

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 141 «Електроенергетика електротехніка та електромеханіка»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Ковальов Віталій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Реконструкція системи керування електроприводом натискних гвинтів
блюмінгу 1050

(повна назва теми)

за матеріалами ПЦ-1 ПрАТ ДМЗ

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник доцент, к.т.н. Рожненко Ж.Г.
(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 202 р. №

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модлю

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ

Ковальова Віталія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи Реконструкція системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050

керівник випускної роботи Рожненко Ж.Г.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року
№ 238-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 01.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: Номінальний діаметр робочих валків - 1100 мм, довжина бочки робочого валка - 2600 мм, максимальні розміри перетину злитка - 610x810x2012 мм, максимальна вага злитка - 6,5т, вага натискних гвинтів - 18000 Н, вага верхнього валу з іншими частинами - 715000 Н, ККД редуктора - 0,85 максимальна швидкість переміщення верхнього валка верхнього валка - 0,178 м/с, передаточне число - 4,8, кількість електродвигунів - ПВ-125-8к 2шт, коефіцієнт тертя в п'яті - 0,1.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналітична частина. Основна частина. Висновки.

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

ВРБ.141.238-ст.11.Е1.1 – Базова схема електрична принципова електропривода натискних гвинтів блюмінгу 1050; ВРБ.141.238-ст.11.Е1.2 – Проектна схема електрична принципова електропривода натискних гвинтів блюмінгу 1050; ВРБ.141.238-ст.11.Е1.3 – Математична модель позиційного електропривода натискних гвинтів блюмінгу 1050; ВРБ.141.238-ст.11.Е1.4 – Графіки перехідних процесів позиційного електропривода натискних гвинтів блюмінгу 1050

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Рожненко Ж.Г.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Рожненко Ж.Г.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	24.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	02.06.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	13.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	20.06.2026	

Студент

(підпис)

Ковальов В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Рожненко Ж.Г.

(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.	
1	A3	ВРБ.141.238-ст.11.Е1.1			Базова схема електрична	1			
2					принципова				
3					електропривода				
4					натискних гвинтів				
5									
6	A3	ВРБ.141.238-ст.11.Е1.2			Проектна схема	1			
7					електрична принципова				
8					електропривода				
9					натискних гвинтів				
10									
11	A3	ВРБ.141.238-ст.11.Е1.3			Математична модель	1			
12					позиційного				
13					електропривода				
14					натискних гвинтів				
15									
16	A3	ВРБ.141.238-ст.11.Е1.4			Графіки перехідних	1			
17					процесів позиційного				
18					електропривода				
19					натискних гвинтів				
20									
21	A3	ВРБ.141.238-ст.17.ПЗ			Пояснювальна записка	76			
22									
23									
24									
25									
26									
					ВРБ.141.238-ст.11.ВР				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					
Розроб.		Ковальов В.О.			Реконструкція системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050 Відомість роботи	Літера		Аркуш	Аркушів
Пров.		Рожненко Ж.Г						4	76
						ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. ЕПА-23ск			
Н.контр.		Рожненко Ж.Г							
Затв.		Модло Є.О.							

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 76 с., 32 рис., 8 табл., 7 джерел використаної літератури.

Об'єкт розробки – система керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050.

Мета роботи – заміна системи керування двигуном постійного струму ПВ-125-8к. Зміні підлягає фізично застарілий перетворювач типу АТР-1000-460У4 (660 кВт, 460 В, 1000 А). Замість цього перетворювача запропоновано встановити новий цифровий тиристорний перетворювач КТЕ.

Методи дослідження та апаратура – у роботі використані теоретичні методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на теорії електропривода та теорії автоматичного керування. Широко застосовувалося математичне моделювання у середовищі MATLAB.

Результати дослідження: розроблені технічні рішення можуть бути використані під час реконструкції системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050 та сприятимуть підвищенню ефективності, надійності й безпеки роботи прокатного обладнання в умовах ПрАТ «ДМЗ».

Ключові слова: автоматизація, валки, електропривод, натискні гвинти, регулятор, блюмінг

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Технологічна характеристика підприємства та технічна характеристика механізму	9
1.2 Характеристика існуючої САК електропривода механізму натискних гвинтів блюмінгу.....	17
1.3 Постановка задачі реконструкції.....	19
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Розрахунок потужності та вибір електропривода механізму натискних гвинтів блюмінгу.....	22
2.2 Розрахунок параметрів та вибір елементів силової частини електропривода механізму натискних гвинтів на базі САК ТП-Д	35
2.3 Розрахунок параметрів та вибір елементів системи керування електроприводом механізму натискних гвинтів на базі САК ТП-Д.....	41
2.4 Аналіз якості перехідних процесів системи ТП-Д при використанні різної структури регуляторів положення.....	55
2.5 Охорона праці та безпека експлуатації електрообладнання	70
2.6 Протипожежні заходи	72
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76

ВСТУП

Сучасний розвиток металургійної промисловості нерозривно пов'язаний із підвищенням продуктивності технологічного обладнання, зниженням енергоспоживання та впровадженням автоматизованих систем керування виробничими процесами. Особливе значення при цьому мають електроприводи прокатних станів, які забезпечують виконання складних технологічних операцій із високими вимогами до точності, надійності та швидкодії. Від ефективності роботи електроприводів значною мірою залежать якість готової продукції, стабільність виробничого процесу та економічні показники підприємства.

Одним із відповідальних механізмів прокатного виробництва є натискні гвинти блюмінгу, призначені для регулювання положення валків і забезпечення необхідного зазору між ними під час прокатування металу. Від точності їх роботи залежить дотримання заданих геометричних параметрів заготовок, рівномірність деформації металу та якість кінцевої продукції. Тривала експлуатація існуючих систем керування, моральне та фізичне старіння електротехнічного обладнання, а також зростання вимог до автоматизації виробничих процесів зумовлюють необхідність проведення модернізації електроприводів даного технологічного обладнання.

На сьогоднішній день на багатьох промислових підприємствах використовуються системи керування, розроблені декілька десятиліть тому. Такі системи часто характеризуються обмеженими функціональними можливостями, недостатньою точністю регулювання, підвищеними витратами на обслуговування та складністю інтеграції з сучасними засобами автоматизації. У зв'язку з цим актуальним завданням є реконструкція систем керування електроприводами із застосуванням сучасних технічних засобів, цифрових регуляторів та мікропроцесорних систем управління.

Об'єктом дослідження у даній роботі є електропривод натискних гвинтів блюмінгу 1050 прокатного цеху №1 ПрАТ «ДМЗ». Предметом

дослідження виступає система керування електроприводом та шляхи підвищення її ефективності шляхом технічної реконструкції.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення технічних рішень щодо реконструкції системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050, спрямованих на покращення показників точності регулювання, надійності роботи та енергоефективності технологічного обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз існуючої системи керування електроприводом натискних гвинтів;
- дослідити особливості роботи механізму та вимоги технологічного процесу;
- обґрунтувати вибір сучасних технічних засобів керування електроприводом;
- провести розрахунки параметрів системи регулювання;
- розглянути питання охорони праці та безпеки експлуатації електрообладнання.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час модернізації електроприводів прокатного обладнання на металургійних підприємствах. Запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення надійності функціонування електропривода, покращення якості регулювання технологічних параметрів та зниження експлуатаційних витрат.

Таким чином, реконструкція системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050 є актуальним інженерним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності роботи прокатного цеху, покращенню якості продукції та забезпеченню стабільного функціонування виробничого обладнання в сучасних умовах промислового виробництва.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічна характеристика підприємства та технічна характеристика механізму

Блюмінг «1050» розташований у прокатному цеху №1 ПрАТ «ДМЗ». Як відомо [2], установочні гвинти (або натискні) призначені для здійснення таких технологічних операцій:

1) регулювання взаємного положення валків, для забезпечення профілю заданих розмірів. На деяких станах відстань між валками змінюється після кожного пропуску. У такому режимі працюють блюмінги, слябінги, тонколистові стани, універсальні, чорнові кліті напівбезперервних станів;

2) регулювання положення валків по відношенню до рівня рольгангу. У безперервних станів вони регулюються також по відношенню до валків інших клітей, для забезпечення прямолінійності вісі прокатки.

У більшості випадків регулюються тільки верхні валки; іноді також нижні та середні (у листових тривалкових станах).

Конструкції механізмів установки верхніх валків суттєво залежать від швидкості пересування валків та величини пересування, а також від числа пересування на годину.

У таблиці 1.1 наведені розповсюджені швидкості пересування валків на прокатних станах.

Таблиця 1.1 – Розповсюджені швидкості пересування валків

Найменування прокатного стану	Швидкість пересування валків, мм/с
Блюмінги:	
- (1000-1475)	80-200
- (800-900)	40-80
тривалкові 700-800	30-60
Слябінг 1100	50-120

Блюмінг «1050» є одноклітьовим обтискним станом, який призначений для прокатки злитків масою до 8 тон на блюми різного перерізу в залежності від профілів, які прокочуються на стані.

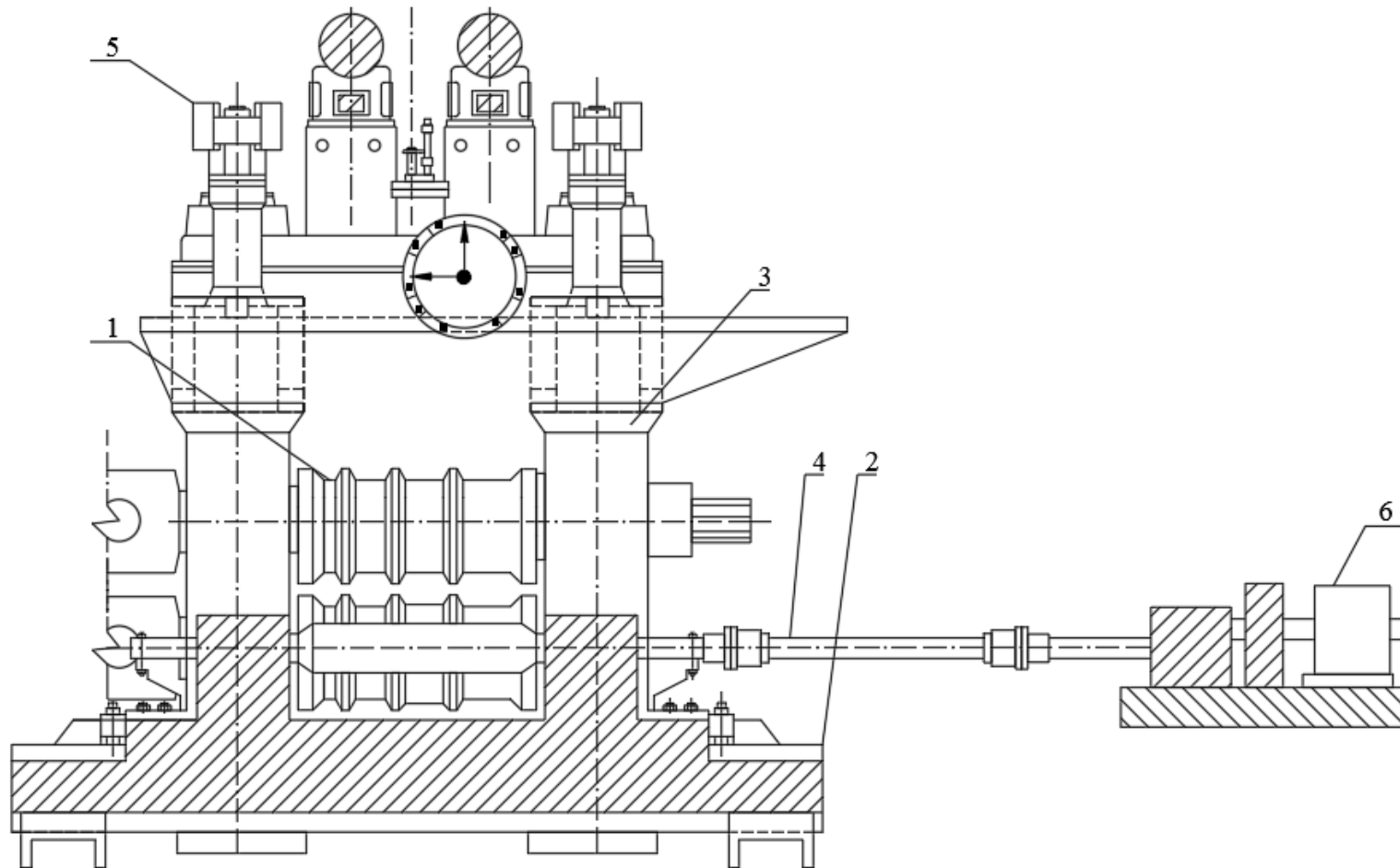
Основні геометричні співвідношення блюмінгу 1050 наведені у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Основні геометричні співвідношення блюмінгу 1050

Параметри	Числове значення
Діаметр робочих валків, мм	1095
Діаметр шийки валків, мм	600
Довжина бочки валків, мм	2600
Довжина шийки, мм	580

Привод валків головного привода блюмінгу здійснюється від електродвигуна потужністю 10000 кВт із числом обертів у межах від 0 до 63-100 об/хв. через шестеренну кліть та універсальні шпинделі. Натискний пристрій –електричний. Натискні гвинти приводяться в рух від двох вертикальних електродвигунів типу ПВ125-8К потужністю 200 кВт з частотою обертання 750 об/хв. через циліндричний редуктор. Швидкість переміщення верхнього робочого валка дорівнює 135 мм/с.

Загальний вигляд натискного пристрою зображений на рисунку 1.3.



1 – верхній робочий валок; 2 – станина; 3 – опора; 4 – вал;
 5 – натискний пристрій з електродвигуном; 6 – прокатний двигун

Рисунок 1.3 – Загальний вигляд натискного пристрою

Зрівноважування верхнього валка – гідравлічне. З передньої сторони блюмінг обладнано маніпулятором, у лівій лінійці якого вмонтований кантувач. Положення злитка щодо калібрів робочих валків із задньої сторони кліті фіксується станинним ребристим роликом.

