

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АПАРАТУРИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.М. Лисенко
(підпис) (прізвище, ініціали)

“ ___ ” _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Пристрій для вимірювання початкової швидкості кулі

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-72

Волинко Назар Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник ст. викладач О.І. Антонюк

(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент головний інженер, Святненко А.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, ініціали та прізвище)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ - 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр телекомунікацій та радіотехніки

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.М. Лисенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Волинко Назару Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Пристрій для вимірювання початкової швидкості польоту кулі
керівник проекту Антонюк Олександр Ігорович, старший викладач
затверджені наказом по університету 1316-с від 24.05.2021
2. Термін подання студентом проекту _____
3. Вихідні дані до проекту Система складається з наступних блоків: блок панелі керування, блок виведення інформації, блок датчика детектування прольоту кулі, блок визначення кліматичних параметрів навколишнього середовища, головний блок обчислення інформації, автономний блок забезпечення живлення пристрою
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
 - аналіз технічного завдання;
 - розробка структурної схеми приладу та схеми електричної принципової;
 - проведення симуляції роботи ключових блоків у САПР LTSpice;

- обґрунтування вибору елементної бази;
- обґрунтування вибору матеріалу друкованої плати;
- конструкторсько-технологічні та електричні розрахунки;
- розрахунок надійності та віброміцності друкованої плати;
- проектування друкованого вузлу у САПР Altium Designer;
- розробка програмного забезпечення;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- схема електрична принципова;
- друкована плата;
- складальне креслення друкованої плати;
- структурна схема пристрою.

6. Дата видачі завдання 17.02.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	05.03.21-10.03.21	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	11.03.21-16.03.21	виконано
3	Схемотехнічне проектування	17.03.21-05.04.21	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	06.04.21-11.04.21	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	12.04.21-21.04.21	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	22.04.21-02.05.21	виконано
7	Розрахунок віброміцності та надійності друкованої плати	03.05.21-13.05.21	виконано
8	Проектування у Altium Designer	14.05.21-18.05.21	виконано
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузлу	19.05.21-29.05.21	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	30.05.21-08.06.21	виконано

Студент _____



(підпис)

Н.А. Волинко
(ініціали та прізвище)

Керівник проекту _____



(підпис)

О.І. Антонюк
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 88 сторінках, вона містить 6 розділів, 55 ілюстрацій, 11 таблиць та 20 джерел в переліку посилань.

Об'єктом розробки став Пристрій для вимірювання початкової швидкості кулі. Метою роботи «Пристрій для вимірювання початкової швидкості польоту кулі» є розробка датчика прольоту кулі та блоку обчислення швидкості, що склалися б із мінімальної кількості функціональних вузлів, потребували мінімальну кількість налаштувань і могли дати коректну інформацію про швидкість кулі, її енергію, а також, за необхідності, параметр швидкострільності зброї, з якої була випущена куля, та кліматичні дані про стан навколишнього середовища. Останнє дозволить дослідити ступінь значності впливу кліматичних чинників на зміну швидкості польоту кулі.

У роботі розглянуто базові принципи роботи хронографів, фізичне підґрунтя їх роботи, проаналізовано кліматичні чинники, що впливають на швидкість польоту кулі, здійснено пошук існуючих патентних рішень. Розроблено структурну схему, що містить в собі всі необхідні блоки для функціонування пристрою: датчик прольоту кулі, блок керування пристроєм, блок для індикації результатів, стабілізатори напруги, блок датчика температури, атмосферного тиску та вологості. В роботі спроектовано схему електричну принципову, виконано вибір елементної бази. Виготовлено датчик для детектування прольоту кулі зі зброї, працюючої на стисненому повітрі (тобто, так звана страйкбольна та пневматична зброя). Виконано проектування програмного забезпечення для блоку обчислень.

ABSTRACT

The work is presented on 88 pages, it contains 6 sections, 48 illustrations, 11 tables and 22 sources in the list of links.

The object of development was a device for measuring the initial velocity of the bullet. The purpose of the "Device for measuring the velocity of the ball" is to develop a sensor of the ball and speed calculation unit, which would consist of a minimum number of functional units, require a minimum number of settings and could give correct information about the velocity of the bullet, its energy and, if necessary, the rate of fire of the weapon from which the bullet was fired, and climatic data on the state of the environment. The latter will investigate the degree of significance of the influence of climatic factors on the change in the velocity of the bullet.

The paper considers the basic principles of chronographs, the physical basis of their work, analyzes the climatic factors that affect the speed of the bullet, the search for existing patent solutions. The block diagram containing all necessary blocks for functioning of the device is developed: the sensor of flight of a sphere, the control unit of the device, the block for indication of results, voltage stabilizers, the block of the sensor of temperature, atmospheric pressure and humidity. The electrical circuit diagram is designed in the work, the choice of the element base is made. A sensor for detecting the flight of bullets from a weapon operating in compressed air (ie, the so-called airsoft and air guns). Software design for the computing unit has been performed.

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: **Пристрій для вимірювання початкової швидкості польоту кулі**

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	7
1.1 Огляд напрямків застосування вимірювань початкової швидкості польоту кулі	7
1.2 Загальні історичні та теоретичні відомості про вимірювання швидкості польоту кулі	7
1.3 Аналіз ринку хронографів.....	14
1.4 Патентний пошук методів детектування прольоту кулі	18
1.5 Формування вимог до об'єкту проектування	19
Висновок до розділу	20
РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.....	21
2.1 Розробка структурної схеми приладу	21
2.2 Вибір метода детектування прольоту кулі та визначення її швидкості.....	23
2.3 Визначення параметру швидкострільності зброї.....	26
2.4 Удосконалення запропонованого методу детектування	26
2.5 Симуляція запропонованого методу детектування прольоту кулі.....	30
2.6 Вибір фототранзистора та елементів схеми детектування.....	31

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Пристрій для вимірювання початкової швидкості польоту кулі. Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркцшів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Н.А. Волінко</i>	<i>І.О. Адаменко</i>	<i>ШОС</i>				<i>1</i>	<i>88</i>
<i>Перевірив</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікарського, ФЕМ, КЕОА</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>В.Г. Гцбар</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>О.І. Антонюк</i>		<i>о.о.</i>					

2.7	Аналіз залежності швидкості польоту кулі від кліматичних чинників.....	34
2.8	Принципи вимірювання та вибір елементної бази кліматичного блоку.....	36
2.9	Вибір засобу виведення інформації....	38
2.10	Вибір мікроконтролера.....	39
2.11	Розрахунок точності вимірювання швидкості польоту кулі....	42
2.12	Принципи та засоби можливих налаштувань пристрою....	43
2.13	Проектування блоку живлення пристрою.....	45
	Висновок до розділу	47
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ		48
3.1	Вибір та обґрунтування типу і матеріалу друкованої плати	48
3.2	Вибір та обґрунтування методу виготовлення друкованої плати	50
3.3	Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати	51
3.4	Методика проектування в середовищі Altium Designer	53
	Висновок до розділу	55
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ		57
4.1	Конструкторсько-технологічний розрахунок	57
4.2	Електричний розрахунок друкованої плати	60

4.3 Розрахунок основних показників надійності	62
4.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла	68
Висновок до розділу	72
РОЗДІЛ 5. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ ТА НАПИСАННЯ	
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	73
5.1 Принцип роботи програмного забезпечення з датчиком детектування прольоту кулі	73
5.2 Алгоритм роботи з Oled дисплеєм та датчиком тиску по I2C інтерфейсу.....	75
5.1 Алгоритм роботи головного блоку обробки даних	77
Висновок до розділу	78
РОЗДІЛ 6. Створення робочого прототипу пристрою.....	79
6.1 Виготовлення датчика детектування прольоту кулі.....	79
6.2 Створення макету пристрою на відлагоджувальній платі	80
6.3 Створення тестової версії повноцінного пристрою	82
Висновок до розділу	84
ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	86
ДОДАТОК А Технічне завдання	
ДОДАТОК Б Перелік елементів	
ДОДАТОК В Специфікація	
ДОДАТОК Г Тези доповідей на конференціях	
ДОДАТОК Д Акт провадження	

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

SMD - surface mount device

САПР - система автоматизованого проектування

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

EDA - electronic design automation

ІЧ – інфрачервоний

ДП – друкована плата

ДДП – двостороння друкована плата

БДП – багатошарова друкована плата

ДМ – друкований монтаж

УГП - умовне графічне позначення

ІС – інтегральна схема

ЕОА – електронно-обчислювальна апаратура

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

ВСТУП

В сучасному світі нам доводиться дуже часто стикатись з військовою підготовкою людей. Одним з основних етапів підготовки є вправи зі зброєю. Спочатку найчастіше використовують для тренувань страйкбольну або пневматичну зброю. А вже потім переходять безпосередньо до вогнепальної зброї. Щоб бути впевненим у правильності налаштувань і коректності роботи зброї, є етап перевірки швидкості кулі. Для цього використовують прилади для вимірювання швидкості кулі – хронографи [1].

На даний момент на ринку існує велика кількість різноманітних пристроїв для вимірювання швидкості польоту кулі. Такі аналогічні пристрої мають різний функціонал та надають можливість різних налаштувань. Але якщо це пристрій низької цінової категорії, то відповідно можливість різноманітних розрахунків з урахуванням параметрів кулі, кліматичних чинників в ньому немає і користувачу доведеться це все виконувати вручну, а можливість інших вимірювань параметрів стрільби взагалі в таких пристроях відсутня. Якщо говорити про пристрої вищої цінової категорії, то вони стають недоступними для звичайного власника зброї за рахунок їх вартості.

Мета даної роботи є обрання принципу функціонування пристрою шляхом дослідження наукових основ вимірювання швидкості кулі і розробка блоку аналізу та обчислень для хронографа, що складався б із мінімальної кількості функціональних вузлів, потребував мінімальну кількість налаштувань і міг давати коректну інформацію про швидкість кулі, її енергію, за необхідності параметр швидкострільності зброї, з якої була випущена куля, а також температуру навколишнього середовища, яка має вплив на зміну швидкості польоту кулі.

Для вирішення даного завдання розглянуто існуючі методи й підходи до побудови даних пристроїв. Можна стверджувати, що в наш час немає певного універсального пристрою, що мав би необхідний, але водночас і

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

простий, для звичайного користувача функціонал і при цьому був би зручним і простим у використанні і потрапляв би у конкурентно спроможний ціновий діапазон. Тому є необхідність спроектувати власний пристрій, який буде відповідати вище перерахованим вимогам і буде доступнішим по ціні.

В ході виконання роботи планується вирішити задачі по вибору дієвого методу детектування прольоту кулі для подальшого виготовлення датчика, виконати схемотехнічне проектування, розробити алгоритм роботи програмної частини і вихідний код для хронографу, створити прототип (макет) пристрою і провести необхідні випробування, для підтвердження правильності прийнятих апаратурних і програмних рішень.

Практична новизна. В роботі запропоновано метод детектування прольоту кулі, який оснований на затемненні фотодатчика пролітаючою кулею, яка фактично перериває напрямлений пучок інфрачервоного світла, створеного інфрачервоним світлодіодом, і в свою чергу фотодатчик, основним компонентом якого є фототранзистор, створює сигнал, який сповіщує мікроконтролер про проліт кулі.

Практичне значення. Пристрій вимірювання швидкості кулі призначений для функціонування з різними датчиками детектування прольоту кулі, головною вимогою до яких є те, що сигнал прольоту кулі повинен переходити з логічного «0» в логічну «1». В такому разі можливо під'єднати датчики, які будуть працювати навіть з вогнепальною зброєю. В даній роботі було створено датчик для застосування разом зі страйкбольною або пневматичною зброєю. Розробка націлена на використання у якості портативного приладу для вимірювання швидкості кулі. Результати роботи впроваджено у навчальну програму на кафедрі КЕОА КПІ ім. Ігоря Сікорського.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Огляд напрямків застосування вимірювань початкової швидкості польоту кулі

Хронограф — пристрій для вимірювання швидкості польоту кулі. В науковій літературі інколи називають, як пристрій для фіксування швидкості малорозмірних предметів. Незамінний прилад для тренувань при високоточній стрільбі, як звичайними спортсменами так і військовими снайперами. Застосовується для досліджень при виготовленні нових видів набоїв, порохів, перевірок при введенні в експлуатацію нових видів зброї. Також застосовується при наукових дослідженнях впливу різних кліматичних чинників на зміну швидкості польоту кулі. Також використовується при проведенні балістичних експертиз зброї.

1.2 Загальні історичні та теоретичні відомості про вимірювання швидкості польоту кулі

З давніх давен військо і його міць була на головному плані кожної країни. Адже захист своїх інтересів і територіальна цілісність країни є завжди важливими факторами у формуванні незалежної країни. А без військової підготовленості ці фактори стають недосяжними. Тому з самого початку людства приділялась значна увага до підготовки військовослужбовців, які за першої необхідності повинні були постати на захисті своєї країни.

Спочатку військова підготовка мала доволі примітивний вигляд. Це були звичайні тренування з холодною зброєю, до якої відносились мечі, сокири, списи. Згодом з'явилися луки зі стрілами, а вже з часом винайшли чорний порох і з'явилися перші пістолі і гвинтівки. З'явився один з факторів тренувань, який полягав у тестових стрільбах, для підняття вмінь особового складу влучати у ціль на різних відстанях. Така зброя не потребувала значної

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

точності у виробництві і точних налаштувань при стрільбі. Вона була максимально проста, але цього було достатньо, щоб мати значну перевагу над звичайною холодною зброєю.

У XIX столітті було винайдено піроксиліновий порох і це стало величезним проривом у конструюванні вогнепальної зброї. Відразу почали з'являтися моделі зброї, які мали значну перевагу над своїми попередниками. Ефективна відстань пострілу в рази збільшилась, точність теж стала в рази кращою. Відтоді почали з'являтися такі поняття, як снайпер і високоточна стрільба. І тренування снайпера почали полягати у вмінні влучати на великі відстані з якомога найменшою вірогідністю на промах. І вже на цьому етапі постала необхідність у налаштуваннях зброї та набоїв до неї задля досягнення майже стовідсоткового влучання, а для цього необхідно було дізнатись один з головних параметрів пострілу з будь-якої зброї — швидкість польоту кулі. Адже це є один з головних параметрів для розрахунку траєкторії польоту та балістичних характеристик кулі.

На той час не були доступні такі потужні електронні технології, і тому вчені прийшли до примітивних методів із застосуванням законів фізики. Одним з перших методів був параболічний метод. Цей метод спирається на траєкторії польоту кулі, яка зображена на рис. 1.1.

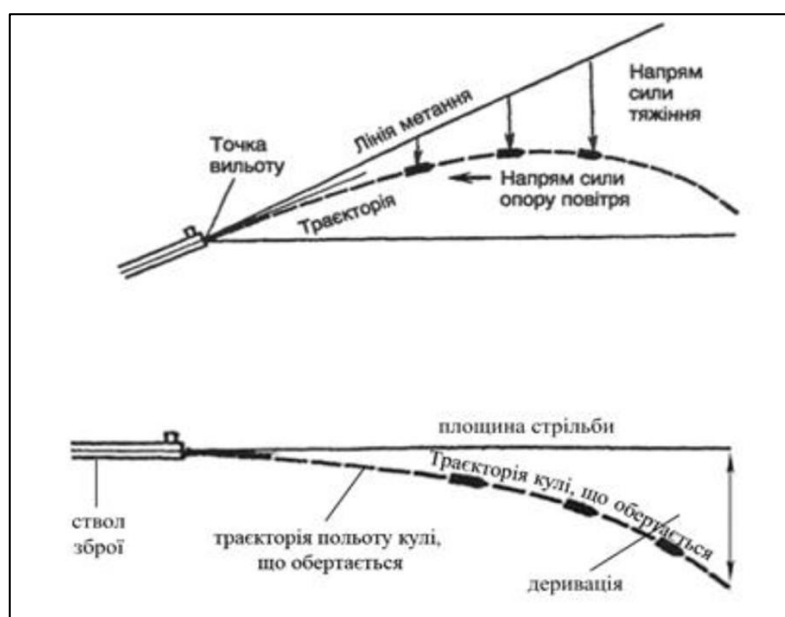


Рисунок 1.1 – Траєкторія польоту кулі

Даний метод полягає на вимірюванні відстані зміщення кулі відносно початкової заданої траєкторії пострілу, за рахунок дії сили тяжіння на кулю. Таким чином знаючи відстань зміщення можна застосувати формулу обрахунку часу, за який куля здійснила вертикальний рух з прискоренням вільного падіння. Зробивши обчислення, отримано час польоту кулі, а знаючи відстань, яку пролетіла куля і здійснила відхилення відносно своєї траєкторії, ми можемо дізнатися відповідно і середню швидкість польоту кулі. Даний метод вимірювання є доволі складний, і тому він майже не застосовувався. Постало питання у пошуках нових методів.

Згодом запропонували метод вимірювання швидкості польоту кулі за допомогою балістичного маятника, який полягав у передачі імпульсу від кулі до маятника. Візуальне представлення даного метода зображено на рис. 1.2. Знаючи масу кулі, масу маятника та значення висоти на яке відхилився маятник, можна обрахувати швидкість кулі.

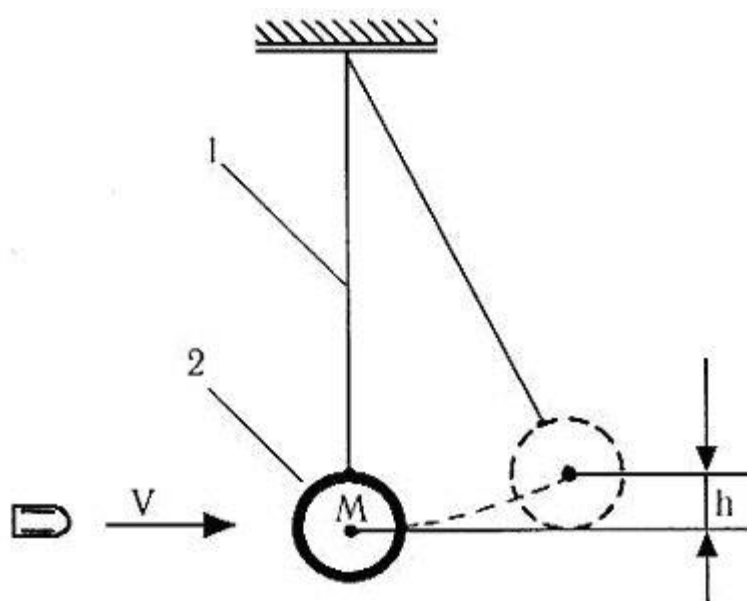


Рисунок 1.2 – Візуальне представлення балістичного методу вимірювання швидкості польоту кулі

Запропонований метод вимірювання швидкості кулі за допомогою балістичного маятника теж мав великі складнощі для його застосування, адже якщо визначити масу кулі і масу маятника не складає зусиль, то

визначити максимальну висоту відхилення маятника, спіймати цей момент і зафіксувати, є доволі складною задачею. До того ж точність визначеної швидкості напряму залежить від цього параметра висоти, а тому зрозуміло, що великої точності досягти таким методом фактично неможливо.

Так як запропоновані методи не влаштовували поставлені вимоги, то вчені продовжували пошук зручного метода вимірювання швидкості кулі. Наступним, хто винайшов свою ідею вимірювання, був Отто Штерна. Він запропонував метод вимірювання за допомогою двох дисків, закріплених на рівній відстані один від одного, які обертаються з рівномірною швидкістю. Візуальне представлення методу Штерна зображено на рис. 1.3. Для застосування даного методу необхідно зробити постріл під прямим кутом до площини обертання дисків. Таким чином куля, долаючи перший диск, зробить в ньому отвір, потім за час коли вона буде долати відстань між дисками, диски повернуться на певний кут, і вже потім куля зробить отвір в наступному диску. В наслідок вище описаних дій, буде отримано два диски з отворами, які зміщені на певний кут один від одного. Знаючи відстань між дисками, швидкість обертання дисків і вимірявши кут зміщення утворених отворів кулею, можна застосувати формулу та обрахувати швидкість польоту кулі.

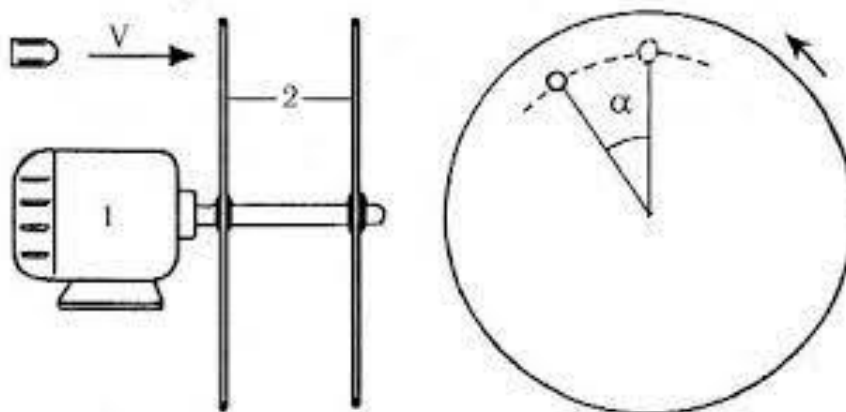


Рисунок 1.3 – Вимірювання швидкості польоту кулі на основі методу Штерна

					ДК 72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Даний метод є набагато точнішим і зручнішим, якщо порівнювати його з двома попередніми методами, хоча й потребує в додаткових матеріалах у вигляді двигуна, дисків, приладу для визначення кутів. Метод Штерна навіть почали застосовувати на практиці, але цього все рівно було не достатньо для повсякденного використання для підготовки військовослужбовців.

З появою електронних технологій, почалось винайдення методу вимірювання швидкості польоту кулі з використанням електронно-обчислювальної машини (ЕОМ). Стало зрозуміло, що ЕОМ може з легкістю зробити всі необхідні математичні обрахунки, потрібно лише надати їй всі необхідні дані. Для обрахування швидкості в ЕОМ почали використовувати саму примітивну формулу відношення пройденної відстані за час, який куля долала цю відстань. Стало очевидним, що потрібно застосовувати обмежений проміжок шляху, на якому необхідно визначити моменти часу прольоту контрольних точок початку та кінця даної відстані. Тепер головною проблемою стало детектування прольоту кулі контрольних точок, після якого необхідно відправляти сигнали для оповіщення ЕОМ про проліт кулі через ці точки, адже знаючи ключові моменти часу, ЕОМ можна налаштувати на обрахування часу між даними подіями, і вже застосувати в подальшому даний час в подальших розрахунках.

Перший вид датчику прольоту кулі полягав на розриві тонких натягнутих дротів, які були закріплені в рамці. В такому датчику сигналом прольоту кулі слугував розрив електричного кола, створеного натягнутим дротом. Даний метод вже гарантував точне визначення моменту часу детектування прольоту кулі, але він був складний для повторення вимірювання, адже користувачеві доводилось кожного разу відновлювати електричний контур з пошкодженим дротом, після пострілу. Також негативною стороною даного пристрою був великий за габаритами блок обчислення інформації, за рахунок якого втрачалась компактність та

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

мобільність даного пристрою. Зовнішній вигляд даного датчику разом з обчислювальним блоком зображено на рис. 1.4.

