

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Автоматизована система керування для дистанційного управління
кулеметною туреллю»

Здобувача групи СУ-91

Стриженок Денис Олексійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Денис СТРИЖЕНОК

Керівник: завідувач кафедри КСУ, к. т. н. Петро ЛЕОНТЬЄВ

(підпис)

Ном.поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ екз.	Примітки
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1	A4		Завдання кафедри	2		
			<u>Новорозроблена</u>			
2	A4	T3	Технічне завдання	4		
3			Анотація	1		
4	A4	СУ-91 6.151.01 ПЗ	Пояснювальна записка	43		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	A3	СУ-91 6.151.01 С1	Структурна схема	1		
6	A3	СУ-91 6.151.01 А2	Функціональна схема автоматизації	1		
7	A3	СУ-91 6.151.01 Е3	Електрична принципова схема	7		

					СУ-91.6.151.01.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю. Відомість проєкту		
Розроб.		Денис СТРИЖЕНОК					
Перевір.		Петро ЛЕОНТЬЄВ					
Реценз.		Петро ЛЕОНТЬЄВ					
Н. Контр.							
Затверд.					Літ.	Арк.	Аркуші
					СумДУ, СУ-91		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра здобувачу вищої освіти
Стриженку Денису Олексійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: автоматизована система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю затверджена наказом ректора СумДУ № 0263 VI від "14" березня 2023р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 01 " червня 2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: _звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалом про подібні системи.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): аналіз існуючих подібних систем керування, загальний опис системи, розробка структурної схеми системи, постановка задач, які потребують вирішення, опис контурів керування, розробка функціональної схеми автоматизації, підбір технічних засобів автоматизації, розробка програмного забезпечення, впровадження та налаштування PID-регулятора, створення електричної принципової схеми, створення системи керування.
5. Перелік графічних матеріалів: 25 рисунків, 1 таблицю, 3 додатки.
6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	24.02.2023– 03.03.2023
2	Короткий опис системи керування та її складових.	04.03.2023– 25.03.2023
3	Реалізація пульта керування та розробка функціональної схеми.	26.03.2023– 14.04.2023
4	Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації. Синтез PID-регулятора.	05.04.2023– 25.04.2023

5	Розробка алгоритмів керування та програмного забезпечення.	26.04.2023– 15.05.2023
6	Розробка електричної принципової схеми. Перевірка створеної системи керування.	16.05.2023– 28.05.2023
7	Оформлення дипломного проекту та технічної документації.	01.06.2023

7. Дата видачі завдання " 24 " лютого 2023 р.

Керівник проекту:

К. т. н., зав. каф КСУ

(підпис)

Петро Леонтєв

Здобувач:

студент гр. СУ-91

(підпис)

Денис Стриженок

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування автоматизованої системи керування для дистанційного управління кулеметною туреллю

Розробник:
студент групи СУ-91

Денис СТРИЖЕНОК

Погоджено:
Зав. каф. КСУ, к. т. н.

Петро ЛЕОНТЬЄВ

1. **Назва і галузь застосування:** Автоматизована система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю. Військова галузь..
2. **Підстави для проектування:** Наказ ректора Сумського державного університету № 0263 VI від “14” березня 2023р.
3. **Загальний опис об’єкта автоматизації:**

Турель дистанційного керування, озброєна стрілецькою зброєю. Має два режими роботи: ручний та автоматичний. Складається з двох блоків: основний блок та блок пульта керування.
4. **Основні частини системи та структурна схема:** система має декілька основних контурів керування: контури керування горизонтальним та вертикальним переміщенням, що відповідають за позиціонування кулемету, контуру спуску, що відповідає за здійснення пострілу зі зброї. Також у систему впроваджена функція машинного зору, що дає змогу вести спостереження за ціллю в автоматичному режимі.
5. **Опис блоків системи керування :** Система має основний блок, який розташований на самій турелі. Він керує двигунами для переміщення та електроспуском. Додатково в блоці турелі знаходиться тепловізійний оптичний пристрій, відео сигнал з якого, надходить до системи машинного зору. Основний блок з’єднується дротом з пультом керування. На пульті керування розміщений дисплей, на який виводиться зображення з прицілу, та інша необхідна інформація для оператора. Також на ньому знаходяться органи керування турелі, а саме: двохосьовий джойстик для наведення бойового модуля, кнопка спуску, тумблер для вибору режиму стрільби, запобіжник та світлодіоди для індикації обраного режиму стрільби й крайніх положень турелі.
6. **Опис алгоритмів та режимів роботи системи:** Обмін даними між блоками реалізований інтерфейсом RS-485. Під час роботи ручного режиму пульт передає декілька значень для керування в пакеті:

- Відхилення джойстику вправо від нульового положення
- Відхилення джойстику вліво від нульового положення
- Відхилення джойстику вверх від нульового положення
- Відхилення джойстику вниз від нульового положення.
- Режим стрільби три значення 00 одиночні, 01 три постріли, 10 автоматичний.
- Спуск 1/0.

В телеметрії від основного блоку пульт отримує крайні положення кінцевих вимикачів 1/0. В залежності від того який кінцевий вимикач спрацював, вмикається відповідний світлодіод на пульті.

Під час роботи автоматичного режиму координати для переміщення надходять від системи машинного зору. До неї надходить зображення з оптичного пристрою. Система захоплює ціль, порівнює її положення з маркером прицілу, та за необхідності передає керуючий сигнал за допомогою інтерфейсу RS-232 до мікроконтролера в пульті керування, а той в свою чергу передає цю інформацію до основного блоку, який здійснює керування туреллю.

7. Умови експлуатації системи керування: використання системи можливе при відповідних погодних умовах, а саме при температурі навколишнього середовища від -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$, відсутності великих опадів.

8. Технічні вимоги:

- пило-волого захист типу IP 65;
- повна вага до 100 кг;
- час роботи в режимі чергування до 40 годин;
- час активної роботи до 15 годин;
- швидке розгортання системи в польових умовах;
- мінімальна відстань функціонування від пульта до турелі 30 м;
- слідкування за цілю на відстані 400 метрів зі швидкістю 40 км/год.;
- захищеність від засобів РЕБ.
- система повинна наводитись на ціль, при умові максимального відхилення за 1 с.

9. Стадії та етапи проектування:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Ознайомлення із завданням. Аналіз існуючих подібних систем.	21.02.2023– 01.03.2023
2	Розробка технічного завдання. Визначення основних елементів системи та побудова структурної схеми.	02.03.2023– 16.04.2023
3	Розробка функціональної схеми.	16.04.2023– 19.04.2023
4	Вибір засобів автоматизації.	20.04.2023– 25.04.2023
5	Розробка та проектування електричної схеми з'єднань та плати керування.	25.04.2023– 05.05.2023
6	Технічне оформлення проекту.	06.05.2023– 28.05.2023

10. Додатки:

Додаток А. Конструкторська документація:

- СУ-91 6.151.01 С1 Структурна схема автоматизованої системи керування для дистанційного управління кулеметною туреллю.
- СУ-91 6.151.01А2 функціональна схема автоматизованої системи керування для дистанційного управління кулеметною туреллю.
- СУ-91 6.151.01 У3 Електрична принципова схема автоматизованої системи керування для дистанційного управління кулеметною туреллю.

Додаток Б. Алгоритм роботи програмного забезпечення панелі керування.

Додаток В. Алгоритм роботи програмного забезпечення блоку керування турелі.

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Автоматизована система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю.

Автор: Стриженок Денис Олексійович; Сумський державний університет; 4 курс; Суми.

Науковий керівник: Леонтєв Петро Володимирович; кандидат технічних наук, завідувач кафедри КСУ.

Робота містить вступ, п'ять розділів та висновок в основному тексті, загальним обсягом 43 сторінки, 25 рисунків, 20 джерел.

В першому розділі розглядаються елементи з яких складається система, наведено короткий опис системи. В цьому розділі формуються критерії до системи, та проводиться аналіз факторів, які будуть впливати на систему керування. В другому розділі описується режими роботи системи та функції пульта керування. Розглядаються наявні контури керування системи та їх склад. В третьому розділі виконується підбір засобів автоматизації згідно сформованим критеріям. В четвертому відбувається моделювання системи та синтез регулятора. В п'ятому розділі описано алгоритми роботи та інтерфейси зв'язку між блоками.

Були проаналізовані наявні системи керування туреллю. Сформовано критерії до проекту бакалавра.

Розроблена автоматизована система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю, яка може бути використана в різних військових та цивільних сферах, де потрібне точне та ефективне керування.

Створено математичну модель системи керування та розроблено алгоритми для автоматичного слідкування за ціллю. Створено структурну, функціональну, електричну-принципову схеми.

Ключові слова: турель, система керування, BLDC двигуни, синтез регулятора, математична модель, система машинного зору.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

«Автоматизована система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю»

Керівник проекту:

к. т. н.

