

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

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

Індивідуальний дослідницький проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інтегровані інформаційні системи»

спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: «Система керування стабілізацією прицілювання гарматного

озброєння»

Виконала:

студентка IV курсу, групи ІА-83

Алтуніна Марія Леонідівна _____

Керівник:

Доцент кафедри ІСТ

Писаренко Андрій Володимирович _____

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

Студентка _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інтегровані інформаційні системи»

ЗАВДАННЯ

на індивідуальний дослідницький проєкт студенту

Алтуніній Марії Леонідівні

1. Тема проєкту « Система керування стабілізацією прицілювання гарматного озброєння », керівник проєкту доцент Писаренко Андрій Володимирович.
2. Термін подання студентом проєкту: 15 червня 2022 року
3. Вихідні дані до проєкту: точність здійснюваного пострілу, стабільне переміщення гармати танка, мінімізація похибок при русі гармати.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, огляд та аналіз існуючих рішень, розроблення та опис структурної схеми, розроблення та опис функціональної схеми, розрахунки та моделювання роботи пристрою, висновки, перелік використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу: схема структурна, схема функціональна, модель системи із нечітким регулятором, модель системи з ПІД-регулятором, результати моделювання системи.
6. Дата видачі завдання 1 грудня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналіз предметної області	02.05	
2.	Огляд існуючих рішень	09.05	
3.	Розробка й опис структурної схеми	16.05	
4.	Розробка й опис функціональної схеми	23.05	
5.	Розрахування й моделювання моделі системи	30.05	
6.	Виконання графічних документів	06.06	
7.	Оформлення пояснювальної записки	13.06	
8.	Подання ІІІ на основний захист	20.06	

Студент

Марія АЛТУНІНА

Керівник

Андрій ПИСАРЕНКО

АНОТАЦІЯ

Алтуніна М.Л. Система керування стабілізацією прицілювання гарматного озброєння. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2022.

Пояснювальна записка складається з 4 розділів, 60 с. тексту, містить 26 рисунків, 1 таблицю, посилання на 20 літературних джерел та 6 креслеників.

Ключові слова: стабілізація, гармата, танк, башта, постріл, гарматне озброєння.

Об'єктом дослідження є система керування стабілізацією прицілювання гарматного озброєння.

Мета – підвищення точності влучання гарматного озброєння за рахунок системи стабілізації гармати.

У дослідницькому проєкті було розглянуто декілька методів регулювання двигуна, що здійснює рух гармати до цілі (нечіткий регулятор та ПД-регулятор), а також проведено аналіз роботи кожного з них. Було розроблено структурну та функціональну схему системи стабілізації. Також були побудовані моделі системі для порівняння роботи регуляторів.

Отримані результати можуть бути корисними як у побудові систем стабілізації у масовому виробництві з подальшою реалізацією, так і для майбутніх розробках на базі проведеного дослідження.

SUMMARY

Altunina ML Cannon weapon aiming stabilization control system. KPI Igor Sikorsky, Kyiv, 2022.

The explanatory note consists of 4 sections, 60 p. text, contains 26 figures, 1 table, references to 20 references and 6 drawings.

Keywords: stabilization, cannon, tank, tower, shot, cannon weapon.

The object of the study is the control system for stabilizing the aiming of cannon weapons.

The goal is to increase the accuracy of cannon firearms due to the cannon stabilization system.

The research project considered several methods of regulating the engine that moves the gun to the target (fuzzy regulator and PID-regulator), as well as an analysis of each of them. The structural and functional scheme of the stabilization system was developed. Models of the system for comparing the operation of regulators were also built.

The obtained results can be useful both in the construction of stabilization systems in mass production with subsequent implementation, and for future developments based on the study.

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. аркушів	Номер екзем.	Примітка
1			<u>Документація загальна</u>			
2						
3			Знову розроблена			
4	A4	IA83.010БАК.003 ПЗ	Пояснювальна записка	60		
5	A3	IA83.010БАК.003 Э1	Система керування	1		
6			стабілізацією прицілювання			
7			гарматного озброєння. Схема			
8			структурна			
9	A3	IA83.010БАК.003 Э2	Система керування	1		
10			стабілізацією прицілювання			
11			гарматного озброєння. Схема			
12			функціональна			
13	A3	IA83.010БАК.003 Д1	Система керування	1		
14			стабілізацією прицілювання			
15			гарматного озброєння.			
16			Модель системи із нечітким			
17			регулятором			
18	A3	IA83.010БАК.003 Д2	Система керування	1		
19			стабілізацією прицілювання			
20			гарматного озброєння.			
21			Модель системи			
22			з ПІД-регулятором			
23	A3	IA83.010БАК.003 ДЗ	Система керування	1		
24			стабілізацією прицілювання			
25			гарматного озброєння.			
26			Результати моделювання			
27						
28						

IA83.010БАК.003 ТП

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Алтуніна			Система керування стабілізацією прицілювання гарматного озброєння.	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівн.		Писаренко				Т	1	2
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затв.						Група IA-83		

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. аркушів	Номер екзем.	Примітка
1			<u>Документація загальна</u>			
2						
3			Знову розроблена			
4	A3	IA83.010БАК.003 Д4	Система керування	1		
5			стабілізацією прицілювання			
6			гарматного озброєння.			
7			Результати моделювання			
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						

IA83.010БАК.003 ТП

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Алтуніна			Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівн.		Писаренко			Т	2	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затв.					Група IA-83		

Система керування
стабілізацією прицілювання
гарматного озброєння.

**Пояснювальна записка
до індивідуального дослідницького проєкту
на тему: «Система керування стабілізацією
прицілювання гарматного озброєння»**

Київ – 2022 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, АБРЕВІАТУР ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	7
1.1 Стабілізатор танка	7
1.2 Керовані модулі зброї польської гармати	12
1.3 Башта LODACS.....	19
2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	24
2.1 Датчики.....	24
2.1.1 Датчик кута повороту башти.....	24
2.1.2 Датчик кута нахилу гармати	24
2.1.3 Датчик кутового переміщення люльки	25
2.1.4 Датчик дульної вібрації танка.....	25
2.1.5 Акселерометри.....	26
2.2 Інтерфейси.....	27
2.2.1 І ² С.....	27
2.3 Виконавчі пристрої.....	29
2.3.1 Блоки приводу	29
2.3.2 Електродвигуни для зміни положення гармати	30
2.3.3 Гідроприводи для зміни положення гармати	31
2.4 Обчислювальний пристрій	32
2.4.1 Блок перетворення.....	32
2.4.2 Керуючий пристрій	33
2.4.3 Блок узгодження.....	34
3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ	35
3.1 Датчики.....	35
3.1.1 Датчик кута повороту башти.....	35
3.1.2 Датчик кута нахилу гармати	36

					IA83.010BAK.003 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система керування стабілізацією прицілювання гарматного озброєння. Пояснювальна записка				
Розробив	Алтуніна								
Перевірив	Писаренко								
Затв.									
					Літ.	Арк.	Аркушів		
					Т	2	60		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Група ІА-83				

3.1.3	Датчик кутового переміщення люльки	36
3.1.4	Датчик дульної вібрації танка	37
3.1.5	Акселерометр	38
3.2	Інтерфейси	39
3.2.1	I2C	39
3.3	Виконавчі пристрої	39
3.3.1	Блоки приводу для контролю дульної вібрації танка	39
3.3.2	Електродвигуни для зміни положення башти по горизонталі	40
3.3.3	Гідроприводи для зміни кута переміщення люльки	41
3.4	Обчислювальний пристрій	42
3.4.1	Мікропроцесор	42
4	РОЗРАХУНКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ	44
4.1	Розроблення моделі двигунів у пакеті MATLAB / Simulink	44
4.1.1	Нечіткий регулятор	45
4.1.2	Вхідні та вихідні функції належності	46
4.1.3	Розроблення нечіткого регулятора	48
4.1.4	ПІД-контролер	49
4.2	Розроблення моделі системи керування у пакеті MATLAB / Simulink	51
4.2.1	Моделювання	51
4.2.2	Моделювання з регулятором швидкості	52
	ВИСНОВКИ	56
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНТИХ ДЖЕРЕЛ	58

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, АБРЕВІАТУР ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CAN – Controller Area Network

I2C – Inter-Integrated Circuit

USB – Universal Serial Bus

АЦП – Аналогово-цифровий перетворювач;

ДДВТ – Датчик дульної вібрації танка

ДКНГ – Датчик кута нахилу гармати

ДКПБ – Датчик кута повороту башти

ДКПЛ – Датчик кута переміщення люльки

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Для точного пострілу необхідно врахувати низку важливих факторів: напрямок вітру, дальність цілі, потужність зброї та ще багато інших. Навіть досвідченому мисливцю для цього потрібно чимало часу, що казати про початківця. Коли мова йде про великогабаритне озброєння – право на помилку немає, адже постріл із танка або САУ, що направлений бодай на декілька градусів від потрібної цілі, може коштувати не тільки матеріальних збитків, як то зруйновані споруди чи рослинність, а навіть життя людей.

Одним з головних членів екіпажу танка є коригувальник вогню, що має за обов'язок згідно наданих вказівок про ціль, здійснити рух гармати до заданої точки, щоб снаряд потрапив точно в ціль. З появою різноманітних датчиків та пристроїв це стало робити набагато легше та швидше.

Механізм стабілізації зазвичай включає в себе пристрій кутового відліку, такий як механічний або оптичний гіроскоп і сервомеханізми. У випадку з танком один сервопривод стабілізує башту, а інший – піднесення гармати. Механізм управління зазвичай має інші функції, такі як застосування підйому та ведення цілі відповідно до її швидкості, що робить його системою керування вогнем, а деякі гармати є повністю автоматичними.

Коли гармата та башта стабілізуються, гармата залишатиметься спрямованою туди, куди був спрямований приціл гармати, незалежно від руху танка, якщо не буде перевищено межі висоти чи зниження. Це дозволило зброї підніматися або опускатися вільно від прицілу, що дозволяло використовувати автоматичне заряджання, де зброя рухається, щоб заряджати, а потім назад, щоб збігатися з прицілом.

На сьогоднішній день стабілізування зброї вийшло на високий рівень та постійно розвивається. Дослідження й розробки у даній області з розвитком автоматизації та можливостями комп'ютерної індустрії є актуальними на світовому рівні та вчені з різних країн вносять свої поліпшення в існуючі аналоги. Дана тема

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи була обрана, щоб внести вклад в розвиток даної області та розробити рішення, що поліпшить систему стабілізації танкового озброєння, що наразі є вкрай важливим.

Для цього в ході роботи була змодельована та протестована модель двигуна з використанням програм для математичного моделювання.

Об'єктом дослідження є система керування стабілізацією гарматного озброєння.

Метою дослідження є підвищення точності влучання гарматного озброєння за рахунок системи стабілізації гармати.

Для досягнення поставленої задачі були вирішені такі завдання:

- огляд предметної області та існуючих рішень;
- розроблення структурної та функціональної схеми системи, що допоможуть у виділенні основних елементів управління;
- розроблення моделі системи у пакеті MATLAB / Simulink;
- аналіз роботи моделі системи згідно отриманих в ході дослідження результатів.

Дослідницький проєкт складається з таких розділів: вступ, огляд існуючих рішень, розроблення та опис структурної схеми, розроблення та опис функціональної схеми, розроблення моделі системи, висновки, перелік використаних джерел із 20 найменуваннями, графічна частина складається з 6 креслеників.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Стабілізатор танка

Дана система управління утримує вісь каналу ствола під бажаним візирним кутом. Для контрольної задачі стабілізатора у разі невизначених параметрів для проектування вертикального резервуара вводиться адаптивний метод управління з нелінійною динамічною моделлю вертикального стабілізатора.

У конструкції наявний множинний параметр невизначеності гідравлічної сервосистеми, а керування лінійним зворотним зв'язком використовується для покращення асимптотичної стійкості системи.

Дана розглянута динамічна модель танка на ходу на основі теорії багатокорпусних систем, террамеханіки транспортного засобу і динаміка пуску зброї.

Адаптивний метод управління може ефективно контролювати дульну вібрацію танка на ходу, і це може задовольнити вимогу фактичної вертикальної стабілізації й точності.

Параметри керування ПІД-регулятором, використаним у даному прикладі, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – параметри ПІД-контролера

K_p	K_i	K_d
160	20	0.2

Але деякі нелінійні фактори, такі як гнучкість ствола, серйозно вплинуть на бажану точність стабілізації вертикального стабілізатора танка.

Порівняння між керуючими силами адаптивного керування та ПІД-регулювання показано на рисунку 1.1.

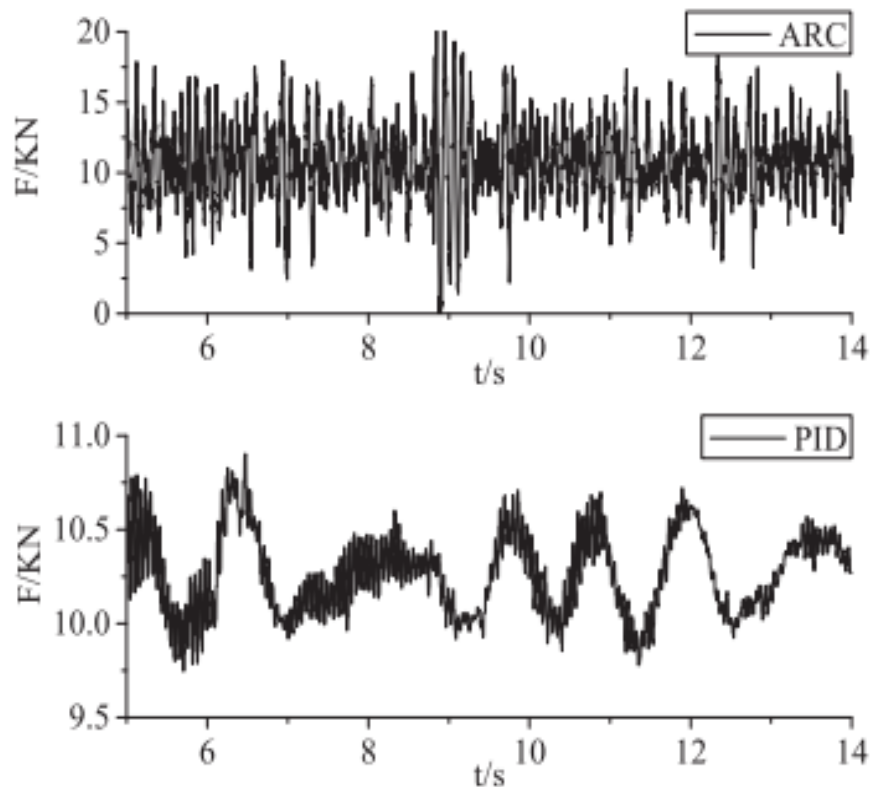


Рисунок 1.1 – Порівняння керуючих сил між змінним струмом і ПІД-контролером. ARC: адаптивне керування; PID: пропорційно-інтегрально-похідне [1]

Спектральна щільність потужності висоти дульного зрізу кутового прискорення з ПІД-регулюванням показано на рисунку 1.2 Порівнявши з рисунком 1.3, можна виявити, що хоча енергії вібрації на різних частотних компонентах не однакові, енергія дульної вібрації маршового танка в основному розподіляється близько 20 Гц, 35 Гц, 50 Гц і 80 Гц, а також енергія вібрації на низькочастотній складовій близько 20 Гц є найбільшою.