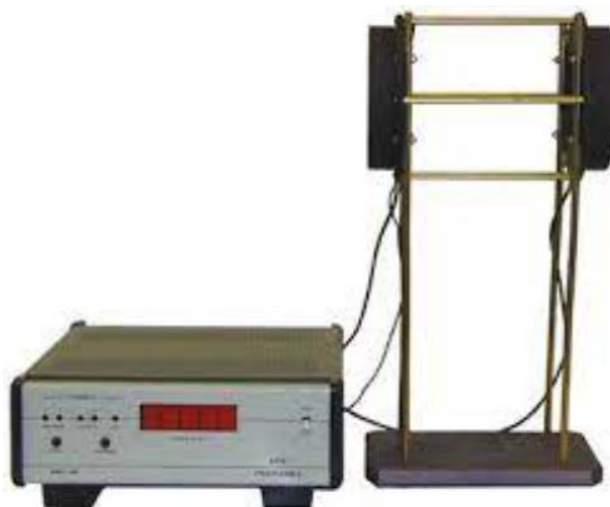


Рисунок 1.4 – Датчик детектування прольоту кулі на основі рамки з електричним дротом та електронно-обчислювальний блок

Згодом було винайдено індуктивний датчик, який спирався на зміні індуктивності котушки, при поміщенні металевого сердечника в середину цієї котушки. У вигляді сердечника в даному випадку виступає пролітаюча куля. Даний датчик показав себе з позитивного боку, адже забезпечував необхідне детектування, не реагував на зовнішні чинники. Але в даному пристрої все ж залишалася особливість великих габаритів. Також варто відмітити, що датчик в такому пристрої реагував тільки на кулі з феромагнітними властивостями. Пристрій з даним методом детектування зображено на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Пристрій вимірювання швидкості кулі з індукційним датчиком

Даний пристрій вже почав широко застосовуватись для тестувань різних видів порохів при виготовленні набоїв до зброї, балістичних експертиз для розкриття кримінальних злочинів та для різноманітних досліджень з використанням зброї. Найбільшої популярності даний прилад набув в другій половині ХХ століття.

Наступним етапом у розвитку пристроїв вимірювання швидкості кулі, став метод детектування кулі на основі оптоелектронного датчику руху. Даний метод полягав у перериванні кулею світлового променя. Ідея такого датчика виявилась доволі вдалою, але перші створені такі датчики мали значні габарити і складну електричну структуру. Один з перших таких пристроїв з оптоелектронним датчиком зображено на рис. 1.6.

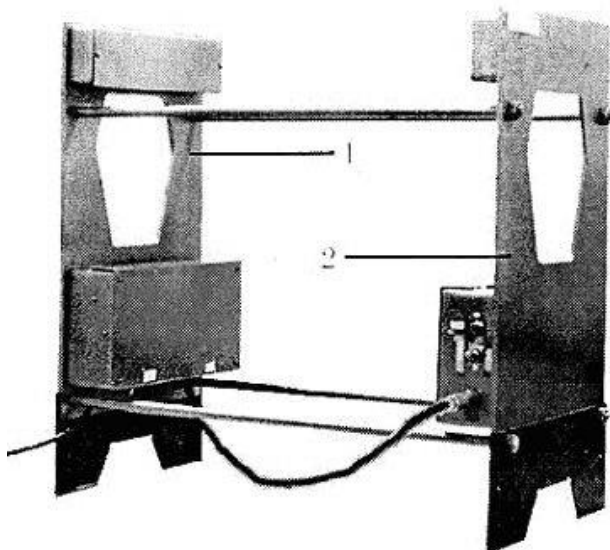


Рисунок 1.6 – Перший оптоелектронний датчик детектування прольоту кулі

Даний метод детектування показав себе з позитивного боку, тому його почали модернізувати. Датчики з оптоелектронними методами детектування застосовуються і на сьогоднішній день. На рис. 1.7 зображено сучасний пристрій вимірювання швидкості польоту кулі, який розроблений на основі оптоелектронного методу, і в свою чергу є компактним та мобільним.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.7 – Сучасний оптоелектронний хронограф

На перший погляд здається, що вже існує ідеальний пристрій для вимірювання швидкості польоту кулі, але це не так. Одним з головних його мінусів є ціна, адже виробляється даний пристрій за кордоном, а тому наприклад забезпечити кожний військовий підрозділ або кожний центр наукових досліджень балістичних характеристик кулі, є доволі витратно. До того ж на сьогоднішній день вимірювати лише одну швидкість не достатньо. Для всієї універсальності цього приладу варто додати функціональність інших параметрів вимірювань, таких як енергія кулі, швидкострільність зброї. Також на сьогоднішній день для високоточної стрільби варто знати різні кліматичні чинники, такі як температура, тиск, вологість.

1.3 Аналіз ринку хронографів

При пошуку готових аналогів хронографів, стало зрозуміло, що їх можна поділити на декілька основних типів, за типом застосування, адже кожен з них має різні характеристики, такі як габарити, метод детектування польоту кулі, джерело живлення, можливість вимірювання додаткових

					ДК72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

фізичних параметрів, таких як енергія кулі та швидкострільність. Отже прийнято поділити їх на наступні типи:

- а) Хронографи для тренувальної зброї (пневматична, страйкбольна);
- б) Хронографи для вогнепальної зброї;
- в) Професійні хронографи.

Перший тип хронографів (для тренувальної зброї), має доволі компактні габарити, живлення відбувається від акумулятора і є доволі доступний для придбання звичайним користувачем пневматичної або страйкбольної зброї. Один з таких хронографів, які можна віднести до даного типу є ІВХ-741, який зображено на рис. 1.8. В даному пристрої вимірювання швидкості кулі, застосовано індукційний метод детектування прольоту кулі. Він є доволі компактний. До його функціоналу входить вимірювання швидкості польоту кулі та запам'ятовування останніх 200 пострілів.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд хронографа ІВХ-741

До даної категорії також можна віднести хронограф ІСТ-2, який застосовує оптоелектронну технологію детектування прольоту кулі, є в свою чергу компактним і має доволі широкий функціонал. Фактично можна сказати, що в ньому поєднано всі необхідні функції, які можуть знадобитися звичайному повсякденному користувачеві не тільки для налаштувань своєї

зброї, а й навіть проведення певних досліджень. Даний хронограф зображено на рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд хронографа ICT-2

Якщо порівнювати переваги та недоліки двох вище приведених хронографів, то можна сказати, що перший є доволі доступний за ціною, але з надто малим функціоналом, до того ж він може детектувати тільки кулі з феромагнітними властивостями. Другий представлений хронограф має широкий функціонал, але великі габарити і має в тричі більшу ціну від попереднього.

До другого типу можна віднести великі рамочні хронографи з можливістю вимірювань швидкості кулі вогнепальної зброї. До такого типу можна віднести хронограф ProChrono. Хронограф ProChrono зображено на рис. 1.10. В даному хронографі застосовано оптоелектронну технологію детектування із застосуванням навколишнього освітлення. Тобто при недостатньому освітленні, наприклад у хмарний день або в темному приміщенні даний пристрій не буде працювати. Цей фактор можна віднести до негативних сторін даного пристрою. Живлення у даного пристрою

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

зовнішнє. Але в даного хронографа доволі широкий функціонал можливостей додаткових параметрів вимірювань, а саме швидкострільність, енергія і т.д.



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд хронографа ProChrono

Також варто відмітити, що ProChrono має можливість надсилати дані про здійснені вимірювання по Bluetooth. Ціна у даного пристрою є в три рази більша порівняно з ІСТ-2.

До останнього пункту варто віднести професійні хронографи, які мають дуже високу точність, компактні розміри і весь необхідний функціонал вимірювань для різноманітних досліджень. До даного типу хронографів можна віднести радіолокаційний хронограф LabRadar, який зображено на рис. 1.11. В хронографі LabRadar застосовано радіолокаційну систему детектування прольоту кулі. Даний пристрій працює за будь-яких кліматичних умов, має високу точність, в ньому реалізовано обмін даними про вимірювання з комп'ютером, але в даного приладу нема жодних вимірювань навколишніх кліматичних чинників. Ціна даного приладу є в чотири рази більша від ProChrono і сягає майже 1000 доларів.



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд хронографа ProChrono

Знайшовши і проаналізувавши існуючі типи пристроїв вимірювання швидкості польоту кулі, можна сказати, що на даний момент на ринку не має пристрою, доступного за ціною для звичайного власника тренувальної зброї, і при цьому з достатньою точністю вимірювань та необхідним функціоналом.

1.4 Патентний пошук методів детектування прольоту кулі

Виконуючи патентний пошук пристроїв вимірювання швидкості польоту кулі, знайдено лише патенти на методи детектування прольоту кулі. Це є лазерний та магнітоіндукційний методи детектування.

Перший з типів, який був запатентований в 1991 році [2], це індукційний метод детектування прольоту кулі. В пристрої за даним методом детектування, міститься два кільцевих магнітоіндукційних датчика, сигнальні обмотки, яких охоплені витком з магнітом'якого матеріалу, схема формування імпульсів, вимірювач часових інтервалів і обчислювач. Магнітоіндукційні датчики встановлені на трубі з немагнітного і неелектропровідних матеріалу.

Аналізуючи вище запропонований метод, можна сказати, що магнітоіндукційний метод є недостатньо універсальним, адже він може фіксувати проліт тільки феромагнітних матеріалів, а в нашому випадку

пристрій бути універсальним і тому повинен також фіксувати страйкбольні кулі, які в свою чергу виготовлені з пластмасових матеріалів.

Другий тип спирається на детектуванні польоту кулі на основі лазерного променя. Даний метод був запатентований в 2017 році [3]. Винахід відноситься до лазерних вимірювачів. Лазерний вимірювач швидкості малорозмірних об'єктів в місцях з обмеженим доступом включає одночастотний напівпровідниковий лазер з довжиною хвилі 1064 нм і шириною лінії генерації не більше 3 МГц.

Варто відмітити, що лазерний метод фіксації потребує доволі точного налаштування, яке ускладнює процес виробництва датчиків оснований на даному методі. До того ж схемотехнічна частина реалізації даного методу є теж складною, а це вже призводить до надмірних затрат при виробництві. Тому даний метод теж не відповідає поставленим нами вимогам.

1.5 Формування вимог до об'єкту проектування

Здійснивши пошук доступних аналогів пристрою вимірювання швидкості польоту кулі, виконано аналіз позитивних та негативних сторін вже існуючих пристроїв. В результаті чого можна сказати, що на ринку не існує доступного в ціновому діапазоні пристрою для звичайного власника тренувальної зброї, який міг би при цьому виконувати весь поставлений в технічному завданні функціонал. Тому прийнято спроектувати власний пристрій вимірювання швидкості кулі, який відповідав би поставленим задачам, а саме вимірювання швидкості польоту кулі з поставленою точністю, енергії кулі, надання мінімальної кількості інформації про кліматичні параметри навколишнього середовища, і при цьому бути в зручному для переміщення корпусі з вбудованим джерелом живлення. І саме головне бути доступнішим в ціновому діапазоні, від існуючих аналогів.

В результаті патентного пошуку методів детектування польоту кулі, прийнято використовувати оптоелектронний метод детектування, так як він є

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

найбільш універсальний по застосуванню до різних видів зброї і при цьому має простішу та дешевшу в реалізації структуру.

Перший прототип пристрою вирішено створювати на відлагоджувальній платі, з метою зменшення затрат та зручності налаштування пристрою до кінцевої версії виробництва.

Висновок до розділу 1

В даному розділі здійснено аналіз вже існуючих пристроїв вимірювання швидкості кулі, в результаті чого підтверджено актуальність розробки пристрою. Також проаналізовано позитивні та негативні сторони методів детектування прольоту кулі згідно існуючих патентів. Прийнято застосовувати в проєктованому пристрої більш універсальний оптоелектронний метод детектування. Наведено аргументуючі факти необхідності створення аналогу згідно поставленого завдання. А саме зменшення ціни, в порівнянні з аналогами, розширення існуючого функціоналу та збільшення точності вимірювання, порівняно з аналогами в схожій цінній категорії, за рахунок використання більш сучасного мікроконтролера.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

РОЗДІЛ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми приладу

Здійснивши аналіз технічного завдання та на основі пошуку існуючих аналогів, запропоновано власну структурну схему пристрою, що розробляється. Основні структурні елементи зображено на рис. 2.1.

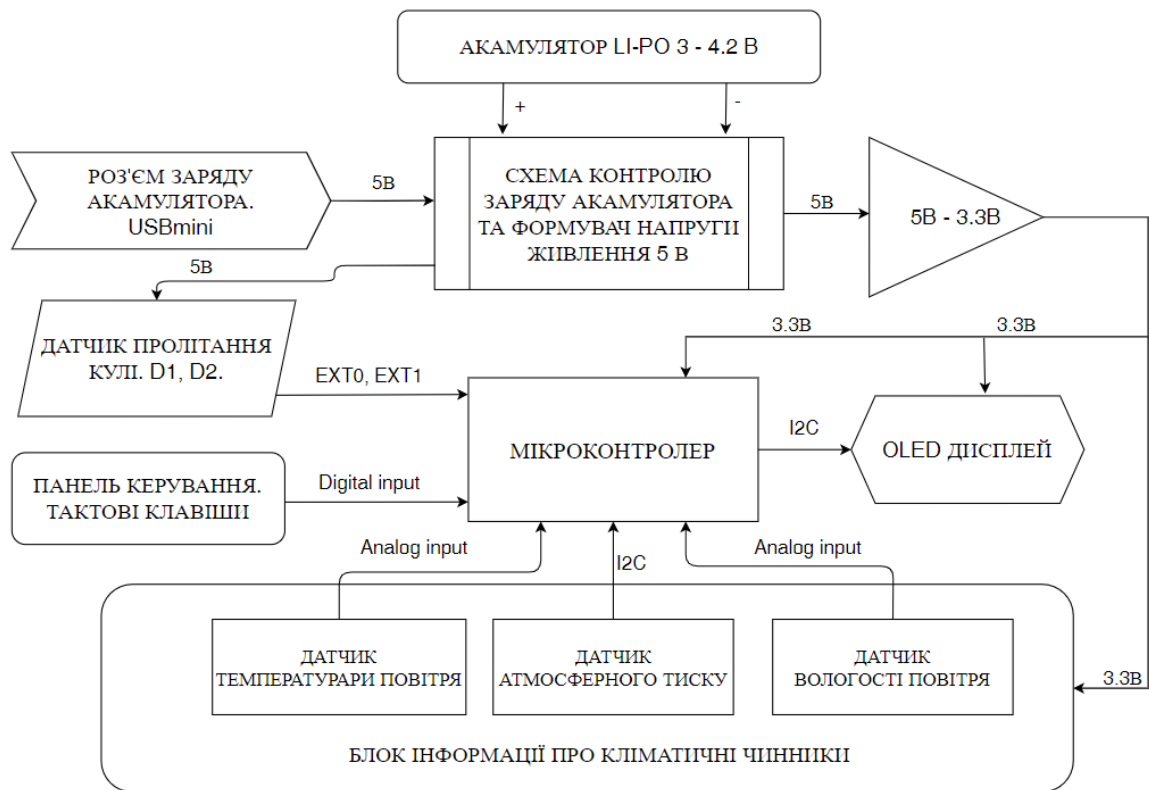


Рисунок 2.1 – Структурна схема

Пристрій можна умовно поділити на 6 логічних блоків. Перший логічний блок відповідає за надання інформації про моменти часу, коли куля пролітає повз датчики, які закріплені на певній відстані один від одного.

Другий логічний блок є фактично панеллю керування пристроєм. Він приймає команди від користувача, у вигляді натискань на клавіші, і передає їх у вигляді сигналів до головного блоку обчислень.

До третього логічного блоку віднесено три датчики, які надають інформацію про головні кліматичні показники навколишнього середовища. Це датчики температури повітря, атмосферного тиску та вологості повітря.

Фактично ця частина структурної схеми відповідає за надання додаткової інформації у вигляді числових параметрів, яка, як показано в одному з наступних пунктів, має вплив на швидкість кулі, і тому є необхідною для її врахування при високоточній стрільбі.

Четвертий блок є блоком виведення даних. До нього належить піксельний Oled дисплей, який відображає користувачеві результати вимірювань і розрахованих параметрів, саме тих параметрів кулі (швидкість польоту, енергія) та в цілому стрільби (швидкострільність), які користувач має попередньо обрати з меню налаштувань. А також, за необхідності, інформацію про кліматичні показники.

До п'ятого логічного блоку належить мікроконтролер (МК). Це головний обчислювальний блок пристрою, який приймає всю надану інформацію першим, другим та третім блоками, виконує певні обчислення, і передає кінцеві дані четвертому блоку, для виводу їх користувачеві.

Шостий логічний блок відповідає за коректне живлення всього пристрою. Він складається з акумулятора(головного джерела живлення), роз'єму подачі живлення для заряду акумулятора, контролера заряду акумулятора та його захисту від перерозряду, стабілізатора напруги на 5 В незалежно від рівня заряду акумулятора і перетворювача напруги з 5 В в напругу живлення для мікроконтролера та деяких інших блоків, яка дорівнює 3,3 В.

Таким чином можемо бачити, що запропонована структурна схема включає всі необхідні блоки для виконання поставлених задач. Адаптований пристрій згідно цієї схеми матиме автономне живлення, надаватиме всі необхідні параметри пострілу та інформуватиме користувача про кліматичні показники навколишнього середовища. А тому можна стверджувати, що структурна схема відповідає поставленому технічному завданню.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2.2 Вибір метода детектування прольоту кулі та визначення її швидкості

Найпростішим методом визначення швидкості пересування будь-якого предмета є ділення відстані, яку подолав предмет, на час, за який він подолав цю відстань [4]. Цей метод є доволі примітивний і простий водночас, але людство на цей час ще не придумало нічого кращого. Тому було прийнято використовувати цей метод і при створенні даного пристрою вимірювання швидкості польоту кулі, який полягає в наступній формулі:

$$V = \frac{S}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

де S – фіксована відстань прольоту кулі, Δt – проміжок часу, за який куля подолала відстань S .

Отже ми вже знаємо, що нам потрібна фіксована відстань, яку ми в майбутньому використаємо для обрахування швидкості. І водночас нам потрібно отримати інформацію про час, за який куля долатиме цю відстань. Тому зрозуміло, що нам потрібен якийсь датчик який даватиме нам інформацію, про початок та кінець прольоту цієї відстані. Якби знати, що користувач використовуватиме тільки металеві кулі, то найкраще було б застосувати індуктивний датчик. Але варто пам'ятати, що є травматична зброя, в якій використовуються гумові кулі, та страйкбольна тренувальна зброя, в якій застосовуються пластикові кульки. Тому нам потрібно фіксувати ці моменти часу якимось візуальним методом, незалежно від матеріалу кулі. Найкращим для цього методом є принцип датчику руху, в якому використовується фототранзистор та інфрачервоний світлодіод. Це є оптоелектронний метод і його принцип роботи зображено на рис. 2.2.

					ДК72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

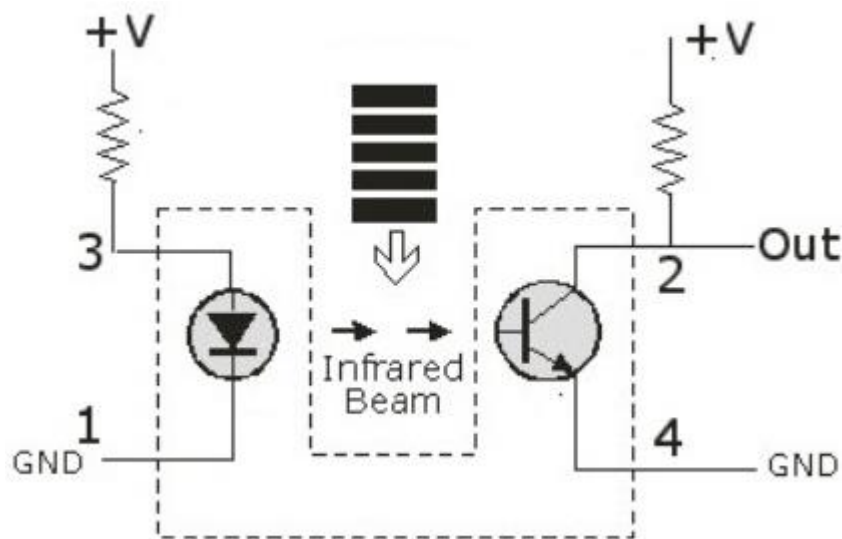


Рисунок 2.2 – Візуальне представлення оптоелектронного методу детектування

Даний метод і буде застосовано при створенні датчика прольоту кулі. Для того, щоб цей датчик можливо було налаштувати перед використанням, то необхідно встановити перед фототранзистором змінний резистор (на рис. 2.2 зображено постійний резистор) і з виводу який приходить на ніжку фототранзистора буде зніматися сигнал. Перед використанням цього датчика, опір змінного резистора потрібно виставити так, щоб на сигнальному виході у нас була напруга логічного «0». Тобто фототранзистор і змінний резистор будуть працювати як подільник напруги. Коли куля буде пролітати, то вона перекриє інфрачервоний промінь, і опір фототранзистора різко зросте. На сигнальному виводі з'явиться напруга логічної «1».

Таких датчиків повинно бути два, адже необхідно відслідкувати моменти прольоту кулі певної постійної відстані. Щоб фототранзистори були на максимальній чутливості і не ловили навколишнє освітлення, прийнято рішення помістити їх в закритий корпус.

Отже як можемо бачити, для застосування потрібної нам формули в нас вже є відстань. Залишилося тільки засікти та обрахувати час, так як моменти прольоту ми зафіксували. Це ми зробимо за допомогою головного блоку обчислення інформації — мікроконтролеру, використавши системний таймер

в ньому. Отже в нас є все що необхідно для застосування вище приведеної формули(1), при написанні програмного забезпечення для мікроконтролеру.

Але згідно технічного завдання необхідно ще дізнатися енергію кулі. Це теж важливий критерій, який впливає на дальність польоту кулі, траєкторію польоту та наскільки швидко втрачатиметься швидкість при польоті. Знаємо, що до загальної енергії відноситься потенціальна та кінетична енергія. Потенціальна енергія визначається за рахунок висоти між рівнями взаємодії предметів. При пострілі вважається, що мішень і ствол гвинтівки знаходяться на одному рівні за замовчуванням, тому потенціальна енергія кулі в даному випадку дорівнює 0. Залишається кінетична енергія [5], яка залежить від швидкості руху тіла і визначається за наступною формулою:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (2.2)$$

де m – заздалегідь відома маса кулі, v – обрахована швидкість польоту кулі, згідно вище описаному алгоритму.