Петро Леонтєв

Здобувач:

Студент групи СУ-91

Денис Стриженок

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ І УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ОПИС СИСТЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ	6
1.1 Опис існуючих систем	6
1.2 Складові системи	8
1.3 Постановка задач.....	10
РОЗДІЛ 2 ПУЛЬТ КЕРУВАННЯ ТА КОНТУРИ УПРАВЛІННЯ ТУРЕЛІ	14
2.1 Пульт керування.....	14
2.2 Контур керування спуском	16
2.3 Контур керування вертикальної та горизонтальною осями переміщення	17
2.3 ФСА системи керування.	19
РОЗДІЛ 3 ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	20
3.1 Електропривід	20
3.2. Драйвер для керування безколекторним двигуном	24
3.3 Кінцеві вимикачі	26
3.4 Засіб комутації електроспуску.....	27
3.5 Енкодери	27
3.6 Мікроконтролер	28
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА	30
РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ НА ОБ'ЄКТІ	35
5.1 Програмне забезпечення	35
5.2 Розробка електричної принципової схеми та схеми з'єднань	36
ВИСНОВОК	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
Додаток А.....	Error! Bookmark not defined.
Додаток Б	Error! Bookmark not defined.
Додаток В.....	Error! Bookmark not defined.

					СУ-91 6.151.01. ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Аркш.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Стриженок Д.О.</i>				3		
<i>Перев.</i>		<i>Леонтьев П.В.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>								<i>СумДУ СУ-91</i>

СКОРОЧЕННЯ І УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

СК – система керування.

ДПС – двигун постійного струму.

BLDC – Brushless Direct Current

БД – безколекторний двигун.

ІКВ – індуктивний кінцевий вимикач.

ТР – твердотільне реле.

ІЕ – інкрементальний енкодер.

ФСА – функціональна схема автоматизації.

ККТ – кулемет Калашникова танковий.

СМЗ – система машинного зору.

ЕЦП – електрична принципова схема.

РЕБ – радіоелектронна боротьба.

СМЗ – система машинного зору.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

З поширенням різноманітних військових конфліктів з'явилася необхідність розвитку технологій у галузі військового озброєння, що призвело до збільшення застосування автоматизованих систем керування військовою технікою. Однією з найважливіших складових таких систем є системи керування зброєю, які забезпечують ефективність, безпеку та швидкість реакції в бойових діях.

Одним з прикладів використання автоматизованих систем керування є система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю. Ця система дозволяє оператору керувати кулеметом з відстані, що дозволяє забезпечити безпеку оператора та ефективність стрільби в різних умовах. Однак, збільшення точності та швидкості реакції системи на дії оператора стає все більш важливим завданням, оскільки це може забезпечити покращення ефективності використання кулеметної турелі та зменшення ризику поранення для оператора.

Одним з рішень цього завдання є використання сучасних технологій в галузі автоматизації та інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема систем машинного зору та обробки сигналів з оптичних приладів. Досягнення цієї мети стане можливим завдяки розробці і випробуванню автоматизованої системи керування для дистанційного управління кулеметною туреллю, яка буде забезпечувати високу точність та швидкість реакції на дії оператора, що дозволить забезпечити безпеку та ефективність стрільби в умовах бойових дій.

Метою даної роботи є проектування та розробка автоматизованої системи керування для дистанційного управління кулеметною туреллю, яка забезпечує можливість використання зброї в режимі реального часу та точність визначення координат цілей. У процесі роботи будуть вирішуватись наступні завдання:

- Розробка програмного забезпечення для керування кулеметною туреллю з використанням протоколу зв'язку;
- Розробка системи відстеження цілей за допомогою оптичних пристроїв;
- Розробка системи автоматичного прицілювання та стрільби на цілі;
- Тестування та аналіз ефективності розробленої системи в реальних умовах.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

В результаті роботи планується отримати автоматизовану систему керування для дистанційного управління кулеметною туреллю, яка забезпечить більш точне та ефективне керування зброєю в режимі реального часу.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ 1 ОПИС СИСТЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

1.1 Опис існуючих систем

Турель - це механізм або обладнання, що дозволяє обертати або керувати рухом об'єкта навколо осі. Турелі широко використовуються в різних галузях, включаючи військову техніку, промислові системи, системи безпеки та багато інших.

У військовій техніці, такі як танки, бойові машини піхоти, кораблі, літаки та гелікоптери, турелі використовуються для установки та керування вогневого озброєння, такого як гармати, кулемети, ракетні системи тощо. Турель може обертатися навколо горизонтальної осі та вертикальної осі, що дозволяє спрямовувати вогонь в різних напрямках. За принципом керування їх можна поділити на три типи, а саме: ручного керування, дистанційного керування та автоматичного.

Ручне керування – здійснюється безпосередньо стрільцем, який знаходиться біля зброї, та власноруч обертає маховики для наведення на ціль.

При ручному наведенні, військовий наражається на небезпеку, адже турель може не завжди знаходитись в укритті, яке може захистити його від ворожого вогню.

Принцип дистанційного керування полягає в тому, що на станку знаходяться електричні приводи, які переміщують зброю. Керування нею зазвичай здійснюється з пульта. Він може з'єднуватись зі станком як по дроту, так і за допомогою радіосигналу. Кожний з них має свої недоліки та переваги.

Недоліки дротового з'єднання:

- Дріт може бути пошкоджений супротивником, внаслідок чого стає можливою втрата керування;
- Збільшення часу на встановлення турелі.

Переваги дротового з'єднання:

- Захищеність від машин РЕБ ворога;
- Висока якість передачі даних.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Недоліки бездротового керування:

- Вразливість до техніки РЕБ;
- Можливі втрати керуючих сигналів.

Переваги бездротового керування:

- Зменшення часу розгортання вогневої позиції;
- Більш зручніша експлуатація.

Прикладом дистанційного керування є вітчизняна розробка «ШаБля» [1]. Дана система вже використовується військовими підрозділами Збройних сил України. Керування даним модулем відбувається з дротового пульта керування, що дозволяє знаходитись оператору в безпечному місці під час виконання бойових завдань. Система призначена для ведення бойових дій з різного озброєння, таких як кулемет калібру 7,62-мм або 12,7-мм, та 40-мм гранатомет. Бойовий комплекс оснащений тепловізійними оптичними пристроями, що дає змогу виявляти цілі на відстані до 2 км. Проте, дана система не має автоматичного режиму роботи, тобто наведення на ціль відбувається оператором. Зовнішній вигляд бойового модуля «ШаБля» зображений на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – український бойовий модуль «ШаБля»

Принцип роботи турелі в автоматичному режимі полягає в самостійному розпізнаванні ворожої техніки й піхоти, а за потреби вести по ним вогонь.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

Прикладом турелі з автоматичним керуванням є українська бойова роботизована турель «СТРАЖ». Вона призначена для патрулювання периметру роботизованими вогневими точками з метою здійснення контролю території від несанкціонованого доступу [2]. Хоча дана система є лише концептом, проте вона має гарні технічні характеристики, а саме:

- Сектор спостереження по горизонталі: 360°;
- Сектор спостереження по вертикалі: від -25° до $+60^{\circ}$;
- Дальність виявлення цілі: до 1000 метрів;
- Дальність враження цілі: до 1000 метрів;
- Можливість автоматичного слідкування за ціллю.

Зовнішній вигляд бойового модулю, зображено на рис. 1.2.

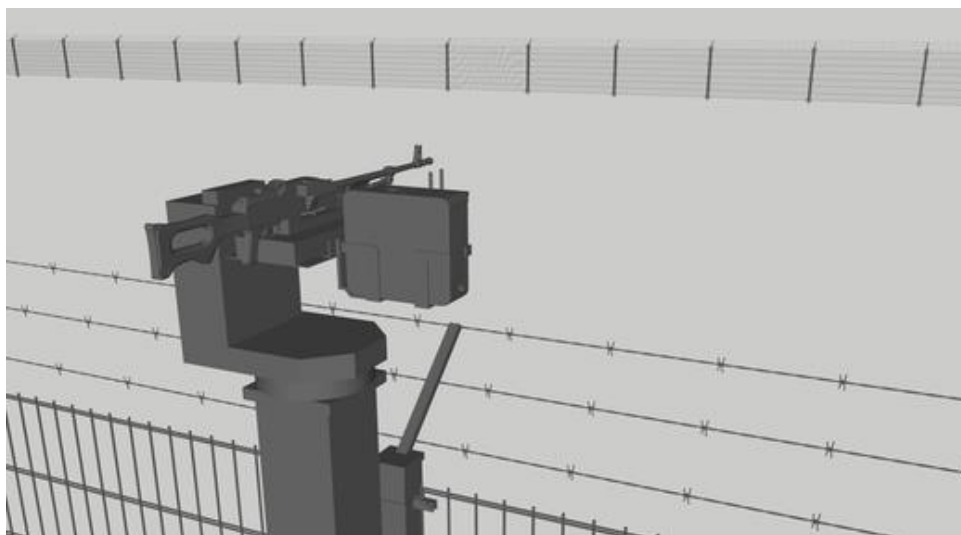


Рисунок 1.2 – роботизована турель «СТРАЖ»

1.2 Складові системи

Загалом, система складається з двох основних частин: апаратної та програмної. Апаратна частина включає в себе саму кулеметну турель, до якої належать два електроприводи, що відповідають за вертикальне та горизонтальне переміщення, датчі положення, засоби для здійснення спуску, оптичні пристрої та допоміжні засоби автоматизації. Програмна частина системи, у свою чергу, складається з програми, яка відповідає за обробку даних, отриманих від датчиків й оптичних пристроїв, та за керування кулеметною туреллю.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

Однією з ключових особливостей системи є можливість дистанційного управління кулеметною туреллю з пульта оператора. Це дає змогу використовувати систему в різних ситуаціях, де присутність людини на місці керування є небажаною або неможливою. Також система має вбудовану функцію автоматичного слідування за цілями, що робить її корисною у військових, правоохоронних та інших сферах, де необхідне точне та швидке спрямування вогню.

