

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного
верстату з числовим програмним керуванням»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-18м
галузь знань 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Лумі Дмитро Ігорович

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доц. Розводюк М. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 року

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра : Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Дяльність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф. Кутін В. М.

“ ___ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лумі Дмитру Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення точності позиціонування фрезерного верстату з числовим програмним керуванням

керівник роботи Розводюк Михайло Петрович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 2019 року № ___

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: кількість ступенів вільності – 4; спосіб керування – програмований логічний контролер; вантажопідйомність – 20кг; тип електроприводу – позиційний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз функціонування верстатів з числовим програмним забезпеченням; Розробка кінематичної моделі верстату та структурної схеми системи позиціонування; Розробка системи керування електроприводом; Моделювання систем керування електроприводом та розробка принципової. Економіка. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Об'єкт дослідження та мета дослідження; Зовнішній вигляд і будова порталного верстату з ЧПК; Кінематична модель порталного верстату; Структурна схема керування системою позиційного електроприводу ПЧ-АД; Структурна схема системи позиційного керування електроприводом; Результати моделювання в ППП Matlab; Структурна схема системи позиціонування з нечітким контролером; Створення керуючої програми нечіткого контролера; Моделювання структурної схеми позиціонування з нечітким контролером; Схема електрична принципова автоматизації фрезерного верстату.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Розводюк М. П., к.т.н., доц.		
Економічна частина	Мельничук Л.М., доцент		
Охорона праці	Кобилянський О.В., д. пед. н., зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)		
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР		
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР		
4	Виконання економічної частини		
5	Виконання розділу «Охорона праці»		
6	Попередній захист БДР		
7	Нормоконтроль БДР		
8	Рецензування БДР		
9	Захист БДР		

Студент

_____ Лумі Д. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ М. П. Розводюк
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лумі Д. І. Підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числовим програмним керуванням Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 103 с. Бібл.: 17. Іл.: 29 Табл.: 20.

В даній роботі було проаналізовано причини виникнення похибок в ланках ЧПК верстатів. В результаті було розроблено контролер для позиційної системи ПЧ-АД, який керує системою за допомогою нечіткої логіки. Моделювання показало, що дана система справно функціонує в позиційних системах, а отже її можна використати для підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числовим програмним керуванням.

Ключові слова: верстат, металообробка, фрезер, позиціонування, автоматизація, електромеханіка.

АНОТАЦІЯ

Луми Д. И. Повышения точности позиционирования рабочей части фрезерного станка с числовым программным управлением. Магистерская квалификационная работа. – Винница: ВНТУ, 2019. – 103 с. Библ.: 17. Ил.: 29 Табл.: 20.

В данной работе были проанализированы причины возникновения ошибок в звеньях ЧПУ станков. В результате был разработан контроллер для позиционной системы ПЧ-АД, который управляет системой с помощью нечеткой логики. Моделирование показало, что данная система исправно функционирует в позиционных системах, а значит ее можно использовать для повышения точности позиционирования рабочей части фрезерного станка с числовым программным управлением..

Ключевые слова: станок, металлообработка, фрезер, позиционирование, автоматизация, электромеханика.

ABSTRACT

Lumi D. I. Improving the positioning accuracy of the workpiece of a milling machine with numerical control. Master's qualification work. – Vinnitsa: VNTU, 2019. – 103 p. Bibl .: 17. Ill .: 29 Table: 20.

In this work, the causes of errors in the CNC machine links were analyzed. As a result, a controller for the IF-AD positional system was developed, which controls the system using fuzzy logic. The simulation showed that the system functions properly in the positioning systems and therefore can be used to improve the positioning accuracy of the numerical control milling machine workpiece.

Keywords: machine, metalworking, milling, positioning, automation, electromechanics.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ.....	8
1.1 Будова та функціонування верстату	8
1.2 Аналіз системи числового програмного керування верстатом.....	11
1.3 Вимоги до електроприводу та системи керування	12
1.4 Аналіз методів нечіткого керування.....	12
1.5 Постановка задачі дослідження.....	15
1.6 Висновки до розділу	16
2 РОЗРОБКА КІНЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕРСТАТУ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ	17
2.1 Побудова кінематичної моделі портального верстату.....	17
2.2 Математична модель асинхронного двигуна як об'єкта керування	18
2.3 Розрахунок моментів рухомих ланок верстату.....	20
2.4 Розробка функціональної схеми позиційного керування системою перетворювач частоти-асинхронний двигун.....	22
2.5 Аналіз регулювання параметрів позиційної системи ПЧ-АД за допомогою нечіткої логіки.....	23
2.6 Висновки до розділу	24
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ	25
3.1 Вибір приводних двигунів та перевірка за нагрівом і перевантажувальною здатністю	25
3.2 Розрахунок контурів регулювання.....	30
3.2.1 Розрахунок і вибір згладжувального дроселя	30
3.2.2 Розрахунок силової частини електропривода	31
3.2.3 Вибір сенсорів та їх коефіцієнтів підсилення	34
3.2.3.1 Розрахунок та вибір сенсора струму.....	34

	4
3.2.3.2 Розрахунок параметрів силового кола	35
3.4 Висновки до розділу	38
4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТПРОПРИВОДОМ ТА РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	
	39
4.1 Дослідження та розрахунок позиційної системи	39
4.1.1 Моделювання системи позиціонування	44
4.2 Підвищення точності позиціонування системи за допомогою нечіткого контролера	46
4.3 Розробка електричної принципової схеми автоматизації фрезерного верстату з числовим програмним керуванням	49
4.4 Висновки до розділу	49
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Визначення капітальних вкладень	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Розрахунок основного фонду заробітної плати	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.1 Визначення чисельності персоналу	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.2 Розрахунок заробітної плати.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2. Розрахунок експлуатаційних затрат.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3. Розрахунок економічної ефективності	Ошибка! Закладка не определена.
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	50
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації	58
6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	58
6.1.2 Електробезпека.....	59
6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	60
6.2.1 Мікроклімат	60

	5
6.2.2 Склад повітря робочої зони	62
6.2.4 Виробничий шум.....	65
6.2.5 Психофізіологічні фактори	66
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуаціях	67
6.3.1 Дослідження безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах дії іонізуючих випромінювань	68
6.3.2 Дослідження безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах дії ЕМІ.....	69
6.4 Розробка засобів по підвищення безпечної роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах надзвичайних ситуацій.....	71
ПІДСУМКИ	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	85
Додаток А. Технічне завдання.....	87
Додаток Б. Ілюстративні матеріали.....	88

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасне виробництво майже не можливо уявити без верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Вони широко використовуються в таких галузях, як машинобудування, деревообробка, обробка металу, пластику та інших матеріалів. Особливість ЧПК верстатів полягає в тому, що вони дають змогу якісно обробляти деталі, за заздалегідь розробленою програмою, автоматичним способом. Фрезерні верстати застосовуються для фрезерних, шліфувальних, свердлильних та інших видів робіт в межах від трьох до п'яти координатних площин.

Головна вимога до такого обладнання є швидкодія, надійність і найголовніше – точність. Хоча в наш час верстати досягли значного рівня точності, та все ж вони досі остаються чутливими до впливу температури, вібрацій та інших збурюючих факторів. Ці фактори можна послабити завдяки адаптивним системам керування на основі нечіткої логіки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ згідно наукового напрямку кафедри.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення точності позиціонування робочого органу верстату за рахунок розробки системи керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Здійснити аналіз функціонування верстатів з числовим програмним керуванням.
2. Розробити і дослідити кінематичну модель верстату, а також структурну схему позиціонування.
3. Розробити систему керування електроприводом фрезерного верстату.
4. Створити моделі керування електроприводом, та розробити принципову електричну схему автоматизації верстату.
5. Провести економічні розрахунки.
6. Описати умови безпечної експлуатації системи.

Об’єкт дослідження – процеси, які протікають в електроприводі верстату з числовим програмним керуванням.

Предмет дослідження – система керування електроприводом фрезерного верстату.

Методи дослідження. У процесі роботи застосовувалися: теоретичні методи дослідження механіки, кінематики, електроприводу верстатів; аналітичні і обчислювальні можливості ком’ютерної алгебри.

Наукова новизна одержаних результатів.

Підвищення точності робочого органу верстату з числовим програмним керуванням, за рахунок удосконалення системи керування верстату, з використанням фаззі-регулятора.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає у підвищенні якості виготовленої продукції за рахунок підвищення точності позиціонування фрезерного верстату.

Особистий внесок здобувача. Переважна більшість результатів магістерської кваліфікаційної роботи отримані автором самостійно.

1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

1.1 Будова та функціонування верстату

На сьогоднішній день практично кожне підприємство, яке займається механічною обробкою, має в своїй базі верстати з числовим програмним керуванням. Верстати з ЧПК (ЧПК – числове програмне керування) можуть такі ж самі функції, що й звичайні станки з ручним керуванням, але роботою цих верстатів керують не люди, а електроніка.

До переваг ЧПК систем, відносно верстатів з ручним керуванням, можна віднести:

- високий рівень автоматизації виробництва. Втручання оператора в процес виробництва зведені до мінімуму. Верстати з ЧПК можуть працювати 24 години на добу, при цьому виготовляючи продукцію незмінно високої якості, а обов'язки оператора зводяться до зняття і встановлення заготовок і наладки інструменту;

- виробнича гнучкість, тобто для виробництва різних деталей на одному станку потрібно всього лиш змінити програму;

- виска точність і повторюваність роботи. За одною і тією ж програмою можна виготовити, з потрібною якістю, велику кількість деталей. Також завдяки ЧПК програмі, на верстаті можна виготовляти такі деталі, які просто не можливо зробити на верстатах з ручним керуванням. Не дивлячись на те, що всі сучасні верстати керуються за допомогою комп'ютера, вони сильно відрізняються один від одного за призначенням, інструментом, типом матеріалу який обробляється.

Найбільш популярною групою верстатів з ЧПК є фрезерні верстати. Ця група верстатів призначена для виконання різноманітних операцій з великим асортиментом матеріалів. Це можуть бути:

- метали;
- дерево;

- полімери;
- скло;
- камінь тощо.

Заготовки розміщується на робочому столі, а далі їх обробляє фреза за рахунок обертальних рухів, при яких вона зрізає лишні шари матеріалу. Фрезерні верстати випускаються з різним конструкторським виконанням (консольні, безконсольні). Моделі консольного типу можуть бути широкої універсальності, а також горизонтального та вертикального типу. Безконсольні, вертикальні та горизонтальні.

Також фрезерні ЧПК верстати поділяються за кількістю змінних робочих інструментів:

- з одним робочим інструментом;
- з магазином робочих інструментів;
- за способом заміни робочих інструментів;
- ручна заміна;
- заміна інструментів револьверної головки в автоматичному режимі;
- заміна інструментів магазину в автоматичному режимі.

В верстатах, де використовується метод автоматичної заміни інструменту, цей процес виконується за допомогою роботів або маніпуляторів. Якщо в будові ЧПК верстату передбачено магазин інструментів, то тоді він має відношення до класу гнучких виробничих комплексів і може працювати тривалий час без втручання оператора.

Популярні «класичні» фрезерні центри або фрезерні верстати мають консольну будову рами, що обмежує вагу і розмір заготовки яка обробляється. Для фрезерування великогабаритних або важких деталей використовуються станки портального типу.

Зовнішній вигляд і будова портального ЧПК верстату показано на рисунку 1.1 [1].

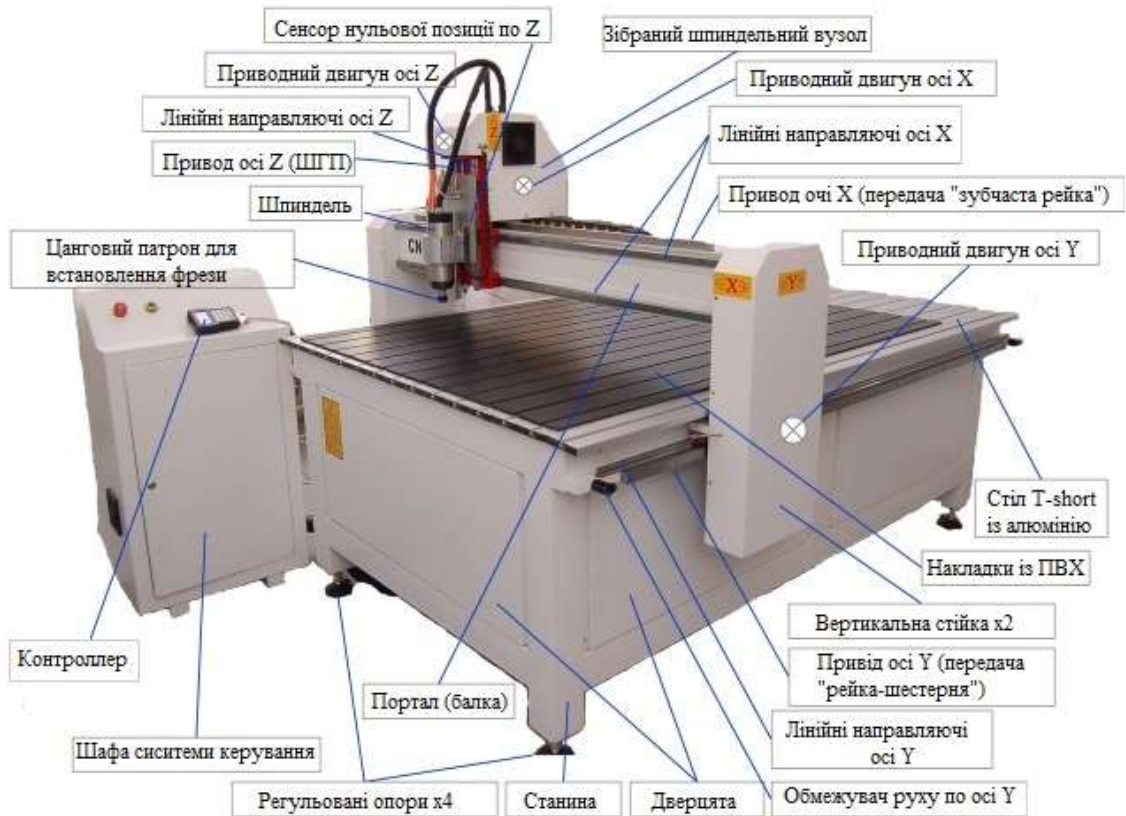


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд і будова портального фрезерного ЧПУ

За своєю конструкцією портал складається з двох колон, до яких кріпляться краї поперечної балки, на якій розміщуються шпиндельна головка з вертикальним шпинделем. В залежності від конструкції, шпиндель може рухатись не тільки вгору-вниз, а й повертатись або нахилитись в двох вертикальних площинах.

Якщо у «класичних» фрезерних верстатів переміщення по 3-х координатним площинах відбувається за рахунок робочого столу, то в портальних може рухатися лише сам портал відносно робочого столу. Це зумовлено тим, що на робочому столі часто розміщуються або дуже важкі або великі заготовки і реалізувати рухомий стіл для таких заготовок, при цьому зберігши точність і швидкодію, було б досить важким і високовартісним завданням.

1.2 Аналіз системи числового програмного керування верстатом

Система числового програмного керування є спеціалізованим швидким комп'ютером, який поєднаний з системою сенсорів верстату, на якому виконується керуюча програма.

Керуюча програма – це послідовність операцій, так званих G-кодів, тобто команди переміщення, пуску, зупинки, зміни швидкості технічних вузлів верстату.

Сучасну системи ЧПК може не лише виконувати програму керування, а й відтворювати результати роботи в якості 3D моделей на екрані ЧПК, а також мають інструменти для підготовки і редагування цих же програм. Появилась можливість конвертування креслень, зроблених в спеціальних конструкторських програмах, в програми керування, що робить процес підготовки до роботи легшим і швидшим.

Кінцева програма практично зразу ж готова до роботи, потрібно лише виконати прогони на верстаті і далі верстат буде виконувати самі найскладніші операції, які неможливо виконати на верстаті з ручним керуванням, з ювелірною точністю.

На рисунку 1.2 зображено основні ознаки, за якими класифікуються системи числового програмного керування.

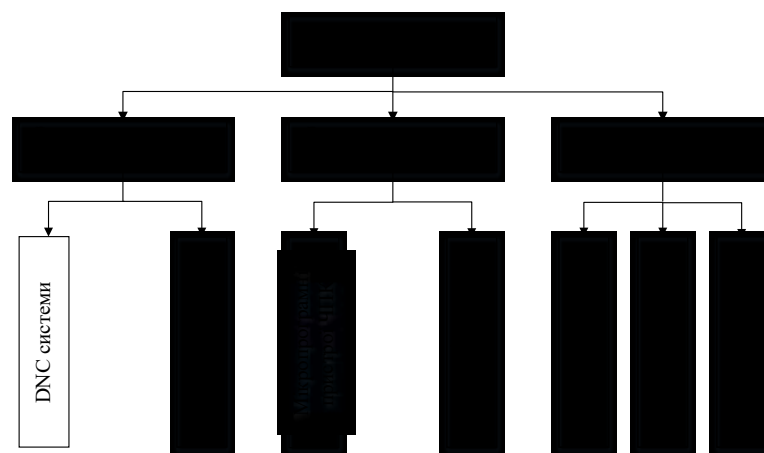


Рисунок 1.2 – Ознаки, за якими класифікуються ЧПК системи

1.3 Вимоги до електроприводу та системи керування

Головною вимогою до електроприводу позиційних систем є забезпечення заданої точності позиціонування при змінних параметрах і навантаженні. У зв'язку з цим, електродвигун повинен працювати у всіх чотирьох квадрантах механічної характеристики. Крім зовнішніх збурень (зміни статичного навантаження, сил тертя) в позиційних механізмах мають місце параметричні збурення, головним з яких є зміна приведенного моменту інерції в широких межах. Вимоги до електроприводів визначаються технологією обробки, конструктивними особливостями верстата, ріжучим інструментом, функціональними можливостями. Основні технологічні вимоги полягають в забезпеченні необхідних технологічних режимів обробки з використанням сучасного ріжучого інструменту, максимальної продуктивності, необхідної точності обробки, високої чистоти оброблюваної поверхні (зниження шорсткості), повторюваності розмірів деталей в оброблюваній партії (стабільності).

Розширення технологічних режимів обробки на одному верстаті з використанням сучасного ріжучого інструменту призвело до ускладнення встановлених електроприводів, збільшення встановленої потужності двигуна головного руху, обертових моментів двигунів подач, розширенню діапазонів регулювання швидкості головного приводу, робочих подач, збільшення швидкодії всіх приводів при керуючій і збурюючій взаємодії, що обумовлюються посиленням вимог до стабільності і рівномірності обертання електродвигунів всіх приводів.

1.4 Аналіз методів нечіткого керування

В системах позиційного керування широко застосовуються пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори, засновані на емпіричному підході, при якому закон керування вибирається згідно точного математичного опису при будь-яких логічних структурах. Ідеалізований закон ПІД-регулювання має вигляд:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + K_D \frac{d}{dt} e(t), \quad (1.1)$$

$$e(t) = x_0(t) - y(t), \quad (1.2)$$

де $e(t)$ – сигнал похибки регулювання;

x_0 – заданий вплив;

$y(t)$ – вихідний сигнал об'єкту;

$U(t)$ – вихідний сигнал регулятора, керуючий вплив;

K_p, K_I, K_D – коефіцієнт пропорційної, інтегральної і диференціальної складових.