Блюмінг обладнаний рольгангами, характеристика яких наведена у таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Характеристика рольгангів блюмінга «1050»

Тип рольганга	Довжина рольганга, мм	Розмір роликів, мм		Крок роликів, мм	Число роликів	Окружна швидкість роликів, м/с
		Діаметр, мм	Довжина, мм			
Прийомний	10190	510	900	змін.	12	1,5
Підвідний	12090	356	1140	711	18	2,25
Розкочувальний перед станом	5470	400	2600	700	8	2,62
Робочий: перед станом	5690	400-500	2600	700-727	7/1	2,12-2,6
за станом	5632	400-500	2600	700-727	7/1	2,12-2,6
Розкочувальний за станом	4960	400	2600	1230	4	2,62

Перевалювання валків блюмінга, як правило, виконується під час планового ремонту. При інтенсивній роботі стану – після вальцювання 65- 70 тис. т. злитків.

Настройка валків блюмінга виконується після перевалки, заміни вкладишів підшипників, а також при одержанні браку. Різниця діагоналей калібрів не повинна перевищувати 2 мм. Система змащення механізмів блюмінга централізована.

Розкат, який провальцювали на блюмінгу, по транспортному рольгангу надходить на парогідравлічні ножиці із силою різа 570 т., що служать для

відрізання дефектних кінців або розрізання на блюми. Парогідравлічні ножиці розташовані на відстані 20-22 м від осі валків блюмінга.

Розрізані заготівки, які не призначено для прокатки на рейкобалковому стані, скидачем складаються на стелаж довжиною 10,69 м і шириною 3,56 м, звідки їх забирають мостовим краном вантажопідйомністю 10 тон і штабелюють. Після остигання метал вантажиться на візок і передається в проліт обробки та огляду.

Механізм, за допомогою якого змінюється положення робочого валка, називається натискним пристроєм. Великий вплив на конструкцію натискного пристрою оказує швидкість, з якою пересувається робочий валок.

При відсутності металу у валках під впливом маси валка між кінцем гвинта і п'ятою у різьбі гайки натискного гвинта утворюються зазори. У цьому випадку при захваті металу валками будуть виникати сильні поштовхи, які викликають підвищене зношення та швидке руйнування механізму. Для захисту натискного пристрою від ударів та поштовхів при захваті металу необхідно усунути зазори, що виконується за допомогою врівноважувального пристрою. У нашому випадку – гідравлічне врівноваження.

На вітчизняних підприємствах значна кількість натискних пристроїв станів працюють у повторно-короткочасному режимі з великою частотою вмикання (обтискних, товстолистових, середньо листових). Відомо, що число пересувань верхнього валка блюмінгу у годину складає по підрахункам $1100 \div 1300$. А на практиці ця величина ще вище і доходить до $1600 \div 2000$ пересувань на годину. У безперервно листових станів гарячої прокатки, сортових, заготівельних та проволочних станів натискний пристрій працює у короткочасному режимі. Верхній робочий валок пересувається лише при налагодженні стана. У безперервних та реверсивних станів холодної прокатки без автоматичного регулювання товщини полоси частота включень натискних пристроїв – величина дуже мала.

1.2 Характеристика існуючої САК електропривода механізму натискних гвинтів блюмінгу

Електропривод натискного пристрою служить для перестановки верхнього валу перед кожним новим проходом. Для привода натискного пристрою використовується два електродвигуна двигуна постійного струму типу ПВ-125-8к $P=200\text{кВт}$; $U=220\text{В}$; $n=750\text{ об/хв}$.

На виробництві застосована система керування електроприводом з застарілим тиристорним перетворювачем АТР-1000-460 У4 із завданням швидкості від безконтактного контролера SCAR. Схема електрична принципова електропривода наведена на першому плакаті графічної частини кваліфікаційної роботи. Також схемою передбачена система регулювання швидкості генератор-двигун (Г-Д) (М1-Г1, М2-Г2 перемикання за допомогою вимикачів SA21, SA22).

Релейно-контакторна частина виконана на базі станції керування ППХ 4062-64П2. У даній схемі присутні такі види захисту:

- 1) максимальна струмова – КА1, КА2 та КА3;
- 2) від перенапруги на двигунах – KV1 та KV2;
- 3) реле ЕРС – KV3;
- 4) реле обриву поля – КА4 та КА5.

Готовність схеми до роботи визначається вмиканням нульового реле KV4, у колі якого замість вітки Г-Д підключена вітка ТП-Д (тиристорний перетворювач – двигун), а замість контактора командо контролера SA7 підключається контакт селсинного командоапарату SCAR.

У робочому положенні два двигуна натискного пристрою підключаються послідовно на напругу тиристорного перетворювача (ввімкнений лінійний контактор КМ3). У налагоджувальному режимі передбачена роздільна робота двигунів (ввімкнений контактор КМ1 або КМ2). Для аварійної зупинки двигунів використовується динамічне гальмування за допомогою контакторів КМ4 та КМ5 і опорів R10 та R11.

Підключення двигунів до схем ТП-Д, здійснюється за допомогою перемикача SA7. Тиристорний агрегат отримує живлення від мережі 6 кВ.

Комутація силового кола постійного струму тиристорного перетворювача, а також максимальний струмовий захист здійснюється двома автоматичними вимикачами серії A3700.

Для оперативних комутацій у якірному колі двигунів застосовано лінійний контактор КМ3. Вмикання лінійного контактору здійснюється з поста керування.

У коло нульового реле KV4 заведені контакти реле KL1 (команда автоматам постійного струму на вмикання, зі схеми керування автоматами) та KL2 (відсутність імпульсів на тиристорах, зі схеми завдання швидкості).

Вмикання нульового KV4 здійснюється при встановленні сельсинного командо апарату SCAR у нульове положення, при ввімкнених силових автоматах, відсутності імпульсів на тиристорах та встановленні ключа SA6 у робоче положення. Після вмикання KV4 контакт реле KL2 шунтується замикаючим контактом KL3 і поява імпульсів на тиристорах не призводить до відпадання KV4 і КМ3.

Зворотній зв'язок по напрузі двигуна знімається з потенціометра R6. У якірному колі двигуна встановлений шунт R9 з якого знімається сигнал зворотнього зв'язку за струмом двигуна. До шунта також підключений амперметр PA1. У тиристорному електроприводі передбачено два види захисту і сигналізації: аварійна та попереджувальна.

Так як в даній системі не потрібне регулювання швидкості обертання двигуна вище номінальної, то доцільним буде обрати новий електропривод, виконаний по системі ТП-Д з однозонним регулюванням частоти обертання двигуна. Усім перерахованим вище вимогам найбільш буде задовольняти новий цифровий комплектний тиристорний електропривод КТЕУ. Даний тиристорний перетворювач призначений для живлення і керування двома двигунами з послідовним з'єднанням якірних обмоток (реверс здійснюється зміною полярності кола якоря з рекуперацією (виконання по способу

з'єднання з мережею – трансформаторне склад комутаційної апаратури силового кола – з лінійним контактором і динамічним гальмуванням. Керування тиристорними мостами – роздільне. Роздільне керування використовується для повного виключення зрівняльних струмів між комплектами реверсивного перетворювача. Сутність його полягає у тому, що імпульси керування подаються тільки на один з комплектів, який повинен у цей момент працювати. На другий комплект імпульси не подаються, і він не працює. До складу тиристорного перетворювача входить власний трансформатор типу ТСЗП.

Таким чином, результатом нашої модернізації повинна бути математична модель системи керування електроприводом натискного пристрою. Для розрахунку та складання цієї моделі ми будемо користуватися досить поширеною в наш час програмною оболонкою MATLAB.

1.3 Постановка задачі реконструкції

В кваліфікаційній роботі об'єктом дослідження є електропривод механізму натискного пристрою блямінга «1050». У якості модернізації електроприводу вказаного механізму є заміна системи керування двигуном постійного струму ПВ-125-8к. Зміні підлягає фізично застарілий перетворювач типу АТР-1000-460У4 (660 кВт, 460 В, 1000 А). Замість цього перетворювача запропоновано встановити новий цифровий тиристорний перетворювач КТЕ.

Актуальність роботи визначається з наступних міркувань. У різних галузях промисловості присутня велика кількість виробничих механізмів (металооброблювальні верстати, робототехнічні комплекси, електроприводи натискних гвинтів, летючі ножиці, маніпулятори і т.д.), які повинні забезпечувати автоматичне відпрацювання робочим органом заданого лінійного або кутового пересування. При побудові систем автоматичного регулювання (САР) такими механізмами важливою проблемою є

забезпечення необхідних законів руху, що дозволяють отримати процеси точного позиціонування з досить високою швидкістю. Проблема підвищення швидкості електропривода, який є енергетичною основою автоматизації технологічних процесів, незважаючи на значні досягнення у цій галузі, залишається актуальною, так як вирішення задач удосконалювання технологій виробництва та його інтенсифікації не можливо без створення автоматизованих електроприводів з високими динамічними та енергетичними показниками. Найбільш швидкодіючим позиційним електроприводом з підпорядкованим регулюванням контурів струму (КРС), швидкості (КРШ) та положення (КРП) є система з пропорційними регуляторами швидкості (П-РШ) та положення (П-РП). Недоліком даної системи є наявність статичної помилки за положенням, що погіршує точності показники електропривода. Актуальним підходом для оптимізації процесів пересування за критерієм межевої швидкості доцільним є, наприклад, використання параболічного регулятора положення, який забезпечуватиме необхідну швидкість, точність та відсутність таких небажаних показників як перерегулювання.

Мета роботи і задачі дослідження: розробка і дослідження математичної моделі контуру регулювання положення для використання в навчальному процесі.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- розрахунок заданого варіанту силового каналу електропривода;
- розрахунок регуляторів струму, швидкості та положення;
- проведення аналізу та визначення ефективної структури регулятора положення за графіками перехідних процесів.

Об'єкт дослідження – процеси у контурі керування положенням електропривода постійного струму у режимі позиціонування.

Предмет дослідження – система автоматизованого регулювання (САР) положення.

Методи досліджень. У роботі використані теоретичні методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на теорії електропривода та теорії автоматичного керування. Широко застосовувалося математичне моделювання у середовищі MATLAB.

Очікувані наукові та практичні результати, їх значення:

- розроблена позиційна математична модель підпорядкованого регулювання координат яку впроваджено у навчальний процес;
- досліджені перехідні процеси в контурі положення при відпрацюванні малих пересувань з П-регулятором положення, П-регулятором швидкості та ПІ-регулятором струму;
- досліджені перехідні процеси у контурі положення з П-регулятором при відпрацюванні середніх пересувань при обмеженні П-регулятора швидкості;
- досліджені перехідні процеси у контурі положення з відпрацюванням середніх та великих пересувань при обмеженні регулятора положення та швидкості;
- досліджені перехідні процеси у контурі положення з параболічним регулятором з відпрацюванням середніх пересувань при обмеженні регулятора швидкості.

Результати та висновки даної роботи можуть бути корисними при розробці позиційного електропривода механізму натискних гвинтів блюмінгу «1050». Також, розроблена модель може бути використана для досліджень різних варіантів електроприводів постійного струму та представляє практичну цінність при застосуванні її у навчальному процесі.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності та вибір електропривода механізму натискних гвинтів блюмінгу

Електропривод натискного пристрою потрібен для перестановки верхнього валка перед кожним новим проходом.

У тихохідних натискних пристроях з електроприводом для листових станів гарячої та холодної прокатки, у яких висота підйому невелика – порядку $100 \div 200$ мм. При цьому швидкість пересування дуже мала. Це говорить про те, що є необхідність застосовувати малі пересування та точну зупинку.

Значна кількість натискних пристроїв станів працюють у повторно-короткочасному режимі з великою частотою включень (обтискних, товстолистових, середньо листових). Так, число пересувань верхнього валка блюмінгу на годину складає по підрахункам $1100 \div 1300$. На практиці ця величина ще вище і доходить до $1600 \div 2000$ пересувань на годину. У безперервно листових станів гарячої прокатки, сортових, заготівельних та проволочних станів натискний пристрій працює у короткочасному режимі. Верхній робочий валок пересувається лише при налагодженні стана. У безперервних та реверсивних станів холодної прокатки без автоматичного регулювання товщини полоси частота включень натискних пристроїв – величина дуже мала. У безперервних листових станах з автоматичним регулюванням товщини полоси натискні пристрої працюють з частотою, яка доходить до 1800 включень на годину.

У відповідності з викладеним для привода натискного пристрою блюмінгів, слябінгів, товстолистових та середньо листових станів, а також безперервних тонколистових станів гарячої та холодної прокатки з

автоматичним регулюванням товщини полоси застосовують двигуни постійного струму.

Електропривод натискного пристрою служить для перестановки верхнього валка перед кожним новим проходом Технічна характеристика механізму натискного пристрою блюмінгу 1050 наведена у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика натискного пристрою блюмінгу 1050.

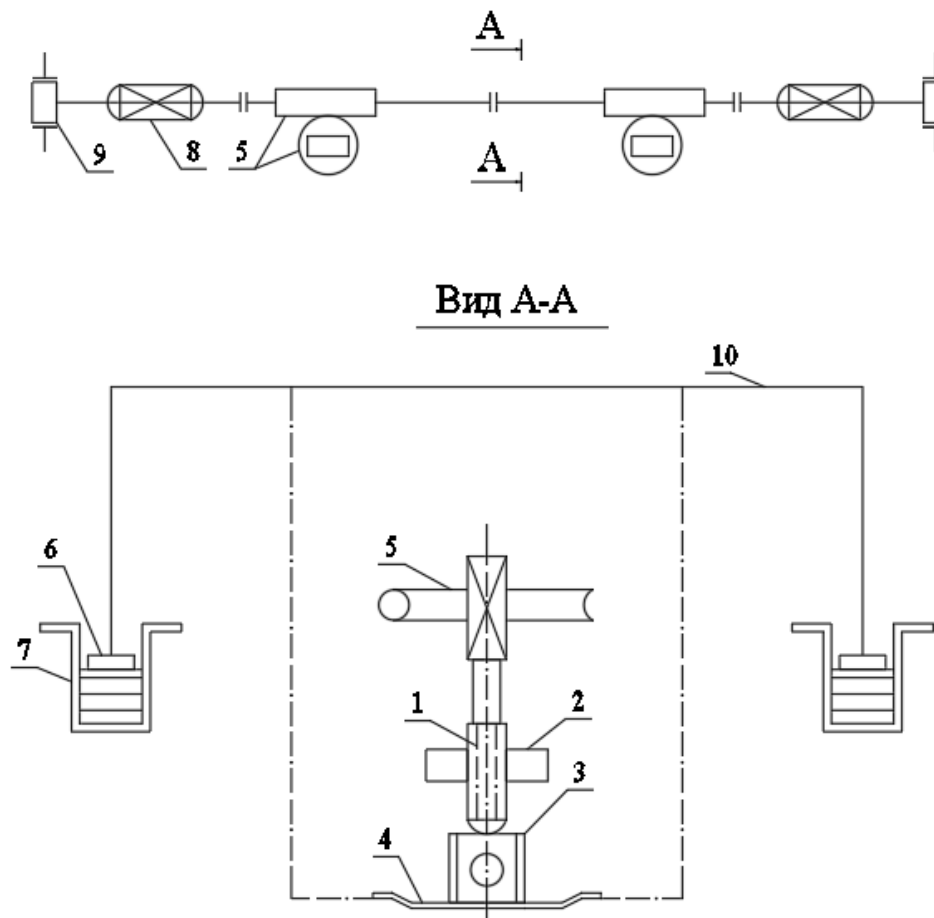
Параметр	Розмірність
Номінальний діаметр робочих валків	1100 мм
Довжина бочки робочого валка	2600 мм
Максимальні розміри перетину злитка	610x810x2012 мм
Максимальна вага злитка	6,5т
Вага натискних гвинтів	18000 Н.
Вага верхнього валу з іншими частинами	715000 Н
КПД редуктора	0,85
Максимальна швидкість переміщення верхнього валка	0,178 м/с
Передаточне число	4,8
Кількість електродвигунів ПВ–125–8к	2шт
Коефіцієнт тертя в п'яті	0,1

У нашому випадку присутнє гідравлічне врівноваження валків та шпинделей від існуючої гідравлічної мережі.

