратною частиною для роботи якої необхідний алгоритм.

Схематичне зображення як буде побудована структура при використанні даного методу наведена на рисунку 2.5.



Рисунку 2.4 – Зображення системи керування на основі оптичного методу
Алгоритм оснований на машинному зорі, який визначає та відрізняє голову та обличчя оператора, і на основі цих даних виконується позиціонування. Для коректної роботи алгоритму використовують машинне навчання, що аналізує та запобігає випадкових та небажаних виникнення сигналів.

Для того щоб зрозуміти наскільки такий метод підходить для розроблюваної потрібно провести аналіз в ході якого буде порівнюватися точність, час спрацювання. Для аналізу буде використане ПЗ, що знаходиться в вільному доступі Orentrack та можливо завантажити за посиланням <https://github.com/orentrack/orentrack/releases>. Окрім ПЗ нам буде потрібні ПК та камера. Як і більшість подібних програм вона основана на машинному зорі.

Машинний зір має в своїй будові сенсори, якими можуть виступати цифрові камери збирають вхідні візуальні дані. Отримані дані піддаються попередній обробці для зменшення шуму та покращення якості зображення, що включає в себе фільтрацію корекцію кольору. Після первинної обробки даних вони піддаються екстракції ознак. Цей процес включає в себе виділення ключових аспектів зображення, таких як границі, кути, текстура, кольори тощо. Ці ознаки використовуються для подальшого аналізу та розпізнавання.

Аналізом даних займаються алгоритми, які використовують витягнуті ознаки для вирішення конкретних завдань. Наприклад, для розпізнавання об'єктів можуть використовуватися алгоритми класифікації, а для визначення руху - алгоритми відстеження об'єктів. Сучасні методи часто базуються на глибокому навчанні та нейронних мережах. Для того щоб система машинного зору могла розпізнавати об'єкти та виконувати інші завдання, їй потрібно бути навченою на великій кількості даних. Моделі машинного навчання використовуються для цього навчання, і вони можуть бути навчені розпізнавати конкретні об'єкти, визначати контекст, визначати рух тощо.

Результати обробки візуальних даних можуть бути виведені у вигляді текстового опису, відео або взаємодіяти з іншими системами або пристроями. В машинному зорі також може бути фаза взаємодії з користувачем, наприклад, для виправлення помилок або уточнення завдань.

В ПЗ Opentrack використовується Оптичний потік для відстеження рухів. Оптичний потік - це метод, який вимірює швидкість та напрямок руху пікселів на послідовних кадрах відео. Він базується на припущенні, що об'єкти, які рухаються, призводять до змін в інтенсивності пікселів на зображенні між кадрами. Оптичний потік базується двох основних методах:

- Яскравість збереження: Цей метод передбачає, що інтенсивність пікселя на зображенні залишається сталою, коли об'єкт не змінює свого положення відносно камери. Це означає, що зміни в інтенсивності пікселів пов'язані з рухом об'єктів.
- Локальність: Це припущення передбачає, що оптичний потік обчислюється локально для кожного пікселя на зображенні.

ПЗ, що досліджується, використовує метод локальності, але в незалежності від методу алгоритми обробки даних діють по базовому принципу для всіх.

Спочатку вибираються точки на початковому кадрі, які будуть використовуватися як точки відліку для визначення оптичного потоку. Ці точки можуть бути вибрані вручну або автоматично, наприклад, на основі локальних екстремумів інтенсивності на зображенні. Для кожної точки відліку

обчислюється вектор руху, що вказує напрямок та швидкість руху об'єкта, який відповідає цій точці. Це виконується шляхом порівняння інтенсивності пікселів на початковому кадрі та наступному кадрі. Отримані вектори руху можуть бути оброблені для покращення точності. Це включає в себе використання фільтрів та методів для видалення шуму та стабілізації результатів.

Цей метод як і всі інші методи мають похибку на яку впливають декілька факторів. Одним з таких є зміна інтенсивності пікселів. Оптичний потік базується на зміні інтенсивності пікселів між двома послідовними кадрами. Це означає, що для досягнення високої точності важливо, щоб зміни в інтенсивності були помітними та сильними. Якщо зміни невеликі або пікселі мають низьку якість (наприклад, зображення у поганому світлі або з шумом), це може призвести до низької точності.

Іншим фактором що також впливають на точність це розмір об'єктів та швидкість руху. Чим менший об'єкт або швидше він рухається, тим важче визначити оптичний потік з високою точністю. Малі об'єкти або дуже швидкий рух можуть призвести до низької точності через обмежену кількість пікселів, доступних для визначення руху.

Різні алгоритми мають різну точність в залежності від умов та завдань. Це може бути зумовлено різними підходами до обчислення оптичного потоку та використанням різних методів для врахування шуму та непередбачуваності змін в інтенсивності пікселів.

Якщо об'єкти на зображенні перекриваються або змінюють відстань до камери, це може ускладнити обчислення оптичного потоку та знизити точність. Це через те, що зміни в інтенсивності пікселів можуть бути неоднозначними, коли об'єкти перекриваються або рухаються в різних напрямках.

Чіткі та якісні зображення допомагають покращити точність оптичного потоку. Виразність зображень сприяє легшому визначенню змін в інтенсивності пікселів і поліпшенню результатів.

2.1.3 Практичне застосування методу

Практичні дослідження точності такого методу будуть виконуватися за допомогою ПЗ, що знаходиться у вільному доступі та доступне до завантаження на сайті розробника Opentrack. В якості апаратного оптичного сенсору буде використовуватися цифрова камера з розширенням 720p, в якості базової станції використовуватиметься ПК з на Intel core I3 6300U.

При застосуванні стандартних налаштування в програмі та при освітленості в межах від 3000 лк до 4000 лк, що вважається нормальними умовами освітленості, відстеження має досить непогані результати. Важливим уточненням є те, що більшість налаштувань використовується для зручності користувача, і не впливають на роботу в різних умовах. Точність та коректність роботи є на задовільному рівні відсутні будь-які хибні та небажані сигнали, затримка роботи в таких умовах 3 – 5 мс. Алгоритм Opentrack також задовільно працює при змінах відстані від камери від 30 до 80 см, але при перебільшенні цих параметрів, робота алгоритму стає не задовільною. Якщо знаходитись ближче до камери то не всі контрольні точки відстеження знаходяться в робочій області, при віддалені в 150 см точки не можуть коректно відстежуватися.

При зменшенні освітленості до параметрів менших за 1500лк камера автоматично змінює свої налаштування. Це пов'язано з тим що матриці камери недостатньо світла для чіткого зображення і деякі параметри збільшуються деякі зменшуються. Так при освітленості меншій за 1500лк час, що виділяється на кожен кадр, може бути таким самим як і при нормальній освітленості і частота кадрів буде відповідати 60Гц, але при цьому якість зображення погіршується через збільшення параметру ISO, що значно збільшує візуальні шуми. При збільшенні витримки на кожен кадр зменшується кадрова частота, що погіршує плавність та коректність роботи системи.

Для поліпшення точності оптичного потоку можуть використовуватися методи корекції помилок, які враховують шум, збурення та інші фактори. Це включає в себе фільтрацію результатів та адаптивні методи для усунення

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

помилки, які можуть виникнути через низьку роздільну здатність, зміни в освітленні тощо.

Можливо зробити підсумки, що такий метод не рекомендується до використання через його примхливість до умов використання, адже погане освітлення зайві об'єкти занадто суттєво впливають на точність і коректність роботи системи. До того ж метод використовує оптичні цифрові камери які повинні відповідати технічним умовам, що робить таку систему дороговартісною, що не збігається з початковою метою проекту.

2.1.4 Метод відстеження з використанням інфрачервоного спектру

Інший метод оптичного визначення об'єкту в просторі використовує інфрачервоний спектр. Такий метод використовує інфрачервоні сигнали замість машинного. Через це потужності затрачені на збір та обробку інформації менші. Влаштування і внутрішні процеси системи, що використовує технологію інфрачервоного спектру, можуть варіюватися залежно від виробника та конкретної моделі пристрою. Однак загальний принцип роботи подібний для багатьох таких пристроїв.

Система включає в себе інфрачервоні сенсори, які випромінюють інфрачервоне світло в напрямку обличчя користувача. Це світло відбивається від обличчя і повертається до сенсорів. Сенсори реєструють відбиття інфрачервоного світла, інтерпретуючи зміни інтенсивності та напрямку випромінюваного світла. Ці дані передаються наступному етапу для обробки. Дані, зібрані інфрачервоними сенсорами, потрапляють до вбудованого процесора. Цей процесор обробляє інформацію та визначає положення голови користувача в тривимірному просторі. Цей процес може включати в себе математичні розрахунки та алгоритми, щоб перетворити сигнали інфрачервоного світла на конкретні координати голови.

Схематичне зображення як буде побудована структура при використанні даного методу наведена на рисунку 2.5.

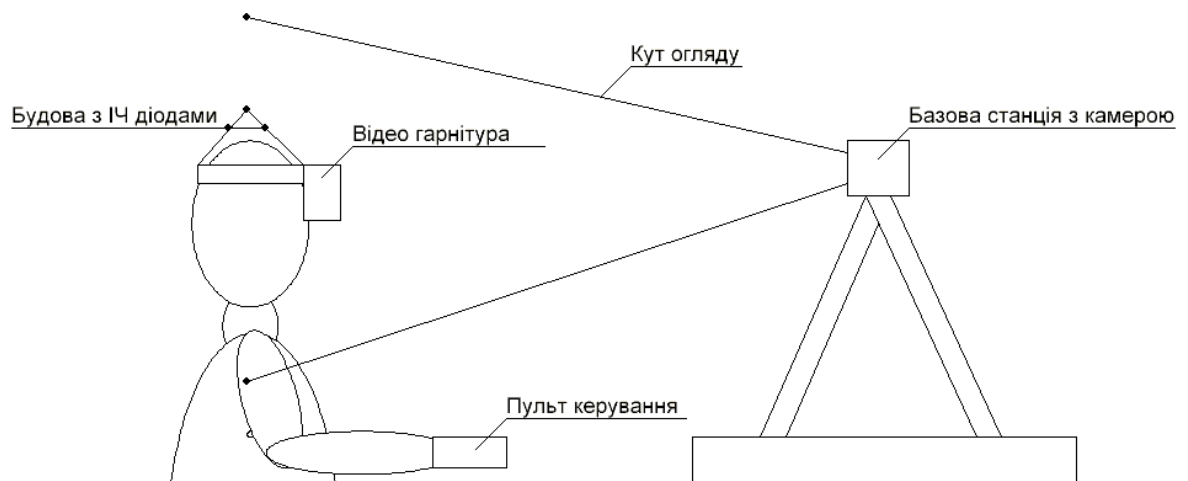


Рисунок 2.5 – Зображення системи керування на основі оптичного методу з використанням ІЧ сигналів

На точність такого методу впливають фактори схожі з попереднім методом. Так головним фактором є якісні інфрачервоні сенсори, що здатні більш точно вимірювати рухи голови та реагувати на них. Сенсори з вищим роздільною здатністю і чутливістю дозволяють отримувати більш точні дані. Як і в минулій технології важливими є процесор, що відповідає за обробку даних з сенсорів. Якщо алгоритми обробки даних добре оптимізовані та розвинуті, це може позитивно позначитися на точності вимірювань. Освітлення та оточуюче середовище також можуть впливати на точність. Сильне сонячне світло або інші джерела інфрачервоного випромінювання можуть завадити коректній роботі.

Тож висновком по даному як оптичному методі, так і по методу взагалі, є незадовільний. Головними фактор який унеможлиблю використання оптичних систем, для відстеження руху, є примхливість до умов використання. Освітленість навколишня температура, а також фіксована відстань від оптичних датчиків, робить систему стаціонарною та вимагає використання її в ізолюваному, від зовнішніх факторів, приміщенні.

Висновком буде, що в проекті буде використовуватися система, що побудована на датчиках сили прискорення та на магнітному компасі. Цей вибір обумовлений технічними умовами, та завданням. Датчики відповідають

необхідній точності, система побудована на них є мобільною, та не примхлива до умов використання. Але такий метод не позбавлений недоліків таких як: використання додаткового обладнання для підключення до відеогарнітур та додаткове джерело живлення.

Використовуючи такий метод він передбачає:

- використання системи в різних умовах та мобільність;
- висока точність система яка досягається використанням трьох різних типів датчиків, які відповідають кожен з свою вісь, та корегують один одного;

2.2 Аналіз типів датчиків

Отже метод відстеження, що базується на використанні сенсорів, використовує наступні типи датчиків:

- датчики відстеження сили прискорення (Акселерометр);
- датчики відстеження сили кутового прискорення (Гіроскоп);
- датчик змін слабого магнітного поля (Магнітний компас);

Так як існує декілька типів датчиків акселерометрів то проведемо аналіз кожного з них та визначимо, який підходить краще для системи.

Так як гіроскоп це акселерометр маятникового типу та мають схожу будову то при виборі типу акселерометра буде й обраний тип гіроскопа.

Головними характеристика для вибору акселерометра будуть:

- робочий діапазон від -10g до +10g;
- робочий температурний діапазон від -20 до +60°C;
- чутливість 1g;
- невисока ціна.

2.2.1 Плівкові п'єзоелектричні датчик

Першим типом, що буде розглядатися є Плівкові п'єзоелектричні датчик. Плівкові п'єзоелектричні датчики прискорення виконуються на основі багатошарової п'єзоелектричної полімерної плівки. Багатошарова плівка закріплена на підкладці з окису алюмінію і до неї приєднана інерційна маса з

порошкового металу. При зміні швидкості руху датчика внаслідок дії інерційних сил відбувається деформація плівки. Завдяки п'єзоефекту виникає різниця потенціалів на межах шарів плівки, яка залежить від прискорення. Чутливий елемент датчика має надзвичайно високий вихідний опір, тому на підкладці датчика АСН-01 компанії Atochem Sensors є також польовий транзистор з малим струмом затвора, який є підсилювачем напруги. Це дозволяє вимірювати змінні прискорення із порівняно низькою частотою. Датчики цього типу мають погану повторюваність характеристик у серійному виробництві, високу чутливість до зміни температури та тиску. Вони не можуть контролювати постійні прискорення та гравітаційні сили.

Плюсами та мінусами для даного типу є:

- + низька вартість;
- + робочий діапазон -10g до +10g;
- низька чутливість 2g;
- низька якість;
- висока чутливість до умов температури та тиску.

2.2.2 Ємнісні інтегральні акселерометри

Об'ємні інтегральні акселерометри є більш точним за плівковий п'єзоелектричний. Призначений для застосування в системах управління де необхідна точність, наприклад система подушок безпеки авто. Цей датчик складається з двох пластин кремнію, які сплавлені один з одним. Три тонкі кремнієві балки *c*, *d* і *e*, розташовані в пластині, інерційна маса *a* з'єднана з кремнієвою рамкою *b* на пластині. Ця маса з'єднується з кремнієвою рамкою механічно з одного краю. Кожна з коротких зовнішніх (згинальних) балок містить пару імплантованих п'єзореzystорів, що утворюють напівміст. Два півмоста з'єднуються в бруківку. Коли відбувається зіткнення автомобіля з перешкодою, маса рухається вниз, згинаючи балки *c*, *d*, *e* та викликаючи деформацію п'єзореzystорів. Таким чином, датчик і розташована поза кристалом електронна схема обробки сигналів створюють при роботі вихідний

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

сигнал напругою від 50 до 100 мВ повної шкали, що викликається деформацією п'єзрезисторів, включених за схемою моста Уїтстона. Структура Інтегральний акселерометр об'ємного типу показана на рисунку 2.6.

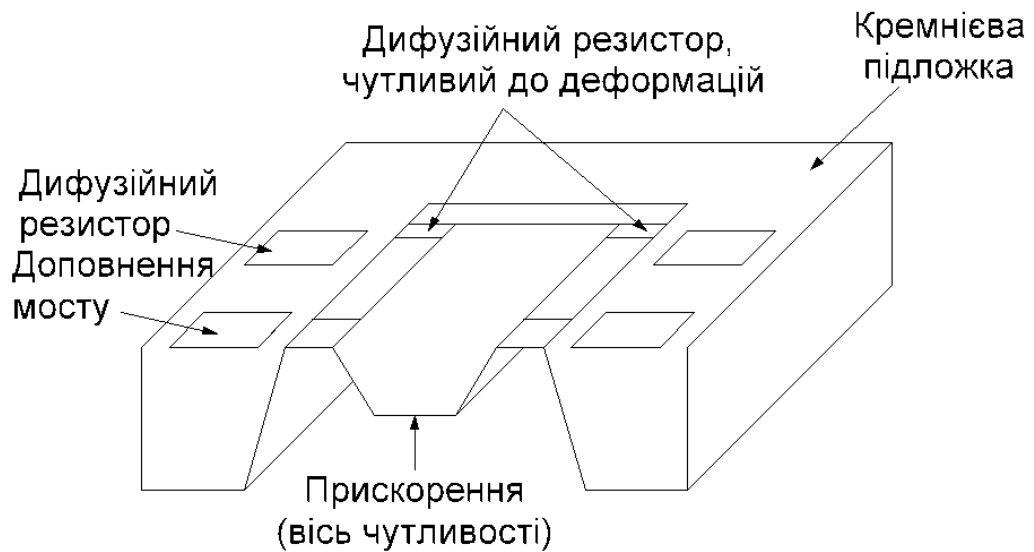


Рисунок 2.6 – Інтегральний акселерометр об'ємного типу

Датчик має систему самоконтролю. Ключову роль системі самоконтролю грає резистор-збудник, який нагрівається пропусканням через нього електричного імпульсу. Коли балка, розташована в середній частині пластини, нагрівається, відбувається її подовження, оскільки температурний коефіцієнт розширення кремнію позитивний. Оскільки кінці її закріплені, вона прогинається, відхиляє інерційну масу і згинає балку, що містить п'єзрезистори. Ця балка зміщується приблизно на 3 мкм у тому напрямку, що і маса при зіткненні автомобіля з перешкодою.

Інтегральні датчики прискорення об'ємної конструкції мають низку недоліків. По-перше, вони складні у виробництві, оскільки операції формування об'ємних структур не дуже поєднуються зі стандартними поверхневими інтегральними технологіями. По-друге, бажано мати датчик мінімально можливих розмірів на схемному кристалі і мінімально можливих розмірів. Зменшення розмірів кристала дає підвищення його механічної міцності та зниження вартості. У той же час в датчику об'ємної конструкції

тільки розміщення чутливого елемента потрібно від 6,5 до 16 мм² площі кристала. Розміщення на кристалі схем формування сигналу може збільшити цю площу ще вдвічі. Тому, зокрема, один із датчиків прискорення компанії має двокристалну конструкцію. На одному кристалі виконано об'ємний чутливий елемент, а на іншому схема обробки сигналу.

Плюсами та мінусами для даного типу є:

- + робочий діапазон -10g до +10g;
- + чутливість 0.5g;
- + висока якість;
- + робочий температурний діапазон від -30 до +70 °С.
- Висока вартість.