ПД-регулятори ефективні в керуванні різними об'єктами і процесами. Понад 70% вживаних в даний час в промисловості регуляторів – це ПД-регулятори. На практиці існує велика кількість досить ефективних методів експериментального налаштування параметрів ПД-регуляторів для визначених об'єктів керування. При проектуванні систем керування складних електромеханічних систем (ЕМС), вплив на динамічний режим пружних зв'язків, ланок з запізненням, і інших не враховується. В таких системах ПД-регулятори часто не можуть забезпечити необхідної якості керування. У зв'язку з цим постає задача розробки системи регулювання, якій під силу працювати в режимі параметричної невизначеності.

У зв'язку з цим, стає актуальним використання інтелектуальних систем керування, здатних до "розуміння" і навчання об'єктів управління щодо параметричних і збурюючих впливів.

Основною відмінністю інтелектуальних систем є наявність алгоритму системної обробки знань. Архітектурною особливістю таких систем керування є наявність механізму отримання, зберігання і обробки інформації для відтворення заданих функцій. Для створення інтелектуальних систем керування можна орієнтуватися на два принципи: ситуаційне управління (управління на основі аналізу зовнішніх ситуацій або подій) і використання сучасних інформаційних технологій обробки і зберігання інформації.

У структурі інтелектуальних систем автоматичного керування (САК) можуть міститися додаткові блоки, що виконують функцію системної обробки знань на основі названих вище інформаційних технологій. Дані блоки можуть виконуватися або як піднадаштовуючі над звичайними регуляторами, регулюючи потрібним чином параметри, або безпосередньо включатися в замкнутий контур керування.

Застосування нечіткого керування (Fuzzy Control) дозволяє створювати високоякісні системи керування і є однією з найперспективніших інтелектуальних технологій. Для нечітких систем автоматичного керування характерним є наявність блоків нечіткого логічного висновку (БНВ). В більшості випадків вихідні і вхідні сигнали БНВ є чіткими функціями часу, а сам блок містить ланки фазифікації (введення нечіткості) і дефазифікації (наближення до чіткості), принцип роботи зображено на рисунку 1.3.

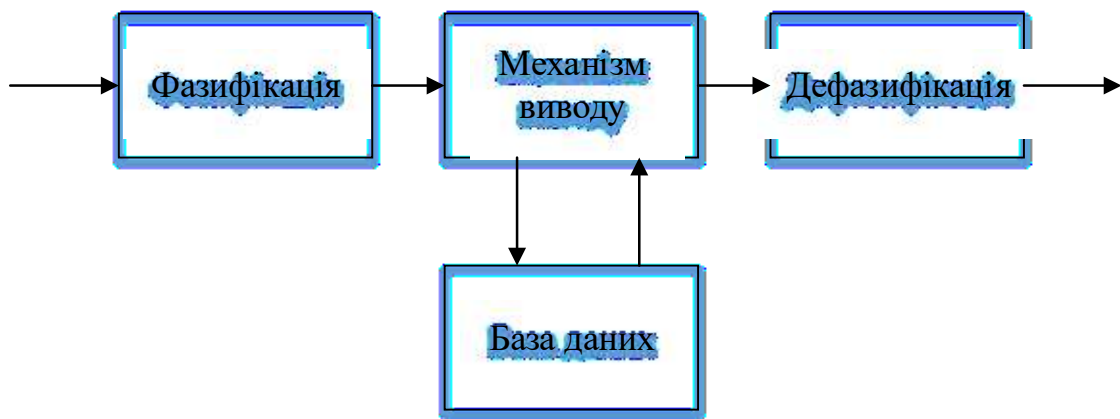


Рисунок 1.3 – Структура блоку нечіткого висновку

Місце розміщення блоків виходу, нечіткої логіки, є одним з головних факторів при класифікації нечітких систем керування, сигнали з системи нечіткого керування керують параметрами звичайної системи керування. Приведену структурну схему системи керування нечітким регулятором зображено на рисунку 1.4.

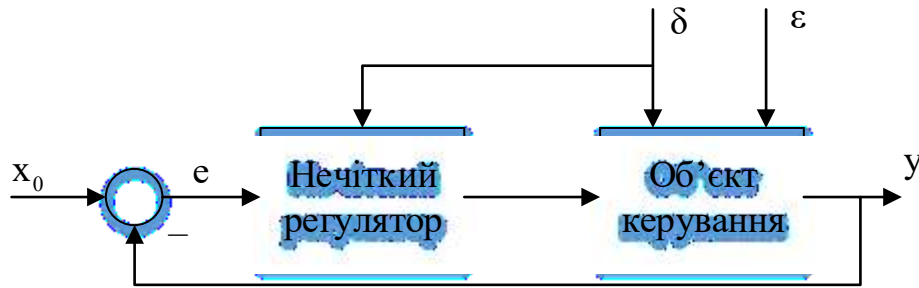


Рисунок 1.4 – Структурна схем системи керування з нечітким регулятором

1.5 Постановка задачі дослідження

В результаті аналізу відомих систем позиційного керування електроприводом. З розгляду основних положень теорії забезпечення оптимізації динамічних режимів роботи таких систем, можемо зробити такі висновки:

- система керування з ПІ та ПІД-регуляторами володіють певною грубістю по відношенню до параметричних, координатних та інших збурюючих факторів;
- недоліком системи підрядного керування (СПК) є неможливість забезпечення високої точності позиціонування робочого органу складного об'єкту керування;
- для отримання передаточної функції регулятора підпорядкованої системи керування, які мають змогу компенсувати інертність ланок, потрібно мати детальну інформацію про структуру об'єкта керування для забезпечення необхідної точності регулювання;
- більшість реальних об'єктів керування має складну нелінійну структуру, яка складається з ланок з запізненнями, пружних механічних зв'язків з точними і варійованими параметрами, для яких практично неможливо використовувати систему підпорядкованого керування;
- оскільки в більшості робіт про нечітке керування електроприводом, фаззі-регулятор виступає лише додатковим коригуючим засобом, а головна задача лягає на традиційний регулятор, тому більш розумно буде використовувати фаззі-регулятор з найбільш простою структурою.

Таким чином, для досягнення мети даної роботи, а саме підвищення точності позиціонування робочої частини верстату, вчасності динамічних характеристик позиційного електроприводу складної структури при впливі параметричних і зовнішніх збурюючих факторів методом використання моделі задання. З фаззі-регулятором, необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити структурну схему позиційного керування електроприводом з зворотніми зв'язками по струму, швидкості і положенню;
- розробити структурну схему позиційного керування при двоканальному регулюванні;
- розробити структурну схему позиційного керування електроприводом з використанням фаззі-регулятора;
- дослідити перехідні процеси в наведених вище системах позиціонування.

1.6 Висновки до розділу

В даному розділі було проаналізовано основні елементи будови і функціонування порталного фрезерного верстату з числовим програмним керуванням. Проаналізувавши систему позиціонування верстату, було зроблено висновок, що покращити її можна за допомогою додавання до системи керування ланки з нечітким регулятором. В наступному розділ буде проведено побудову кінематичної моделі верстату, створення математичної моделі асинхронного двигуна (АД), як об'єкта керування, розраховано моменти ланок і необхідну потужність приводних двигунів, побудовано функціональну схему позиційного керування системою перетворювач частоти-асинхронний двигун.

2 РОЗРОБКА КІНЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕРСТАТУ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

2.1 Побудова кінематичної моделі портального верстату

З кінематичної точки зору, верстат представляє з себе три рухомі ланки, розміщених на профільних рельсових направляючих, які приводяться в дію асинхронними сервоприводами через зубчаті колеса розміщені на зубчатих рейках. На рисунку 2.1 зображена кінематична модель портального фрезерного ЧПК верстату з вказанням основних кінематичних елементів.

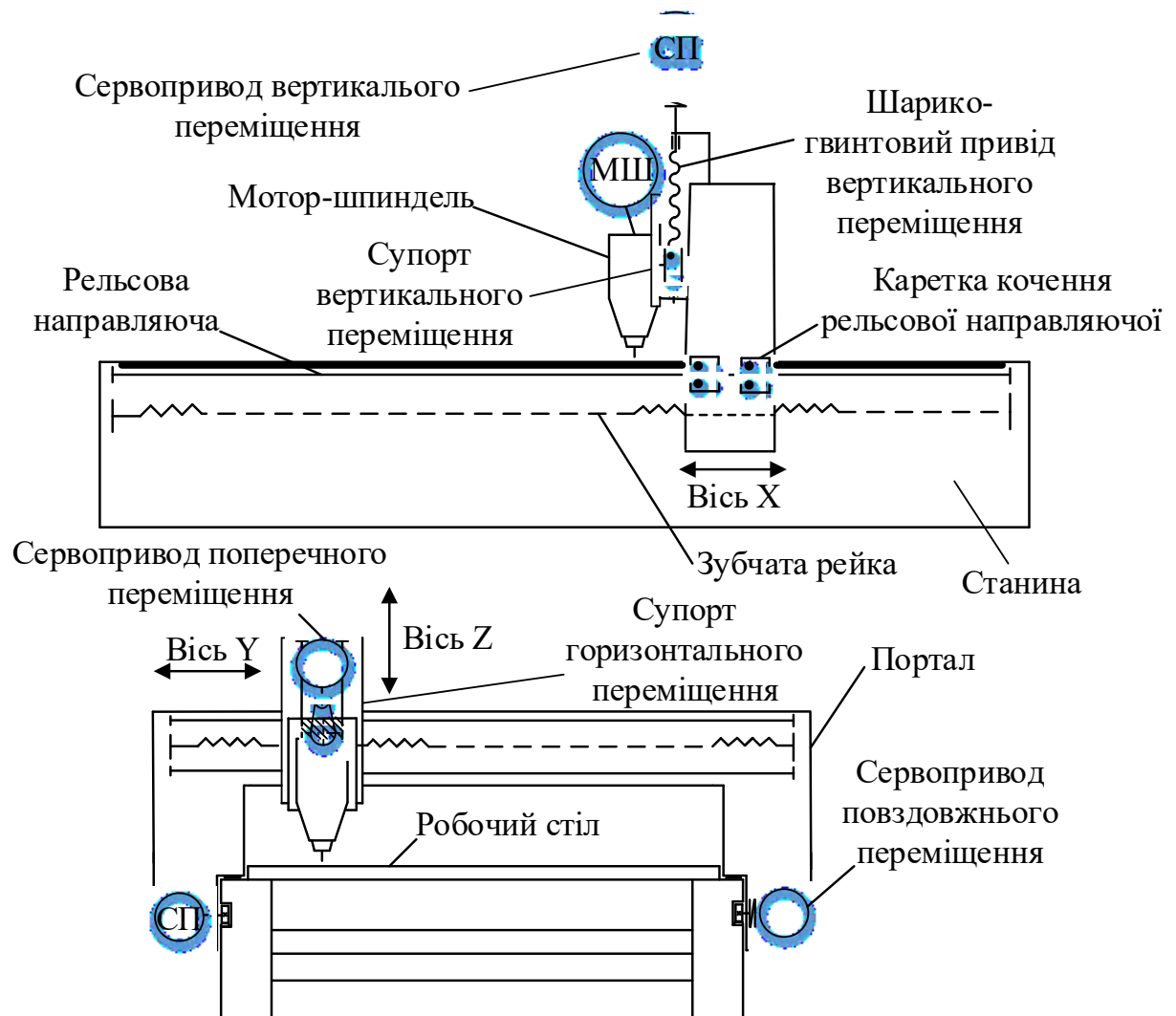


Рисунок 2.1 – Кінематична модель портального верстату з ЧПК

На рисунку 2.1 представлені такі умовні позначення: СП – сервопривод; МШ – мотор-шпиндель.

Портальний верстат представляє з себе досить просту, але й в той же час складну інженерну структуру. Основними його частинами є станина, яка є головною, несучою частиною верстату, порталу, що здійснює повздовжні переміщення, а також завдяки ньому відбувається переміщення, мотор-шпинделя з ріжучим інструментом по осі X. На порталі розміщується супорт поперечного переміщення, він здійснює переміщення ріжучого інструменту по осі Y. Супорт вертикального переміщення, розміщений на супорті поперечного переміщення, здійснює вертикальне переміщення, встановленого на нього, мотор-шпинделя з ріжучим інструментом. Переміщення порталу і супортів вертикального та горизонтального переміщення, здійснюється по рейковим направляючим на каретках кочення. Сервоприводи забезпечують рух ланок завдяки передачі обертового момент зубчатими колесами на зубчаті рейки через муфту, а привод поперечного переміщення через редуктор (виду зубчатий ремінь – шків). Переміщення супорту вертикального переміщення здійснюється по рейковим направляючим за допомогою шарико-гвинтового приводу, який приводиться в рух сервоприводом.

2.2 Математична модель асинхронного двигуна як об'єкта керування

Запишемо вираз для векторів потокозчеплення статора і ротора:

$$\psi_s = L_0(I_s + I_r) + L_{s\sigma 1}I + L_{s\sigma 2}A_0(0)I_s, \quad (2.1)$$

$$\psi_r = L_0(I_s + I_r) + L_{r\sigma 1}I + L_{r\sigma 2}A_0(0)I_r, \quad (2.2)$$

де $L_0 = \begin{bmatrix} L_m & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_m & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$ – матриця головних індуктивностей двигуна.

Індуктивність обмоток статора і ротора визначаються як:

$$L_s = L_m + L_{\sigma s}, \quad (2.3)$$

$$L_r = L_m + L_{\sigma r}. \quad (2.4)$$

де

$$L_{\sigma s} = L_{\sigma s1} + L_{\sigma s2}, \quad (2.5)$$

$$L_{\sigma r} = L_{\sigma r1} + L_{\sigma r2}, \quad (2.6)$$

являється індуктивність розсіювання, а L_m індуктивності статора і ротора по відношенню до струмів нульової послідовності рівні $L_{\sigma r1}$ та $L_{\sigma s1}$. Цих даних достатньо для того, щоб оцінити динаміку струмів нульової послідовності при живленні АД від несиметричного джерела напруги.

З метою зниження непродуктивних втрат енергії, на практиці завжди, бажано, забезпечувати симетричний або близький до нього режим роботи електричної машини, виключимо з розгляду змінні нульової послідовності і в подальшому будемо використовувати двофазні моделі двигунів, вичерпним чином описуючи їх динамічні та статичні властивості в симетричних режимах. Запишемо вираз для двофазних моделей:

$$\psi_s = L_s I_s + L_m I_r, \quad (2.7)$$

$$\psi_r = L_m I_s + L_r I_r, \quad (2.8)$$

далі за допомогою цих виразів запишем вирази:

$$I_r = \frac{1}{L_r} (\psi_r - L_m I_s), \quad (2.9)$$

$$\psi_s = \frac{L_m}{L_m} \psi_r - L_{\sigma s} I_s. \quad (2.10)$$

де $I_{\sigma e} = \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_r}$ – еквівалентна індуктивність розсіювання двигуна, далі прирівняєм до нуля вектор U_r і запишемо отриману систему рівнянь в наступній формі:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{\sigma e} I_s = -R_s I_s - \frac{L_m}{L_r} \psi_r - \omega_k D \left(L_{\sigma e} I_s + \frac{L_m}{L_r} \psi_r \right) + U_s, \\ \psi_r = \frac{L_m R_r}{L_r} I_s - (\omega_k - \omega_e) D \psi_r - \frac{R_r}{L_r} \psi_r. \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Система (2.11) разом з формулою моменту:

$$M_e = p_n \frac{L_m}{L_r} I_s^T D \psi_r, \quad (2.12)$$

і виразом руху привода:

$$J\omega = M_e - M_c \quad (2.13)$$

де J – сумарний момент інерції ротора двигуна и жорстко зв'язаних з ним мас;

M_c – приведений до валу двигуна момент опору навантаження.

Все вище продемонстроване створює математичну модель асинхронного двигуна (АД), яка використовується при синтезі законів векторного керування.

2.3 Розрахунок моментів рухомих ланок верстату

З рисунку 2.1 ми можемо бачити, що верстат має три ступенів вільності, по осі X , Y та Z . Для того, щоб обрати потужність приводних двигунів. Які будуть забезпечувати рух ланок, ми маєм визначити моменти прикладені на вісі. Розрахунок будем проводити до осі X , решта осей розраховуються аналогічним методом. Приймемо, що $m = 80$ кг, $r = 2$ м.

Розрахуємо момент інерції прикладений до осі X :

$$\varepsilon_X = \frac{\omega_X}{t_p}, \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{2,1}{0,2} = 10,5.$$

$$J_x = m_{ix} \cdot r_{ix}^2, \quad (2.15)$$

$$J_x = 80 \cdot 4 = 320 \text{ (Н)}.$$

Розрахуємо статичний момент:

$$M_X = g \left((m_{YZ} + M_{YZ}) \cdot L_Y + M_Y \cdot \frac{L_Y}{2} \right) (1 + k_{тр}), \quad (2.16)$$

$$M_X = 9,8 \left((120 + 15) \cdot 0,42 + 10 \cdot 0,2 \right) (1 + 0,08) = 122,5 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Розрахуємо динамічний момент:

$$M_{динX} = J_x \cdot \varepsilon_x; \quad (2.17)$$

$$M_{динX} = 60 \cdot 6,9 = 414 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Розрахунок еквівалентного моменту вісі X:

$$M_{екв.X} = \sqrt{\frac{\left((M_X + M_{динX})^2 + (M_X - M_{динX})^2 \right) \cdot 4t_n + M_X^2 t_y}{t_u TB}}, \quad (2.18)$$

$$M_{екв.X} = \sqrt{\frac{\left((122,5 + 414)^2 + (122,5 - 414)^2 \right) \cdot 4 \cdot 0,2 + (122,5)^2 \cdot 0,05}{60 \cdot 80\%}} = 345,69 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Розрахунок потужності двигуна:

$$P_{розX} = M_{еквX} \cdot \omega, \quad (2.19)$$

$$P_{розX} = 345,69 \cdot 3,9 = 1348,2 \text{ (Вт)}.$$

2.4 Розробка функціональної схеми позиційного керування системою перетворювач частоти-асинхронний двигун

На рисунку 2.2 зображено функціональну схему керування позиційним електроприводом перетворювач частоти-асинхронний двигун (ПЧ-АД).

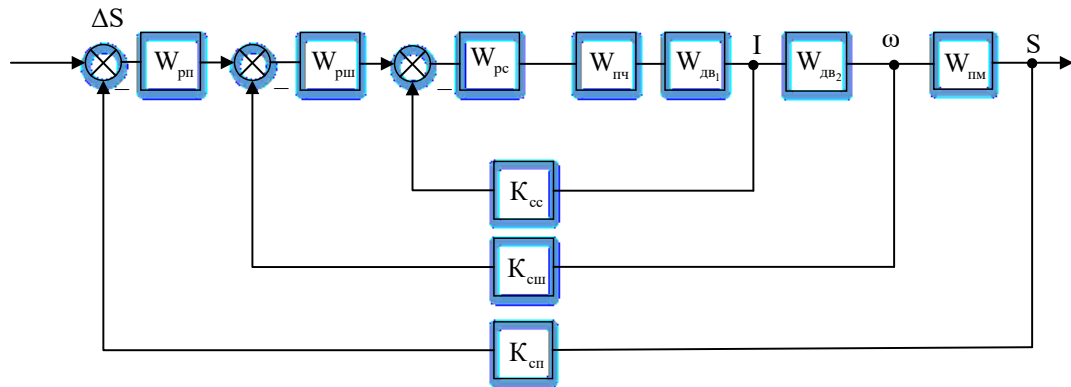


Рисунок 2.2 – Функціональна схема керування системою позиційного електроприводу ПЧ-АД

На рисунку 2.2 зображені такі умовні позначення: $W_{рп}$ – регулятор положення; $W_{рс}$ – регулятор швидкості; $W_{рш}$ – регулятор струму; $W_{пч}$ – перетворювач частоти; $W_{дв1}$ і $W_{дв2}$ – двигун; $W_{пм}$ – передавальний механізм; $K_{сс}$ – сенсор струму; $K_{сш}$ – сенсор швидкості; $K_{сп}$ – сенсор положення.