Систему керування можна поділити на два блоки: основний блок та пульт керування.

Основний блок складається з таких контурів та елементів:

1. Контур керування спуском:
 - 1.1. Електроспуск;
 - 1.2. Твердотільне реле;
2. Контур керування вертикальної осі переміщення:
 - 2.1. Драйвер для двигуна, що відповідає за вертикальне переміщення;
 - 2.2. Привод для вертикального переміщення;
 - 2.3. Інкрементальний енкодер для визначення вертикального положення кулемета відносно станини;
 - 2.4. Індуктивний давач для верхнього кінцевого положення;
 - 2.5. Індуктивний давач для нижнього кінцевого положення;
3. Контур керування горизонтальної осі переміщення:
 - 3.1. Драйвер для двигуна, що відповідає за горизонтальне переміщення;
 - 3.2. Привод для горизонтального переміщення;
 - 3.3. Інкрементальний енкодер для визначення горизонтального положення кулемета відносно станини;
 - 3.4. Індуктивний давач для правого кінцевого положення;
 - 3.5. Індуктивний давач для лівого кінцевого положення;
4. Основна плата з мікроконтролером сімейства STM32.

Також до основного блоку можна віднести акумулятор для живлення турелі та тепловізійний приціл.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

До пульта оператора відносяться:

- 1) Джойстик, що відповідає за переміщення турелі;
- 2) Кнопка для здійснення пострілу;
- 3) Запобіжник, без якого не працює електроспуск;
- 4) Перемикач, що відповідає за режим стрільби;
- 5) Світлодіоди для індикації режимів стрільби та індикації при спрацюванні кінцевих вимикачів;
- 6) Плата керування з мікроконтролером STM32F4.
- 7) Одноплтаний комп'ютер для реалізації системи машинного зору.

Також до пульта керування відносяться: монітор призначений для відображення зображення та телеметрії, отриманого з прицілу.

На основі вищезазначених елементів було побудовано структурну схему, яка зображена в Додатку А.

1.3 Постановка задач

Постановка задач у цьому випадку передбачає розробку системи керування для кулеметної турелі, яка має відповідати певним критеріям. Один із таких критеріїв - це мінімальний час перехідного процесу, тобто мінімальний час, за який система повинна навести кулемет на ціль. Це важливо для того, щоб система керування була ефективною та швидко реагувала на зміну умов.

Інший критерій - це швидкодія моторів. Якщо мотори працюють повільно, то система буде менш ефективною і менш точною в наведенні на ціль. Тому швидкодія моторів є важливим параметром для системи керування кулеметною туреллю. Прискорення електроприводу розраховується за формулою (1.1).

$$a = \frac{V - I \cdot R}{J} \quad (1.1)$$

Де: a - прискорення двигуна; V - напруга живлення; I - струм, що протікає через двигун; R - опір двигуна; J - момент інерції системи.

Для побудови системи керування необхідно провести аналіз об'єкта керування та врахувати фактори, які можуть впливати на процес управління.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

Одним з таких факторів є люфт на редукторах, які збільшують крутний момент, але зменшують швидкість обертання. Цей люфт може впливати на систему в декількох аспектах. Причина люфта зображена на рис. 1.3.

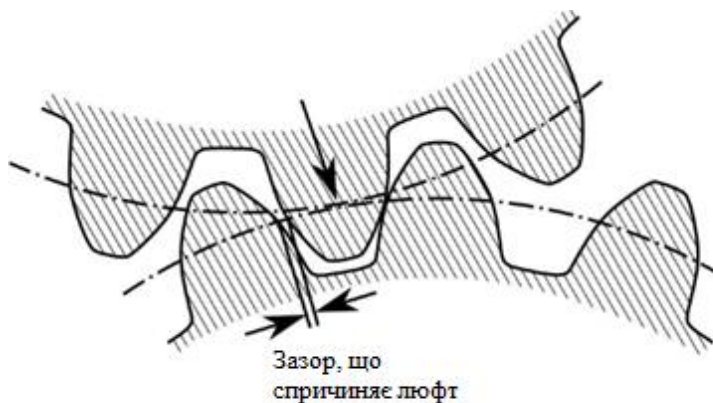


Рисунок 1.3 – причина люфта

По-перше, люфти можуть знизити точність позиціонування кулеметної турелі, що може погіршити ефективність системи керування. Наприклад, якщо при переведенні турелі в певне положення виникає люфт на редукторі, то приціл може бути не точно наведено.

По-друге, люфти можуть спричинити вібрації в системі, що може призвести до ненадійності та нестабільності системи керування. Це може бути особливо проблематичним в умовах військових дій, де турель має працювати в умовах значних вібрацій та динамічних навантажень.

Отже, щоб забезпечити ефективну та стабільну роботу системи керування кулеметною туреллю, необхідно враховувати вплив люфтів на редукторах та використовувати засоби для їх зменшення або усунення.

Одним з можливих методів для вирішення проблеми люфту в редукторі на рівні системи керування є використання електричного струму, що може бути застосований для зміщення механізмів у необхідному напрямку і таким чином компенсувати люфт. Для цього можуть використовуватись такі елементи, як електромагніти або п'єзоелектричні актуатори. Цей метод має перевагу у тому, що він дозволяє вирішити проблему люфту без зміни конструкції редуктора.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Другий метод полягає в застосуванні датчиків. Датчики можуть бути встановлені на різних етапах системи керування та редуктора для вимірювання люфту та його компенсації. Цей метод дозволяє вимірювати люфт та автоматично компенсувати його. Однак, він також потребує додаткового обладнання та може бути досить складним для встановлення та підтримки.

В даній системі керування буде використовуватися перший метод усунення люфту на редукторі. Цей метод ніяк не буде впливати на систему керування, адже вся проблема вирішується інженерами-конструкторами, які проектують механічну частину.

Ще одним фактором, який може впливати на систему керування, є затримка відеосигналу з оптичного приладу. Основна проблема, яка може виникнути через затримку відеосигналу, пов'язана з тим, що система управління може отримувати застарілу інформацію про стан рухомих об'єктів, якими вона керує.

Наприклад, якщо система керування використовується для слідкування за рухом дронів або інших безпілотних транспортних засобів, затримка відеосигналу може перешкодити системі вчасно реагувати на зміни навколишнього середовища, наприклад на перешкоди на шляху руху.

На рис. 1.4 можна побачити різницю системи без затримки та з затримкою 300 мс.

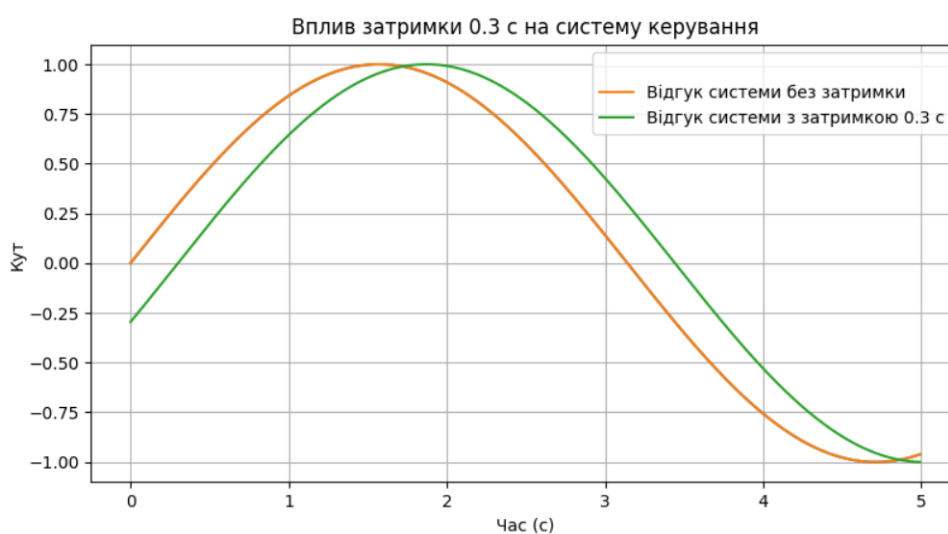


Рисунок 1.4 – графік системи без затримки та з затримкою 300 мс

Для того щоб досягти поставленої задачі необхідно підібрати необхідні засоби автоматизації, розробити математичну модель об'єкта, на основі моделі регулятор, алгоритми та програмне забезпечення.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

РОЗДІЛ 2 ПУЛЬТ КЕРУВАННЯ ТА КОНТУРИ УПРАВЛІННЯ ТУРЕЛІ

2.1 Пульт керування

Пульт керування туреллю є важливою складовою автоматизованої системи керування бойовим модулем. Він забезпечує оператору можливість дистанційного управління переміщенням турелі та виконання інших функцій, пов'язаних з експлуатацією та контролем турельного комплексу.

Основними функціями пульта керування є:

- Керування горизонтальним та вертикальним переміщенням турелі;
- Керування вогнем.
- Керування оптичними системами.
- Відображення інформації.
- Зв'язок з іншими системами.

Система керування туреллю працює у двох режимах: ручному та автоматичному. Вибір режиму виконується на пульті керування за допомогою тумблера, що забезпечує зручну зміну режимів з одного на інший.

Під час ручного режиму керування, оператор самостійно керує турелею за допомогою джойстика на пульті. Напрямок переміщення турелі відповідає напрямку відхилення джойстика. Інформація про відхилення джойстика передається до основного блоку керування, який генерує керуючі сигнали для органів керування туреллю, забезпечуючи її рух у відповідному напрямку та швидкості.