2.2.3 Поверхневі ємнісні інтегральні акселерометри

Весь кристал акселерометра розміром 3,05 3,05 мм зайнятий головним чином схемами формування сигналу, які оточують мініатюрний датчик прискорення розміром 11 мм, розташований в його центрі. Датчик є диференціальною конденсаторною структурою з повітряним діелектриком, обкладки якого вирізані (витравлені) з плоского шматка полікремнієвої плівки товщиною 2 мкм. Нерухомі обкладки цього конденсатора є простими консольними стрижнями, розташованими на висоті 1 мкм від поверхні кристала в повітрі на полікремнієвих стовпчиках-анкерах, приварених до кристала на молекулярному рівні.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

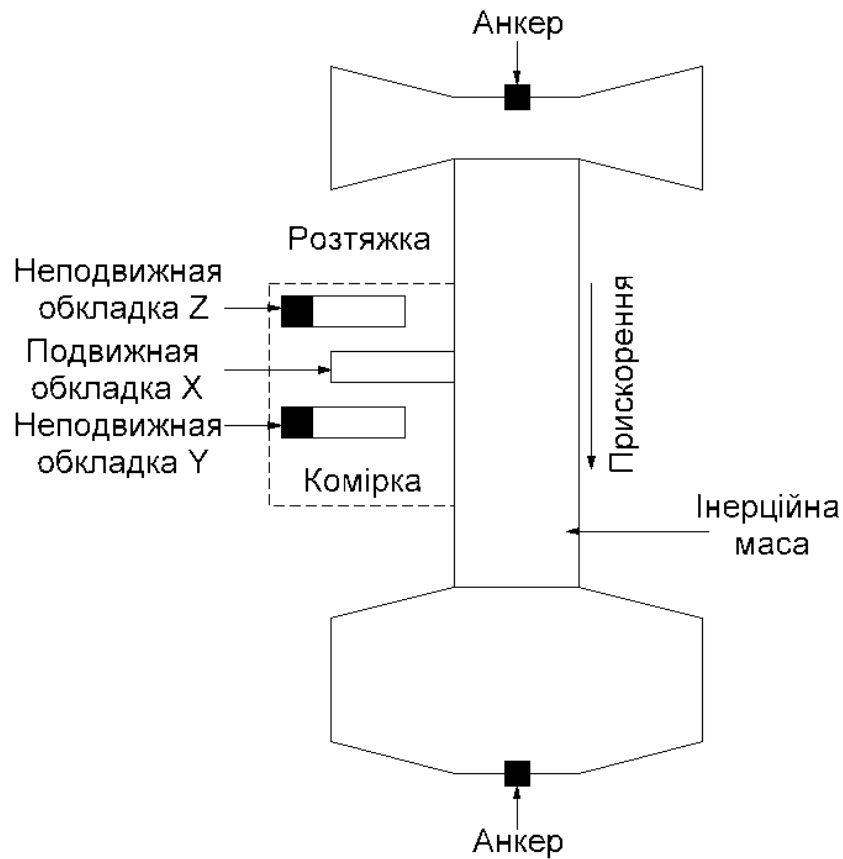


Рисунок 2.7 – Основний конструктивний блок елементарної комірки датчика прискорення

На рис. 2.7 показаний основний конструктивний блок елементарного комірки датчика. Фактично датчик має 54 елементарні комірки для вимірювання прискорення, але для простоти малюнок показує лише одну комірку. Інерційна маса датчика прискорення при зміні швидкості переміщення кристала зміщується щодо решти кристала. Її пальцеподібні виступи утворюють рухливу обкладку конденсатора змінної ємності. З кожного кінця ця структура спирається на стовпчики-анкери, аналогічні конструкції тримачі нерухомих обкладок. Розтяжки по кінцях інерційної маси, що утримують її, і виконують роль механічної пружини постійної пружності, що обмежують переміщення пробної маси і її повернення у вихідне положення.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Оскільки переміщення інерційної маси має відбуватися в площині полікремнієвої плівки, вісь чутливості датчика лежить у цій площині, і вона паралельна площині друкованої плати, до якої припаюється датчик.

Кожен із наборів нерухомих обкладок конденсатора (Y та Z) електрично з'єднаний паралельно всередині схемного кристала. В результаті виходить пара незалежних конденсаторів X-Y і X-Z, рухома обкладка яких утворена всією сукупністю пальцеподібних виступів інерційної маси. Усередині кристала ці три обкладки підключені до вбудованих схем формування сигналу акселерометра. У спокійному стані (рух із постійною швидкістю) усі «пальці» рухомої обкладки X завдяки розтяжкам знаходяться на однаковій відстані від пар пальців нерухомих обкладок. При будь-якому прискоренні рухомі пальці наближаються до одного з наборів нерухомих пальців та віддаляються від іншого набору. В результаті цього відносного переміщення відповідні відстані стають неоднаковими, і ємності між рухомою обкладкою та кожною з нерухомих обкладок змінюються.

Підсумком буде вибір акселерометрів MEMS ємнісного типу через його поширеність та задовільні вихідні параметри за невисоку вартість.

Плюсами та мінусами для даного типу є:

+ робочий діапазон -10g до +10g;

+ чутливість 1g;

+ робочий температурний діапазон від -20 до +60 °C.

+ задовільна вартість.

Висновком буде вибір поверхневого ємнісного інтегрального акселерометра, так як його точність та чутливість кращі ніж в плівкового п'єзоелектричного датчика, а ціна менша ніж ємнісного інтегрального акселерометра.

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

2.3 Математична модель акселерометрів

Так як система повинна забезпечувати точність, що буде запобігати небажаним сигналам та шумам, потрібно зробити математичну модель акселерометра та провести її аналіз. Це дозволить визначити точність датчиків від яких залежить точність системи, та зробити висновки по методу основанийого на датчиках.

Для проведення оцінки точності та відповідності реальних параметрів до паспортних акселерометра поверхневого ємнісного інтегрального типу буде зроблена математична модель акселерометра MMA7331LT. Обраний був MMA7331LT через те, що його архітектура та основні елементи конструкції є розповсюдженими і використовуються на великій кількості акселерометрів.

Через велику кількість складових в мікро-механічному акселерометрі для простоти побудови математичного аналізу його модель буде спрощено, так щоб відхилення в розрахунках були незначними. Спрощений модель зображено на рисунку 2.8.

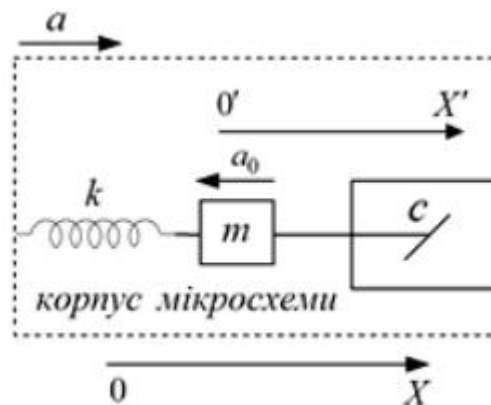


Рисунок 2.8 – Спрощена одновимірна механічна модель акселерометра MMA7331LT

На вище показаному рисунку m ефективна інерційна маса, яка є характеристикою розміру рухомої частини і залежність від типу кріплення на кристалі, k пружинний елемент з коефіцієнтом жорсткості, значення якого залежить від вибраної конструкції та матеріалу, c коефіцієнт опору враховує внутрішні та зовнішні витрати енергії в системі.

В механічній схемі прискорення об'єкту a спрямовано впродовж осі OX ініціальної системи відліку, зв'язаної з землею. Прискорення a_0 зв'язано з системою координат $0'X'$, прив'язаної до корпусу сенсора, а вісь чутливості акселерометра направлено вздовж OX .

Підсумкове прискорення інерційної маси визначається як $\vec{A} = \vec{a} + \vec{a}_0$ при цьому рух інерційної маси з даним прискоренням виникає за рахунок сили

$$\vec{F} = m + \vec{A} \quad (2.1)$$

Для спрощеної схеми при переміщенні з прискорення a на інерційну масу діють сила пружності $F_{\Pi} = k * x'$ та сила опору $F_O = c * \frac{dx'}{dt}$. Тоді з використанням співвідношення (1) можна записати рівняння руху інерційної маси:

$$m * (a - a_0) = k * x' + c * \frac{dx'}{dt} \quad (2.2)$$

В зв'язаній з сенсором системі відліку $0'X'$ модуль прискорення є другою похідною від переміщення $a_0 = \frac{d^2x'}{dt^2}$ тому співвідношення (2.2)

Можна переписати таким чином:

$$m * \frac{d^2x'}{dt^2} + k * x' + c * \frac{dx'}{dt} = m * a, \quad (2.3)$$

Останній вираз є диференціальним рівнянням щодо координати x' . Застосуємо для отриманого диференціального рівняння (2.3) перетворення Лапласа за нульових початкових умов:

$$m * p^2 * X'(p) + k * X' + c * p * X'(p) = m * a(p), \quad (2.4)$$

де $X'(p)$ — зображення за Лапласом зсув інерційної маси, $a(p)$ — зображення Лапласа прискорення об'єкта. Для спрощеної механічної системи вхідним сигналом є прискорення об'єкта, а вихідним сигналом значення зміщення інерційної маси у системі координат $0X'$. Відповідно до визначення передавальної функції $W(p)$ отримаємо вираз (2.5):

$$W(p) = \frac{X'(p)}{a(p)} = \frac{m}{m \cdot p^2 + c \cdot p + k}. \quad (2.5)$$

Цей вираз є передавальною функцією по каналу прискорення - зміщення інерційної маси.

Введемо нові змінні:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \varepsilon = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot m}}. \quad (2.6)$$

Тут величина ω_0 – частота власних коливань акселерометра, ε – коефіцієнт загасання.

У цьому випадку передавальна функція (2.5) приймає вигляд:

$$W_c(p) = \frac{1}{p^2 + 2 \cdot \varepsilon \cdot \omega_0 \cdot p + \omega_0^2}. \quad (2.7)$$

Так як вихідна напруга датчика пропорційно зсуву інерційної маси, то, використовуючи вираз (2.7), можна написати передатну функцію акселерометра каналом прискорення - вихідна напруга. Для цього введемо нові коефіцієнти: $K = \frac{G}{\omega_0^2}$, $\alpha = \frac{1}{\omega_0^2}$ і $\beta = \frac{2\varepsilon}{\omega_0}$.

У результаті отримуємо передавальну функцію за каналом прискорення - вихідна напруга:

$$W_c(p) = \frac{U(p)}{a(p)} = \frac{K}{\alpha \cdot p^2 + \beta \cdot p + 1}, \quad (2.8)$$

де K - статичний передавальний коефіцієнт датчика по каналу прискорення вихідна напруга. Коефіцієнти α — квадрат постійного часу акселерометра, а β — постійна часу акселерометра. Отриманий вираз передавальної функція (2.8) буде використано як математичну модель акселерометра.

Масштабний коефіцієнт визначено з експериментальних даних як кут нахилу кривої. При виконанні вимірювань вісь чутливості акселерометра ортогонально встановлена вектору прискорення сили тяжіння g .

Статичний передавальний коефіцієнт:

Для 12g:

$$K = 81.7 \frac{\text{мВ}}{\text{g}} = \frac{0.0817\text{В}}{9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0.00834 \frac{\text{В} \cdot \text{с}^2}{\text{м}}. \quad (2.9)$$

Для 4g:

$$K = 290.5 \frac{\text{мВ}}{\text{g}} = \frac{0.2905\text{В}}{9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0.02964 \frac{\text{В} \cdot \text{с}^2}{\text{м}}. \quad (2.10)$$

Для оцінки коефіцієнтів α та β використовувалася логарифмічно амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ), отримана за співвідношенням передавальної функції.

$$L_c(\omega) = 20 * \lg(W_c(i\omega)) = 20 * \lg K - 10 * \lg \{(1 - \alpha * \omega^2)^2 + \beta^2 + \omega^2\}. \quad (2.11)$$

Для визначення коефіцієнтів α та β використана апроксимація методом найменших квадратів експериментально знятої ЛАЧХ функцією. При моделюванні було знехтувано явищем залипання.

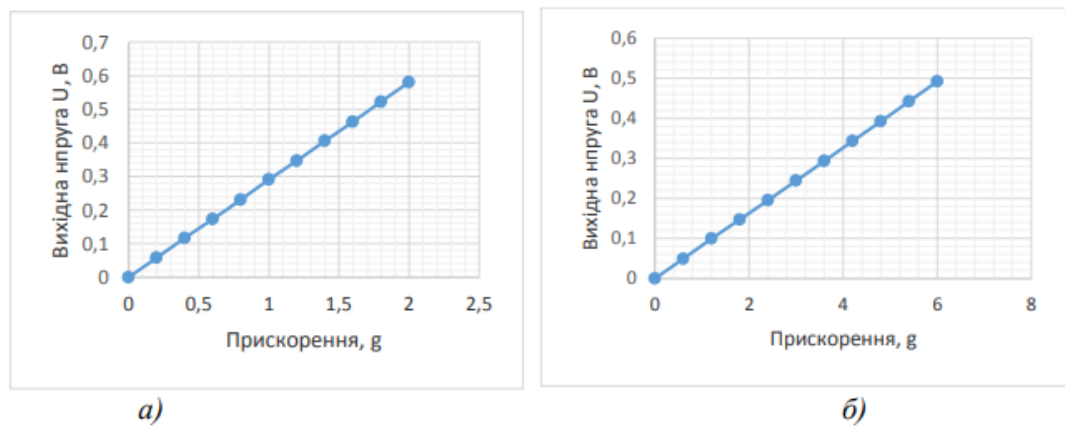


Рисунок 2.9 – Залежність вихідної напруги акселерометра MMA7331LT від вимірюваного прискорення в діапазонах 4g (а) 12g (б)

При нехтуванні явищем залипання можливо визначити коефіцієнти α та β :

$$\alpha = 2.6342 * 10^{-8} \text{с}^2, \quad \beta = 9.8127 * 10^{-5} \text{с}$$

Таким чином передавальна функція акселерометра в діапазоні 12g має вигляд.

$$W_c(p) = \frac{0.00834}{2.6342 \cdot 10^{-8} \cdot p^2 + 9.8127 \cdot 10^{-5} \cdot p + 1} \quad (2.12)$$

На рисунку 2.10 наведені експериментальні (червона) та змодельована за співвідношенням (синя) нормовані АЧХ акселерометра MMA7331LT для діапазону 12 g.

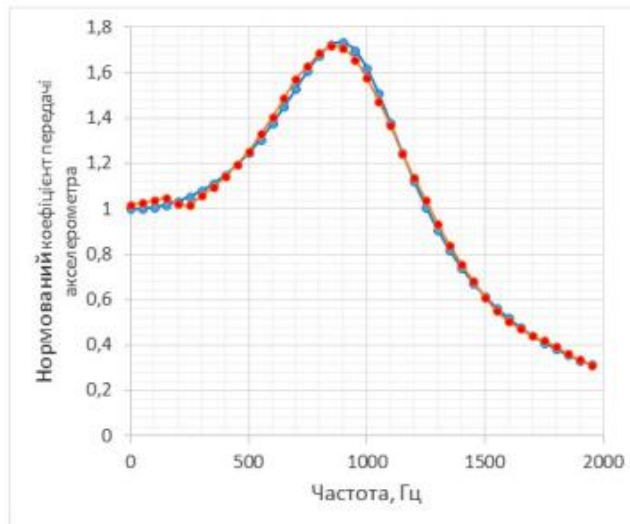


Рисунок 2.10 – Нормована АЧХ MMA7331LT для діапазону 12g

При використанні паспортних характеристик MMA7331LT в режимі 12g, максимальна похибка відхилення від модельного значення становитиме 17%. При використанні коригуючої функції відхилення від модельних точок становить близько 3,4%.

Отже математична модель показала, що при її використанні точність розрахунків системи можливо підвищити більше ніж 10%, що також збільшилось точність керування. Окрім отримані дані можливо використати для запобігання небажаних ефектів при подальшій розробці. На основі цих даних система буде побудована на датчиках архітектури MMA7331LT. Розрахунки також доводять і те, що точність методу на основі датчиків є задовільними та перевершують показники інших методів.

3 Вибір та обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми системи

В розділі описані головні кроки та етапи роботи системи керування FPV дроном. Далі буде показний алгоритм роботи системи та детальніше описано кожен пункт функціонування системи та спроектована структурна схема, що представляє структуру та головні компоненти проекту, який розробляється.

3.1 Алгоритм роботи системи керування FPV дроном

Алгоритм роботи представлений на рисунку 3.1.

При початку роботи система ініціалізується та проводить перевірку датчиків. Перевірка проводиться для коректної роботи системи. Суть її отриманню сигналів з датчиків та перевірка рівнів сигналів на відповідність до коректних значень. Для цього МК опитує датчики, аналізує та порівнює дані з них. В разі коли данні мають розбіжність в більше ніж 5% то система піддається повторній перевірці. В тому випадку, коли розбіжність між даними відповідає вказаним параметрам система переходить до наступного кроку.

Коректні дані зберігаються в пам'яті та на їх основі формуються контрольні точки для кожної з осей. Контрольна точка, це точка від якої в подальшому будуть виконуватися відлік зміни параметрів датчика на основі яких відстежуються рухи голови.

Для початку відліку потребується додатковий сигнал від органу управління, який надає доступ до керування. Якщо необхідний сигнал бува отриманий система оновлює контрольні точки та починає відстеження змін на датчиках. МК обробляє ці дані знаходить середнє арифметичне для кожної осі на основі 3 датчиків та отриманий результат передає на органи керування. На цьому етапі в система використовує додаткову систему само контролю для коректної роботи, яка відстежує розбіжність даних. Принцип роботи самоконтролю аналогічний першій системі контролю. При відсутності значних розбіжностей система отримує контроль над керуванням.

Система виконує керування дроном, поки на неї подається керуючий сигнал. В разі відсутності його система вимикається.

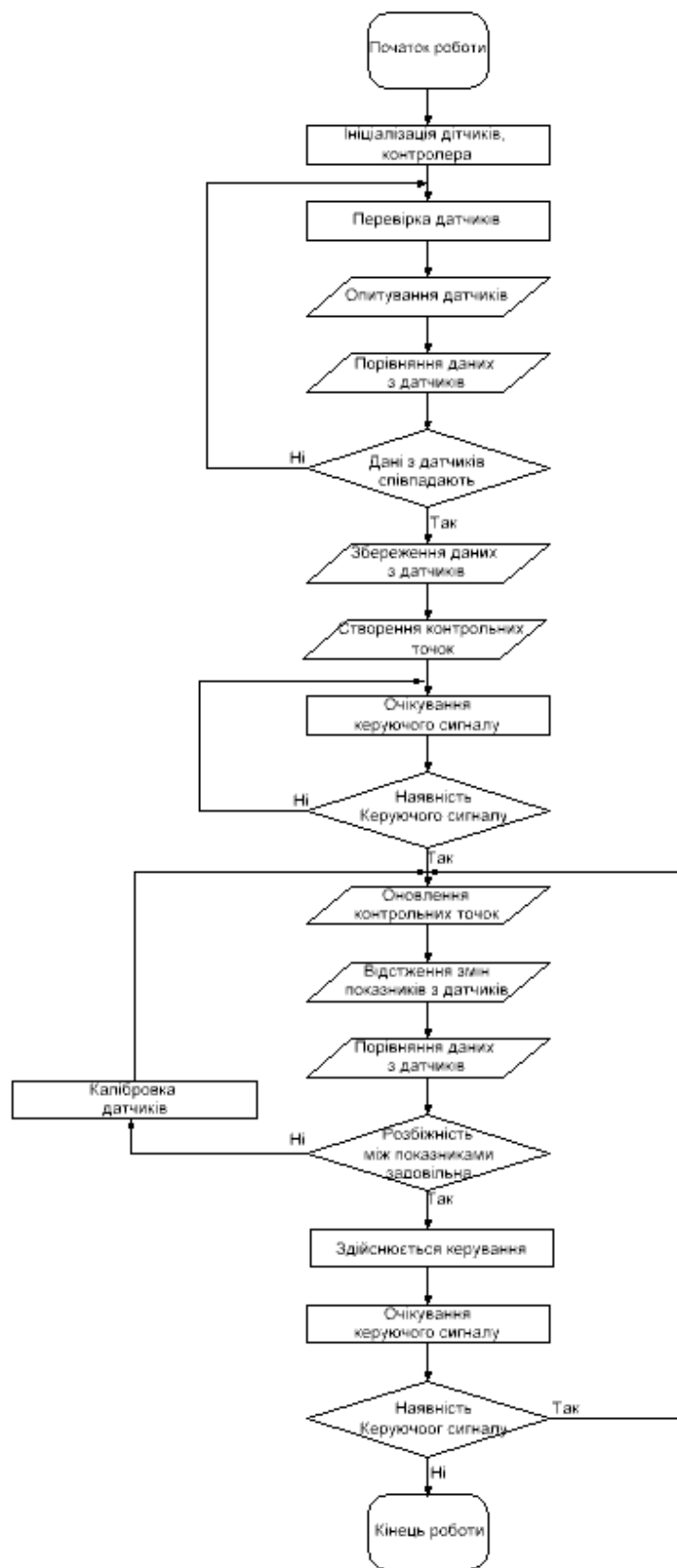


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи системи керування FPV дроном

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.2 Структурна схема системи керування FPV дроном

Структурна схема представлена на рисунку 3.2. На ній зображені головні структурні блоки та схема їх комутації.