В ході проведеного порівняння між адаптивним контролем та пропорційно-інтегрально-похідним керування можемо спостерігати ефективність методу адаптивного керування.

Даний огляд допоможе в подальшому виявити способи для підвищення точності стрільби танка.

Наступні малюнки допоможуть впевнитися у дієвості методу адаптивного керування.

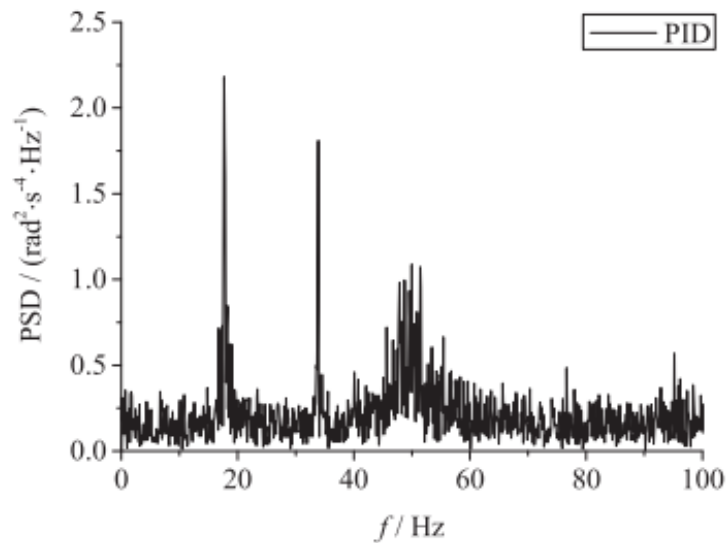


Рисунок 1.2 – Спектральна щільність потужності кутового прискорення підйому дульного зрізу з ПД-регулюванням. ПД: пропорційний-інтегральний-похідний [1]

Частотні діапазони пікових частот, як видно з рисунків, приблизно однакові.

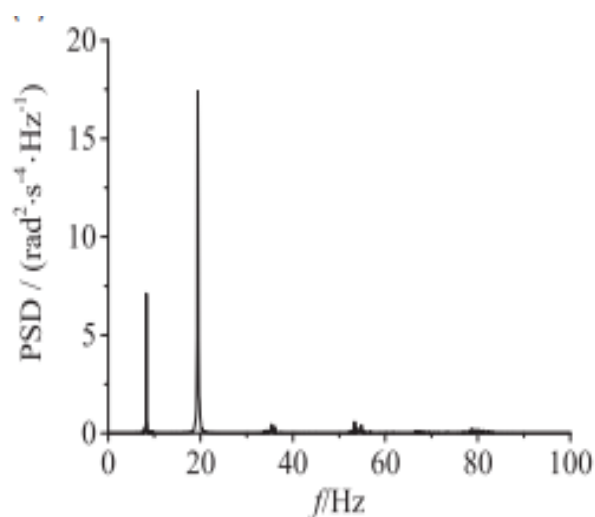


Рисунок 1.3 – Спектральна щільність потужності кутового прискорення підйому з адаптивним керуванням дула [1]

Кутові переміщення люльки і дула танка на ходу під управлінням методом ПД-регулятора показані на рисунку 1.4.

Від амплітуди коливань люльки і дульної частини під контролем АС методом значно зменшуються порівняно з таким методом ПД-контролю.

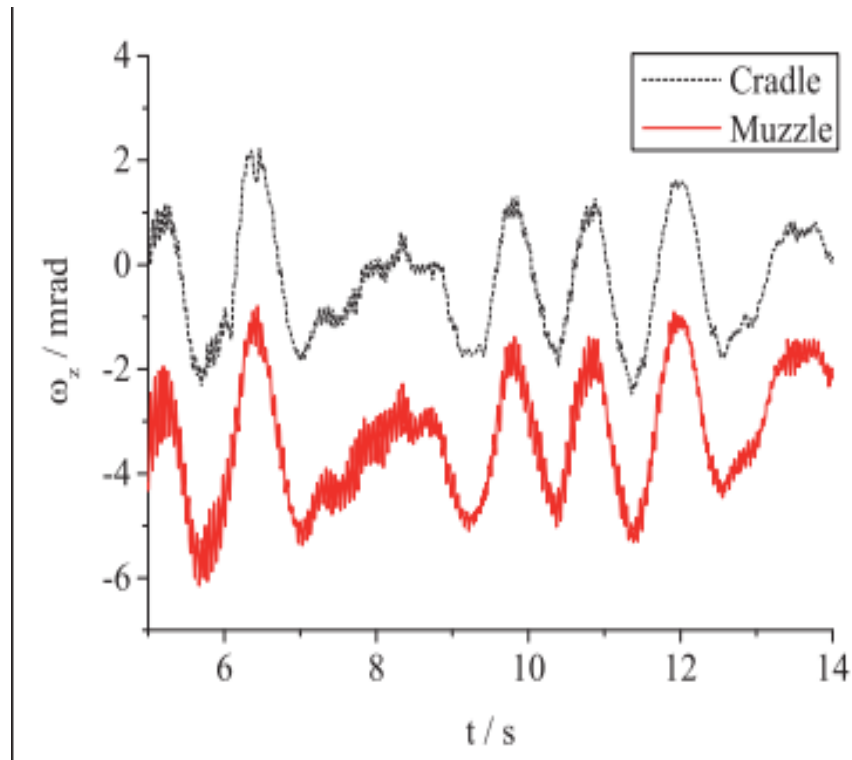


Рисунок 1.4 – Порівняння кутового переміщення місця між соплом і люлькою [2]

Точність вертикальної стабілізації опори зменшується на 50,00% з 0,98 мрад до 0,49 мрад і точність вертикальної стабілізації дула зменшується на 53,57% з 3,36 мрад до 1,56 мрад.

Очевидно, що точність стабілізації покращена, тому адаптивний контролер має краще відстеження продуктивність, ніж PID-регулятор.

Крім того, можна виявити, що частота проходження зброї стрілецьких воріт під керуванням ПД-регулятора вища порівняно з методом під контролем адаптивного контролера.

Очевидно, це також не сприяє забезпеченню точності стрільби танкової стрільби по рухомих об'єктах.

Перевагами даного рішення є жорстко-гнучке зчеплення динамічної моделі танка на ходу встановлюється в цьому прикладі разом із вертикаллю.

Контролер стабілізатора розроблений з використанням метода змінного струму. Численні невизначеності параметрів, такі як гідравлічна сервосистема, повністю розглянуті.

Лінійне керування зворотним зв'язком використовується для покращення асимптотичної стійкості системи.

Через імітаційний експеримент порівняння з традиційним методом PID контролю, як показують результати, контролер стабілізатора танка розроблений з методом змінного струму може керуватися вертикальною вібрацією гармати.

Танк на ходу ефективніше, ніж запроєктований з методом PID-регулювання. Він має велику стабільність і точність вертикальної стабілізації (близько 0,49 мрад), може задовольнити високі вимоги стабільності.

Крім того, це може ефективно знизити швидкість пострілу. Отже, саморегулювання параметрів онлайн контролера здійснене, а дослідження дає можливість розробити спосіб підвищення точності стрільби танка на ходу.

Недоліками є деякі нелінійні фактори гармати, як то система гнучкості ствола, будуть серйозно впливати на бажану точність стабілізації вертикального бака стабілізатора.

Це не сприяє підвищенню точності танкової стрільби по об'єктам, що рухаються, і для вирішення необхідні більш глибокі дослідження цієї проблеми.

Крім того, проблема зчеплення снаряда зі стволом при стрільбі танка на ходу та розрахунок точки удару на основі зовнішньої балістики є центром подальших досліджень.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Керовані модулі зброї польської гармати

Основною складовою зброї, що використовується в сучасних бойових машинах, є дистанційно або вручну керовані модулі зброї, в яких один з основних елементів, що визначають правильність реалізації процесу попадання, включаючи ефективність динамічної стрільби (у русі), є системою стабілізації зброї [3].

З моменту введення в Збройні сили Польщі БТР Rosomak з ОТО Melara турельної системи, яка оснащена 30-мм автоматичною гарматою МК44 Bushmaster, стабілізованою в двох площинах, видно, що потреби сухопутних військ свідчать про те, що стабілізація системи стає невід'ємною частиною модулів зброї. Це також підтверджує проєкт, реалізований у польській збройовій промисловості, де кінцевий продукт має бути дистанційно керована 30-мм турельна система (ZSSW) (рисунок 1.5)



Рисунок 1.5 – турельна система ZSSW [3]

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Модулі зброї, також звані баштовими модулями, якими можна керувати вручну або дистанційно називаються також безпілотними і пілотованими. Як вручну, так і дистанційно турельні системи можуть бути оснащені системою стабілізації зброї.

Системи зброї, керовані вручну, керуються персоналом за допомогою подібних маніпуляторів як і в дистанційно керованих системах, але персонал розташовується в баштовому кошику, а керуючі сигнали передаються безпосередньо на керовані пристрої за допомогою джгутів кабелів [4].

Дистанційно керовані системи зброї також керуються особовим складом за допомогою маніпуляторів, але сигнали керування надходять на приводи через, наприклад, поворотний контакт або оптичний роз'єм, а конструкція дистанційно керованої системи не містить башти, оскільки сидіння оператора (відсік управління, прицільний відсік) може бути в будь-якому місці транспортного засобу.

Нижче наведено основні елементи прикладу дистанційно керованої системи зброї:

- основа (основна плита вежі), яка об'єднує вежу з кузовом транспортного засобу;
- поворотно-контактний роз'єм для передачі сигналів зсередини автомобіля на зовнішні компоненти або навпаки (технологічно просунуті системи, оптичні лінії зв'язку, що використовуються);
- люлька, елемент конструкції, що використовується для кріплення зброї;
- оптико-електронна головка – до нього також можна встановити;
- механізм перезарядження;
- основне та допоміжне озброєння;
- оптико-електронні головки для виявлення, розпізнавання та ідентифікації об'єктів (цілей) в різних погодних умовах і для вимірювання відстаней;
- модуль живлення, блок, який постачає компоненти системи, а також дозволяє компонентам працювати з піками напруги у фіксованому діапазоні;

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- блок приводу, електродвигуни (або гідроприводи) для повороту башти в азимутальній площині та площині висоти, а також допоміжні приводи для зміни положення вежі;
- монітор;
- блок управління, компонент маніпулятора, який використовується оператором для наведення зброї до цілі;
- система стабілізації – це система, встановлена всередині транспортного засобу та вежі.

Оператор використовує маніпулятор під час наведення зброї на ціль із системою стабілізації має можливість проводити більш точний та ефективний вогонь під час руху транспортного засобу по нерівній поверхні.

У результаті аналізу літератури та ринку зброї можна зробити висновок, що поділ і класифікація баштових систем середнього і великого калібру за балістичним також зроблено захист (рисунок 1.6). Такий поділ пояснюється тим, що в пілотованих баштових системах, оператор часто знаходиться над верхньою плитою кузова транспортного засобу, і саме оператор був захищений, тоді як у безпілотних системах оператор знаходиться під поверхнею цієї пластини; однак, також необхідно використовувати блоки керування на верхній плиті кузова автомобіля та додаткове бронювання зовнішніх елементів баштової системи.

Представлений підрозділ був розроблений у 2009 році і не проходив кваліфікацію дистанційно та вручну [5].

Керовані системи зброї меншого калібру, напр. 5,56 мм, 7,62 мм і 12,7 мм, які завжди розташовані на верхній пластині кузова автомобіля, як балістично захищені. однак, тепер можна зробити висновок, що вони відповідають критеріям, які мають вважатися захищеними, як і більшість виробників гарантують, що необхідне бронювання може бути додано для захисту системного обладнання поза кузовом.

Додаткове бронювання системи значно збільшує вагу системи, що збільшує інерцію переважно в азимутальній площині; кінцевим ефектом є погіршення

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

технічних параметрів (наприклад, максимальних швидкостей наведення броні та роботи системи стабілізації, що також обмежує можливість повного використання стрільби й продуктивність, яку повинна мати система).

Дуже важливий критерій поділу, який не враховувався, а повинен бути, адже це дуже важливо з точки зору безпеки екіпажу, є можливість завантаження боєприпасів зсередини та зовні транспортного засобу. Ця функція має дуже значний вплив на захист та безпеку екіпажу. Цей параметр врахували поляки у консорціумі, що реалізує проєкт ZSSW.

Тому охорона, що розглядається лише з точки зору балістичного захисту, є недостатньою і має розглядатися в основному з точки зору захисту членів екіпажу. Балістичного захисту лише елементів системи, схоже, немає цілком виправдано, тому що люди є найважливішою ланкою.

Система стабілізації зброї (рисунок 1.6) є основним відповідальним елементом системи башт для правильного виконання процесу ударів під час руху.