У випадку автоматичного режиму, система машинного зору виконує роль відстеження цілі. Вона захоплює ціль за допомогою своїх датчиків та порівнює поточні координати прицілу з координатами цілі. Якщо виникає потреба в переміщенні турелі для наведення на ціль, система передає відповідні координати до плати керування пульта. Плата керування, у свою чергу, передає ці координати до основного блоку керування турелі, що сприяє виконанню відповідних рухів турелі для наведення на ціль.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Таким чином, система керування туреллю працює в двох режимах, дозволяючи оператору вручну керувати туреллю або використовувати систему машинного зору для автоматичного відстеження цілей. Це забезпечує більш гнучке та ефективне управління туреллю залежно від ситуації.

У системі керування туреллю також передбачена кнопка спуску, яка використовується для здійснення пострілу. Кнопка знаходиться на пульті керування поруч з іншими керуючими елементами. Коли оператор натискає на кнопку спуску, сигнал про це надсилається до основного блоку керування туреллю.

Після отримання сигналу про спуск, основний блок керування ініціює виконання пострілу. Він надсилає керуючий сигнал до електроспуску, який в свою чергу виконує постріл з кулемету.

Також на пульті керування розташований трипозиційний тумблер, що відповідає за вибір режиму стрільби. Перший режим – стрільба поодинокими, тобто по дній кулі, другий – потрійний, по три кулі, третій – довга черга. Кожному режиму відповідає світлодіоди розташовані поруч з тумблером.

Та додатково на розташовується запобіжник, який являє собою вимикач, що розриває керуючий сигнал до електроспуску з основної плати керування туреллю.

На рис. 2.1 зображено зовнішній вигляд пульта керування.



Рисунок 2.1– зовнішній вигляд пульта керування.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2.2 Контур керування спуском

Одним з найважливіших контурів керування є контур керування спуску. За допомогою нього буде здійснюватися постріл зі зброї, яка встановлена на турелі.

Даний контур буде складатися з самого електроспуску, вигляд якого зображений на рис. 2.2, та засобу його комутації, наприклад електромагнітне реле або твердотільне.



Рисунок 2.2 – електроспуск для ККТ

При подачі електричного струму, він активує електромагніт, який тимчасово знімає блокування та дозволяє відбуватися пострілу. Після випуску кулі електромагніт повертається в початкове положення, забезпечуючи готовність до наступного пострілу.

Електроспуск забезпечує швидку та автоматичну стрільбу з танкового кулемета, що робить його більш ефективним у бойових умовах. Здійснення спуску відбувається в наступній послідовності: оператор натискає кнопку, що відповідає за спуск, після чого мікроконтролер фіксує сигнал та надсилає інформація про спрацювання, далі мікроконтролер отримує пакет даних від пульта керування, й подає керуючий сигнал на твердотільне реле, яке комутує електроспуск. На рис. 2.3 зображена функціональна схема контуру спуску.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

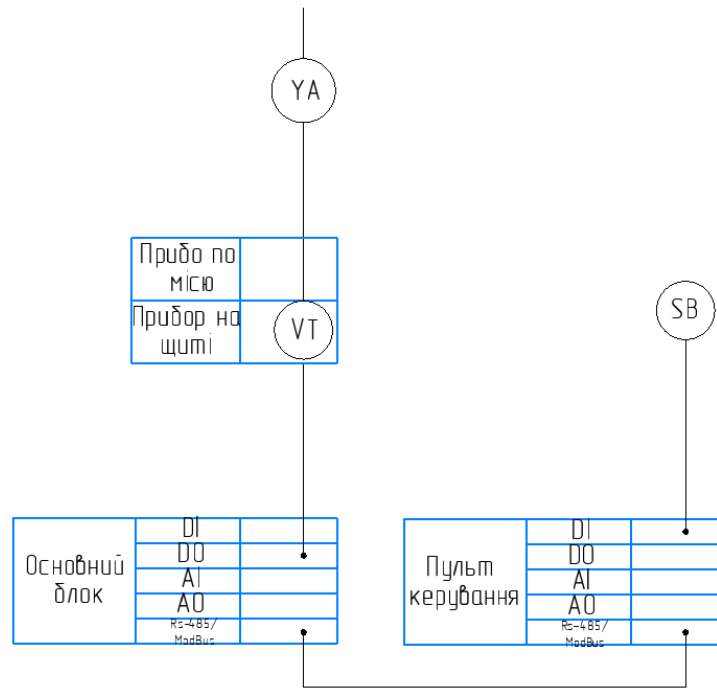


Рисунок 2.3 – ФСА контру спуску

2.3 Контур керування вертикальної та горизонтальною осями переміщення

Дана система буде мати дві осі переміщення: вертикальну та горизонтальну. Її основна функція полягає в точному та стабільному керуванні рухами турелі в вертикальному та горизонтальному напрямках. До складу контуру керування входить електропривод, який безпосередньо виконує переміщення озброєння та оптичного пристрою, драйвер для керування двигуном, кінцеві вимикачі та енкодери для отримання даних про положення турелі та система машинного зору.

Система машинного зору в системі керування туреллю відіграє важливу роль у керуванні контуром переміщення турелі. Її основна функція полягає в захопленні та слідуванні за ціллю, а також визначенні її положення та координат.

Процес керування контуром переміщення починається зі збору вхідних зображень цілі за допомогою тепловізійного прицілу, який встановлений на турелі. Зібрані зображення подаються на вхід системи машинного зору, де вони обробляються та аналізуються.

СМЗ використовує різні алгоритми та методи для виявлення цілі на зображенні та визначення її положення. Це можуть бути методи обробки зображень, виявлення контурів, розпізнавання об'єктів або нейромережеві алгоритми.

Після визначення положення цілі система машинного зору передає цю інформацію до блоку керування контуром переміщення турелі. Блок керування враховує дані про положення цілі та виконує необхідні обчислення для позиціонування турелі. Він генерує керуючі сигнали, які направляються до механізмів переміщення турелі, таких як електродвигуни, для точного позиціонування турелі відповідно до положення цілі.

Система машинного зору забезпечує автоматичне слідкування за ціллю, що дозволяє турелі точно наводитись на ціль та забезпечувати точність пострілу. Вона також може забезпечувати функції автоматичного виявлення цілей, відслідковування руху та аналіз ситуації навколо турелі.

На рис. 2.4 зображено ФСА контуру переміщення вертикальної та горизонтальної осі.

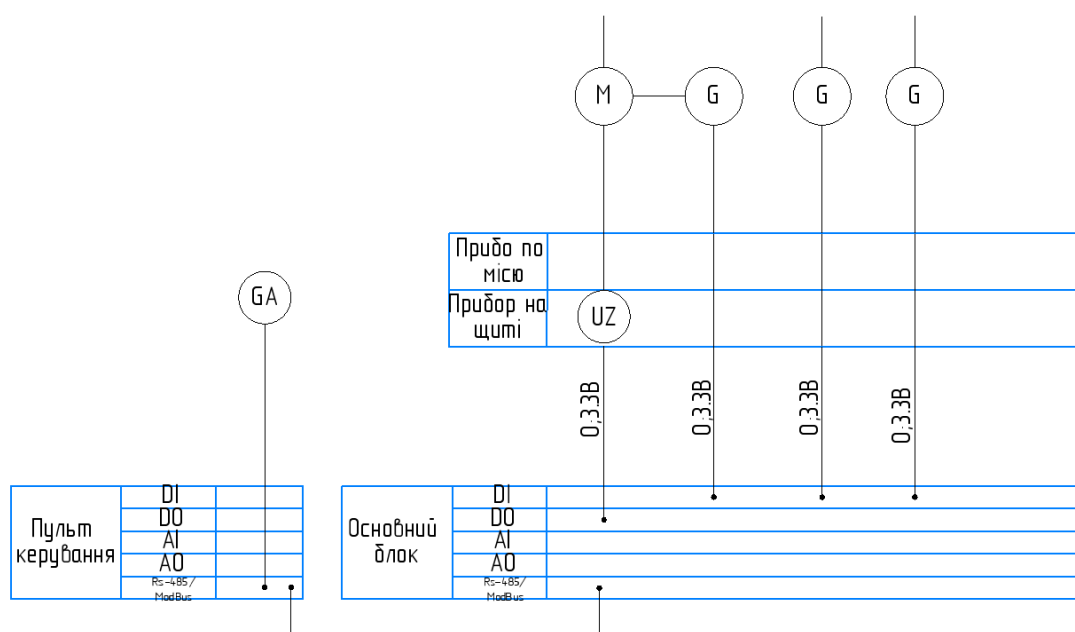


Рисунок 2.4 – ФСА контуру переміщення

2.3 ФСА системи керування.

На основі вище описаних контурів керування, було побудовано функціональну схему автоматизованої системи керування для дистанційного управління кулеметною туреллю. Дана схема також містить таблицю вхідних і вихідних сигналів турелі, за якою потім обирається мікроконтролер, який має достатню кількість пінів та інтерфейсів зв'язку. ФСА системи знаходиться в Додатку А.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

РОЗДІЛ 3 ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Вибір засобів автоматизації є важливим етапом проектування системи керування кулеметною туреллю. Для досягнення поставлених вимог і критеріїв необхідно вибрати ефективні засоби автоматизації, що дозволять реалізувати необхідну функціональність системи.