Рисунок 3.2 – Структурна схема системи керування FPV дроном

Структурна схема складається з наступних блоків:

- мікроконтролерний блок;
- блок інтерфейсу фізичного підключення;
- блок індикації;
- модуль бездротового підключення;
- блоку живлення;
- блок датчиків.

Основним блоком виступає мікроконтролерний блок. Мікроконтролер керує всіма компонентами системи та виконує необхідні обчислення. Даний блок складається з МК та необхідних для його роботи компонентів, таких як конденсатори резистори, кварцові резонатори.

Так він опитує датчики та збирає з них дані. МК також виконує калібрування датчиків. Мікроконтролер формує, запам'ятовує та оновлює контрольні точки на основі яких виконує відлік та обчислення для керування системи. Після отриманих даних, починається виконання обчислень та формування сигналу, який він подає на один із інтерфейсів підключення до органів керування.

Система обладнана двома блоками з інтерфейсами для підключення до органів керування. Один з них для фізичного підключення. Цей блок необхідний для дротового підключення системи до органів керування.

Інший блок підключення використовується для підключення системи бездротовим методом за допомогою Bluetooth або Wi-Fi. Використовується даний блок при відсутності на органах керування необхідного фізичного порту, або для зручності оператора.

На який інтерфейсний блок подаватиметься керуючий сигнал від МК. визначається зворотнім зв'язком. Для цього МК опитує обидва блоки і при отриманні сигналу починає передавати керуючий сигнал на блоки підключення. Сигналом що слугують для визначення в кожного блока різний, так фізичний блок визначається через опір на інтерфейсі або через сигнал від органу керування в залежності від типу. Бездротовий блок, в свою чергу, визначається лише отриманням сигналу від одного з модулів.

Блок індикації використовується для індикації готовності пристрою, як показчик стадії процесів, що виконуються.

Блок живлення - виконує процеси пов'язані з живленням системи. Також блок живлення оснащений сторожовим таймером для моніторингу роботи системи та в разі необхідності виконує перезавантаження. Зарядка акумуляторів може бути здійснена через спеціальний роз'єм, або за допомогою інформаційного інтерфейсу USB 2.0, який підтримує таку можливість.

Блок датчиків являє собою набір цифрових датчик, що відстежує прискорення інерційної маси в трьох площях. Всі ці датчики мають різні принципи роботи, але виконують одну й ту саму роботу відстежують

орієнтацію предмета в просторі. Вони необхідні для отримання максимально коректних даних, та в разі незадовільної роботи одного з датчиків компенсувати його показники. Отримані дані з них дані порівнюються піддаються обробці для подальшої передачі на пристрої керування.

4. Розробка функціональної схеми

Функціональна схема представлена на рисунку 4.1.

Так як акселерометр являється інтегральним цифровим датчиком він під'єднаний контактами SCL і SDA до мікроконтролера на контакти PF7 і PF6, що являються цифровими виводами з підтримкою I2C, та обмінюються даними за допомогою протоколу I2C.

Гіроскоп є інтегральним цифровим датчиком та з'єднаний контактами SCL і SDA з мікроконтролером до контактів PF5 і PF4, що являються цифровими виводами з підтримкою I2C, та обмінюються даними за допомогою протоколу I2C.

Магнітний компас це інтегральний цифровий датчик, що з'єднаний контактами SCL і SDA з мікроконтролером до контактів PF3 і PF2, які являються цифровими виводами з підтримкою I2C, та обмінюються даними за допомогою протоколу I2C.

Модуль бездротового інтерфейсу Wi-Fi є схемою високої інтегральності та для своєї роботи потребує додаткової флеш пам'яті. Пам'ять з використанням контактів WP, HOLD, DI, CLK, CS та DO шиною з'єднаний з модулем Wi-Fi до контактів SD3, SD2, SD1, SCLK, SCMD та SD0. Сам модуль підключений контактами UORXD, UOTXD до контактів мікроконтролера PE0, PE1 для обміну з використанням протоколу UART. Також модуль Wi-Fi підключений до сторожового таймера контактом EXT-RST до вихідного контакту сторожового таймера Y1 для перезавантаження схеми в разі збою в роботі системи.

Для реалізації бездротового інтерфейсу Bluetooth використовується інтегральна схема з підтримкою протоколу UART. Модуль підключається контактами UARTTXD і UARTRXD до контактів мікроконтролера PD2, PD3.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Обмін даними між МК та Bluetooth виконується з використанням протоколу UART. Також даний модуль підключений до сторожового таймера контактом RESET_B до вихідного контакту таймера Y2 для перезавантаження модуля в разі виникнення неполадок в роботі системи.

Драйвер порту USB перетворює сигнали шини протоколу I2C в сигнали протоколу USB. Так драйвер підключений контактами VCC, VD-, VD+, GND до самого порту. Такі контакти як VCC, GND використовуються для врівноваження напруг між системою та зовнішнім пристроєм інші контакти шини обміну даних . Контакти SCL, SDA підключені до контактів мікроконтролера PD0, PD1 з використанням протоколу I2C для обміну даних з ним.

Інтерфейсний блок представлений як 4 світлодіоди різних кольорів, для інформування оператора. Так 1 LED є зеленого кольору підключений до контакту МК PA0 та сигналізує про виконання програми МК має два стани, стан свічення відповідає за нормальну роботу в іншому випадку в програмі стався збій. 2 LED зеленого кольору підключений до контакту МК PA2 відповідає про сигналізацію створення контрольних точок і має 2 стани роботи, перший стан свічення відповідає за коректне створення точок в іншому випадку в програма не має контрольних точок. 3 LED синього кольору підключений до контакту МК PA4 та відповідає за роботу Bluetooth модуля має 3 стани: перший стан вимкнений в такому разі даний модуль не працює; другий стан мигаючий з періодичністю в 1Гц сигналізує, що модуль знаходиться в стані пошуку зовнішнього пристрою; стан безперервного світіння сигналізує про обмін даними з зовнішнім пристроєм. 4 білого кольору підключений до контакту МК PA6 та відповідає за роботу Wi-Fi модуля має 3 стани: перший стан вимкнений в такому разі даний модуль не працює; другий стан мигаючий з періодичністю в 1Гц сигналізує, що модуль знаходиться в стані пошуку зовнішнього пристрою; стан без перервного світіння сигналізує про обмін даними з зовнішнім пристроєм.

Сторожовий таймер окрім підключення до модулів Wi-Fi та Bluetooth також підключений вхідними контактами А, В, С, до контактів МК РС0, РС1, РС2, для перевірки наявності сигналів, у разі відсутності сигналів від МК на цих контактах виконується перезавантаження. Вхідні контакти Е1, Е2, Е3 підключенні до МК на контакт РС3, це необхідно для того, щоб при налаштуванні програми МК системо циклічно не перезавантажувалась.

5 Вибір елементної бази та розробка принципів електричних схем блоків

5.1 Мікроконтролерний блок

В ході аналізу представлених мікроконтролерів на ринку, були вирішено використовувати МК фірми Atmel, AtMega 12816AU. Його швидкодії та кількості інтерфейсів для роботи з периферійними пристроями достатньо для роботи.



Рисунок 5.1 – Зовнішні вигляд AtMega 12816AU

В даному проекті мікроконтролер виконує функції пов'язані зі збором та обробкою даних з датчиків. Так МК на основі даних з датчиків створює та зберігає контрольні точки, та веде відлік змін сигналів з датчиків. Оброблені дані передаються на один з інтерфейсів підключення. Для роботи з модулями

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

бездротового підключення AtMega 12816AU обладнана двома інтерфейсами UART, який має просте підключення та задовольняє потреби в швидкодії. Для роботи з цифровими датчиками, що використовуються в проєктів МК обладнаний інтерфейсами I2C в якості 3 попарних виводів підключення. AtMega 12816AU має тактову частоту в 16МГц, чого достатньо для виконання поставлених йому задач без затримок та об'єм SRAM 4Кбайт. Більш детальніші технічні характеристики AtMega 12816AU представлені в таблиці нижче.

Таблиця 5.1 – Основні технічні характеристики AtMega 12816AU

Тактова частота	16 МГц
Інтерфейси	
Ліній вводу – виводу	53 (програмованих)
Лінії вводу – виводу з підтримкою АЦП	10 розрядний 8 каналний
UART	1
SPI	1
JTAG	1
I2C	4
Пам'ять	
Flash	128 Кбайт
SRAM	4 Кбайт x 8
EEPROM	4 Кбайт x 8
Цикл перезапису EEPROM	100 000
Циклів перезапису FLASH ROM	10 000
Таймери – лічильники	
8-бітних	2
16-бітних	2
RTC\Real Time Clock (реального часу)	1
Сторожовий таймер	1

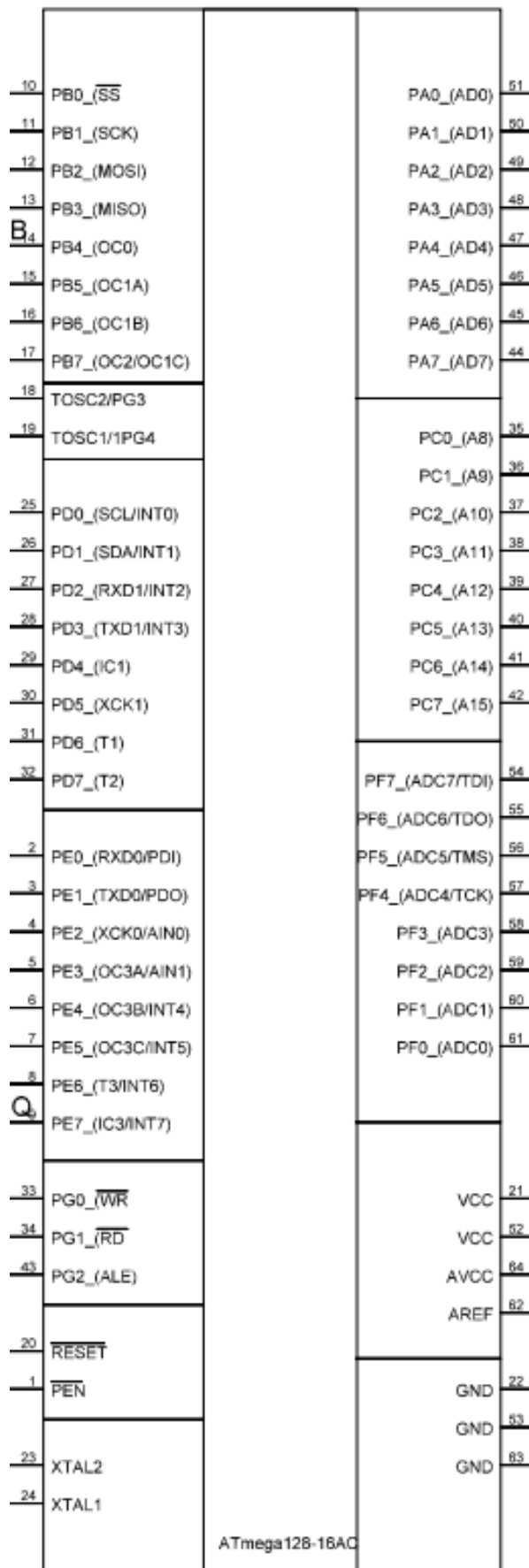


Рисунок 5.2 – Схема виводів мікроконтролера Atmega 12816AU

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ

Арк.

49

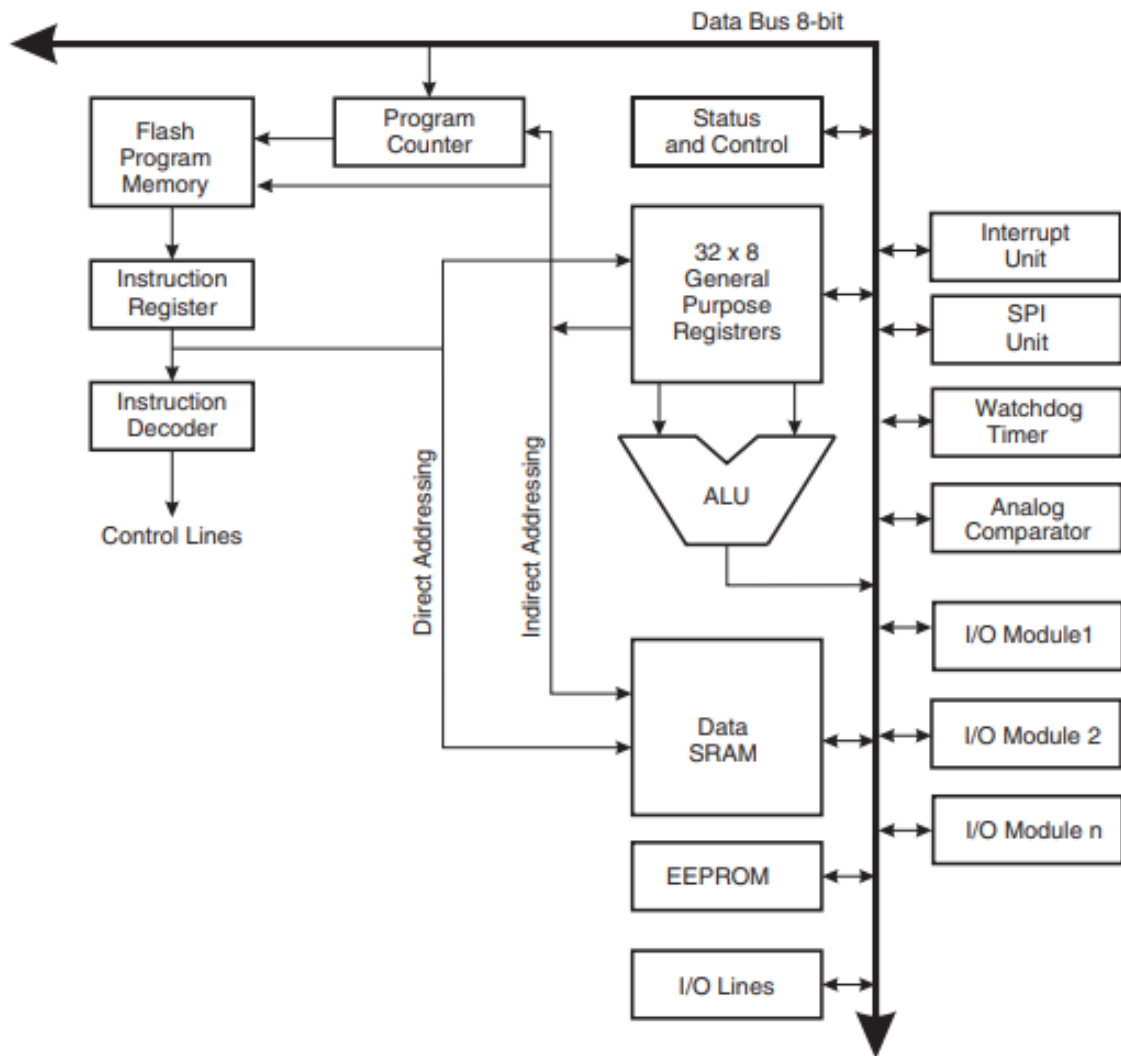


Рисунок 5.3 – Блок схема процесорного блоку

Високоєфективний AVR АЛП працює в прямому зв'язку з усіма 32 регістрами загального призначення. Протягом одного тактового циклу, арифметичні операції між регістрами загального призначення негайно виконуються. Операції АЛП розділяють на три основні категорії: арифметичні, логічні і бітові операції. Деякі реалізації архітектури також забезпечують потужний мультиплікатор, який підтримує обидва (знакове/без знакове) множення і фракційний формат.

Для забезпечення безпеки програмного забезпечення, простір флеш-пам'яті програм (FlashProgramMemory) розділена на дві секції. Флеш-пам'ять може витримати щонайменше 10000 циклів запису/стирання.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

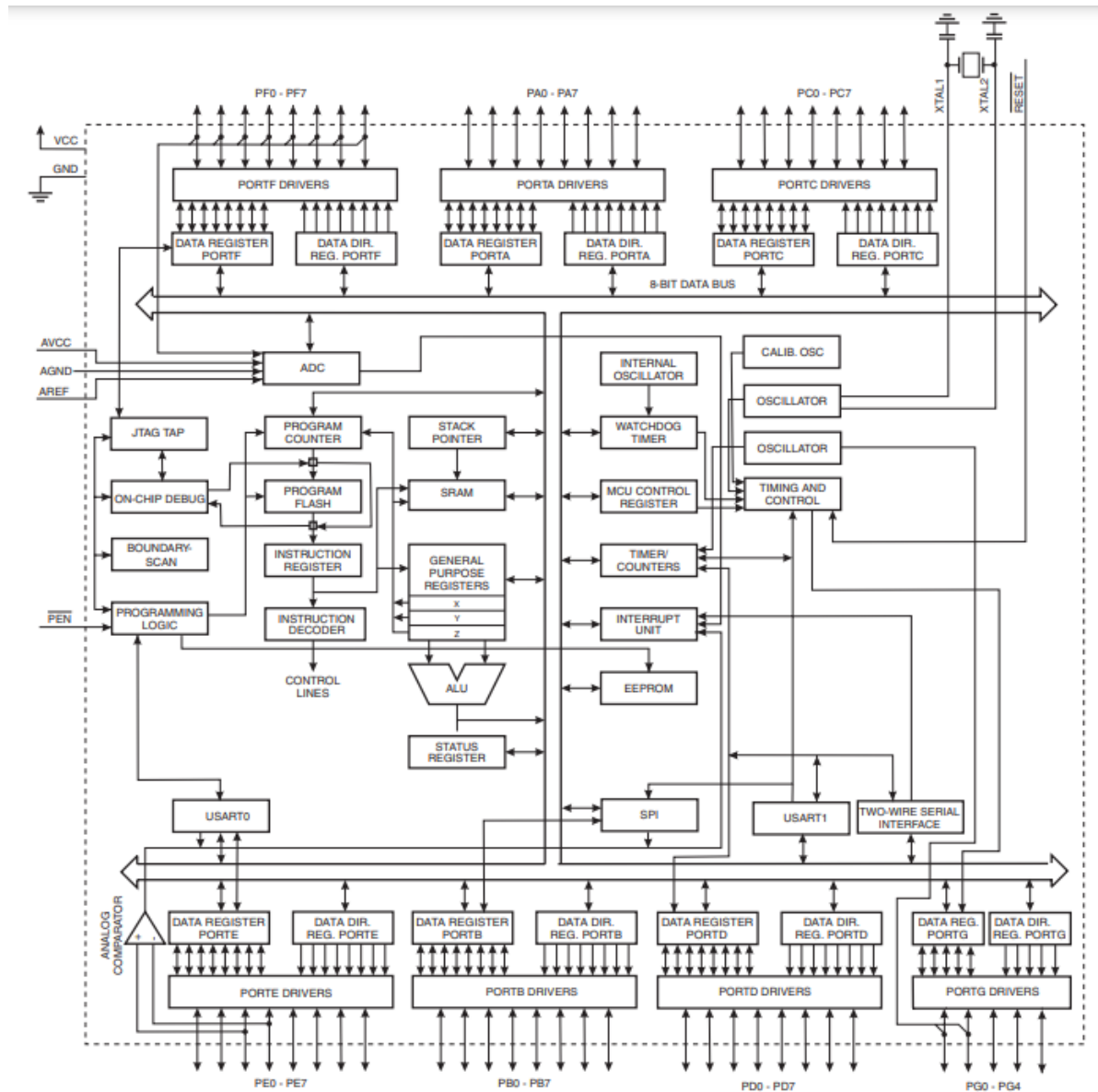


Рисунок 5.4 – Схема мікроконтролера Atmega 12816AU

У вибраного мною мікроконтролера достатньо внутрішньої пам'яті, а саме 128Кбайт, для зберігання програми, та 4 Кбайта SRAM, і 4 Кбайта EEPROM. Для роботи з периферійними пристроями мікроконтролер обладнаний 53 лініями вводу – виводу, які можуть бути запрограмовані. Atmega 128 обладнаний 8 – каналним 10 – розрядним АЦП, що дає змогу працювати з аналоговими пристроями. Також є можливість підключення через інтерфейс TWI, та інтерфейс SPI в режимах Master/Slave і для внутрішнього програмування контролера.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Опис виходів мікроконтролера наведена в таблиці 2,2.