Кінематична схема натискного пристрою з гідравлічним врівноваженням зображена на рисунку 2.1.

Потужність привода натискного пристрою визначимо з урахуванням статичного навантаження, пов'язаного з тертям ролика в підшипниках, а також з урахуванням можливого буксування валка при надмірних прискореннях і при викиді металу з валків на ролики, при упорі металу в борт рольганга.

Динамічне навантаження пов'язане з тим, що метал по валку повинен пересуватися із прискоренням.



- 1- натискний гвинт; 2 – гайка натискного гвинта;
 3- подушка валка; 4 – бугель; 5 – черв'ячна передача;
 6 – плунжери; 7 – гідравлічні циліндри; 8 – двигуни;
 9 – гальма; 10 – траверса системи врівноваження

Рисунок 2.1 – Кінематична схема натискного пристрою з гідравлічним врівноваженням

Крутний момент, який необхідно прикласти до валу двигуна, буде дорівнювати:

$$M_{кр} = M_{ст} + M_{дин}. \quad (2.1)$$

Момент статичного опору зведений до валу двигуна:

$$M_c = 1,1[(P_y - G_b - 2G_{н.в.}) \frac{d_{cp}}{2} \operatorname{tg}(\rho \pm \alpha) + (P_y - G_b) \frac{d_{п}}{3} \mu_{п}] \frac{1}{i_{\eta}}, \quad (2.2)$$

де $P_y \cdot (1,2 \div 1,4)(G_b + 2 \cdot G_{н.в.})$;

G_b – вага верхнього валка з подушками;

$G_{н.в.}$ – вага натискних гвинтів;

d_{cp} – середній діаметр нарізки гвинтів;

α – кут підйом гвинтів лінії нарізки нижнього валка;

ρ – кут тертя в нарізки нижнього валка;

$d_{п}$ – діаметр п'яти;

$\mu_{п}$ – коефіцієнт тертя в п'яті;

i – ККД редуктора.

Визначаємо момент статичного опору при опусканні верхнього валка на валу двигуна:

$$\begin{aligned} M_{c1} = & 1,1 \cdot [(973000 - 715000 - 2 \cdot 18000) \cdot \frac{0,04}{2} \cdot \operatorname{tg}(5^\circ 10' + 2^\circ 33') + \\ & + (973000 - 715000) \cdot \frac{0,5}{3} \cdot 0,1] \frac{1}{4,8 \cdot 0,85} = 2580 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Визначаємо момент статичного опору при підйомі верхнього валка на валу двигуна:

$$\begin{aligned} M_{c2} = & 1,1 \cdot [(P_y - G_b - 2G_{н.в.}) \cdot \frac{d_{cp}}{2} \cdot \operatorname{tg}(\rho - \alpha) + \\ & + (P_y - G_b) \cdot \frac{d_{п}}{3} \cdot \mu_{п}] \cdot \frac{1}{i_{\eta}}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$M_{c2} = 1,1 \cdot [(973000 - 715000 - 2 \cdot 18000) \cdot \frac{0,04}{2} \cdot \operatorname{tg}(5^\circ 10' - 2^\circ 33') + \\ + (973000 - 715000) \cdot \frac{0,5}{3} \cdot 0,1] \cdot \frac{1}{4,8 \cdot 0,85} = 2040 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо необхідну кутову швидкість обертання двигуна:

$$v = \frac{h \cdot \omega}{2\pi}, \quad (2.5)$$

де $v = 0,178 \text{ м/с}$ - швидкість переміщення валу;

$h = 0,064 \text{ м}$ - крок гвинта.

Кутова швидкість та частота обертів двигуна:

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_{\text{в}} \cdot i, \\ \omega = \frac{2\pi \cdot v}{h} \cdot i = \frac{0,178 \cdot 6,28}{0,064} \cdot 4,8 = 84 \text{ рад/с}.$$

Визначаємо середній статичний момент:

$$M_{\text{м.ср.}} = \frac{M_{c1} + M_{c2}}{2} = \frac{2580 + 2040}{2} = 2310 \text{ Нм}. \quad (2.6)$$

Попередньо вибираємо двигун по найбільшому статичному моменту:

$$P_{\text{попер.}} = \frac{M_{c1} \cdot \omega_{\text{дв}}}{10^3} = \frac{2580 \cdot 84}{10^3} = 216 \text{ кВт}. \quad (2.7)$$

Залишаємо вже встановлений двигун постійного струму з наступними параметрами: тип двигуна: ПВ -125 -8к; P=200 кВт; n=750 об/хв; ПВ=100%; I_н=950 А; J=24 кгм²; M_н=2600 Нм.

Визначаємо оптимальне передатне відношення за умовами мінімального часу розгону:

$$i_{o.p.} = \frac{M_{cp} \cdot i}{\eta \cdot M_{п}} + \sqrt{\left(\frac{M_{cp} \cdot i}{\eta \cdot M_{п}}\right)^2 + \frac{J_m}{J_d^2}} = \frac{2310 \cdot 4,8}{0,85 \cdot 9100} + \sqrt{\left(\frac{2310 \cdot 4,8}{0,85 \cdot 9100}\right)^2 + \frac{450}{48}} = 4,9. \quad (2.8)$$

За умовами мінімального часу гальмування:

$$i_{от} = \frac{M_T \cdot h}{M_{дт}} + \sqrt{\left(\frac{M_T \cdot h}{M_{дт}}\right)^2 + \frac{J_m}{J_d^2}} = \frac{10400 \cdot 0,85}{9100} + \sqrt{\left(\frac{10400 \cdot 0,85}{9100}\right)^2 + \frac{450}{48}} = 4,15. \quad (2.9)$$

Визначаємо передатне число:

$$i = \frac{i_{op} + i_{от}}{2} = \frac{4,19 + 4,15}{2} = 4,17. \quad (2.10)$$

Приймаємо оптимальне передатне число: i=4,8.

Визначаємо момент інерції всього привода, наведеного до валу двигуна:

$$J_{M.заг.} = \frac{J_T}{i^2} + J_d^2 = \frac{450}{4,8^2} + 48 = 67 \text{ кгм}. \quad (2.11)$$

Розраховуємо прискорення натискного гвинта:

- при опусканні

$$a_1 = \frac{h}{2\pi \cdot i} \cdot \frac{M_{\text{дт}} + M_{c_1}}{J_{M.\text{заг.}}} = \frac{0,064}{6,28 \cdot 4,8} \cdot \frac{9100 - 2580}{67} = 0,203 \text{ м / с}^2. \quad (2.12)$$

- при уповільненні натискних гвинтів

$$b_1 = \frac{h}{2\pi i} \cdot \frac{M_{\text{т}} + M_{c_1}}{J_{M.\text{общ.}}} = \frac{0,064}{6,28 \cdot 4,8} \cdot \frac{10400 + 2580}{67} = 4,11 \text{ м / с}^2. \quad (2.13)$$

Визначаємо час розгону при опусканні натискних гвинтів у межах 2-12 (див. табл.2.2):

$$t_{p_1} = \sqrt{\frac{2 \cdot b_1 \cdot S}{a_1 \cdot (a_1 + b_1)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,411 \cdot 0,7}{0,203 \cdot (0,203 + 0,411)}} = 0,67 \text{ с.} \quad (2.14)$$

де S- беремо з таблиці технології 2.1;

$S_{\text{ср}} = 70 \text{ мм.}$

Таблиця 2.2 – Технологія пропуску натискного пристрою

Номер пропуску	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Шлях переміщення верхнього валка	355	70	70	70	250	70	70	70	70	70	70	70	70
напрямок переміщення	ВВ	ВН	ВН	ВН	ВВ	ВН	ВН	ВН	ВН	ВН	ВВ	ВН	ВВ

Примітка *: вн – переміщення униз, вв – переміщення вгору.

Час гальмування при опусканні валу в проходах 2-3-4-6-7-8-9-10-12:

$$t_T = \sqrt{\frac{2 \cdot a_1 \cdot S}{b_1 \cdot (a_1 + b_1)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,203 \cdot 0,7}{0,203 \cdot (0,203 + 0,411)}} = 0,33 \text{ с.} \quad (2.15)$$

Максимальна швидкість переміщення з врахуванням того, що графік швидкості трикутний, так як двигун не набирає повних обертів:

$$v_m = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot a_1 \cdot b_1}{a_1 + b_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,07 \cdot 0,203 \cdot 0,411}{0,203 + 0,411}} = 0,138 \text{ м / с.} \quad (2.16)$$

Визначаємо прискорення натискних гвинтів при підйомі:

$$a_2 = \frac{h}{2\pi \cdot i} \cdot \frac{M_{\text{д.р.}} - M_{c_2}}{J_{\text{М.заг.}}} = \frac{0,064}{6,28 \cdot 4,8} \cdot \frac{9100 - 2040}{64} = 0,221 \text{ м / с}^2. \quad (2.17)$$

Уповільнення натискних гвинтів при підйомі:

$$b_2 = \frac{h}{2\pi \cdot i} \cdot \frac{M_{\text{д.р.}} + M_{c_2}}{J_{\text{М.заг.}}} = \frac{0,064}{6,28 \cdot 4,8} \cdot \frac{9100 + 2040}{67} = 0,3548 \text{ м / с}^2. \quad (2.18)$$

Визначаємо час розгону при підйомі натискних гвинтів у пропусках 11-13:

$$t_{p_2} = \sqrt{\frac{2 \cdot b_2 \cdot S}{a_2 \cdot (a_2 + b_2)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,35 \cdot 0,07}{0,203 \cdot (0,203 + 0,35)}} = 0,63 \text{ с.} \quad (2.19)$$

Визначення часу гальмування при підйомі натискних гвинтів у пропусках 11-13:

$$t_{T_2} = \sqrt{\frac{2 \cdot a_2 \cdot S}{b_2 \cdot (a_2 + b_2)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,203 \cdot 0,07}{0,35 \cdot (0,203 + 0,35)}} = 0,39 \text{ с.} \quad (2.20)$$

Визначаємо час розгону до максимальної швидкості пересування, рівної 1,38 м/с :

$$t_{1p} = \frac{v}{a_2} = \frac{0,138}{0,22139} = 0,62 \text{ с.} \quad (2.21)$$

Визначаємо шлях розгону:

$$S_{\text{розг.}} = \frac{a_2 \cdot t_{1p}^2}{2} = \frac{0,221 \cdot 0,62^2}{2} = 0,043 \text{ м.} \quad (2.22)$$

Визначаємо час гальмування при підйомі:

$$t_T = \frac{v}{b_2} = \frac{0,138}{0,35} = 0,4 \text{ с.} \quad (2.23)$$

Шлях гальмування:

$$S_T = \frac{b_2 \cdot t_T^2}{2} = \frac{0,35 \cdot 0,4^2}{2} = 0,027 \text{ м.} \quad (2.24)$$

Визначаємо шлях пройдений з постійною швидкістю:

$$S_{\text{const}} = S_{\text{полн.}} - S_{\text{розг.}} - S_{\text{гальм.}} = 0,35 - 0,043 - 0,027 = 0,28 \text{ м.} \quad (2.25)$$

Визначаємо час пересування з постійною швидкістю:

$$t_{\text{пост}} = \frac{S_{\text{пост.}}}{v_{\text{max}}} = \frac{0,28}{0,138} = 2,03 \text{ с.} \quad (2.26)$$

Шлях пересування з постійною швидкістю в 5-ому калібрі:

$$S_{\text{пост}} = S_{\text{полн}} - S_{\text{розг}} - S_{\text{гальм}} = 0,250 - 0,074 - 0,045 = 0,131 \text{ м.} \quad (2.27)$$

Час пересування з постійною швидкістю:

$$t_{\text{п}} = \frac{S_{\text{п}}}{V_{\text{max}}} = \frac{0,131}{0,178} = 0,74 \text{ с.} \quad (2.28)$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків вибору двигуна

Номер проходу	Мдт	tr	Мт	tr	Мст	t _{пост} , швидкий	tц
1	9100	0,8	10400	0,5	2040	0,75	0,85
2		0,7		0,3			
3		0,7		0,3			
4		0,7		0,3			
5		0,8		0,5			
6		0,7		0,3			
7		0,7		0,3			
8		0,7		0,3			
9		0,7		0,3			
10		0,7		0,3			
11		0,6		0,4			
12		0,7		0,3			
13		0,6		0,4			

*М_{ст} – статичний момент (формула 2.4)

*М_{дт} – момент при прискоренні механізму.

*М_т – момент сповільнення механізму.