3.1 Електропривід

Одним з ключових елементів даної системи є електропривод, адже він на пряму впливає на ефективність роботи турелі. Для того щоб обрати привод, необхідно проаналізувати різні типи та обрати той що задовольняє наші критерії, а саме висока швидкодія та мала інерційність.

Одним з можливих варіантів є кроковий двигун. Фіксована відстань кроку дозволяє керувати рухом турелі з високою точністю. Ще одною перевагою даного типу електропривода є високий момент на низьких швидкостях, що може бути важливо для забезпечення стабільної роботи турелі при пошкодженні механізмів. Але звідси випливає й недолік, а саме те що крокові двигуни можуть мати обмежену швидкість обертання, що може обмежувати швидкість руху турелі.[3] На рис. 3.1 зображена залежність крутного моменту від обертів двигуна.

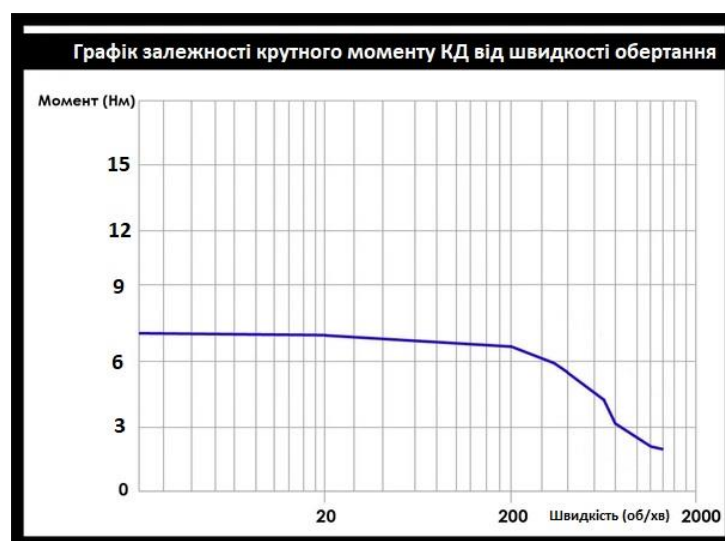


Рисунок 3.1 – механічна характеристика крокового двигуна

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Виходячи з характеристики крокового двигуна, можна зробити висновок, що він не задовольняє вимоги.

Одним із типів приводів, які вже використовують для побудови подібних систем є двигун постійного струму. [4-5] ДПС мають декілька переваг, що роблять їх популярними в різноманітних вимірах та прикладних задачах. Однією з переваг ДПС-двигунів є високий крутний момент на старті, що дозволяє їм працювати з великими навантаженнями. Крім того, вони мають високу точність регулювання швидкості, що робить їх ідеальними для задач, які потребують високої точності та стабільності. ДПС також досить надійні та мають довгий термін експлуатації.

Однак, для турелі ДПС мають свої обмеження. Основна проблема полягає в тому, що при великих швидкостях ротор ДПС може стати нестабільним, що може призвести до пошкодження системи керування та навіть до поломки двигуна. Крім того, ДПС мають високу інерційність, що ускладнює роботу з точністю позиціонування турелі. Таким чином, хоча ДПС мають свої переваги, вони не є ідеальним вибором для турелі, де потрібна висока швидкість та точність позиціонування.

Безколекторний двигун, також відомий як безщітковий двигун, є типом електричного двигуна, що використовується в різних пристроях і системах. Принцип роботи безколекторного двигуна базується на використанні постійних магнітів та електромагнітних обмоток.

Основна структура БД включає ротор (який може бути з вбудованими постійними магнітами) та статор з фазовими обмотками. Ротор містить набір намагнічених полюсів, а статор складається з трьох фазових обмоток, розташованих на 120 градусів одна відносно одної.

При використанні БД, електронна система керування змінює послідовність подачі струму до фазових обмоток, забезпечуючи таким чином обертання ротора. Цей процес відбувається на основі зчитування позиції ротора за допомогою енкодера або іншої системи зворотного зв'язку.

Під час роботи БД, електронна система керування аналізує сигнали з енкодера та визначає потрібну послідовність включення фазових обмоток.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

В результаті, струм подається у потрібні фазові обмотки, що створює магнітні поля, що зміщують ротор. Цей процес повторюється з високою швидкістю, що призводить до обертання ротора без необхідності використання колектора і щіток, як у традиційних колекторних двигунах. Будова БД зображена на рис. 3.2.[6]

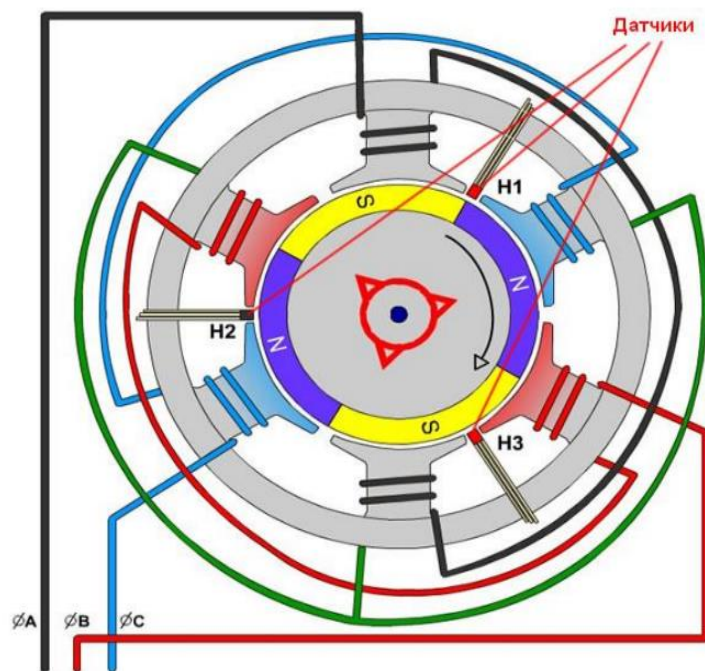


Рисунок 3.2 – будова безколекторного двигуна

Безколекторні двигуни, порівняно з двигунами постійного струму, мають кілька переваг, що робить їх більш підходящими для використання в турелях.

По-перше, безколекторні двигуни мають більшу ефективність через відсутність колектору та щіток, які є джерелом електричного опору та втрати енергії. Це дозволяє зменшити втрати енергії через тепловиділення, що поліпшує продуктивність і знижує споживання електроенергії.

По-друге, безколекторні двигуни мають більшу точність керування та контролю за рухом, що дозволяє забезпечити більш точне та швидке позиціонування турелі. БД також мають більш широкий діапазон швидкості та моменту, що дозволяє їм пристосовуватись до різних умов експлуатації.

По-третє, БД мають менший рівень шуму та вібрації, що робить їх більш комфортними для експлуатації.

Отже, безколекторні двигуни мають більші переваги для використання в турелях, порівняно з двигунами постійного струму. Вони мають більшу ефективність, точність керування, широкий діапазон швидкості та моменту, а також менший рівень шуму та вібрації.

Для даної системи керування було обрано двигун PLSA80 Low Voltage Servo Motor, який зображений на рис. 3.3.[7]



Рисунок 3.3 – безколекторний двигун PLSA80

Даний двигун має наступні характеристики:

- Номінальна потужність: 750 Вт.
- Номінальна напруга: 48 В.
- Максимальний струм: 50А.
- Номінальний крутний момент: 2,4 Н/м.
- Максимальний крутний момент: 6 Н/м.
- Номінальні оберти: 3000 об/хв.
- Максимальні оберти: 3500 об/хв.

На рис. 3.4 можна побачити доволі жорстку механічну характеристику двигуна.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

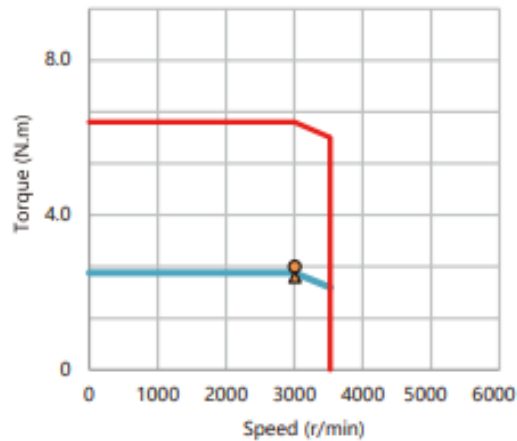


Рисунок 3.4 – механічна характеристика безколекторного двигуна

Експериментальним шляхом було отримано розгінну передатну функцію (3.1).

$$W_{(p)} = \frac{1.8}{0.255 \cdot 0.1 \cdot p^2 + 0.1p + 1} \quad (3.1)$$

3.2. Драйвер для керування безколекторним двигуном

Для керування обраним двигуном, подібно підібрати драйвер, який буде відповідати критеріям електропривода, а саме: напруга живлення 48В та максимальний струм 50А.

Принцип роботи драйвера для безколекторного двигуна (BLDC) базується на використанні електронної комутації для зміни напрямку струму в обмотках двигуна. Основні етапи роботи драйвера можна описати наступним чином:

- Вимірювання положення ротора: Для ефективного керування BLDC-двигуном необхідно знати положення його ротора. Це можна здійснити за допомогою датчиків хола або безпосередньо визначити шляхом аналізу змінних параметрів, таких як зміна електромагнітного поля в обмотках.
- Керування комутацією: Драйвер використовує логіку комутації для переключення струму від однієї обмотки до іншої відповідно до положення ротора. Зазвичай використовуються шість транзисторів

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

(MOSFET або IGBT), які утворюють містку для керування струмом в обмотках двигуна. Керуюча логіка визначає момент часу, коли потрібно відкрити і закрити транзистори для забезпечення правильного порядку комутації.