Таблиця 5.2 Опис виходів мікроконтролера

Позначення	Функція виходу
VCC	Схема живлення
GND	Схема заземлення
Port A (PA7..PA0)	Порт А 8-розр. порт двонаправленого введення-виводу з внутрішніми підтягуючими до плюсу резисторами. Вихідні буфери порту А мають симетричну вихідну характеристику з однаковими втікаючими і витікаючими струмами. Виводи порту А знаходяться у третьому (високоімпедансному) стані при виконанні умови скидання, навіть якщо синхронізація не запущена. Порт А також використовується для підключення додакової пам'яті .
Port B (PB7..PB0)	Порт В 8-розр. порт двонаправленого введення-виводу з внутрішніми підтягуючими до плюсу резисторами. Вихідні буфери порту В мають симетричну вихідну характеристику з однаковими втікаючими і витікаючими струмами. Виводи порту В знаходяться у третьому (високоімпедансному) стані при виконанні умови скидання, навіть якщо синхронізація не запущена. Порт В також використовується для підключення шини SPI.
Port C (PC7..PC0)	Порт С 8-розр. порт двонаправленого введення-виводу з внутрішніми підтягуючими до плюсу резисторами. Вихідні буфери порту С мають симетричну вихідну характеристику з однаковими втікаючими і витікаючими струмами. Виводи порту С знаходяться у третьому (високоімпедансному) стані при виконанні умови скидання, навіть якщо синхронізація не запущена. Порт С також використовується для підключення додакової пам'яті.

Продовження таблиці 5.2 - Опис виходів мікроконтролера

Позначення	Функція виходу
RESET	Вхід загального скидання мікроконтролера.
XTAL2	Вихід інвертуючого підсилювача генератора.
AVCC	Вхід живлення порту F та аналогово-цифрового перетворювача.
AREF	Вхід підключення джерела опорної напруги АЦП
PEN	Ввхід роздільної здатності програмування для режиму послідовного програмування через інтерфейс. При роботі PEN не виконує жодних функцій.

Функції та призначення виходів мікроконтролера наведені в таблиці 5.3

Таблиця 5.3 – Функції виходів та призначення виходів мікроконтролера

Назва	Позначення	Функція виходу
PD0, PD1	SCL, SDA	Виходи для підключення мікроконтролера по інтерфейсу I2C в режимі slave для предечі даних на драйвер USB порту CH341T
PD2, PD3	RXD, TXD	Використовується для підключення мікроконтролера по інтерфейсу UART, для предечі даних на бездротовий модуль Bluetooth HC-06.
PE0, PE1	RXD0, TXD0	Використовується для підключення мікроконтролера по інтерфейсу UART, модуль Wi-Fi ESр 8566.
PC7..PC0	ADDR(8..11)	Виходи для обміну даними з сторожовим таймером.
PF7, PF6	ADC(7, 6)	Використовуються як інтерфейс I2C в режимі master, для роботи з HMC5883L
PF5, PF4	ADC(5, 4)	Використовуються як інтерфейс I2C в режимі master, для роботи з L3G4200D
PF3, PF2	ADC(3, 2)	Використовуються як інтерфейс I2C в режимі master, для роботи з MPU6050

Продовження таблиці 5.3 – Функції виходів та призначення виходів мікроконтролера

Назва	Позначення	Функція виходу
PA2, PA6	AD2, AD6	Використовується для подачі сигналу на індикаторний світлодіод зеленого кольору
PA4	AD4	Використовується для подачі сигналу на індикаторний світлодіод червоного кольору
PG3	TOSC2	Виходи для реалізації годинника реального часу
PG4	TOSC1	Виходи для реалізації годинника реального часу

Для тактування МК використовується зовнішній кварцевий резонатор частотою 14.7456МГц. Для реалізації функції годинника реального часу вбудований зовнішній кварцовий резонатор з тактовою частотою 32765 Гц.

5.2 Розробка блоку датчиків

Блок датчиків необхідний для збору інформації, на основі якої мікроконтролер виконує розрахунки та позиціонує об'єкт в просторі. Даний блок побудований з використанням 3 типи датчиків:

- Акселерометр;
- Гіроскоп;
- Магнітний компас.

Акселерометр відстежує силу прискорення в лінійному напрямку. Гіроскоп відстежує прискорення при кутових відхиленнях. Магнітний компас фіксує зміни в магнітного поля, що також використовується для позиціонування предмета в просторі.

5.2.1 Акселерометр

В якості акселерометра в проекті використовується мікросхема MPU 6050. Чіп MPU 6050 в своїй структурі має акселерометр та також датчик температури. Обробка даних виконується за допомогою 16-бітнього АЦП, на кожен канал, тому значення x, y, z обробляються одночасно. Датчик

температури, що входить до структури мікросхеми, призначений для визначення температури в діапазоні в -40 до $+85$ °С.

Для роботи з мікроконтролером використовується шина з протоколом I2C і датчик MPU 6050 завжди працює в режимі slave. Але окрім звичайної шини I2C мікросхема має свій власний контролер I2C за допомогою якого MPU 6050 може керувати наприклад магнітометром та передавати дані на МК, для цього датчик має виводи SDA та XDA.

Таблиця 5.4 – Основні технічні характеристики MPU 6050

Характеристика	Значення
Режими роботи акселерометра	2g, 4g, 6g, 8g, 16g
Живлення	2,4 - 3,3 В
Ширина шини	16 біт
Діапазон роботи датчика температури	-40 до $+85$ °С
Інтерфейси підключення	I2C, SPI

MPU 6050 представлений в SMD корпусі з наступними габаритами:

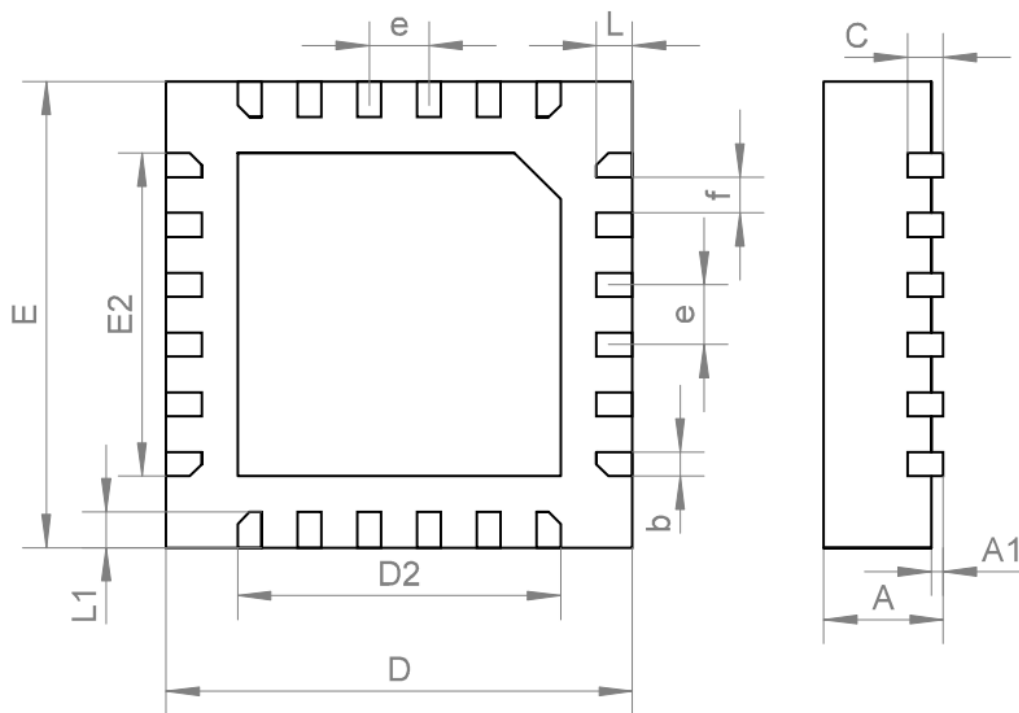


Рисунок 5.5. – Габарити мікросхеми MPU 6050

Таблиця 5.5 – Розшифровка габаритів MPU 6050

Символ	Значення в міліметрах		
	Мінімум	Номінал	Максимум
A	0.85	0.90	0.95
A1	0.00	0.02	0.05
b	0.18	0.25	0.30
c	...	20	...
D	3.90	4.00	4.10
D2	2.65	2.70	2.75
E	3.90	4.00	4.10
E2	2.55	2.60	2.65
e	...	0.50	...
f	...	0.25	...
L	0.30	0.40	0.45
L1	0.35	0.40	0.45

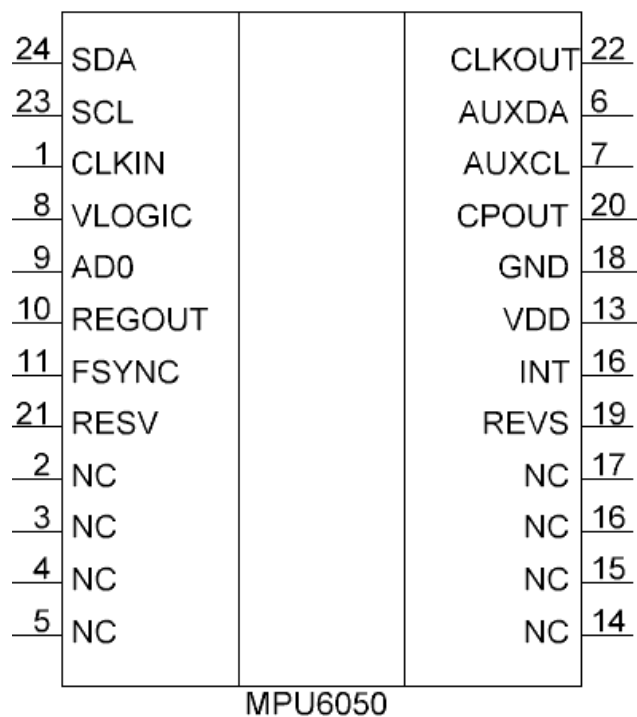


Рисунок 5.6 – Схема виводів MPU 6050

Таблиця 5.6 – Опис виводів MPU 6050

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	CLKIN	Додатковий вихід опорної частоти, якщо не використовується то підключається до GND
6	AUX_DA	Інформаційний вивід I2C в режимі master, для підключення до зовнішніх датчиків
7	AUX_CL	Вивід для тактування I2C в режимі master, для підключення до зовнішніх датчиків
8	CS	Вибір режиму SPI
8	VLOGIC	Напруга живлення цифрових входів/виходів
9	AD0/SDO	Інформаційний вивід SPI
9	AD0	Шина I2C в режимі slave
10	REGOUT	Підключення фільтруючого конденсатора
11	FSYNC	Цифровий вивід кадрової синхронізації. В разі невикористання підключається до GND
12	INT	Переривання цифрового виходу
13	VDD	Підключення живлення
18	GND	Підключення заземлення
19, 21	RESV	Утримання. Не підключається
20	CPOUT	Підключення конденсатора накачки заряду
22	CLKOUT	Вивід системного частотного годинника
23	SCL/SCLK	Частотний вивід шини SPI в режимі slave
23	SCL	Частотний вивід шини I2C в режимі slave
24	SDA/SDI	Інформаційний вивід шини SPI в режимі slave
24	SDA	Інформаційний вивід шини I2C в режимі slave
2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, 17	NC	Внутрішньо не підключені. Можуть використовуватися для трасування друкованої плати

Для коректної роботи MPU 6050 необхідно використати 4 конденсатора наступним чином:

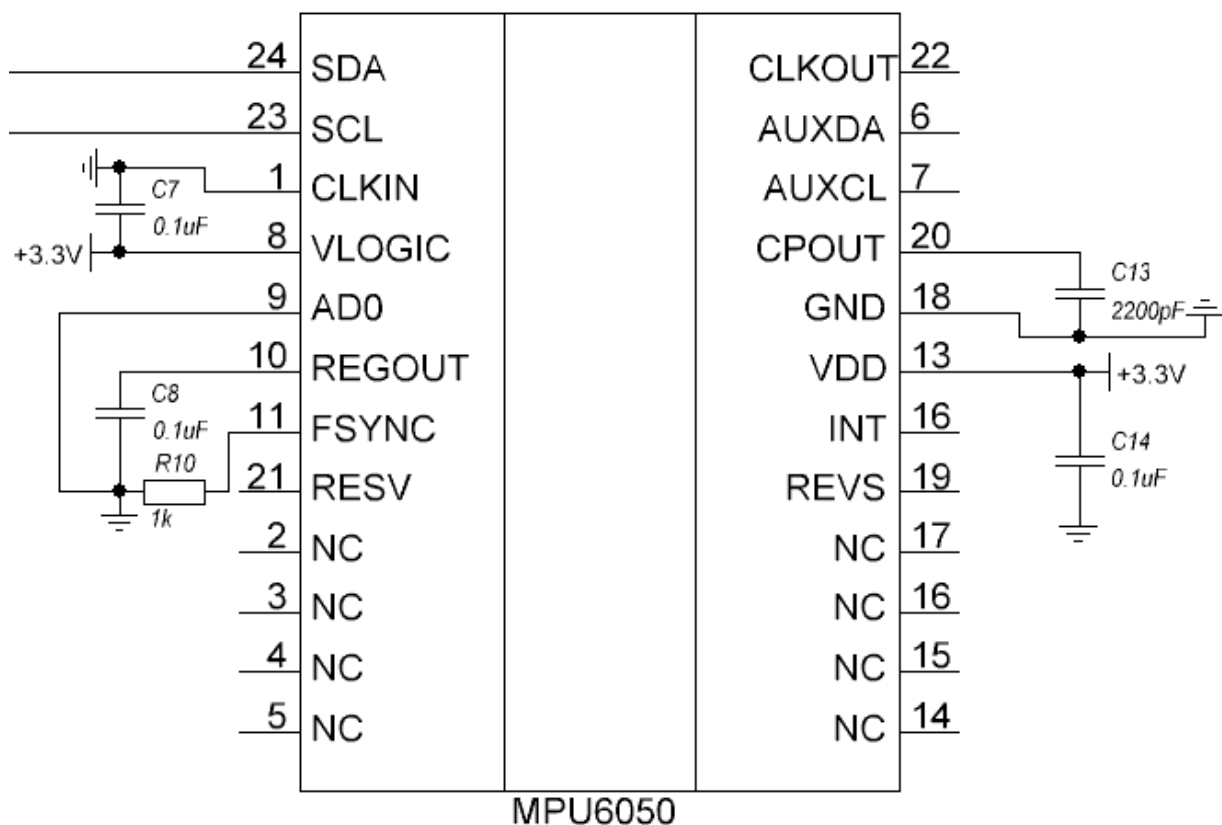


Рисунок 5.7 – Схема включення необхідних компонентів

Таблиця 5.7 – Використані компоненти для підключення MPU 6050

Компонент	Позначка	Специфікація
Фільтруючий конденсатор	C8	Ceramic, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 2V
Обхідний конденсатор VDD	C14	Ceramic, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 2V
Конденсатор підкачки заряду	C13	Ceramic, X7R, 2.2nF \pm 10%, 50V
Обхідний конденсатор VLOGIC	C7	Ceramic, X7R, 10nF \pm 10%, 4V

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ

Арк.

59

5.2.2 Гіроскоп

В якості гіроскопа використовується датчик L3G4200D. L3G4200D – малопотужний датчик кутового прискорення для трьох осей. Даний датчик може забезпечити стабільність нульового рівня прискорення та чутливість до температури й швидкості. В його структуру входять чутливий елемент, інтерфейси I2C та SPI. L3G4200D має повну шкалу $\pm 250/\pm 500/\pm 2000$ точок на секунду та здатний вимірювати швидкість із смугою пропускання, яку вибирає користувач. L3G4200D доступний у пластиковому корпусі (LGA) і може працювати в діапазоні температур від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основні технічні характеристики наведені в таблиці нижче.

Таблиця 5.8 – Основні технічні характеристики L3G4200D

Характеристика	Значення
Режими роботи гіроскопа	$\pm 250, \pm 500, \pm 2000$
Живлення	2,4 - 3,3 В
Ширина шини	16 біт
Діапазон роботи датчика температури	-40 до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Інтерфейси підключення	I2C, SPI

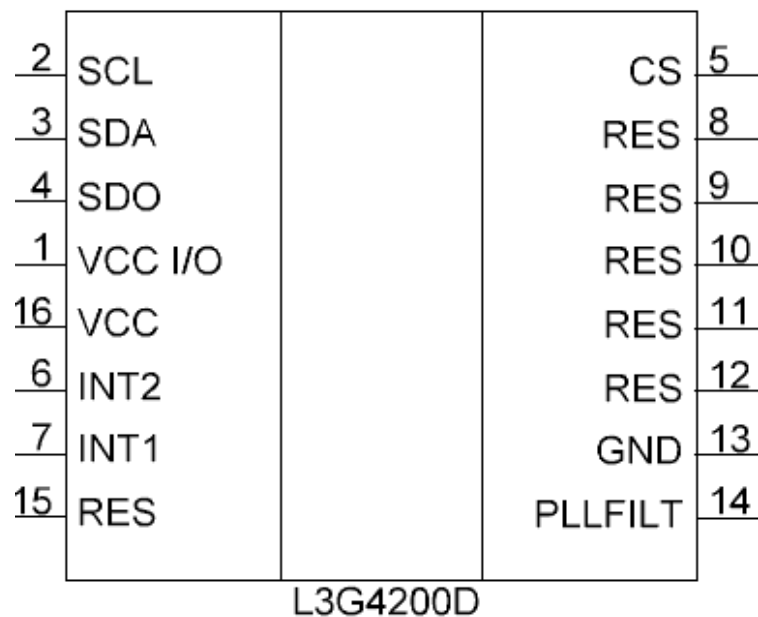


Рисунок 5.8 – Схема виводів L3G4200D

Таблиця 5.9 – Опис виводів L3G4200D

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	VDD I/O	Напруга живлення цифрових входів/виходів
2	SCL SPC	Частотний вивід шини SPI в режимі slave Частотний вивід шини I2C в режимі slave
3	SDA SDI SDO	Інформаційний вивід шини I2C в режимі slave Інформаційний вивід шини SPI в режимі slave Інформаційний вивід 3-х провідного інтерфейсу
5	CS	Вибір режиму SPI
6	DRDY/INT2	Вивід готовності / переривання FIFO
7	INT2	Програмовані переривання
13	GND	Підключення заземлення
14	PLLFILT	Фільтр фазового автопідстроювання частоти
16	VDD	Підключення живлення
15	Reserved	Не використовується підключається до VDD
8, 9, 10, 11,12	Reserved	Не використовується підключається до GND

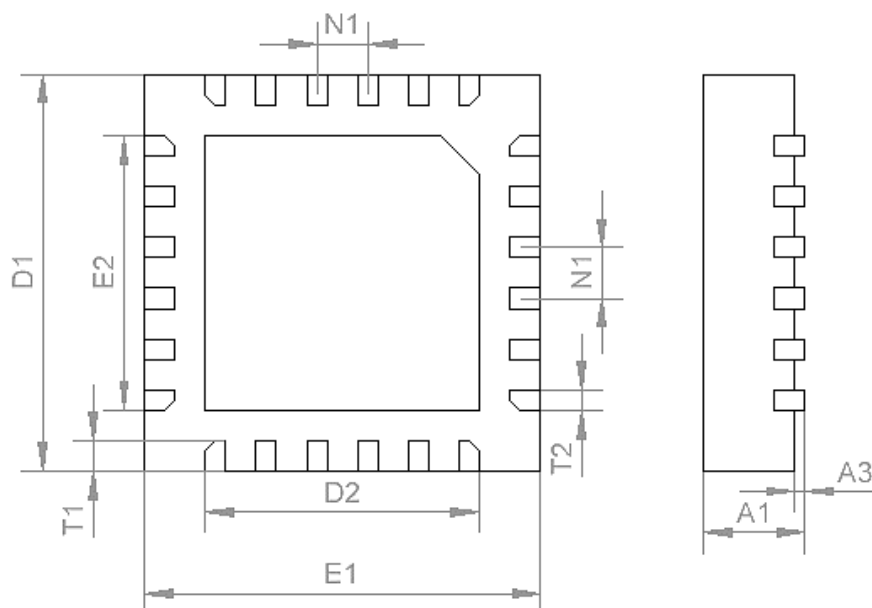


Рисунок 5.9 – Габарити мікросхеми L3G4200D

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ

Арк.