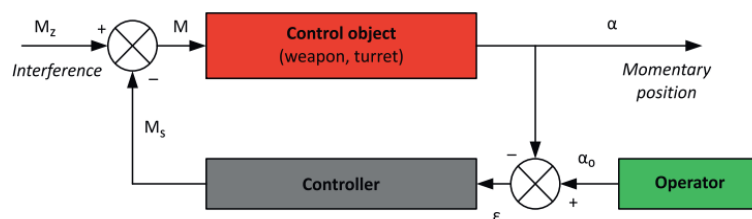


Рисунок 1.6 – Базова діаграма системи стабілізації [5]

Загалом, це автоматична система керування прицільною лінією, завданням якої є підтримання заданої лінії прицілювання оператора під час введення балістичної інформації на вхід контролера.

Аналіз базової схеми системи стабілізації свідчить про те, що параметри важливі для оцінки реалізації влучного процесу при збереженні необхідної ефективності вогню, що виводить з ладу є:

- зміни кутового нахилу ствола по висоті з часом $\alpha(t)$;
- зміни кутового відхилення ствола по азимуту за час $\beta(t)$;

- зміни кутового нахилу тіла на висоті з часом $\alpha_k(t)$;
- зміни кутового відхилення тіла по азимуту за час $\beta_k(t)$.

Прогресивний розвиток систем стабілізації озброєння дав можливість розділити їх відповідно до покоління використовуваної системи стабілізації. Однак є лише одна з цілей використання систем стабілізації у військовій техніці, незалежно від їх покоління: досягти найменшого можливого відхилення зброї від лінії прицілювання. Таким чином, досягнути найменше значення можна використавши:

- кутовий нахил ствола по висоті за час $\alpha_l(t)$ від очікуваного;
- кутове відхилення ствола по азимуту за час $\beta_l(t)$ від очікуваного

значення.

Спочатку стабілізатори використовувалися в корабельних гарматах. У танковій техніці спочатку незрілі конструкції стабілізаторів використовували в американських легких танках M2A2E3 в 1938 році, в танках M3 в 1941 році, а пізніше в середніх танках M4. Деякі танки M4 також були оснащені азимутною стабілізацією гармати. Однак першою визнаною двоплощинною системою стабілізації була та, що використовувалася в британському швидкісному танку Centurion, виготовленому в 1945-1962 роках [6].

Розроблення систем стабілізації зброї з 1938 р. до наших днів дозволила поділити її на покоління. Незважаючи на загальноприйнятий поділ на автоматично керовані системи (диференційна, пропорційно-диференційована, пропорційно-диференційована-інтегруюча), поділ систем стабілізації зброї такий:

системи 1-го покоління:

- модифіковані системи 1-го покоління;
- системи 2-го покоління;
- модифіковані системи 2-го покоління;
- системи 3-го покоління,
- модифіковані системи 3-го покоління,
- системи 4-го покоління.

					IA83.010БАК.003 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

Запропонований поділ є результатом в основному розробки поколінь танків, які автор не згадав у своїй роботі, але обраний напрямок явно виправданий, оскільки в основному озброєння та його можливості визначають вогонь танка й його продуктивність. Тому цей поділ продовжується з модифікованими системами 3-го покоління і системи 4-го покоління.

В принципі, можна припустити, що основні відмінності між різними поколіннями є результатом типу датчиків і кількості вимірюваних значень, які використовуються для підтримки процесу наведення зброї.

Оскільки системи 4-го покоління є сучасними системами, вони будуть описані в цій статті.

Системи стабілізації 4-го покоління реалізують два види бойової готовності, в яких навідник вміє використовувати так звані дві «стабілізаційні петлі». Перший – «прикріпити зброю до прицільного пристрою», другий – «прикріпити приціли до зброї (вісь ствола)». Звичайно, системи 4-го покоління також мають системи стабілізації зображення, автоматичний трекер і режим «мисливець-вбивця».

Режим «мисливця-вбивці» полягає в тому, що командир знаходить і ідентифікує ціль і, як тільки він вирішує її знищити, передає її захоплене зображення на дисплеї навідника, який продовжує точно стежити за нею і має можливість використовувати вогонь по цілі. Наявність режиму «мисливець – вбивця» є відмінною рисою найсучасніших танків.

Також важливо мати функцію автоматичного відстеження, тобто автоматичного відстеження вибраної цілі.

Функція автоматичного відстеження в сучасних системах доступна як для командира, так і для навідника, тому командир може пройти повз захоплену ціль в режимі автоматичного супроводу навіднику для подальшого супроводу [19].

У режимі з'єднання гармати з прицілом функції переміщення лінії прицілювання генеруються автоматично як відповідь на всі ненавмисні зміни просторової орієнтації прицілу. Двоосьова стабілізація прицільної лінії керується внутрішнім сервоконтролем, що вбудований в блок управління. Контур управління

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

керується реакцією на динаміку спрямованих гіроскопів, які вимірюють кутові відхилення лінії візування та кутову швидкість зміни основної зброї.

У разі кутового відхилення більше необхідного значення навідник не в змозі відкрити вогонь. Додатково під час здійснення процесу удару кутова швидкість руху гармати і вежі вимірюється; якщо швидкість вище потрібної і не є збігом лінії прицілювання з віссю ствола, навідник також не в змозі відкрити вогонь або може зробити це, але постріл буде неефективним.

Стабілізація в вищезгаданих системах досягається шляхом передачі сигналу швидкості на контур управління як компенсація перешкод, вимірних гіроскопами. Сигнали для переміщення зброї по азимуту і висоті виводяться з інформації, пов'язаної зі змінами прицільних ліній та інформації з гіроскопів. Гармата до прицілу у режимі зв'язування є основним режимом роботи систем стабілізації зброї 4-го покоління і більш точним за рахунок меншої інерції оптичних елементів і кращого балансу.

Режим прив'язки прицілу до ствола є додатковим режимом і використовується в разі несправності першого режим. У цьому режимі прицільна лінія слідує за зброєю, вносячи лише корективи пов'язані з балістичною компенсацією.

У якості переваг даного рішення виступають безперервний розвиток систем стабілізації зброї визначається безперервністю розвитку технології, що використовується при побудові модулів зброї.

Проведення піонерської роботи польською збройовою промисловістю на розробку сучасної дистанційно керованої турельної системи виправдовує розробку інноваційний методів тестування, які дозволяють провести комплексну перевірку баштових модулів задля збереження відносно низьких витрат на дослідження.

Дослідження, проведені у 2009-2017 рр. співробітниками Військового інституту Технологій бронетанкової та автомобільної техніки дозволила підготувати аналітичні та теоретичні знання щодо фонового та точного вимірювальне обладнання, що дозволяє оцінити процес попадання в рамках

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

динамічної стрільби на основі виявленої стабілізації зброї параметри роботи системи без використання бойових боєприпасів.

Основними недоліками є те, що протягом багатьох років не було публікацій про безвогневі методи, адекватні та застосовні в процесі перевірки сучасних систем без використання бойових боєприпасів.

Відсутність вищезгаданих методів випробувань викликає необхідність проведення робіт, що можуть призвести до створення нових пристроїв для тестування, а також інноваційних методів тестування, що дозволяють оцінити ці системи або використання технічних параметрів для оцінки їх функціонування.

Те, що науково-дослідницька робота була припинена з десятків років тому, хоча й не виправдана з наукової точки зору, було викликано високими витратами на дослідження таких систем.

1.3 Башта LODACS

Розроблення системи управління вежею можна розділити на три етапи або завдання:

- з підсистемою специфікація компонентів підсистеми силового приводу башти (тобто двигуни, приводи, редуктори, джерела живлення тощо). Ці компоненти повинні відповідати вимогам крутного моменту, швидкості та потужності, встановленим вимогами до продуктивності та робочого середовища конкретної системи зброї;

- виведення закону керування для досягнення бажаної продуктивності з компонентами, зазначеними у завданні 1;

- специфікація та інтеграція електроніки та датчиків, що необхідні для впровадження закону керування силового приводу.

Нижче обговорюються деталі кожного з цих трьох етапів у застосуванні до розроблення башти LODACS та прогресу на сьогоднішній день.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Першим кроком у розробленні системи керування вежею є визначення вимог до продуктивності системи та порушення середовища, в якому система повинна працювати.

Ця інформація потім використовується для визначення силового приводу та компонентів, які реагуватимуть на команди контролера та підтримуватимуть лінію прицілювання, незважаючи на виникаючі при роботі порушення.

Після визначення підсистеми силового приводу також значною мірою визначається кінцева продуктивність системи. Можна вивести закон, який виправлятиме великі помилки, допущені при цьому етапі проєктування.

Теоретично можна вибрати стовпи і нулі керованої лінійної системи за бажанням і таким чином досягти будь-якого бажаного рівня продуктивності. На практиці, однак, нелінійності, а обмеження потужності та крутного моменту завжди обмежують діапазон, у якому характеристики системи можна змінювати за допомогою зворотного зв'язку.

Незважаючи на важливість цього етапу проєктування, часто важко або неможливо визначити точні вимоги до продуктивності або навколишнього середовища. Іноді параметри гармати, вежі і кріплення не повністю визначаються.

Немає загального методу для їх визначення адже вимоги доступні, але спосіб, яким була система LODACS обговорюється, і принаймні служить керівництвом для бою турельних транспортних засобів [7].

Спеціальні вимоги до продуктивності для LODACS були отримані з точності зброї та системи керування вогнем і від знань вимог до інших бойових машин. Управління вежею LODACS система підпорядковує окремо стабілізований приціл. Цільова точка розраховуються зсувом лінії гармати від лінії прицілювання артилеріста комп'ютером управління вогнем, що повинен підтримуватися баштою системи управління.

Основні джерела помилки доставки зброї LODACS системою є розсіювання гармати/боєприпасів, обчислювальна помилка системи керування вогнем та помилка наведення гармати. Очікуваною помилкою управління вогнем є випадкові

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

помилки відомої величини. Вимоги до точності для системи наведення та стабілізації зброї були обрані таким чином, щоб не було повної системної помилки та серйозної деградації.

Загальна задача оптимального керування полягає в тому, щоб визначити елемент керування функцією, такою, щоб асимптотично зростаюча функція вартості, мінімізувалася для будь-якої початкової умови на вектор стану.

Функція вартості – інтеграл за часом від деякої додатно визначеної функції часу, станів системи та функції керування. Для більшості функцій витрат, рішення для оптимального управління є дуже важким, якщо не розв'язна проблема. Є один особливий тип функції вартості, квадратична функція вартості, для якої форма розв'язання добре відома та існують чисельні методи вирішення, що широко доступні.

Результати, отримані в цих дослідженнях, показали, що практично можна отримати квадратичний оптимальний контролер, який працює краще ніж існуючий класичний контролер, задля цього потрібно порівняно небагато інженерних зусиль для проектування, що в подальшому може бути легко реалізовано.

Оптимальний регулятор створює функцію керування, яка керує вектором стану до нуля від деякої початкової умови або підтримується деяким вектором, що встановлюється за наявності зовнішніх збурень.

У багатьох випадках, включаючи контролер башти, насправді бажано, щоб один або кілька станів системи відстежували деякі вхідні команди, наприклад такою є команда стеження навідника. Проблема відстеження може бути легко представлена у вигляді регулятора. За умови стеження можна апроксимувати вихід стабільної лінійної системи від деякої довільної початкової умови. Широкий діапазон сигналів відстеження, включаючи сходинок, рампи, синусоїди та затухаючий експоненціал можна також представити подібним чином.

Реалізацію закону контролю на основі процедури проектування, ймовірно, можна було б реалізувати за допомогою аналогового або цифрового електронного підходу. В даний час аналогова система простіше і менш ризикована для

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

впровадження, ніж цифрова система. Зрештою, єдиний цифровий процесор як для керування вогнем, так і для вежі контролю, швидше за все, буде можливим.

Аналоговий електронний контролер складається з підсилювачів з фіксованим посиленням, інтеграторів, датчиків та електроніки формування сигналу. Зворотній зв'язок регулятора сигналу, сигнал прямої зв'язку трекара та розміщення порушення сигналу з прямим зв'язком можуть бути реалізовані за допомогою підсилювачів з фіксованим посиленням [8].

Для реалізації спостерігача Luenberger потрібні тільки підсилювачі і інтегратори, причому кількість інтеграторів дорівнює числу станів, які підлягають оцінці. Формування сигналу у формі демодуляції, фільтрації, узгодження імпедансу тощо сильно варіюється від системи до системи, оскільки це залежить від типів використовуваних датчиків.

Безсумнівно, знадобляться деякі налаштування задля посилення підсилювача системи, що інтегрується. Після чого стають відомі кінцеві значення параметрів.

Оптимальний контролер, отриманий за допомогою процедури не вимагає компенсаційних мереж у зворотному зв'язку або прямого зв'язку сигналу та електроніки, необхідної для систем такого ж порядку, адже вони є однаковими, за винятком покращення підсилювачів.

Система приводу башти з електричним або гідравлічним приводом часто моделюються як системи приблизно одного порядку (6-10 станів на вісь) (рисунок 1.7).

Тому видається можливим спроектувати єдиний контролер, який можна було б адаптувати до різноманітних прототипів системи приводу за модульною конструкцією, де кількість підсилювачів та інтеграторів може бути різноманітною, або перепроектувати систему включити додаткові підсилювачі та інтегратори.

Головний бар'єр для такого підходу полягає в тому, що вимоги до формування сигналу сильно відрізняються між системами.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

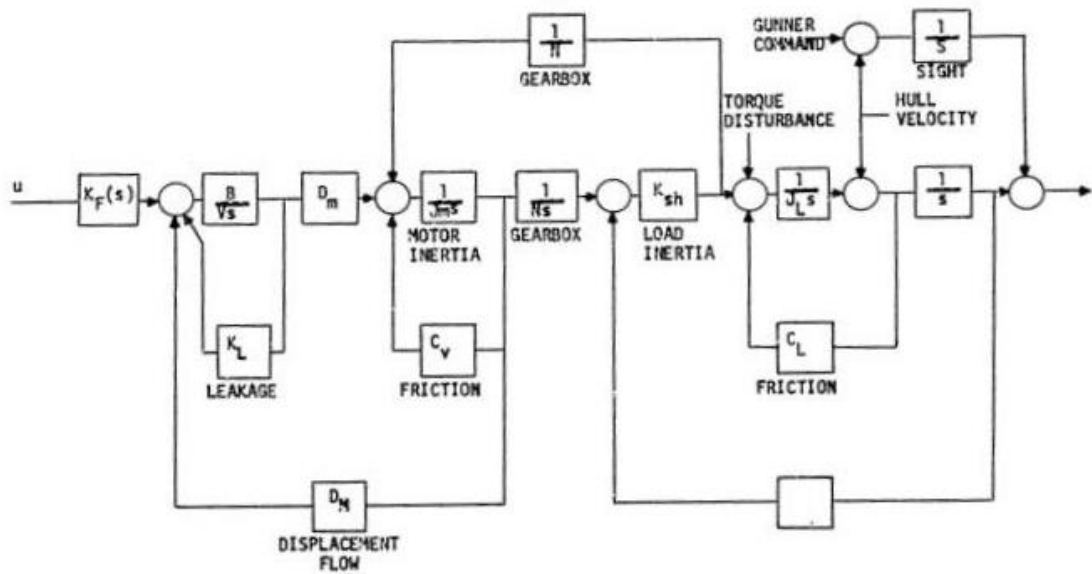


Рисунок 1.7 – Схема моделі гідравлічного привода [8]

Переваги даного рішення полягають у тому, що була змодельована система лише система гідравлічного привода башти та виведенні закони керування, що дозволять використати даний метод для подальших розробок.