Як бачимо, для використання цієї формули нам не вистачає тільки даних, про масу кулі. Але так як пристрою заздалегідь не відомо, яку масу кулі використовуватиме користувач, то при написанні програмного забезпечення для мікроконтролера, необхідно врахувати цей момент і задати значення маси, як змінний параметр, з можливістю його зміни в налаштуваннях пристрою, а за замовчуванням при запуску пристрою повинно бути певне постійне значення маси кулі, яке є відмінне від нуля, і до того ж найбільш вживане при тестуванні зброї. Враховуючи конструкцію виготовленого датчика, можна сказати, що він буде в основному використовуватись для тренувальної страйкбольної зброї (для вогнепальної використовуються рамочні датчики), то приймемо стандартну масу кулі в 0,2 грами, адже це стандарт для страйкбольної зброї. Отже, тепер відомо повний

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

алгоритм обрахування швидкості польоту кулі та її енергії, який варто застосовувати при написанні програмного забезпечення для МК.

2.3 Визначення параметру швидкострільності зброї

Швидкострільність теж є важливою характеристикою зброї [6]. Цей параметр фактично вказує на кількість зроблених пострілів за одиницю часу. За одиницю часу будемо вважати одну хвилину (так зазвичай використовують коли говорять про швидкострільність). Найпростішим алгоритмом реалізації даного режиму є обрахування кількості пострілів, які були зроблені чергою, і визначення часу між першим та останнім пострілом. Маючи ці дані, можна буде потім застосувати наступну формулу:

$$N = \frac{N_{\text{пострілів}} * 60}{T_{\text{пострілів}}} \quad (2.3)$$

Так як вже реалізовано детектування прольоту кулі, то для отримання необхідних даних залишається застосувати один з датчиків. Тоді залишається написати програмне забезпечення для МК таким чином, що обчислювальний блок буде бачити проліт першої кулі, починатиме рахувати час та наступні зроблені постріли. Якщо після останнього пострілу пройде більше ніж одна секунда(бо більшого розриву по часу між пострілами не може бути), то рахунок пострілів закінчиться і буде застосована вище вказана формула(2.3.1). Обчислювальний блок візьме кількість виконаних пострілів ($N_{\text{пострілів}}$) та час між першим та останнім пострілом($T_{\text{пострілів}}$) і виконає відповідні обчислення. Варто відмітити, що 60 в даній формулі це кількість секунд в одній хвилині, адже за системою «Сі» одиницю часу прийнято 1 секунду. Після цього обчислювальний блок виконає передачу розрахованих даних до блоку виведення. Таким чином ми і отримаємо дані про швидкострільність нашої зброї.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.4 Удосконалення запропонованого методу детектування

Запропонований та описаний у попередньому пункті метод детектування прольоту кулі має вагомі переваги, порівнюючи його з іншими методами детектування, такими як індукційний та лазерний. Але з використанням лише одного фототранзистора в датчику він має вагомий недолік — площа детектування є доволі маленька і обмежується кутом роботи фототранзистора. Тому при практичному застосуванні доведеться при кожному пострілі намагатися влучити кулею в дану площу роботи фототранзистора, а це в свою чергу завдаватиме певних незручностей користувачу. Спираючись на дану особливість роботи даного метода детектування, виникає потреба в його модернізації для усунення даної незручності при користуванні, адже згідно вимог у технічному завданні необхідно створити зручний пристрій для користування.

Рішенням даної проблеми слугуватиме застосування відразу декількох, з'єднаних послідовно, фототранзисторів, які в свою чергу будуть розташовані в одній площині, і створюватимуть єдину площу детектування, влучити у яку кулею, не складатиме проблем для користувача. Візуальне розташування такої площини зображено на рис. 2.3.

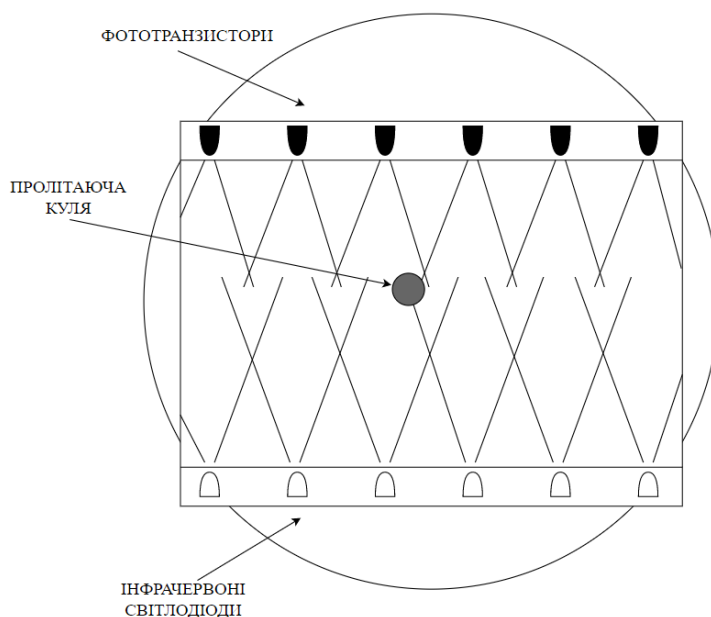


Рисунок 2.3 – Принцип роботи модернізованого методу детектування

					ДК72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

На даному рисунку зображено розташування 6 фототранзисторів в єдину систему, які разом із інфрачервоними світлодіодами, розташованими перпендикулярно до фототранзисторів, створюють площину детектування. Куля на даному рисунку зображена таким чином, що її напрямок руху напрямлений від нас. Спираючись на це, можна стверджувати, що тепер можливо створити площу детектування будь яких розмірів і це дасть змогу при кожному пострілі кулі пересікати площу детектування, незалежно від положення зброї та її користувача.

Але при такому компонуванні фототранзисторів, застосувати звичайний подільник напруги, який при прольоту кулі даватиме перехід сигналу з логічного «0» в логічну «1», неможливо. З використанням такого компонування, зміна сигналу буде набагато менша, ніж рівень між логічними рівнями. Тому необхідно спроектувати схему включення фототранзисторів, при якій ми досягнемо необхідного переходу логічного сигналу.

Для цього прийнято застосувати операційний підсилювач, який буде використовуватися, як компаратор, схему включення якого зображено на рис. 2.4.

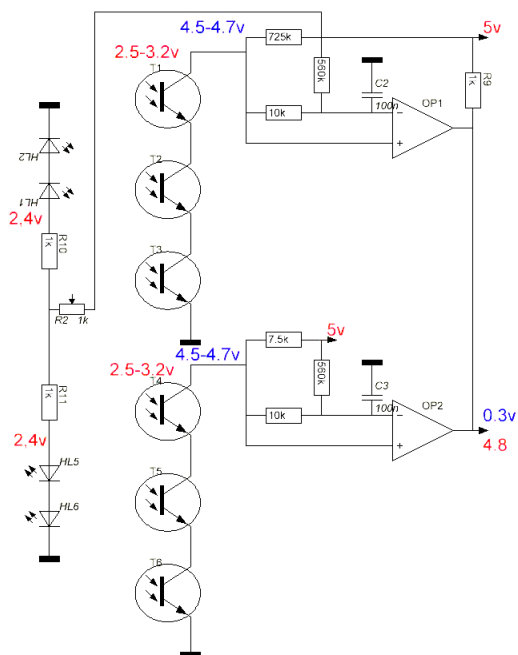


Рисунок 2.4 – Схема детектування з використанням масиву фототранзисторів та компаратора

З даної схеми можемо бачити, що при звичайному режимі, коли куля не пролітає і всі фототранзистори є засвіченими, в нас на виході подільника напруги, утвореного резистором на 7,5 кОм та масивом фототранзисторів, створюється напруга рівна в межах від 2,5 В до 3,2 В. Цей рівень напруги буде також на неінвертованому виході операційного підсилювача(ОП). Конденсатор на інвертованому виході компаратора заряджений до напруги трішки більшої ніж рівень на іншому виході ОП, адже він крім підключення до утвореного подільника напруги, ще має з'єднання з живленням через резистор 560 кОм. Звідси виходить, що на виході операційного підсилювача будемо мати напругу рівну напрузі на мінусовому вході його живлення, в нашому випадку близьку до нуля, яка відповідає рівню логічного нуля. При прольоті кулі, рівень напруги на подільнику зросте приблизно до 4,2 В – 4,8 В. Цей рівень напруги відразу встановиться на неінвертованому виході ОП, а на інвертованому напруга почне плавно підніматися, адже конденсатор почне заряджатися. В цей момент рівень напруги на неінвертованому виході ОП буде більший, ніж на інвертованому, а тому на виході матимемо напругу, рівній напрузі живлення на позитивному вході живлення, яка буде відповідати рівню логічної одиниці. Після того, як куля подолає площину детектування, в нас стан нашого компаратора повернеться до звичайного, адже конденсатор розрядиться і всі рівні повернуться в початковий стан, на виході буде логічний нуль.

Також хотілось би відмітити, що для рівнів зміни сигналу застосовується напруга 5 В. Вибір напруги саме 5 В в даній схемі, а не напруги живлення МК 3,3 В, пояснюється тим, що при такому компонуванні ми маємо більш широкую полосу, для відслідковування зміни напруги, при цьому фототранзистори працюють на більшій чутливості. А в мікроконтролері є так звані толерантні виходи, які мають змогу працювати з напругою, більшою від напруги живлення.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Отже, проаналізувавши створену модернізовану схему детектування прольоту кулі та її принцип роботи, можемо стверджувати, що реалізувавши метод детектування згідно запропонованої модернізованої схеми, буде забезпечено максимально велику площу для детектування, а тому користувачу буде зручно виконувати постріли і при цьому датчик буде виконувати детектування.

2.5 Симуляція запропонованого методу детектування прольоту кулі

Для підтвердження коректності роботи схеми запропонованого вище методу детектування прольоту кулі, прийнято провести симуляцію даної схеми в середовищі LTSpice. Створену схему для проведення симуляції зображено на рис. 2.5.

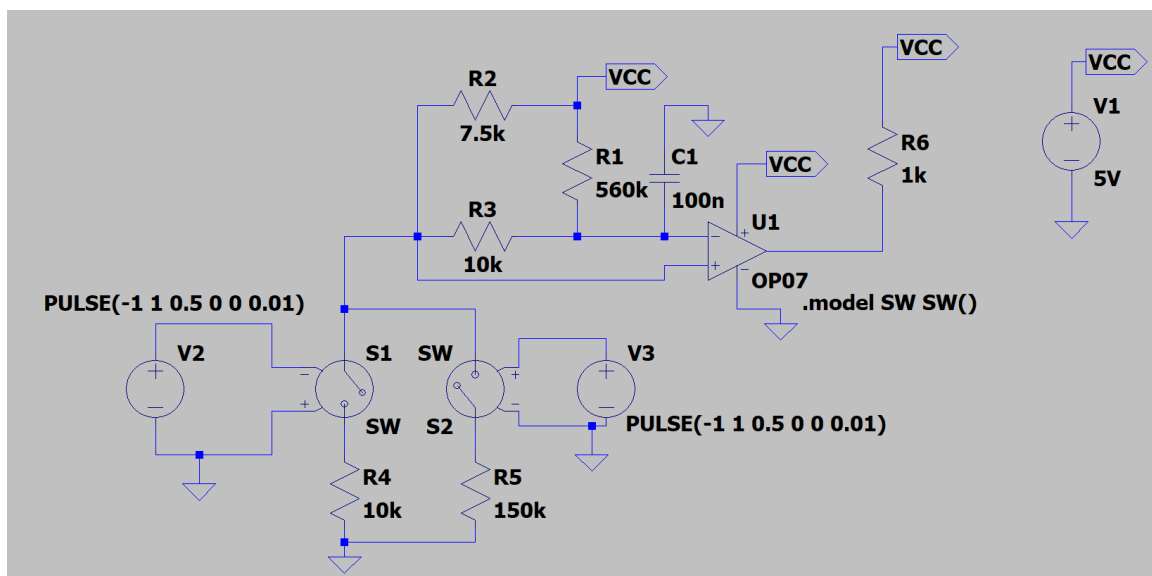


Рисунок 2.5 – Схема для проведення симуляції методу детектування

Можемо бачити, що для моделювання роботи фототранзисторів в засвіченому стані та при прольоті кулі, в схемі застосовується переключення опорів від 10 кОм до 150кОм. Дані опори підібрані так, щоб на виході подільника отримати приблизну напругу, яку ми матимемо в реальності при використанні фототранзистора. Переключення даних опорів відбувається за допомогою перемикачів, які позначені як SW. Їх увімкнення відбувається за допомогою джерела імпульсного сигналу. Таким чином створено одночасне

перемикання опорів і за рахунок цього імітується проліт кулі. Всі інші компоненти схеми обрано згідно схеми, без змін. Живлення схеми відбувається від окремого джерела 5 В. Наступним кроком потрібно перейти до запуску симуляції. Результати симуляції даної схеми показано на рис. 2.6.

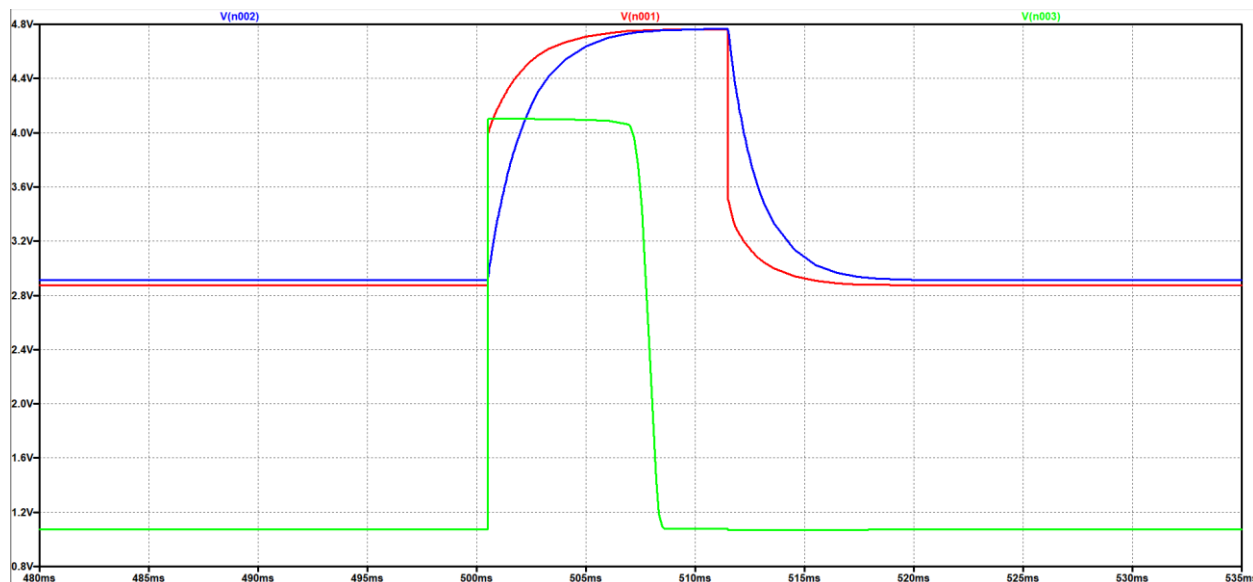


Рисунок 2.6 – Результат симуляції модернізованого методу детектування

На даному рисунку синім кольором позначено сигнал на неінвертованому виході ОП. Червоним кольором позначено сигнал на інвертованому вході компаратора. Сигнал зеленого кольору відповідає сигналу на виході ОП.

Аналізуючи отримані результати симуляції, можна відслідкувати зміну сигналів, яка відповідає опису принципу роботи схеми в попередньому пункті. При прольоті кулі ми отримуємо зміну сигналів на вході ОП, в наслідок чого на виході ОП отримуємо зміну сигналу з логічного нуля в логічну одиницю.

2.6 Вибір фототранзистора та елементів схеми детектування

Одним з основних компонентів в даному пристрої є датчик прольоту кулі. Один з головних компонентів даного датчика є фототранзистор. Фототранзистор являє собою монокристалічну напівпровідникову пластину з германію або кремнію, в якій за допомогою особливих технологічних

приймів створено три області, які мають назву, як і у звичайному транзисторі — емітер, колектор і база, причому остання, на відміну від транзистора, як правило, виводу не має. Кристал вмонтовується в захисний корпус з прозорим вхідним вікном [5]. Одними з основних їх параметрів є робоча довжина хвилі, тобто довжина хвилі спектру світла, на якій буде працювати наш фототранзистор. Так як ми будемо використовувати датчики у невидимому для нас спектрі, а саме в інфрачервоному, в цьому спектрі виділяють світло і світлодіоди, то фактично довжина хвилі в 940 нм буде в даному випадку найбільш підходящою. Наступним фактором на який варто звернути увагу є кут чутливості. При виборі цього параметру необхідно, щоб він був рівний куту випромінювання наших світлодіодів, і водночас цей кут повинен бути якомога більшим, щоб при прольоту кулі ймовірність спрацювання датчика була найбільшою. Ще два параметри на які варто звернути увагу – це енергоспоживання, яке повинно бути якомога меншим, та вартість фототранзистора, адже ми орієнтуємось на виготовлення бюджетного пристрою.

Враховуючи все вище сказане, було прийнято обрати найбільш оптимальний фототранзистор ВРТ-ВР2931 [7]. Зовнішній вигляд зображено на рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд фототранзистора

					ДК72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Схему підключення та розміри корпусу фототранзистора зображено на рис. 2.8.

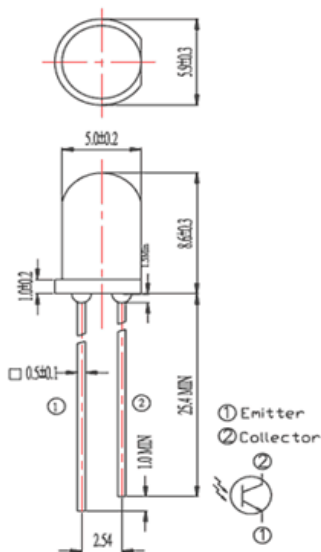


Рисунок 2.8 – Габаритні розміри фототранзистора

Включення фототранзистора у зовнішнє електричне коло виконується подібно включенню біполярного транзистора за схемою зі спільним емітером і нульовим струмом бази. Біполярний транзистор реагує на зміну сигналу на базі, а фототранзистор на зміну навколишнього освітлення.

Наступним важливим компонентом схеми є ОП, який працюватиме в режимі компаратора. Головні вимоги до даного компоненту є вартість та швидкість реагування на зміну сигналу. Прийнято взяти мікросхему компаратора LM339 в компактному корпусі SSOP-14. Структурна схема LM339 зображена на рис. 2.9.

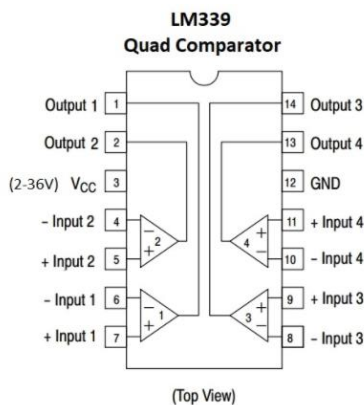


Рисунок 2.9 – Компаратор LM339

Інші компоненти схеми детектування(резистори та конденсатори) прийнято взяти в корпусі 0805, потужністю 0,125 Вт, згідно вказаних номіналів.

2.7 Аналіз залежності швидкості польоту кулі від кліматичних чинників

Кліматичні чинники у вигляді температури повітря, атмосферного тиску та вологості повітря, мають певний вплив на швидкість польоту кулі та її траєкторію польоту, тому знати ці параметри для спортсменів з високоточної стрільби є вкрай необхідно. Для більшого розуміння впливу даних чинників, варто розглянути дані досліджень.

Температура навколишнього середовища впливає на швидкість кулі [8] таким чином, що для температур нижче нормальних умов - початкова швидкість змінюється на 0,94 м/с на 1°С . При температурах, що перевищують нормальні умови (15 ° С), збільшується на більшу величину, що призводить до збільшення кінетичної енергії і як наслідок – бронепробиття. Так як вплив температури найбільше помітний на високих швидкостях, і таким чином його вплив візуально краще виразити на графіку, тому дані досліджень для проведення їх аналізу було взято з побічного джерела [9] . Ці дані можна побачити на рис. 2.10.

t = 34°С		t = 28°С		t = 8°С		t = минус 2°С	
V ₁ , м/с	846	V ₁ , м/с	830	V ₁ , м/с	819	V ₁ , м/с	817
V ₂ , м/с	852	V ₂ , м/с	830	V ₂ , м/с	822	V ₂ , м/с	821
V ₃ , м/с	855	V ₃ , м/с	836	V ₃ , м/с	832	V ₃ , м/с	816
V ₄ , м/с	845	V ₄ , м/с	829	V ₄ , м/с	826	V ₄ , м/с	812
V ₅ , м/с	854	V ₅ , м/с	838	V ₅ , м/с	834	V ₅ , м/с	820
V _{СР} , м/с	850,4	V _{СР} , м/с	832,6	V _{СР} , м/с	826,6	V _{СР} , м/с	817,2

Рисунок 2.10 – Початкові швидкості куль при різних температурах повітря

На основі даних з рис.2.10 видно, що при перевищенні нормальних умов (вище 15 °С), різниця середніх швидкостей склала 17,8 м/с, при різниці

температур 6 °С. А ця різниця при температурах нижче нормальних умов, склала 9,4 м/с і 10 °С відповідно. Для більшої наочності було побудовано графік, який зображено на рис. 2.11.

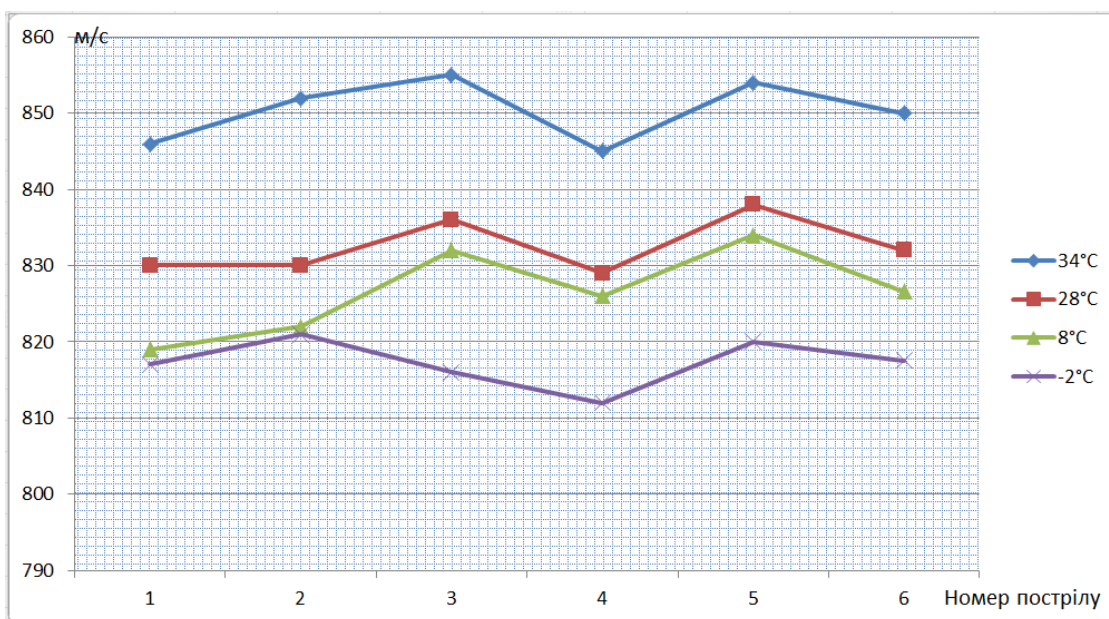


Рисунок 2.11 – Графік швидкості кулі декількох пострілів при різних температурах

Як бачимо температура має певний вплив на початкову швидкість польоту кулі. Пояснюється це тим, що при різних температурах густина повітря різна, при зменшенні температури густина повітря зменшується, а при збільшенні температури густина відповідно збільшується.