Визначаємо еквівалентний момент:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_{\text{п}}^2 \cdot \sum t_{\text{п}} + M_{\text{т}} \cdot \sum t_{\text{т}} + M_{\text{ст}}^2 \cdot \sum t_{\text{п}}}{T_{\text{ц}}}} = 3913 \text{ Нм.} \quad (2.29)$$

Обертальний момент гвинта:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{гв.}} &= Y \cdot \left(\frac{d_{\text{п}}}{3} \cdot \mu_{\text{п}} + \frac{d_{\text{сп}}}{2} \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi) \right) = \\
 &= 128275 \cdot \left(\frac{0,5}{3} \cdot 0,1 + \frac{0,4}{2} \cdot \text{tg}(2^{\circ}33' + 5^{\circ}40') \right) = 4874,3 \text{ Нм,}
 \end{aligned} \quad (2.30)$$

де Y - зусилля, що діє на натискний гвинт;

d_n - діаметр п'яти натискних гвинтів;

μ_n - коефіцієнт тертя в п'яті;

d_{cp} - середній діаметр різьблення натискних гвинтів;

α - кут підйому різьблення;

φ - кут тертя в різьбленні, обумовленої по формулі:

$$\operatorname{tg} \varphi = \mu_p,$$

де μ_p - коефіцієнт тертя в різьбленні між натискною гайкою й гвинтом.

Приймають $\mu_p = 0,1$ тоді $\varphi = 5^{\circ}40'$.

Коли натискні гвинти пересуваються тільки під час паузи, між проходами на них діє зусилля з боку пристрою для зрівноважування верхнього валка.

Це зусилля звичайно буває на 30-40% більше ваги деталей, що врівноважують:

$$Y = Q - \left(\frac{G}{2} \right) = (0,3 \div 0,4) \cdot \frac{G}{2} = 128275 \text{ Н}, \quad (2.31)$$

де Q - зусилля діюче на подушку валка з боку механізму врівноважування;

G - вага деталей, що врівноважують, (верхнього валка, його подушок і натискних гвинтів)

При заданій швидкості переміщення натискних гвинтів крутний момент двигуна для привода гвинта можна визначити по формулі:

$$M_{дв} = \frac{M_b}{i \cdot \eta} = \frac{4874,4}{4,8 \cdot 0,85} = 1194,7 \text{ Нм}. \quad (2.32)$$

Потужність двигуна :

$$P = \frac{M_{\text{дв}} \cdot n_{\text{дв}}}{716 \cdot 2} = \frac{355961 \cdot 750}{716 \cdot 2} = 186,432 \text{ кВт.} \quad (2.33)$$

Потужність і момент двигуна необхідно визначити з умови його нагрівання за середньоквадратичним струмом, а так само з умови забезпечення досить швидкого розгону двигуна, для того щоб час установки валків було мінімальним. У цьому випадку момент двигуна необхідно визначити з урахуванням динамічного навантаження, що виникає при прискоренні обертання деталей у приводі від двигуна до натискних гвинтів:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{ст}} + \frac{GD^2}{375} \cdot E,$$

де $M_{\text{ст}}$ - статичне навантаження на валу визначаємо по формулі 2;

GD^2 - маховий момент всіх обертаючих деталей привода, наведених до вала;

E - кутове прискорення привода при розгоні.

Таким чином, розрахована потужність менше потужності двох двигунів при номінальній напрузі 220 В. Однак, виходячи з того, що кожен двигун працює на зниженій напрузі (близько 190 В), розрахована потужність перевищує потужність двох двигунів в 1,2 рази. З огляду на те, що перевантажувальна здатність двигуна $M_{\text{max}} = 2,2M_{\text{н}}$, розраховане короткочасне перевантаження двигунів в 1,78 рази припустиме. Це перевантаження буде виникати при максимальному прискоренні злитка, що прокатується.

У результаті проведених розрахунків, можна сказати, що встановлені на натискному пристрої двигуни постійного струму підходять за умовами роботи. Паспортні дані двигуна зводимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Паспортні дані двигуна

Тип двигуна	ПВ-125-8к
Потужність двигуна	$P=200\text{кВт}$
Номинальна напруга	$U_H=220\text{В}$
Номинальний струм	$I_H=950\text{А}$
Коефіцієнт перевантаження	2,2
Номинальна швидкість	$n_{\text{ном}}=750\text{ об/хв}$
Опір обмотки якоря	$r_{\text{я}}=0,154\text{ Ом}$
Опір компенсаційної обмотки	$r_{\text{к.о.}}=0,032\text{ Ом}$
Сумарний опір обмотки якоря	$R_{\text{я}}=0,186\text{ Ом}$
Момент інерції якоря	$J=450\text{ кгм}^2$
Індуктивність якiрного ланцюга	$L_{\text{я}}=0,000248\text{ Гн}$

Після вибору передатного числа редуктора та типу двигуна (таблиця 2.3) може бути побудований графік швидкості натискного механізму в функції часу (рисунок 2.2).

За момент часу $t_1 = 0,62\text{ с}$ (формула 2.21) механізм зрушується з міста, прискорюється і у момент часу $t_2 = 2,05\text{ с}$ (формула 2.23) механізм працює на постійній швидкості. За момент часу $t_3 = 0,4\text{ с}$ (формула 2.26) механізм зупиняється. Потім процес розгону, роботи на постійній швидкості та гальмування повторюється у зворотному напрямку.

При русі механізму статичний момент зберігає постійну величину.

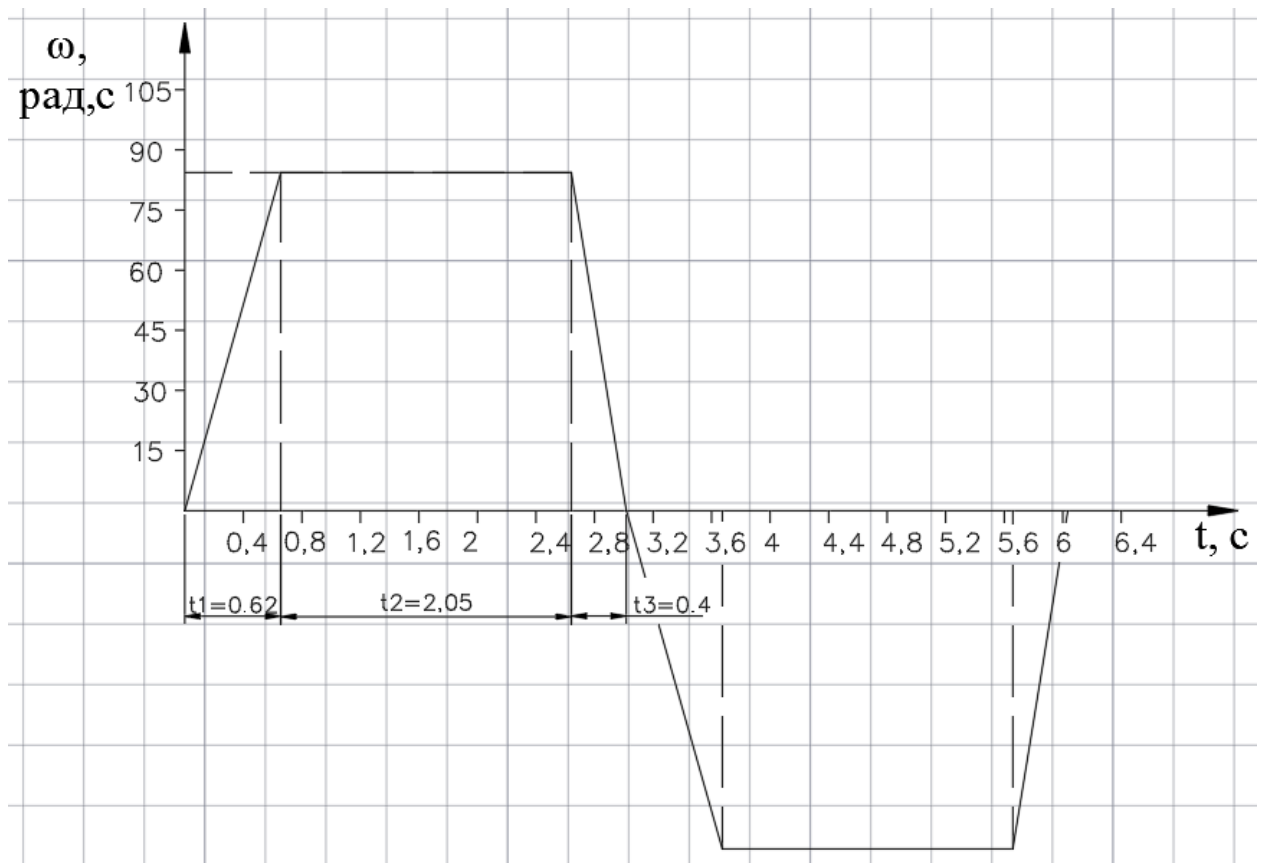


Рисунок 2.2 – Графік швидкості привода механізму натискного пристрою

2.2 Розрахунок параметрів та вибір елементів силової частини електропривода механізму натискних гвинтів на базі САК ТП-Д

Так як в даній системі не потрібне регулювання швидкості обертання двигуна вище номінальної, то обираємо електропривод, виконаний за системою ТП-Д з однозонним регулюванням частоти обертання двигуна. Усім перерахованим вище вимогам найбільше задовольняє комплектний тиристорний електропривод серії КТЕ5-1000/440 4421 УХЛ4 [4]. Даний тиристорний перетворювач призначений для живлення і керування двома двигунами з послідовним з'єднанням якірних обмоток (реверс здійснюється зміною полярності кола якоря з рекуперацією (виконання по способу з'єднання з мережею - трансформаторне склад комутаційної апаратури силового кола - з лінійним контактором і динамічним гальмуванням.

Керування тиристорними мостами - роздільне. Роздільне керування використовується для повного виключення зрівняльних струмів між комплектами реверсивного перетворювача. Сутність його полягає у тому, що імпульси керування подаються тільки на один з комплектів, який повинен у цей момент працювати. На другий комплект імпульси не подаються, і він не працює, «закритий». До складу тиристорного перетворювача входить трансформатор типу ТСЗП 630 (таблиця 2.5).

Тиристорні комплектні електроприводи постійного струму призначені для прокатних станів, транспортерів, обертальних печей і т. ін.

При виборі перетворювача необхідно дотримувати умови:

$$I_{dH} > I_H, \quad (2.34)$$

$$U_{dH} > U_H, \quad (2.35)$$

$$I_{d \max} \geq I_{дв \max} \text{ або } \lambda_{п} I_{dH} \geq \lambda_{дв} I_H, \quad (2.36)$$

де $\lambda_{п}$ - коефіцієнт перевантаження по струму перетворювача;

$\lambda_{дв}$ - коефіцієнт перевантаження по струму двигуна;

I_{dH} - номінальний струм перетворювача;

U_{dH} - номінальна напруга перетворювача;

I_H - номінальний струм двигуна;

U_H - номінальна напруга двигуна.

Характеристики електропривода задовольняють умовам (2.34-2.36):

$$U_{dH} = 460V > 440V,$$

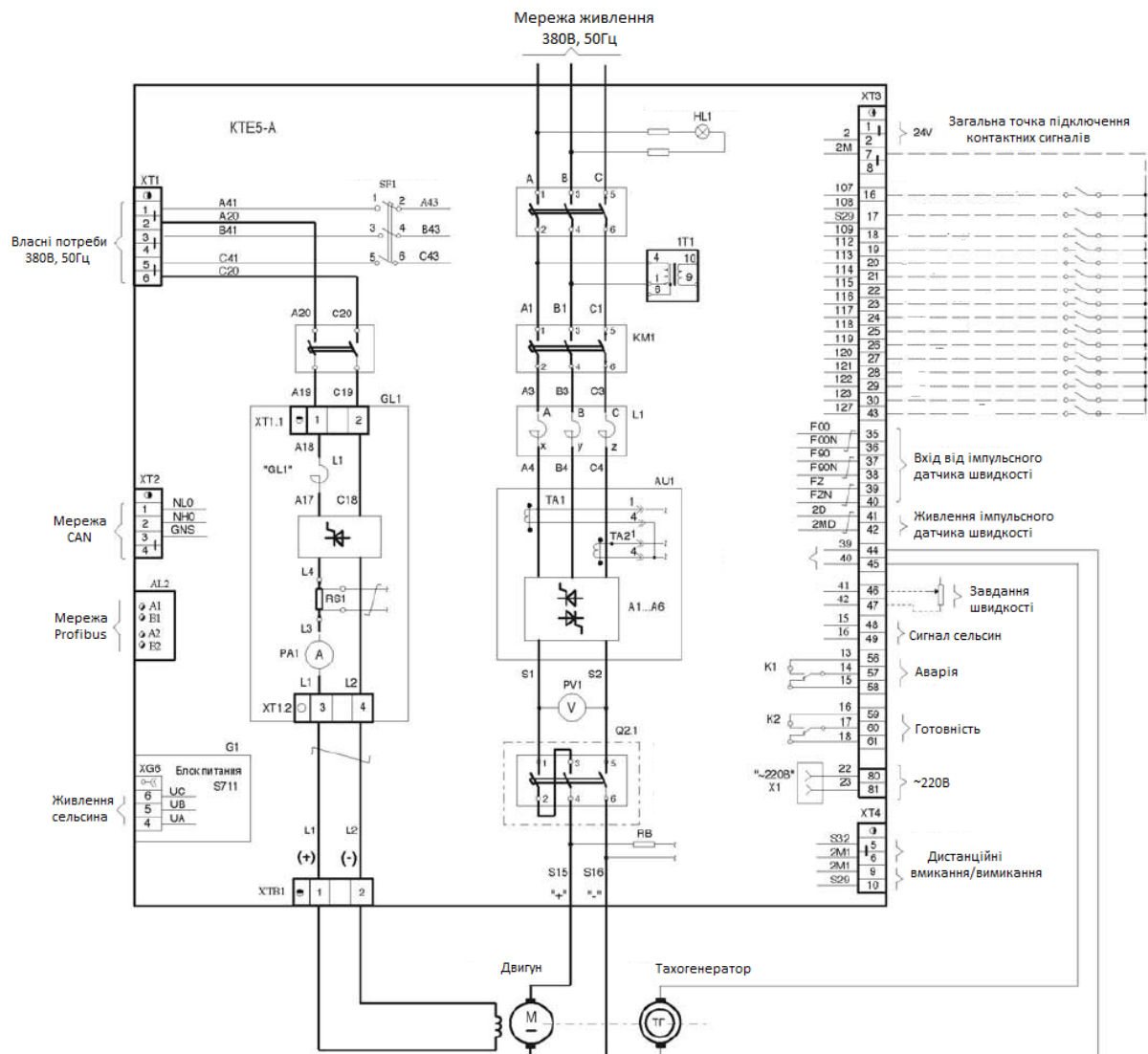
$$I_{dH} = 1000A > 950A.$$

Таблиця 2.5 - Параметри КТЕ5-1000/440 4421 УХЛ4 [5]

Тип ЕКТ	Тип транс- форматора	S_{mp} , кВА	$U_{2л}$, В	U_{dH} , В	I_{dH} , А	$\Delta P_{кз}$, Вт	$\Delta u_{кз}$, %
КТЕ5-1000/440 4421 УХЛ4	ТСЗП-630	580	410	460	1000	6000	5,9

Для живлення електропривода застосований комплектний тиристорний електропривод КТЕ5-1000/440-4421, до складу якого входить: трансформатор ТСЗП-630: $U_1=6\text{кВ}$; $U_d=460\text{В}$; $I_d=1000\text{А}$.