61

Таблиця 5.10 – Розшифровка габаритних розмірів L3G4200D

Символ	Значення в міліметрах		
	Мінімум	Номінал	Максимум
N1	0.60	0.65	0.70
A3	0.00	0.02	0.05
A1	1.10
D1	3.90	4.00	4.10
D2	2.65	2.70	2.75
E1	3.90	4.00	4.10
E2	2.55	2.60	2.65
T1	...	0.40	...
T2	...	0.30	...
N1	...	0.65	...

Для коректної роботи мікросхеми L3G4200D необхідно підключити додаткові компоненти наступним чином:

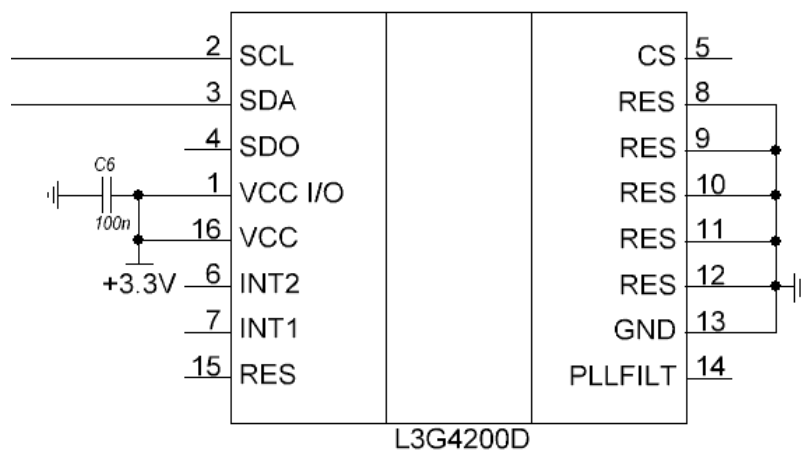


Рисунок 5.10 – Схема включення L3G4200D

Таблиця 5.11 – Додаткові використані компоненти для включення L3G4200D

Компонент	Позначка	Специфікація
Фільтруючий конденсатор	C6	Ceramic, X7R, 100nF ±10%, 4V

5.2.3 Магнітний компас

Роль магнітного компасу буде виконувати HMC5883L. Дана мікросхема є багатокристалльним модулем для поверхневого кріплення. Призначенням є вимірювання магнітного поля в слабкому полі з цифровим інтерфейсом. HMC5883L містить наш найсучасніший магніторезистивний пристрій серії HMC118X із високою роздільною здатністю. датчики плюс ASIC, що містить підсилення, драйвери стрічки автоматичного розмагнічування, компенсацію зсуву та 12-бітний АЦП, який забезпечує точність курсу компаса від 1° до 2°. Анізотропна магніторезистивна (AMR) технологія, яка забезпечує переваги перед іншими технологіями магнітних датчиків. Ці анізотропні датчики спрямованості мають точну осьову чутливість і лінійність. Основні технічні характеристики наведені в таблиці нижче.

Таблиця 5.12 – Основні технічні характеристики HMC5883L

Характеристика	Значення
Діапазон магнітного поля	+/-80e
Живлення	2,4 - 3,3 В
Ширина шини	12 біт
Максимальна вихідна частота	160 Гц
Інтерфейси підключення	I2C

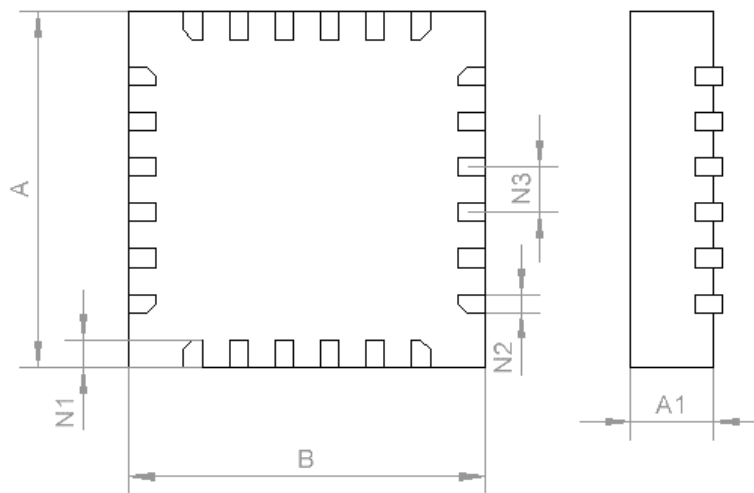


Рисунок 5.11 – Габарити мікросхеми HMC5883L

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ

Арк.

63

Таблиця 5.13 – Розшифровка габаритів HMC5883L

Символ	Значення в міліметрах		
	Мінімум	Номінал	Максимум
A	2.95	3.00	3.05
B	2.95	3.00	3.05
A1	0.90
N1	...	0.50	...
N2	...	0.50	...
N3	...	0.50	...

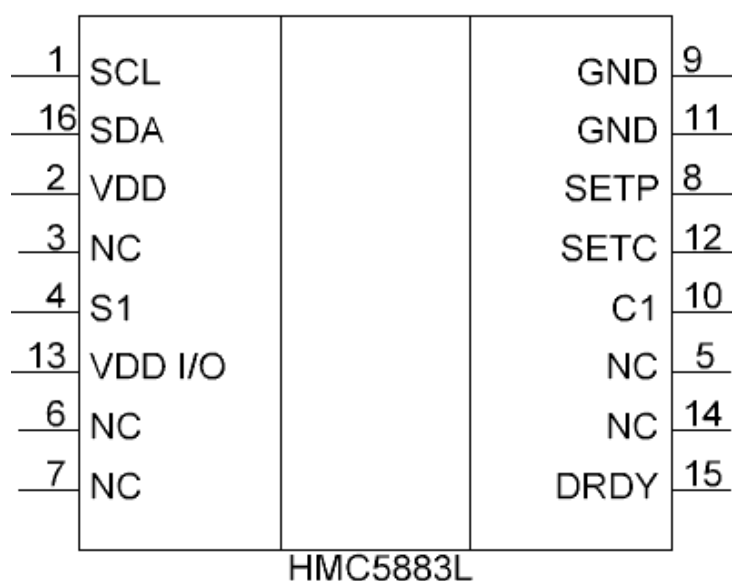


Рисунок 5.12 – Схема виводів HMC5883L

Таблиця 5.14 – Опис виводів HMC5883L

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	SCL	Частотний вивід шини SPI в режимі slave
2	VDD	Підключення живлення
4	S1	Прив'язка до VDD
8	SETP	Встановлення/скидання контакту перемички, підключається до SETC через конденсатор

Продовження таблиці 5.14 – Опис виводів HMC5883L

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
10	C1	Підключення конденсатора накопичення заряду
11, 9	GND	Підключення заземлення
12	SETC	підключається до SETP через конденсатор
13	VDD I/O	Напруга живлення цифрових входів/виходів
15	DRDY	Вивід підтверджуючий готовність до передачі даних
3	SDA	Інформаційний вивід шини I2C в режимі slave
3, 5, 6, 7, 14	NC	Внутрішньо не підключені. Можуть використовуватися для трасування друкованої плати

Для коректної роботи мікросхеми HMC5883L необхідно підключити додаткові компоненти наступним чином:

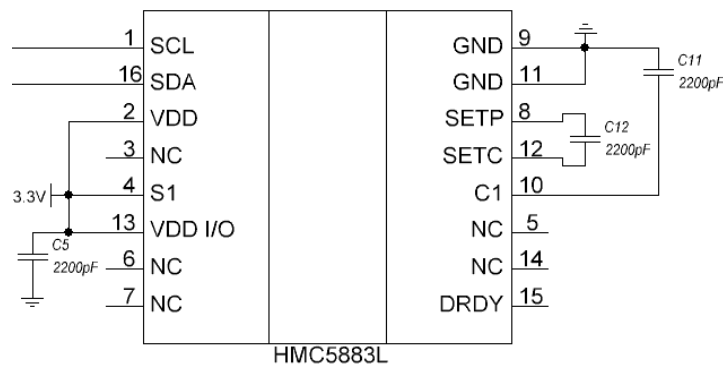


Рисунок 5.13 – Схема включення HMC5883L

Таблиця 5.15 – Додаткові використані компоненти для включення HMC5883L

Компонент	Позначка	Специфікація
Обхідний конденсатор VDD	C5	Ceramic, X7R, 2200pF ±10%, 4V
Підключення конденсатора накачки заряду	C11	Ceramic, X7R, 4.7 μF ±10%, 4V
Перемичка між SETC і SETP	C12	Ceramic, X7R, 2200pF ±10%, 4V

5.3 Розробка блоку бездротового підключення

Блок бездротового підключення складається з двох модулів різного типу. Так в проекті використовується Bluetooth модуль HC-05 та Wi-Fi модуль ESP8266.

5.3.1 Bluetooth модуль

В якості Bluetooth модуля буде використаний HC-05 це простий у використанні модуль Bluetooth SPP (Serial Port Protocol), призначений налаштування бездротового послідовного з'єднання. Модуль Bluetooth із послідовним портом відповідає стандартам Bluetooth V2.0+EDR з модуляцією 3 Мбіт/с з повноцінним радіоприймачем 2,4 ГГц і базовою смугою частот. Він використовує однопіпову систему Bluetooth CSR Bluecore 04-External с технологією CMOS і AFH. Основні технічні характеристики наведені нижче в таблиці.

Таблиця 5.16 – Основні технічні характеристики HC-05

Характеристика	Значення
Чутливість	-84 дБ
Живлення	3,1 - 4,2 В
Потужність передатчика	+4дБм
Швидкість передачі асинхронному режимі	2.1 Мбіт/с
Швидкість передачі синхронному режимі	1 Мбіт/с
Робоча температура	-20 - +70 °С
Підтримка інтерфейсів підключення	UART
Підтримка режимів роботи	Master, slave

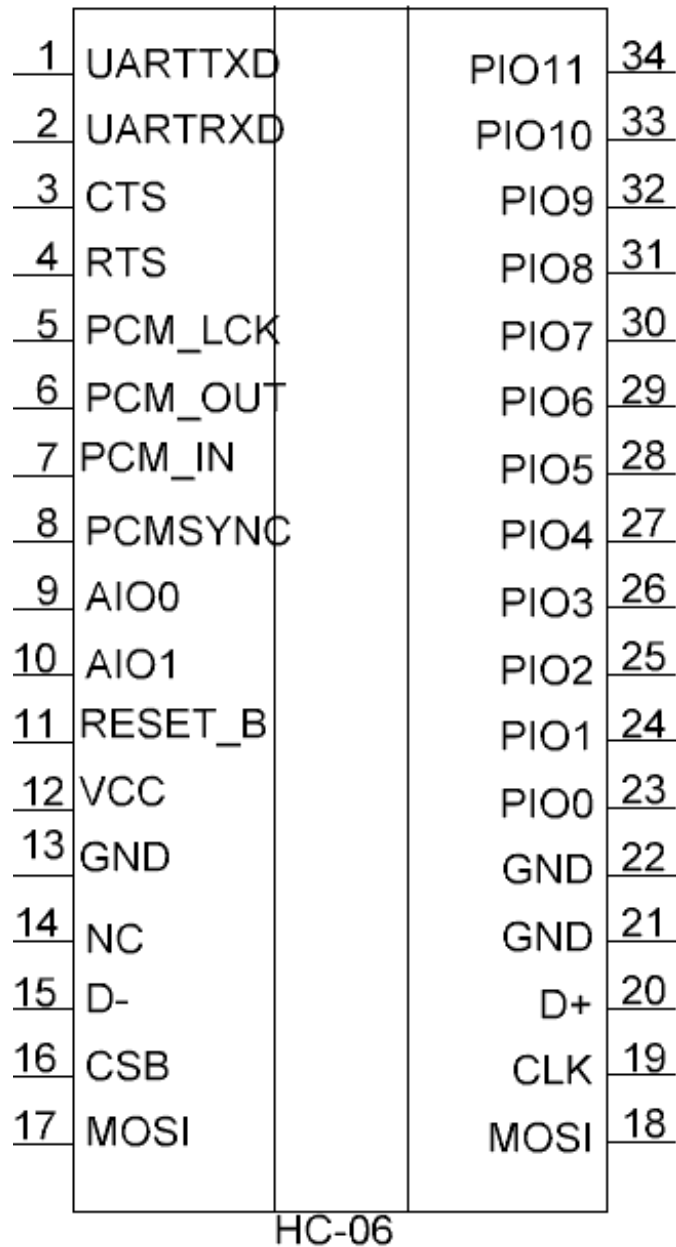


Рисунок 5.14 – Схема виводів HC-05

Таблиця 5.17 – Опис виводів HC-05

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	UART_TX	Вихідний контакт шини UART
2	UART_RX	Вхідний контакт шини UART
3	UART_CTS	Контакт відповідальний за готовність UART до відправки даних

Продовження таблиці 5.17 - Опис виводів НС - 05

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
4	UART_RTS	Контакт відповідальний за запит UART на відправку даних
5	PCM_CLK	Синхронний годинник шини PCM
6	PCM_OUT	Синхронний вихідний контакт шини PCM
7	PCM_IN	Синхронний вхідний контакт шини PCM
8	PCM_SYNC	Синхронізація переривань шини PCM
9	AIO0	Програмований вхідний вихідний контакт
10	AIO1	Програмований вхідний вихідний контакт
11	RESETB	Перезавантаження
12	VDD	Підключення живлення
13, 21, 22	GND	Підключення заземлення
14	NC	Внутрішньо не підключені. Можуть використовуватися для трасування друкованої плати
15	D-	Вихідний контакт для підключення USB
16	SPI_CS	Контакт шини SPI
17	SPI_MOSI	Вхідний інформаційний контакт шини SPI
18	SPI_MISO	Вихідний інформаційний контакт шини SPI
19	SPI_CLK	Годинник шини SPI
20	D+	Вхідний контакт для підключення USB
23,24,25,26, 27,28,29,30, 31,32,33,34	PIO0, PIO1, PIO2, PIO3, PIO4, PIO5, PIO6, PIO7, PIO8, PIO9, PIO10, PIO11	Програмований вхідний вихідний контакт

Для коректної роботи мікросхеми HC-05 необхідно підключити додаткові компоненти наступним чином:

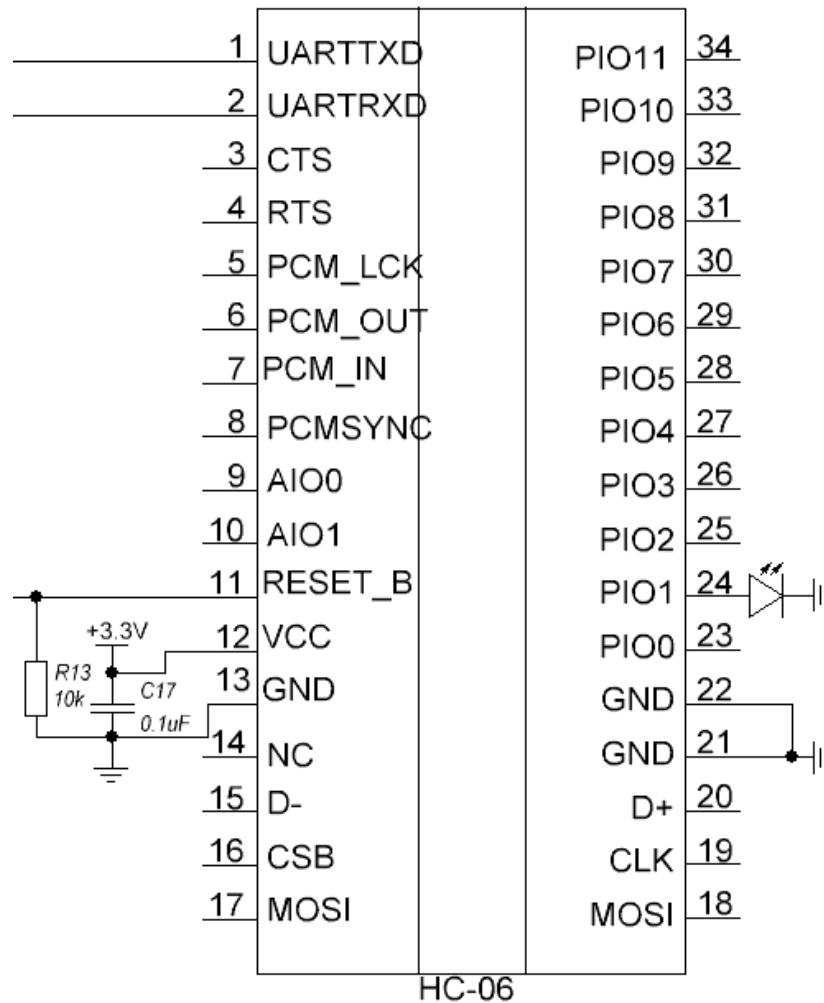


Рисунок 5.15 – Схема включення HC-05

Таблиця 5.18 – Додаткові використані компоненти для включення HC-05

Компонент	Позначка	Специфікація
Обхідний конденсатор VDD	C17	Ceramic, X7R, 0.1μF ±10%, 2V
Резистор підтяжки	R13	10k

5.3.2 Модуль Wi-Fi

В якості модуля Wi-Fi буде використано ESP8266EX. Модуль представляє собою мікросхему високої інтеграції, що забезпечує енергоефективність,

компактність, та надійність. Також ESP8266EX може працювати, як окрема програма, і як підлеглий пристрій. До складу модуля входить високошвидкісний кеш, що підвищує продуктивність. Для роботи з мікроконтролером є підтримка інтерфейсів SPI/SDIO або UART.