Робота системи підпорядкованого регулювання полягає в послідовному включенні контурів регулювання [11]. Якщо в деякій системі виникає необхідність регулювати кілька величин (швидкість і струм двигуна, швидкість переміщення і тощо), то в ній застосовуються зворотні зв'язки за даними величинам, які починають працювати, коли величина починає перевищувати своє гранично допустиме значення. На рисунку 2.2 представлений приклад системи підпорядкованого регулювання [15]. Представлена система складається з трьох контурів: перший контур - регулювання струму якоря; другий контур - регулювання частоти обертання; третій контур - регулювання положення. На вхід регулятора надходить сигнал з відповідного йому об'єкта керування. Систему

можна розбити на каскади, де попередній каскад задає наступний. Передавальна функція об'єкта регулювання складається з двох постійних часу: великої і малої. Для правильного функціонування регулятора, як правило, вибираються параметри, при яких включення його послідовно з ланкою системи, дає повне гасіння великої постійної часу, а натомість працює менша постійна.

Регулятор швидкості обмежується значенням максимального струму якоря. Середні і великі переміщення відбуваються при обмеженні швидкості, що виконується при умови рівності максимальної швидкості з номінальною швидкістю обертання. Оскільки робота приводу пов'язана з широким діапазоном зміни статичного моменту, вибір коефіцієнта посилення відбувається в процесі відпрацювання завдання при переміщенні з досягненням максимальної швидкості, коли відсутнє навантаження. Але все ж вказана система не може забезпечити потрібну високу точність позиціонування необхідну для ЧПК верстату. Тому прийнято рішення удосконалити систему методом заміни контуру регулювання положення, який реалізований пропорційно-інтегральним регулятором, на регулятор на основі нечіткої логіки.

2.5 Аналіз регулювання параметрів позиційної системи ПЧ-АД за допомогою нечіткої логіки

Використання нечіткої логіки дозволяє створювати адаптивні системи керування як простими системами, так і великими промисловими мережами. Класичні методи керування добре працюють за умови присутності детальної інформації про об'єкткерування.

Одина з найпоширеніших сфер використання нечіткої логіки є керування різними об'єктами чи процесами. У цьому випадку побудова нечіткої моделі базується на представленні характеристик системи у термінах лінгвістичних змінних. Оскільки, окрім алгоритму керування, основними поняттями системи керування є вхідні і вихідні змінні, то саме вони розглядаються як лінгвістичні змінні при формуванні бази правил у системах нечіткої логіки [10].

Принцип формування алгоритму генерації керуючих команд в системі нечіткої логіки приведено на рисунку 2.3.

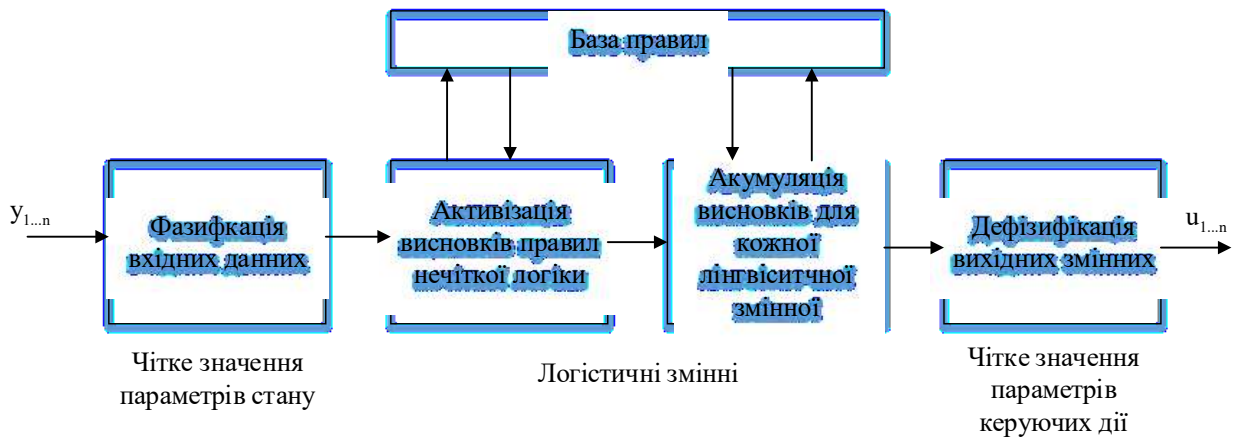


Рисунок 2.3 – Принцип формування команд нечіткої логіки

2.6 Висновки до розділу

В даному розділі ми було розроблено і проаналізовано кінематичну структуру фрезерного портального верстату, побудовано математичну модель асинхронного двигуна, а також проаналізовано структуру методу нечіткої логіки. В наступному розділі буде проведено розрахунок електроприводу для ланок верстату, а також розроблено схеми позиційного керування електроприводом при одноканальному і при використанні нечіткого контролера. Відносно отриманих даних буде розраховано і спроектовано електричну пинципову схему електроприводу портального фрезерного верстату з числовим програмним керуванням.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ

3.1 Вибір приводних двигунів та перевірка за нагрівом і перевантажувальною здатністю

Обираємо приводний двигун за потужністю та швидкістю обертання відповідно до заданого відношення:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}. \end{cases} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ - номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$ - розрахункова потужність приводного двигуна, кВт;

$\omega_{\text{дв.н}}$ - номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} ;

$\omega_{\text{роз}}$ – розрахункова кутова швидкість, с^{-1} .

Виходячи з даної умови, обираємо чотири сервоприводи Lenze, для кожної з ланок порального верстату. На рисунку 3.1 [17] представлений вибраний сервопривод.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд сервопривода Lenze

Паспортні дані вибраних сервоприводів представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Паспортні дані сервоприводів

Вісь	A1	A2	A3	A4
Сервопривод	MCS 09H60	MCS 09H60	MCS 09D60	MCS 09D41
n_n , об/хв	3000	3000	3000	3000
n_{max} , об/хв	5000	5000	6000	6000
M_0 , Н·м	5,5	5,5	3,3	3,3
M_n , Н·м	3,0	3,0	1,8	2,3
M_{max} , Н·м	20,0	20,0	9,5	9,5
P_n , кВт	1,9	1,9	1,1	1,0
I_n , А	6,0	6,0	3,8	2,3
f_n , Гц	400	400	400	270
J_{mot} , кг·м ² ·10 ⁻⁴	1,9	1,9	1,1	1,1
ККД, %	96	96	96	96
m, кг	6,1	6,1	4,3	4,3

Синхронна кутова швидкість приводного двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{z_p}, \quad (3.2)$$

де f – частота напруги живлення ($f = 50$ Гц);

z_p – кількість пар полюсів обмотки статора ($z_p = 3$).

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,7 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна кутова швидкість приводного двигуна:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi}{60} n_{\text{дв.н}}, \quad (3.3)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2 \cdot 3,14}{60} 3750 = 314 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальний момент приводного двигуна:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (3.4)$$

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{1900}{314} = 6,05 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Кратність критичного моменту приводного двигуна:

$$\lambda_k = \frac{M_{\text{дв.мах}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (3.5)$$

$$\lambda_k = \frac{20}{6,05} = 3,3.$$

Кратність пускового моменту приводного двигуна:

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{M_{\text{дв.пуск}}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (3.6)$$

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{380}{110,5} = 5,3.$$

Номінальне ковзання:

$$s_{\text{ном}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0}, \quad (3.7)$$

$$s_{\text{ном}} = \frac{105,7 - 96,2}{105,7} = 0,08.$$

Критичне ковзання:

$$s_k = s_{\text{НОМ}} (\lambda_k + \sqrt{\lambda_k^2 - 1}), \quad (3.8)$$

$$s_k = 0,09 \cdot (2,47 + \sqrt{2,47^2 - 1}) = 0,48.$$

Кутова швидкість приводного двигуна, при критичному ковзанні:

$$\omega_k = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{кр}}), \quad (3.9)$$

$$\omega_k = 113,6 \cdot (1 - 0,48) = 52,9 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номинальна фазна напруга при схемі з'єднання обмоток «зіркою»:

$$U_\phi = \frac{U_\text{л}}{\sqrt{3}}, \quad (3.10)$$

де $U_\text{л}$ – номінальна лінійна напруга, ($U_\text{л} = 380 \text{ В}$).

$$U_\phi = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,4 \text{ (В)}.$$

З наведених вище паспортних даних видно, що вибрані 4 сервоприводів (Lenze) відповідаю вимогам наведеним в виразі (3.1).

Для перевірки вірності вибору сервоприводу необхідно здійснити його перевірку за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.

Оскільки режим роботи сервоприводу може передбачати часті пуски та електричні гальмування, які суттєво впливають на нагрів приводного двигуна, то виконується його перевірка за нагрівом відповідно до умови:

$$M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{ТВ_\phi \%}{ТВ_{\text{ст}} \%}}, \quad (3.11)$$

де $M_{\text{дв.н}}$ – номінальний момент приводного двигуна, Н·м;

$M_{\text{екв}}$ – еквівалентний момент згідно з навантажувальною діаграмою привода, Н·м.

$$115,5 \geq 111,9 \cdot \sqrt{\frac{76,5\%}{80\%}},$$

$$115,5 \geq 109,42 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Перевірка приводного двигуна на перевантажувальну здатність здійснюється відповідно до умови:

$$\lambda_k \geq \frac{M_{\max}}{M_{\text{дв.н}}}, \quad (3.12)$$

де λ_k – Кратність критичного моменту приводного двигуна;

M_{\max} – максимальне значення моменту, який повинен розвивати приводний двигун за цикл роботи, Н·м.

$$4,09 \geq \frac{109,42}{36,6},$$

$$4,09 \geq 2,9.$$

Для забезпечення надійного пуску сервоприводу необхідно здійснити перевірку за умовами пуску з урахуванням можливого зниження напруги мережі при пуску відповідно до умови:

$$k_u^2 \cdot M_{\text{дв.п}} \geq M_{\text{с.п}} + M_{\text{д}}, \quad (3.13)$$

де k_u – коефіцієнт, що враховує зниження напруги мережі при пуску ($k_u = 0,9$);

$M_{\text{дв.п}}$ – пусковий момент приводного двигуна, Н·м;

$M_{\text{с.п}}$ – момент опору механізму при швидкості, рівній нулю, Н·м;

$M_{\text{д}}$ – динамічний момент, Н·м.

$$(0,9)^2 \cdot 380 \geq 107,8 + 28,$$

$$307,6 \geq 148,3.$$

Як бачимо приводний двигун вибрано правильно, що підтверджено результатами розрахунків.

3.2 Розрахунок контурів регулювання

3.2.1 Розрахунок і вибір згладжувального дроселя

Індуктивність згладжувального дроселя:

$$L_{з.др} = \frac{100 \cdot E_{кр}}{\sqrt{2} \cdot k_r \cdot m_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot (\delta_{\%} \cdot I_d)} - k_R \cdot L_{мп} - L_{я}, \quad (3.14)$$

де $E_{кр}$ – амплітудне значення гармонічної складової випрямленої напруги.

Воно визначається як:

$$E_{кр} = 1,35 \cdot U_{2н} \cdot \frac{2 \cdot \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{(k_r \cdot m_n)^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + (k_r \cdot m_n)^2 \cdot \tan^2\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)}, \quad (3.15)$$

де α – кут регулювання, при якому спостерігається максимальне значення $E_{кр}$ ($\alpha = 80^\circ$);

k_r – кратність гармоніки;

$\delta_{\%}$ – допустиме значення основної гармоніки струму ($\delta_{\%} = 7$);

$L_{я}$ – індуктивність якоря двигуна:

$$L_{я} = k \cdot \frac{30 \cdot U_{н}}{\pi \cdot p \cdot n_{н} \cdot I_{н}}, \quad (3.16)$$

де k – коефіцієнт, який враховує конструктивну особливість двигуна ($k = 0,5$);

p – кількість пар полюсів ($p = 2$);

$n_{н}$ – номінальна частота обертання двигуна ($n_{н} = 230$).

$$L_{я} = \frac{29 \cdot 0,5 \cdot 799}{3,14 \cdot 2 \cdot 230 \cdot 3000} = 1,508 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)},$$

$$E_{кр} = 1,35 \cdot 300 \cdot \frac{2 \cdot \cos 80^\circ}{(1 \cdot 3)^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + (1 \cdot 3)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 80^\circ} = 380 \text{ (В)},$$

$$L_{з,др} = \frac{100 \cdot 380}{\sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 7 \cdot 3000} - 1 \cdot 1,803 \cdot 10^{-4} - 1,498 \cdot 10^{-3} = 2,151 \cdot 10^{-4} \text{ (Гн)}.$$

З каталогу [17] вибирається дросель за величиною струму, що протікає через нього, із стандартним значенням індуктивності $L_{зр}$ та його активним опором. Вибирається дросель серії Lenze ELN3-0086I075 на номінальний струм 49 А.

3.2.2 Розрахунок силової частини електропривода

Розрахунок представлений для двигуна осі А1, так як для остальных, розрахунок відбувається аналогічним чином

Умови вибору перетворювача частоти:

$$\begin{cases} P_{пч} \geq P_{дв.сп} \\ I_{пч} \geq I_{дв.н} \end{cases}, \quad (3.17)$$

де $P_{дв.сп}$ – споживана двигуном потужність в номінальному режимі, кВт;

$I_{дв.н}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

$$P_{дв.сп} = \frac{k \cdot P_{дв.н}}{\eta_{дв.н}}, \quad (3.18)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на вході перетворювача ($k=1.05$).

$$P_{дв.сп} = \frac{1,05 \cdot 1,2}{0,96} = 1,1 \text{ (кВт)}.$$

Додатково перевіряємо перетворювач частоти за такою умовою:

$$P_{пч} \geq \frac{P_{дв.пуск}}{\lambda_{пч}}, \quad (3.19)$$

де $P_{дв.пуск}$ – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{пч}$ – перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{пч} = 1,7$).

$$P_{пч} \geq \frac{3,91}{1,7},$$

$$P_{пч} \geq 2,1 \text{ (кВт)}.$$

Пускова потужність двигуного привода:

$$P_{дв.пуск} = \frac{k \cdot n_n}{9550 \cdot \eta_{дв}} \cdot M_{сдв}, \quad (3.20)$$

$$P_{дв.пуск} = \frac{1,05 \cdot 3000}{9550 \cdot 0,96} \cdot 3,1 = 1,07 \text{ (кВт)}.$$

Додатково перевіряємо перетворювач за такою умовою:

$$I_{пч.пуск} \geq \frac{k \cdot n_n}{9,55 \cdot \eta_{дв} \cdot U_{ном} \cdot \sqrt{3}} \cdot M_{сдв}, \quad (3.21)$$

$$I_{пч.пуск} \geq \frac{1,05 \cdot 3000}{9,55 \cdot 1,7 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot 3,1 = 3,03 \text{ (А)}.$$

Обираємо перетворювач частоти частоти INVT Electric GD20 [14]. На рисунку 5.2 представлений зовнішній вигляд вибраного частотного перетворювача.



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти INVT Electric GD20

Паспортні дані наведені в таблиці 3.2 [17].

Таблиця 3.2 – Паспортні дані перетворювача частоти

Параметр	Значення
Бренд	INVT
Серія	GD100
sku	GD100-0R7G-4
Потужність	1,5 кВт
Число фаз/напруги на вході	3-ф/380 (трифазний 380в) В
Число фаз/напруги на виході	3-ф/380 В
Мmax (1 min) %	150
Струм номінальний	7,1 А
Струм продовж 1 хвилини	10 А
Максимальна вихідна частота	400 Гц
Ступінь захисту по IP	20
ЕМС фільтр	Є
Тормозной модуль	Є
Встроенный ПЛК	Немає
Встроєний регулятор	ПД
Параметр	Значення
Скалярний режим керування	Є
Векторний режим керування без энкодера	Є
Лінійний закон керування U/f	Є
Квадратичний закон керування U/f ²	Немає
Панель програмування в комплекті з ПЧ	З'ємна
Максимальне число фіксованих швидкостей	18

Продовження таблиці 3.2

Параметр	Значення
Число/тип аналогових входів	4(1: 0-10V або 0-20mA; 1:-10...+10V)
Число дискретних входів	5
Число/тип аналогових виходів	4:0-10V або 0-20mA
Число релейних виходів	2
Вбудований потенціометр (або номінальний опору)	Є
Протокол CANopen	Опція
Протокол PROFIBUS DP	Є
Протокол Ethernet IP	Опція
Інтерфейс RS-485/Modbus	Є

3.2.3 Вибір сенсорів та їх коефіцієнтів підсилення

Як сенсор струму використовується сенсор на ефекті Холла, а як сенсор частоти обертання – револьвер (вже вмонтований в сервопривод з заводу).