На рисунку 2.3 наведена схема електрична принципова підключення КТЕ5-1000/440 до мережі 380В.



2.2.1 Вибір реактора

Індуктивність згладжувального реактора, включеного послідовно з якорем двигуна, вибирається з умови виконання двох вимог.

1) забезпечення безперервності струму якоря двигуна в діапазоні навантажень і частот обертання двигуна;

2) обмеження амплітуди змінного встановлюваного струму двигуна.

Безперервність струму якоря повинна забезпечуватися в діапазоні навантажень від $I_{\min}$ до I_n , і зміна кута регулювання від $\alpha_{\min}$ до $\alpha=90^\circ$. Для цього необхідно, щоб амплітуда змінної складової випрямленого струму була менше $I_{\min}$.

Виходячи з цього попередньо, обираємо реактор типу ДСА-555 ($I_n = 1000\text{А}$, $L_{\text{др}} = 0,5\text{ мГн}$, $R_{\text{др}} = 2,9\text{ мОм}$). Для остаточного вибору реактору необхідно виконати послідовність розрахунку для наступних умов роботи КТЕ5-1000/440-4421.

2.2.1.1 Зменшення зони переривчастих струмів

Для отримання гранично-безперервного режиму при заданому куті регулювання у коло випрямленого струму необхідно включати індуктивність, значення якої:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{др}} &= \frac{E_{d0}}{\omega_1 \cdot I_{\text{др}}} \left[1 - \frac{\pi}{m} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{m} \right) \right] \cdot \sin \alpha_m - L_{\text{я}} - 2L_{\text{тр}} = \\
 &= \frac{509}{314 \cdot 0,1 \cdot 161} \cdot \left[1 - \frac{3,14}{6} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{6} \right) \right] \cdot \sin 90^\circ - \\
 &- 0,27 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,102 \cdot 10^{-3} = 0,055 \cdot 0,094 \cdot 1 - 0,474 \cdot 10^{-3} = 4,68\text{ мГн},
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

де $E_{d0} = \frac{m}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2л} \cdot \sin \frac{\pi}{m}$ - максимальна ЕРС тиристорного перетворювача, В;
 $m=6$ - пульсність мостової схеми ТП, прийнятої в КТЕ;
 $I_{дгр} = 0,1 \cdot I_H$ - значення гранично-безперервного струму, А;
 $\alpha_m = 90^\circ$ - максимальний кут регулювання, відповідний мінімальній швидкості обертання двигуна.

$$E_{d0} = \frac{m}{\pi} \sqrt{2} \cdot U_{2л} \cdot \sin \frac{\pi}{m} = \frac{6}{3,14} \cdot \sqrt{2} \cdot 410 \cdot \sin \frac{\pi}{6} = 554 \cdot 0,5 = 509 \text{ В.} \quad (2.38)$$

2.2.1.2 Згладжування пульсацій випрямленого струму

Необхідне значення індуктивності згладжувачого дроселя, використаного для зменшення пульсацій випрямленого струму якоря:

$$L_{др} = \frac{e_1 \cdot E_{d0}}{K_i \cdot \omega_1 \cdot I_H \cdot m} - L_{я} - 2L_{тр} = \frac{0,342 \cdot 509}{0,05 \cdot 314 \cdot 1000 \cdot 6} - 0,474 \cdot 10^{-3} = 5,77 \text{ мГн,} \quad (2.39)$$

де $K_i = \frac{\Delta I}{I_H} = 0,05$ - допустимий коефіцієнт пульсацій струму якоря;

e_1 - відносна величина ефективного значення першої гармоніки випрямленої напруги:

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{2 \cdot \cos \alpha_m}{m^2} \sqrt{1 + m^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_m} = \\ &= \frac{2}{m^2 - 1} \sqrt{\cos^2 \alpha_m + m^2 \cdot \sin^2 \alpha_m} = 0,057 \cdot 6 = 0,342 \text{ В,} \end{aligned} \quad (2.40)$$

2.2.1.3 Обмеження струму через тиристори при короткому замиканні на стороні випрямленої напруги

При короткому замиканні на стороні постійного струму реактор повинен обмежити швидкість наростання аварійного струму, щоб він не перевищив небезпечного для тиристорів значення до спрацьовування захисних пристроїв. Індуктивність реактора розраховується по формулі:

$$L_{др} = \frac{2,1 \cdot U_{2л}}{\omega_1 \cdot (I_{доп} - I_{поч})} - 2 \cdot L_{тр} = \frac{883}{25277} - 2 \cdot 0,102 \cdot 10^{-3} = 16,83 \text{ мГн}, \quad (2.41)$$

де $I_{доп} = 1,5 \cdot I_H$ - максимально-допустимий протягом одного на півперіоду струм тиристора, А;

$I_{поч} = I_H$ - струм навантаження у момент короткого замикання, А.

2.2.1.4 Обмеження струму при перекиданні інвертора

У випадку однофазного перекидання в мостовій схемі якір двигуна закортиться через тиристори. Індуктивність реактора, яка необхідна для обмеження аварійного струму на час спрацьовування захисту:

$$L_{др} = \frac{0,01 \cdot R_{я}}{\ln \frac{E_{поч} / R_{я} - I_{поч}}{E_{поч} / R_{я} - I_{доп}}} - L_{я} = \frac{0,00186}{0,103} = 18 \text{ мГн}, \quad (2.42)$$

де $R_{я}$ - опір якірного кола, Ом;

$E_{поч} = E_H = C\Phi_H \cdot \omega_H$ - ЕРС двигуна у момент початку перекидання інвертора, В.

Необхідність встановлення реактора ДСА-555 підтверджена розрахунками за формулами (2.37-2.42).

2.2.2 Вибір шунта

Шунт для кола якоря обирається з умови :

$$I_{шн} \geq I_n$$

Обираємо шунт зі струмом $I_{ш} = 1500 \text{ А}$.

2.3 Розрахунок параметрів та вибір елементів системи керування електроприводом механізму натискних гвинтів на базі САК ТП-Д

Опір, обумовлений перекриттям вентилів:

$$R_{пр} = \frac{m}{2\pi} \cdot x_{тр} = \frac{6}{2 \cdot 3,14} \cdot 0,017 = 0,016 \text{ Ом.} \quad (2.43)$$

Активний опір шин і кабелів:

$$R_K = 0,05 \cdot R_{я} = 0,05 \cdot 0,186 = 0,0093 \text{ Ом.} \quad (2.44)$$

Активний опір головного кола електроприводу:

$$R_E = (R_{я} + 2 \cdot R_{тр} + R_{др} + R_K) \cdot \beta_m + R_{пр} = 0,341 \text{ Ом,} \quad (2.45)$$

де $\beta_m = 1,24$ – коефіцієнт, що враховує зміну опорів при нагріві;

$R_{др}$ - активний опір дроселя, Ом.

Індуктивність головного кола електроприводу:

$$L_E = L_{я} + 2 \cdot L_{тр} + L_{др} = 1,974 \text{ мГн.} \quad (2.46)$$

Електромагнітна постійна часу головного кола електроприводу:

$$T_E = \frac{L_E}{R_E} = \frac{1,974 \cdot 10^{-3}}{0,341} = 0,00579 \text{ с.} \quad (2.47)$$

Електромагнітна постійна часу двигуна:

$$T_J = \frac{L_J}{R_J} = \frac{0,27 \cdot 10^{-3}}{0,186} = 0,00145 \text{ с.} \quad (2.48)$$

Електромеханічна постійна часу:

$$T_M = \frac{J_{\text{дв}} FI \cdot R_E}{(C\Phi_H)^2} = \frac{1,023}{2,33^2} = 0,188 \text{ с,} \quad (2.49)$$

де $J_{\text{дв}}$ - момент інерції двигуна, кгм^2 ;

FI - коефіцієнт інерції.

$$C\Phi_H = \frac{U_H - I_H \cdot R_J \cdot \beta_m}{\omega_H} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{U_H - I_H \cdot R_J \cdot \beta_m}{n_H} = 2,33. \quad (2.50)$$

Коефіцієнт посилення тиристорного перетворювача при косинусоїдальній опорній напрузі, прийнятій в КТЕ:

$$K_{\text{пр}} = \frac{E_{\text{д0}}}{u_{y \max}} = \frac{509}{10} = 50,9. \quad (2.51)$$

де: $u_{y \max} = 10 \text{ В}$ - максимальна величина пилкоподібної напруги в СІФУ.

При розрахунку системи регулювання датчики струму якоря і швидкості приймаються безінерційними.

Коефіцієнт передачі кола негативного зворотного зв'язку по струму:

$$K_c = \frac{u_{\text{зт max}}}{I_{\max}} = \frac{u_{y \max}}{I_{\max}} = \frac{10}{1000} = 0,001. \quad (2.52)$$

Коефіцієнт передачі кола негативного зворотного зв'язку по швидкості:

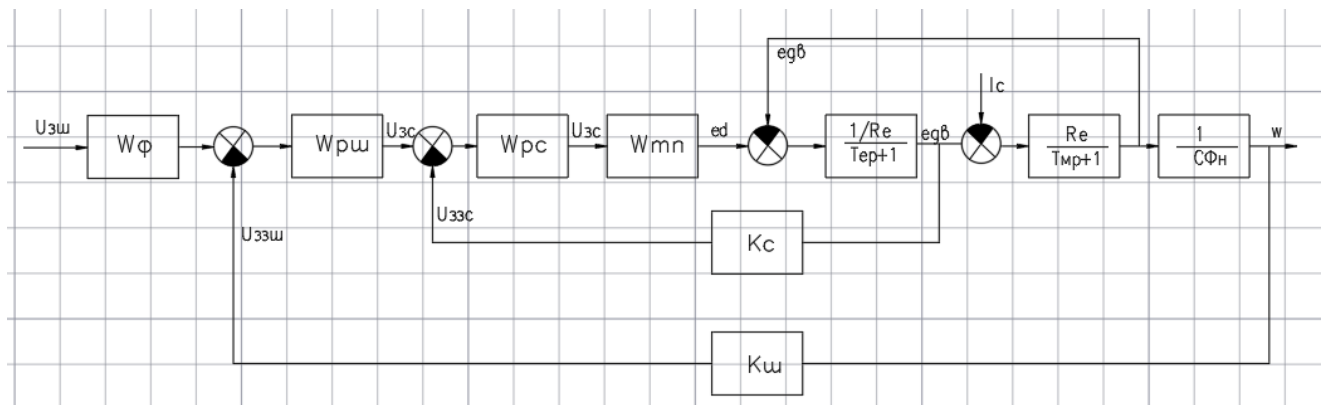
$$K_c = \frac{u_{zc \max}}{\omega_{\max}} = \frac{u_{y \max}}{\omega_H} = \frac{10}{78,5} = 0,127. \quad (2.53)$$

Коефіцієнт передачі кола негативного зворотного зв'язку по напрузі:

$$K_H = \frac{u_{zc \max}}{e_{\max}} = \frac{u_{y \max}}{e_H} = \frac{10}{190} = 0,053. \quad (2.54)$$

2.3.1 Синтез структурної схеми електроприводу

Класична структурна схема системи автоматичного регулювання (САР) швидкості показана на рисунку 2.4.



W_ϕ – передатна функція фільтру; $W_{pш}$ – передатна функція регулятора швидкості; W_c – передатна функція регулятора струму; $W_{т.п.}$ – передатна функція тиристорного перетворювача; $K_{ш}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості; K_c – коефіцієнт зворотного зв'язку по струму

Рисунок 2.4 - Структурна схема системи однозонного регулювання швидкості двигуна з підлеглим контуром регулювання струму якоря.

2.3.2 Оптимізація контуру регулювання струму якоря

Контур регулювання струму з ПІ – регулятором

Загальна структурна схема контуру струму з ПІ - регулятором зображена на рисунку 2.5.

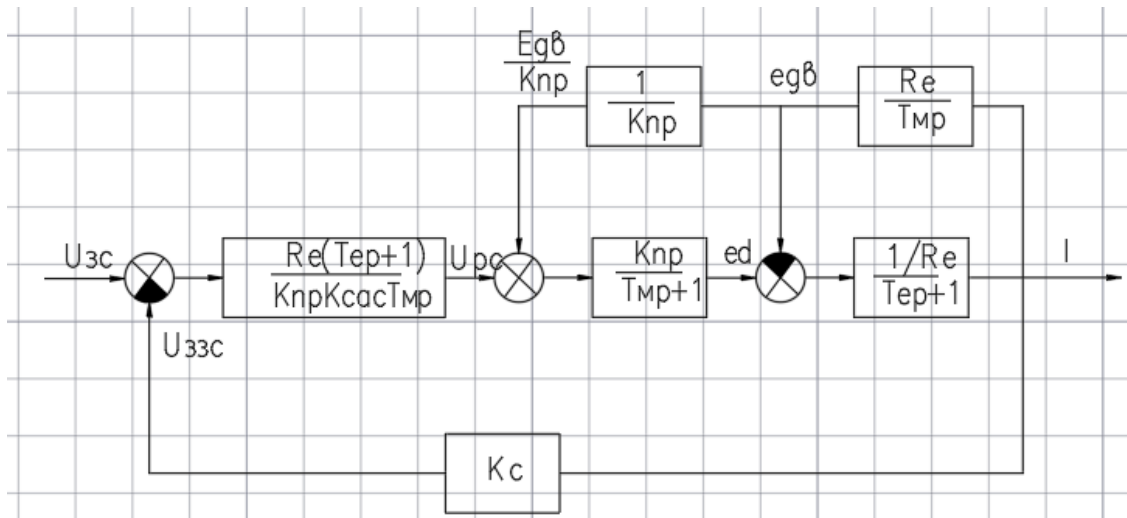


Рисунок 2.5 - Структурна схема контуру струму з ПІ – регулятором

При настройці контуру струму на модульний оптимум передавальна функція регулятора:

$$W_{pc}(p) = \frac{K_{pc} \cdot (T_{ит}p + 1)}{T_{ит}p} = \frac{R_E \cdot T_E}{K_{пр} \cdot K_c \cdot T_T} \cdot \frac{T_{EP} + 1}{T_{EP}} = \frac{0,341 \cdot 0,00579}{27,7 \cdot 0,026 \cdot 0,016} \cdot \frac{0,00579p + 1}{0,00579p} = 0,171 \cdot \frac{0,00579p + 1}{0,00579p}, \quad (2.55)$$

де $T_c = a_c T_\mu$ - постійна часу контуру струму, с;

T_μ - постійна, що не компенсується, часу контуру струму, с.