Недоліками цієї реалізації є те, що дана програма полягає в тому, щоб реалізувати оптимальний контролер для прецизійного контролера. Технічні умови для продуктивності системи були отримані та оцінені при порушенні середовища.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Структурна схема представлена на листі ІА83.010БАК.003 Э1.

2.1 Датчики

2.1.1 Датчик кута повороту башти

Датчик кута повороту башти – це датчик положення, який визначає кутовий рух башти у досить великому діапазоні. Стоїть він на рульовій колонці між кермом та перемикачем, у деяких випадках – на рульовому вузлі.

Виходячи з функціональних потреб певного транспортного засобу, подібний датчик може зафіксувати ряд параметрів [9]:

- відносний кут повороту;
- напрямок повороту.

Отримана інформація надходить до блоку управління, який передає її в подальшому в різні системи. Завдяки цьому система функціонує коректно.

2.1.2 Датчик кута нахилу гармати

Датчики нахилу – це датчики, які вимірюють нахил об'єктів у площині по осях x та y (+ і -). Для цих датчиків з одинарною або подвійною віссю можна вимірювати показання вимірювання кута нахилу від 0° до $\pm 90^\circ$. Датчики з типом вихідного сигналу CAN open дають можливість робити виміри з точністю до $\pm 0,1^\circ$. Завдяки інтегрованій осьовій чутливості, вплив осей одна на одну зменшується аж до мінімального показника. Датчики такого можуть працювати у зовнішньому середовищі завдяки високому класу захисту.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Датчик кутового переміщення люльки

Люлька – конструкційний елемент артилерійського лафета, призначений для з'єднання його з гарматним стволом та напрямком руху ствола при відкаті та накаті під час стрільби. Об'єднуючись з тими частинами артилерійської системи, які розташовуються на люльці, вона утворює частину зброї, що хитається.

Датчик кутового переміщення люльки призначений для вироблення сигналу, пропорційного куту осі гармати, і представляє собою вертикаль гіроскопа. При відхиленні вертикальної осі корпусу від вертикалі з датчика знімаються сигнали, які у вигляді напруги змінного струму подаються в блок керування для вироблення поправки до кутів прицілювання і бічного упередження на крен осі цапф гармати. Встановлюється даний датчик за допомогою чотирьох амортизаторів, таким чином, щоб його вертикальна вісь знаходилась паралельно до осі обертання башти відносно корпусу.

2.1.4 Датчик дульної вібрації танка

Вібродатчики за характером та масштабами зміни вібрації надають можливість відслідковувати коливання. Використання отриманих даних дозволяє точно діагностувати обладнання та вчасно раціонально усувати дефекти, що виникають.

Завдяки вбудованому чутливому елементу, встановлений на обладнанні датчик перетворює механічні коливання різних агрегатів в пропорційні електричні сигнали.

У конструкцію будь-якого датчика вібрації входять:

- віброперетворювач – блок, призначений для перетворення механічного вібраційного руху на електричний сигнал;
- в залежності від механізму перетворення можна розрізнити моделі оптичні й п'єзоелектричні, а також та вихроструміві;

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- електронний блок для прийняття, розшифровки та обробки сформованого електросигналу та виведення інформації із зовнішнього інтерфейсу; сьогодні, зазвичай, включає АЦП, що дозволяє проводити обробку даних у цифровому вигляді.

2.1.5 Акселерометри

Датчик прискорення (акселерометр) прилад, який вимірює проєкцію прискорення (різниці між істинним прискоренням об'єкта і гравітаційним прискоренням). Як правило, акселерометр є чутливою масою, закріпленою в пружному підвісі. Відхилення маси від її первісного становища за наявності прискорення несе інформацію про величину цього прискорення [10].

Принцип роботи акселерометрів заснований на вимірюванні зміщення інерційної маси щодо корпусу та перетворенні його на пропорційний електричний сигнал. Ємнісний метод перетворення вимірюного переміщення є найбільш точним та надійним.

Структура ємнісного акселерометра складається з різних пластин, одні з яких є стаціонарними, інші вільно переміщуються всередині корпусу. Між пластинами утворюється конденсатор, величина ємності якого залежало від відстані між пластинами. Під впливом прискорення ємність конденсатора починає змінюватись.

Сучасні інтегральні датчики виготовляються на кристалі кремнію за технологією iMEMS (integrated Micro Electro Mechanical System). Структура датчика є кремнієвою підкладкою, на якій розташований чіп, датчики, схема посилення сигналу.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Інтерфейси

2.2.1 I²C

I²C (Inter-Integrated Circuit) – послідовна шина даних для зв'язку, що використовує дві лінії зв'язку, що є двонаправленими (SDA та SCL). Найчастіше використовується для задачі поєднання периферійних компонентів з низькою швидкістю з материнською платою, системами, що вбудовуються, і мобільними телефонами.

Іноді цю шину називають "квадратичною" або "квадратною" або "Ай-Ту-Сі".

Мікроконтроллер – це провідний елемент (Master1) - ним може бути процесор. Може бути представлений у вигляді 3 ведених переферійних елементів Slave В якості Slave можуть виступати пам'ять, ЦАП, АЦП та ін. До шини може бути підключено до 127 пристроїв [13].

Процесор із пам'яттю з'єднаний у цьому випадку по двох шинах:

- SDA (Serial DATA) – шина послідовної передачі даних. Дані щодо цієї шині можуть передаватися у двох напрямках;

- SCL (Serial Clock) – шина по якій йде тактування шини даних. Шина синхронізації даних. Вона також визначає, у який момент куди підуть дані. У схемі Master-Master першим бітом визначається хто займе головну роль.

Швидкість передачі даних. Оскільки передаються по 1 біту за 1 такт, швидкість передачі даних становить 1/8 від тактової частоти.

Кожен пристрій, який підключений до шини, може адресуватися програмно за унікальною адресою. Для вибору приймача повідомлення ведучий використовує унікальну адресну компоненту у форматі посилки. При використанні пристроїв одного типу ІС часто мають додатковий селектор адреси, який може бути реалізований у вигляді додаткових входів цифрового формату селектора адреси або ж у вигляді аналогових входів.

При цьому адреси таких однотипних пристроїв знаходяться в адресному просторі пристроїв що підключені до шини.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Процедура адресації на шині I²C у тому, що перший байт після сигналу розпочати роботу визначає, який ведений елемент адресується провідним елементом щодо циклу обміну. Виняток становить адресу «Загального дзвінка», яка адресує всі пристрої на шині. Коли використовується ця адреса, всі пристрої теорії повинні надіслати сигнал підтвердження. Однак пристрої, які можуть обробляти «загальний виклик», зустрічаються рідко.

Перші 7 бітів 1го байта утворюють адресу веденого. Молодший восьмий біт, визначає напрямок куди пересилатимуться дані. "Нуль" означає, що ведучий буде записувати інформацію в обраного веденого. "Одиниця" означає, що ведучий зчитуватиме інформацію з веденого.

Після того, коли адреса вже надіслана, кожен з пристроїв в системі порівнює перші біти після сигналу старт відносно своєї адреси. Якщо дані збігаються, пристрій вважається обраним як ведений-приймач чи ведений-передавач, залежно від напрямку біта.

Адреса веденого зазвичай складається з фіксованої й програмованої частини. Часто трапляється так, що в системі існує кілька пристроїв одного типу (наприклад, ІМС пам'яті або драйверів світлодіодних індикаторів), тому за допомогою частини адреси, що програмується, стає можливим підключення до шини максимальної можливої кількості такого роду пристроїв. Кількість програмованих біт на адресу залежить кількості вільних висновків мікросхеми. Іноді використовується один висновок із аналоговою установкою програмованого діапазону адрес. При цьому, залежно від потенціалу на цьому адресному висновку ІМС, є можливість змістити адресний простір драйвера таким чином, щоб ІМС одного типу не конфліктували між собою на шині.

Як впливає зі специфікації шини, допускаються як прості формати обміну, і комбіновані, як у проміжку від стану старт до стану стоп провідний і ведений можуть і як приймач, як і передавач даних.

Під час першого байта даних можна передавати адресу пам'яті, що записується у реєстр-засувку внутрішнього розміщення. Після повторення сигналу

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

старт та адреси веденого видаються дані з пам'яті. Усі рішення про авто-інкремент або декремент адреси, до якого стався попередній доступ, приймаються конструктором конкретного пристрою [14].

У будь-якому випадку за специфікацією шини всі пристрої, що розробляються, повинні скидати логіку шини при отриманні сигналу старт і готуватися до приймання адреси.

2.3 Виконавчі пристрої

2.3.1 Блоки приводу

Привод (він же силовий привід) – сукупність пристроїв, призначених для приведення в дію машин та механізмів (або їх частин). Є тим, що виконує роботу з перетворення одного типу енергії на інший і передає цю енергію виконавчому механізму. Те, що наводить виконавчий механізм у рух, є свого роду «вставкою» між приводним двигуном і навантаженням (машиною або механізмом, рушієм) і виконує ті ж функції, що й механічна передача.

У сьогоднішні часи в автоматичних гарматах типу БМП застосовуються два способи:

- відведення частини порохових газів;
- зовнішній привід (як правило, за допомогою електродвигуна).

Популярність систем із зовнішнім приводом пояснюється їх перевагами відносно систем з газовідвідною автоматикою:

- незалежність роботи автоматики від виду боєприпасів і ступеня забруднення ствола і газовідвідних каналів;
- велика надійність і безпека (імовірність здійснити випадковий постріл зведена до мінімуму);
- можливість стабільного регулювання швидкого переходу з одного типу боєприпасів на інший, а також зміна темпу стрільби;

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- менші габарити і маса (гармата, що має зовнішній привід, орієнтовно на 40% легше).

Поряд з перевагами гармати із зовнішнім приводом недоліки:

- більший імпульс віддачі, який веде до зменшення точності вогню під час стрільби у русі та чергами;
- зменшується максимальна скорострільність;
- відсутність незалежності від зовнішнього приводу: при виході приводу з ладу можливою є стрільба тільки в ручному режимі зі швидкістю пострілів, що не перевищує 10-15 патронів на хвилину.

2.3.2 Електродвигуни для зміни положення гармати

Електродвигун – це електричний пристрій, що перетворює енергію: електричну в механічну. Більшість електродвигунів працюють через взаємодію між магнітним полем двигуна та електричним струмом у обмотці дроту для створення сили у вигляді крутного моменту, прикладеного до валу двигуна.

При використанні перетворювачів частоти або мережі підвищеної частоти (100, 200, 400 Гц) двигуни змінного струму виявляються легшими і меншими за колекторні двигуни (колекторний вузол іноді займає половину простору). Ресурс асинхронних двигунів змінного струму набагато вищий, ніж у колекторних, і визначається станом підшипників та ізоляції обмоток [15].

Синхронний двигун із датчиком положення ротора та інвертором є аналогом, електронного типу, колекторного двигуна, що має постійний струм.

Для даної роботи може бути використаний двигун ZAtop SM190. Це високоефективний електродвигун, що має переваги тривалого терміну служби, енергозбереження, високого пускового моменту, низького рівня шуму, невеликої вібрації, великого крутного моменту відриву й надійності. Виробником / постачальником цього двигуна високої ефективності є Германія. Для коректної роботи буде достатньо двох двигунів кожен з яких забезпечує плавний рух гармати

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

з високою швидкістю та попереджає її безконтрольний рух а також витримує високу масу конструкції.

2.3.3 Гідроприводи для зміни положення гармати

Гідравлічний привід є сукупністю пристроїв, головне призначення яких – перетворювати гідравлічну потужність на корисну механічну роботу. Вони рухають механізми гармати, використовуючи гідравлічну енергію, яка утворюється при стисканні робочої рідини під високим тиском.

Робота гідроприводу здійснюється виключно за рахунок рідини, що зазвичай є маслом високої щільності. Сама гідравлічна система функціонує за принципом закону Паскаля, з якого випливає, що тиск рідини в замкнутій системі є однаковим. Спеціальний фільтр постійно очищає масло від пилу або інших небажаних частинок, а свій рух трубопроводом воно здійснює під впливом тиску електричного насоса. Продуктивність останнього залежить від конструкції гідросистеми.

Варто зауважити, що робота гідроприводу залежить від стану робочої рідини. Її в'язкість прямо пов'язана з її температурою, тому значні зміни останньої можуть змінити робочі параметри приводу. Насоси зазвичай забезпечують постійний об'єм при кожному обороті валу. Регулятор тиску необхідний, щоб уникнути витoku зайвого масла у резервуар для зберігання.

Рух поршня контролюється зміною потоку рідини, а рух циліндра за допомогою регулюючого клапана, який спрямовує потік. Сам поршень ковзає вертикально всередині циліндра і поділяє циліндр на дві камери: на верхню, що має пружину, і нижню, що містить гідравлічне масло. Високий тиск поршневих приводів добре підходить для типових гідросистем.

Для роботи оберемо електродвигун. Гідропривід – надійний, міцний, легше в обслуговуванні, та має значну затримку при стабілізації. Наприклад, після пострілу гармата ще може деякий час для донаведення гармати.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

При використанні електродвигуна ми маємо моментальний відгук системи на команду та великий градус можливого обертання гармати, хоча він в свою чергу має складнішу систему та вимагає додаткового часу на слідкування за справністю деталей двигуна.