3.2.3.1 Розрахунок та вибір сенсора струму

Як сенсора струму вибираємо з довідника [15] сенсор В203ХТ 10 А, а максимально допустимий первинний струм відповідно до технічної специфікації рівний $\pm 15\text{A}$ розрахований на максимально допустимий струм в колі якоря двигуна з врахуванням його перевантаження, тобто:

$$\lambda \cdot I_n = 3,47 \cdot 2,5 = 7(\text{A}). \quad (3.22)$$

Рівень вихідного сигналу змінюється в $2,5 \pm 4\%$. Розрахуємо зміну рівня сигналу при зміні вимірювального параметру на 1А:

$$U_{cc} = \frac{0,1}{15} = 0,0067. \quad (3.23)$$

Коефіцієнт підсилення сенсора струму:

$$k_{\text{псс}} = \frac{5}{(U_{\text{cc}} \cdot \lambda \cdot I_{\text{н}})}, \quad (3.24)$$

$$k_{\text{псс}} = \frac{5}{(0,0067 \cdot 3,45 \cdot 2,5)} = 87,7.$$

3.2.3.2 Розрахунок параметрів силового кола

Опір якорного кола:

$$R_{\alpha} = \beta \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{дод}} + R_{\text{ко}}) + \frac{2 \cdot \Delta U_{\text{щ}}}{I_{\text{н}}}, \quad (3.25)$$

де β – коефіцієнт двигуна, який враховує зміну опору при нагрівання двигуна ($\beta = 1,4$);

$R_{\text{я}}$ – значення активного опору обмотки якоря електричного двигуна;

$R_{\text{дод}}$ – значення активного опору додаткових полюсів двигуна;

$R_{\text{к.о}}$ – значення активного опору компенсаційної обмотки двигуна;

$\Delta U_{\text{щ}}$ – падіння напруги в щітковому контакті двигуна:

$$\Delta U_{\text{щ}} = 2 \cdot p, \quad (3.26)$$

де p – кількість пар головних полюсів.

$$\Delta U_{\text{щ}} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ (В)}.$$

$$R_{\alpha} = 1,4 \cdot (0,00653 + 0,0008 + 0,0042) + \frac{2 \cdot 8}{3000} = 0,023 \text{ (Ом)}.$$

Активний опір головного кола електропривода:

$$R_{\text{е}} = R_{\text{а}} + R_{\text{Лз.др}} + 2 \cdot R_{\text{тр}} + R_{\text{каб}}, \quad (3.27)$$

$R_{\text{каб}}$ – активний опір кабелю або шин, що з'єднують частотний перетворювач з якорем двигуна:

$$R_{\text{каб}} = 0,1 \cdot R_a, \quad (3.28)$$

$$R_{\text{каб}} = 0,1 \cdot 0,023 = 0,0023 (\text{Ом}),$$

$$\begin{aligned} R_e &= 0,023 + 0,001 + 2 \cdot 0,0026 + 0,001 + 0,00194 = \\ &= 0,028 (\text{Ом}). \end{aligned}$$

Індуктивність головного кола електропривода:

$$L_e = L_y + L_{\text{тр}} + L_{\text{зр}} + L_{\text{мп}}, \quad (3.29)$$

$$L_e = 150 + 763 + 0,5 + 150 = 301 (\text{Гн}).$$

Електромагнітна стала часу якірного кола:

$$T_a = \frac{L_y}{R_a}, \quad (3.30)$$

$$T_a = \frac{1,58 \cdot 10^{-3}}{0,023} = 0,095 (\text{с}).$$

Електромагнітна стала часу головного кола:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e}, \quad (3.31)$$

$$T_e = \frac{0,0365}{0,045} = 0,81 (\text{с}).$$

Приведений момент інерції електропривода:

$$J = J_{\text{дв}} \cdot (1 + \Theta), \quad (3.32)$$

де Θ – коефіцієнт моменту інерції механізму ($\Theta = 2,5$);

$J_{\text{дв}}$ – момент інерції двигуна:

$$J_{\text{дв}} = \frac{GD^2}{4}, \quad (3.33)$$

$$J_{\text{дв}} = \frac{20}{4} = 5 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)},$$

$$J = 5 \cdot (1 + 5) = 30 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Коефіцієнт двигуна:

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{а}} - \Delta U_{\text{ш}}}{\omega_{\text{н}}}. \quad (3.34)$$

де $\omega_{\text{н}}$ – номінальна кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{н}}}{30}, \quad (3.35)$$

$$\omega_{\text{н}} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 31,4 \text{ (рад/с)}.$$

Електромеханічна стала часу електропривода:

$$T_{\text{м}} = \frac{J \cdot R_{\text{е}}}{(c\Phi_{\text{н}})^2}, \quad (3.36)$$

$$T_{\text{м}} = \frac{17990 \cdot 0,032}{39,247^2} = 0,145 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт підсилення перетворювача частоти:

$$k_{\text{пч}} = \frac{E_{\text{д0}}}{U_{\text{оп.мах}}}, \quad (3.37)$$

де $U_{\text{оп.мах}}$ – амплітуда опорної синусоїдальної напруги ($U_{\text{оп.мах}} = 10 \text{ В}$).

$$k_{\text{пч}} = \frac{1245}{10} = 124,5.$$

Передавальну функцію перетворювача частоти можна представити у вигляді аперіодичної ланки першого порядку [17]:

$$W(p) = \frac{k_{пч}}{T_{пч}p + 1}, \quad (3.38)$$

де $T_{пч}$ – стала часу частотного перетворювача:

$$T_{пч} = \frac{1}{m_n \cdot f}, \quad (3.39)$$

$$T_{пч} = \frac{1}{3 \cdot 50} = 0,0067 \text{ (с)}.$$

$$W(p) = \frac{10}{0,5 p + 1}.$$

3.4 Висновки до розділу

В цьому розділі було проведено розрахунки приводних двигунів і контуру керування електроприводом, а також вибрані, з каталогів, необхідні перетворювачі частоти, сервоприводи, та інші комплектуючі. В наступному розділі буде проведено розробка структурних схеми однокотурного, двоконтурного позиційного електрприводу, а також системи позиціонування за допомогою нечіткої логіки. Далі проведеться моделювання даних систем і зроблені висновки по ефективності даних систем позиційного керування.

4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ТА РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ КЕРУ- ВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

4.1 Дослідження та розрахунок позиційної системи

Позиційний електропривод забезпечує переміщення ланок механізму по точних координатах заданих системою керування згідно алгоритму програми керування. Позиційний електропривод створюється на аналогії системи підпорядкованого керування, тобто до контуру швидкості ще додається контур положення. Контроль положення механізму здійснюється сенсором положення (СП) переважно це інкрементні або абсолютні енкодери. На рисунку 4.1 зображено структурну схему однозонного позиційного електроприводу (ЕП) замкнутого типу з трьома контурами регулювання, за швидкістю, струмом та положенням.

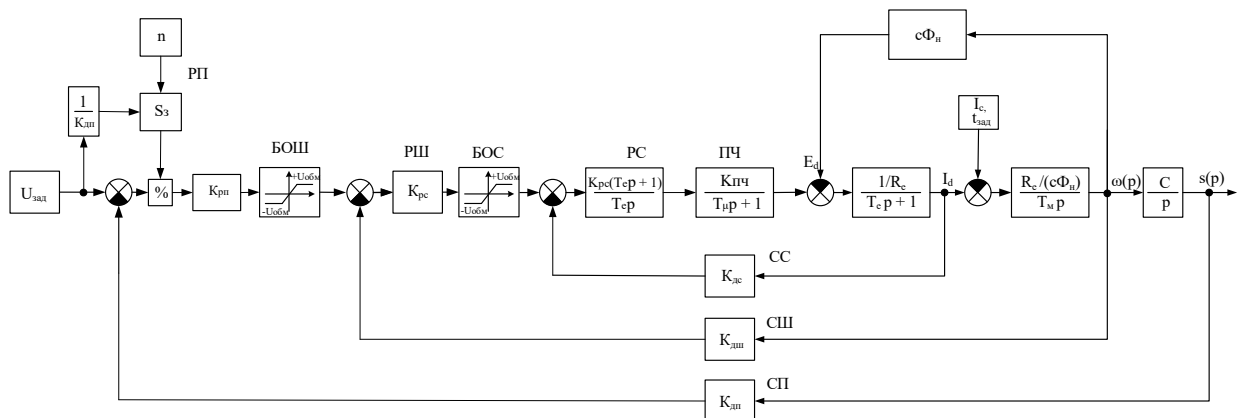


Рисунок 4.1 – Структурна схема позиційного ЕП

Для задання обертового руху механізму, використовується зубчате колесо. У випадку коли є редуктор з передаточним числом i , передаточна функція позиційної частини має вид:

$$W_{\text{шк}}(p) = \frac{C}{p}, \quad (4.1)$$

де C – коефіцієнт передачі;

$$C = \frac{D_{ш}}{2 \cdot i}, \quad (4.2)$$

$$C = \frac{0,7}{2 \cdot 25} = 0,012,$$

$$W_{шк}(p) = \frac{0,011}{p}.$$

Якщо задати величину напруги $U_{зп\max} = 10 \text{ В}$, що відповідає максимальному заданому переміщенню $S_{\max} = 0,8 \text{ м}$, то при будь-якому сенсорі положення, коефіцієнт зворотного зв'язку по положенню:

$$K_{дп} = \frac{U_{зп\max}}{S_{\max}}, \quad (4.3)$$

де $U_{зп\max}$ - максимальна напруга задання ($U_{зп\max} = 10 \text{ В}$);

S_{\max} - максимальне задане переміщення ($S_{\max} = 0,8 \text{ м}$).

$$K_{сп} = \frac{11}{0,9} = 12,2.$$

Частота зрізу контуру положення:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_1 = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu\Gamma\Pi}}; \\ \omega_2 = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu\Gamma\Pi}}; \\ \omega_1 \leq \omega_{зп} \leq \omega_2, \end{array} \right. \quad (4.4)$$

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{4 \cdot 0,019} = 12,93 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right), \\ \omega_2 = \frac{1}{2 \cdot 0,019} = 25,86 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right), \\ 12,93 \leq \omega_{\text{зп}} \leq 25,86. \end{cases}$$

Приймаємо $\omega_{\text{зп}} = 30$ (рад/с).

Номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{н}} = c\Phi_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}, \quad (4.5)$$

$$M_{\text{н}} = 325 \cdot 25 = 812 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_{\text{max}} = c\Phi_{\text{н}} \cdot \lambda \cdot I_{\text{н}}, \quad (4.6)$$

$$M_{\text{max}} = 325 \cdot 2,5 \cdot 25 = 230 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Відносна величина моменту статичного опору:

$$m_{\text{с}} = \frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{max}}}, \quad (4.7)$$

$$m_{\text{с}} = \frac{812}{230} = 3,5.$$

Малі переміщення визначаються залежністю:

$$S_{\text{м}} = \frac{4 \cdot M_{\text{max}} \cdot C \cdot (1 + m_{\text{с}})}{J \cdot \omega_{\text{сп}}^2 \cdot (1 - m_{\text{с}})}, \quad (4.8)$$

$$S_{\text{м}} = \frac{4 \cdot 230 \cdot 0,012 \cdot (1 + 4,4)}{160 \cdot 15 \cdot (1 - 4,4)} = 0,12 \text{ (м)}.$$

Для малих переміщень повинна виконуватися умова:

$$0 \leq \Delta S_1 \leq S_{\text{м}}, \quad (4.9)$$

$$0 \leq 0,5 \neq 0,37.$$

Отже, умова виконується, робота електропривода в режимі малих переміщень можлива.

Великі переміщення визначаються залежністю:

$$S_B = \frac{J \cdot \omega_H^2 \cdot C}{M_{\max} \cdot (1 - m_c)}, \quad (4.10)$$

$$S_B = \frac{195 \cdot 0,012 \cdot 2,4^2}{230 \cdot (1 - 4,4^2)} = 1,8 \text{ (м)}.$$

Для великих переміщення повинна виконуватися умова:

$$\Delta S_3 \geq S_B, \quad (4.11)$$

$$1,8 \geq 0,12.$$

Умова виконується, електропривод працює в режимі великих переміщень.

Коефіцієнт підсилення лінійного регулятора положення:

$$W_{\text{рп.в}} = \frac{2 \cdot K_{\text{шв}} \cdot M_m \cdot (1 + m_c)}{J \cdot C \cdot K_{\text{дп}} \cdot \omega_H}, \quad (4.12)$$

$$W_{\text{рп.в}} = \frac{2 \cdot 0,325 \cdot 2,788 \cdot 10^5 \cdot (1 + 0,222)}{1,855 \cdot 10^4 \cdot 0,012 \cdot 10,5 \cdot 28,042} = 3,255.$$

Для забезпечення обробки великих переміщень без перерегулювання значення коефіцієнта підсилення повинно бути зменшено на λ :

$$W_{\text{рп.в}}^* = \frac{W_{\text{рп.в}}}{\lambda}, \quad (4.13)$$

$$W_{\text{рп.в}}^* = \frac{2,224}{1,95} = 1,14.$$

Коефіцієнт підсилення нелінійного регулятора положення розраховується за формулою:

$$K_{\text{рп.в.н.}} = \frac{2 \cdot K_{\text{шв}} \cdot \sqrt{M_m}}{K_{\text{дп}} \cdot \sqrt{J \cdot C \cdot S}} \cdot \sqrt{\frac{1+m_c}{1-m_c}}, \quad (4.14)$$

$$K_{\text{рп.в.н.}} = \frac{2 \cdot 0,415 \cdot \sqrt{2,424 \cdot 10^5}}{11,5 \cdot \sqrt{1,896 \cdot 10^4 \cdot 0,012 \cdot 0,8}} \cdot \sqrt{\frac{1+0,304}{1-0,304}} = 3,249.$$

Для забезпечення обробки великих переміщень при нелінійному регуляторі положення без перегулювання значення коефіцієнта підсилення повинно бути зменшено на $\sqrt{\lambda}$:

$$W_{\text{рп.в}}^* = \frac{K_{\text{рп.в.н.}}}{\sqrt{\lambda}}, \quad (4.15)$$

$$W_{\text{рп.в}}^* = \frac{3,787}{\sqrt{2,5}} = 1,561.$$

Для обмеження швидкості двигуна на рівні номінального значення на виході сенсора положення, повинен бути встановлений БОС. При цьому величина напруги обмеження повинна бути розрахована за формулою:

$$U_{\text{обм.шв}} = K_{\text{шв}} \cdot \omega_H, \quad (4.16)$$

$$U_{\text{обм.шв}} = 0,415 \cdot 24,086 = 10 \text{ (В)}.$$

Залежність для статичної похибки в лінійній системі, налаштованій на відпрацювання великих переміщень буде мати вигляд:

$$\Delta S_{\text{ст.в}} = \frac{I_H \cdot R_e}{c\Phi_H} \cdot C \cdot \frac{4 \cdot T_{\text{мтп}}}{T_M} \cdot \frac{\omega_H \cdot J}{2 \cdot M_m} \cdot \lambda, \quad (4.18)$$

$$\Delta S_{\text{ст.в}} = \frac{3000}{34,145} \cdot 0,012 \cdot \frac{4 \cdot 0,009}{0,428} \cdot \frac{22,087 \cdot 1,785 \cdot 10^4}{2 \cdot 2,547 \cdot 10^5} \cdot 2,5 = 0,006.$$

4.1.1 Моделювання системи позиціонування

Структурна схема системи позиційного електропривода перетворювач частоти-асинхронний двигун (ПЧ-АД) в середовищі Simulink (Mathlab) представлена на рисунку 4.2.

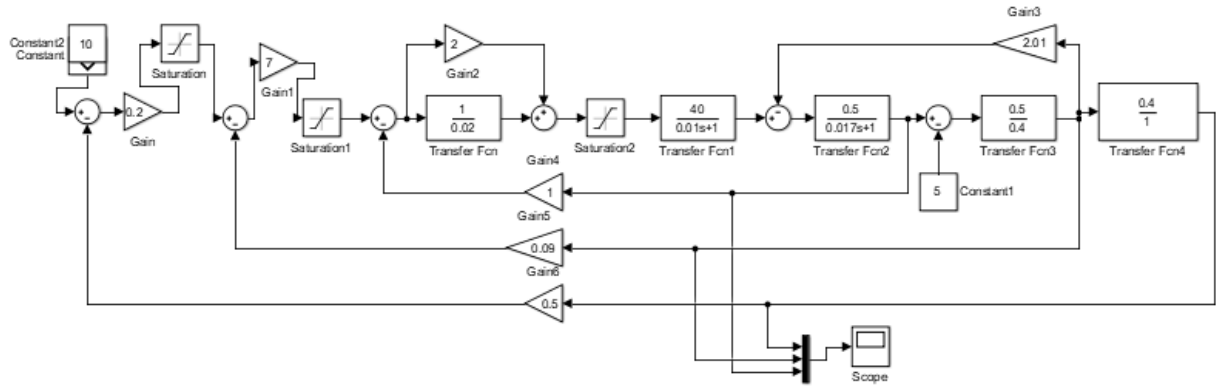


Рисунок 4.2 – Структурна схема однопонної позиційної системи

На рисунку 4.3 зображено перехідну характеристику однопонної системи позиціонування ПЧ-АД.

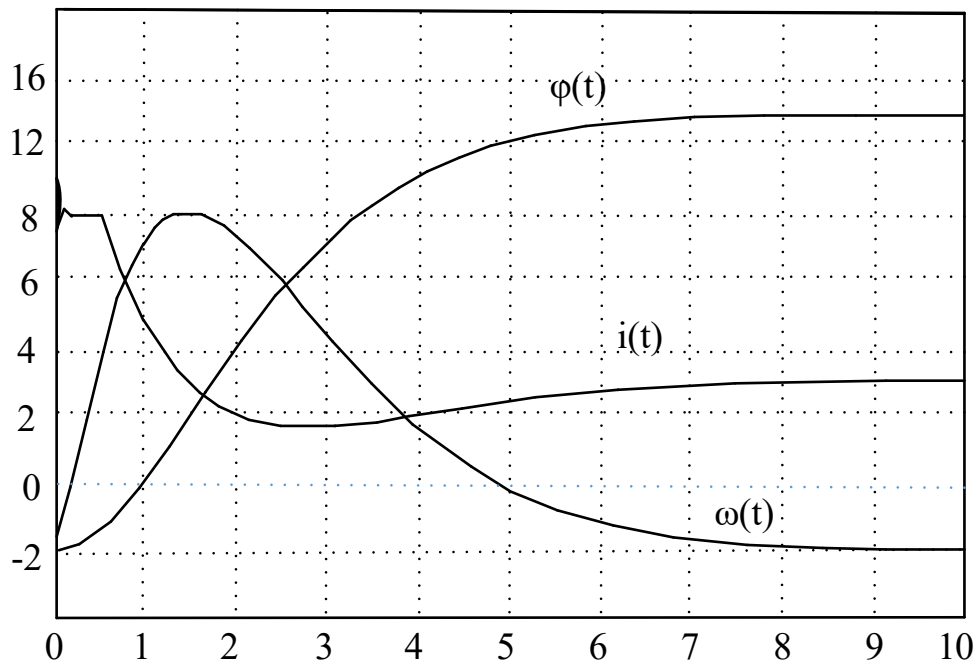


Рисунок 4.3 – Перехідні характеристики системи позиціонування ПЧ-АД

В залежності від коефіцієнтів передачі графік перехідного процесу зміни кута повороту $\varphi(t)$ може мати різний вигляд. Час регулювання електроприводу

залежить від статичного коефіцієнта передачі регулятора положення, тому швидкодію системи можна підняти за рахунок збільшення цього коефіцієнту. На рисунку 4.4 зображені перехідні процеси системи при збільшенні коефіцієнта передачі регулятора положення k_{Π} .

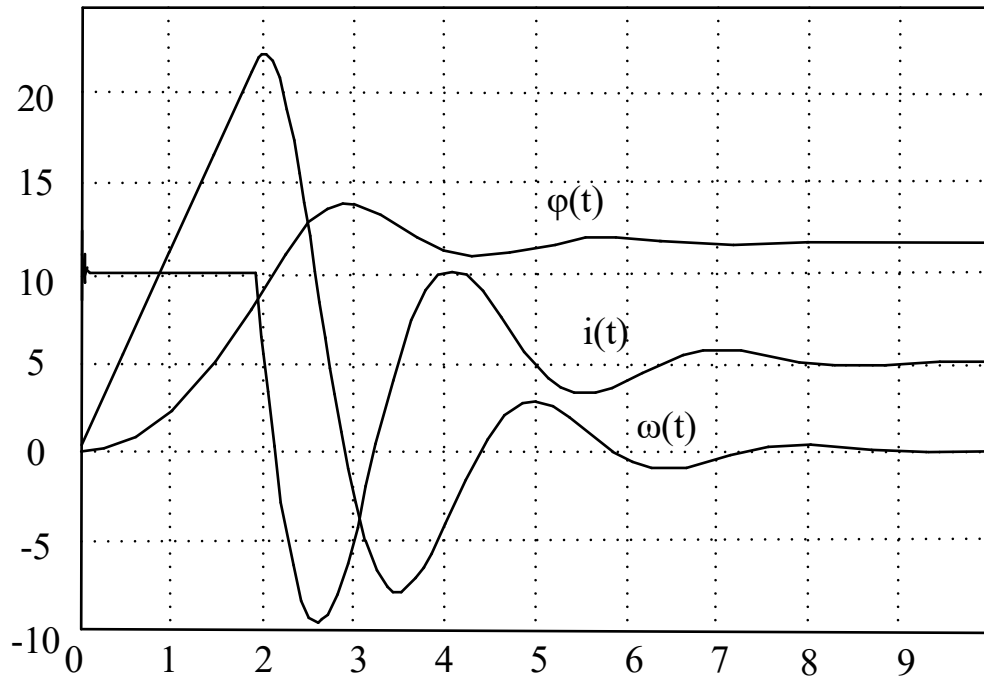


Рисунок 4.4 – Перехідні характеристики системи

ПЧ-АД при збільшенні коефіцієнта k_{Π}

На рисунку 4.4 ми можемо бачити, що після збільшення коефіцієнта передачі регулятора положення, швидкодія системи збільшилась, але в той же момент появилось невелике перерегулювання, що не може бути допустимим в системі позиціонування.