Наявність внутрішнього зворотного зв'язку по ЕРС двигуна викликає статизм при регулюванні струму. Стале значення струму буде менше заданого у $1 + T_T/T_M$ раз. Введення позитивного зворотного зв'язку за ЕРС

двигуна усуває сталу помилку по струму, зменшує некомпенсовану постійну часу.

$$T_{\mu}' = \frac{T_{\mu}}{1 + T_{\mu} / T_M} = \frac{0,008}{1 + 0,008 / 0,188} = 0,0077 \text{ с.} \quad (2.56)$$

Це дозволяє збільшити коефіцієнт підсилення регулятора струму до тих пір, поки перерегулювання не досягне 4,3% ($a_c = 2$). В цьому випадку передавальна функція регулятора струму:

$$\begin{aligned} W_{pc}(p) &= \frac{K_{pc} \cdot (T_{ит}p + 1)}{T_{ит}p} = \frac{R_E \cdot T_E (1 + T_{\mu} / T_M)^2}{K_{пр} \cdot K_c \cdot a_c \cdot T_{\mu}} \cdot \frac{T_E p + 1}{T_E p} = \\ &= \frac{0,341 \cdot 0,00579 \cdot (1 + 0,008 / 0,188)^2}{27,7 \cdot 0,026 \cdot 0,016 \cdot 2} \cdot \frac{0,00579p + 1}{0,00579p} = \\ &= 0,093 \cdot \frac{0,00579p + 1}{0,00579p}. \end{aligned} \quad (2.57)$$

Передавальна функція замкненого контуру регулювання струму:

$$\begin{aligned} W_c^3(p) &= \frac{1 / K_c}{a_c \cdot T_{\mu}' \cdot p(T_{\mu}'p + 1) + 1} = \frac{38,46}{0,0154p \cdot (0,0077p + 1) + 1} = \\ &= \frac{38,46}{0,000119p^2 + 0,0154p + 1}. \end{aligned} \quad (2.58)$$

2.3.3 Оптимізація контуру регулювання швидкості

Величина статичного падіння швидкості у однократно-інтегруючій системі:

$$\Delta \vartheta_C = \frac{a_C \cdot T_l}{T_M} \cdot \frac{R_E \cdot I_H}{C_{ФН} \cdot \omega_H} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,01685}{0,188} \cdot \frac{0,341 \cdot 161}{2,33 \cdot 78,5} \cdot 100 = 5,37 \%, \quad (2.59)$$

де $T_1 = a'_T \cdot T'_\mu + T_{Я} = 2 \cdot 0,0077 + 0,00145 = 0,01685$ с - при використанні зворотного зв'язку по ЕРС двигуна.

Загальна структурна схема контуру регулювання ЕРС з П-регулятором зображена на рисунку 2.6.

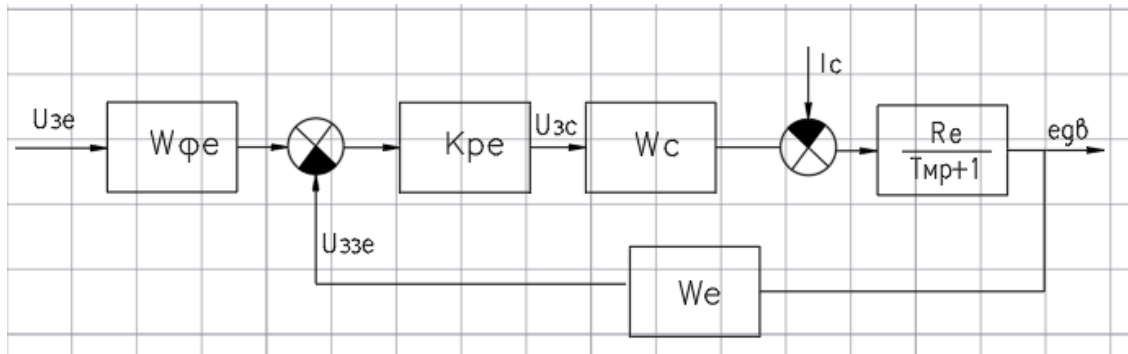


Рисунок 2.6 - Структурна схема контуру регулювання ЕРС двигуна
Коефіцієнт підсилення регулятора ЕРС при настройці контуру на модульний оптимум:

$$K_{PE} = \frac{K_c \cdot T_M}{a_e \cdot (a'_c \cdot T'_\mu + T_{Я}) \cdot R_E \cdot K_H} = \frac{0,026 \cdot 0,188}{2 \cdot (2 \cdot 0,0077 + 0,00145) \cdot 0,341 \cdot 0,053} = 8,033. \quad (2.60)$$

Передавальна функція фільтру на вході системи регулювання:

$$W_{FE}(p) = \frac{1}{T_{Я}p + 1} = \frac{1}{0,00145p + 1}. \quad (2.61)$$

Передавальна функція кола зворотного зв'язку по ЕРС:

$$W_C(p) = \frac{K_H}{T_{Я}p + 1} = \frac{0,053}{0,00145p + 1}. \quad (2.62)$$

$$K_H = K_{ДВ} \cdot K_{ДДВ} \cdot \frac{R_{3E}}{R_{EPC}}, \quad (2.65)$$

$$K_{ДДВ} = \frac{r_D}{R_D}, \quad (2.66)$$

$$K_{ДЕ} = \frac{R_{ДЕ}}{R_H}. \quad (2.67)$$

Прийнявши, $R_{EPC} = R_{3E} = R_D = 50 \div 100$ кОм, $K_{ДЕ} = 0,5$, за рівнянням (2.65) визначимо $R_{ДЕ}$:

$$R_{ДЕ} = K_{ДЕ} \cdot R_H = 0,5 \cdot 50 = 25 \text{ кОм},$$

$$r_D = \frac{K_H \cdot R_D}{K_{ДЕ}} = \frac{0,053 \cdot 50}{0,5} = 5,3 \text{ кОм}.$$

Опір кола струмової компенсації:

$$R_{СК} = \frac{K_{Ш}}{K_H \cdot R_E} \cdot \frac{R_{3E} \cdot R_{ДЕ}}{R_{ЭРС}} = \frac{K_{Ш} \cdot R_{ДЕ}}{K_H \cdot R_E} = \frac{0,0003 \cdot 25 \cdot 10^3}{0,053 \cdot 0,341} = 415 \text{ Ом}, \quad (2.68)$$

$$\text{де } K_{Ш} = \frac{U_{ШН}}{I_{ШН}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{250} = 0,0003 \quad - \text{ передавальний коефіцієнт шунта}$$

в колі струму якоря.

Розрахункові співвідношення для ПІІ - регулятора і датчика струму (рисунки 2.8):

$$\frac{R_{33C}}{R_{3C}} = K_{PC}, \quad (2.69)$$

$$K_C = K_{Ш} \cdot K_{ДС} \cdot \frac{R_{3C}}{R_C}, \quad (2.70)$$

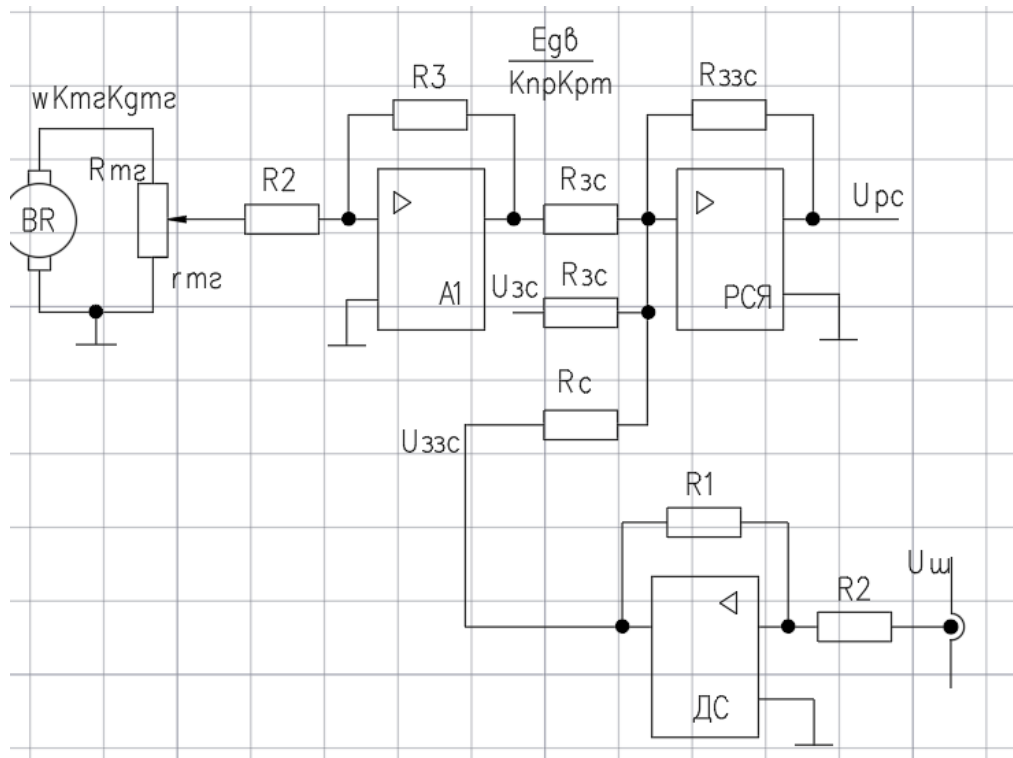


Рисунок 2.8 - Принципова схема ПІ - регулятора струму

$$K_{ДС} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (2.71)$$

$$K_{Ш} = \frac{U_{ШН}}{I_{ШН}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{250} = 0,0003, \quad (2.72)$$

$$R_{33C} \cdot C_{33C} = T_E. \quad (2.73)$$

Прийнявши $R_{3C} = R_C = R_2 = 50 \div 100 \text{ кОм}$, по рівнянню (2.74) розраховуємо, R_{33C} , по (2.73) - R_1 -, по (69) - C_{33C} .

$$R_{33C} = K_{PC} \cdot R_{3C} = \frac{R_E \cdot T_E \cdot R_{3C}}{2 \cdot T_\mu \cdot K_{ПР} \cdot K_C} = \frac{0,341 \cdot 0,00579 \cdot 50 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,008 \cdot 27,7 \cdot 0,026} = 8,57 \text{ кОм}.$$

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot K_C}{K_{III}} = 4333 \text{ кОм.}$$

$$C_{33C} = \frac{T_E}{R_{33C}} = \frac{0,00579}{8,57 \cdot 10^3} = 0,676 \text{ мкФ.}$$

Опір зворотного зв'язку підсилювача А1:

$$R_3 = \frac{R_2}{K_{III}} \cdot \frac{C\Phi_H}{K_C} = \frac{50 \cdot 10^3}{27,7} \cdot \frac{2,33}{0,127} = 33,12 \text{ кОм.}$$

2.3.5 Розрахунок параметрів структурної схеми системи однозонного регулювання швидкості у відносних одиницях

$$w_\Phi(p) = \frac{1}{T_{Яp+1}} = \frac{1}{0,00145p+1} \quad (2.75)$$

$$w_{PIII}(p) = \frac{T_M}{a_E \cdot (T_C + T_{Я}) \cdot \rho_{\Xi}} = \frac{0,188}{2 \cdot (0,0154 + 0,00145) \cdot 0,125} = 34,63 \quad (2.76)$$

$$w_{PC}(p) = \frac{\rho_{\Xi} \cdot (T_E p + 1)}{a_C \cdot T_{\mu} p} = \frac{0,125 \cdot (0,00579p + 1)}{2 \cdot 0,008p} = \frac{0,000724p + 0,125}{0,016p} \quad (2.77)$$

$$w_{IIP}(p) = \frac{1}{T_{\mu} p + 1} = \frac{1}{0,008p + 1} \quad (2.78)$$

$$\frac{1/\rho_{\Xi}}{T_E p + 1} = \frac{1/0,125}{0,00579p + 1} = \frac{8}{0,00579p + 1} \quad (2.79)$$

$$\frac{\rho_{\Sigma}}{T_{MP}} = \frac{0,125}{0,188p} = \frac{0,665}{p} \quad (2.80)$$

$$w_C^3(p) = \frac{1}{a_C \cdot T'_{\mu} p \cdot (T'_{\mu} p + 1) + 1} = \frac{1}{0,0001185p^2 + 0,0154p + 1} \quad (2.81)$$

2.3.6 Складання загальної моделі системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050

Запропонована модель відноситься до системи підлеглого керування. У даній системі контур струму залежить від контуру швидкості, а контур швидкості у свою чергу залежить від контуру положення. Таким чином для контуру положення завданням є контур швидкості, а для контуру швидкості – контур струму.

Модель системи керування електроприводом натискного пристрою виконана у програмному продукті MATLAB (у підпрограмі SIMULINK). При моделюванні були використані рекомендації авторів робіт [11-14].

Для того щоб побачити, що являє собою сигнал, який буде на виході нашої моделі, і як на нього впливають значення усіх внутрішніх параметрів ми використовуємо блок графічного зображення 16 (рисунок 2.9).

Структурна схема моделі контуру положення наведена на рисунку 2.9.