2.4 Обчислювальний пристрій

2.4.1 Блок перетворення

Під час побудови пристроїв, які мають у собі цифрові та аналогові лінії передач, щоб здійснювати обмін даними об'єктами за допомогою сигналів, необхідно застосувати перетворення інформації із аналогового вигляду в цифровий, або ж безперервний, та, за потреби, навпаки.

Блок перетворення і первинний перетворювач призначені для перетворення параметрів в код.

В електроніці аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – це система, яка змінює аналоговий сигнал на цифровий. АЦП може також забезпечувати ізолювані вимірювання, такі як електронний пристрій, який перетворює аналогову вхідну напругу або струм в цифрове число, що представляє величину напруги або струму. Зазвичай цифровий вихід являє собою двійкове число.

Існує кілька архітектур АЦП. Через складність і потребу в точно підібраних компонентах всі, крім найбільш спеціалізованих перетворювачів, що реалізовані як інтегральні схеми. Вони, як правило, мають форму інтегральних мікросхем із змішаним сигналом метал–оксид–напівпровідник (MOS), які об'єднують як аналогові і цифрові схеми.

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) виконує зворотну функцію - він змінює цифровий сигнал на аналоговий.

Під час перетворення сигналу виникає потреба у його підсиленні. Даний процес являє собою перетворення джерела живлення, а саме його енергії, за принципом та законом які визначаються вхідним керуючим сигналом. Сам процес

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підсилення виконується при використанні нелінійного керованого елемента, що має певний опір, який залежить від керуючого сигналу.

2.4.2 Керуючий пристрій

Для ефективного використання отриманої інформації від вимірювальної системи щодо об'єкта управління, є необхідність проаналізувати інформацію, розробити по певних алгоритмах команди та передати їх до об'єкта для формування керуючих впливів у фізичній формі більш конкретного виду. Всі перераховані операції повинні здійснюватися в необхідному, по швидкості, темпі, що задається ходом процесу даної технології. Для виконання даного завдання застосовують мікроконтролер [16].

Мікроконтролер – це комп'ютер на одній мікросхемі інтегральної схеми металооксидно-напівпровідника. Мікроконтролер містить один або кілька процесорних пристроїв, ядер процесора, разом із пам'яттю та програмованими периферійними пристроями типу введення та виводу. Пам'ять програм у вигляді ОЗУ, флеш-пам'яті NOR або OTP-ROM. Також часто включені до мікросхеми. Мікроконтролер призначений для вбудованих програм, на відміну від мікропроцесора, що використовується в персональних комп'ютерах та інших програмах загального призначення, що складаються з мікросхем дискретного типу.

За сучасною термінологією мікроконтролер подібний, але менш складний, ніж система на базі чіпа (SoC). SoC може підключати зовнішні мікросхеми мікроконтролера як компоненти материнської плати, але SoC зазвичай інтегрує передові периферійні пристрої, такі як графічний процесор (GPU) і контролер інтерфейсу Wi-Fi, як свої внутрішні схеми блоку мікроконтролера.

Мікроконтролери зі змішаним сигналом є поширеними, вони інтегрують аналогові компоненти, необхідні для керування нецифровими електронними системами.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.3 Блок узгодження

Блок узгодження – це компактний електричний прилад, який ставиться в розріз електричного кола транспорту.

У мультиплексних системах сигнали та електроживлення розділені. У цих системах керуючі ключі безпосередньо не включають та не вимикають електроживлення навантажень.

Блок узгодження ліній призначений для гальванічної розв'язки високочастотних сигналів, що передаються по високовольтних лініях електропередачі та абонентському обладнанню. Даний блок використовується для перетворення малопотужних сигналів, що отримані на виході мікроконтролера, на більш потужні для керування виконавчими пристроями.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

Функціональну схему представлено на листі ІА83.010БАК.003 Э2.

3.1 Датчики

3.1.1 Датчик кута повороту башти

Даний датчик дозволяє виміряти кут повороту башти танка завдяки зчитуванню інформації відносно кута її повороту по горизонталі (рисунок 3.1).

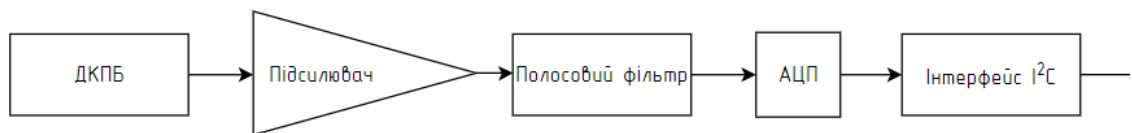


Рисунок 3.1 – Датчик кута повороту башти

Наступним кроком, він отримує певні значення, що передаються до блоку підсилення сигналу.

Надалі отриманий сигнал необхідно пропустити крізь смуговий фільтр, що дозволяє отримати лише потрібний діапазон сигналу. Після аналогового підсилення вхідного аналогового сигналу аналоговими підсилювальними каскадами до величини, достатньої для аналого-цифрового перетворення за допомогою АЦП та пропускання їх через фільтр, відбувається аналого-цифрове перетворення аналогової величини на цифрову величину – число, відповідне величині напруги вхідного аналогового сигналу.

У блоці інтерфейсу I²C перетворені у цифровий код дані формуються у пакети та направляються у обробку до мікропроцесора.

3.1.2 Датчик кута нахилу гармати

За допомогою цього датчика вимірюється нахил гармати по горизонталі та вертикалі, переміщення самої гармати в горизонтальній площині буде відбуватися за рахунок зміни положення башти танка по горизонталі (рисунок 3.2). Отримання даних про кут нахилу відбуватиметься у діапазоні від 0° до $\pm 90^\circ$.

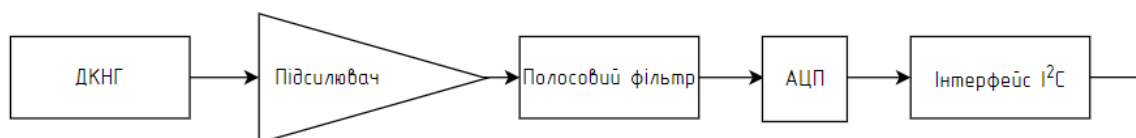


Рисунок 3.2 – Датчик кута нахилу гармати

Сигнал, що отримано, необхідно підсилити для подальшої передачі до блоку АЦП, наприклад шляхом повторення. Та перед блоком АЦП застосовується смуговий фільтр для уникнення на виході даних, що перевищують необхідний діапазон значень, чи навпаки відповідають куту меншому за 0° .

У блоці аналого-цифрового перетворювача отримаємо інформацію, яка надходитиме до мікропроцесора у величинах зручних для формування команд для виконавчих пристроїв. У передачі цих даних допоможе обраний блок інтерфейсу І²С.

3.1.3 Датчик кутового переміщення люльки

У блоці датчика переміщення люльки за певним кутом отримуються дані про рух ствола під час відкату та накату в момент проведення пострілів (рисунок 3.3).

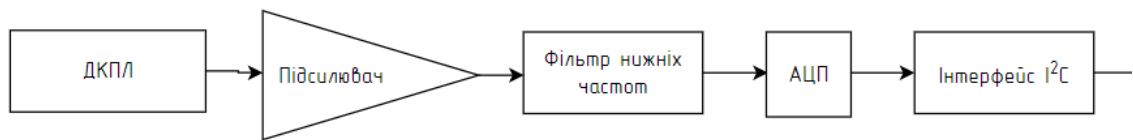


Рисунок 3.4 – Датчик кутового переміщення люльки

Перед отриманням інформації від датчика перетворювачем сигналу, він підсилюється у відповідному блоці.

У схемі цього датчика використаний фільтр нижніх частот. Це фільтр, що ефективно пропускає частотний спектр сигналу нижче деякої частоти і пригнічує частоти сигналу вище цієї частоти.

Так само як і у минулих випадках, отримана інформація поступає до блоку перетворювача, та на виході отримаємо цифровий сигнал, придатний до сприймання мікропроцесором. Зібрані й перетворені дані прямують до блоку I²C, де по лінії зв'язку надходять до мікропроцесора.

3.1.4 Датчик дульної вібрації танка

Необхідно відслідкувати коливання створені дулом гармати механічно, для цього використовується вібродатчик, щоб на виході лінії передачі отримати пропорційний електричний сигнал (рисунок 3.5).

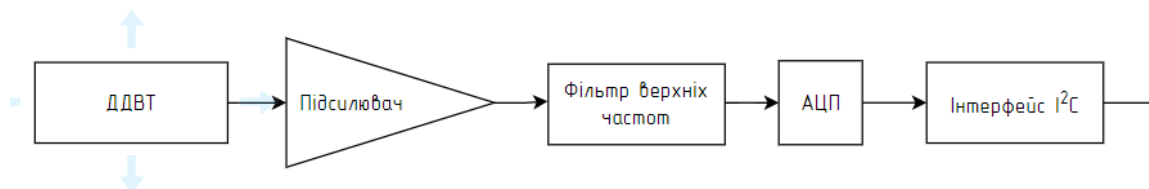


Рисунок 3.5 – Датчик дульної вібрації танка

Посилений сигнал, після обробки відповідним блоком, надходить до фільтра верхніх частот.

Він працює обернено до фільтра нижніх частот, тобто пропускає високі частоти вхідного сигналу, при цьому пригнічуючи частоти нижче частоти зрізу. Адже є необхідність контролювати високі показники вібрації, що можуть вплинути на стабільність під час пострілу.

Відфільтрований сигнал отримується блоком перетворювача аналогового сигналу на цифровий, після чого зчитана інформація з датчика надходить до мікропроцесора за допомогою інтерфейсу I²C.

3.1.5 Акселерометр

Блок акселерометра дозволяє виміряти зміщення маси корпусу у просторі за рахунок вирахування різниці між істинним прискоренням та гравітаційним (рисунок 3.6).

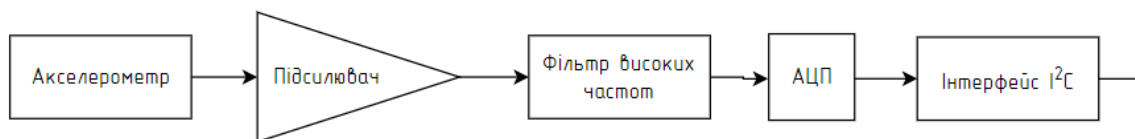


Рисунок 3.6 – Акселерометр

Вхідний сигнал з цього датчика надходить до блоку підсилення, щоб далі сигнал пройшов обробку іншими блоками.

Тут також використовується фільтр високих частот, щоб забезпечити подальший розгляд сигналу лише в обраному діапазоні. Отриманий аналоговий сигнал направляється до блоку АЦП та вихідні дані у вигляді вже цифрового сигналу переходять у наступний блок. Інтерфейс I²C формує з отриманої інформації пакети даних та відправляє на обробку в мікропроцесор.

3.2 Інтерфейси

3.2.1 I2C

В даній схемі у якості інтерфейсу для передачі даних використовується інтерфейс I²C, що вбудований у плату мікроконтролера.

Він відрізняється високою швидкістю стабільної передачі та, завдяки своїй архітектурі, дозволяє підключати до однієї шини, що складається з двох проводів SDA (дані) і SCL (тактові імпульси), до 127 пристроїв одночасно, не використовуючи додаткового обладнання, якщо не рахувати двох резисторів.

Завдяки тому, що передача є синхронною можна передавати кілька пакетів даних одночасно. За рахунок того, що кожний пристрій має свою власну адресу та номер отримання некоректних даних або плутанина пакетів виключається.

Таким чином, можна усю зібрану від датчиків інформацію спрямувати до мікроконтролера, що обробить дані та надішле до виконавчих пристроїв.

3.3 Виконавчі пристрої

3.3.1 Блоки приводу для контролю дульної вібрації танка

Першим із приладів, що будуть виконувати роботу по зміні положення на базі отриманої з датчиків та мікропроцесора інформації є блок приводу для контролю дульної вібрації танка.

Команда про ввімкнення або ж відключення приводу надходить від мікропроцесора на реле. Воно реагує на зміну вхідних даних та замикає або ж розмикає ланцюг.

При замкненні ланцюга сигнал подається до блоку модулятора потужності, він, в свою чергу, змінює параметри несучого сигналу відповідно до змін переданого сигналу (рисунок 3.7).

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

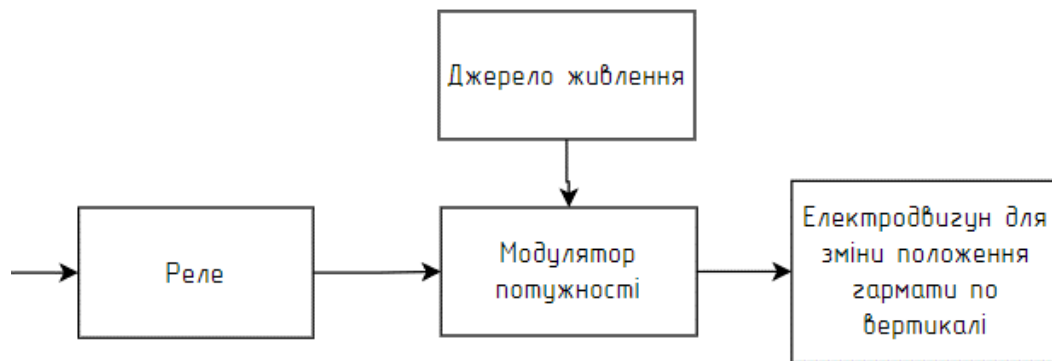


Рисунок 3.7 – Блок приводу для контролю дульної вібрації танка

Також він працює за допомогою джерела живлення, що під'єднане до нього окремим блоком.

Після процесу модуляції змінений сигнал направляється до блоку електродвигуна, щоб в наслідок його дії було змінено положення гармати по вертикалі.

3.3.2 Електродвигуни для зміни положення башти по горизонталі

Наступними приладами є електродвигуни зміни положень башти у горизонтальній площині та зміни кута переміщення люльки.

У якості силової частини для сприймання ними команд від мікропроцесора наявні блоки драйверів двигуна. Для управління двигунами необхідний пристрій, який би перетворював керуючі сигнали малої потужності в струми, достатні для управління двигунами, таким пристроєм як раз виступає драйвер двигуна. Драйвери ж, в свою чергу, працюють за рахунок джерела живлення, що представлено окремим блоком (рисунок 3.8).