Перехідна характеристика, яка зображена на рисунку 4.3 показує, що при малих коефіцієнтах регулятора положення відсутнє перерегулювання, але швидкодія значно зменшується, а при великих коефіцієнтах – навпаки. Тому для того, щоб врегулювати цю закономірність, ми включимо її до структури системи контролер з нелінійною логікою.

4.2 Підвищення точності позиціонування системи за допомогою нечіткого контролера

Для підвищення точності позиціонування системи ПЧ-АД, ми в структурі системи замінимо $K_{рп}$ встановимо Fuzzy-контролер. На рисунку 4.5 зображено, як змінилася система після заміни контролерів.

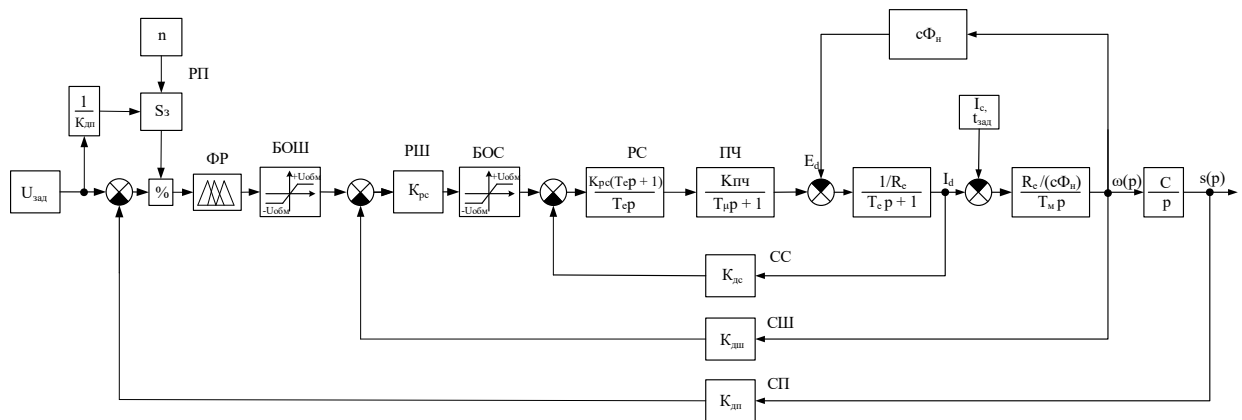


Рисунок 4.5 – Структурна схема системи позиціонування з нечітким контролером

Для того, щоб контролер адекватно виконував свої функції, його потрібно спершу налаштувати, а точніше задати межі, в рамках яких він буде здійснювати керування. Для початку в ППП Matlab створити спеціальний m-файл, який буде містити в собі данні про вхідні параметри, приклад такого файлу наведено на рисунку 4.6.

```
e=(0.0:0.0001:1.0)';
Ms=trapmf(e,[0 0 0.1 0.35]);
Mm=trimf(e,[0.2 0.5 0.75]);
Mb=trapmf(e,[0.55 0.9 1.0 1.0]);
plot(e,[Ms Mm Mb]);grid on
```

Рисунок 4.6 – Вхідні параметри для побудови функцій від вхідного сигналу

Далі здійснюємо налаштування fuzzy-контролера, приклад налаштування продемонстрований на рисунку 4.7.

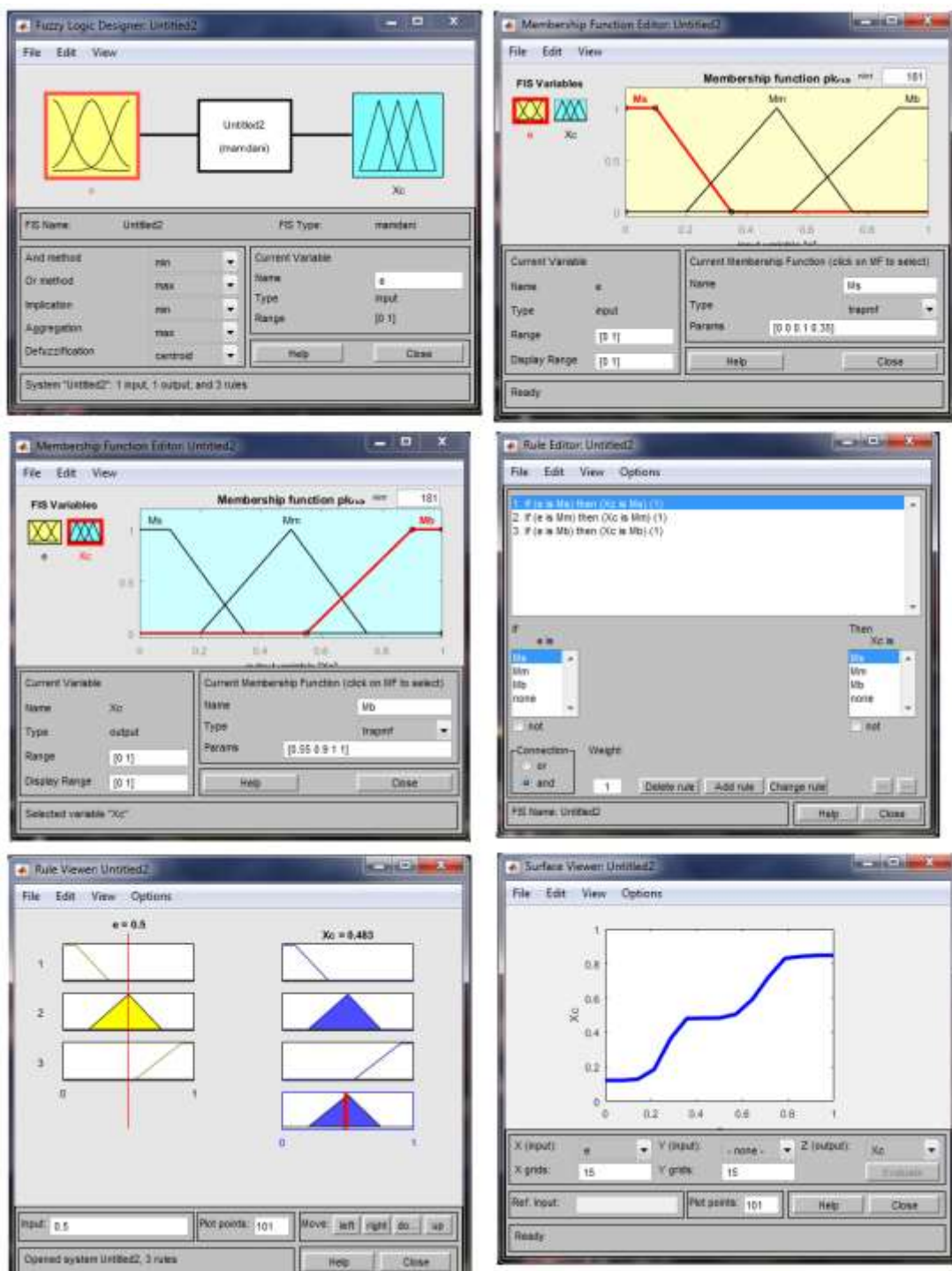


Рисунок 4.7 – Послідовність налаштування нечіткого контролера

Для наглядності роботи контролера, промодельємо структурну схему позиціонування з fuzzy-контролером і отримаєм перехідні характеристики його функціонування. На рисунку 4.8 зображена структурна схема системи позиціонування з нечітким контролером.

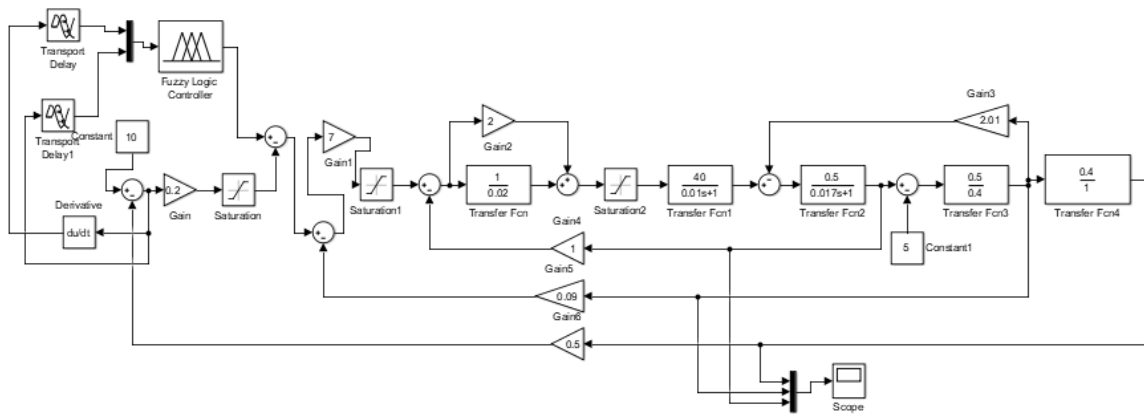


Рисунок 4.8 – Структурна схема позиціонування з нечітким контроллером

Як ми бачимо, на рисунку 4.9, при застосуванні нечіткого контролера, час регулювання значно зменшився, а також відсутнє перерегулювання. Контролер повинен забезпечувати динамічну стійкість системи позиціонування, тобто не допускати перерегулювання, чим допоможе підвищити точність позиціонування, а також забезпечити якомога менший час регулювання, чим підвищить швидкодію системи. Можемо зробити висновок, що розроблена система з цим завданням справляється. А оскільки від системи позиціонування залежить і точність механічної частини верстату, то і точність позиціонування верстату була підвищена. Тому завдання успішно виконано.

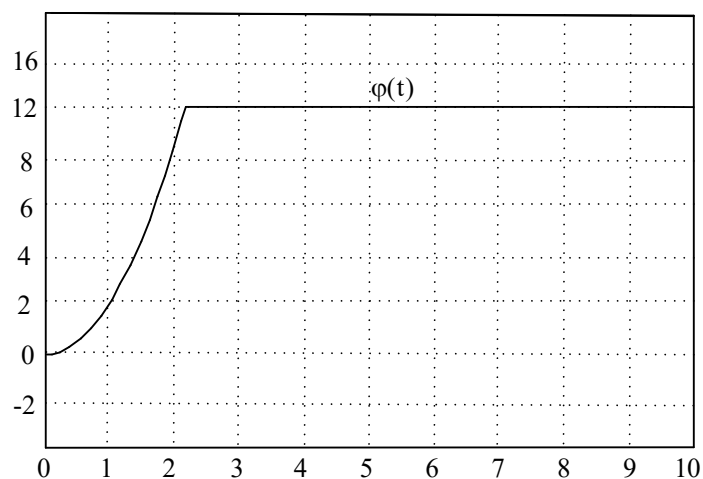


Рисунок 4.9 – Перехідна характеристика системи позиціонування з використанням нечіткого контроллера

4.3 Розробка електричної принципової схеми автоматизації фрезерного верстату з числовим програмним керуванням

За розрахованим в попередніх розділах обладнання складемо принципову схему автоматизації верстатом з числовим програмним керуванням яку показано на рисунку 4.10 .

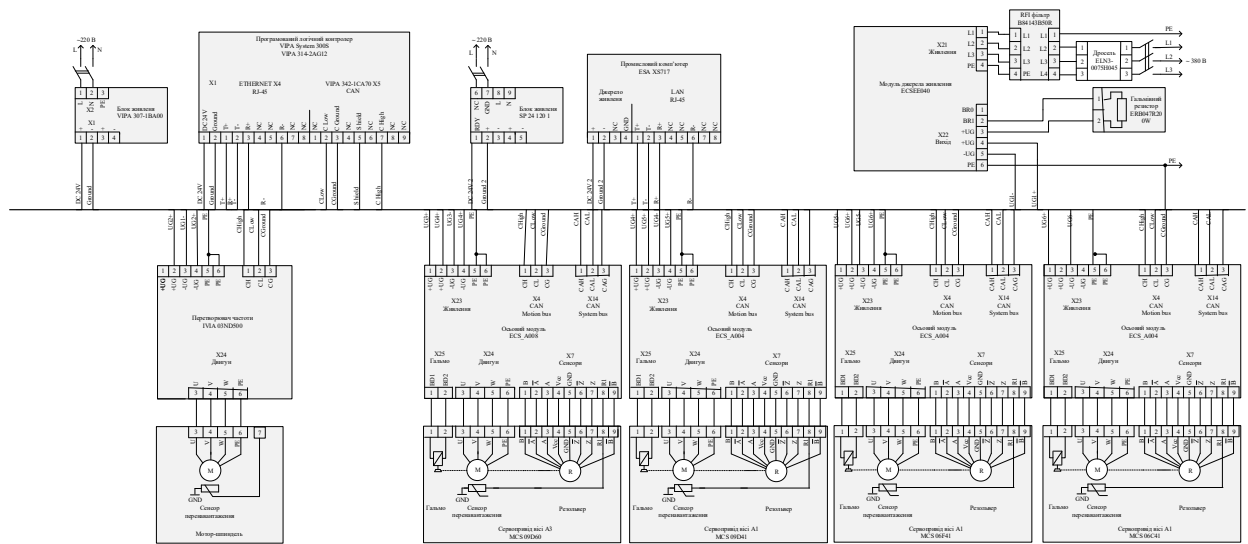


Рисунок 4.10 - Електрична принципова схема автоматизації фрезерного верстату з числовим програмним керуванням

4.4 Висновки до розділу

В даному розділі було проведено заключну роботу над розробкою системи підвищення точності позиціонування фрезерного верстату з ЧПК, а саме, дослідження і побудову структурних схем керування системою та моделювання їх перехідних характеристик. Створено принципову електричну схему автоматизації.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Всі витрати, пов'язані з реалізацією проекту називають капітальними вкладеннями. До капітальних вкладень відносять витрати на розробку проекту, придбання обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження.

Витрати на монтаж обладнання визначають розрахунковим методом, виходячи з нормативів вартості монтажних робіт. Витрати на налагоджувальні роботи визначають аналогічно. Для загальних розрахунків витрати на доставку, витрати на монтаж обладнання, витрати на налагоджувальні роботи приймають рівними 10% від вартості обладнання.

Одноразові витрати на поновлення оборотних фондів у зв'язку з впровадженням нової техніки включають витрати на придбання необхідної кількості запасів основних матеріалів, запасних частин, комплектуючих виробів та ін. З використанням системи технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання (ТОР ЕО) визначають необхідний рівень запасів матеріалів.

Витрати на технічні заходи з охорони навколишнього середовища, навчання персоналу, покращення умов праці персоналу та інші, відносять до інших капітальних вкладень. Вони включають в себе також залишкову вартість неповністю зношеного обладнання, що ліквідується.

В таблиці 5.1 – приведено розрахунок капітальних вкладень на розробку системи керування яка має підвищити точність позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числовим програмним керуванням.

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати на підвищення точності верстату

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Сервоприводи, 4 шт. x 1000 Вт	84480
Система керування	50420
Програмне забезпечення та розробка ПЗ	46700

Продовження таблиці 5.1

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
Кабелі, апаратура захисту, сенсори та ін.	25698
Всього	207300
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	20730
Всього капітальні вкладення	20730

Отже, капітальні витрати $E_k = 228030$ грн.

5.1 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік .

Експлуатаційні витрати E включають:

1. амортизаційні відрахування E_a ;
2. заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу (основна, додаткова, нарахування на заробітну плату);
3. витрати на силову електроенергію E_e ;
4. витрати на поточний ремонт $E_{пр}$;
5. інші витрати $E_{ін}$.

Тобто:

$$E = E_a + E_{зп} + E_e + E_{пр} + E_{ін} . \quad (5.1)$$

5.1.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування становлять (норма амортизації 10% в рік):

$$E = 10\% \cdot E_a , \quad (5.2)$$

$$E_a = 0,1 \cdot 228030 = 22803(\text{грн}).$$

5.1.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску не нижча третьої групи по електробезпеці.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$E_{зп} = E_{зо} + E_{зд} + E_{зн}. \quad (5.3)$$

де $E_{зо}$ – основна заробітна плата по тарифу;

$E_{зд}$ – додаткова заробітна плата;

$E_{зн}$ – нарахування на заробітну плату.

$$E_{зо} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_c \cdot \beta. \quad (5.4)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чол.);

T_1 – погодинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1 = 22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт ($K = 1,97$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд робочого часу на обслуговування електропривода подачі за рік (приймаємо рівним 240 год);

K_c – коефіцієнт співвідношення, встановлений Генеральною угодою між-профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 2$).

Розраховуємо основну заробітну плату по тарифу:

$$E_{зо} = 1 \cdot 22 \cdot 1,97 \cdot 240 \cdot 1 \cdot 2 = 20803,2 \text{ (грн)}.$$

Додаткова заробітна плата $E_{зд}$ становить 10% основної заробітної плати:

$$E_{зд} = 0,1 \cdot 20803,2 = 2080,32 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума
Основна заробітна плата, $E_{зо}$ грн.	20803,2
Додаткова заробітна плата, $E_{зд}$ грн.	2080,32
Разом основна і додаткова заробітна плата, $(E_{зо}+E_{зд})$ грн.	22883,52
Єдиний внесок на загально обов'язкове соціальне страхування , (22%) грн.	5034,37
Всього нарахування, грн	27917,89

Таким чином, з (5.3) маємо:

$$E_{зп} = 20803,2 + 2080,32 + 5034,37 = 27917,89 \text{ (грн).}$$

5.1.3 Розрахунок витрат на силову електроенергію

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot T_{\text{эф}} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3 \quad (5.5)$$

де B – вартість електроенергії ($B=2,8$ грн/кВт·год);

P – номінальна потужність;

η – коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,95$);

$T_{\text{эф}}$ – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом $K_{\text{вм}}=0,8$);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Номінальна потужність складає 1 кВт. Коефіцієнт ввімкнення приймаємо рівним 0,8, а коефіцієнт завантаження рівний 0,95.

Ефективний фонд робочого часу при режимі роботи в 3 зміни протягом 95% часу за рік становить:

$$T_{\text{эф}} = 354 \cdot 24 \cdot 0,95 = 8074 \text{ (годин)}$$

Отже, за формулою (5.5) маємо:

$$E_e = \frac{1}{0,95} \cdot 2,8 \cdot 8074 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 19037,35 \text{ (грн/рік)}.$$

5.1.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електропоїзда здійснюється в депо з його відключенням і зупинкою, силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів (таблиця 12.3), у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Таблиця 5.3 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування		3		3		3		3		3		3	9
Сервопривод		3		3		3		3		3		3	9
Кабельна мережа	2		2		2		2		2		2		6
Апарати захисту	2		2		2		2		2		2		6
Сенсори		2		2		2		2		2		2	6
Загальна трудомісткість												36	

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер шостого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт (таблиця 5.3), основну заробітну плату розрахуємо за формулою:

$$E_{zo} = T_1 \cdot K \cdot \Phi_{ef}, \quad (5.6)$$

$$E_{zn} = 22 \cdot 1,97 \cdot 36 = 1560,36 \text{ (грн)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$E_{zn} = 1560,36 \cdot 0,22 = 343,36 \text{ (грн)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять:

$$E_{зр} = 1563,36 + 343,36 = 1906,72 \text{ (грн)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати. Тобто, витрати на матеріали для ремонтів становить:

$$E_m = 1906,72 \cdot 0,15 = 286,01 \text{ (грн)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{пр} = E_{зр} + E_m, \quad (5.7)$$

$$E_{пр} = 1906,72 + 286,01 = 2192,73 \text{ (грн)}.$$

5.1.5 Інші витрати

Розмір інших витрат приймаємо рівним 2% від загальної суми попередніх витрат. Тобто:

$$E_{ін} = (E_a + E_{zn} + E_e + E_{пр}) \cdot 2\%, \quad (5.8)$$

$$E_{ін} = (22803 + 27917,89 + 19037,35 + 2192,73) \cdot 0,02 = 14389,8 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат за формулою (5.1) наведемо в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок сумарних експлуатаційних витрат

Найменування витрат	Сума
Амортизаційні відрахування E_a , грн.	22803
Заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу, грн.	27919
Витрати на електроенергію E_e , грн.	19037
Витрати на поточний ремонт $E_{пр}$, грн.	2192
Інші витрати $E_{ін}$, грн.	14389
Всього експлуатаційні витрати E , грн.	86340

Висновок: В даному розділі було проведено розрахунок капітальних вкладень модифікації системи керування позиціонуванням фрезерного верстату. Була розрахована основна заробітна плата, витрати на електроенергію, на планові ремонти та інші витрати.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У магістерській роботі досліджуються проблеми підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числовим програмним керуванням.