Густина атмосферного повітря також напряму залежить від атмосферного тиску. При збільшенні атмосферного тиску густина повітря збільшується. Відповідно при цьому швидкість кулі буде меншою, ніж при стандартних умовах атмосферного тиску. Тому показник атмосферного тиску теж необхідно включити до вимірювання в даному пристрої.

Вологість повітря має незначний вплив на густину повітря, але при різних значеннях вологості повітря ми матимемо зміну швидкості детонації пороху. А звідси впливає, що ми матимемо певний вплив на швидкість польоту кулі при різних значеннях вологості. Отже вимірювання вологості теж варто включити до функціоналу пристрою вимірювання швидкості польоту кулі.

2.8 Принципи вимірювання та вибір елементної бази кліматичного блоку

На основі даних, приведених в попередньому підпункті, прийнято визначати температуру повітря, атмосферний тиск та вологість повітря, як необхідні параметри для користувача.

Реалізувати вимірювання температури прийнято за допомогою термопар [10]. На основі термопар і резистора було зібрано подільник напруги і з нього знімалась напруга. Так як термопара змінює свій опір при зміні температури, то можна відслідкувати зміну вихідної напруги на виході даного подільника. Але ця зміна є досить малою, тому було прийнято її підсилити за допомогою схеми з використанням ОП. В даному випадку ОП працюватиме не в режимі компаратора, а тому обрана в попередньому пункті мікросхема LM339 нам не підійде. Прийнято взяти мікросхему AD8605 [11]. Розроблена схема вимірювання температури представлена на рис. 2.12.

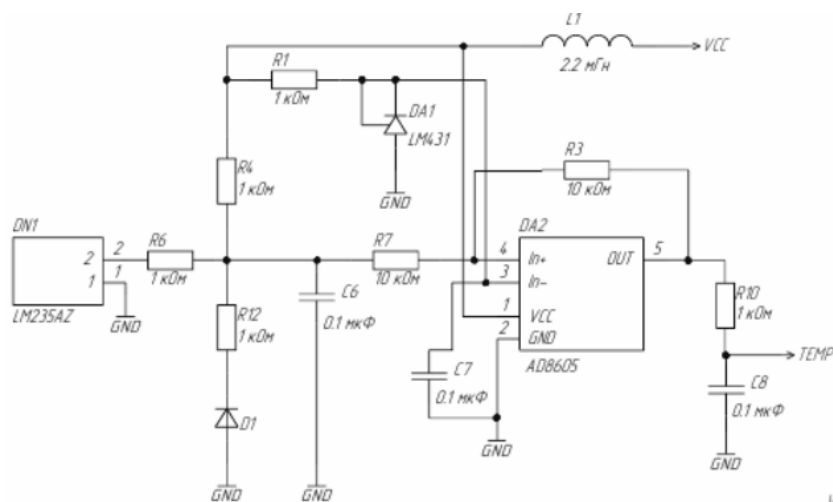


Рисунок 2.12 – Схема вимірювання температури

Обрано поширену термопару LM235AZ. Уже з використанням підсилювача було виведено залежність вихідної температури і напруги після підсилювача, яка зображена на рис. 2.13.

Термосенсор

adc12_in9 - PB1

-24C = 2.5v

0C = 2.02v

50C = 1.02v

100C = 0.02v

Рисунок 2.13 – Залежність вихідної напруги від зміни температури

На основі цих даних було побудовано графік залежності температури від напруги, який зображено на рис. 2.14. Наступним кроком було додано лінію тренда, за допомогою якої ми дізналися формулу залежності вихідної напруги від температури.

Тепер знаючи цю залежність і відповідну формулу, її можна використати при написанні програмного забезпечення для МК. Але спочатку потрібно здійснити перетворення напруги на вході МК в числові значення. Для цього прийнято застосувати аналогово-цифровий перетворювач(АЦП) [12], який вбудований в МК.

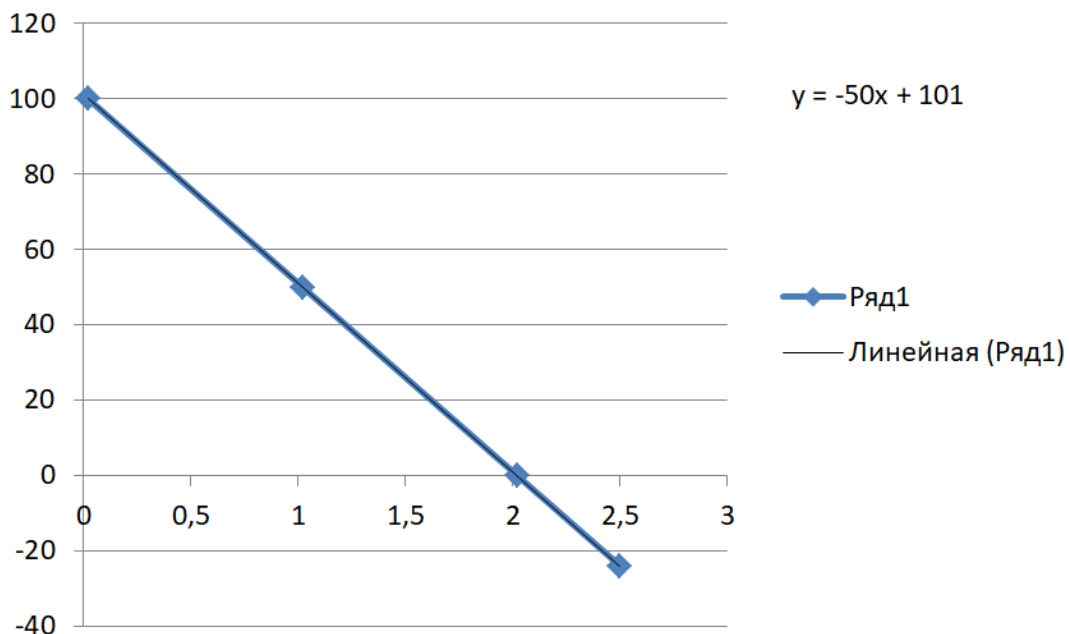


Рисунок 2.14 – Графік залежності вихідної напруги від зміни температури

Для вимірювання вологості повітря взято аналоговий датчик вологості повітря. Рівень напруги на виході даного датчика дозволяє застосувати її без підсилення, з прямим підключенням до МК. Перетворення напруги реалізовано таким же методом, як і з датчиком температури, з використанням вбудованого АЦП.

Вимірювання атмосферного тиску прийнято виконувати за допомогою цифрової мікросхеми BME280, яка надає інформацію про тиск у вигляді цифрових даних. Передача цих даних відбувається за допомогою інтерфейсу I2C. Дана мікросхема є продуктом компанії BOSCH. Зовнішній вигляд зображено на рис. 2.15.



Рисунок 2.15 – Мікросхема BME280

Використання даної мікросхеми пояснюється тим, що ми спрощуємо таким чином програмне забезпечення, адже обчислювальний блок отримує вже готові дані для застосування їх в обрахунках та передачі до виводу на екран.

2.9 Вибір засобу виведення інформації

Для надання інформації про виконані вимірювання всіх параметрів, необхідно визначитися з вибором елемента виведення інформації. При виборі даного елемента варто звернути увагу на його ціну, адже проєктований пристрій згідно вимог технічного завдання повинен бути доступним по ціні.

					ДК72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

На сьогоднішній день існують три найбільш популярні види дисплеїв. До них належать LCD, OLED та TFT дисплеї. Вибір TFT відразу відпадає, адже він має високу вартість і є кольоровим дисплеєм, а застосовувати функцію кольорового виведення інформації в даному пристрої є не доцільно. LCD дисплей на сьогоднішній день має приблизно однакову вартість з OLED дисплеєм, але при цьому поступається по якості виведення інформації. Тому прийнято застосовувати в даному пристрої OLED дисплей, як доступний по ціні та з достатньою якістю виведення інформації.

При виборі розміру дисплея варто звернутись до вимог в технічному завданні, в яких вказано, що пристрій повинен бути компактним. До того ж потрібно обрати такий розмір дисплею, при якому буде зручно сприймати інформацію користувачеві. На основі цих моментів, прийнято обрати OLED дисплей з розміром 1,3 дюйма. Даний дисплей зображено на рис. 2.16.



Рисунок 2.16 – OLED дисплей розміром 1.3 дюйма

Даний дисплей є піксельним, і має матрицю 128x64 пікселі. До дисплея можна під'єднатись як по SPI інтерфейсу так і по I2C інтерфейсу. В даному пристрої вимірювання початкової швидкості кулі прийнято застосовувати I2C інтерфейс, так як для такого з'єднання достатньо чотирьох провідників.

2.10 Вибір мікроконтролера

На даний момент існує великий асортимент мікроконтролерів з різноманітним функціоналом та різною вартістю. Але спираючись на вимоги

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

в технічному завданні варто обрати такий мікроконтролер, який би зміг впоратись з усією периферією, яка приєднана до нього і при цьому виконувати вимірювання швидкості з достатньою точністю. До того ж він повинен бути одним з найдешевших у можливому виборі мікроконтролерів.

Одним з головних критеріїв вибору мікроконтролера для пристрою вимірювання є його максимальна частота роботи. Адже від неї залежить точність вимірювань. До того ж повинно в мікроконтролері бути як мінімум дві вільних лінії I2C, вбудований системний таймер, вбудований аналогово-цифровий перетворювач не менше ніж на 8 біт, а також достатня кількість внутрішньої пам'яті для збереження історії вимірювань останніх пострілів.

Для вирішення поставлених задач в даному пристрої розглянуто найбільш поширені в даний час на ринку сімейства мікроконтролерів. До них належать AVR, ARM і PIC. Їх характеристики для порівняння наведено в таблиці на рис. 2.17.

Параметр	AVR	ARM	PIC
Розрядність, біт	8/32	32/64	8/16/ 32
Інтерфейси	I2C, UART/USART, SPI, USB, CAN	SPI, I2C, UART, CAN, USB, UART, Ethernet	SPI, I2S, UART, CAN, USART, Ethernet, USB
Пам'ять	Flash, SRAM, EEPROM	Flash, SRAM	SRAM, FLASH
Архітектура	RISC	RISC	RISC
Швидкість(такт на інструкцію)	1	1	4
Вартість	низька	низька	середня
Енергоспоживання	низьке	низьке	низьке

Рисунок 2.17 – Характеристики для порівняння мікроконтролерів

Проаналізувавши дану таблицю порівняння, можна відразу сказати, що мікроконтролер PIC відпадає від можливого вибору, адже в нього на одну інструкцію йде аж 4 такти, а це в свою чергу негативно вплине на точність вимірювання швидкості. До того ж він має найвищу вартість серед запропонованих мікроконтролерів. Тому залишається зробити вибір між ARM та AVR. В цій категорії дані мікроконтролери є майже однакові. Але можлива максимальна частота роботи набагато більша в ARM

мікроконтролерів. По всіх інших параметрах вони є доволі схожі. Також варто відмітити ще декілька суттєвих переваг ARM над AVR:

- підтримка DMA (Direct Memory Access) – можливість прямого доступу до пам'яті. Така структура доступу пришвидшує читання та запис;
- DSP (Digital signal processor) – це процесори, які розроблені зі спеціалізованою архітектурою для обробки вхідних сигналів з великою швидкістю.

Цього буде достатньо, щоб зупинити вибір на мікроконтролерах сімейства ARM.

STM32 – одні з найпопулярніших мікроконтролерів на основі сімейства мікропроцесорних ядер ARM-Cortex-M. Продукція компанії STMicroelectronics в даний час лідирує на ринку напівпровідникових компонентів. До того ж STM32 від ARM підтримує виконання DSP інструкцій, за рахунок яких мінімізуються часові затримки.

Аналізуючи дану лінійку сімейства мікроконтролерів STM32, зроблено вибір STM32F405RGT6 [13], який зображено на рис. 2.18.

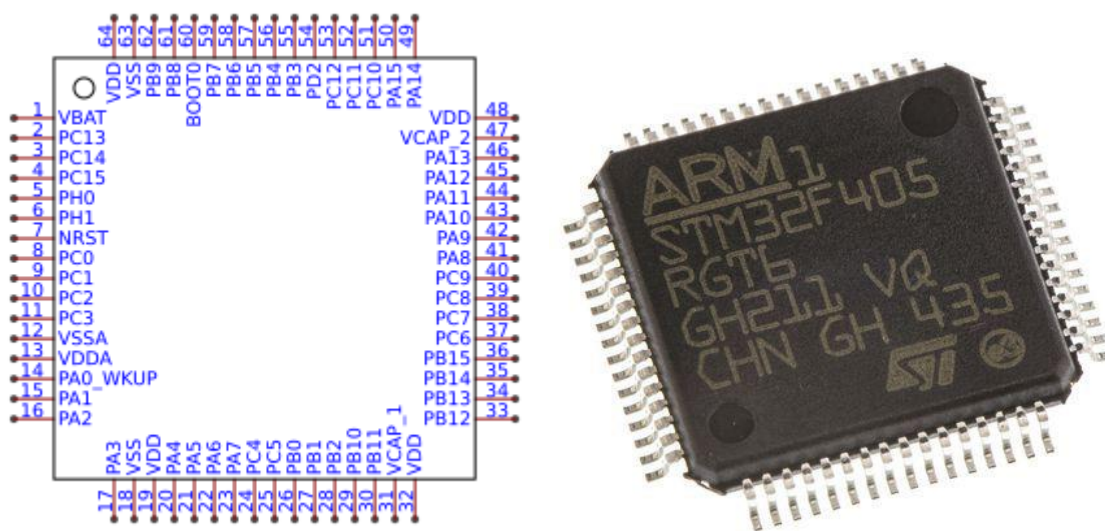


Рисунок 2.19 – Мікроконтролер STM32F405RGT6

Максимальна робоча частота STM32F405RGT6 становить 168 МГц, він має чотири вільні канали I2C, 12-ти бітний АЦП, 4 канали переривання,

системний таймер. Напруга живлення даного мікроконтролера сягає 3,3 В. Але він має толерантні входи, а це означає, що він може працювати з цифровою логікою 5 В, а в даному випадку це нам і потрібно. Для застосування мікроконтролера, обрано корпус LQPF-64. Це корпус з мінімальною кількістю виводів для даного мікроконтролера, адже аналізуючи вище перераховані блоки, такої кількості виводів повинно вистачити з запасом, і при цьому в нас буде один з найкомпактніших можливих корпусів для даної моделі мікроконтролера.

2.11 Розрахунок точності вимірювання швидкості польоту кулі

Визначившись в попередніх підпунктах з алгоритмами і схемами реалізації ключових блоків пристрою, нам стало відомо максимальну частоту роботи мікроконтролера, яка складатиме 168 МГц. Маючи дане значення частоти ми можемо розрахувати точність обрахування швидкості. Адже при написанні програмного забезпечення для мікроконтролера, буде застосовано режим захвату сигналу (Timer Input Capture), який дозволить нам відслідкувати момент між двома змінами сигналу. Таким чином мікроконтролер визначатиме точний час між двома змінами сигналу незалежно від виконання інших пунктів програмного забезпечення. Визначення цього моменту часу буде залежним тільки від тактової частоти мікроконтролера, яка в даному випадку дорівнює 168 МГц. Маючи цю частоту ми можемо розрахувати тривалість одного періоду, від якого буде залежати безпосередньо точність вимірювання швидкості польоту кулі:

$$T = \frac{1}{168\,000\,000} \approx 6\text{нс} ;$$

Як бачимо тривалість одного періоду дорівнює приблизно 6 нс. Тоді, при вимірюванні швидкості польоту кулі, мікроконтролер розраховуватиме час між прольотом кулі датчиків з точністю $\pm 6\text{нс}$.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Для виготовлення датчика будемо використовувати відстань між фото транзисторами, що дорівнює 10 см, тобто 0,1 м, і позначимо її літерою «L». Введемо отримані значення у формулу розрахунку швидкості польоту кулі:

$$v = \frac{L}{\Delta t \pm X} = \frac{0,1}{\Delta t \pm 6 \cdot 10^{-6}};$$

З отриманої формули можемо бачити, що при різній вимірюваній швидкості будемо мати різну точність. Розрахуємо похибку при вимірювання швидкості рівній 100 м/с та 800 м/с:

$$t_{100} = \frac{0,1}{100} = 0,001;$$

$$t_{800} = \frac{0,1}{800} = 0,000125;$$

Тепер обрахуємо найбільшу можливу похибку при даних швидкостях:

$$\Delta v_1 = \pm(v - v_{+\Delta}) = \pm\left(100 - \frac{0,1}{0,001 + 6 \cdot 10^{-6}}\right) = \pm(100 - 99,9994) = \pm 0,0006 \text{ м/с};$$

$$\Delta v_2 = \pm(v - v_{+\Delta}) = \pm\left(800 - \frac{0,1}{0,000125 + 6 \cdot 10^{-6}}\right) = \pm(800 - 799,96) = \pm 0,04 \text{ м/с};$$

Отже точність вимірювання на швидкості 100 м/с сягає $\pm 0,0006$ м/с, а на швидкості 800 м/с сягатиме $\pm 0,04$ м/с.

2.12 Принципи та засоби можливих налаштувань пристрою

Так як всі можливі розраховані дані відразу розраховувати і виводити користувачеві не раціонально, тому прийнято вимірювання поділити на три режими:

- Режим визначення швидкості та енергії кулі;
- Режим швидкострільності;
- Режим визначення кількості пострілів останньої черги.

Так як ці режими потрібно змінювати, то необхідно до програмного забезпечення додати функцію меню, в якому першим пунктом стане вибір режиму вимірювання.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Так як, пам'ятаємо, що для обрахування енергії було введено змінний параметр ваги кулі, то відповідно наступним пунктом налаштування необхідно взяти зміну ваги кулі для обрахунку енергії.

Для можливості підключення до пристрою різних датчиків, які можуть під'єднуватися до плати за допомогою штиркового роз'єму PLS, необхідно ввести можливість зміни відстані між датчиками. Так як в різних датчиках може відрізнятися відстань між фототранзисторами, адже кожного разу безпомилково точно встановлення фототранзисторів неможливе, то цю функцію фактично можна назвати налаштуванням точності. Отже, наступним пунктом налаштувань прийнято обрати налаштування відстані між фототранзисторами, яка використовується при обрахуванні швидкості.

Враховуючи те, що інформація про кліматичні показники навколишнього середовища не є основним фактором вимірювання, тому було прийнято виводити інформацію про температуру повітря, атмосферний тиск та вологість повітря, як окремий пункт в меню. В даному пункті пристрій не повинен приймати налаштування. Він здатен тільки виводити інформацію про температуру.

На основі складеного меню, прийнято застосовувати п'ять тактових кнопок для зручного керування пристроєм. Розташувати дані кнопки найкраще всього у вигляді джойстика, адже таке розташування є доволі поширене. Приклад такого розташування зображено на рис.2.20.



Рисунок 2.20 – Розташування клавiш панелі керування пристроєм

Як бачимо дане розташування є дуже зручним, адже всі клавiши розташовані так, що займають якомога менше простору на монтажній площині.

2.13 Проектування блоку живлення пристрою

Згідно поставлених вимог в технічному завданні, прийнято спроектувати пристрій з вбудованим джерелом живлення. Варіант використання одноразових джерел живлення, які доведеться постійно замінювати, відразу був виключений з можливих, адже в склад пристрою входить дисплей та певна кількість інфрачервоних світлодіодів, за рахунок чого одноразові джерела живлення, у вигляді батарейок, швидко втрачатимуть рівень заряду. По цій причині прийнято взяти джерело живлення, з можливістю дозаряджання. В ролі даного джерела обрано літій-полімерний акумулятор(Li-Po) з рівнем робочої напруги 3.7 В [14]. Зовнішній вигляд такого акумулятора зображено на рис.2.21.



Рисунок 2.21 – Акумулятор живлення Li-Po 3,7 В

Для можливості дозаряджання даного акумулятора, постала необхідність у створенні схеми заряду. Здійснюючи пошук готових варіантів реалізації даної схеми, знайдено схему контролю заряду на основі мікросхеми TP4056. До того ж відразу дану схему взято з модулем захисту від перерозряду, реалізованому на мікросхемі DW01A, яка виконує перевірку рівня напруги на

					ДК72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

аккумуляторі і при досягненні рівня нижче 3 В, подає сигнал на мікросхему транзисторного Mosfet ключа FS8205, яка розриває електричне коло, і таким чином зупиняє подачу живлення до пристрою. Подача живлення на схему заряджання відбувається через роз'єм USBmini. Схема контролю заряду та захисту від перерозряду зображено на рис.2.22.

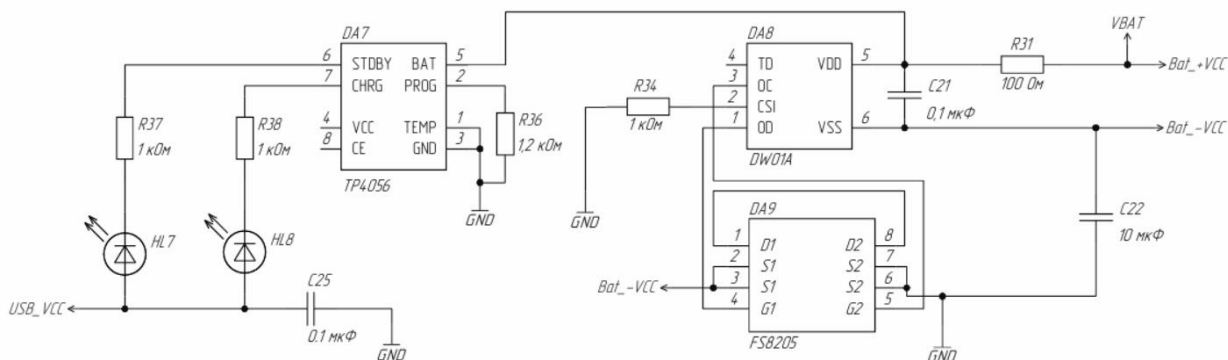


Рисунок 2.22 – Схема заряду та захисту від перерозряду аккумулятора

Так як частина схеми(датчик детектування та інфрачервоні світлодіоди) повинна живитися від напруги 5 В, то прийнято напругу аккумулятора(від 3 В до 4,2 В, в залежності від рівня заряду) підвищувати до рівня 5 В, за допомогою схеми підвищуючого DC-DC перетворювача, реалізованого на мікросхемі MC34063AD. Схему побудовано згідно документації виробника на мікросхему MC34063AD. Дану схему зображено на рис.2.23.