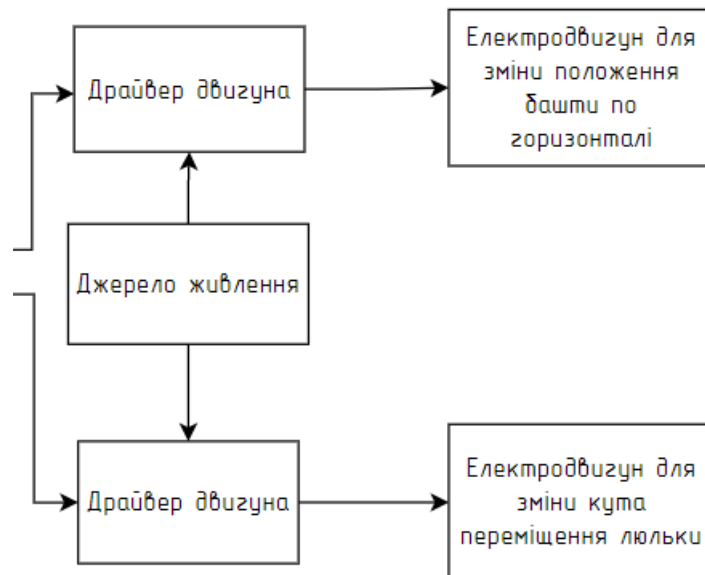


Рисунок 3.8 – Електродвигун для зміни положення башти по горизонталі

Під управлінням драйверів до електродвигунів знаходить сигнал та вони починають свою роботу по зміні положення та переміщенню.

3.3.3 Гідроприводи для зміни кута переміщення люльки

Останнім виконавчим блоком виступає гідропривід на базі синхронного двигуна (рисунок 3.9).

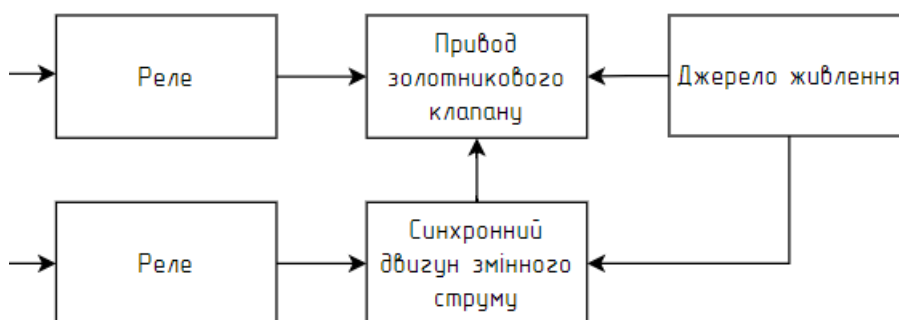


Рисунок 3.9 – Гідропривід для зміни кута переміщення люльки

Використовуючи гідравлічну енергію від стискання робочої рідини під доволі високим тиском він перетворює дану потужність на корисну механічну роботу.

Тут у якості силової частини також виступає реле, та в даному випадку їх два: окремо для приводу золотникового клапану та синхронного двигуна змінного струму.

Привод золотникового клапану – це пристрій, що направляє потік рідини шляхом зміщення рухомої частини щодо поверхні, по якій відбувається ковзання.

В даному випадку був обраний синхронний двигун змінного струму через те, що він має високу потужність.

Блоки приводу та двигуна працюють за рахунок під'єданого до них джерела живлення.

3.4 Обчислювальний пристрій

3.4.1 Мікропроцесор

У якості керуючого пристрою в даній схемі виступає мікропроцесор. Мікропроцесор – пристрій, що відповідає за виконання арифметичних, логічних операцій та операцій управління, записаних у машинному кодї.

Він є основним елементом апаратного забезпечення обчислювального пристрою, за допомогою якого відбувається обробка інформації.

Обов'язкові складові: ядро процесора, що складається з арифметико-логічного пристрою, внутрішньої пам'яті (регістрів) та швидкої пам'яті (кеш), а також шини – пристрої управління усіма операціями та зовнішніми компонентами. Через шини до ЦПУ потрапляє інформація, яку потім обробляє ядро.

При надходженні інформації від датчиків він обробляє отримані дані та формує команди управління для кожного з виконавчих пристроїв.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того, щоб сигнал з датчиків міг сприйматися процесором в ньому наявний блок інтерфейсу I²C, що надає скомпоновані дані для легшої та менш затратної за часом обробки даних.

Саме завдяки даному типу інтерфейсу мікропроцесор направляє одні дані до конкретного пристрою, й, водночас, другий пакет даних до іншого, без ймовірності втрати даних або їх направлення за хибною адресою.

Так само для того, щоб вихідні команди мікропроцесора сприймалися виконавчими пристроями, кожен з них має свій перетворювач команд, в залежності від типу приладу, у сигнал до початку чи припинення роботи та очікуванні подальших вказівок.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРАХУНКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

4.1 Розроблення моделі двигунів у пакеті MATLAB / Simulink

Для дослідження роботи системи стабілізації та моделювання був обраний один із керуючих елементів системи, а саме електродвигун, що в подальшому може застосовуватися для задачі зміни положення гармати танка. Дана модель розроблена у пакеті MATLAB для того, щоб можна було переглядати показники системи та дослідити чи справно спрацьовує пристрій.

В якості порівнюваних елементів були обрані два типи регуляторів: ПД-регулятор та нечіткий регулятор [17].

В роботі представлено порівняльне дослідження та аналіз запропонованого керування нечіткою логікою з класичною системою ПД-регулювання, що застосовується до двигуна. Вся система моделюється та досліджується експериментально за допомогою інструментарію MATLAB / Simulink. Детальні результати моделювання підтверджують зниження перерегулювання та похибки усталеного стану за допомогою запропонованого нечіткого регулятора, ніж класичний ПД-регулятор.

Запропонована система забезпечує низький максимальний перехід і похибку усталеного стану. Чисельне моделювання підтверджує точність запропонованої моделі.

Двигун забезпечує легку керованість і високу продуктивність, завдяки тому, що його швидкість може варіюватися в широких межах. Привід має широке застосування, наприклад, електричну тягу, електричні крани та робототехніку, де для виконання поставлених завдань необхідні маніпуляції з регулятором швидкості. Загалом, керування системами є складним і математично виснажливим завданням, через їх високі властивості нелінійності. Це призводить до необхідності докладати більше зусиль для отримання більш точної математичної моделі плану-контролера, а не простих математичних операцій.

					IA83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість двигуна синхронного струму зазвичай контролюється змінною напругою або потоком якоря. У двигуні постійного струму, керованого якорем, бажана швидкість досягається шляхом зміни напруги якоря.

4.1.1 Нечіткий регулятор

Контролер нечіткої логіки містить чотири основні частини, дві з яких виконують перетворення. Це фазифікатор (перетворення 1), база знань, механізм висновку та дефазифікатор (перетворення 2) (рисунок 4.1)

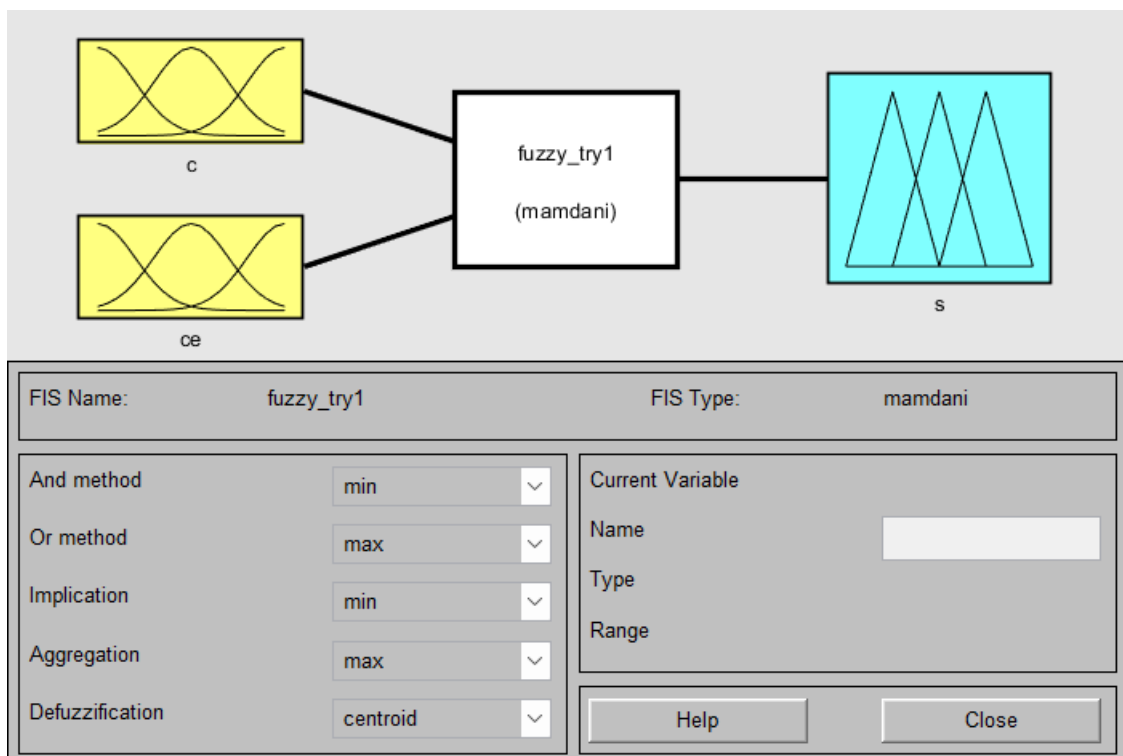


Рисунок 4.1 – Початкове вікно блоку регулятор нечіткої логіки

Фазифікація вимірює значення входної змінної та перетворює їх у відповідні лінгвістичні значення. База знань складається з бази даних і містить необхідні визначення, які використовуються для визначення правил лінгвістичного контролю. Ця база правил характеризувала цілі контролю та політику контролю експертів предметної області за допомогою набору правил лінгвістичного

контролю. Логіка прийняття рішень або механізм висновку є основною частиною нечіткого контролера.

Він має здатність моделювати прийняття рішень людиною на основі нечітких концепцій та виводити нечіткі дії керування, використовуючи нечіткі імплікації та правила висновку в нечіткій логіці [17].

Дефазифікація – це відображення масштабу, яке перетворює діапазон значень вихідних змінних у відповідний універсум дискурсу, а також дає нечітку керуючу дію з виведеної нечіткої керуючої дії. Це перетворення виконується функцією належності (MF). Існує кількість MF (рисунок 4.2) і їх форми спочатку визначаються користувачем.

4.1.2 Вхідні та вихідні функції належності



Рисунок 4.2 – Функції для зображення першої вхідної змінної

Гаусівські MF вибираються як для вхідної, так і для вихідної змінної. існує п'ять MF для вхідної змінної *e* і два MF для вхідної змінної *ce* (рисунок 4.3, та п'ять MF для вихідної змінної *s*.

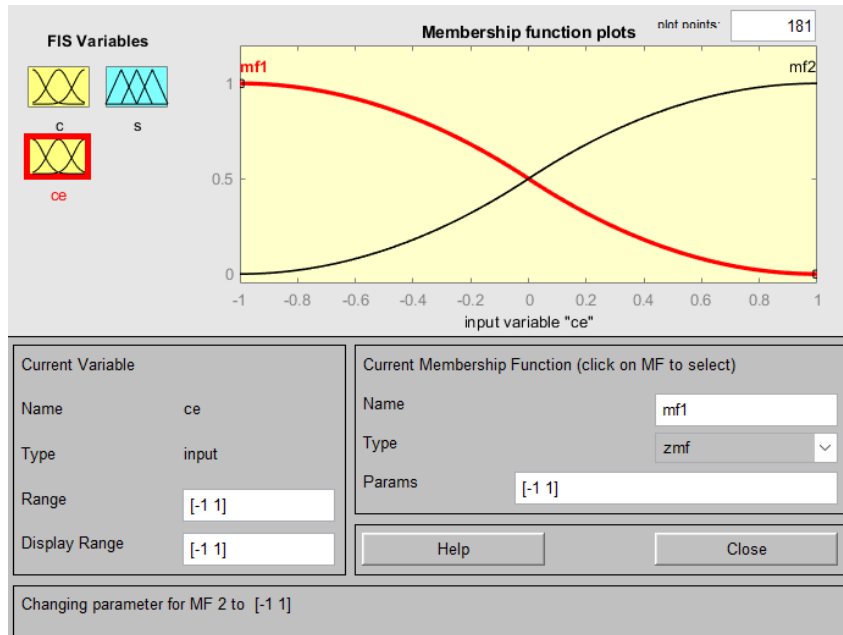


Рисунок 4.3 – Функції для зображення другої вхідної змінної

Залежно від значень вхідної змінної, значення вихідної змінної (рисунок 4.4) слід вибрати з закодованого в правилах (рисунок 4.5).

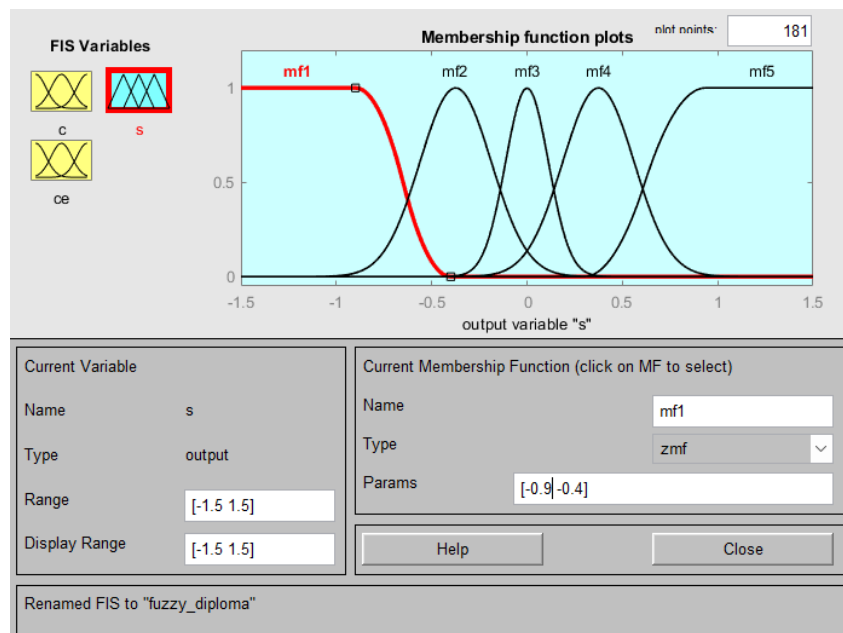


Рисунок 4.4 – Функції для зображення вихідної змінної

Наступним етапом необхідно визначити тип обробки нечіткого регулятора.