Охорона праці належить до соціально-економічних систем, головним завданням яких є врахування громадських та особистих інтересів людей. Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення та поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму та профзахворювань. Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці та є економічним виразом соціальної значущості охорони праці.

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Це забезпечить не лише безпечність умов праці, а й створить відповідний настрій всередині колективу.

На технологічний й оперативно-ремонтний персонал, який контролює режими роботи та здійснює обслуговування технологічного обладнання, впливають за ГОСТ 12.0.003-74 такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні:

- підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;

б) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (статичні)
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Виробниче приміщення має загальну площу 45 м^2 та висоту стелі $3,8 \text{ м}$. У приміщенні знаходиться 6 робочих місць, обладнаних ПК. Схема робочого приміщення зображена на рисунку 6.1.

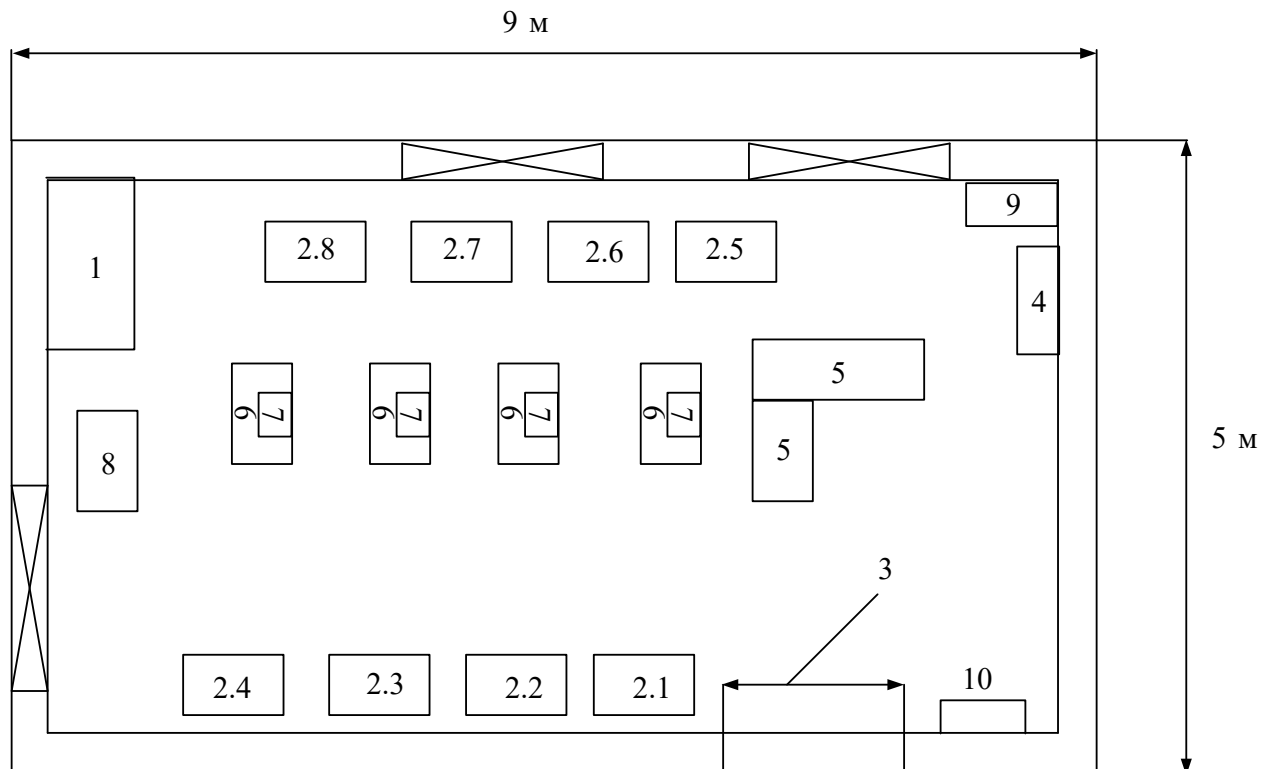


Рисунок 6.1 – Схема виробничого приміщення

Умовні позначення на рисунку 6.1: 1 – шафа для одягу; 2.1-2.8 – верстати з ЧПУ; 3 – дверний отвір; 4 – токарний верстат; 5, 6 – робочі столи, 7 – комп'ютери, 8 – слюсарний верстак, 9 – шафа для інструментів.

Слід зазначити, що площа одного робочого місця працівника, який використовує під час роботи ПК не повинна бути меншою за 6 м^2 , а об'єм не

менший за 20 м^3 . Площа даного приміщення становить 45 м^2 , відповідно на одного працівника який використовує ПК припадає $7,5 \text{ м}^2$, що більше за допустиму норму згідно НПАОП 0.00-1.28-10. Об'єм даного приміщення становить 171 м^3 , відповідно на одного працівника припадає $28,5$, що також відповідає допустимій нормі.

При розташуванні елементів робочого місця слід враховувати: робочу позу користувача, простір для розміщення користувача, можливість огляду елементів робочого місця, можливість ведення записів, розміщення документації і матеріалів, які використовуються користувачем.

Конструкція робочого місця дослідника має забезпечити підтримання оптимальної робочої пози. Робочі місця з ПК повинні бути розташовані від стіни з вікнами на відстані не менш ніж $1,5 \text{ м}$, від інших стін – на відстані не менше ніж 1 м . Недопустиме розташування ПК, при якому працюючий повернений обличчям або спиною до вікон кімнати або до задньої частини ПК, в яку монтується вентилятор.

6.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення приміщення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі $380 \times 220\text{В}$ (фазна напруга (фаза – "0") – 220В , а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності такого фактору як можливість одночасного дотику до металевих корпусів електрообладнання та механізмів, що мають контакт з землею, приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

– розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

– використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

– підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин, необхідно вимкнути його і повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення - це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть

викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Крім того, між людиною та навколишнім середовищем відбуваються процес безперервного теплового обміну, при цьому слід враховувати, що незалежно від температури навколишнього середовища температура людини залишається постійною – 36,5-37 С. Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в приміщенні лабораторії, де встановлена система керування, наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Па	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Па	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора стенда передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдуву;

– провітрювання приміщення.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони оператора лінії

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів

6.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться

вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна скласти 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Приміщення кабіни оператора забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але ввечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці оператора. Приміщення відноситься до IV розряду зорової праці, тобто розряду середньої точності. Наведено норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Норми освітленості при штучному освітленні та КЕО

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта, розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КЕО, e_n , %	
						Штучне освітлення		Природне освітлення	Сумісне освітлення
						Комбіноване	Загальне		
1	2	3	4	5	6	7	8	10	12
Середн. точності	Вище 0,5 до 1	IV	б	Мал. середн	Середн-Темн	500	200	1,5	0,9

В приміщенні дільниці, особливо в зимовий період, коли світлий день досить короткий, природного освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення. Штучне освітлення здійснюється люмінесцентними лампами, що живляться від мережі 220 В.

Освітлення нормується коефіцієнтом освітлення (КПО) або e :

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (6.1)$$

де m_N – коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,7$;

e_N – значення КПО;

N - номер групи забезпеченості природнім світлом. Орієнтація вікон на захід.

Для бокового освітлення:

$$e_N = 1,5 \cdot 0,7 = 1,05 (\%).$$

Для сумісного освітлення:

$$e_N = 0,9 \cdot 0,7 = 0,63 (\%).$$

Для забезпечення нормативного значення e_N передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме люмінесцентних ламп;

- необхідна кількість природного світла (великі вікна, які повернуті на сонячний бік);

Для умов, що розглядаються в проекті (розряд робіт IV, підрозряд робіт б), система освітлення (комбіноване), тип джерела освітлення - лампи люмінесцентні, нормативне значення освітленості складає $E=400$ лк. Для забезпечення наведеного значення E передбачено:

- використання люмінесцентних ламп, які мають високу світлову віддачу, довгий час використання тощо;

- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком;

6.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right), \quad (6.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість ($U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с);

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» (див. таблицю 6.4).

Таблиця 6.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

6.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Згідно вимог для умов важкості праці Па: Величина статичного навантаження за зміну при утриманні вантажу з докладання зусиль однією рукою 18000 кгс, двома руками 36000 кгс та за участю м'язів корпусу та ніг 43000 кгс. Робоча поза вільна та зручна (зміна пози «сидячи-стоячи» за бажанням робітника). Нахили корпусу до 50 разів за зміну. Переміщення у просторі (переходи, обумовлені тех. процесом), до 4 км протягом зміни.

Тривалість зосередженого спостереження до 25% від часу зміни. Спостереження за екранами відеотерміналів до 2 годин на зміну. Розмір об'єкта розрідження при відстані від очей працюючого до об'єкта розрідження не більше ніж 0,5 м, при тривалості зосередженого спостереження >5% часу змін.

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуаціях

Дія іонізуючого випромінювання на обладнання залежить від виду випромінювання, дози опромінювання та умов оточуючого середовища.

Іонізуюче випромінювання – потік заряджених або нейтральних частинок і квантів електромагнітного випромінювання, проходження яких через речовину призводить до іонізації і збудження атомів або молекул середовища.

Розрізняють кілька видів іонізуючого випромінювання. Гамма-випромінювання є найнебезпечнішим джерелом енергії, воно проникає у повітрі на відстань сотень метрів. Бета-випромінювання проникає в повітрі на відстань кількох метрів, а в живих тканинах кількох міліметрів. Альфа-частинки мають найкоротший радіус дії, а тому небезпечні лише у разі безпосереднього контакту з слизовими оболонками. Особливим видом іонізуючого випромінювання є нейтронне випромінювання (n), яке має місце при деяких діленнях урану або плутонію.

Опромінення системи призводить до зміни струму та коефіцієнтів підсилення, також вплине на конденсатори в них понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність а також тангенс кута витрат.

В результаті дії ЕМІ імпульс струму чи напруги проникає в систему і спричиняє пошкодження, ступінь яких залежить від чутливості складових системи вузлів. Серйозні пошкодження викликає ЕМІ в роботі цифрових і контрольно-вимірювальних приладів. Дія електромагнітного імпульсу може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату, що розробляється, приймається допустима доза $D_{\text{доп}}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{\text{гр}}(P/\text{год})$, при яких система буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{гр}}$, для елементної бази системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ, при яких виникають незворотні зміни. Отриманні данні заносимо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Граничні значення експозиційних доз позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ

№	Блоки	Елементи	$D_{\text{гр}i}(P)$	$D_{\text{гр}}(P)$
1	Блок управління	Автоматичний вимикач ВА 53-41		10 ⁴
		Мікросхеми	10 ⁵	
2	Блок живлення	Конденсатори К53-1, 1 мкФ×32В(10%)	10 ⁷	
		Резистори С2-29-5%	10 ⁷	
		Напівпровідники	10 ⁵	
3	Блок підсилення	Транзистори IRG7PH46UPBF	10 ⁴	
		Діоди	10 ⁴	

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю безпеки роботи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 6.1, робимо висновок, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $D_{\text{гр}}=10^4 P$ є транзистори та діоди.

Визначаємо можливу дозу опромінення $D_{\text{м}}$ за формулою :

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_{1\text{max}} \cdot (\sqrt{t_{\text{к}}} - \sqrt{t_{\text{п}}})}{k_{\text{осп}}}, \quad (6.1)$$

де $P_{1\text{max}}$ – максимальне значення рівня радіації ($P_{1\text{max}} = 6,7 P / \text{год}$);

$t_{\text{к}}$ – час кінця опромінення ($t_{\text{к}} = 35040 \text{ год}$);

$t_{\text{п}}$ – час початку опромінення ($t_{\text{п}} = 1 \text{ год}$);

$k_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації будинком ($k_{\text{осл}} = 1$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 6,7 \cdot (\sqrt{35040} - \sqrt{1})}{1} = 2492,4 \text{ (P)}.$$

Порівнюючи граничне значення дози опромінення з можливою, ми бачимо, що $D_{\text{гр}} > D_m$ ($10^4 > 2492,4$).

Отже можна зробити висновок, що дана система позиціонування фрезерного верстату буде безпечно працювати в умовах дії іонізуючого випромінювання. Визначимо також допустимий час роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в заданих умовах за формулою :

$$t_d = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot k_{\text{осл}} + 2 \cdot P_{1\text{max}} \cdot \sqrt{t_{\text{п}}}}{2 \cdot P_{1\text{max}}} \right)^2, \quad (6.2)$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,7 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,7} \right)^2 = 588410,4 \text{ (год)}.$$

Отже, система позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ тривалий час буде безпечно працювати в умовах дії іонізуючого випромінювання.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах дії ЕМІ

При оцінці впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні визначатися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення змінної напруги 380 В, а кола управління – постійної 5 В, то проведемо розрахунок безпеки роботи для обох мереж живлення. Напруга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_r = E_v \cdot L_r, \quad (6.3)$$

де E_B – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля ($E_B = 12,3 \cdot 10^3 \text{ В/м}$);

L_r – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи ($L_r = 1,8 \text{ м}$).

$$U_r = 12,3 \cdot 10^3 \cdot 1,8 = 22,14 \cdot 10^3 \text{ (В)}.$$

$$U_B = E_r \cdot L_B, \quad (6.4)$$

де E_r – величина горизонтальної складової напруженості електромагнітного поля (В/м);

L_B – довжина вертикальної струмопровідної частини системи ($L_B = 1 \text{ м}$).

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_B \cdot 10^{-3}, \quad (6.5)$$

$$E_r = 12,3 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 12,3 \text{ (В/м)},$$

$$U_r = 12,3 \cdot 1 = 12,3 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (6.6)$$

де N – відсоток допуску ($N=25\%$).

Отже, для силового кола (380 В) допустиме коливання напруги становитиме 475 В ($U_{\text{доп}} = 475 \text{ В}$), для кола управління – 6,25 В ($U_{\text{доп}} = 6,25 \text{ В}$).

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$КБ_{\Gamma(B)} = 20 \lg \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\Gamma(B)}} \geq 40, \quad (6.7)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для силового кола ($U_{\text{ж}} = 380 \text{ В}$):

– вертикальної:

$$Кб_{в.} = 20 \cdot \lg \frac{475}{12,3} = 18,72 \text{ (дБ)};$$

– горизонтальної:

$$Кб_{г.} = 20 \cdot \lg \frac{475}{22140} = -7,22 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{ж} = 5 \text{ В}$):

– вертикальної:

$$Кб_{в.} = 20 \cdot \lg \frac{6,25}{12,3} = 7,12 \text{ (дБ)};$$

– горизонтальної:

$$Кб_{г.} = 20 \cdot \lg \frac{6,25}{22140} = -32,79 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Значення коефіцієнтів безпеки РЕА системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ

№	Найменування	Кб _{в.} , (дБ)	Кб _{г.} , (дБ)	Результат дії
1	Силове коло, 380 В	18,72	-7,22	Нестійке
2	Коло управління, 5 В	7,12	-32,79	Нестійке

Отже, система є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу.

6.4 Розробка засобів по підвищення безпечної роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ в умовах надзвичайних ситуацій

Для підвищення рівня безпеки роботи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ необхідно вжити наступних заходів:

– кабелі живлення електродвигуна на 380 В помістити в металеві труби, на вводах до двигунів встановити розрядники;

– розвідну мережу керування і кабелі введення інформації від датчиків прокласти в сталевих заземлених трубах;

– на вводах блоку керування встановити швидкодіючі відключаючі електронні пристрої;

– пристрій введення, блок керування розмістити в металевих пасивних екранах з коефіцієнтом безпеки понад 40 дБ.

Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K_{\text{Бном}} - K_{\text{Бмін}}, \quad (6.6)$$

де $K_{\text{Бном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{\text{Бном}} = 40 \text{ дБ}$);

$K_{\text{Бмін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для силового кола :

$$A_{380\text{В}} = 40 + 7,22 = 47,22 \text{ (дБ)}.$$

Для кола управління:

$$A_{5\text{В}} = 40 + 32,79 = 72,79 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (6.7)$$

де f – найбільш характерна частота (15 кГц).

Отже, для обладнання силового кола товщина екрану:

$$t_{380\text{В}} = \frac{47,22}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см)},$$

Для обладнання кола управління товщина екрану:

$$t_{5\text{В}} = \frac{72,79}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)}.$$

Отже, при застосуванні екранів розрахованих товщин будуть досягнуті номінальні коефіцієнти безпеки.

В даному розділі було проведено дослідження безпеки роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ. Описано вплив та наслідки дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу на працездатність системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ. Після проведення розрахунків визначено, що система позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ стійка при заданому рівні радіації 6,7 Р/год. До дії ЕМП система керування виявилась нестійкою.

В ході роботи було визначено коефіцієнти безпеки, які для горизонтальної та вертикальної ділянок силового кола становлять -7,22 та 18,72 дБ відповідно і є дещо більшими ніж для кола управління -32,79 і 7,12, проте не досягають номінального значення в 40 дБ.

Для досягнення номінального коефіцієнта безпеки, а й відповідно безпечної роботи системи позиціонування фрезерного верстату з ЧПУ було запропоновано ряд заходів, розраховано товщину захисного екрана, для елементів силового кола це 0,1 см, для елементів кола управління – 0,12 см.

ПІДСУМКИ

Провівши аналіз позиційних систем, а також систем нелінійного регулювання, було здійснено інтегрування змінну нечіткого регулятора в однозонну, позиційну систему керування електроприводом верстату з числовим програмним керуванням.

В ході виконаної роботи було:

- проведено аналіз систем керування електроприводом;
- розроблено структурні схеми системи позиційного електроприводу з додаванням ланки нечіткої логіки до загальної структури;
- промодельовано і побудовано перехідні характеристики роботи системи керування електроприводом верстату;
- розроблено електричну принципову схему автоматизації верстату.