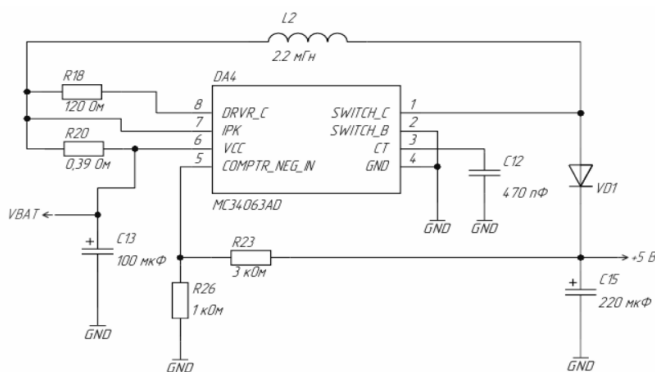


Рисунок 2.23 – Схема підвищуючого перетворювача напруги, незалежно від рівня заряду аккумулятора

Живлення мікроконтролера та всіх інших блоків відбувається від напруги рівній 3,3 В, тому необхідно додати схему стабілізації напруги від 5 В до 3,3 В. Для вирішення даної задачі взято не складну схему з документації на мікроконтролер STM32F405, яку реалізовано на мікросхемі LD3985M33R від STMicroelectronics. Це мікросхема регулятора з низьким рівнем падіння напруги та рівня шумів виконана в корпусі SOT-23-6. Схему стабілізації напруги приведено на рис.2.24.

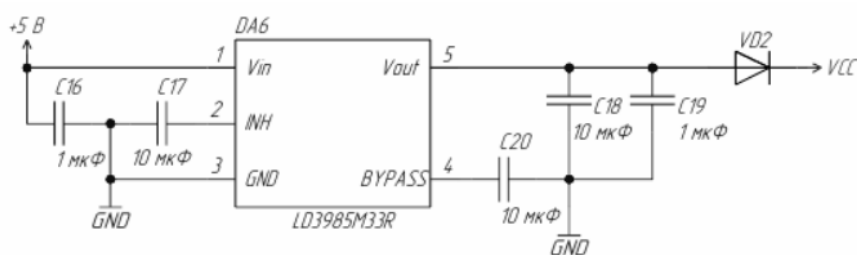


Рисунок 2.24 – Схема стабілізатора напруги на 3,3 В

Висновок до розділу 2

В даному розділі, згідно технічного завдання, створено структурну схему пристрою вимірювання початкової швидкості польоту кулі. Запропоновано схему оптоелектронного методу детектування прольоту кулі. Проведено симуляцію даного методу детектування, чим підтверджено коректність роботи даної схеми. Зроблено обґрунтований вибір елементної бази основних блоків пристрою. Виконані розрахунки точності вимірювання швидкості польоту кулі на основі робочих параметрів обраного мікроконтролера. Описано методи вимірювання швидкості та енергії кулі, параметру швидкострільності зброї. Проаналізовано необхідність вимірювання кліматичних чинників в даному пристрої. Здійснено аналіз запропонованих схем вимірювання кліматичних чинників. Створено схему вбудованого в пристрій джерела живлення, на основі існуючих рішень.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

3.1 Вибір та обґрунтування типу і матеріалу друкованої плати

На даний час існують три типи друкованих плат: однобічні, двошарові та багатошарові друковані плати.

Однобічні та двошарові друковані плати складаються з діелектричної підкладки, на зовнішній бік якої запресований струмопровідний матеріал - з однієї або двох сторін відповідно. Найчастіше це електролітична мідна фольга, яка має високий ступінь очищення. Як правило, в якості діелектричної підкладки використовують склотканину, рідше електротехнічний папір, просочений бакелітовою або епоксидною смолою, який має назву гетинакс.

Після завершення механічної і хімічної обробки однієї, або двох сторін, діелектричної підкладки та струмопровідного шару, створюється рисунок провідників друкованої плати, який має назву топологічного рисунку. Електричний зв'язок шарів цього рисунку виконується за рахунок металізації отворів.

Багатошарові друковані плати створюються із тонких шарів діелектрика та струмопровідного топологічного рисунку. У процесі виробництва всі шари проходять процес пресування в єдину пластину, яка виконуватиме роль багатошарової основи. Залежно від конструктивних особливостей друкованої плати, електричні з'єднання в багатошарових структурах можуть створюватися двома різними методами: з використанням наскрізних перехідних отворів або з використанням міжшарових переходів.

У багатошарових платах зі складною структурою, зовнішні шари називають монтажними і застосовують найчастіше тільки для установки компонентів. У простих двошарових та однобічних платах в більшості випадків зовнішні шари слугують в ролі монтажних та сигнальних шарів.

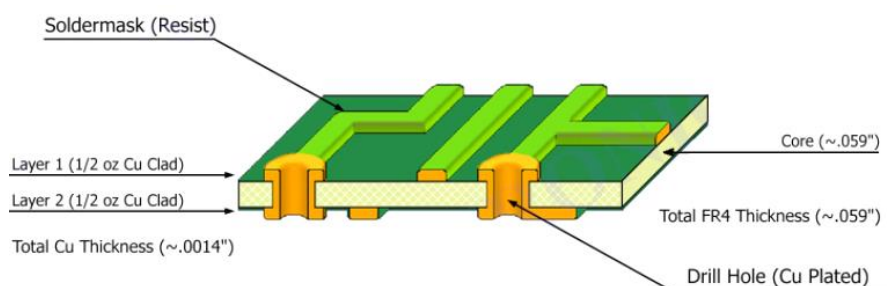
					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Сигнальні шари несуть на собі основне навантаження по створенню електричних ланцюгів між електронними компонентами.

Шари живлення створюються суцільними полігонами, для того щоб отримати мінімальний омичний опір. Крім забезпечення живлення схеми, ці шари виступають у ролі електричних “екранів” для сигнальних шарів.

Тепловідводні шари розміщують таким чином, щоб надлишкове тепло, яке виділяють компоненти, розповсюджувалось рівномірно.

На основі аналізу технічного завдання та створеної електричної схеми пристрою, прийнято рішення використати двошарову друквану плату для пристрою вимірювання початкової швидкості польоту кулі. Пояснюється це тим, що в даному пристрої на платі будуть розміщуватися фототранзистори, які слугуватимуть датчиком детектування, при чому вирішено, що відстань їх розміщення має бути 100мм. Тому при створенні друкваної плати, габаритні розміри обираємо відштовхуючись від умов розміщення датчика. Таким чином, при такому розмірі друкваної плати можливо рівномірно, з запасом місця, розмістити всі компоненти створеної схеми, за рахунок чого буде можливим розведення плати з використанням двох шарів. Також варто відмітити, що вартість виготовлення двошарової друкваної плати, є набагато менша ніж багатошарової. Типову конфігурацію двошарової плати (ДП) наведено на рис. 3.1.



Two Layer

Stack Height (thickness) ~0.061"
+ Cu plating (post drill) ~0.002"

= Overall Thickness ~0.063"

Рисунок 3.1 – Типова конфігурація двошарової ДП

					ДК72.466451.001ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Матеріалом плати обрано склотекстоліт типу FR-4 [15]. Даний вид матеріалу є найбільш поширений і має відмінну якість поверхні. Його використовують для виготовлення друкованих плат. Склотекстоліт типу FR-4 є діелектричним матеріалом. За будовою він складається з декількох шарів скловолокна, які є просочені епоксидною смолою. Даний матеріал має низький коефіцієнт теплового розширення, а це в свою чергу означає, що він не має такої особливості, як стиснення або розширення зі зміною температури. Також варто відмітити, що FR-4 не поглинає вологу в порівнянні з іншими матеріалами. А це означає, що він не змінює свою форму та розміри при перебуванні як у вологому середовищі так і в сухих умовах.

3.2 Вибір та обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Для вибору методу виготовлення друкованої плати, необхідно розглянути існуючі методи. На даний момент існують два типи — субстрактивні та адитивні методи. Розглянемо дані методи.

Субстрактивний метод характеризується тим, що при його застосуванні використовується діелектрична пластина, на яку наклеєно струмопровідну фольгу, зазвичай з міді. А потім наноситься на цю фольгу рисунок, який збереже частину фольги і таким чином створить провідники на платі. Також існує комбінований метод, який доповнює субстрактивний. В ньому монтажні та перехідні отвори металізуються за допомогою гальванічного методу.

Адитивний метод виготовлення друкованих плат поляє в тому, що на пусту пластинку діелектричного матеріалу методом гальванічного осадження наносяться з'єднувальні провідники на друкованій платі. Металізація перехідних та монтажних отворів відбувається теж за допомогою гальванічного осадження. Але варто відмітити, що даний метод є високозатратним методом, адже при його застосуванні використовуються дуже точні технології виготовлення.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Спираючись на вище сказаний опис методів виготовлення друкованих плат, прийнято рішення застосувати комбінований метод виготовлення [16], адже даний метод включає в себе переваги обох методів. Провідники на платі створюються менш затратним методом, який полягає у протравлюванні фольги, а створення металізації перехідних отворів покращує якість створених контактів та спрощує технологію трасування та зборки друкованої плати.

Тепер варто визначитись з алгоритмом послідовності виготовлення друкованої плати, адже існує негативний та позитивний методи виготовлення, які використовують негативні та позитивні фотошаблони відповідно. Розглянемо позитивні та негативні сторони застосування даних методів.

При виготовленні друкованої плати негативним методом, то виникають дві проблеми — погане зчеплення фольги з діелектричною пластиною та надмірне витравлення фольги з бокової сторони фольгованого покриття. Ці дві проблеми утворюються за рахунок того, що травлення виконується на ранніх етапах технологічного процесу.

Позитивний комбінований метод позбавлений даного недоліку, так як практично на всіх етапах технічного процесу фольга захищає діелектричну підкладку від впливу технологічних розчинів. Цим досягається висока якість поверхні діелектрика і, як наслідок, висока надійність ізоляції. Даний метод дозволяє отримати провідники підвищеної точності. Тому прийнято для виготовлення друкованої плати застосувати комбінований позитивний метод, по вище перерахованим причинам.

3.3 Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати

Існує 5 класів точності виготовлення друкованих плат. Клас точності вибирається відповідно до рекомендацій ГОСТ 23751-86.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Перший і другий класи точності виготовлення друкованих плат використовуються за умови малої насиченості поверхні ДП дискретними елементами та мікросхемами малого ступеню інтеграції.

Третій клас має застосування для компонентів зі штирьовими і планарними виводами при середній і високій насиченості поверхні друкованої плати елементами.

Четвертий клас використовується при високій насиченості поверхні друкованих плат мікросхемами з виводами і без них.

П'ятий клас використовується при дуже високій насиченості поверхні друкованої плати елементами з виводами і без них.

Всі вище перераховані класи точності мають параметри з відповідними значеннями для кожного з них. Зображення даних параметрів можна подивитися в таблицях 3.1 та 3.2. Приведені дані в цих таблицях будуть застосовані при конструкторсько-технологічному розрахунку в наступному розділі.

Таблиця 3.1 - Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{пр}^r$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	Γ	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.2 - Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{км}$	0,015(0,05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{сш}$	0,05

В результаті аналізу параметрів класів точності, які перераховані вище, прийнято рішення використовувати 4 клас точності. Так як більшу частину компонентів на друкованій платі планується використовувати в SMD корпусі. Також варто відмітити, що фото транзистори, розташовані на нижньому шарі плати, мають бути вмонтовані в корпус разом з платою. Тому в даному випадку у нас має бути точне позиціонування компонентів та дотримання точних габаритів плати. На основі цього можна сказати, що потрібно обрати клас точності не нижче 4 класу. Так як для виготовлення друкованих плат 5-го класу точності необхідне застосування унікального високоточного обладнання і даний клас є набагато затратнішим, в порівнянні з 4 класом точності, то прийнято рішення обрати 4 клас точності.

3.4 Методика проектування в середовищі Altium Designer

На сьогоднішній день Altium Designer є профейним САПР [17]. Дана програма дає можливість застосування найсучасніших технологій проектування друкованих плат. До того ж на відміну від інших аналогічних систем класу EDA, система Altium Designer є комплексною програмою і тому

забезпечує розробку електронного пристрою без застосування іншого програмного забезпечення, адже крім проектування, в ньому можливе здійснення розрахунків. Весь цикл проектування, званий наскрізним, включає розробку електричної схеми, комп'ютерне моделювання її роботи, розробку друкованої плати, розробку комплексу конструкторської документації для виробництва.

В ході проектування друкованого вузлу були використані такі можливості AD:

- самостійне створення бібліотеки з УГП та посадковими місцями;
- створення схеми електричної принципової;
- розводка друкованої плати;
- створення конструкторської документації.

PCB Project – це набір документів, необхідний для виготовлення друкованої плати, дані якої призначені для рішення однієї конструктивно-закінченої задачі. Документи представляють собою файли різних типів, котрі можуть додаватися в проект. Редагування документів виконується відповідним редактором, причому назва редактора співпадає з типом документу.

AD має в своєму розпорядженні готові бібліотеки компонентів. Але використання даних бібліотек є неоптимальним у зв'язку з досить великим недоліком - УГП компонентів не відповідає ГОСТ. Тому було створено бібліотеку УГП та посадкових місць для використаної елементної бази відповідно стандартам за допомогою інструменту Library Editor.

Процедура формування схеми доволі проста і являє собою послідовне розміщення і з'єднання на листі електричних і графічних об'єктів за допомогою вбудованого редактору схем в Altium Designer.

Створення файлу друкованої плати може відбуватись як вручну [18], так і за допомогою вбудованого інструменту PCB Board Wizard. За допомогою цього інструменту можна задати параметри і правила

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

проектування ДП та за допомогою функції AutoRoute трасувати плату в автоматичному режимі. В багатьох випадках автотрасування дає незадовільний результат, тому потрібно відредагувати трасування вручну, щоб досягти найкращого результату. На рис. 3.2 та 3.3 наведено готовий друкований вузол.

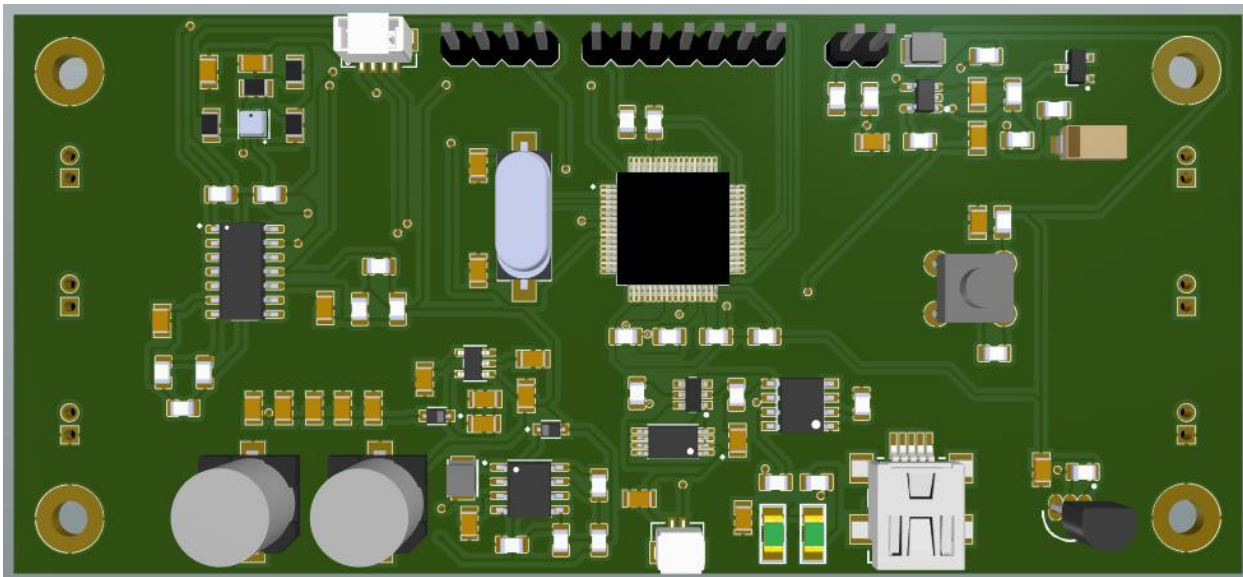


Рисунок 3.2 – Друкований вузол. Вид зверху

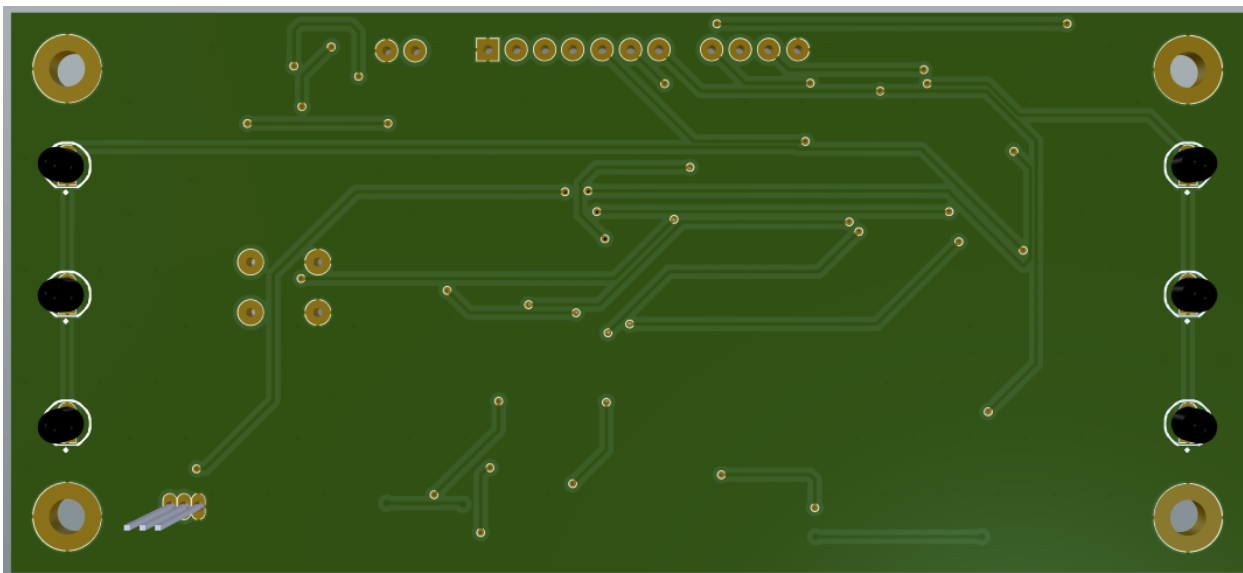


Рисунок 3.3 – Друкований вузол. Вид знизу

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Висновок до розділу 3

В даному розділі здійснено аналіз існуючих типів друкованих плат. Згідно створеної електричної схеми та технічного завдання, обрано двошаровий матеріал для виготовлення друкованої плати. Прийнято використовувати склотекстоліт типу FR-4 по причині міцності та вологостійкості даного матеріалу. Здійснено аналіз методів виготовлення друкованої плати і вирішено застосовувати комбінований позитивний метод виготовлення, так як він надає змогу застосувати переваги всіх існуючих методів. Згідно до ГОСТ 23751-86 обрано 4 клас точності виготовлення друкованої плати.

Використовуючи систему автоматизованого проектування Altium Designer, створено друкований вузол. Проектування друкованого вузла складалося з наступних етапів: створення графічної бібліотеки компонентів, створення бібліотеки посадкових місць компонентів, створення схеми електричної принципової пристрою, розміщення елементів на схемі друкованого вузла та виконання трасування електричних провідників для утворення з'єднань між компонентами. Заключним етапом стало формування комплекту супровідної конструкторської документації, до якої увійшли креслення друкованого вузла, складальне креслення та специфікація на друковану плату.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

4.1 Конструкторсько-технологічний розрахунок

Визначимо мінімальну ширину друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та “землі”

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму b_{minI} для ланцюгів живлення та “землі” визначається виразом 4.1:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (4.1)$$

де I_{max} - максимально допустимий струм в ланцюгу;

$j_{доп}$ - допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом, $j_{доп} = 48 \frac{A}{мм^2}$;

$t_{пров}$ - товщина друкованого провідника, що визначається виразом 4.2.

Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{ф} + h_{ГМ} + h_{ХМ}, \quad (4.2)$$

де $h_{ф}$ - товщина фольги, залежить від матеріалу, $h_{ф} = 0,035$ мм;

$h_{ГМ}$ - товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{ГМ} = 0,055$ мм;

$h_{ХМ}$ - товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{ХМ} = 0,0065$ мм.

$$t_{пров} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,097 \text{ мм}$$

Параметр I_{max} визначається як сума струмів, що споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, що споживаються елементами схеми представлені в таблиці 4.1.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 4.1 – Значення струмів, які споживають активні компоненти

IC	Кількість IC	$I_{\text{спож}}$, мА
STM32F405RGT6	1	8
BME280	1	0,04
LM431BZX	1	2
AD8605	1	1,5
LM339ADR	1	1,8
MC34063AD	1	0,8
НІН-4010-001	1	3
LD3985M33R	1	1,0
TP4056	1	1,2
DW01A	1	2,5

$$I_{\text{max}} = 22,524 \text{ мА};$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі” визначається наступним чином:

$$b_{\text{minI}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,097} = 0,0053 \text{ мм};$$

Отримане значення $b_{\text{minI}} = 0,044 \text{ мм}$, а мінімальна ширина провідника 4 класу точності 0,15 мм. Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі” дорівнює 0,15 мм. Але для зменшення шляху проходження струму до всіх елементів було вирішено використовувати полігони для ланцюгів живлення та “землі”.

Визначимо мінімальну ширину провідника з урахуванням допустимого падіння на ньому напруги

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається наступним виразом:

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}}, \quad (4.3)$$

де ρ - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$L_{пров}$ - довжина самого довгого друкованого провідника на ДП,
 $L_{пров} = 0,513 \text{ м}$;

$U_{доп}$ - допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, $U_{доп} = 5\% \cdot E_{п} = 0,05 \cdot 9 = 0,45$.

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}} = \frac{0,0175 \cdot 22,524 \cdot 10^{-3} \cdot 0,513}{0,097 \cdot 0,45} = 4,63 \cdot 10^{-3} \text{ мм};$$

Визначимо мінімальну ширину провідника

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5h_{ф} + 0,03, \quad (4.4)$$

де $b_{пр}^r$ - мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл. 3.3.1). Для четвертого класу точності друкованого монтажу $b_{пр}^r = 0,15 \text{ мм}$.