Нечіткий висновок складається з двох методів обробки, а саме: методу Мамдані та методу Сугено або Такагі Сугено-Канга для обчислення нечіткого виходу.

З нього Мамдані більше підходить для машин синхронного струму та індукції керування машиною. Нечіткий вихід з нечіткого висновку обробляється шляхом дефазфікації, щоб отримати чітке значення.

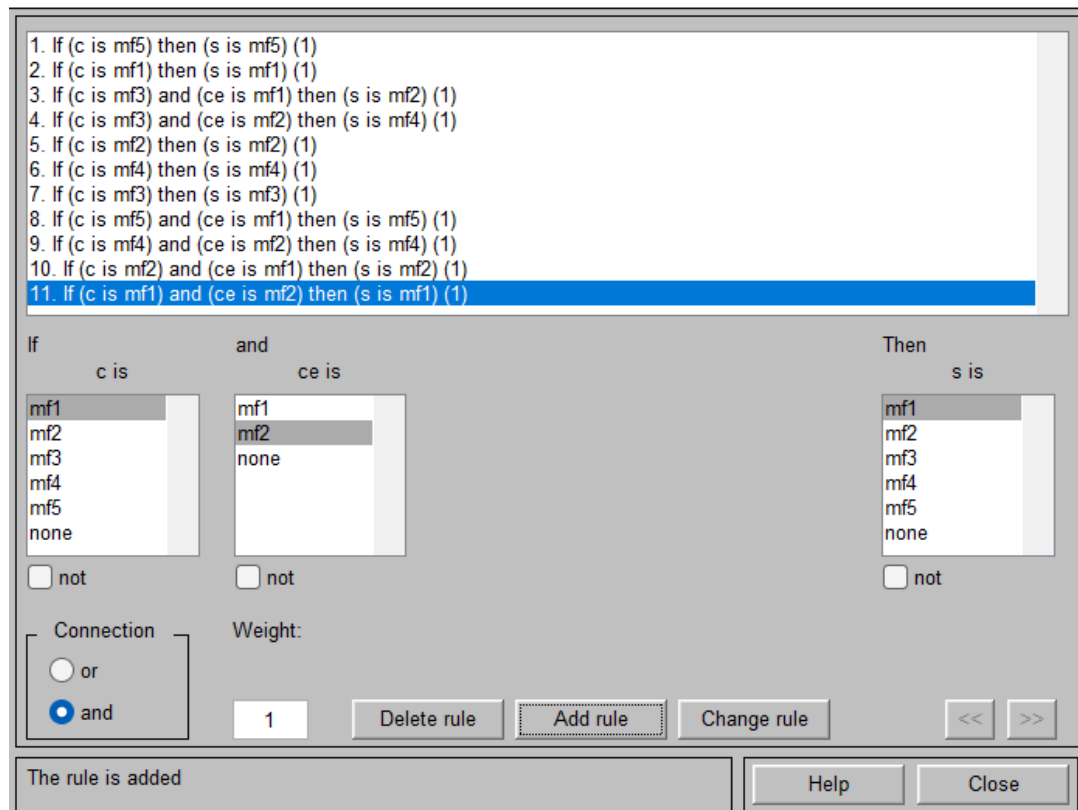


Рисунок 4.5 – Правила для блоку нечіткої логіки

4.1.3 Розроблення нечіткого регулятора

Контролер спостерігає за сигналом помилки швидкості $e(t)$ і відповідно оновлює вихід контролера, щоб фактична швидкість двигуна $y(t)$ відповідала заданій швидкості $r(t)$ (рисунок 4.6). На нечіткий контролер надходять два вхідні сигнали, один – це помилка $e(t)$, тобто різниця заданої швидкості $r(t)$ і фактичної

швидкості $y(t)$, а інший – похідна помилки $ce(t)$. У дискретній системі (формула 4.1):

$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{\Delta e(t)}{\Delta t} = \frac{ce(t)}{Ts} \quad (4.1)$$

де $ce(t) = \Delta e(t)$ за час дискретизації T_s . При константі T_s $ce(t)$ пропорційна $de(t)/dt$.

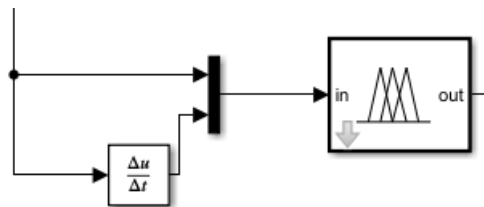


Рисунок 4.6 – блок Fuzzy регулятора у пакеті MATLAB / Simulink

4.1.4 ПІД-контролер

Система ПІД-регулятора використовується для обчислення керуючого сигналу до синхронного двигуна змінного струму РМ для відстеження опорної швидкості (рисунок 4.7) [18].



Рисунок 4.7 – Блок ПІД-регулятора у пакеті Matlab

Для підтвердження стратегій керування цифрове моделювання було проведено на моделі двигуна за їхніми керуючими рівняннями та змодельовано за допомогою Matlab/Simulink (рисунок 4.8).

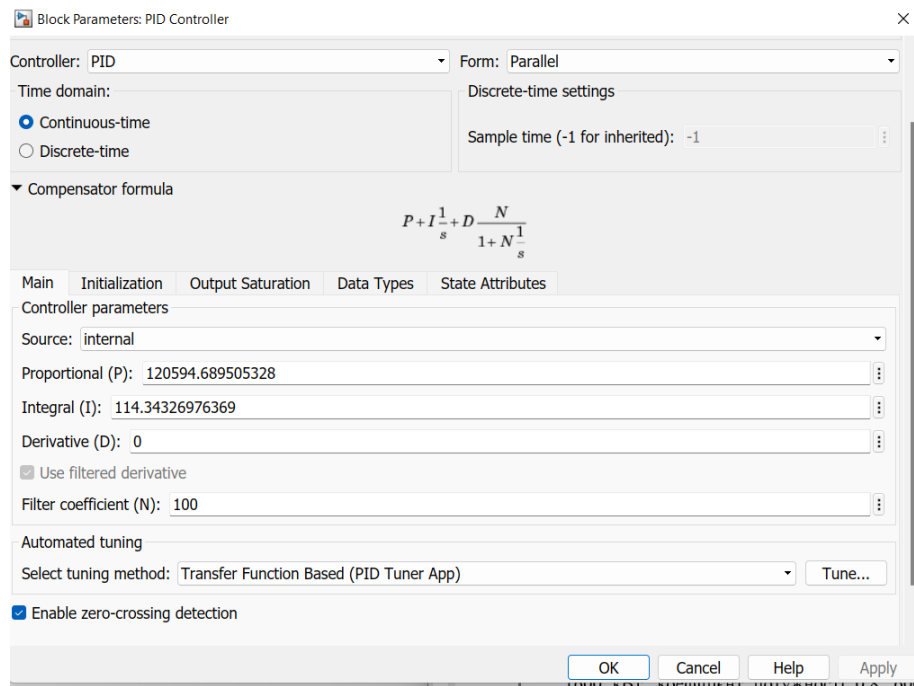


Рисунок 4.8 – Блок налагодження параметрів та коефіцієнтів ПІД-регулятора

Засобами пакету MATLAB / Simulink було визначено параметри ПІД-регулятора (рисунок 4.9).

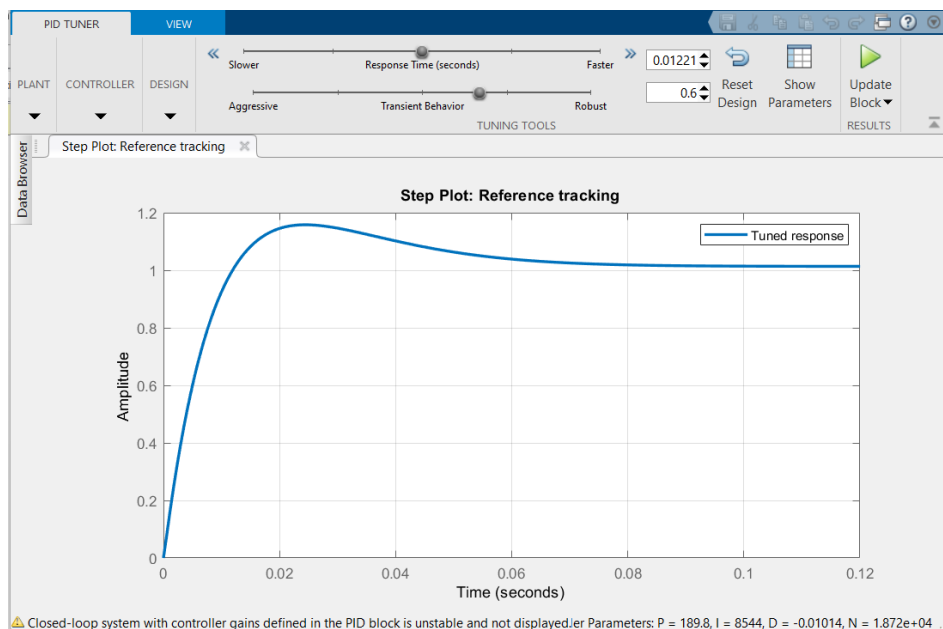


Рисунок 4.9 – Інструментарій визначення параметрів ПІД-регулятора у пакеті MATLAB / Simulink

Проведено порівняльне дослідження, щоб дослідити точність запропонованого нечіткого регулятора до класичного ПД-регулятора шляхом внесення збурення в обертання двигуна.

Збурення порівняння реакцій системи на холостому ході за допомогою нечіткого та ПД-контролерів на кожному етапі застосовувався протягом кількох секунд і результат в подальшому вивчався.

4.2 Розроблення моделі системи керування у пакеті MATLAB / Simulink

Трифазний чотирьохпровідний генератор змінного струму на 2000 кВАр, 1600 кВт, коефіцієнт потужності 0,8, 600 В, 1800 об/хв підключений до індуктивного навантаження 1600 кВт, 400 кВАр. Нейтральна точка статора заземлена. Внутрішній опір генератора ($Z_g = 0,0036 + j * 0,16 \text{ pu}$) являє собою опір обмотки якоря R_a і перехідний реактивний опір прямої осі $X'd$.

Повна константа інерції генератора і двигуна становить $H = 0,6 \text{ с}$, що відповідає $J = 67,5 \text{ кг.м}^2$. Регулювання швидкості моделюється за допомогою блоків MATLAB / Simulink [20], що реалізують ПД-регулятор та регулятор нечіткої логіки [18].

Для відключення резистивного навантаження 800 кВт використовується трифазний вимикач. Вимикач спочатку закритий і розмикається при $t = 0,2 \text{ с}$, що призводить до розриву навантаження на 50%.

4.2.1 Моделювання

Потрібно відкрити powergui і вибрати «Ініціалізація машини». З'явиться нове вікно. Для машини «Тип шини» встановлено «Swing Bus»; це пов'язано з тим, що схема не містить джерела напруги. Потім виконується ініціалізація, коли машина контролює напругу та кут на своїх клеммах. Бажана напруга клеми ініціалізується на 600 В (номінальна напруга машини), а фазовий кут кута UAN становить 0 градусів.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі необхідно натиснути кнопку «Обчислити та застосувати». Після того, як ініціалізація завершена, три міжрядні напруги машини, а також три вихідні струми машини оновлюються.

Також відображаються активна та реактивна потужності машини, а також необхідна механічна потужність P_{mec} та напруга поля E . Значення параметрів: $P = 1600$ кВт, $Q = 400$ кВАр, $P_{mec} = 1604,7$ кВт (0,8024 о.е.), напруга поля $E = 1,0247$ о.е.

Також постійний блок E_i , підключений до входу E машини, автоматично оновлюється ($E = 1,04268$ pu).

4.2.2 Моделювання з регулятором швидкості

Щоб запустити регулятор швидкості потрібно перезапустити моделювання та ми матимемо змогу спостерігати за динамічною реакцією регулятора швидкості на Score 2 (рисунок 4.10).

Контролер нечіткої логіки виявився ефективним для складних, нелінійних і неточно визначених процесів, для яких методи керування на основі стандартних моделей є непрактичними або неможливими.

Нечіткий регулятор дійсно здатний забезпечити точність, необхідну для високопродуктивної приводної системи без необхідності математичної моделі.

Регулятор нечіткої логіки пропонує просте, швидше та надійніше рішення, оскільки вони розглядаються у формі теорії множин.