В результаті аналізу розробленої системи керування зроблено висновок, що робота системи стала стабільнішою на 10 %, швидкодію збільшилась на 23 %, а точність позиціонування робочої частини на 5 %.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Особливості будови і конструкції фрезерних верстатів з ЧПУ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://page.if.ua/article/353/>;
2. Общие сведения о шпинделях по металлу для ЧПУ станков . – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ostanke.ru/frezernye/shpindelya.html>;
Базові поняття про числово програмне управління. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav0521/0521.html>;
3. Портально-фрезерний станок Portamill Duo 2012. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.all.biz/portavno-frezernyj-standok-portamill-duo-2012-g16089709>
4. Класифікація та функціональні можливості числово програмного управління. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tc.kpi.ua/content/book2005/book3/glav0522/0522.html>;
5. Сервопривод. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4>;
6. Детали и механизмы металлорежущих станков // Коллектив авторов под ред. д-ра техн. наук Д. Н. Решетова; В 2 томах. М.: Машиностроение, 1972. Т.1. 664 с.
7. Бруевич Н. Г. Точность механизмов. //М.: ГИТТЛ, 1946. 332 с.
8. Серков Н. А. Первичные отклонения звеньев механизмов с поступательными и вращательными парами // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2011. № 2. С. 15-21.
9. Серков Н.А. Повышение инструментальной точности многокоординатных машин с ЧПУ методами коррекции первичных отклонений механизмов несущей системы.// В кн. Научные труды II международной научной конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении», Москва. - 2012. – С. 400-405.

10. Стародубов В. С. Способы снижения тепловыделений и температурных деформаций в металлорежущих станках с ЧПУ // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2007. №5. С. 32-39.

11. Кобринский А. Е., Левковский Е. И., Серков Н. А. Классификация систем управления станками по информационным признакам // Станки и инструмент 1971. №1. С. 1-4.

12. Серков Н. А. Классификация координатно-измерительных машин // Оборудование с числовым программным управлением. 1981. № 10. С. 8-10.

13. Теория автоматического управления: Учеб. для ТЗЗ вузов по спец. «Автоматика и телемеханика»; В 2-х ч.; Ч. I.: Теория линейных систем автоматического управления // Н. А. Бабаков, А. А. Воронов, А. А. Воронова и др.; Под ред. А. А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986. 367 с.

14. LIKA, smart encoders & actuators. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://%D0%94%D0%B8%D0%BC%D0%B0/Downloads/CA%20LINEP%20LSLI%20NC%20OD%200516%20E%20.pdf>.

15. В.М. Чермалых, А.В. Чермалых Нечеткая логика в интеллектуальных системах программного управления. Часть 2. Компьютерный практикум // Методические указания к изучению дисциплины "Интеллектуальные системы программного управления" для студентов специальности 7.092203 "Электромеханические системы автоматизации и электропривод". / Сост. В.М. Чермалых, А.В. Чермалых, Е.И. Алтухов, А.В. Данилин – К.: НТУУ "КПИ" ИЕЕ, 2006. – 108 с.

16. Сервоприводы Lanze, – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://2s2b.ru/c300-2979493.html>.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ

_____ д.т.н., проф. В.М. Кутін

“ ____ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОЇ ЧАСТИНИ
ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИИМ
КЕРУВАННЯМ**

08-16.МКР.006.00.000 ТЗ

Керівник дипломної роботи

к.т.н.доц. Розводюк М. П.

“ ____ ” _____ 2019 р.

Розробив студ. гр. 1ЕМ-146.

Лумі Д. І.

“ ____ ” _____ 2019 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числово програмним керуванням».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Система керування електроприводом. Галузь застосування – промисловість та виробництво.

4 Вимоги до розробки

Система має забезпечувати високу точність позиціонування робочого органу верстату.

5 Комплектація розробки

Програмно-логічний контролер, гальмівний резистор, мережевий дросель, фільтр радіочастотних завад, перетворювач частоти, сервопривід, осевий модуль, промисловий комп'ютер, комунікаційний процесор.

6 Технічні характеристики

Кількість ланок – 3.

Робоча зона – 2м.

Маса – 360кг.

Прискорення при максимальному навантаженні не більше 9,8 м/с.

Точність кутового позиціонування – 0,003 град.

7 Джерела розробки

Детали и механизмы металлорежущих станков / Коллектив авторов под ред. д-ра техн. наук Д. Н. Решетова; В 2 томах. М.: Машиностроение, 1972. Т.1. 664 с.

Бруевич Н. Г. Точность механизмов. М.: ГИТТЛ, 1946. 332 с.

Серков Н. А. Первичные отклонения звеньев механизмов с поступательными и вращательными парами // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2011. № 2. С. 15-21.

8 Конструктивне виконання

Верстат реалізований з профільного алюмінію , що забезпечує легкість та жорсткість системи керування

9 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється спеціалістами електромеханіками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

10 Живлення пристрою

Живлення пристрою повинно бути виконано напругою 380 В змінного струму від тифазної мережі і 220 В від однофазної мережі.

Додаток Б
Ілюстративні матеріали

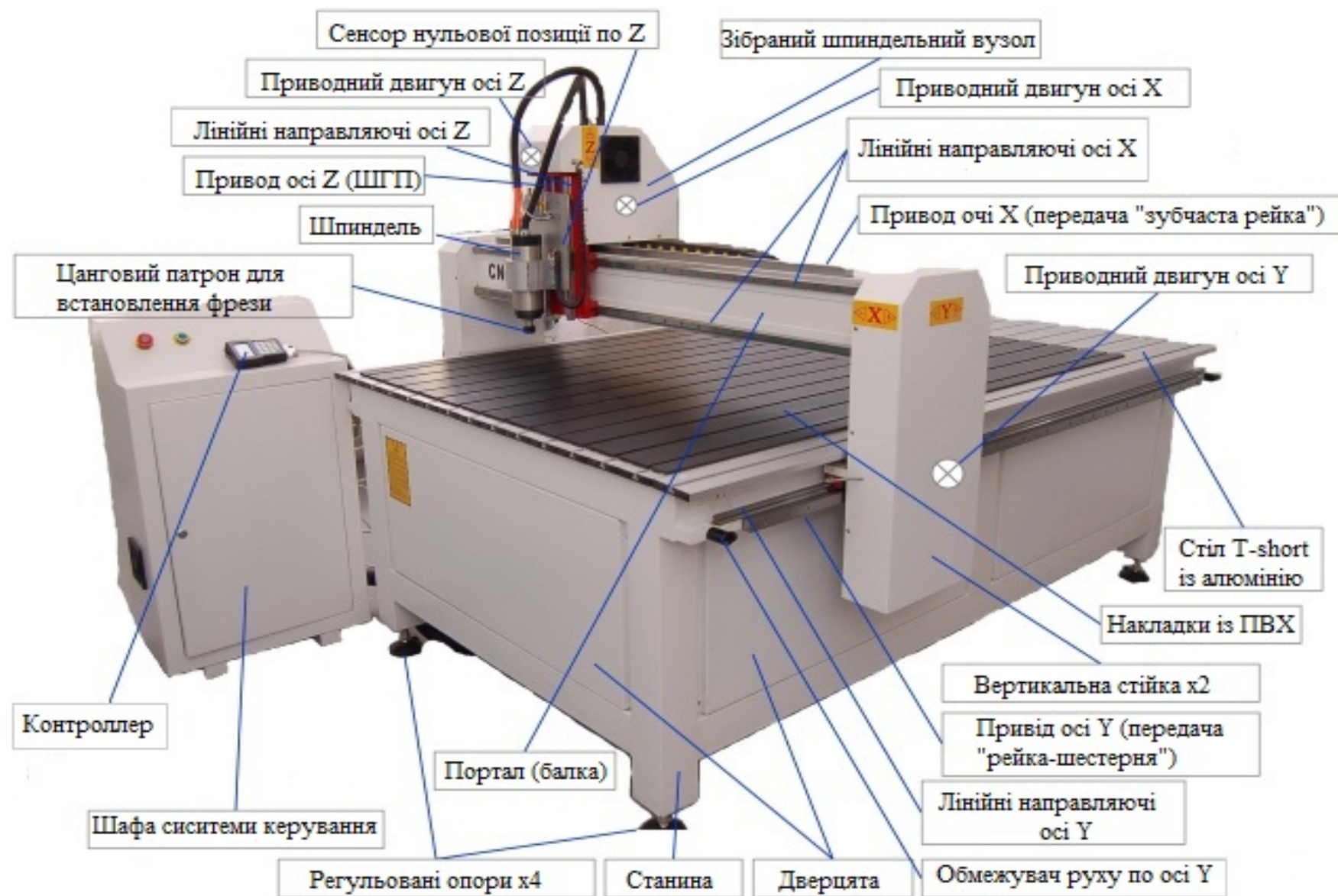
Об'єкт дослідження та мета дослідження

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення точності позиціонування робочого органу верстату і розробка системи керування на основі нечіткої логіки

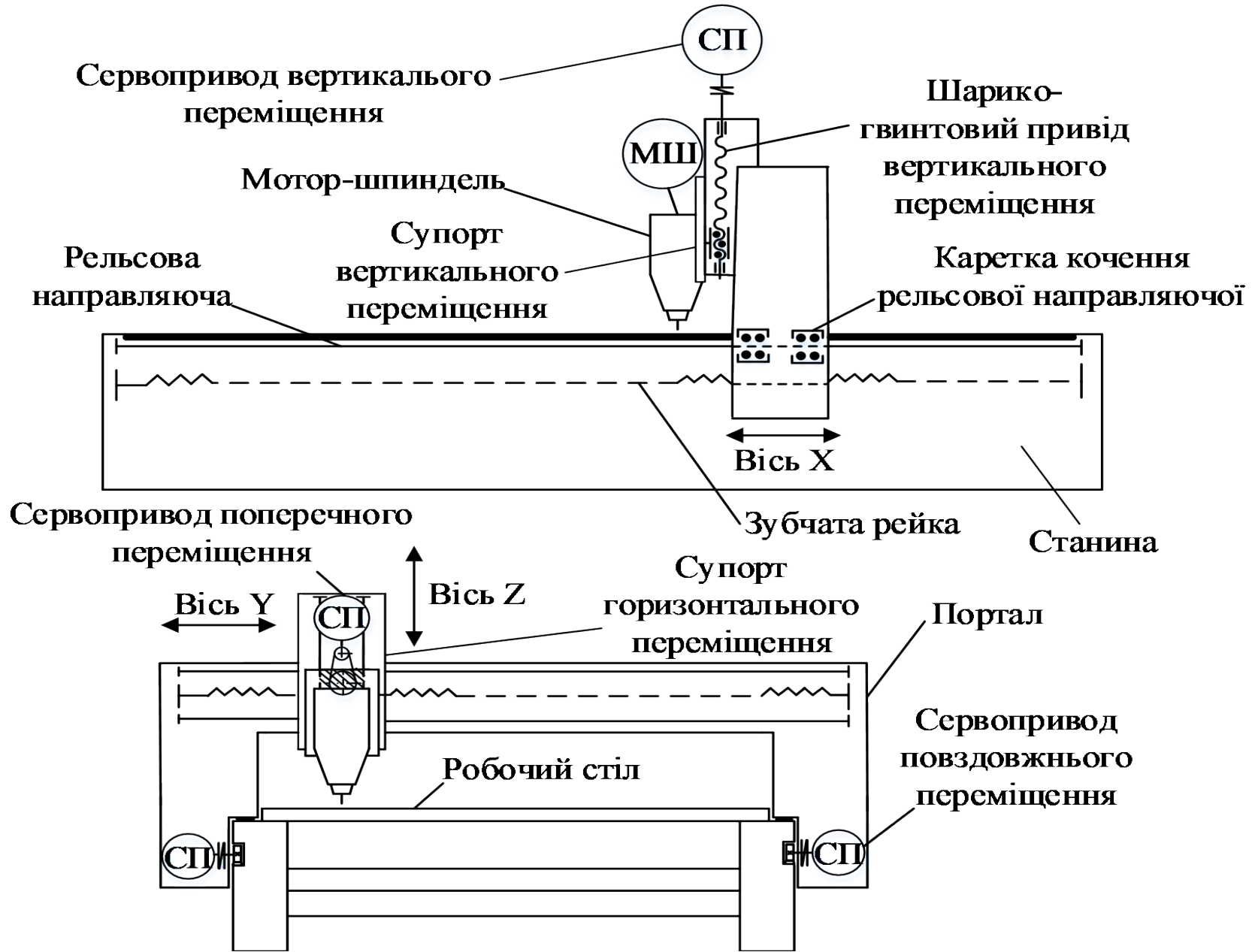
Об'єкт дослідження – процеси, які протікають в електроприводі верстату.

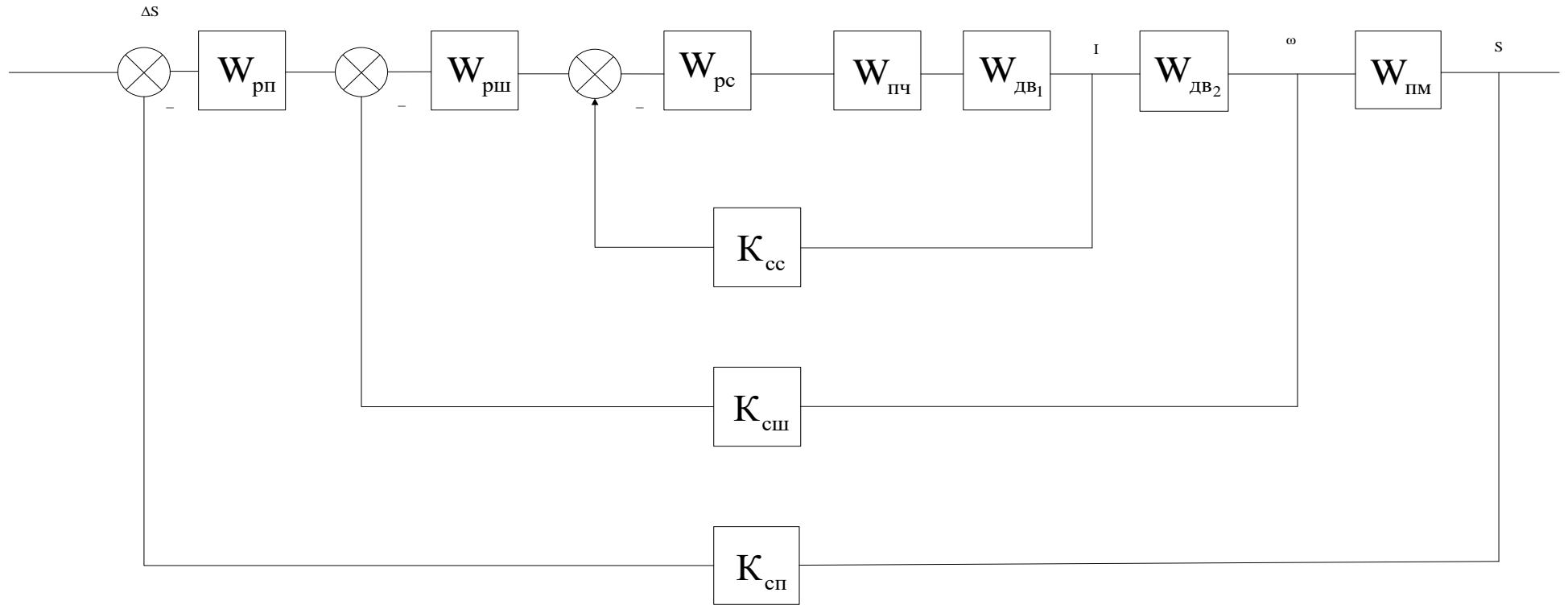
Предмет дослідження – системи керування електроприводом, нечітка логіка.

Зовнішній вигляд і будова портального верстату з ЧПК



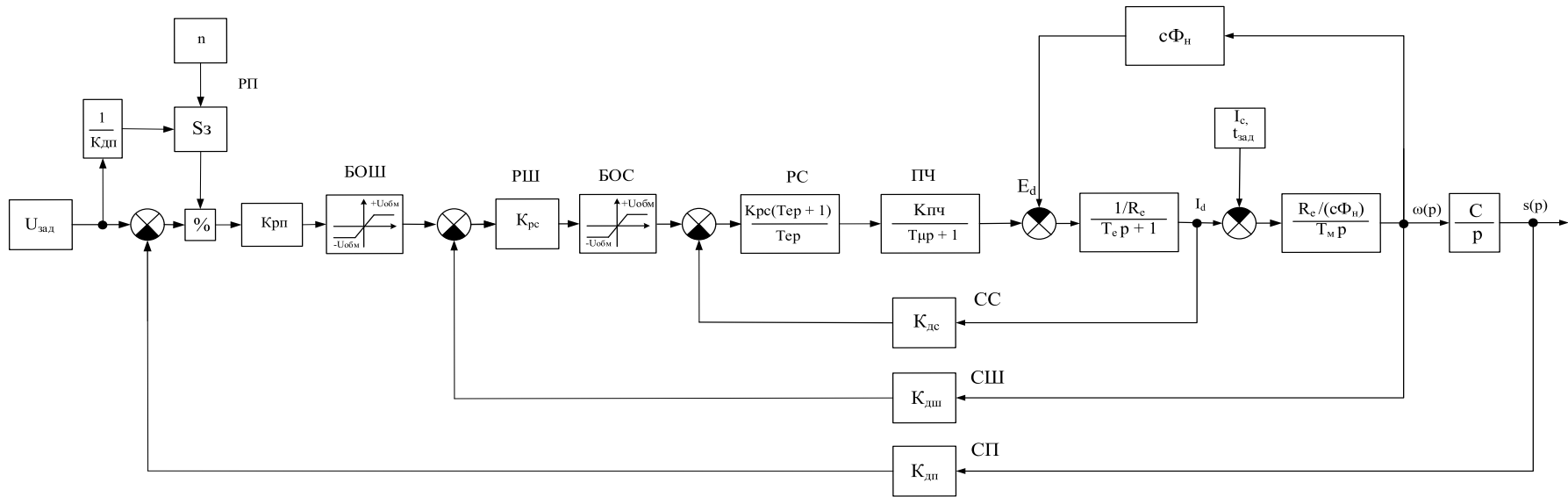
Кінематична модель портального верстату





					08-16.МКР.006.00.000 Е1			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числовим програмним керуванням. Структурна схема керування системою позиційного електроприводу ПЧ-АД	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Лумі Д. І.					y		
Перевірів	Розводюк М.П.					Аркуш 1	Аркушів 1	
Т. контр.								
Н.контр.						ВНТУ, ЕПА-18м		
Зав.	Кутін В.М.							