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5h_{ф} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,2325 \text{ мм};$$

Визначимо максимальну ширину провідника

$$b_{max} = b_{min} + 0,02 = 0,2325 + 0,02 = 0,2525 \text{ мм};$$

Визначимо мінімальну відстань між двома сусідніми провідниками (між краями провідників):

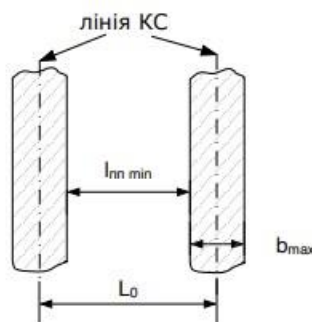


Рисунок 4.1 – Схематичне зображення двох сусідніх провідників

Відстань між центрами друкованих провідників в найгіршому випадку, що кратні кроку координатної сітки $L_0 = 0,5$.

$$l_{пп\ min} = L_0 - (b_{max} + 2\delta_{сп}), \quad (4.5)$$

де $\delta_{сп}$ - похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{сп} = 0,05$ мм.

$$l_{пп\ min} = L_0 - (b_{max} + 2\delta_{сп}) = 0,5 - (0,2525 + 2 \cdot 0,05) = 0,1475 \text{ мм};$$

4.2 Електричний розрахунок друкованої плати

Визначимо падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається за наступною формулою:

$$U_{пад} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l_{пр}}{b_{пр}^r \cdot t_{пр}}, \quad (4.6)$$

де ρ - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$;

I_{max} - струм в провіднику, А;

$l_{пр}$ - максимальна довжина друкованого провідника, м;

$b_{пр}$ - номінальна ширина провідника, в Altium при трасувнні ми виставляли

правила для сигнальних провідників мінімальна ширина - 0,15мм, середня

0,2мм, максимальна - 0,25мм, тому було прийнято взяти середня значення 0,2мм.

$$U_{пад} = \frac{0,0175 \cdot 22,524 \cdot 10^{-3} \cdot 0,513}{0,2 \cdot 0,097} = 10,4 \text{ мВ};$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ($U_{жив} = 5 \text{ В}$).

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Визначимо ємність між двома сусідніми провідниками, що розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину

Наявність ізоляційної основи з великим значенням діелектричної проникності є причиною виникнення великих паразитних ємностей зв'язку і власної ємності провідника.

Величина паразитної ємності між двома провідниками визначається за формулою:

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}}^r + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.7)$$

де S - відстань між двома паралельними провідниками, мм;

$b_{\text{пр}}$ - ширина друкованого провідника, мм;

$t_{\text{пр}}$ - товщина друкованого провідника, мм;

$l_{\text{пр}}$ - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм.

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \left[\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 11,4 \left[\lg \frac{2 \cdot 0,428}{0,2 + 0,097} \right]^{-1} = 13,4 \text{ пФ};$$

Взаємна індуктивність двох паралельних друкованих провідників однакової довжини

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \cdot \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right), \quad (4.8)$$

де $l_{\text{пр}}$ - довжина перекриття паралельних провідників, см;

L_0 - відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, см.

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} \cdot \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_0^2} + L_0 \right) \\ = 0,02 \left(1 \lg \frac{\sqrt{1 + 0,0039} + 1}{0,0628} - \sqrt{1 + 0,0039} + 0,0628 \right) = 0,0113 \text{ нГн};$$

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Отримані значення паразитної ємності ($C = 10,35$ пФ) та взаємної індуктивності ($M = 11,3$ пГн) дозволяють стверджувати, що на працездатність схеми вони не впливають.

4.3 Розрахунок основних показників надійності друкованого вузла

Надійність – це фізична властивість об'єкта (виробу) яка залежить від кількості і якості його складових елементів, від умов, в яких він експлуатується та від ряду інших причин.

В загальному об'єкти можуть знаходитись у двох станах: в працездатному та непрацездатному. Працездатним називається такий стан об'єкта, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, які встановлені вимогами технічної документації.

Подія, яка характеризується порушенням працездатності об'єкта, називається відмовою.

Всі вироби поділяються на відновлювані і невідновлювані.

Відновлювані – такі вироби, працездатність яких у випадку виникнення відмови підлягають відновленню. У невідновлюваних виробів відмови не усуваються. До числа останніх відносяться майже всі радіокомпоненти (резистори, конденсатори, транзистори, мікросхеми і т.д.), а також окремі категорії радіоелектронної апаратури.

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елементу – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

На практиці ж достатньо повна характеристика надійності - щільність розподілення часу безвідмовної роботи даного типу КЕ $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$. Функції $f(t)$ та $\lambda(t)$ визначаються експериментально. При цьому період нормальної експлуатації для ІС характеризується високою надійністю. Тоді величини $f(t)$ та $\lambda(t)$ зв'язані відношенням:

$$f(t) = \lambda^{-\lambda t} \quad (4.9)$$

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Знаючи $f(t)$ та $\lambda(t)$, можна визначити інші кількісні характеристики надійності протягом часу від 0 до t :

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.10)$$

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи, визначається:

$$T = \frac{1}{\lambda} \quad (4.11)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та степені тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Тоді можна записати:

$$\lambda_e = \lambda_{0e} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.12)$$

де λ_{0e} - інтенсивність відмов елемента при нормальних умовах роботи температура навколишнього середовища - $T_{\text{навк.серед}} = 20 \pm 5$ °С, відносна вологість - $65 \pm 15\%$, K - коефіцієнт електричного навантаження;

$K_n = 1, K_1, K_2, \dots, K_n$ - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження $K_n = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}}$, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі.

Коефіцієнт навантаження для **резисторів**:

$$K_{HR} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} \quad (4.13)$$

Розрахуємо відповідне значення коефіцієнту для резистора R1:

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$K_{HR} = \frac{3,3^2}{1 \cdot 10^3 \cdot 0,125} = 0,08712;$$

Для всіх інших резисторів розрахунок проводиться аналогічно, дані занесено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Коефіцієнти навантажень резисторів

Позначення	Кількість	R	P _{ном}	U _{роб}	K _{HR}
R1, R5, R7	3	100 кОм	0,125 Вт	5 В	0,414
R2	1	22 Ом		3,3 В	0,061
R3, R13, R37	3	1 кОм		0,183	
R4	1	470 кОм		5 В	0,138
R6, R9	2	2,4 кОм		3,3 В	0,122
R8	1	300 кОм			0,061
R10 – R12, R15	4	100 кОм			0,244
R14	1	330 Ом			0,061
R16, R40, R41	3	30 кОм			0,183
R17	1	100 Ом			0,138
R18	1	110 кОм			0,061
R19, R20	2	1,5 МОм		5 В	0,122
R21, R22, R36	3	15 кОм			0,183
R23, R24, R26	3	47 кОм			0,183
R25, R27, R29	3	470 кОм		3.3 В	0,183
R30	1	56кОм			0,061
R34, R35	2	560кОм			0,122
R37, R38	2	9,1кОм		5 В	0,276
R39	1	91кОм			0,138

Коефіцієнт навантаження для конденсаторів:

$$K_{Hc} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} \quad (4.14)$$

Розрахуємо відповідне значення коефіцієнту для конденсатора C1:

$$K_{Hc} = \frac{5}{50} = 0,1;$$

Для всіх інших конденсаторів розрахунок проводиться аналогічно, дані занесено до таблиці 4.4 нижче.

Виділене значення приймемо за максимально можливий коефіцієнт навантаження для кожного конденсатору для розрахунку найгіршого випадку.

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти навантажень конденсаторів

Позначення	Кількість	$U_{ном}$	$U_{роб}$	K_{HR}
C1	1	50 В	5 В	0,1
C2	1	50 В	5 В	0,1
C3	1	16 В	3,3 В	0,206
C4	1	16 В	3,3 В	0,206
C5	1	16 В	5 В	0,310
C6	1	50 В	3,3 В	0,206
C7	1	50 В	5 В	0,075
C8	1	50 В	5 В	0,075
C9	1	50 В	5 В	0,075
C10	1	50 В	3,3 В	0,075
C11	1	16 В	3,3 В	0,206

Коефіцієнт навантаження для всіх інших елементів оберемо рівним 1 для розрахунку найгіршого випадку.

Визначимо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу приладу. Прилад відноситься до наземної переносної апаратури, експлуатується при $T_p = 40$ °С, інші умови експлуатації номінальні.

Найбільш поширеним кількісним показником надійності є інтенсивність відмов λ - тобто умовна ймовірність виникнення відмов в системі в деякий момент часу напрацювання при умові, що до цього моменту відмов у системі не було.

Вихідні дані для розрахунку λ_p (результуюча інтенсивність відмов) – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів. По картам робочих режимів визначаємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для визначення λ_p зведені до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Вихідні дані для розрахунку інтенсивності відмов

Компонент	N	λ_{0e} $\cdot 10^{-6}, \text{год}^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$N\lambda_{0e}K_H a_t a_e$ $\cdot 10^{-6}$
Резистори	41	0,044	0,138	0,2	15	0,746
Конденсатори	23	0,022	0,12	0,4		0,681
ФотоТранзистори	6	0,044	0,2	0,9		0,475
Мікросхеми	11	0,025	1	1,2		6,75
Друкована плата	1	0,001	1	1		0,03
Мет. отвори	115	0,000017	1	1		0,017
Контакт роз'єму	25	0,015	1	1		0,9
Пайка виводу	324	0,000069	1	1		0,335
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузлу						9,934

В таблиці: a_e - поправочний коефіцієнт щодо зовнішніх впливів (для наземної стаціонарної апаратури $a_e = 15$), a_t поправочний температурний коефіцієнт, відповідні дані взято з довідкових матеріалів [16].

Показники інтенсивності відмов елементів, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дозволяє виконати розрахунок для “найгіршого” випадку.

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивностей відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 9,934 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \quad (4.15)$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} \approx 91916 \text{ год};$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом року:

$$P(t) = e^{-\lambda_p t} = e^{-9,934 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,91 \quad (4.16)$$

Ймовірність відмов протягом року:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,91 = 0,09 \quad (4.17)$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлений на рис. 4.2.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

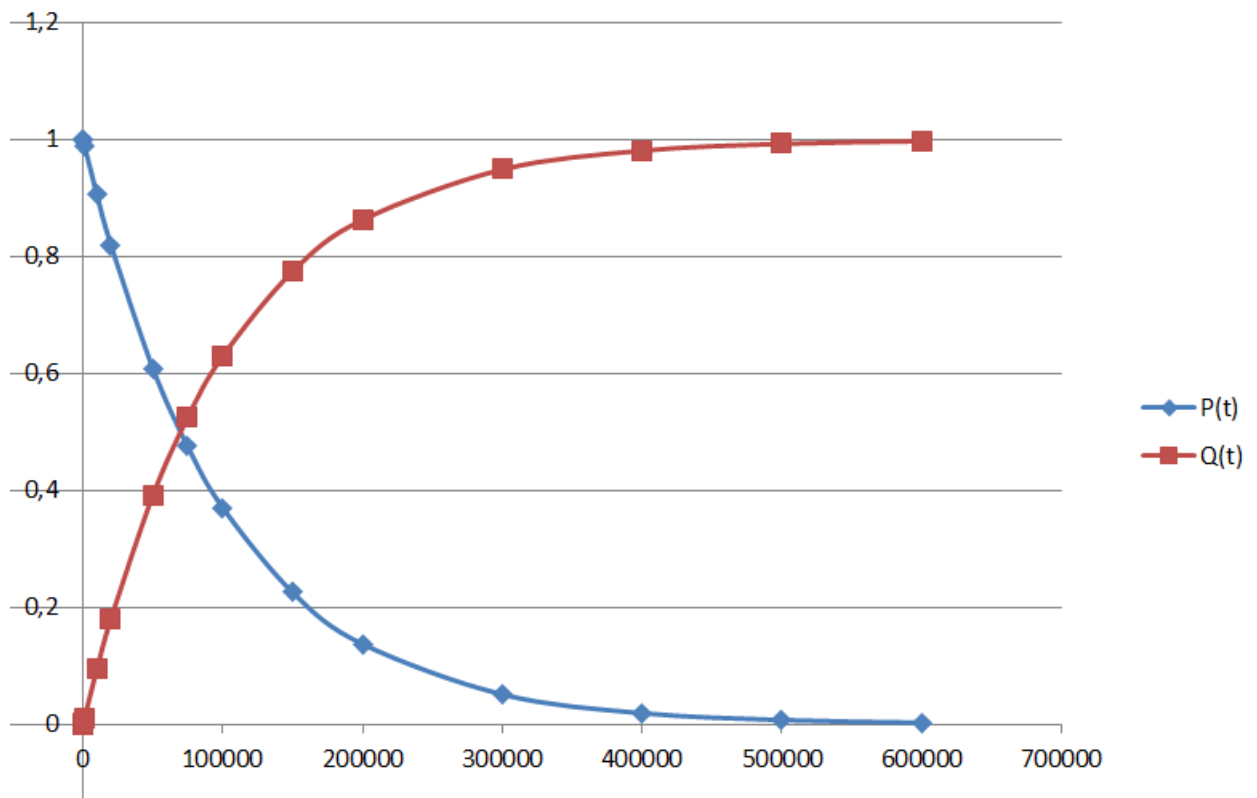


Рисунок 4.2 – Графік ймовірності відмов і безвідмовної роботи протягом часу експлуатації

4.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Для виконання розрахунку віброміцності друкованого вузлу спочатку потрібно визначити масу всіх елементів та самої плати. Відповідні дані занесено до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Маса елементів

Елемент	Кількість	Маса	Сумарна маса
Конденсатори 0805	31	0,034 г	0,306 г
Резистори 0805	12	0,021 г	0,042 г
Мікросхема STM32F405	1	5 г	5 г
Кварцевий резонатор	1	1 г	1 г
Елемент	Кількість	Маса	Сумарна маса
Мікросхема AD8605	1	0,9 г	0,9 г

Продовження таблиці 4.6

Елемент	Кількість	Маса	Сумарна маса
Мікросхема LM339	1	1,5 г	1,5 г
Діод	2	0,093 г	0,186 г
Світлодіоди	6	0,025 г	0,025 г
Роз'єм PLS-7	1	1,5 г	1,2 г
Роз'єм Molex-2p	1	2,14 г	2,14 г
Роз'єм Usbmini	1	0,9 г	1,9 г

Сумарна маса всіх компонентів дорівнює 29,041 г.

Маса плати розраховується за наступною формулою:

$$m = a \cdot b \cdot c \cdot \rho, \quad (4.19)$$

де a, b, c – розміри плати, см;

ρ – питома густина матеріалу, для FR-4 $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$.

$$m = 6 \cdot 5,3 \cdot 0,15 \cdot 1,7 = 8,1 \text{ г};$$

Основні параметри склотекстоліту FR-4:

- гранична пластичність $\sigma_T = 410 \text{ МПа}$;
- модуль Юнга $E = 3,02 \cdot 10^{10} \text{ Па}$;
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,20$;
- показник затухання $\varepsilon = 0,06$;
- питома густина $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$;
- питома щільність $\nu = 2,05 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$;
- коефіцієнт запасу міцності $n = 2$.

Спирання на 4 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)$$

Спирання на 3 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$$

Спирання на 3 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}}$$

Жорстке закріплення по 4 сторонам



$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$$

Рисунок 4.3 – Варіанти закріплення ДП

Обраний варіант закріплення – не жорстке спирання на 4 сторони.

Розрахуємо коефіцієнт K_B :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_e}{m_{\Pi}}}}, \quad (4.20)$$

де m_{Π} – маса плати, г; m_e – маса елементів, г.

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{29,041}{8,1}}} = 0,495;$$

Враховуючи обраний варіант закріплення плати, розрахуємо коефіцієнт

α :

$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right), \quad (4.21)$$

де a – довжина ДП, см; b – ширина ДП, см.

$$\alpha = 9,86 \cdot \left(1 + \frac{0,6^2}{0,495^2}\right) = 24,3;$$

Циліндрична жорсткість визначається за наступною формулою:

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}, \quad (4.22)$$

де E – модуль Юнга; δ – товщина плати, м; μ – коефіцієнт Пуассона.

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,2^2)} = 8,85 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Розрахуємо власну частоту коливань друкованої плати:

$$f = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot \delta}}, \quad (4.23)$$

де g – гравітаційна стала; δ – товщина плати, м.

$$f = \frac{0,495 \cdot 24,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,06^2} \cdot \sqrt{\frac{8,85 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,015}} = 306,18 \text{ Гц};$$

Так як розраховане значення перевищує 250 Гц, отже плата задовольняє всі умови по забезпеченню віброміцності, тому не потрібно застосовувати додаткових засобів по забезпеченню жорсткості кріплення.

Висновок до розділу 4

В даному розділі проведено конструкторські розрахунки, що підтверджують працездатність приладу та коректність прийнятих конструкторських рішень. Було виконано конструкторсько-технологічний розрахунок, електричний розрахунок друкованої плати, розрахунок основних показників надійності та віброміцності друкованого вузлу.

Конструкторсько-технологічний розрахунок підтвердив можливість застосування 4 класу точності друкованої плати, так як розраховні значення друкованого монтажу цілком відповідають цьому класу.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Отримані значення параметрів електричного розрахунку, а саме значення паразитної ємності ($C = 13,4$ пФ) та взаємної індуктивності ($M = 11,3$ пГн) паралельних провідників дозволяють стверджувати, що на працездатність приладу вони не впливають.

Розраховане значення надійності друкованого вузлу рівне приблизно 91 тис. годин. Дане значення цілком задовольняє вимоги технічного завдання. Високу надійність можна пояснити використанням елементної бази, яка забезпечує досить низьку інтенсивність відмов компонентів.

Частота власних коливань дорівнює приблизно 310 Гц. За розрахованим значенням віброміцності можна з впевненістю стверджувати, що друкований вузол є абсолютно жорстким.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

РОЗДІЛ 5. АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ ТА НАПИСАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Принцип роботи програмного забезпечення з датчиком детектування прольоту кулі

Згідно створеної схеми датчика детектування, головний блок обчислення інформації — мікроконтролер, отримуватиме при прольоті кулі від датчика сигнал у вигляді імпульсу, який матиме швидкий перехід від логічного нуля до логічної одиниці, а потім через певний час знову перехід до логічного нуля. Амплітудою сигналу в даному випадку буде напруга близька до 5 В. Візуальне представлення такого сигналу зображено на рис. 5.1.

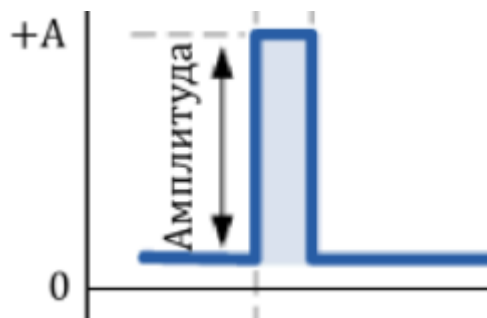


Рисунок 5.1 – Сигнал сповіщення про проліт кулі через датчик

Такий сигнал приходить після прольоту кулі з першого фототранзистора, який має сповіщати про початок відліку часу, а також після прольоту другого фототранзистора, який має сповіщати про кінець відліку часу. Тому варто визначитись, яким методом при написанні програмного забезпечення ми будемо рахувати час. Є три варіанти: рахунок часу в кодї програми по визначенню зміни рівня на вході порту, запуск рахунку в блоку головної програми по перериванню сигналу, захват таймера по перериванню сигналу.

Перший варіант запуску нам не підходить адже таким чином ми можемо навіть пропустити момент прольоту кулі, поки буде виконуватись інша частина програми. Говорити про точність в даному випадку навіть немає сенсу. Тому даний метод запуску таймеру нам не підходить.

Використовуючи другий варіант запуску з перериванням та рахунком часу у головній програмі, мікроконтролер зможе відразу спіймати момент переходу сигналу, але рахувати час доведеться при виконанні головної програми до тих пір, поки не спрацює переривання іншого каналу, яке сповістить про необхідність зупинити відлік часу. При такому обрахунку часу ми втрачатимемо точність обрахування часу, адже за рахунок того, що час рахуватиметься в головній програмі, в нас будуть виконуватись ще інші підпункти програми, на що будуть затрачатися додаткові такти і точно обрахувати їх, для відняття від кінцевого часу, є майже неможливо. Тому точність даного методу буде не найкраща, але його використання можливе для вирішення поставленої задачі. Головною перевагою даного методу запуску є простий алгоритм роботи, який легко відтворити у програмному забезпеченні. Тому прийнято застосувати його при створенні першого тестового прототипу пристрою на відлагоджувальній платі, з метою простого налаштування та тестування датчику детектування.

Третій варіант рахунку є метод захвату таймера по перериванню сигналу. Даний метод полягає в тому, що при зміні сигналу на певному виводі програма переходить до режиму в якому ми можемо зняти показання певного каналу таймера, зрахувавши їх з певного регістру (використавши DMA), скинути рахунок таймера. Так же само ми можемо зрахувати дані таймера і при надходженні сигналу про зупинку рахунку. Можемо бачити, що даний метод працює напряму з таймером, і виключає зайві моменти виконання програми, які можуть вплинути на точність вимірювань. Тому приймемо даний метод обрахування часу прольоту кулі між датчиками, як основний. Алгоритм даного методу наступний:

- По приходу переднього фронту імпульсу запуску рахунку, обнуляємо рахунковий регістр таймеру CNT;
- По приходу переднього фронту імпульсу зупинки рахунку, зчитати значення з регістру таймеру CR1;

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

- Перевести отримане значення з кількості тактів в час у секундах та розрахувати швидкість.

Частина реалізації цього алгоритму з використанням бібліотеки HAL наведено на рис. 5.2.

```

/* USER CODE for detecting time*/
void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    if (htim->Instance == TIM2)
    {
        if(htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_1)
        {
            timeFly = HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim2, TIM_CHANNEL_1);

            TIM2->CNT = 0;
        }
    }
}

```

Рисунок 5.2 – Частина коду визначення часу польоту кулі з використанням функції захвату таймера

При такому методі визначення часу польоту кулі, точність вимірювання залежатиме тільки від тактової частоти роботи мікроконтролера та налаштувань таймеру мікроконтролера.