Даний регулятор також враховує нелінійність без використання математичної моделі. Найважливішими характеристиками нечіткого регулятора є його простота та менш інтенсивні вимоги до математичного проектування.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

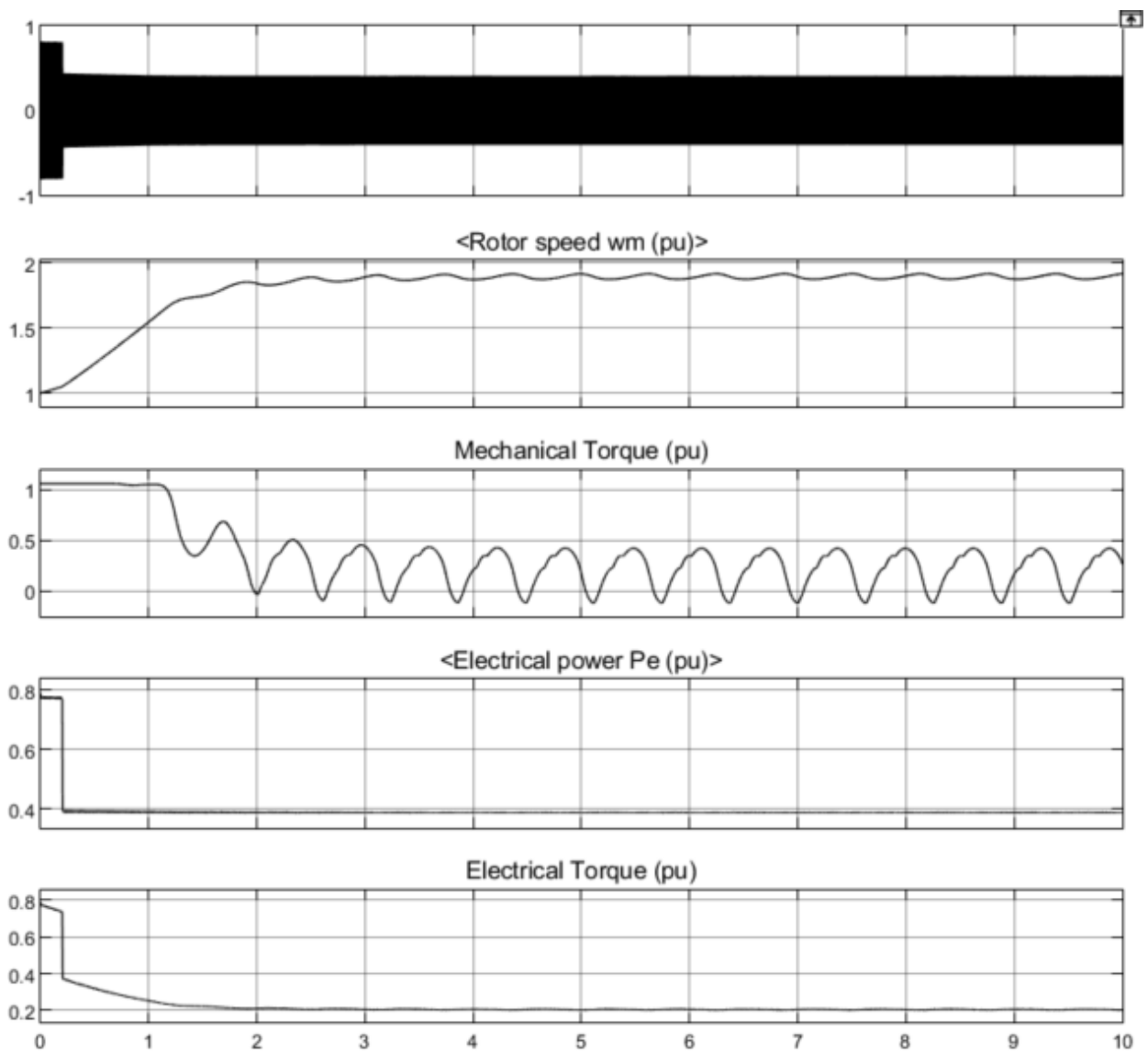


Рисунок 4.10 – Вихід системи з використанням регулятора нечіткої логіки

Однак звичайний контролер з пропорційною інтегральною похідною (ПІД) має труднощі в роботі з динамічним відстеженням швидкості через варіації параметрів та порушення навантаження (рисунок 4.11).

Таким чином, ці контролери демонструють високу продуктивність лише для однієї унікальної точки дії, а також мають високе перерегулювання при запуску, чутливість до посилення контролера та повільну реакцію через раптову зміну навантаження.

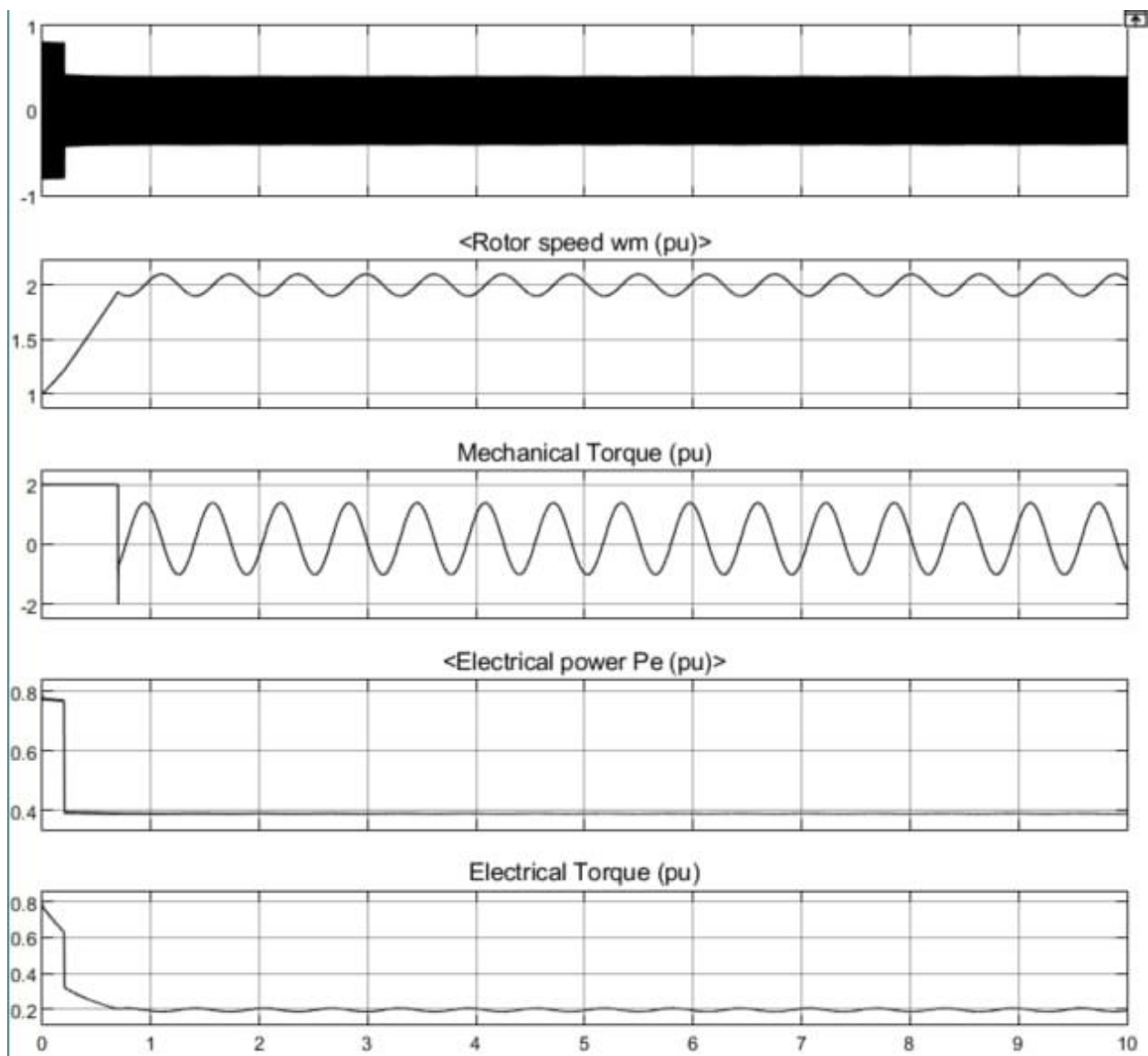


Рисунок 4.11 – Вихід системи з використанням ПД-регулятора

Нечіткий регулятор забезпечує систематичний спосіб включення людського інтелекту в контролер без знання математичної моделі системи.

Стабільність системи та широкий діапазон робочої швидкості досягаються завдяки контролеру нечіткої логіки.

Коли для введення і виведення нечіткого регулятора вибираються оптимальні функції належності, його стабільність залежить від бази правил.

З результатів моделювання видно, що нечіткий регулятор має явно кращу продуктивність для забезпечення критеріїв T_r (час наростання), ess (похибка

стійкого стану) та відсотка максимального перевищення (M_p) порівняно з ПД-регулятором.

Нечіткий також має більш чутливі реакції на порушення навантаження відповідно до класичного ПД-регулятора.

Також ми можемо спостерігати зменшення початкового значення похибки при використанні нечіткого регулятора. Як видно з результатів моделювання, при використанні ПД-регулятора початкова похибка існує до приблизно 1 секунди, в той час як нечіткий регулятор нівелює її вже на 0.95 секунди. При збільшенні періоду функції належності для відображення виходів, у певних випадках, уникнути появи помилки.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В ході виконання дослідницького проєкту були спроектовані моделі синхронного двигуна змінного струму у системі стабілізації гарматного озброєння за допомогою пакету MATLAB / Simulink.

В ході дослідження було виявлено, що система спрацьовує коректно при використанні регуляторів різного типу, таких як ПД-регулятор та регулятор нечіткої логіки.

Розроблена система працює у задачі стабілізації із регулятором нечіткої логіки, адже він значно швидше призводить до стабільної роботи системи та підтримує стійке значення вихідного сигналу, який для обраної теми дослідницької роботи підходить набагато краще.

Розроблена система допоможе в майбутніх розробках систем стабілізації, а також дозволить вносити поліпшення у вже існуючі на сьогоднішній день системи.

Проєкт розпочався з аналізу існуючих рішень, де була розглянута задача стабілізації озброєння гармати танка як таку, що має актуальність, методи її розробки, означені поняття стабілізації різних типів гармат. Кожне з розглянутих рішень мало свої певні переваги та недоліки.

Після етапу аналізу були висунуті вимоги до моделі та обрані технології, за допомогою яких була створена система стабілізації. В розділі опису структурної схеми та її елементів були детально описані складові частини, що впливають на майбутній процес стабілізації, а також керуючі та виконавчі пристрої.

Були описані способи перетворення сигналів від етапу їх зчитування датчиків до надходження перетвореного сигналу на блок виконання, даний опис наявний у розділі про розроблення функціональної схеми.

Наступним етапом були розроблені моделі системи керування синхронним двигуном за допомогою пакету MATLAB / Simulink для подальшого дослідження регуляторів різного типу.

Останнім етапом було порівняння результатів моделювання.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Як було виявлено регулятор нечіткої логіки забезпечує стабільність системи у менший проміжок часу, а також має меншу амплітуду коливань відносно ПД-регулятора.

Для поставленої мети дослідницького проєкту в задачах стабілізації зброї доцільніше використати регулятор нечіткої логіки за рахунок його властивості сприймати й обробляти дані в певному діапазоні , що коливається й реагувати навіть на незначні зміни положення гармати.

Отримані результати можуть бути корисними як у побудові систем стабілізації у масовому виробництві з подальшою реалізацією, так і для майбутніх розробок на базі проведеного дослідження.

					ІА83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adaptive robust control for triple avoidance - striking - arrival performance of uncertain tank mechanical systems Zong fan WangGuo lai Yang[...]Yu ze Ma Defence Technology (2021) [10.1016/j.dt.2021.06.012](#)
2. Design of test system for gun stabilization accuracy Zelin Sun 2021 International Conference of Optical Imaging and Measurement, ICOIM 2021 (2021), [10.1109/ICOIM52180.2021.9524411](#)
3. Parametric synthesis of digital stabilization system of tank gun Ye Ye AleksandrovT. Ye Aleksandrova Journal of Automation and Information Sciences (2015), [10.1615/JAutomatInfScien.v47.i11.10](#)
4. Application of active disturbance rejection control in tank gun control system Yuanqing XiaLi Dai[...]Chunming Wang Journal of the Franklin Institute (2014), [10.1016/j.jfranklin.2013.02.003](#)
5. Dynamic simulation of tank stabilizer based on adaptive control Yu ChenGuolai Yang Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science (2019), [10.1177/0954406218802315](#)
6. A study of a gun-turret assembly in an armored tank using model predictive control Gautam KumarPradeep Y. Tiwari[...]Mayuresh V. Kothare Proceedings of the American Control Conference (2009), [10.1109/ACC.2009.5160524](#)
7. Ein adaptiver Ljapunow-Regler für Richt- und Stabilisierungsanlagen / An adaptive control system using the Ljapunow method for tank turret/gun control and stabilization systems H.J. Scheib auto (1985), [10.1524/auto.1985.33.112.365](#)
8. DSP Based Digital Controller for Gun Control System of Armoured Fighting Vehicles Latha VenkatakrishnanS. Sundaresh SAE Technical Papers (2003), [10.4271/2003-28-0014](#)
9. Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review De Jong YeongGustavo Velasco-hernandez[...]Joseph Walsh Sensors (2021), [10.3390/s21062140](#)

					IA83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Chiu Y., Hong H. C., Wu P. C. Development and characterization of a CMOS-MEMS accelerometer with differential LC-tank oscillators //journal of microelectromechanical systems. – 2013. – Т. 22. – №. 6. – С. 1285-1295.

11. Shi Y. et al. Multivariable model based control of quadruple tank process based on industry Ethernet network control system //Proceedings of the 2010 International Conference on Modelling, Identification and Control. – IEEE, 2010. – С. 779-784.

12. Giron-Sierra J. M. et al. CANbus-based distributed fuel system with smart components //IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2008. – Т. 44. – №. 3. – С. 897-912.

13. Sunarta S. et al. DESIGN OF AUTOPILOT TRACKING CONTROL AT A PROTOTYPE TANK BASED ON ARDUINO //JOURNAL ASRO. – 2020. – Т. 11. – №. 1. – С. 181-191.

14. Kumar A. Design of an Embedded System for Vehicle Fault Diagnosis and Safety using I2C Protocol. – 2019

15. Liyu L. et al. Digital AC all-electrical gun control system of tank //2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific). – IEEE, 2014. – С. 1-5.

16. Borer J. Microprocessors in process control. – Springer Science & Business Media, 1991.

17. Bai Y., Wang D. Fundamentals of fuzzy logic control—fuzzy sets, fuzzy rules and defuzzifications //Advanced fuzzy logic technologies in industrial applications. – Springer, London, 2006. – С. 17-36.

18. Aleksei T., Eduard P., Juri B. A flexible MATLAB tool for optimal fractional-order PID controller design subject to specifications //Proceedings of the 31st Chinese Control Conference. – IEEE, 2012. – С. 4698-4703.

19. B10 biodiesel implementation in Malaysia - we speak with MPOB's biodiesel researcher, Dr Harrison Lau Gregory Bogin JrJacqueline H Jincan Jyh-Yuan H Y Chen[...]A M Ruhul Fuel (2011)

					IA83.010БАК.003 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Accurate modeling and simulation of solar photovoltaic panels with simulink-MATLAB Nacer BadiSyed Khasim[...]Alex Ignatiev Journal of Computational Electronics (2021)

					IA83.010БАК.003 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60