- Регулювання швидкості та напрямку обертання: Драйвер також керує швидкістю обертання BLDC-двигуна шляхом зміни часу відкриття та закриття транзисторів. Це досягається зміною частоти комутації або ширини імпульсів керування. Для зміни напрямку руху драйвер може змінювати послідовність комутації фаз.
- Захист та моніторинг: Деякі драйвери BLDC-двигуна мають вбудовані захисні функції, такі як захист від перевантаження, короткого замикання, перегрівання тощо. Крім того, вони можуть забезпечувати моніторинг струму, напруги та температури для забезпечення надійної роботи двигуна.

В цілому, драйвер для безколекторного двигуна виконує функцію керування комутацією фаз та швидкістю обертання, що дозволяє досягти точного і ефективного керування роботою BLDC-двигуна у різних застосуваннях.

Для даної системи керування було обрано драйвер PLSD-8050, його зовнішній вигляд зображено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – драйвер PLSD-8050

Технічні характеристики драйвера приведені у таблиці 3.1.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 3.1 – характеристики BTS7960

Вихідний піковий струм (А)	50
Максимальна частота вхідного сигналу (КГц)	До 1000
Напруга живлення двигунів (В)	24-80
Максимальна потужність двигуна(Ват)	1500
Підтримувані інтерфейси	Pulse, CANBUS, RS485 bus/ RS232

3.3 Кінцеві вимикачі

Для зупинки турелі в кінцевих положеннях будуть використовуватись індуктивні давачі наближення. Індуктивні кінцеві вимикачі є одним з типів кінцевих перемикачів, які використовуються для виявлення наявності об'єктів у просторі. Вони базуються на принципі індуктивності і використовують зміну індуктивної реакції при наближенні металевого об'єкта до датчика.

Робота ІКВ базується на використанні коливального контуру, що містить котушку індуктивності. Коли металевий об'єкт наближається до датчика, він змінює магнітне поле навколо котушки і впливає на її індуктивні властивості. Це призводить до зміни резонансної частоти коливаний контуру. Спеціальна електроніка, яка входить до складу ІКВ, сприймає цю зміну і генерує сигнал, що вказує на наявність об'єкта. Для даної системи було обрано Індуктивний датчик HURON LJ12A3-4-Z/AY PNP NC, його зовнішній вигляд зображено на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – зовнішній вигляд індуктивного давача.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3.4 Засіб комутації електроспуску

Для комутації електроспуску, було обрано твердотільне реле SSR-40DD 40A DC-DC, яке зображене на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – твердотільне реле SSR 40DD

Основним компонентом ТР є твердотільний ключ (англ. solid-state switch), який може бути транзистором, тиристором або іншим напівпровідниковим пристроєм. Цей ключ здатний керувати електричним струмом шляхом зміни своєї провідності при подачі керуючого сигналу.

ТР має кілька переваг у порівнянні з традиційними реле. По-перше, воно не має рухомих частин, що знижує ймовірність зносу та поломки. По-друге, твердотільні реле працюють швидше, оскільки вони не потребують часу на замикання або розмикання механічних контактів. Крім того, вони мають високу надійність, стійкість до вібрацій і здатні працювати при широкому діапазоні температур.

3.5 Енкодери

Для забезпечення зворотного зв'язку положення станини будуть використовуватись інкрементальні енкодери. Основним елементом ІЕ є диск, що містить шаблони отворів або фоточутливих плям. Диск кріпиться до вихідного вала об'єкта, чиє положення необхідно виміряти. Коли об'єкт обертається, світло з джерела ілюмінації проходить через отвори або відбивається від плям на диску і попадає на фотодатчики. Фотодатчики реєструють зміни світлового потоку та перетворюють їх на електричні сигнали.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Отримані електричні сигнали можуть бути двох типів: канал А та канал В, які фазово зсунуті на 90 градусів (квадратурні сигнали). Ці сигнали називаються імпульсами каналу А і каналу В. Разом з каналами А та В можуть також присутній додатковий сигнал, відомий як імпульс індексу. Імпульс індексу вказує на початкове положення об'єкта або слугує для визначення обертового циклу. Внутрішня будова енкдоера зображена на рис. 3.8.

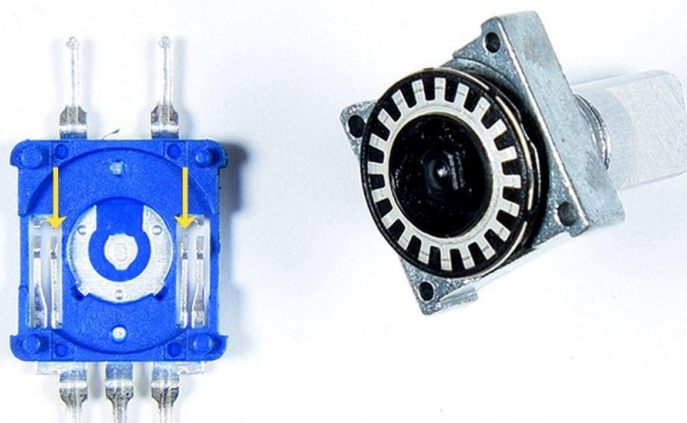


Рисунок 3.8 – внутрішня будова енкдоера

Для даної СК було обрано інкрементальний енкoder ERN 1020 2500 01 -03 К 1, який має 2500 імпульсів на оберт, пило-волого захист типу IP-64, що задовольняє критерії даної системи. Даний ІЕ зображений на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – інкрементальний енкoder ERN 1020 2500 01

3.6 Мікроконтролер

Для того щоб забезпечити швидкодію системи необхідно обрати не лише електропривод, а й мікроконтролер, який буде встигати виконувати математичні

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

обчислення. Однак, вибір конкретного мікроконтролера залежить від багатьох чинників, таких як кількість давачів, що використовуються, потрібна швидкодія та точність позиціонування, а також можливість розширення функціональності в майбутньому. Також слід враховувати те, що кожен мікроконтролер має свої плюси та мінуси, а також різні інтерфейси та режими роботи, які можуть вплинути на продуктивність системи.

Мікроконтролер STM32F411 є одним з найбільш популярних мікроконтролерів в серії STM32 від STMicroelectronics. Він базується на ядрі ARM Cortex-M4 з тактовою частотою до 100 МГц, має 512 КБ флеш-пам'яті та 128 КБ ОЗУ. Крім того, STM32F411 має вбудований набір периферійних пристроїв, включаючи АЦП, ЦАП, таймери, інтерфейси зв'язку, тощо.

Даний мікроконтролер може бути гарним варіантом для управління туреллю, оскільки він має достатню кількість периферійних пристроїв для керування двигунами та датчиками, а також достатню швидкодію для виконання потрібних обчислень. Крім того, він досить доступний за ціною та легко програмується за допомогою інтегрованого середовища розробки STM32CubeIDE. Розташування пінів мікроконтролера зображено на рис. 3.10.[8].

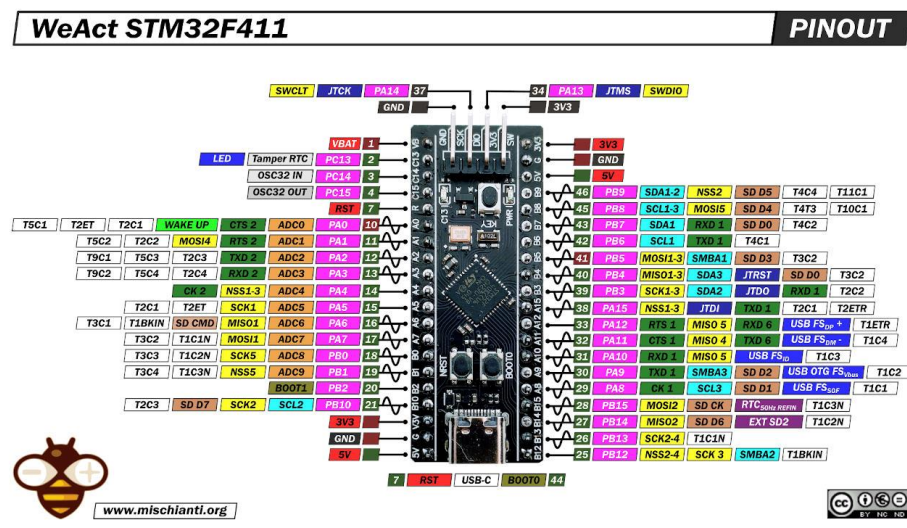


Рисунок 3.10 – функціонал пінів

РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

Для подальшого моделювання системи керування необхідно створити математичну модель, яка буде описувати основні параметри системи.

Оскільки передатна функція електроприводу вже відома, залишається знайти математичну модель редукторної передачі та навантаження системи.

Щоб створити математичну модель редуктора, потрібно проаналізувати, як він впливає на систему. Ідеальною моделлю редуктора є відношення між вихідною швидкістю обертання валу та вхідною швидкістю, яке можна записати як статичний коефіцієнт.