Структурна схема моделі контуру швидкості зображена на рисунку 2.10.

Структурна схема моделі контуру струму зображена на рисунку 2.11.

Графіки перехідних процесів електропривода натискного пристрою при відпрацюванні двох різних пересувань зображені на рисунку 2.12.

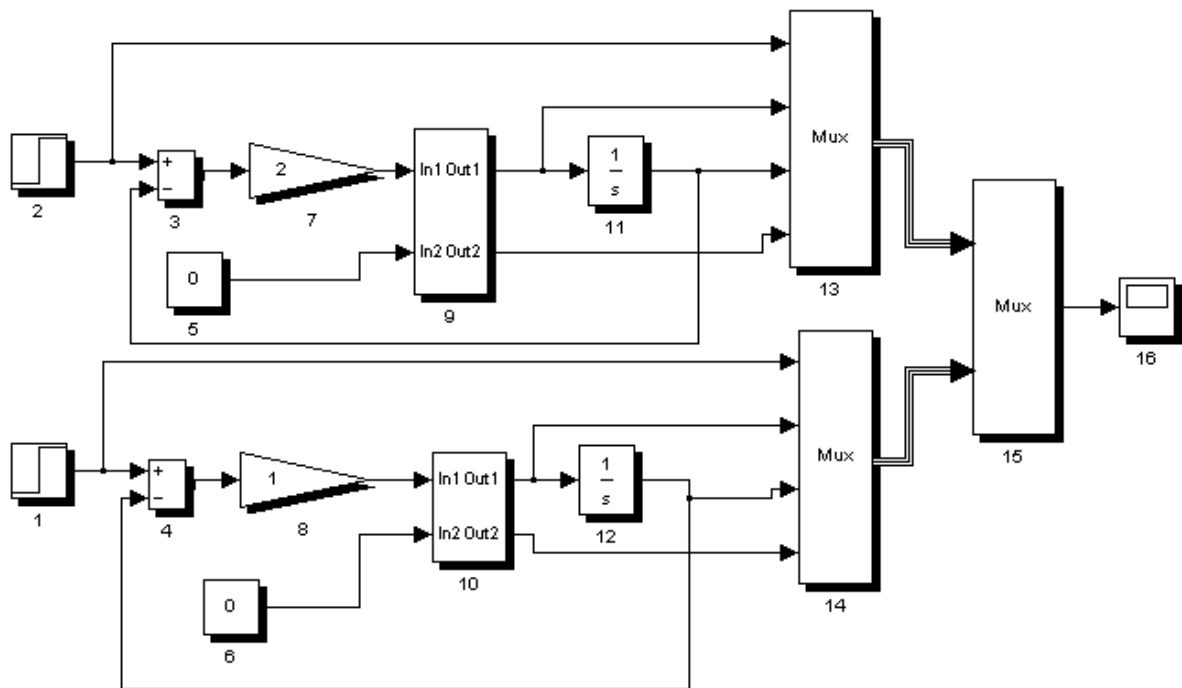
До складу структурної схеми моделі контуру положення входять: блоки підсистеми регулятора швидкості (рис. 2.9 блоки 9, 10); блоки завдання вхідної величини (рис. 2.9 блоки 1, 2); блоки складання та віднімання

(рис. 2.9 блоки 3, 4); блоки завдання для регулятора швидкості (рис. 2.9 блоки 5, 6); графічний блок зображення перехідних процесів (рис. 2.9 блок 16) і т.д.

До складу структурної схеми моделі контуру швидкості входять: блок підсилення регулятора швидкості (рис. 2.10 блок 19), який розрахований за формулою 2.71); інтегруючий блок (рис. 2.10 блок 25), розрахований за формулою 2.75); блок підсистеми контуру струму (рис. 2.10 блок 21.) і т.д.

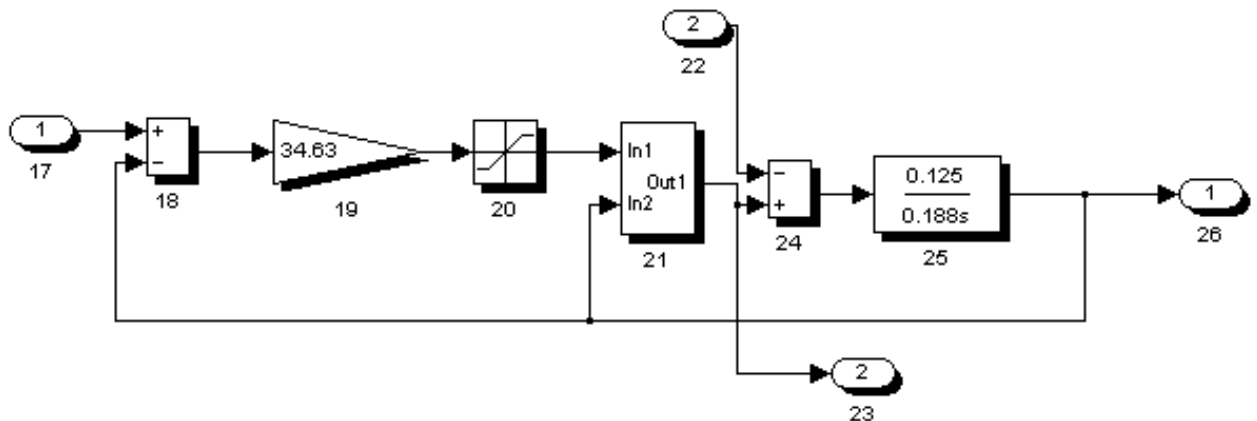
До складу структурної схеми моделі контуру струму входять: блок передатної функції регулятора струму (рис. 2.11 блок 29), який розрахований за формулою 2.72; блок передатної функції тиристорного перетворювача (рис. 2.11 блок 30), який розрахований за формулою 2.73 і т.д.

Графіки перехідних процесів електропривода натискного пристрою при відпрацюванні двох різних пересувань зображені на рис. 2.12. Перше пересування відповідає коефіцієнту підсилення $k_{rp} = 1$ (рис. 2.8. блок 8). Друге пересування відповідає коефіцієнту підсилення $k_{rp} = 2$ (рис. 2.9. блок 7). З графіків перехідних процесів бачимо, що при $k_{rp} = 1$, коли робочий ролик досягає визначеного положення, то двигун, який керує пересуванням ролика зупиняється $M=0$. Така ж сама ситуація спостерігається при відпрацюванні пересування з коефіцієнтом підсилення $k_{rp} = 2$. У останньому випадку перехідний процес буде закінчуватися значно швидше за відпрацювання з $k_{rp} = 1$. Струм у даній моделі обмежується на рівні $2,3I_n$. За допомогою блоку 2 та 3 на рис. 2.9 у структурній схемі моделі контуру положення здійснюється пуск і реверс двигуна. Із графіку залежності кутового шляху від часу (рис. 2.13 графіки 3,4) бачимо, що у визначений час $t = 4$ с потрібне положення відпрацьовано і двигун практично зупиняється. Після чого процес розгону може відбуватися у зворотному напрямку.



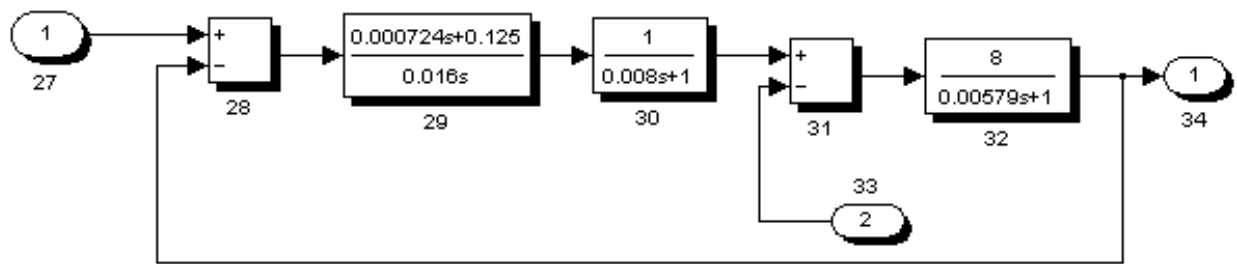
- 1, 2 - блок завдання вхідної величини; 3, 4 – блоки складання та віднімання;
 5, 6 – блок завдання для регулятора швидкості;
 7, 8 – блок завдання коефіцієнта підсилення регулятора положення;
 9, 10 – блок підсистеми регулятора швидкості; 11, 12 – блок інтегратора;
 13, 14, 15 – блок складання декількох сигналів “MUX”;
 16 – графічний блок зображення перехідних процесів

Рисунок 2.9 – Структурна схема моделі контуру положення



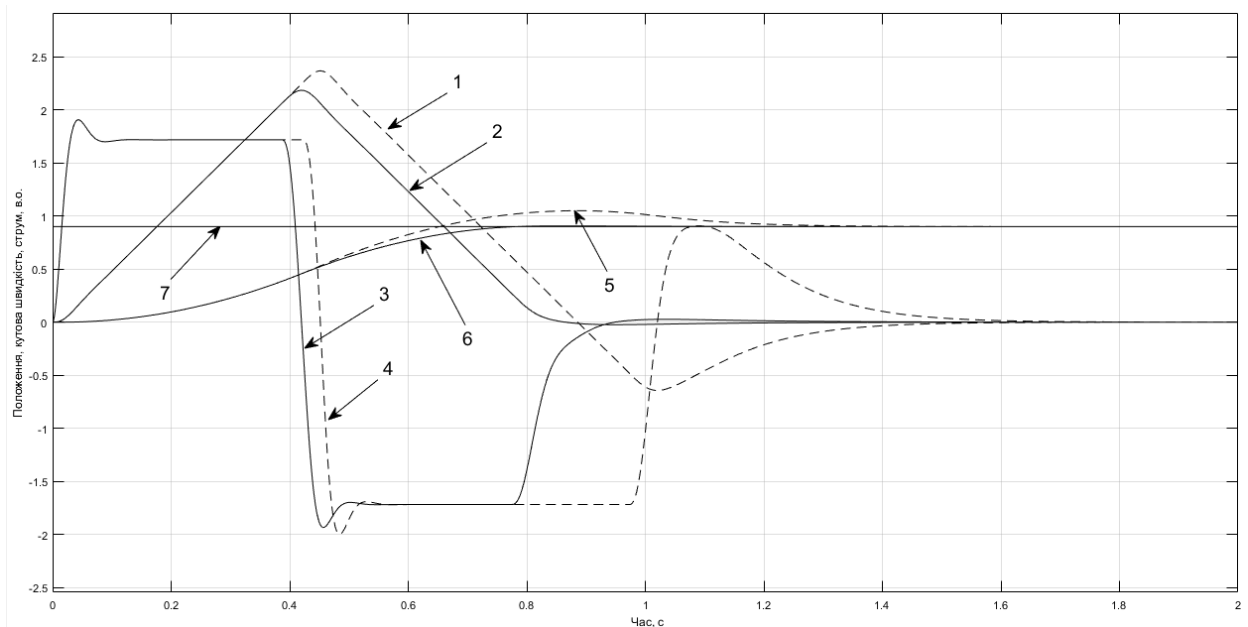
- 17, 22 – вхідні блоки; 23, 26 – вихідні блоки; 18, 24 – блоки складання та віднімання; 20 – блок обмеження струму (для підсистеми контуру струму у блоці 21); 21 – блок підсистеми контуру струму; 25 – інтегруючий блок

Рисунок 2.10 – Структурна схема моделі контуру швидкості



27, 33 – вхідні блоки; 34 – вихідний блок; 28, 31 – блоки складання та віднімання; 29 – блок передатної функції регулятора струму; 30 – блок передатної функції тиристорного перетворювача

Рисунок 2.11 – Структурна схема моделі контуру струму



1,2 – графіки залежності швидкості від часу при $k_{рп} = 1$ та $k_{рп} = 2$;
 3,4 – графіки залежності струму від часу при $k_{рп} = 1$ та $k_{рп} = 2$;
 5,6 – графіки залежності положення від часу при $k_{рп} = 1$ та $k_{рп} = 2$;
 7 – номінальне значення завдання у відносних одиницях (в.о.)

Рисунок 2.12 – Графіки перехідних процесів електропривода натискного пристрою при відпрацюванні двох різних пересувань

Також у нашій моделі, рис.2.9 є такі блоки 13 та 14 які носять назву підсистема (Subsystem). Підсистема – це досить самостійна модель більш низького рівня, яка, у свою чергу, може містити інші підсистеми. У нас

такими підсистемами є структурна схема моделі контуру швидкості (блоки 9, 10 на рис. 2.9), які у розгорнутому вигляді зображені на рис. 2.10. У свою чергу на рис.2.10 також є своя підсистема – це структурна схема моделі контуру струму (блок 21), яка у розгорнутому вигляді зображена на рис. 2.11.

Блоки 13, 14, рис.2.9 мають назву Mux – у них відбувається об'єднання вхідних величин у один лінійний вектор. При цьому вхідні величини можуть бути як скалярними так і векторними. Розмірність результуючого вектору дорівнює сумарній кількості елементів які надходять на вхідні порти блока.

Блок 16, рис.2.9 має назву Scope – дозволяє у процесі моделювання спостерігати динаміку зміни характеристик системи. По осі ординат відкладаються значення величини яка спостерігається, по осі абсцис – значення модельного часу.

Блок-схема, рис.2.9 побудована таким чином, що на вхід блока 16 надходить векторна величина. У цьому випадку для кожного елементу вектора у вікні будується окрема крива, яка відбиває динаміку його виміру.

Об'єкт регулювання контуру положення містить крім оптимізованого контуру швидкості і датчик положення (сеньсин). Вихідний сигнал якого надходить на вхід системи регулювання (рис.2.9, блоки 1,2)

2.4. Аналіз якості перехідних процесів системи ТП-Д при використанні різної структури регуляторів положення

Досліджувана принципова схема САР положення з П-регулятором наведена на рисунку 2.13. Двигун постійного струму М отримує живлення від реверсивного тиристорного перетворювача (UZ1, UZ2), обмотка збудження двигуна на рис.2.12 не наведена. П-регулятор струму зібраний на підсилювачі РСЯ. Сигнал зворотного зв'язку за струмом надходить з шунта на датчик струму ДСЯ після чого на сумуючий вхід регулятора струму РСЯ. П-регулятор швидкості виконаний на підсилювачі РШ. Вихідна напруга РШ обмежується за допомогою стабілітронів (VD1, VD2). Для формування

сигналу зворотного зв'язку за швидкістю використовується тахогенератор BR. П-регулятор положення виконаний на підсилювачі РП. Стабілітрони VD3, VD4 служать для обмеження завдання на швидкість при відпрацюванні великих пересувань. Для формування сигналу зворотного зв'язку за положенням виконавчого органу використовується датчик положення ДП. Функціональний перетворювач може використовуватися для компенсації нелінійності об'єкта керування, що обумовлена нелінійною залежністю коефіцієнта підсилення регулятора положення від завдання на пересування.