5.2 Алгоритм роботи з Oled дисплеєм та датчиком тиску по I2C інтерфейсу

Інтерфейс I2C складається з двох шин: шини тактового сигналу SCL та шини передачі даних SDA [19]. Шина SCL слугує для передачі тактового сигналу, який фактично є сигналом синхронізації. По ньому пристрої орієнтуються для сприйняття даних по шині даних. Лінія передачі даних має розрядність 8 біт. Початковим станом лінії даних вважається логічна одиниця. Для початку передачі даних потрібно лінію даних перевести в низький рівень, коли на лінії синхронізації виставлено високий рівень. Потім відправляється по даній лінії адреса пристрою, з яким потрібно налаштувати зв'язок. Кожен пристрій має свою власну адресу. Наступним кроком відправляється біт, який вказує на напрямок операції: зчитування чи запис даних. Потім надсилається адреса за якою необхідно записати інформацію,

якщо обрана функція зчитування. Якщо ж обрана функція запису, то відправляються дані у 8-ми бітному форматі. Завершальним етапом слугує переведення лінії даних у високий стан, коли лінія синхронізації знаходиться в низькому стані.

При використанні даного метода передачі даних для зв'язку з OLED дисплеєм буде використовуватись наступна структура сигналів, яка взята з документації на даний дисплей, і зображена на рис. 5.3.

Figure 6: I2C Protocol

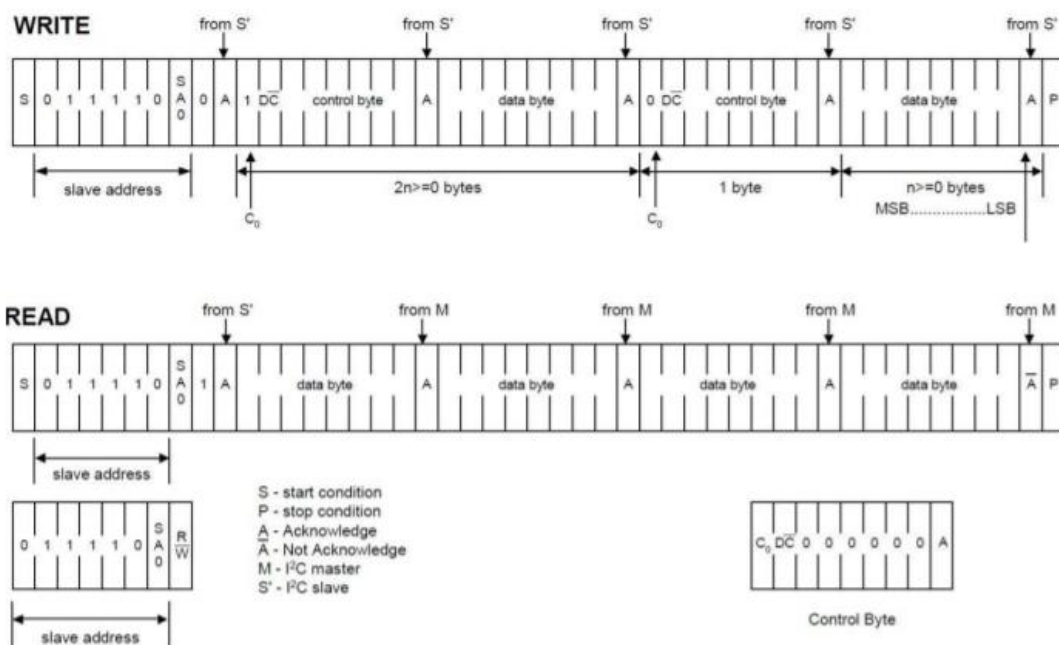


Рисунок 5.3 – Структура сигналу зв'язку з Oled дисплеєм

Як бачимо для зчитування інформації, восьмий біт адреси пристрою необхідно виставити в одиницю, а для запису — в нуль. Передача даних з датчику атмосферного тиску ВМЕ280 передається до головного блоку схожим чином і структуру передачі зображено на рис. 5.4.

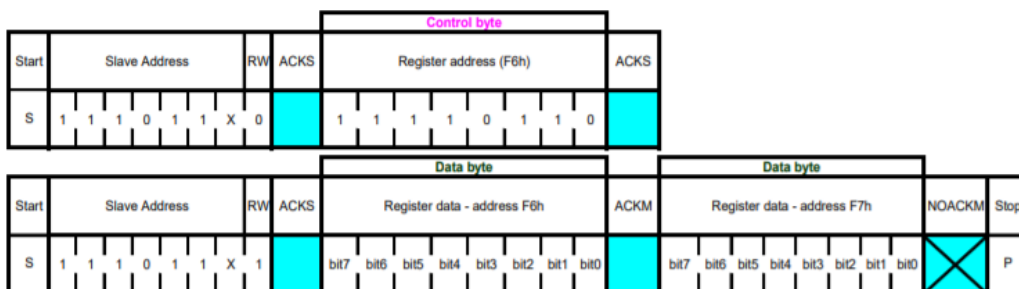


Рисунок 5.4 – Структура сигналу зв'язку з датчиком тиску

Функцію зчитування даних з датчику за вказаною адресою, з використанням бібліотеки HAL, наведено на рис. 5.5.

```
//-----  
static uint8_t I2Cx_ReadData(uint16_t Addr, uint8_t Reg)  
{  
    HAL_StatusTypeDef status = HAL_OK;  
    uint8_t value = 0;  
    status = HAL_I2C_Mem_Read(&hi2c1, Addr, Reg, I2C_MEMADD_SIZE_8BIT, &value, 1, 0x10000);  
    if(status != HAL_OK) Error();  
    return value;  
}  
//-----
```

Рисунок 5.5 – Функція зчитування даних з датчику тиску

Дана функція приймає значення адреси зчитування і записує зчитані дані за вказівником на змінну «value».

5.3 Алгоритм роботи головного блоку обробки даних

На рис. 5.6 зображено блок-схему алгоритму роботи головного блоку обчислення інформації, на основі якої буде створено програмне забезпечення для мікроконтролера. Згідно даної схеми, мікроконтролер повинен при спрацюванні переривання по детектуванні прольоту кулі, захоплювати системний таймер та обраховувати час прольоту кулі через датчик, та на основі даного часу обраховувати швидкість, приймати дані кліматичних параметрів навколишнього середовища, обробляти їх, для можливості виведення на екран, перевіряти стан панелі керування і переходити у відповідні режими при натисканні на клавіші, виконувати передачу інформації до дисплею, для виведення її для користувача пристрою вимірювання початкової швидкості польоту кулі.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

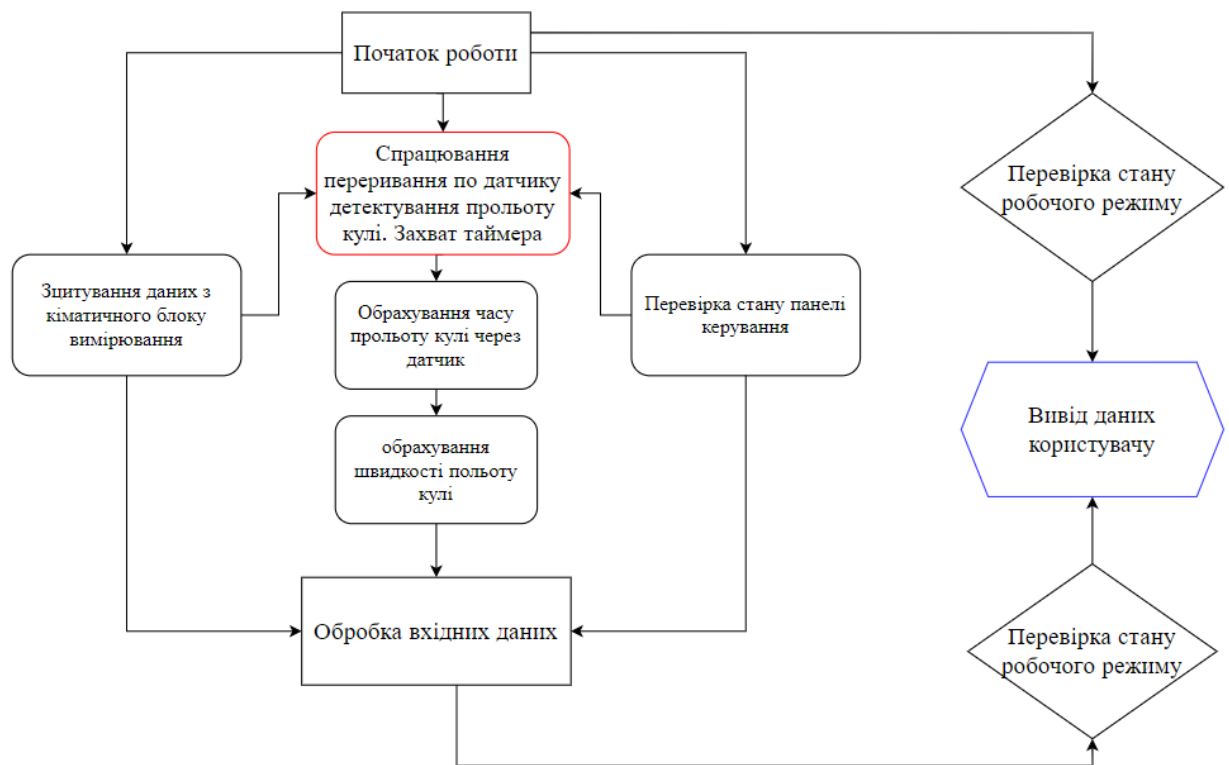


Рисунок 5.6 – Блок схема алгоритму роботи головного модулю системи

Висновок до розділу 5

В даному розділі розглянуто можливі принципи роботи мікроконтролера з датчиком детектування прольоту кулі. На основі аналізу трьох основних алгоритмів обрахування часу прольоту кулі через датчик, обрано метод захвату таймера, який є найкращим серед запропонованих, і при цьому дасть можливість вимірювати швидкість польоту кулі з найбільшою точністю.

Розглянуто принцип роботи інтерфейсу обміну даними I2C, який застосовується мікроконтролером для передачі даних до дисплею та отримання інформації від датчику тиску. Наведено структури сигналів даної шини зв'язку для з'єднання з дисплеєм та датчиком тиску. Наведено приклади програмного забезпечення з використанням лінії I2C та методом захвату таймера.

Створено головну блок-схему алгоритму роботи програмного забезпечення.

РОЗДІЛ 6. СТВОРЕННЯ РОБОЧОГО ПРОТОТИПУ ПРИСТРОЮ

6.1 Виготовлення датчика детектування прольоту кулі

Враховуючи обраний і описаний, у вище представлених розділах, метод детектування прольоту кулі, можна стверджувати, що для виготовлення даного датчику нам знадобиться корпус, який буде слугувати для закріплення фототранзисторів та інфрачервоних світлодіодів, а також захищатиме їх від впливу зовнішніх факторів(сонячне проміння, частки пилу і т.п.). Для цього прийнято обрати надруковану на 3D принтері трубку, заздалегідь із спроектованими посадковими отворами для фототранзисторів та світлодіодів. Фото виготовленого датчика можна побачити на рис. 6.1.

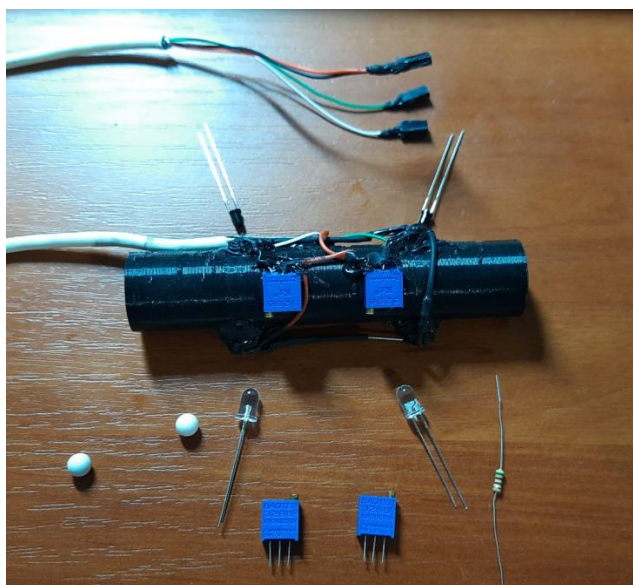


Рисунок 6.1 – Фото виготовленого датчика детектування прольоту кулі

Так як це тестовий зразок датчику для відлагодження програмного забезпечення, то відстань між посадковими місцями встановили рівною 50мм, спираючись на те, що ця відстань повинна дозволити упевнено влучати при пострілі в зону фіксування обох фототранзисторів і водночас повинна бути достатньою для фіксації проміжку часу польоту страйкбольної кульки. Підстроювальні резистори вирішено розмістити на корпусі трубки, тому що таке компонування дозволяє зручно налаштовувати чутливість.

Даний датчик є окремою частиною пристрою і може бути від'єднаний від основної плати. До плати він приєднується за допомогою чотирьох провідників. Це провідник землі, провідник живлення та два сигнальних провідники, по яких мікроконтролер і буде визначати моменти часу прольоту кулі. За рахунок того, що датчик можна від'єднати від основної плати, то відповідно до плати можна під'єднувати датчики інших видів, головне щоб сигнал спрацювання прольоту кулі в них теж був у вигляді переходу з логічного «0» в логічну «1».

Також створено датчик детектування, який працює за схемою детектування з використанням компаратора. Даний датчик зображено на рис. 6.2.

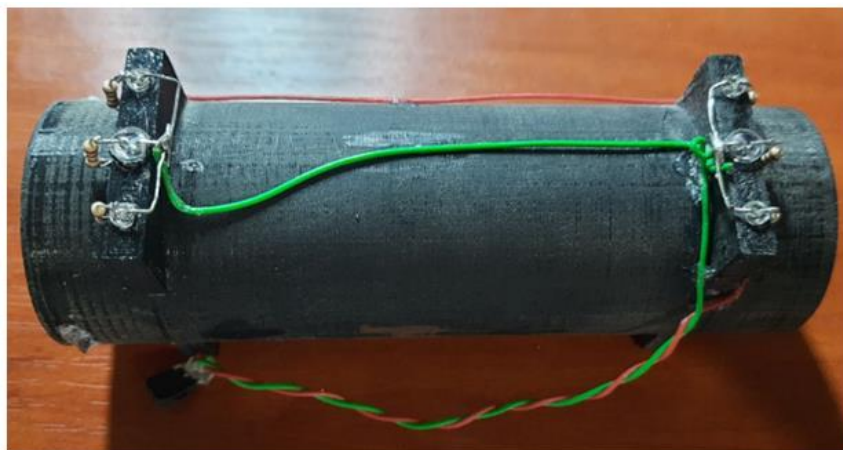


Рисунок 6.2 – Фото виготовленого датчика детектування прольоту кулі для схеми з компаратором

Можемо бачити, що площа детектування в даного датчика є набагато більша ніж у попереднього.

6.2 Створення макету пристрою на відлагоджувальній платі

Перший макет пристрою, з метою перевірки виготовленого датчику та підтвердження запропонованого методу детектування прольоту кулі, вирішено створити на відлагоджувальній платі StarterKit від Global Logic з використанням мікроконтролера STM32F407, який є взаємозамінний з обраним у другому розділі мікроконтролером. Для виводу інформації

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

застосовано LCD екран, в якості панелі керування використано вже розміщені на плату тактові клавіші. Зовнішній вигляд плати зображено на рис. 6.3.



Рисунок 6.3 – Плата StarterKit від Global Logic

Для підтвердження дієздатності макетного пристрою, проведено тестування з використанням страйкбольного привода, який є тренувальною зброєю з низькою швидкістю польоту кулі. Даний привод зображено на рис.6.4.



Рисунок 6.4 – Страйкбольний привод та тестовий датчик

В результаті контрольного відстрілу страйкбольного привода, отримано результати швидкості та енергії польоту кулі масою в 0,2 г

випущеної зі страйкбольного привода. Отримані дані, виведені на LCD дисплей, який зображено на рис. 6.5.



Рисунок 6.5 – Отримані результати тестування

Отже в результаті створення тестового макету пристрою вимірювання початкової швидкості польоту кулі та проведення тестування, підтверджено дієздатність запропонованого методу детектування прольоту кулі та алгоритму роботи програмного забезпечення.

6.3 Створення тестової версії повноцінного пристрою

Спираючись на дієздатність створеного макету пристрою, прийнято рішення про створення першої версії тестової друкованої плати пристрою з метою перевірки удосконаленого методу детектування з використанням компаратора. Розміщення площин фототранзисторів на даній платі виконано на відстані 100 мм одна від одної. Фототранзистори в одній площині розміщені на відстані 15 мм. Така відстань обрана спираючись на кут роботи фототранзистора, який складає 60 градусів, і при такому розміщенні ми матимемо максимальну площу чутливості. Інфрачервоні світлодіоди розміщені окремо від плати, а живлення до них надходить за допомогою штиркового роз'єму. Потенціометри, для налаштування чутливості розташовані прямо на платі. Дана версія плати не має блоку вимірювання кліматичних параметрів навколишнього середовища, бо створювалась з

метою перевірки методу детектування. Виготовлену плату зображено на рис. 6.6.

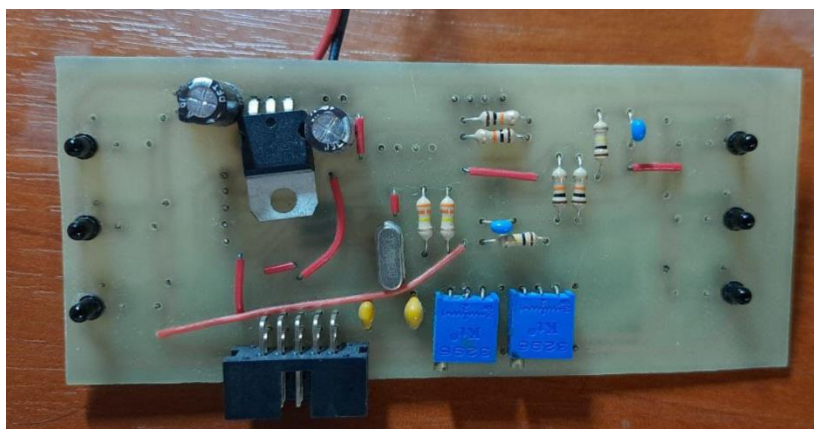


Рисунок 6.6 – Створена перша версія друкованої плати пристрою

Трубку датчика та корпус пристрою спершу створено у вигляді моделей. Наступним кроком було надруковано дані моделі на 3D принтері. Пристрій виготовлено з можливістю швидкого розбору та від'єднання всіх додаткових блоків, що дає можливість зручного відлагодження. Плату, закріплену на корпусі датчика, зображено на рис. 6.7.



Рисунок 6.7 – Плата закріплена на корпусі датчика

Для даної плати створено програмне забезпечення, після чого виконано перші тестування пристрою. Спершу було налаштовано чутливість, а згодом проведено перші випробування на більш потужному страйкбольному приводі. Готовий пристрій зображено на рис. 6.8.



Рисунок 6.8 – Зовнішній вигляд працюючого пристрою

Можемо бачити, що перша версія пристрою успішно виготовлена та налагоджена. На основі цих результатів можна сказати, що можливо переходити до більш професійного виготовлення пристрою для вимірювання початкової швидкості польоту кулі з метою використання за призначенням.

Висновок до розділу 6

В даному розділі розглянуто послідовність створення датчика детектування прольоту кулі. Розглянуто перший макет пристрою на основі відлагоджувальної плати. Здійснено перші випробування макету, які показали позитивний результат тестування.

Виготовлено першу друковану плату пристрою, на основі якої створено та випробувано першу версію приладу зі збільшеною площиною датчика детектування прольоту кулі. Здійснено перші випробування готового приладу, що підтвердило його дієздатність.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті розроблено пристрій для вимірювання початкової швидкості польоту кулі згідно до вимог, поставлених у технічному завданні. За результатом аналізу методів і засобів вимірювання швидкості руху малорозмірних об'єктів, та патентного пошуку методів детектування прольоту кулі запропоновано принцип роботи пристрою, заснований на фотоелектричному методі вимірювання швидкості польоту кулі. Для реалізації цього методу розроблено оригінальний датчик.

У першому розділі здійснено огляд існуючих аналогів пристрою вимірювання швидкості польоту кулі та патентний пошук методів детектування прольоту кулі. В результаті даного пошуку, знайдено два патенти на магнітоіндукційний та лазерний методи детектування. В результаті аналізу даних методів, виявлено, що вони мають негативні сторони своєї конструкції, а саме складність реалізації, надто точні вимоги до налаштування при виробництві та не повна універсальність до застосування. Тому спираючись на отримані дані, запропоновано застосувати у проєктованому пристрої фотоелектронний метод детектування прольоту кулі, який базується на утворенні оптопари, з використанням фототранзистора та інфрачервоного світлодіода, закріплених в корпусі та захищених від сонячного впливу.

У другому розділі запропоновано структурну електронну схему пристрою, на основі якої створювалася схема електрична принципова. Детально розглянуто дві схеми детектування прольоту кулі на основі фотоелектронного методу — спрощену та зі збільшеною площиною детектування. Розглянуто принципи вимірювання швидкості та енергії кулі, швидкострільності зброї та кліматичних параметрів. Виконано вибір засобу виведення інформації, за результатом якого обрано Oled дисплей. Здійснено вибір елементної бази ключових блоків пристрою. Результатом

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	<i>Арк.</i> 85
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

схемотехнічного проектування стала схема електрична принципова ДК72.464512.001 ЕЗ.

У третьому розділі представлено розробку друкованої плати пристрою. Для виготовлення друкованої плати обрано склотекстоліт FR4. Оскільки основна частина компонентів друкованої плати використовується в SMD корпусах, то прийнято обрати 4-й клас точності. Так як плата повинна мати розмір не менше 100 мм, за умовою розташування фототразисторів, тому щільність компонентів буде дуже малою. Як наслідок, прийнято рішення використовувати двохшарову друковану плату. Результатом розробки друкованого вузлу стали креслення друкованої плати ДК72.758724.001 та складальне креслення ДК72.750706.001СК.

У четвертому розділі проведено конструкторські розрахунки, які підтвердили обраний клас точності. На основі електричного розрахунку можна зробити висновок, що паразитні індуктивність та ємність не впливають на дієздатність плати. Розрахунок надійності підтвердив виконання поставленої в технічному завданні вимоги до напрацювання пристрою на відмову.

В п'ятому розділі наведено блок-схему алгоритму роботи програмного забезпечення. Розглянуто принцип роботи з датчиком детектування та лінією передачі даних I2C.

В шостому розділі описано результати виготовлення датчику детектування прольоту кулі. Описано створений макет пристрою на відлагоджувальній платі та з виготовленою друкованою платою. Здійснено тестування пристрою, на основі якого зроблено висновок про дієздатність та коректність вимірювання початкової швидкості кулі.