Таблиця 5.19 – Основні технічні характеристики ESP8266EX

Характеристика	Значення
Чутливість передатчика	-75dBm
Чутливість приймача	+20dBm
Протокол передачі даних	802.11 b/g/n
Робоча напруга	2.5 – 3.6 В
Максимальна швидкість передачі даних	54 Мбіт/с
Інтерфейси підключення	I2C, SPI, UART, SDIO, I2S
Робоча температура	-40 - +125 °C

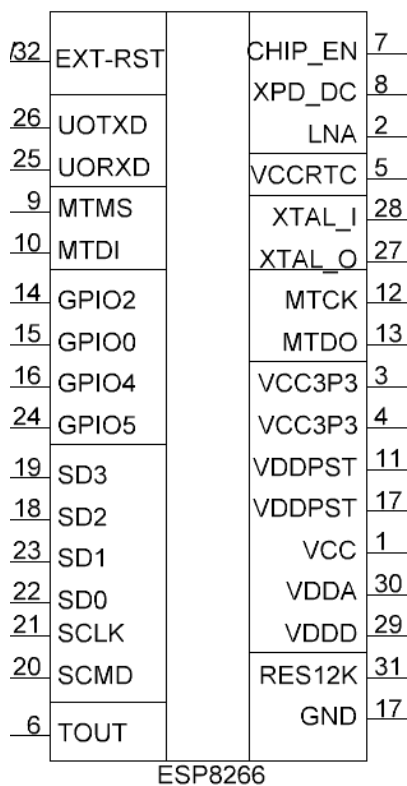


Рисунок 5.16. – Схема виводів ESP8266EX

Таблиця 5.20 – Опис виводів схеми ESP8266EX

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	VDDA	Підключення живлення
2	LNA	Інтерфейс підключення антени
3	VDD3P3	Підключення живлення підсилювача
4	VDD3P3	Підключення живлення підсилювача
5	VDD_RTC	Внутрішньо не підключений
6	TOUT	Контакт АЦП
7	CHIP_EN	Контакт індикатора живлення
8	XPD_DCDC	Контакт для дистанційного увімкнення
9	MTMS	Годинник шини HSPI
10	MTDI	Вхідний інформаційний контакт шини HSPI
11	VDDPST	Живлення цифрових входів/виходів
12	MTCK	Вихідний інформаційний контакт шини HSPI
13	MTDO	3-й інформаційний контакт шини HSPI
14	GPIO2	Програмований вхідний вихідний контакт
15	GPIO0	Програмований вхідний вихідний контакт
16	GPIO4	Програмований вхідний вихідний контакт
17	VDDPST	Живлення цифрових входів/виходів
18	SDIO_DATA_2	Програмований вхідний вихідний контакт
19	SDIO_DATA_3	Програмований вхідний вихідний контакт
20	SDIO_CMD	Контакт шини SPI
21	SDIO_CLK	Годинник шини SPI
22	SDIO_DATA_0	Вхідний інформаційний контакт шини SPI
23	SDIO_DATA_1	Вихідний інформаційний контакт шини SPI
24	GPIO5	Програмований вхідний вихідний контакт
25	U0RXD	Вихідний контакт шини UART
26	U0TXD	Вхідний контакт шини UART

Продовження таблиці 5.20 – Опис виводів схема ESP8266EX

27	XTAL_OUT	Для підключення зовнішнього генератора частот
28	XTAL_IN	Для підключення зовнішнього генератора частот
29	VDDD	Підключення живлення
30	VDDA	Підключення живлення
31	RES12K	Підключення заземлення
32	EXT_RSTB	Перезавантаження

Для коректної роботи мікросхеми ESP8266EX необхідно підключити додаткові компоненти наступним чином:

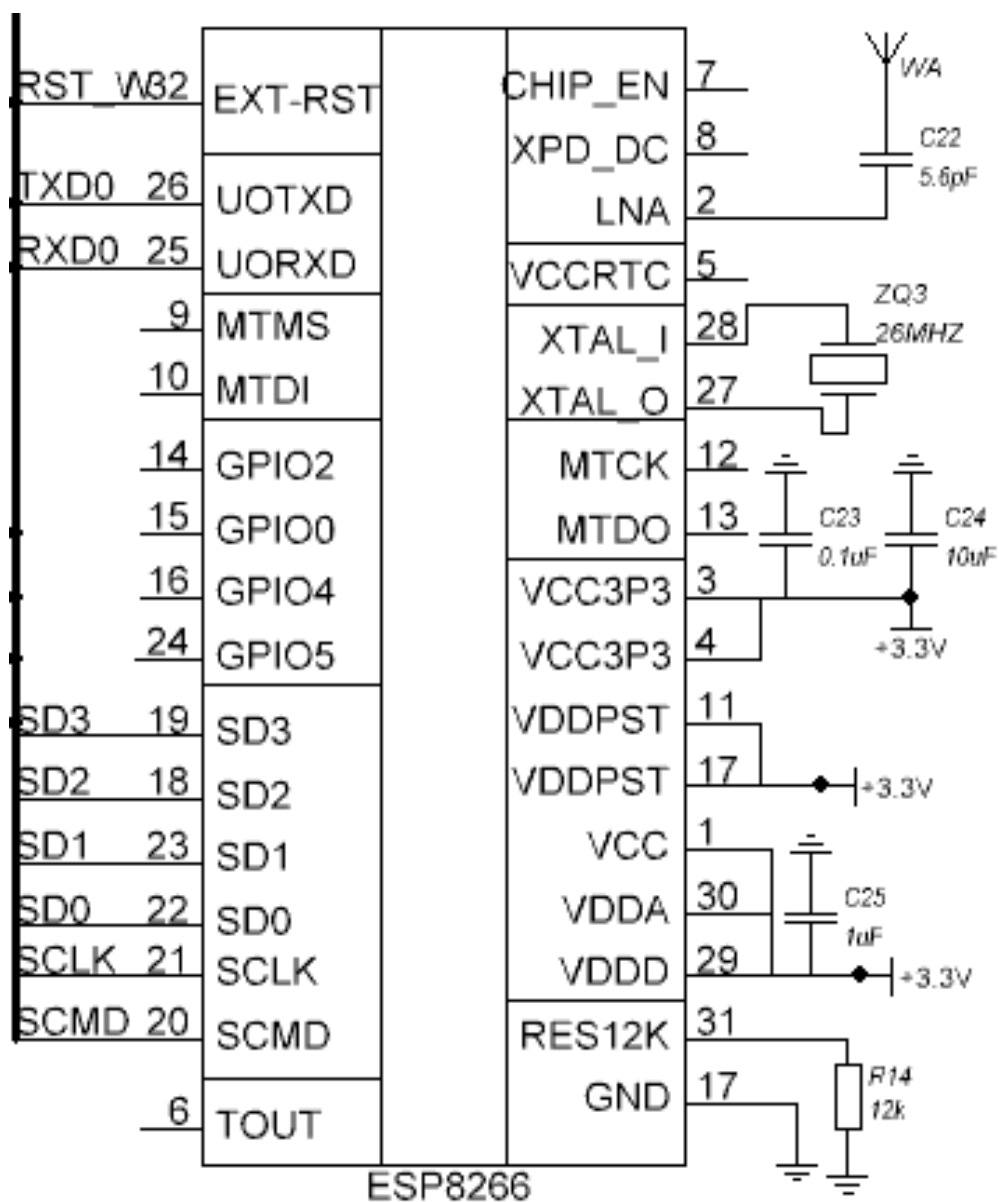


Рисунок 5.17 – Схема включення ESP8266EX

Таблиця 5.21 – Додаткові використані компоненти для включення ESP8266EX

Компонент	Позначка	Специфікація
Згладжуючи конденсатор антени	C22	Ceramic, X7R, 5.6 μ F \pm 10%, 10V
Обхідний конденсатор VDD	C23	Ceramic, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 2V
Обхідний конденсатор VDD	C24	Ceramic, X7R, 10 μ F \pm 10%, 4V
Обхідний конденсатор VDD	C25	Ceramic, X7R, 1 μ F \pm 10%, 2V
Резистор заземлення	R9	12k
Кварцовий резонатор	ZQ3	26MHz

Окрім цього даний модуль потребує додаткової Flash пам'яті. В якості флеш пам'яті використаний модуль W25Q16 на 16 Мбайт з наступною схемою включення.

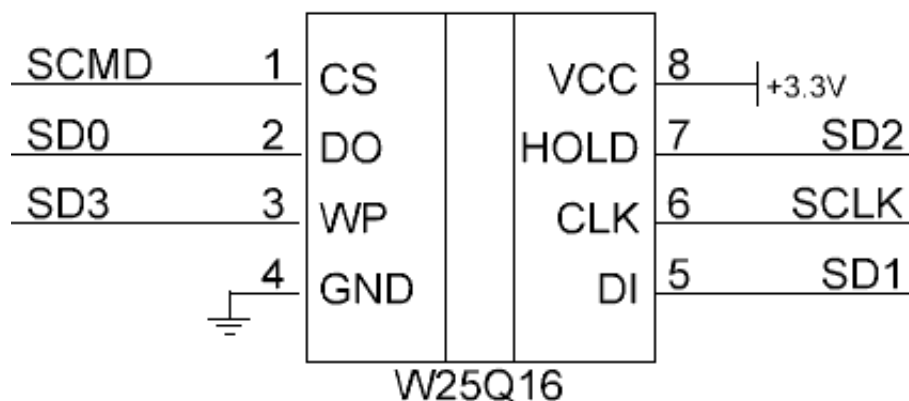


Рисунок 5.18 – Схема включення W25Q16

5.4 Розробка блоку фізичного інтерфейсу підключення

Хедтрекер окрім бездротового підключення обладнаний ще й фізичними USB інтерфейсом. USB був обраний через те, що пультів дистанційного керування обладнано ними. Використовується даний інтерфейс лише у разі відсутності бездротового модуля підключення на органи керування.

Даний блок складається з USB порту, драйвера USB та додаткових компонентів необхідних для його роботи. USB порт буде використовуватися типу USB A через його розповсюдженість. З наступною схемою контактів.

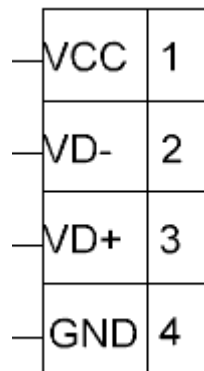


Рисунок 5.19 – Схематичне зображення USB порту

Порт підключається до МК не напряму а через драйвер. В якості драйвера використовується мікросхема CH341T. Даний чіп представляє з себе універсальний перетворювач сигналів таких як I2C, SPI, UART, в коди зрозумілі для протоколу USB A. Модифікація T відрізняється від інших підтримкою лише I2C та UART.

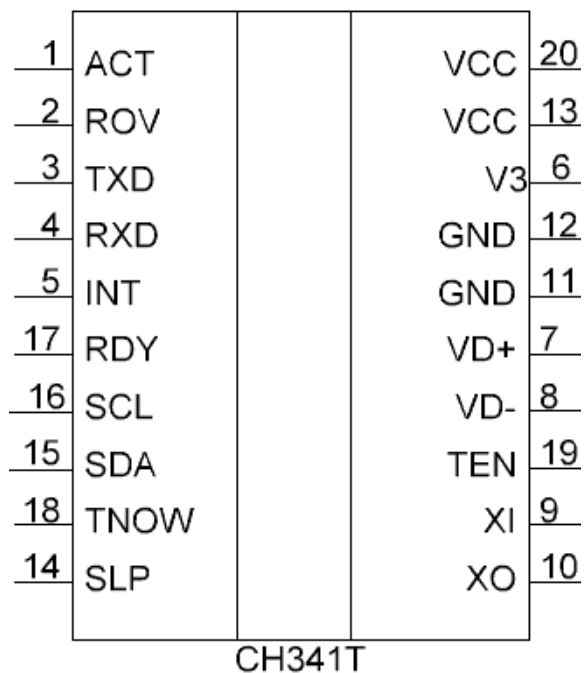


Рисунок 5.20 – Схема виводів CH341T

Таблиця 5.22 – Призначення контактів схеми SN341T

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	ACT	Вихід на індикатор роботи чіпу
2	ROV	Вихід інформуючи про переповнення буферу послідовного прийому
3	TXD	Контакт підключення шини UART
4	RXD	Контакт підключення шини UART
5	INT	Запит на зовнішні переривання
6	V3	Підключення живлення
7	UD+	Підключення шини USB
8	UD-	Підключення шини USB
9	XI	Для підключення зовнішнього генератора частот
10	XO	Для підключення зовнішнього генератора частот
11, 12	GND	Підключення заземлення
13, 20	VDD	Підключення живлення
14	SLP	Вихідний сигнал стану сну.
15	SDA	Інформаційний вивід шини I2C
16	SCL	Інформаційний вивід шини I2C
17	RDY	Контакт готовності до передачі даних
18	TNOW	Контакт індикації передачі даних
19	TEN	Контакт включення передачі даних

Для коректної роботи мікросхеми CH341T необхідно підключити додаткові компоненти наступним чином:

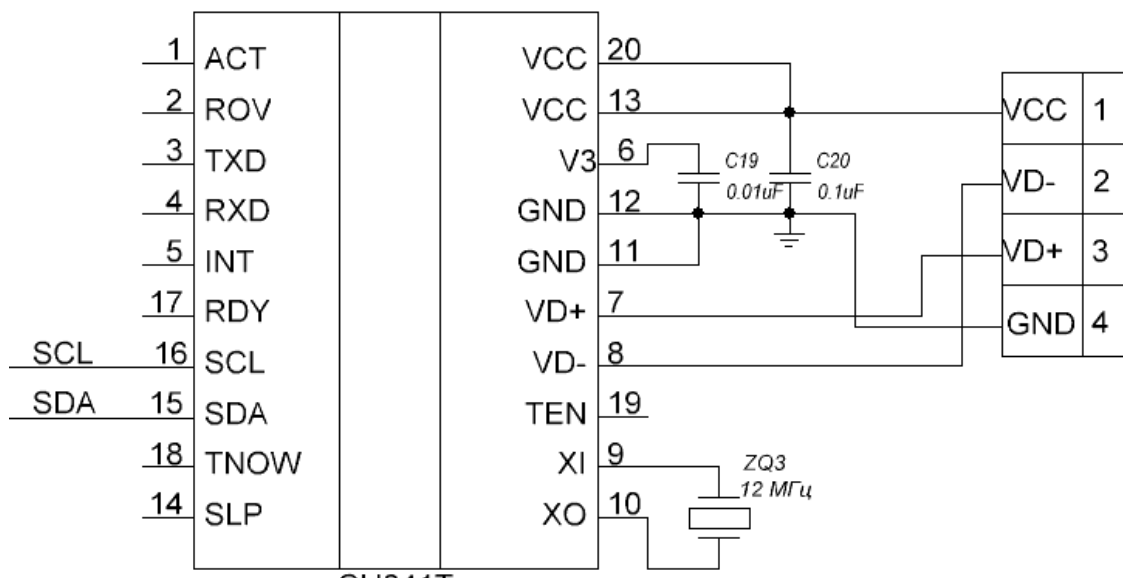


Рисунок 5.21 – Схема включення CH341T

Таблиця 5.23 – Додаткові використані компоненти для включення CH341T

Компонент	Позначка	Специфікація
Обхідний конденсатор VDD	C23	Ceramic, X7R, 0.1μF ±10%, 2V
Обхідний конденсатор VDD	C24	Ceramic, X7R, 0.01μF ±10%, 2V
Кварцовий резонатор	ZQ3	12MHz

5.5 Розробка блоку сторожового таймеру

Сторожовий таймер потрібен для перезапуску пристрою, коли в програмі виникла помилка і подальша її робота неможлива. Сторожовий таймер циклічно перевіряє наявність помилок шляхом отриманням сигналу від МК. При відсутності відгуку від МК таймер перезапускає його подаючи сигнал на контакт RESET, після чого пристрій робить перезавантаження. Монітор напруги інтегральна схема яка перевіряє пристрій на коротке замикання і в разі його виявлення вимикає плату, що зберігає її від виходу з ладу.

Сторожовий таймер та монітор напруги будуть представлені однією інтегральною схемою 74НСТ138. Дана інтегральна мікросхема поєднує у собі дві вище вказані функції, а саме захист плати від помилок в програмі та захист від короткого замикання.

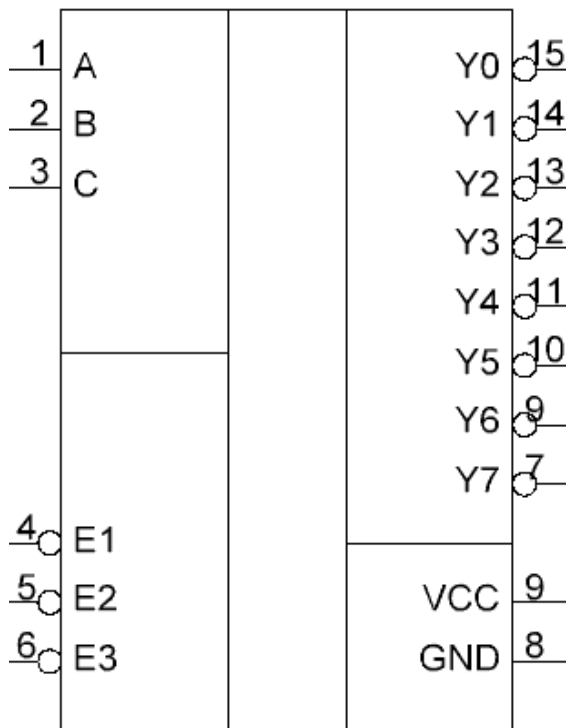


Рисунок 5.22 – Схема 74НСТ138

Таблиця 5.24 – Опис контактів схеми 74НСТ138

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1, 2, 3	A0, A1, A2	Адресні входи
4, 5	E1, E2	Входи активації (за низьким рівнем)
6	E3	Входи активації (за високим рівнем)
8	GND	Підключення заземлення
15, 14, 13, 12, 7, 11, 10, 9	Y0, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7	Керуючі виходи
16	VCC	Підключення живлення

Для коректної роботи мікросхеми СН341Т необхідно підключити додаткові компоненти наступним чином:

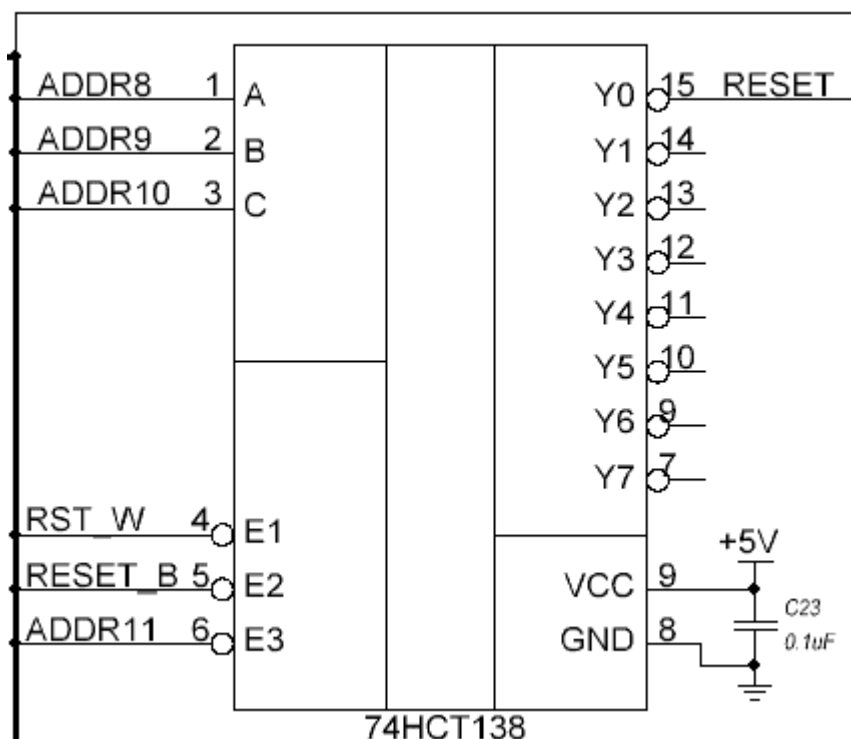


Рисунок 5.23 – Схема включення СН341Т

Таблиця 5.25 – Додаткові використані компоненти для включення СН341Т

Компонент	Позначка	Специфікація
Обхідний конденсатор VDD	C23	Ceramic, X7R, 0.1µF ±10%, 2V

5.6 Блок живлення

До блоку живлення входять система зарядки акумуляторів та схема живлення пристрою.