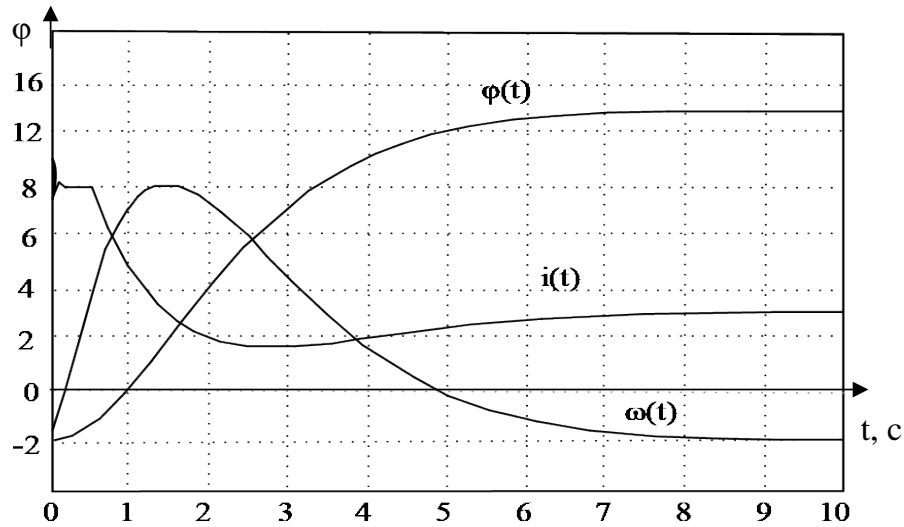
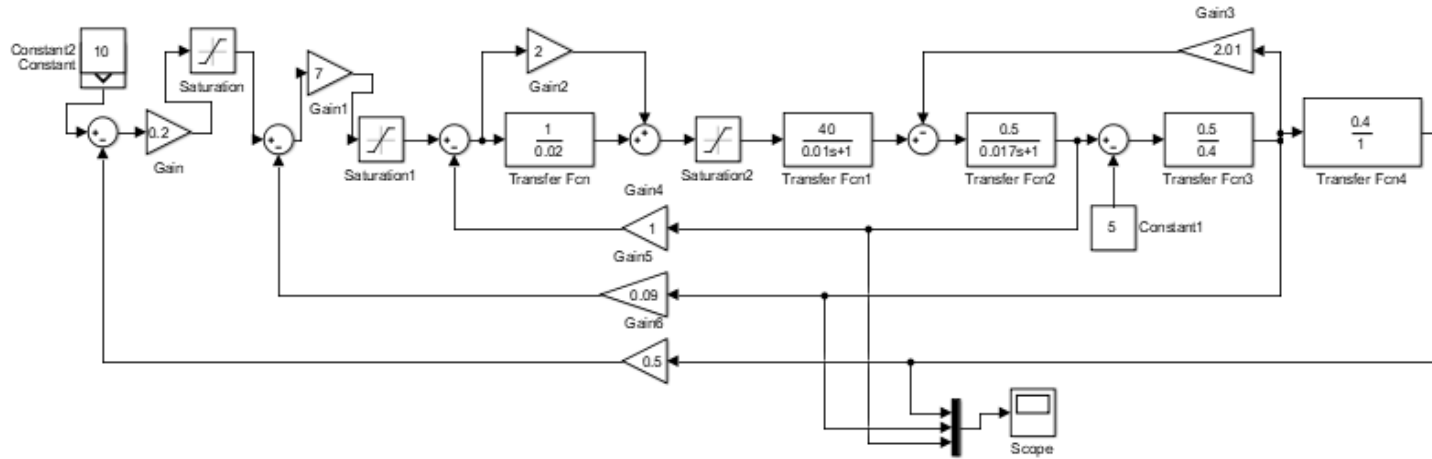
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зав. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата



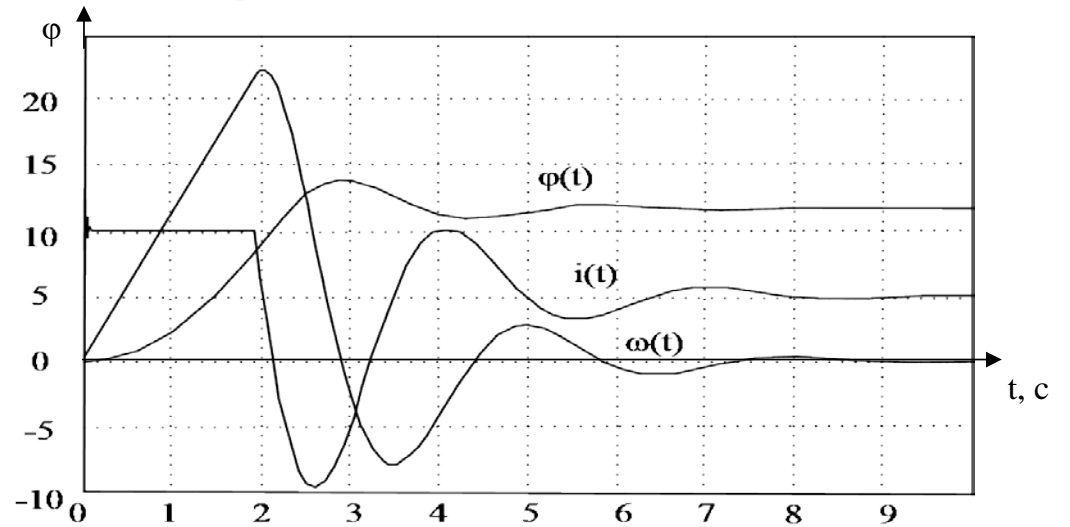
Підпис і дата
Інв. № дубл.
Зам. інв. №
Підпис і дата
Інв. № ориг.

						08-16.МКР.006.00.000 Е1		
						Підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстата з числовим програмним керуванням. Структурна схема позиційного керування електроприводом		
Зм.	Дрк.	№ докум.	Піп.	Дата	Літера	Маса	Масштаб	
Розробив		Лузі Д. Г.			у			
Перевірів		Розволок М.П.			Аркуш 1	Аркушів 1		
Т. контр.								
Н.контр.								
Зав.		Кутін В.М.			ВНТУ, ЕПА-18м			

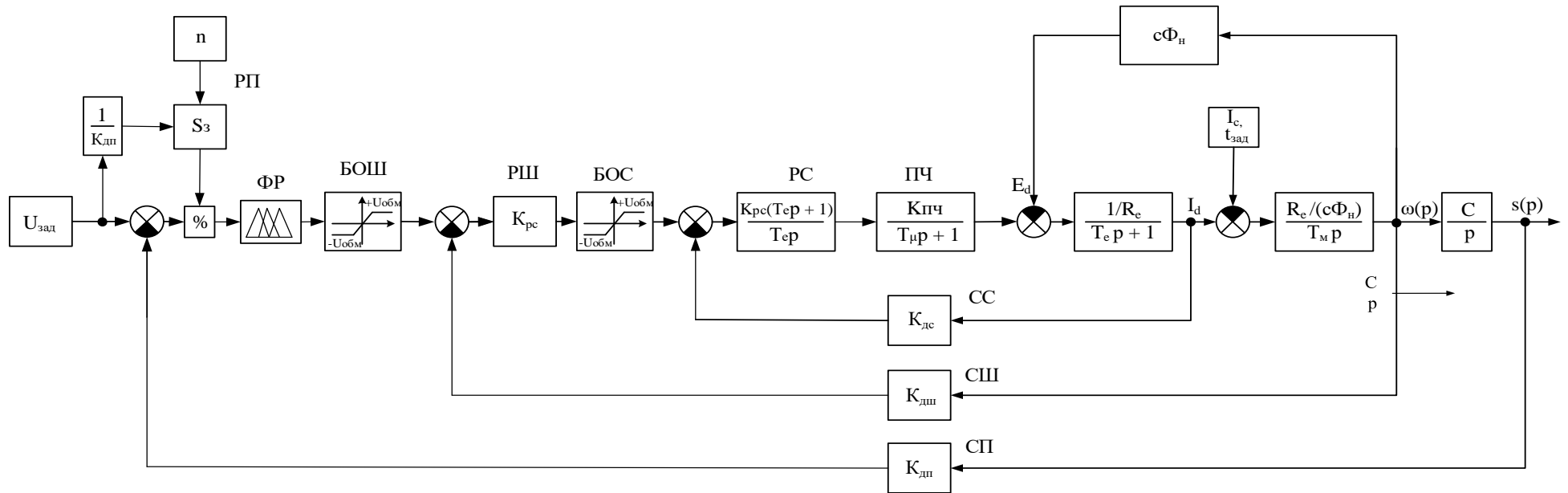
Результати моделювання в ППП Matlab



Перехідні характеристики системи позиціонування ПЧ-АД



Перехідні характеристики системи ПЧ-АД при збільшенні коефіцієнта k_{II}

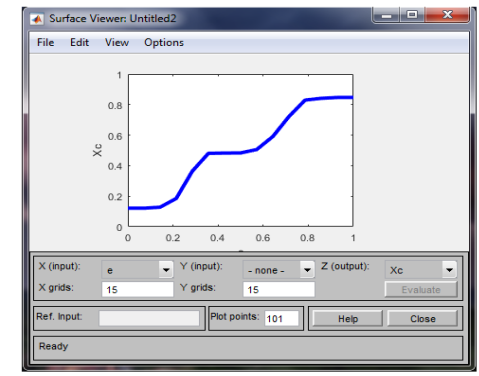
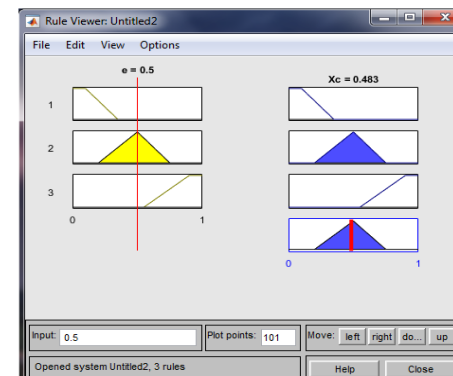
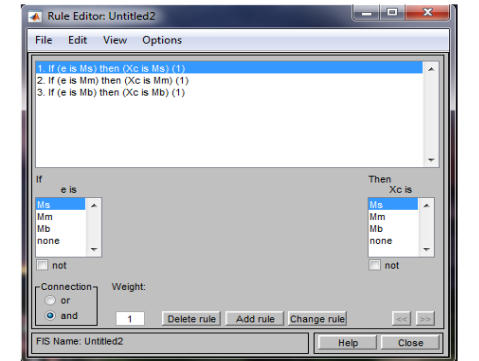
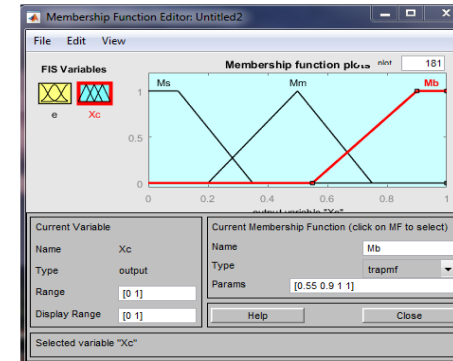
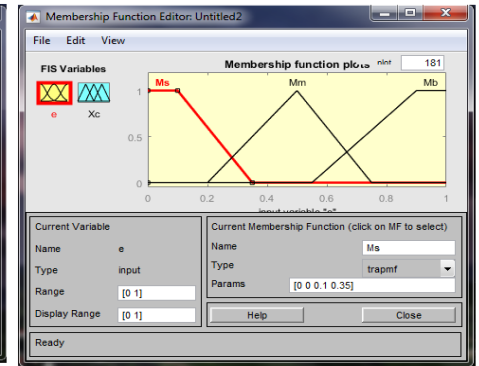
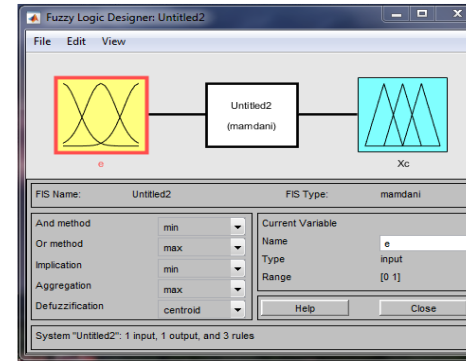


Інв. № ориг.	
Підпис і дата	
Зам. інв. №	
Інв. № дубл.	
Підпис і дата	

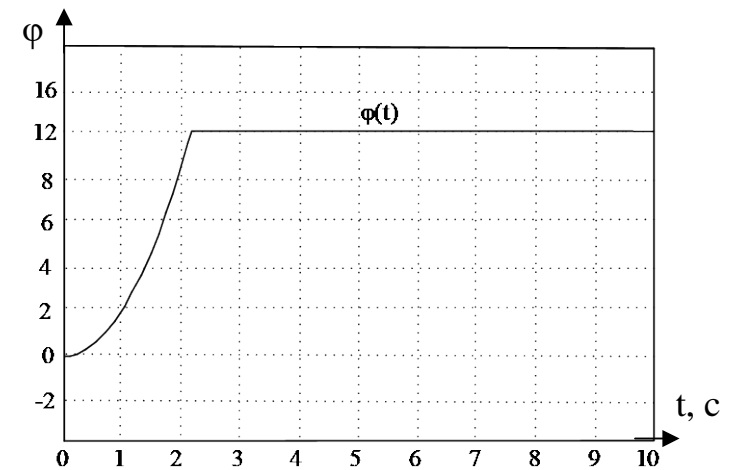
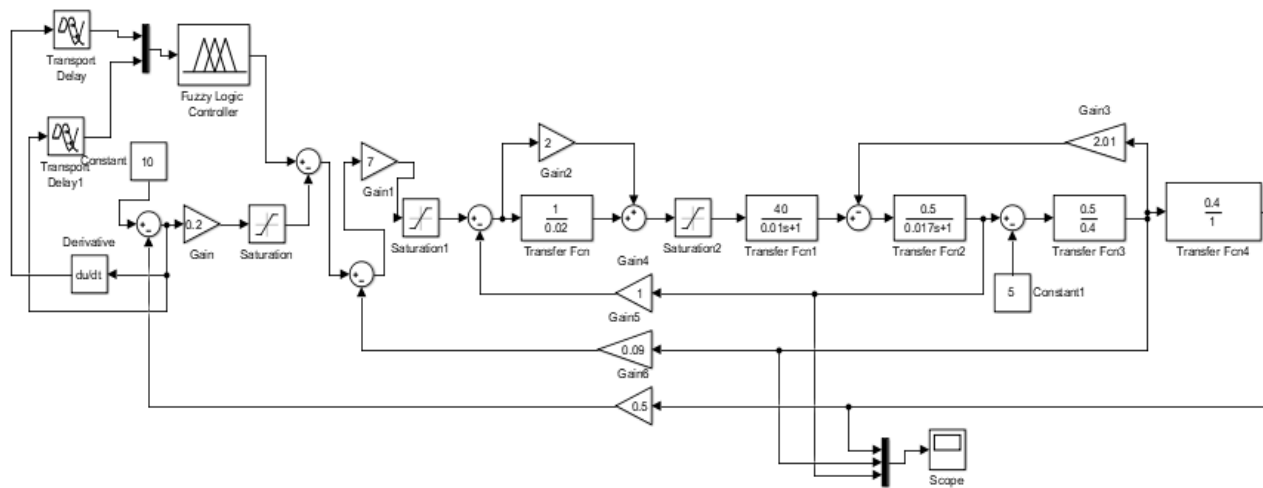
08-16.MKP.006.00.000 E1								
Зм.	Арк.	№ докум.	Піп.	Дата	Підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числовим програмним керуванням. Структурна схема системи позиціонування з нечітким контролером	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Лумі Д. І.					y		
Перевірів	Розводюк М.П.					Аркуш 1	Аркушів 1	
Т. контр.								
Н.контр.								
Затв.	Кутін В.М.				ВНТУ, ЕПА-18м			

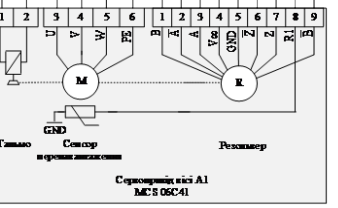
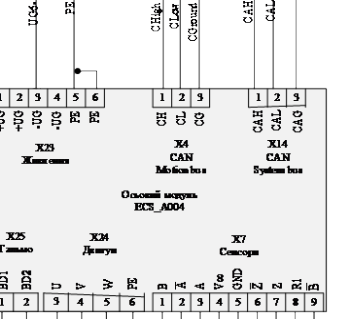
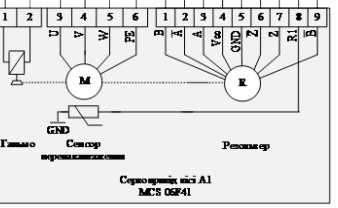
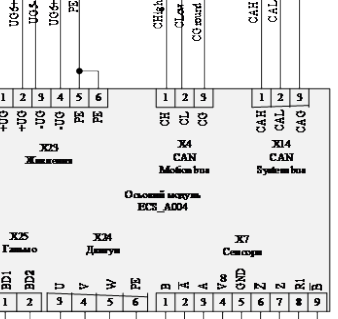
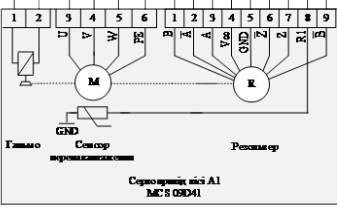
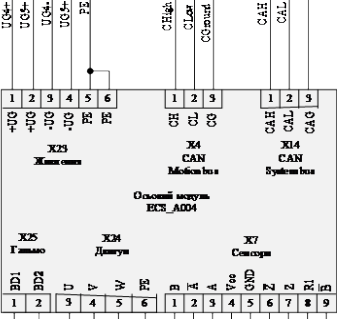
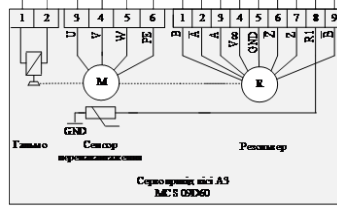
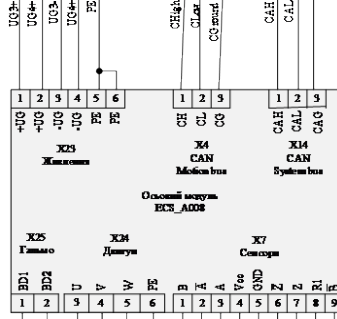
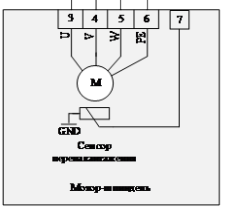
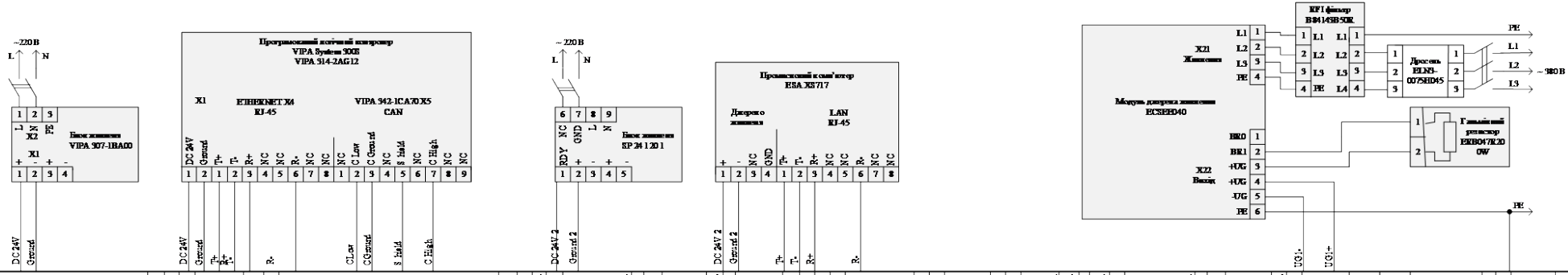
Створення керуючої програми нечіткого контролера

```
e=(0.0:0.0001:1.0)';
Ms=trapmf(e,[0 0 0.1 0.35]);
Mm=trimf(e,[0.2 0.5 0.75]);
Mb=trapmf(e,[0.55 0.9 1.0 1.0]);
plot(e,[Ms Mm Mb]);grid on
```



Моделювання структурної схеми позиціонування з нечітким контролером





Имя, № ориг.: _____
 Дата: _____
 Зам. инв. №: _____
 Инв. № дубл.: _____
 Подпись и дата: _____

				08-16.MKP.006.00.000 E3				
Зм.	Др.	№ докум.	Підп.	Дата	Підвищення точності позиціонування робочої частини фрезерного верстату з числовим програмним керуванням. Схема електрична принципової автоматизації верстату	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Лумі Д. І.					y		
Перевірив	Розводюк М. П.					Аркуш 1	Аркушів 1	
Н.контр.						ВНТУ, ЕПА-18М		
Зав.	Кутін В.М.							

Наукова новизна:

Підвищення точності робочого органу верстату з числовим програмним керуванням, за рахунок удосконалення системи керування верстату, з використанням фаззи-регулятора.

Практичне значення:

Підвищені якості виготовленої продукції за рахунок підвищення точності позиціонування фрезерного верстату.