Основні наукові положення роботи впроваджено у навчальну програму кафедри КЕОА факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Вимоги технічного завдання до пристрою, що розроблявся, виконані у повному обсязі.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Хронограф – аналогічний пристрій/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://radiokot.ru/circuit/digital/measure/53/>
2. Патент на індукційний тип детектування/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/RU2089917C1/ru>
3. Патент на лазерний тип детектування/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/RU2610905C2/ru>
4. Швидкість руху/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/...>
5. Кінетична енергія/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/...>
6. Швидкострільність/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/...>
7. Фототранзистор ВРТ-ВР2931 Datasheet/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://imrad.com.ua/ru/bpt-bp2931>
8. Балістика пострілу/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kaznu.kz/Content/...>
9. Швидкість кулі і температура/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/...>
10. Термопара/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/...>
11. AD8495 Datasheet/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/391367/AD/AD8495.html>
12. АЦП/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/...>
13. STM32F405VG Datasheet/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f405vg.html>

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

14. Акумулятор Li-Po Вікіпедія/[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/...>
15. FR-4 PCB Material. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2TxVhbu>.
16. What is the difference between positive and negative PCB? [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2WVx2Gd>.
17. Н.Ю. Иванова, Е.Б. Романова. Парфенов. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ: Учебное пособие для высших учебных заведений – М.: Радио и связь, 2013 – 5с.
18. Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачев. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ: Учебное пособие для высших учебных заведений – М.: Радио и связь, 1989 – 272с.
19. I2C Info – I2C Bus, Interface and Protocol. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/3cpSsj8>.
20. Конференція «Погляд у майбутнє приладобудування». [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://psnk.kpi.ua/...>
21. Конференція «Радіоелектроніка в 21 столітті». [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://rtf.kpi.ua/...>

ГОСТ 12.2.007-75 Система стандартов безопасности труда. ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ. Общие требования безопасности.

ГОСТ 15150-69 МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 23751-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ.

					<i>ДК72.466451.001ПЗ</i>	Арк.
Эмн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		88

ДОДАТОК А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та галузь використання

Пристрій для вимірювання початкової швидкості польоту кулі. Може використовуватись спортсменами для підготування зброї до високоточної стрільби, при проведенні балістичних експертиз, військовими та звичайними власниками зброї, для налаштування зброї.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» №.1316-с від 24.05.2021 р.

3. Мета і призначення розробки

Розробка універсального пристрою, для вимірювання початкової швидкості польоту кулі.

4. Технічні вимоги

4.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій складається з блоку обробки даних, блоку детектування польоту кулі, блоку вимірювання кліматичних параметрів навколишнього середовища та блоку автономного джерела живлення, який являє собою друкований вузол з роз'ємами для підключення: додаткового датчика детектування польоту кулі, панелі керування, дисплею.

4.2. Показники призначення

Пристрій повинен забезпечувати точне вимірювання швидкості польоту кулі, енергію кулі, надавати параметри про стан навколишнього середовища.

4.3. Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову не менше 35000 годин.

4.4. Вимоги до технологічності

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

4.5. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації

Для виготовлення системи передбачається застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

4.6. Вимоги безпеки обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

4.7. Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних і експлуатаційних матеріалів

Для виробництва використовувати матеріали імпортного виробництва, або їх аналоги вітчизняного виробництва.

4.8. Умови експлуатації

Кліматичне виконання УХЛ 4.1 по ГОСТ 15150-69.

4.9. Вимоги до транспортування і зберігання

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в опалювальних та вентильованих складах, сховищах з кондиціонуванням повітря, розташованих в будь-яких макрокліматичних районах, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40С, відносна вологість повітря 60% при 20С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106кПа.

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

5. Результати роботи

Результати даної роботи можуть бути використані, як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво.

Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

6. Робота повинна містити в собі документи

- пояснювальну записку (формату А4, до 90 аркушів);

- схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно) ;
- Схема електрична структурна пристрою (формату А1);
- складальне креслення плати та специфікацію (формату А2, А4 відповідно);
- креслення друкованої плати (формату А1);
- додатки (формату А4).

7. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах.

У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

8. Економічні показники

В умовах даного проекту не розглядаються.

9. Етапи розробки

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту
1	Аналіз технічного завдання	05.03.21-10.03.21
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	11.03.21-16.03.21
3	Схемотехнічне проектування	17.03.21-05.04.21
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	06.04.21-11.04.21
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	12.04.21-21.04.21
6	Електричний розрахунок друкованої плати	22.04.21-02.05.21
7	Розрахунок віброміцності друкованої плати	03.05.21-13.05.21
8	Проектування у Altium Designer	14.05.21-18.05.21
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	19.05.21-29.05.21
10	Оформлення пояснювальної записки	30.05.21-08.06.21

ДОДАТОК Г
Участь в конференціях

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА В ХХІ СТОЛІТТІ

Матеріали ІV Всеукраїнської науково-технічної конференції
студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в ХХІ столітті»
25 – 26 травня 2021
Київ, Україна

Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті», Київ, 25 – 26 травня 2021 р.: матеріали конференції — Київ, 2021. — 96 с.

Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті» містять результати наукових досліджень студентської молоді та науковців в галузі проблем створення теоретичних засад сучасної радіотехніки та радіоапаратобудування; практичної реалізації досягнень науки та технології; інтелектуалізації процесів проектування та виробництва.

Програмний комітет конференції

Антипенко Р.В., доцент, к.т.н.
Дубровка Ф. Ф., д.т.н., професор
Жук С.Я., д.т.н., професор
Нелін Є. А., д.т.н., професор
Мовчанюк А.В., к.т.н., доцент
Мартинюк С. Є., к.т.н., доцент

Організаційний комітет конференції

Головня В. М., ст. викл.
Захарченко О.С., ст. викл.
Лащевська Н.О, к.т.н., доц.
Булашенко А.В., ст. викл.
Нікітчук А.В., асистент
Шпилька О.О., доцент, к.т.н.
Григораш С.О., асистент
Сушко І.В., к.т.н., доц.
Адаменко В.О., ст. викл.

Адреса оргкомітету: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2100, радіотехнічний факультет, корп. 17, кім. 310, пр-т Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. Тел. (+38097) 291-26-15.

Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції та вченої ради радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 05/2021 від 31.05.2021 р.)

IV ВНТК Радіоелектроніка у XXI столітті

ЗМІСТ

Алімов Р. Г. (наук. керівн. Сукачов Е.О.) ДИНАМІКА ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ ПІД ЧАС РУХУ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ У СТІЛЬНИКОВІЙ МЕРЕЖІ	5
Бендак В. Р. (наук. керівн. Омеляненко М. Ю.) ГЕТЕРОДИН ТРАНСІВЕРА 8-ММ ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ З НИЗЬКИМ РІВНЕМ ФАЗОВОГО ШУМУ.	7
Быков Р. Г. (научн. руков. Сукачев Э. А.) МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА УСЕЧЕННЫХ СЕЛЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ.	10
Биковський О. В. (наук. керівн. Пільтай С. І.) ХВИЛЕВІДНИЙ ФАЗОЗСУВНИЙ ПРИСТРІЙ ІЗ ТРЬОМА ДІАФРАГМАМИ У ДІАПАЗОНІ 5.0-8.0 ГГц	13
Білуха В. С. (наук. керівн. Адаменко В. О.) ПРОЕКТУВАННЯ ПІДСИЛЮВАЧА ТА ФІЛЬТРУ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ РАДІОСИСТЕМИ.	16
Бруско А. В. (наук. керівн. Мирончук О. Ю., Шпилька О. О.) ІНТЕРАКТИВНИЙ ЛОГОТИП.	19
Волинєць О. В. (наук. керівн. Булашенко А. В.) ХВИЛЕВІДНИЙ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ІЗ ДВОМА ЧЕТИРЬМА КІД ДІАПАЗОНУ	21
Волинюк Н. А. (наук. керівн. Антонюк О. І.) ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ МЕТОД ДЕТЕКТУВАННЯ ПРОЛЬОТУ КУЛІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ПРИСТРОЯХ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗБРОЇ.	24
Глушеченко Е. М. МІКРОСМУЖКОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ НВЧ ПРИСТРОЇ З КІЛЬЦЕВИМИ РЕЗОНАТОРАМИ БІГУЧОЇ ХВИЛІ.	26
Гнатюк Д. О. (наук. керівн. Чмельов В. О.) АДАПТИВНА ЦИФРОВА СИСТЕМА СЕЛЕКЦІЇ РУХОМИХ ЦІЛЕЙ	29
Головня В. М (наук. керівн. Зіньковський Ю. Ф.) БЛОК КОДУВАННЯ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ФОРМЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРОВІ	31
Головня М. В., Пшегалінський Р. В. ФОРМУВАННЯ ШКАЛИ КИЇВСЬКОГО ЧАСУ НА ВТОРИННОМУ ЕТАЛОНІ ОДИНИЦЬ ЧАСУ І ЧАСТОТИ ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»	33
Дідковський Т. М. (наук. керівн. Богомолов М.Ф.) ЛАЗЕРНІ АНАЛІЗАТОРИ ПАРАМЕТРІВ КРОВІ ЛЮДИНИ.	35
Добривечор В. В. (наук. керівн. Булашенко А. В.) ХВИЛЕВІДНИЙ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ІЗ ТРЬОМА ДІАФРАГМАМИ Х-ДІАПАЗОНУ.	38

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ МЕТОД ДЕТЕКТУВАННЯ ПРОЛЬОТУ КУЛІ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ПРИСТРОЯХ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗБРОЇ

Волинко Н. А.

(Науковий керівник Антонюк О. І., старший викладач)

Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Факультет електроніки

В сучасному світі нам доводиться дуже часто стикатись з військовою підготовкою людей. Одним з основних етапів підготовки є вправи зі зброєю. Спочатку найчастіше використовують для тренувань страйкбольну або пневматичну зброю. А вже потім переходять безпосередньо до вогнепальної зброї. Щоб бути впевненим у правильності налаштувань і коректності роботи зброї, є етап перевірки різних фізичних параметрів зброї. Для цього використовують прилади, які детектують пролітання кулі на певній фіксованій відстані та визначають її швидкість, енергію і т.д.

Перш за все для створення такого пристрою необхідно визначитись з методом детектування прольоту кулі. Найкращим для цього методом є принцип датчику руху, в якому використовується фототранзистор та інфрачервоний світлодіод. Розглянемо схему роботи даного методу (рис. 1).

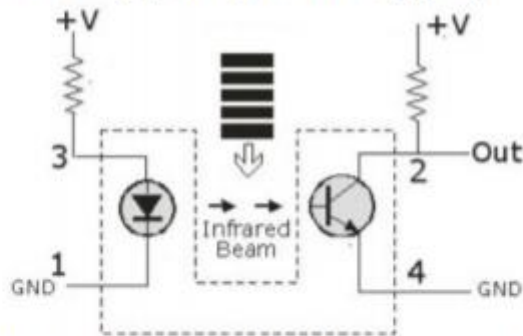


Рис. 1 – Візуальна схема роботи датчика прольоту кулі

Даний метод і буде застосовано при створенні датчика прольоту кулі. Для того, що цей датчик можливо було налаштувати перед використанням, то необхідно встановити перед фототранзистором змінний резистор (на рис.1 зображено постійний) і з виводу який приходить на ніжку фототранзистора буде зніматися сигнал. Перед використанням цього датчика, опір змінного резистора потрібно виставити так, щоб на сигнальному виході у нас була напруга логічного «0». Тобто фототранзистор і змінний резистор будуть працювати як подільник напруги. Коли куля буде пролітати, то вона перекриє інфрачервоний промінь, і опір фототранзистора різко зросте. На сигнальному

виводі з'явиться напруга логічної «1».

Таких датчиків повинно бути два, адже необхідно відслідкувати моменти прольоту кулі певної постійної відстані. Щоб фототранзистори були на максимальній чутливості і не ловили навколишнє освітлення, прийнято рішення помістити їх в закритий корпус.

Визначившись зі структурною схемою детектування прольоту кулі, можемо створити схему електричну принципову (рис.2). Блок датчика прольоту кулі складається з двох частин. До першої частини належать інфрачервоні світлодіоди (HL1 і HL2), які слугують для створення променя світла, який повинен передаватися до фототранзисторів. Також до цього блоку належить струмообмежувальний резистор. Друга частина складається з двох фототранзисторів (VT1 і VT2) та змінних резисторів (R11, R12), які разом створюють два подільника напруги з можливістю налаштування вихідного рівня сигналу при повному засвіченні фототранзистора. Таким чином ми регулюємо чутливість нашого датчика.

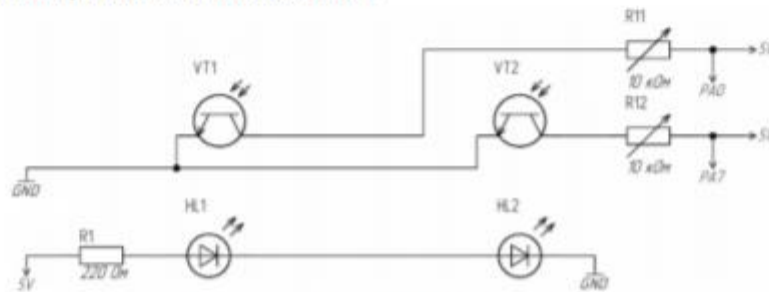


Рис. 2 – Схема датчика прольоту кулі

Отже, такий оптоелектронний метод детектування прольоту кулі можна застосовувати для вимірювання швидкості польоту кулі, адже ми маємо на виході блоку детектування інформацію про моменти часу прольоту кулі крізь датчики, а тому для визначення швидкості залишається обчислювальному блоку інформації тільки засікти час прольоту кулі між цими датчиками та виконати математичні обрахунки для знаходження швидкості. А знаючи масу кулі, можна з легкістю знайти кінетичну енергію кулі. Також використовуючи відліки часу і один з датчиків блоку детектування, можна визначити швидкострільність зброї, з якою проводиться вимірювання.

Література

1. Самохвалов М. К., Элементы и устройства оптоэлектроники: учебное пособие для студентов обучающихся по направлениям 654300 и 551100 "Проектирование и технология электронных средств". — Ульяновск: УлГТУ, 2003. — 125 с.
2. Хронограф – пристрій вимірювання швидкості польоту кулі. URL: <https://radiokot.ru/circuit/digital/measure/53/> (дата звернення: 12.05.2021).
3. Початкова швидкість польоту кулі. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Начальная_скорость_пули (дата звернення: 12.05.2021).



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та
молодих вчених*

"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

18-19 травня 2021 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2021

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 86 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з фаху «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Адреса Оргкомітету конференції:
03056, Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №5/21 від 31.05.2021 р.).

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.
В авторській редакції.

Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 18-19 травня 2021р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 339 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

<i>Д.О. Феоклістов, студент гр. ПГ-01м</i> МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЙ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ГІРОСКОПІВ	69
<i>А.В. Хворостян, В.І. Савенко, Е.М. Яковенко, студенти гр. ПГ-091, к.т.н., доц. Замарський О.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЯК ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ	72
<i>Шелемеха В.В., студент гр. ПГ-71, к.т.н., доц. Цибульник С.О.</i> ОГЛЯД КОЛЬОРОВИХ ШУМІВ	76
<i>В.А. Яковенко, студент гр. ПГ-71</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА MEMS-ГІРОСКОПУ RR- ТИПУ У РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ	79

СЕКЦІЯ 2. ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

<i>М.С. Білик, студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Кучеренко О.К.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ БАЗУВАННЯ СІТКИ У НАПІВАКТИВНІЙ СИСТЕМІ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ	86
<i>Васильчук Є.О., студент гр. ПО-71, д.т.н., проф. Михатенко В.І.</i> ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОЛЯРИЗАТОРІВ ДЛЯ УФ-, ВИДИМОГО ТА ІЧ- ДІАПАЗОНІВ	90
<i>Н.А. Волинка, студент гр. ДК-72, ст. викл. Антонюк О.І.</i> ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ КУЛІ	93
<i>М. І. Доцик, студент гр. ПО-01м, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.</i> АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОСМУГОВИХ ПОЛЯРИЗАТОРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	97
<i>Ізатов Р.А., студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОБ'ЄКТИВА ДЛЯ ТЕПЛОВІЗОРА	101
<i>Ісаєв В.В., студент гр. ПО-71, к.т.н., доцент Кучеренко О.К.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРА В НАПІВАВТОМАТИЧНІЙ ЛАЗЕРНО-ПРОМЕНЕВІЙ СИСТЕМІ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ	104
<i>Д.В. Корнев, студент гр. ПО-71</i> ІНФРАЧЕРВОНИЙ ВІДЕОПОЛЯРИМЕТР	108
<i>А.І. Крижній, студент гр. ПО-71</i> ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СПОВІЩУВАЧІ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ	111
<i>Ларін О.Є., студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Сокурєнко В.М.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ОКУЛЯРА З ВІДДАЛЕНОЮ ЗІНИЦЕЮ	114
<i>Личник К.В., студентка гр. ПО-71, д.т.н., проф. Чиж І.Г.</i> ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ ДАЛЕКОМІР НИТЯНОГО ТИПУ	118
<i>Проскурін В.С., студент гр. ПО-71, д.т.н., доц. Сокурєнко В.М.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИЛАДУ	

УДК 681.2

Н.А. Волико, студент гр. ДК-72,ст. викл. Антонюк О.І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ КУЛІ

Анотація. У роботі розроблено структурну схему, що містить в собі всі необхідні блоки для функціонування пристрою вимірювання швидкості польоту кулі: датчик польоту кулі, блок керування пристроєм, блок для індикації результатів, стабілізатори напруги, блок датчика температури і підсилення сигналу про нереальну температуру. Створено макет пристрою на основі «STM32F4Discovery», роботу якого протестовано в усіх режимах роботи та з різними параметрами налаштувань за допомогою страйкбольного привода.

Ключові слова: хронограф, датчик польоту кулі, швидкість та енергія кулі, цифрова обробка сигналів.

ВСТУП

В сучасному світі нам доводиться дуже часто стикатись з військовою підготовкою людей. Одним з основних етапів підготовки є вправи зі зброєю. Спочатку найчастіше використовують для тренувань страйкбольну або пневматичну зброю. А вже потім переходять безпосередньо до вогнепальної зброї. Щоб бути впевненим у правильності налаштувань і коректності роботи зброї, є етап перевірки швидкості кулі. Для цього використовують прилади для вимірювання швидкості кулі – хронографи.

Мета даної роботи є обрання принципу функціонування пристрою шляхом дослідження наукових основ вимірювання швидкості кулі і розробка блоку аналізу та обчислень для хронографа, що складався б із мінімальної кількості функціональних вузлів, потребував мінімальну кількість налаштувань і міг надати коректну інформацію про швидкість кулі, її енергію, за необхідності - параметр швидкострільності зброї, з якої була випущена куля, а також температуру навколишнього середовища, яка має вплив на зміну швидкості польоту кулі.

ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Принципова структурна схема за якою працює пристрій, наведена на рис.1.



Рисунок 1. Структурна схема пристрою

Пристрій можна умовно поділити на 5 функціональних блоків. Перший блок відповідає за надання інформації про моменти часу, коли куля пролітає повз датчики, які закріплені на певній відстані один від одного. Другий блок приймає команди від користувача, у вигляді натискань на кнопки, і передає їх у вигляді сигналів мікроконтролеру. До третього блоку віднесено датчик температури (ДТ) та підсилювач сигналу ДТ. Фактично ця частина структурної схеми

відповідає за надання інформації про температуру навколишнього середовища, яка впливає на швидкість кулі. До четвертого блоку належить мікроконтролер (МК). Він обробляє отриману інформацію від інших блоків, робить необхідні обрахунки і передає результати до блоку відображення даних. П'ятий блок - це блок відображення даних. До нього належить символічний LCD дисплей, який відображає для користувача результати вимірювань і розрахунку параметрів - саме тих параметрів польоту кулі (швидкість, енергія) та в цілому стрільби (швидкострільність), які користувач має попередньо обрати з меню налаштувань.

ВИБІР МЕТОДА ДЕТЕКТУВАННЯ ПОЛЬОТУ КУЛІ

Найпростішим методом визначення швидкості пересування будь-якого предмета є ділення відстані, яку подолав предмет, на час, за який він подолав цю відстань. Цей метод є доволі примітивний і простий водночас, але людство на цей час ще не придумало нічого кращого. Тому прийнято використовувати даний метод при створенні хронографа.

Отже ми вже знаємо, що нам потрібна фіксована відстань, яку ми в майбутньому використаємо для вирахування швидкості. І водночас нам потрібно отримати інформацію про час, за який куля долатиме цю відстань. Тому зрозуміло, що нам потрібен якийсь датчик який даватиме нам інформацію, про початок та кінець прольоту цієї відстані. Якби знати, що користувач використовуватиме тільки металеві кулі, то найкраще було б застосувати індуктивний датчик. Але варто пам'ятати, що є травматична зброя, в якій використовуються гумові кулі, та страйкбольна тренувальна зброя, в якій застосовуються пластикові кульки. Тому нам потрібно фіксувати ці моменти часу якимось візуальним методом, незалежно від матеріалу кулі. Найкращим рішенням є принцип датчику руху, в якому використовується фототранзистор та інфрачервоний світлодіод. Цей метод зображено на рис.2.

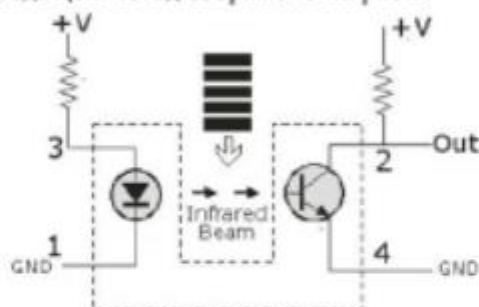


Рисунок 2. Візуальне представлення датчика прольоту кулі

Його і буде застосовано при створенні датчика прольоту кулі. Для того, щоб цей датчик можливо було налаштувати перед використанням, необхідно встановити перед фототранзистором змінний резистор(на рис.2 зображено постійний), і з цього виводу фототранзистора буде зніматися сигнал. Перед використанням цього датчика, опір змінного резистора потрібно виставити так, щоб на сигнальному виході у нас була напруга логічного «0». Тобто

ДОДАТОК Д
Акт впровадження

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
декан факультету електроніки
КНУ ім. Ігоря Сікорського
В.Я. Жуйков
«24» січня 2024 р.

А К Т

про використання результатів наукових досліджень студента групи ДК-72
кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури (КЕОА)
факультету електроніки КНУ ім. Ігоря Сікорського
Волико Назара Анатолійовича
на тему **«Пристрій для вимірювання швидкості польоту кулі»**
в навчальному процесі

Даний акт складено про те, що результати наукових досліджень на тему **«Пристрій для вимірювання швидкості польоту кулі»** студента групи ДК-72 кафедри КЕОА факультету електроніки КНУ ім. Ігоря Сікорського **Волико Назара Анатолійовича** (схемотехнічні та програмні рішення) використані при викладанні навчального модулю «Обчислювальні та мікропроцесорні засоби в радіоелектронній апаратурі – II. Мікроконтролери на основі процесорів ARM Cortex-M» (виконання лабораторного практикуму та розрахункової роботи) для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» освітньо-професійної програми «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» на кафедрі КЕОА факультету електроніки КНУ ім. Ігоря Сікорського.

Завідувач кафедри КЕОА



(підпис)

О. М. Лисенко

Секретар кафедри КЕОА



(підпис)

Д.Ю. Лебедев