Система зарядки складається з мікросхеми контролю зарядки яка представлена як TP4056, мікросхеми контролю від розряду та перезаряду якою є DW01A, та мосфетів необхідних для роботи мікросхеми контролю заряди, що представлені мікросхемою FS8205A. Схема живлення представлена нижче.

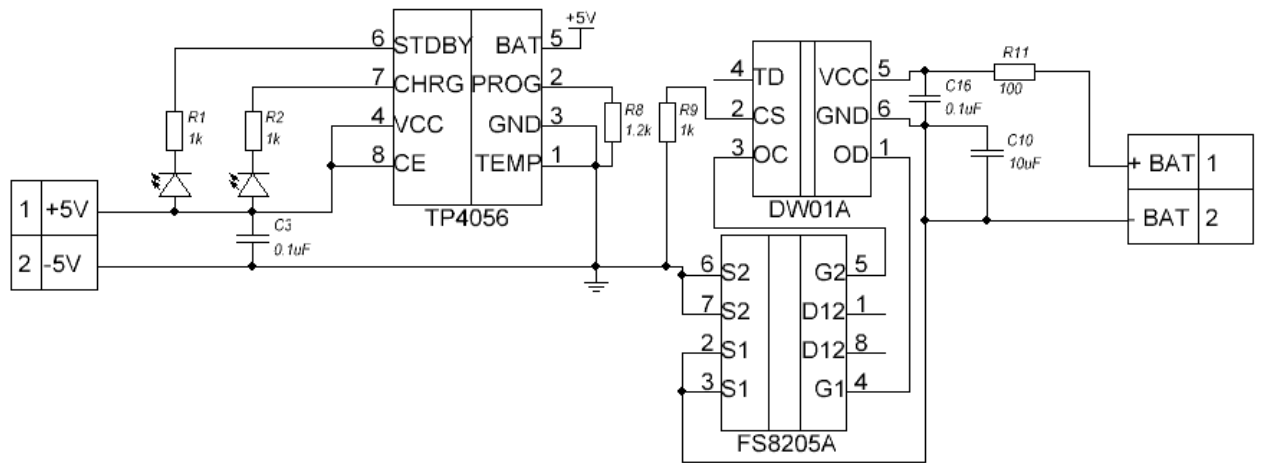


Рисунок 5.24 – Схема зарядки та живлення пристрою

Розглянемо кожен елемент схеми окремо.

TP4056 може працювати з джерелом живлення USB та адаптером живлення. Термічний зворотний зв'язок автоматично регулює струм заряду, щоб обмежити температуру чіпу під час роботи з високою потужністю або в умовах високої температури навколишнього середовища. Напруга заряджання фіксована на рівні 4,2 В, а струм зарядки можна встановити зовні через резистор. Коли струм заряджання впаде до 1/10 від заданого значення після досягнення кінцевої напруги плаваючого режиму, TP4056 автоматично припинить цикл заряджання. Інші функції TP4056 включають визначення температури батареї, блокування зниженої напруги, автоматичну перезарядку та два світлодіодні контакти стану, що вказують на закінчення зарядки.

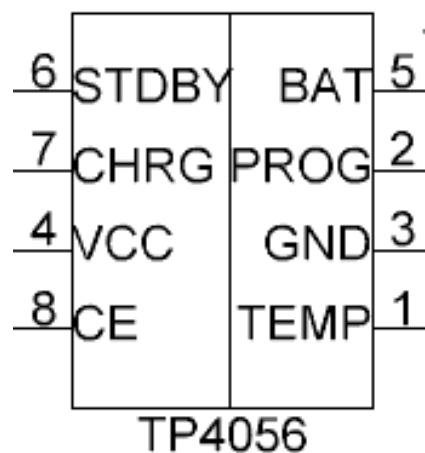


Рисунок 5.25 – Схема виводів TP4056

Таблиця 5.26 – Призначення контактів схеми TP4056

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	TEMP	Контакт датчика температури акумулятора
2	PROG	Контакт підключення резистора яким налаштовується напруга зарядки акумулятора
3	GND	Підключення заземлення
4	VCC	Підключення живлення
5	BAT	Вихід на акумулятор
6	STDBY	Вихід на індикатор повної зарядки акумулятора
7	CHRG	Вихід на індикатор процесу зарядки акумулятора
8	CE	Контакт вмикання схеми

Включення даної схеми виконується наступним чином.

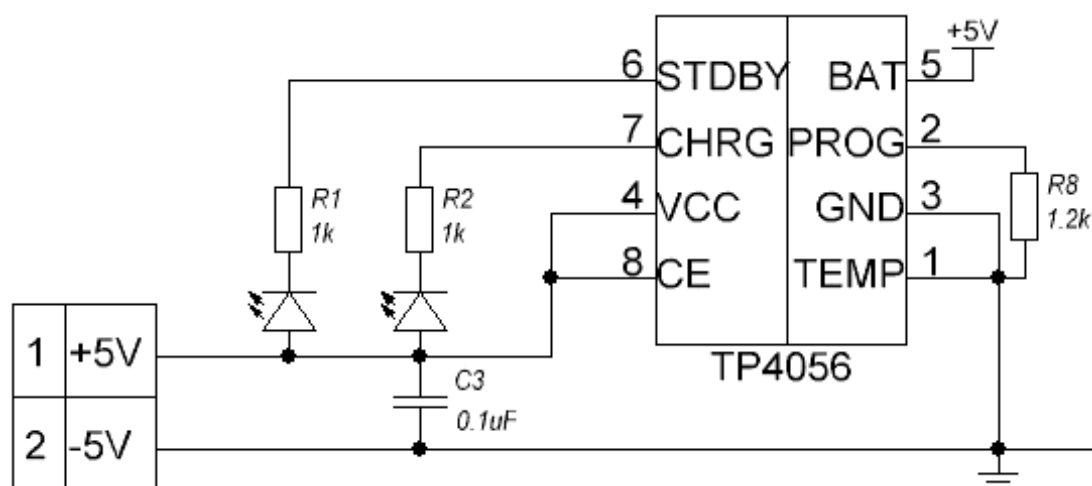


Рисунок 5.26 – Схема включення TP4056

Таблиця 5.27 – Використані додаткові компоненти для включення TP4056

Компонент	Позначка	Специфікація
Обхідний конденсатор VDD	C3	Ceramic, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 2V
Резистор для зниження напруги для індикаторного світлодіоду	R1	1K Ω m

Продовження таблиці 5.27 - використані додаткові компоненти для включення TP4056

Компонент	Позначка	Специфікація
Резистор для зниження напруги для індикаторного світлодіоду	R2	1КОм
Резистор налаштування напруги заряду акумулятора	R8	1.2 КОм

Мікросхема захисту батареї DW01A призначена для захисту літій-іонно-полімерної батареї від пошкодження або зниження терміну служби через перезаряд, надмірну розрядку та/або перевищення струму для одноелементних літій-іонно-полімерних систем живлення.

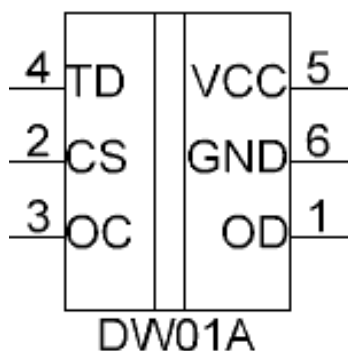


Рисунок 5.27 – Схема виводів DW01A

Таблиця 5.28 – Призначення контактів DW01A

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	OD	Вивід затвора MOSFET для керування розрядом
2	CS	Контакт для визначення струму, та визначення зарядного пристрою
3	OC	Вивід затвора MOSFET для контролю зарядки
4	TD	Тестовий штифт для зменшення часу затримки
6	GND	Підключення заземлення
5	VCC	Підключення живлення

Включення даної схеми виконується наступним чином.

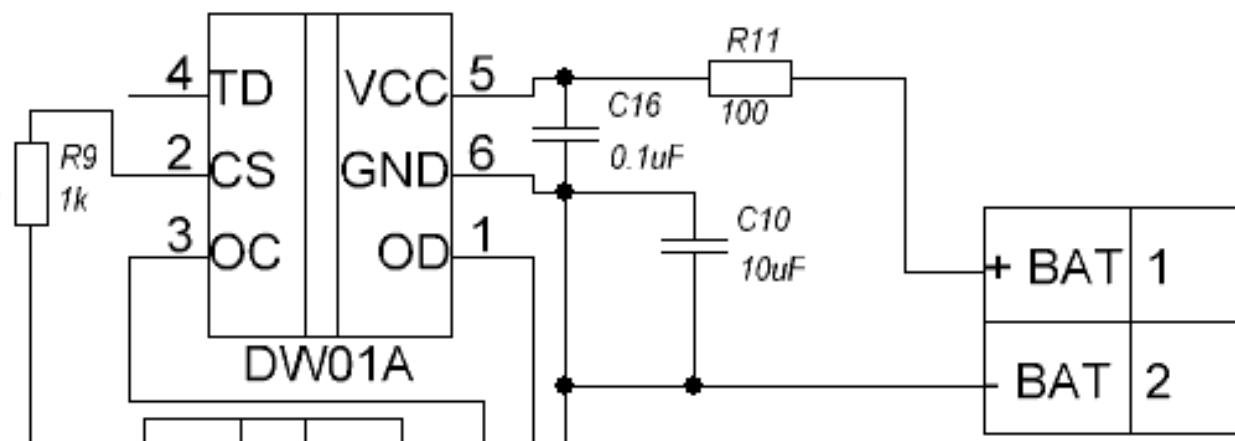


Рисунок 5.28 – Схема включення DW01A

Таблиця 5.29 – Додаткові використані компоненти для включення DW01A

Компонент	Позначка	Специфікація
Обхідний конденсатор VDD	C16	Ceramic, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 2V
Резистор для зниження напруги на контакті для визначення зарядного пристрою	R9	1K Ω m
Резистор для фільтру типу RC	R11	100 Ω m
Конденсатор для фільтру типу RC	C10	Ceramic, X7R, 10 μ F \pm 10%, 4V

FS8205A мікросхема являє собою два мосфети з наступним включенням та структурою.

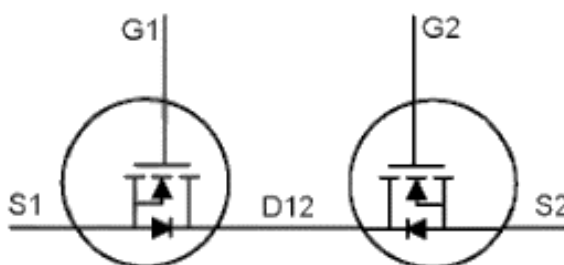


Рисунок 5.29 –Схема FS8205A

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

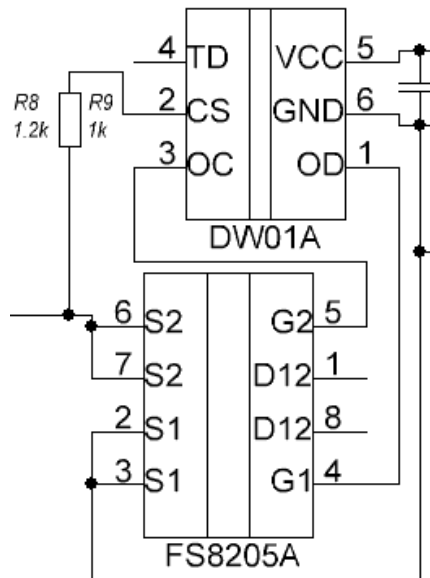


Рисунок 5.30 – Схема включення FS8205A

Оскільки деякі мікросхеми використовують живлення від 3.3В то для них необхідний регулятор напруги з відповідною напругою. Схема такої системи наведена на рисунку 5.31.

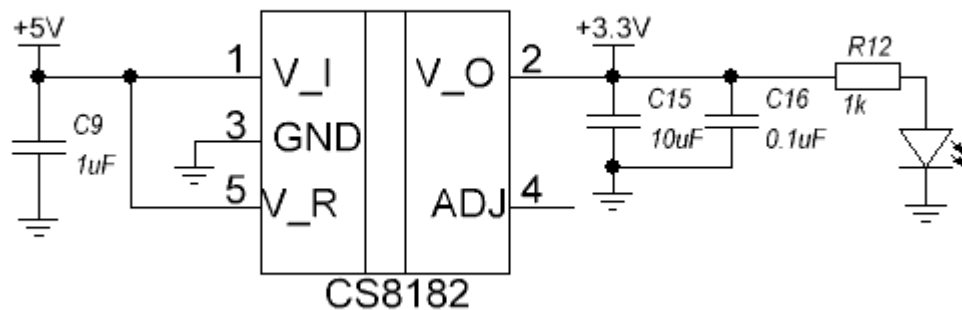


Рисунок 5.31 – Схема живлення 3.3В

В даній схемі живлення використовується регулятор напруги CS8182. CS8182 це монолітний інтегрований розроблений для забезпечення регульованої буферизованої вихідної напруги. Вихід забезпечує до 200 мА, але його можна конфігурувати напругами. Пристрій розроблено для роботи в широкому діапазоні (2,8 В до 45 В), зберігаючи характеристики постійного струму. CS8182 захищений від короткого замикання та перегріву.

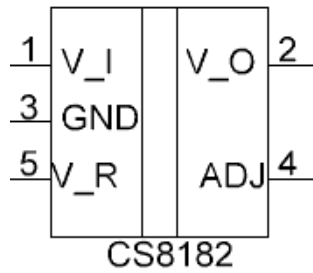


Рисунок 5.32 – Схема виводів CS8182

Таблиця 5.30 – Призначення контактів схеми CS8182

Номер виводу	Назва виводу	Призначення
1	V_I	Вхідний контакт на який подається 5В
2	V_O	Вихідний контакт з якого виходить 3.3В
3	GND	Заземлення
4	V_R	Контакт опорної напруги та вмикання
5	ADJ	Контакт зворотного зв'язку

Включення даної схеми виконується наступним чином.

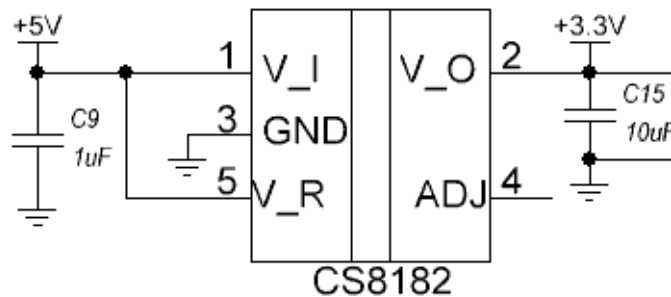


Рисунок 5.32 – Схема включення CS8182

Таблиця 5.31 – Використані додаткові компоненти для включення CS8182

Компонент	Позначка	Специфікація
Обхідний конденсатор VDD 5В	C9	Ceramic, X7R, 0.1µF ±10%, 2V
Обхідний конденсатор VDD 3.3В	C10	Ceramic, X7R, 10µF ±10%, 4V

6. Розробка програмного забезпечення МК для роботи системи

Нижче наведена спрощена програма модулю відповідального за обробку та зчитування даних, який є в алгоритмі роботи пристрою, що зображений на рисунку 3.1. Так спочатку завантажуються необхідні для роботи системи бібліотеки, потім задаються тактова частота МК та швидкість передачі даних шини UART, та налаштування портів для роботи з протоколами I2C. Потім йде налаштування протоколів UART та I2C.

Після налаштування протоколів МК зберігає початкові дані з датчиків які виступають в ролі контрольних точок. Початкові дані, при отриманні відповідного сигналу від UART пристрою, оновлюються. Так система очікує сигнал від UART у вигляді символу 'U'. Якщо отримано цей символ, то флаг `update_data` встановлюється, і в головному циклі дані оновлюються. Від цих контрольних точок знаходиться різниця, яка є даними про зміни в орієнтації системи в осях координат. З отриманих різниць знаходиться середнє значення та яке виступає керуючим сигналом та передається на один з підключених пристроїв UART.

```
include <avr/io.h>

#include <util/delay.h>

#include <avr/interrupt.h>

#include <stdio.h>

#include "i2cmaster.h"

#include <avr/eeprom.h>

#define F_CPU 16000000UL

#define BAUD 9600

#define EEPROM_ADDR 0x00

#define MPU6050_1_ADDRESS 0x00

#define L3G4200D_2_ADDRESS 0x10
```

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

```

#define HMC5831_3_ADDRESS 0x20

void init_UART() {

    UBRR0H = (uint8_t)(F_CPU/(BAUD*16L)-1)>>8;

    UBRR0L = (uint8_t)(F_CPU/(BAUD*16L)-1);

    UCSR0B |= (1 << TXEN0) | (1 << RXEN0);

    UCSR0C |= (1 << UCSZ01) | (1 << UCSZ00);

}

void UART_send_byte(uint8_t data) {

    while (!(UCSR0A & (1 << UDRE0)));

    UDR0 = data;

}

void init_I2C() {

    i2c_init();

}

volatile uint8_t update_data = 0;

uint8_t read_previous_data() {

    return eeprom_read_byte((uint8_t*)EEPROM_ADDR);

}

void write_current_data(uint8_t data) {

    eeprom_write_byte((uint8_t*)EEPROM_ADDR, data);

}

void init_uart() {

    uart_init(UART_BAUD_SELECT(9600, F_CPU));

    sei();

```

```

}

ISR(USART_RX_vect) {

    char received_char = uart_getc();

    if (received_char == 'U') {

        update_data = 1;

    }

}

int main() {

    init_uart();

    init_I2C();

    while (1) {

        if (update_data) {

            update_data = 0;    uint8_t difference_1 = current_data_1 - previous_data;

            uint8_t current_data_2 = I2C_read_byte(L3G4200D_2_ADDRESS);

            uint8_t difference_2 = current_data_2 - previous_data;

            uint8_t current_data_3 = I2C_read_byte(HMC5831_3_ADDRESS);

            uint8_t difference_3 = current_data_3 - previous_data;

            uint16_t sum_difference = difference_1 + difference_2 + difference_3;

            uint8_t average_difference = sum_difference / 3;

            UART_send_byte(average_difference);

            write_current_data(current_data_1);

            _delay_ms(1000);

        }

        return 0;
}

```

7. Техніко економічна частина

7.1 Розрахунок повної собівартості пристрою.

Собівартість продукту – це матеріальні затрати в грошовій формі, які підприємство витрачає на виробництво та підготовку до збуту продукції. Собівартість продукції в галузі виробництва включає в себе вартість матеріалів, затрати на робочу силу та накладні витрати на виробництво.

Витрати, що пов'язані з виробництвом та збутом електронного пристрою, що був розроблений, можливо робити на наступні групи:

- Сировинні матеріали: Вартість всіх матеріалів, які використовуються для виробництва пристрою.
- Проміжні матеріали і компоненти: Вартість всіх додаткових матеріалів та компонентів, які також використовуються під час виробництва.
- Витрати на транспортування та логістику: Вартість транспортування матеріалів та готової продукції.
- Праця: Вартість працівників, які беруть участь у виробництві, включаючи зарплату та витрати на соціальні пакети.
- Загальновиробничі витрати: Витрати, пов'язані з управлінням підрозділу, витрати на службові відрядження працівників цеху (підрозділу), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальноцехового призначення і т.д. .
- Витрати на обладнання та амортизацію: Вартість використання обладнання та амортизація його вартості.
- Витрати на управління та адміністрування: Витрати на управлінську діяльність та адміністративні витрати.
- Витрати на збут: Інші витрати, пов'язані з виробництвом, такі як витрати на рекламу, оплату послуг та інше.

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

1. Витрати на матеріали та комплектуючі

Всі необхідні компоненти для приладу та їх вартість в продажу наведені в таблиці нижче. Ціни на комплектуючі взяті з сайті виробника та посередників що вказані нижче. Всі ціни станом на 20.12.2023.