Можна записати наступну формулу:

$$\alpha_H(t) = \frac{1}{i} a_\partial(t) \quad (4.1)$$

Зробивши перетворення Лапласа отримуємо наступний вираз:

$$\alpha_H(p) = \frac{1}{i} a_\partial(p) \quad (4.2)$$

Передаточна функція має наступний вигляд:

$$W_{\text{ред}}(p) = \frac{\alpha_H(p)}{\alpha_\partial(p)} = \frac{1}{i} \quad (4.3)$$

На основі емпіричного дослідження можна зробити висновок, що редуктор має певний люфт у системі керування електроприводом, що значно впливає на характеристики системи. Тому, для отримання більш детального опису моделі системи стабілізації необхідно замінити передаточну функцію безінерційної ланки на аперіодичну ланку першого порядку.

$$\frac{T dx_{\text{вих}}}{dt} x_{\text{вих}} = k x_{\text{вих}} \quad (4.4)$$

Де T – постійна часу, k – коефіцієнт передачі ланки. Тоді передаточна функція має наступний вигляд:

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{Tp+1} \quad (4.5)$$

В даній системі k – коефіцієнт передачі ланки складає 0,033, а значення постійної часу становить 0,05. Тоді передаточна функція набуває наступного вигляду[9]:

$$W(p) = \frac{0,033}{0,05s+1} \quad (4.6)$$

Механічне навантаження зображене на рис. 4.1.

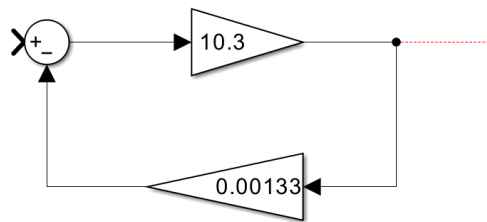


Рисунок 4.1 – механічне навантаження

На основі вище створених передатних функцій, отримуємо структуру електропривода, що зображена на рис. 4.2.

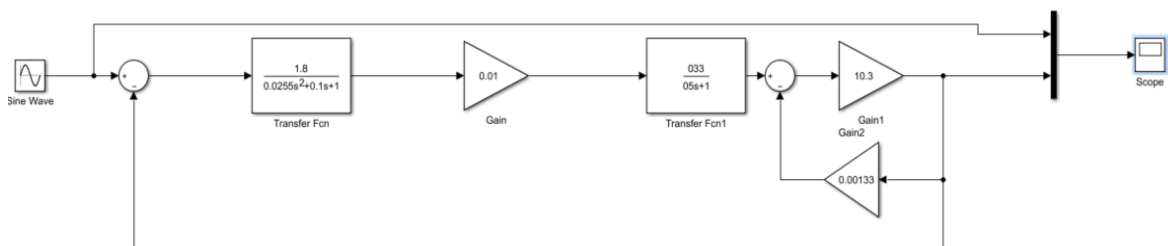


Рисунок 4.2 – схема електропривода

Перед впровадженням в систему ПД-регулятора, необхідно сформулювати критерії до неї.

Перший критерій – стабільність. Система повинна бути стабільною, тобто мати можливість повернутися в стан рівноваги після зовнішніх збурень. Вимоги до

стабільності можуть включати аналіз часу встановлення, перевищення та колювання системи.

Другий критерій – це час перехідного процесу, адже дана система повинна швидко наводитись на ціль. Виходячи з технічного завдання, тривалість перехідного процесу повинна бути не більше 0,2 секунди.

Третій критерій – це перегулювання, оскільки воно буде на пряму впливати на ефективність системи. Воно повинно становити не більше 15 відсотків.

При впровадженні в систему ПІД-регулятора, додаємо затримку сигналу та зворотній зв'язок, отримуємо наступну схему:

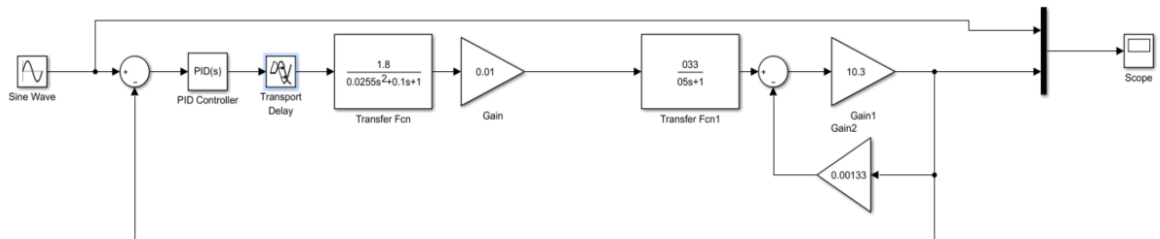


Рисунок 4.3 – математична модель з ПІД регулятором

Налаштовуємо ПІД регулятор:

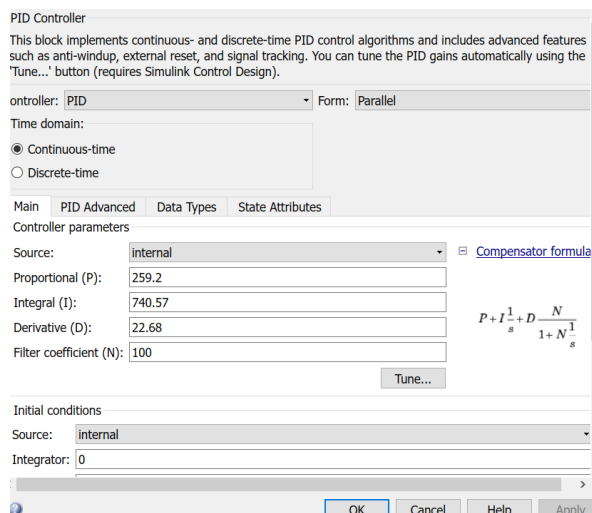


Рисунок 4.4 – налаштування ПІД регулятора

Отримуємо наступну реакцію системи:

						Лист
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

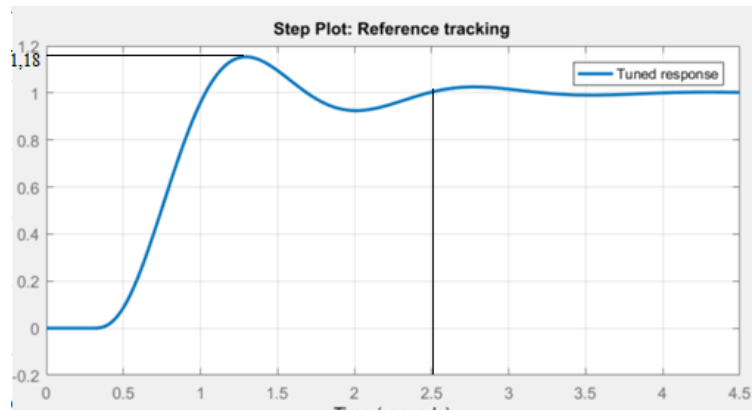


Рисунок 4.5 – реакція системи з під регулятором

З графіку видно що перегулювання становить близько 18%, а час перехідного процесу становить 2,5 с, що є не задовольняє критерії системи. Для зменшення часу перехідного процесу можна додати до системи керування предиктор. Система набуває наступного вигляду:

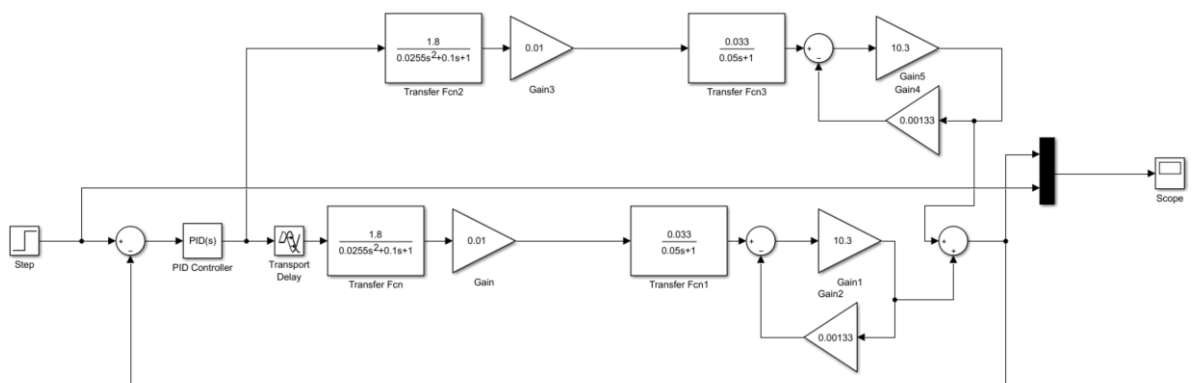


Рисунок 4.6 – математична модель з предиктором

Отримуємо наступну реакцію системи:

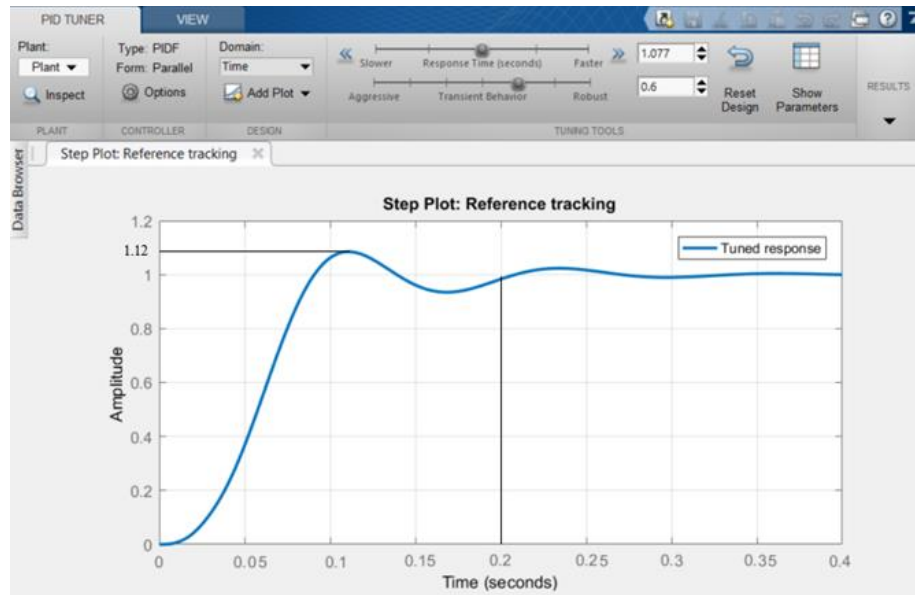


Рисунок 4.7 – реакція системи з предиктором

На реакції помітно, що перегулювання зменшилось й становить 12%, а час перехідного процесу становить 0,2 с. Отримані результати задовольняють критерії до системи.

РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ НА ОБ'ЄКТИ

5.1 Програмне забезпечення

Програмне забезпечення (далі ПЗ) панелі керування та блоку керування турелі, наведено схематично у формі алгоритмів (Додаток Б та Додаток В). Основна ціль ПЗ, це забезпечення швидкодії оброблення алгоритмів керування моторами та виконавчими механізмами, своєчасна відповідь на пакет запиту (блок турелі) та організація планованого сеансу зв'язку з блоками (у випадку панелі керування). Також необхідно оброблювати помилки від драйверів моторів, та виконувати так званий аварійний режим роботи, для забезпечення безпечної експлуатації системи.

Як приклад середовища для програмування, можна обрати STM32 CubeIDE. Ця програма була створена спеціально для зручної роботи із сімейством мікроконтролерів STM.

Для управління моторами в режимі трекінгу цілі, необхідно реалізувати ПД регулятор для кожної осі. Коефіцієнти регулятора задаватимуться за допомогою панелі керування. Комунікація між блоками виконуватиметься за допомогою бінарного пакету, який має початкові та кінцеві байти пакету, та додаткове кодування у формі COBS.

COBS - це алгоритм для кодування байтів даних, який забезпечує ефективне, надійне, однозначне кадрювання пакетів незалежно від вмісту пакета, таким чином полегшуючи відновлення додатків-одержувачів після неправильно сформованих пакетів. Він використовує певне значення байта, як правило, нуль, яке служить роздільником пакетів (спеціальне значення, яке вказує на межу між пакетами). Коли нуль використовується як роздільник, алгоритм замінює кожен нульовий байт даних ненульовим значенням, щоб жодні нульові байти даних не з'являлися в пакеті та, таким чином, були неправильно інтерпретовані як межі пакета.

На мережевому рівні для передачі пакетів, використовуватимуться інтерфейси RS485 та RS232. Між блоками використовуватиметься саме RS485, так як саме цей інтерфейс забезпечує вимоги по довжині шини зв'язку, гарну завадостійкість при правильній реалізації топології інтерфейсу.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

В середині панелі керування, між основним контролером та одноплатним комп'ютером, використовуватиметься RS232 так як відстань між блоками не велика та цей інтерфейс зазвичай присутній одразу з коробки в одноплатних комп'ютерах та мікроконтролерах сімейства STM32F4.

5.2 Розробка електричної принципової схеми та схеми з'єднань

Електрична принципова схема є графічним представленням логічної структури та зв'язків між електричними компонентами в електричній системі або пристрої. Вона показує, як різні компоненти системи пов'язані між собою та як вони взаємодіють для виконання певних функцій. Для створення та редагування ЕПС буде використовуватись програмне забезпечення EPLAN Electric.

Для створення загальної електричної схеми необхідно спочатку розробити схеми для окремих контурів керування, а саме: вертикальної та горизонтальної осі керування, контуру спуску, пульта керування та контур слідкування за цілю.

Електрична принципова схема та схема з'єднань знаходиться в Додатку А.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

ВИСНОВОК

У даній бакалаврській роботі було розроблено автоматизовану систему керування для дистанційного управління кулеметною туреллю. Було проведено аналіз існуючих систем, технічних вимог до системи та обрано необхідні компоненти, такі як мікроконтролер, електроприводи та інші. Було побудовано математичну модель системи керування та розроблено алгоритми для автоматичного слідування за ціллю. Створено структурну, функціональну, електричну-принципову схеми.

Для реалізації системи було використано мікроконтролер STM32F4, який дозволяє ефективно керувати BLDC двигунами та іншими компонентами системи.

Під час тестування системи було встановлено, що вона працює стабільно та ефективно. Система здатна автоматично слідувати за ціллю та коректно реагувати на збурюючі дії. Крім того, система має можливість ручного керування, що дозволяє оператору втручатися в процес управління в разі потреби.

Розроблена автоматизована система керування для дистанційного управління кулеметною туреллю, яка може бути використана в різних військових та цивільних сферах, де потрібне точне та ефективне керування.

					СУ-91 6.15101.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		37

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ЗСУ отримали українську автоматичну турель «Шабля» [Електронний ресурс] // ВІЙСЬКОВИЙ КУР'ЄР. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://mil.co.ua/yegeri-zsu-otrymaly-ukrayinsku-avtomatychnu-turel-shablya-video/>.

2. Роботизована турель СТРАЖ [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://temerland.com/rishennya/robotizovana-turel-strazh/>.

3. Кроковий двигун [Електронний ресурс] – 2019. – . Режим доступу до ресурсу: <https://mirstankov.com/uk/yakij-krokovij-dvigun-vibrati/>

4. Willems Paulino Tulomba,(2010), Stabilization of the Line of Sight of a Two Axis Gimballed Gun-Turret System.

5. Інформаційно-консалтингова компанія «DEFENSE EXPRESS». Наземний дрон РСВК-М "Мисливець" від КБ "Robotics": досвід використання на Донбасі та перспективи. 2021. Режим доступу до ресурсу:https://defence-ua.com/people_and_company/nazemnij_dron_rsvk_m_mislivets_vid_kb_robotics_dosvid_vikoristannja_na_donbasi_ta_perspektivi-2613.html

6. Демченко С.О. Контролер системи управління двигуном електричного скутера з передаванням інформації на смартфон; робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 172 – телекомунікації та радіотехніка / наук. кер. С. В. Вишневий. Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2020. 108с.

7. Безколекторний двигун PLSA 80 [Електронний ресурс] – 2023. –. Режим доступу до ресурсу: <https://www.primopal.com/low-voltage-servo-motor-plsa80-16735862296992844.html>

8. Мікроконтролер STM32F4 [Електронний ресурс] – 2023. –. Режим доступу до ресурсу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f4-series.html>

9. Лелюх, О.М. Автоматизована система стабілізації кулеметної турелі; робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 151 – автоматизація

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

та комп'ютерно-інтегровані технології / наук. кер. П. В. Леонт'єв. Суми : Сумський державний університет, 2022. 63с.

10. Jimenez-Fernandez, A., Jimenez-Moreno, G., Linares-Barranco, A., Dominguez-Morales, M.J., Paz-Vicente, R., Civit-Balcells, A.A. (2010). Building blocks for spikes signals processing. Proc. 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2018) (pp. 1-8).

11. Стриженок Д.О.; Левковський О.В.; Леонт'єв П.В.; Завдання до розробки системи керування модуля спостереження на рухомій платформі; ІМА-2023; Суми.

12. Леонт'єв П. В., Левковський О. В., Лелюх О. М., Машенцов М. О Ідентифікація моделі координатного позиціонування модуля спостереження; АКІТ-2023; Київ.

13. Gümüřay, Ö.: Intelligent stabilization control of turret subsystems under disturbances from unstructured terrain. Master thesis, METU, Ankara, Turkey, p. 2 (2006).

14. Rahmat, M.S.; Hudha, K.; Idris, A.M.; Amer, N.H.: Sliding mode control of target tracking system for two degrees of freedom gun turret model. Adv. Mil. Technol. 11(1), 13–28 (2016).

15. Tatar, A.B., Tařar, B. & Yakut, O. A Shooting and Control Application of Four-Legged Robots with a Gun Turret. Arab J Sci Eng 45, (2020).

16. D. Purwanto, D. Prasetyawan and M. Rivai, "Development of auto tracking and target locking on static defence based on machine vision," 2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic), Semarang, Indonesia, 2016.

17. Ahmet Burak Tatar, Alper Kadir Tanyıldızı, Oğuz Yakut, Four-legged hunter (FLH) robot: design and shooting control to moving targets with SMC, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 104, 2020.

18. S. Lee, G. G. Ortiz, J. W. Alexander, A. Portillo and C. Jeppesen, "Accelerometer-assisted tracking and pointing for deep space optical communications," 2001 IEEE Aerospace Conference Proceedings (Cat. No.01TH8542), Big Sky, MT, USA,

					СУ-91 6.15101.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

19. Cheng-Shung Yeh, Li-Chen Fu, Jung-Hua Yang, Nonlinear Adaptive Control of a Two-Axis Gun-Turret System with Backlash, IFAC Proceedings Volumes, Volume 29, Issue 1, 1996.

20. Ahmet Can Ceceloglu, Tulay Yildirim Modeling and Simulation of Turret Stabilization with Intelligent Algorithms, Procedia Computer Science, Volume 154, 2019.

					<i>СУ-91 6.15101.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		3