- «Arduino.ua» - <https://arduino.ua/>
- «Microchip» - <https://www.microchipdirect.com/>
- «Prom» - <https://prom.ua/ua/>

Таблиця 7.1 – Ціни на електричні компоненти системи

Назва	Ціна, грн
Мікроконтролер ATMEGA128-16AU	455.06
Акселерометр MPU-6050	63.00
Гіроскоп L3G4200D	80.34
Магнітний компас HMC5883L	89.00
Модуль Bluetooth HC-05	280.00
Контролер Wi-Fi ESP8266	45.00
Флеш пам'ять W25Q16	32.00
Драйвер USB CH341T	85.00
Сторожовий таймер 74НСТ138	34.00
Контролер зарядки акумулятора TP4056	3.40
Стабілізатор напруги 5В DW01А	3.68
Двійний транзистор fs8205а	4,80
Стабілізатор напруги 3.3В CS8182	54,00
Додаткові елементи	113,28

На основі даних з таблиці можливо підрахувати загальну вартість комплектуючих пристрою C_n яка дорівнює 1341,56 грн.

2. Витрати на проміжні матеріали і компоненти

Окрім основних комплектуючих до вартості пристрою потрібно додати затрати на сировинні компоненти, що використовуються при виробництві. Матеріали та ціна таких компонентів наведені в таблиці нижче.

Таблиця 7.2 – витрати на сировину і матеріали

Матеріал, сировина	Норма витрат, кг.	Ціна за одиницю грн/кг.	Вартість, грн.
Припой LC60- 0.38/0.25	0,015	2325	3,4
Флюс NC-559-asm flute	0,01	12236	12,3
Склотекстоліт для друкованих плат	0,07	1200	84

Так виходить, що затрати на додаткову проміжну сировину виходять 99,7грн

На основі отриманих даних можливо порахувати вартість пристрою з додатковими затратами що становить $1341,56 + 99,7 = 1444,26$ грн

3. Витрати на транспортування та логістику

Витрати на транспортування та логістику визначаються як 10 – 20% вартості комплектуючих і комплектуючих. Так виходить, що дана стаття витрат становить від 144 до 288 грн. Отже вартість пристрою з урахуванням транспортування та логістику дорівнює $1444,26 + 288 = 1732$ грн.

4. Витрати на основну заробітну плату.

При виробництві пристрою роботи ведуться в 2 напрямках апаратній та програмній. Для цього необхідні наступні фахівці: інженер – електронщик та програміст. Обов'язками працівників буде виготовлення друкованих плат,

монтаж компонентів на друкованій платі, написання та прошивання мікроконтролерів.

Витрати на заробітну плату визначаються наступним співвідношенням

$$З_0 = \sum_{i=1}^n T_{гi} * H_{чi} \quad (7.1)$$

де $T_{гi}$ - середня годинна тарифна ставка 1 робочого задіяного у виробництві продукту (грн. / год); $H_{чi}$ - витрачений працівником час на виготовлення і налагодження приладу (годин.); n - кількість працівників задіяних у виробництві.

Заробітна плата для кожного працівника визначається. При врахуванні 8 годинного робочого дня, та терміні роботи в 21 робочий день в місяць виходить 168 годин робочого часу. Так середньочасова трудова ставка, орієнтовно, визначається наступним співвідношенням.

$$T_{гi} = \frac{T_{мі}}{V_{фi} * B} \quad (7.2)$$

$T_{мі}$ - місячна заробітна плата фахівця (грн.); $V_{фi}$ - фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів (змін);

8 - кількість відпрацьованих годин за зміну.

$$T_{гi} = \frac{T_{мі}}{V_{фi} * B} = \frac{17000}{21 * 8} = 101 \left(\frac{\text{грн}}{\text{год}} \right) \quad (7.3)$$

$$З_0 = \sum_{i=1}^n T_{гi} * H_{чi} = 101 * 8 = 808(\text{грн}) \quad (7.4)$$

До витрат пов'язаних з заробітною платою також потрібно віднести додатки, які включають в себе премії 15%, та відрахування пов'язані з пенсійним фондом, що становить 33.2%, соціальне страхування 2.9% , фонд зайнятості 1,9%. Всього виходить 38% відрахувань. Так співвідношення нижче показують преміювання та вирахування в грн.

$$З_{пр} = З_0 \frac{З_д}{100} = 808 \frac{15}{100} = 121(\text{грн}) \quad (7.5)$$

Де $З_д$ – відсоток преміювання.

					ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

$$V_{\text{соц}} = (Z_0 + Z_d) * \frac{38}{100} = (808 + 121) * \frac{38}{100} = 353 \text{ (грн)} \quad (7.6)$$

5. Загальновиробничі витрати

Витрати, пов'язані з управлінням підрозділу, витрати на службові відрядження працівників цеху (підрозділу), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальноцехового призначення і т. д.

Визначаються в розмірі 130-250% від основної заробітної плати: $808 \cdot 1,5 = 1212$ (грн.).

6. Витрати на обладнання та амортизацію

Вартість використання обладнання та амортизація його вартості. Затрати на утримання та експлуатацію устаткування становлять в середньому 130% від заробітної плати. Так виходить $808 * 1,3 = 1050,4$ грн

Сума статей 1.1 - 1.6 являє виробничу собівартість приладу (установки).
Маємо: $1732,56 + 808 + 1212 + 121 + 353 + 1050,4 = 5272,4$ грн.

7. Витрати на управління та адміністрування

Витрати на управлінську діяльність та адміністративні витрати можуть включати в себе:

Витрати, пов'язані з управлінням підприємства;

- Витрати на пожежну і сторожову охорону;
- Витрати, пов'язані з підготовкою (навчанням) і перепідготовкою кадрів;
- Витрати на оплату відсотків за фінансові кредити, а також відсотків за товарні і комерційні кредити; витрати, пов'язані з оплатою відсотків за користування матеріальними цінностями, взятими в оренду (лізинг);
- Витрати, пов'язані з оплатою послуг;
- Податкові відрахування.

Визначаються в розмірі 140-200% відсотків від основної заробітної плати.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

Орієнтовна затрати на адміністративні послуги складуть 150% від основної заробітної плати – 1212 грн.

8. Витрати на збут:

Витрати, пов'язані з виробництвом, такі як витрати на рекламу, оплату послуг та підготовку до реалізації. Такі витрати можуть коливатися від 5 до 10% від виробничої собівартості $134 * 0,1 = 648$ грн.

Сума всіх вище перелічених витрат складає повну собівартість пристрою і становить $5272,63 + 1212 + 648 = 7132,63$ грн.

Таблиця 7.3 – Калькуляція собівартості приладу

Назва	Ціна, грн
1. Витрати на матеріали та комплектуючі	1341,56
2. Витрати на проміжні матеріали і компоненти	99,7
3. Витрати на транспортування та логістику	288
4. Витрати на основну заробітну плату.	1302
5. Загальновиробничі витрати	1212
6. Витрати на обладнання та амортизацію	1050
7. Витрати на управління та адміністрування	1212
8. Витрати на збут	648
Повна собівартість	7132,63

7.2 Визначення ціни пристрою

Оптова ціна пристрою, що проектувався, визначається за наступним виразом:

$$Ц_{\text{опт}} = C + П \quad (7.7)$$

В якому П – величина прибутку, С – собівартість.

Значення прибутку визначається з урахуванням показника рентабельності Р виготовлення продукту, та представлений формулою нижче:

$$P = (П/С) * 100\% \quad (7.8)$$

Зазвичай показник рентабельності не перевищує 35%, в нашому випадку приймаємо це значення за 8%.

Підставимо значення у формулу й знайдемо оптову ціну виробу. Так оптова ціна виходу становить:

$$Ц_{\text{опт}} = С + \frac{P * С}{100} = 7132 + \frac{8 * 7132}{100} = 7703,12 \text{ (грн)} \quad (7.9)$$

Роздрібна ціна розраховується з додавання ПДВ, що рівняється 120%. Вираз для розрахунку наведений нижче:

$$Ц_{\text{роз}} = 1,2 * Ц_{\text{опт}} = 1,2 * 7703,12 = 9243 \quad (7.10)$$

Так в розділі було розраховано собівартість пристрою, оптову та роздрібну вартість для оцінки економічної вигоди. Пристрій можливо вважати конкурентоспроможним та економічно вигідним для подальшого розвитку.

Висновок

В кваліфікаційній роботі магістра було розроблено нашлемну систему керування FPV дроном.

При виконанні роботи були проведені дослідження для визначення кращого методу відстеження рухів голови. В ході дослідів було визначено метод, що використовує набір датчиків, який має переваги в практичності та умовах використання перед оптичним методом.

Система побудована з: мікроконтролера, що виконує опитування датчиків та обробку інформації; датчиків різних типів, а саме акселерометра, гіроскопа, магнітного компаса; двох інтерфейсів бездротового підключення таких як Bluetooth та Wi-Fi для бездротового під'єднання до пристрою керування; фізичний інтерфейс стандарту USB 2.0 для підключення до органів керування в разі відсутності бездротового інтерфейсу; сторожового таймера для контролю та відновлення роботи системи при відмові; та автономного живлення від акумуляторів, з системою контролю зарядки та розрядки.

Для побудови системи було розроблено алгоритм роботи системи, структурна схема пристрою, та спроектовано функціональну та принципіальну схему.

Були здійснені розрахунки для визначення собівартості, економічної рентабельності та конкурентоспроможності пристрою. Також було визначено, що елементна база є доступною та розповсюджена.

Так можливо зробити висновок що розроблена нашлемна система керування FPV дроном відповідає технічним вимогам та має потенціал для подальшого розвитку.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

Список літератури

1. <https://www.space.com/what-are-fpv-drones#:~:text=FPV%20stands%20for%20first%2Dperson,pilot's%20perspective%20on%20the%20ground;>
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer;>
3. MEMS Accelerometers; Махмуд Расрас і Ха Дуонг Нго; 2019 рік;
4. MEMS Silicon Oscillating Accelerometers and Readout Circuits; Yong Ping Xu; 2019 рік;
5. <https://theorycircuit.com/gyroscope-13g4200d-arduino-schematic/>
6. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/428790/HONEYWELL/HMC5883L.html>
7. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132807/TDK/MPU-6050.html>
8. <https://github.com/opentrack/opentrack/releases;>
9. [https://arduino.ua/;](https://arduino.ua/)
10. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1150541/HMSEMI/DW01A.html>
11. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1179032/ETC1/HC-06.html>
12. [https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/97197/ONSEMI/CS8182.html;](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/97197/ONSEMI/CS8182.html)
13. [https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132610/ETC2/CH341T.html;](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132610/ETC2/CH341T.html)
14. [https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131953/FORTUNE/FS8205.html;](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131953/FORTUNE/FS8205.html)
15. [https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/15536/PHILIPS/74HCT138.html;](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/15536/PHILIPS/74HCT138.html)
16. [https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174755/ATMEL/ATMEGA128-16AU.html;](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174755/ATMEL/ATMEGA128-16AU.html)

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

17. [https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega128#purchase-from-store;](https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega128#purchase-from-store)
18. [https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148031/ESPRESSIF/ESP8266.html.](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148031/ESPRESSIF/ESP8266.html)

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.519 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

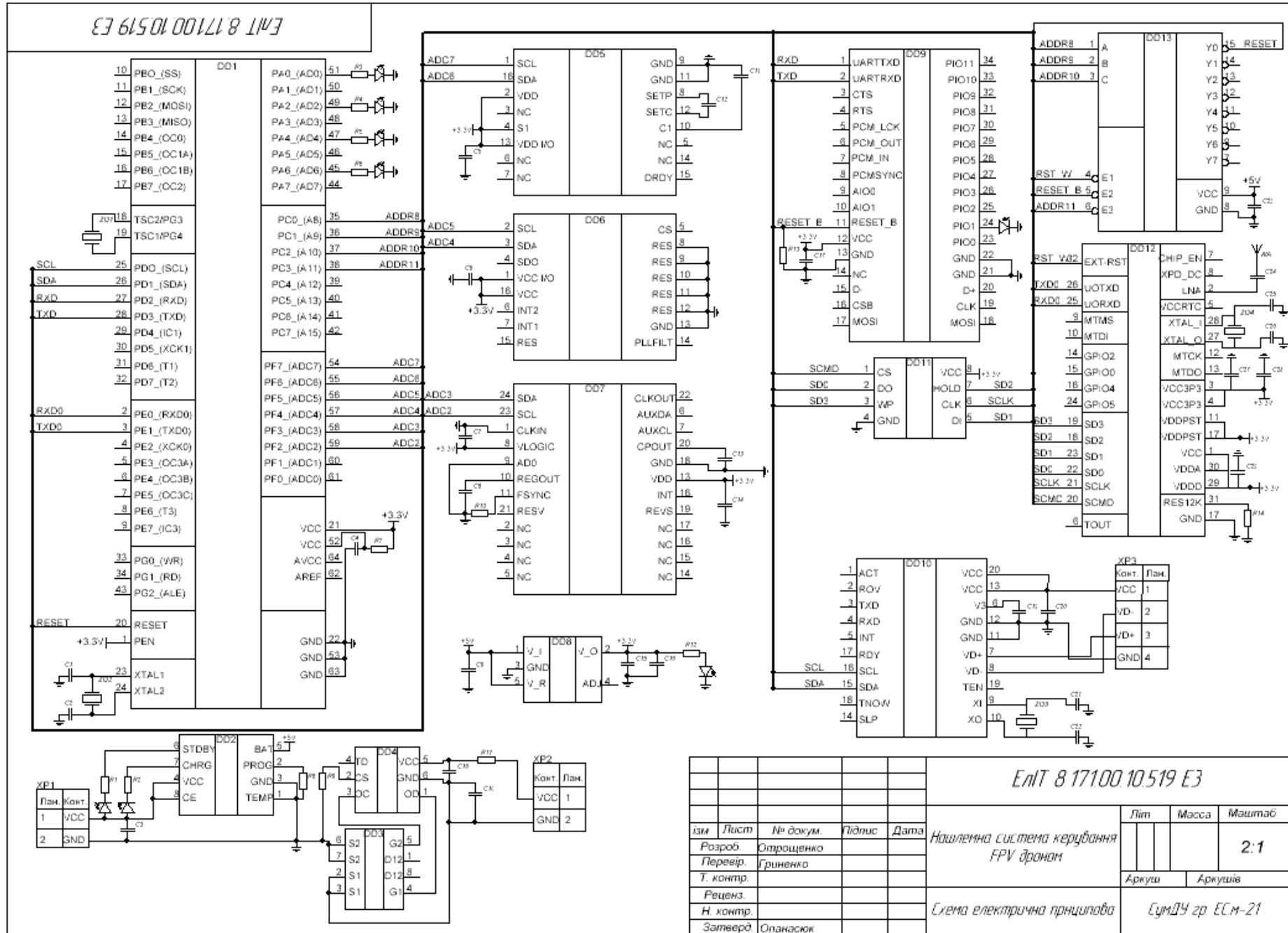
ЕЛІТ 8.171.00.10.519 Е1



ЕЛІТ 8.171.00.10.519 Е1

					ЕЛІТ 8.171.00.10.519 Е1		
ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Нашлемна система керування FPV дроном		
					Літ	Маса	Маштаб
Розроб.		Отрощенко					
Перевір.		Гриненко					
Т. контр.					Аркуш	Аркуші	
Реценз.					СумДУ зр ЕС м-21		
Н. контр.		Гапич					
Затверд.		Опанасюк					
					Схема електрично структурна		

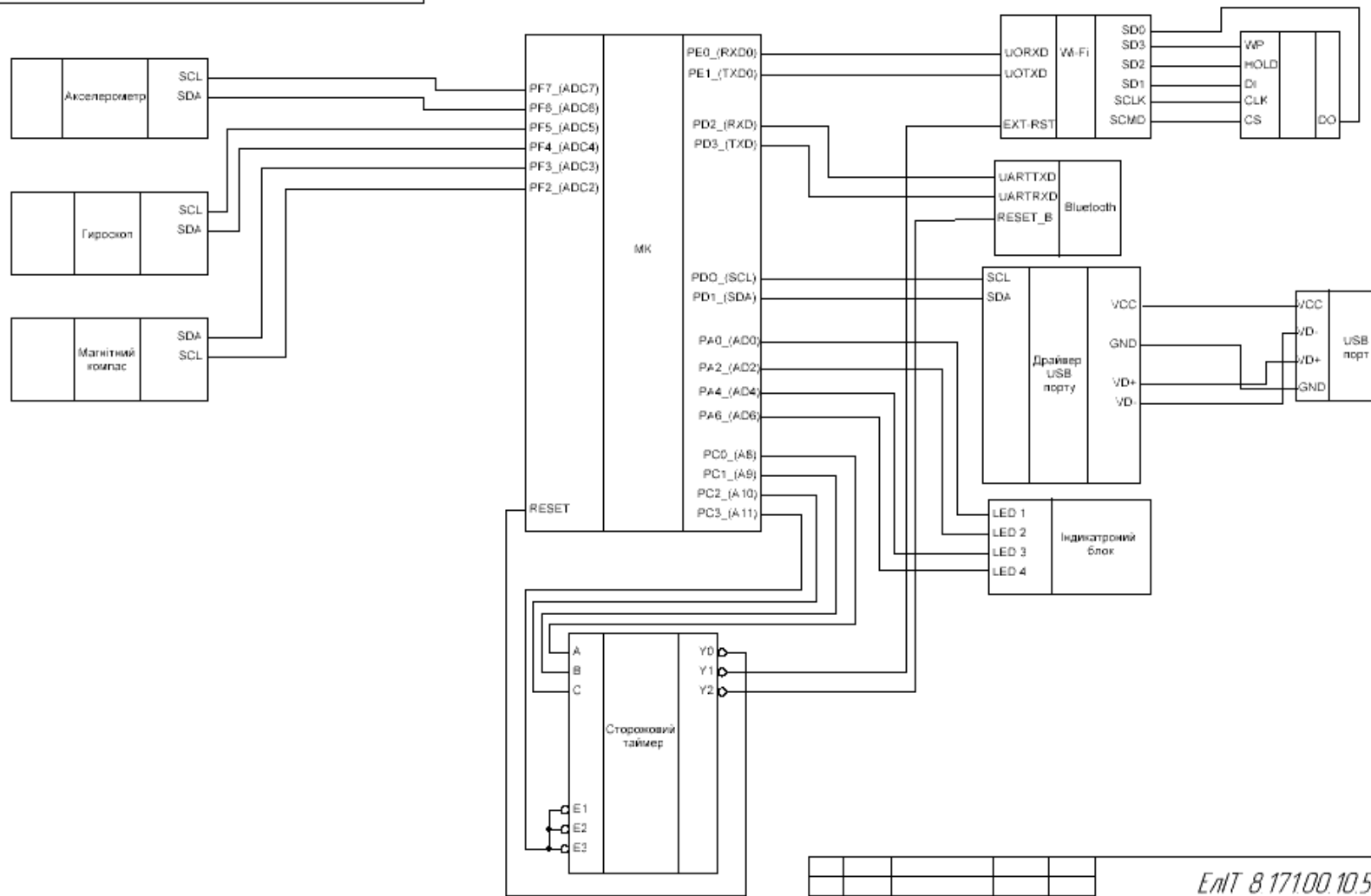
EMT 8 17100 10 519 E3



EMT 8 17100 10 519 E3

изм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Нашлемна система керування FPV дрон	Лім	Масса	Маштаб
	Розроб.	Отрошенко			Схема електрична принципова	Аркуші		СумДЧ зр ЕСМ-21
	Перевір.	Гриненко				Аркуші		
	Т. контр.							
	Реценз.							
	Н. контр.							
	Затверд.	Спанасюк						

ЕлІТ 8 17100 10.519 Е2



ЕлІТ 8 17100 10.519 Е2

Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Нашлезна система керування FPV дроном	Літ	Маса	Маштаб
Розроб		Отрощенко						
Перевір.		Гриненко						
Т. контр.						Аркуш		Аркуші
Реценз.					Схема електрична функціональна	СумДУ гр. ЕСМ-21		
Н. контр.		Галич						
Затверд.		Опанасюк						