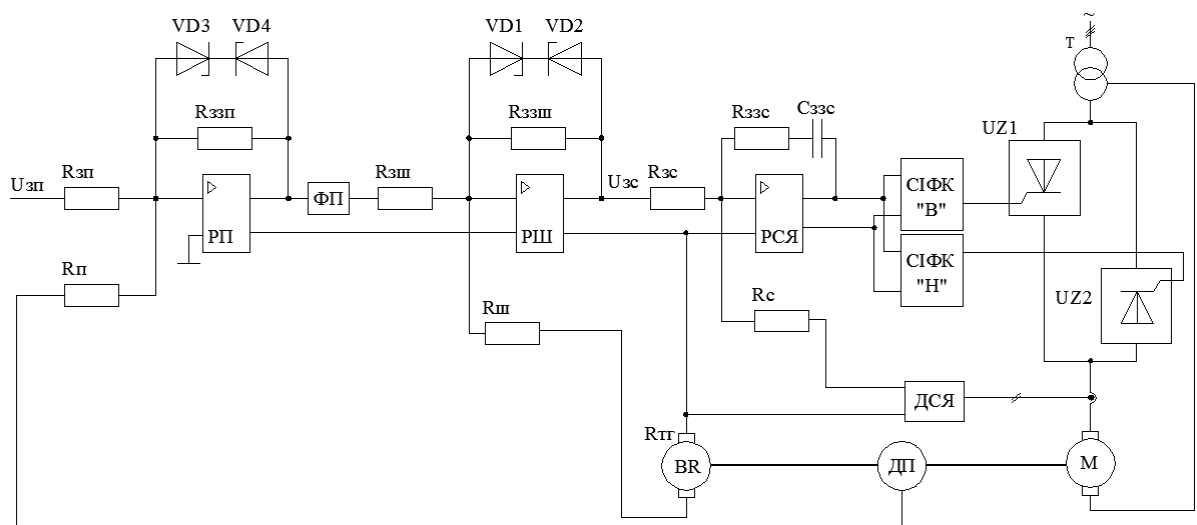
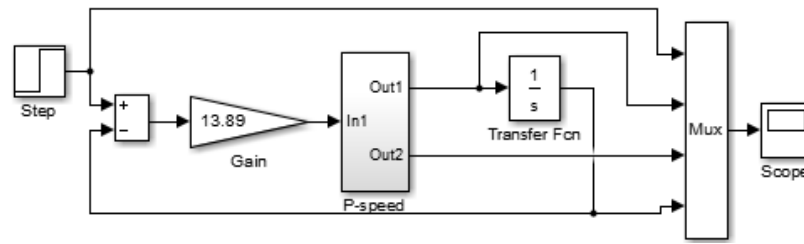


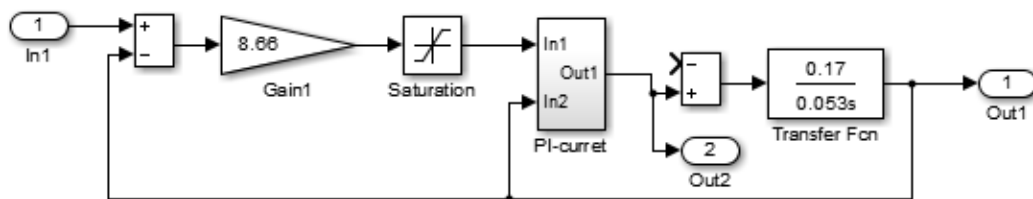
Рисунок 2.13 – Принципова схема САР положення з П-регулятором

Виконаємо дослідження перехідних процесів контуру положення у такій послідовності.

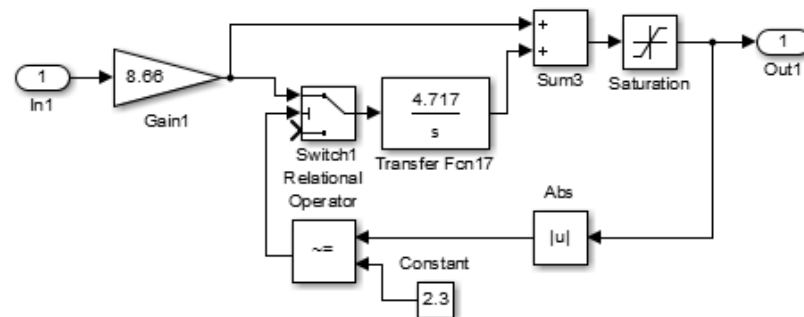
1. Дослідження перехідних процесів у контурі положення при відпрацюванні малих пересувань $\varphi_z = 0,1$ здійснюємо на моделі, що наведена на рисунку 2.14 (без обмеження завдання на струм якоря та швидкість). Для моделювання контуру швидкості створюємо дві підсистеми на основі П та ПІ-регуляторів швидкості (рис.2.14,б,в). Підсистеми на рис.2.14,б,в мають два входи: за завданням на швидкість та за навантаженням i_c та два виходи: за швидкістю та за струмом.



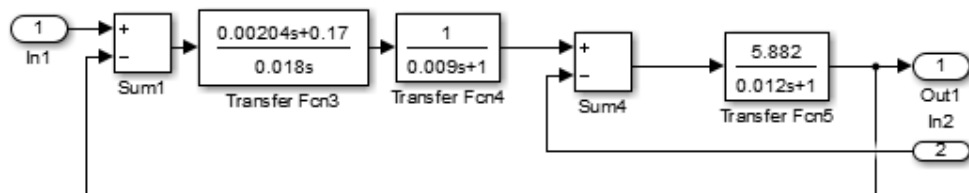
а)



б)



в)

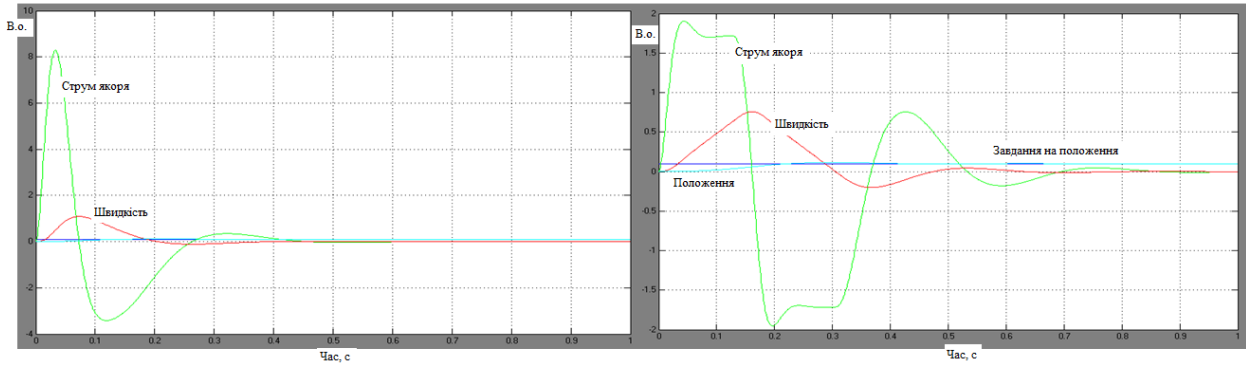


г)

а) контур положення (П-регулятор); б) контур швидкості (П-регулятор, блок Gain1); в) контур швидкості (ПІ-регулятор); г) контур струму (ПІ-регулятор)

Рисунок 2.14 – Структурна схема моделі контуру положення без обмеження завдання на струм якоря та швидкість

Для зняття обмеження на струм у підсистемі регулювання швидкості (рис.2.14,б, блок Saturation) задаємо верхнє та нижнє обмеження РШ рівне 100. Обираємо час моделювання таким чином, щоб перехідні процеси практично закінчилися. Графіки завдання на положення, положення, струму та швидкості наведені на рисунку 2.15.



а)

б)

а) з П-регулятором швидкості; б) з ПІ-регулятором швидкості

Рис.2.15 – Графіки перехідних процесів:

2. Дослідження перехідних процесів у контурі положення при відпрацюванні середнього налагоджувального пересування (вихід РШ обмежений, $i_c = 0$) здійснюємо на моделі, що наведена на рис.2.16.

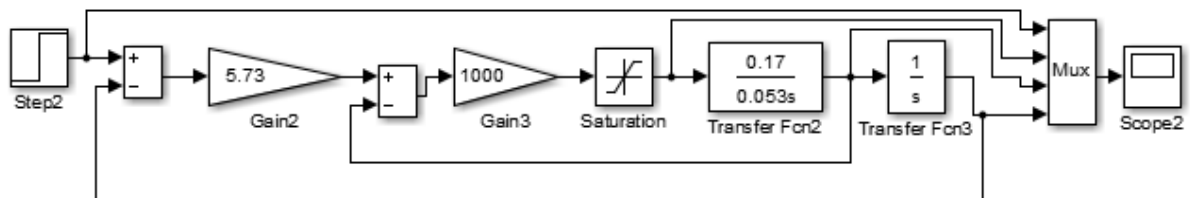


Рис.2.16 – Структурна схема моделі контуру положення з обмеженням завдання на струм якоря (контур струму якоря не володіє інерцією,

$$k_{рш} = 1000, i_c = 0)$$

Завдання на пересування $u_{зп} = \varphi_{зп} = 0,9$. Регулятор швидкості обмежує струм при пуску на рівні $i_{max} = 2,3$, статичний струм $i_c = 0$. Коефіцієнт підсилення РП $k_{рп2}$ розрахований з врахуванням наступних припущень: контур регулювання струму якоря не володіє інерцією $T_c = 0$; коефіцієнт підсилення РШ настільки великий, що навіть невелика напруга на виході РП

насичує РШ. Для реалізації прийнятих припущень у схемі моделі на рис.2.14 передавальна функція замкнутого контуру струму прийнята рівною одиниці, коефіцієнт підсилення РШ $k_{рш} = 1000$. Графіки завдання на положення, положення та швидкість наведені на рисунку 2.17.

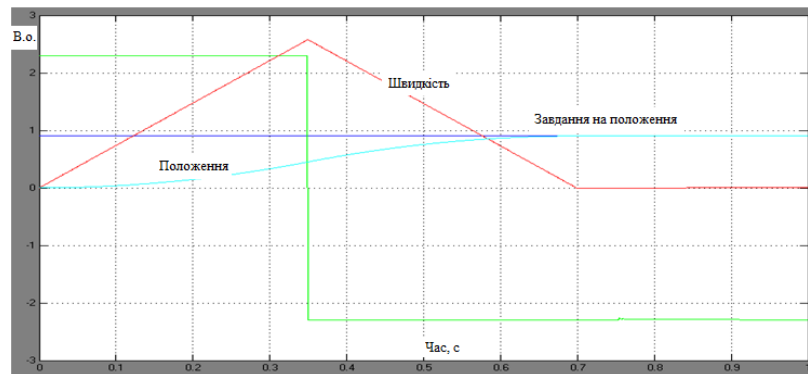


Рисунок 2.17 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість

Графік швидкості має трикутну форму а відпрацювання положення відбувається без перерегулювання.

3. Дослідження перехідних процесів у контурі положення при відпрацюванні середніх пересувань (вихід регулятора швидкості обмежений, $i_c = 0$) здійснюємо на моделі, що наведена на рисунок 2.18.

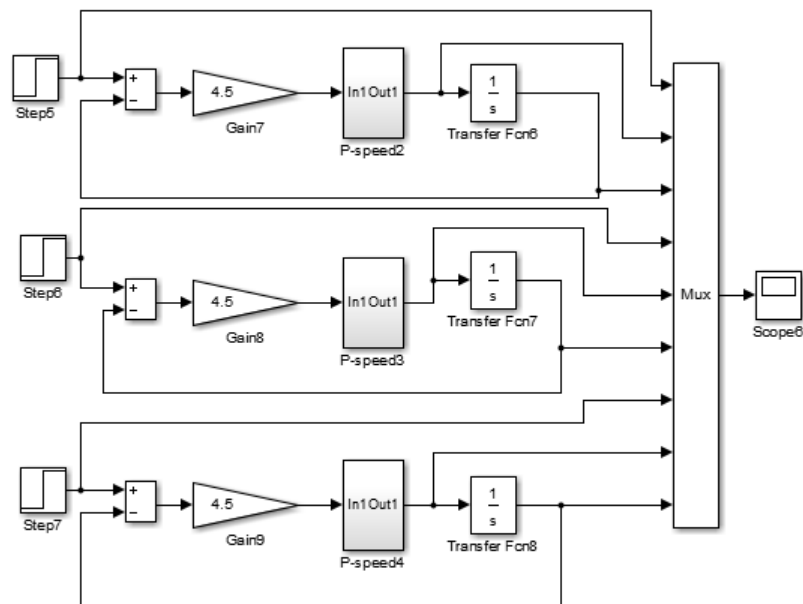


Рисунок 2.18 – Структурна схема моделі контуру положення з обмеженням завдання на струм якоря ($i_c = 0$) при відпрацюванні пересувань

$$\varphi_3 = 0,9; 0,45; 1,8$$

Завдання контуру положення передбачає відпрацювання трьох пересувань без статичного навантаження: налагоджувальне пересування $u_{\text{зп}} = \varphi_3 = 0,9$; пересування менше за налагоджувальне $u_{\text{зп}} = 0,5 \cdot \varphi_3 = 0,45$; пересування більше за налагоджувальне $u_{\text{зп}} = 2 \cdot \varphi_3 = 1,8$. Регулятор швидкості обмежує струм при пуску та гальмуванні на рівні $i_{\text{max}} = 2,3$, статичний струм $i_c = 0$. Графіки завдання на положення, положення та швидкість при відпрацюванні пересувань $\varphi_3 = 0,9; 0,45; 1,8$ наведені на рисунку 2.19.

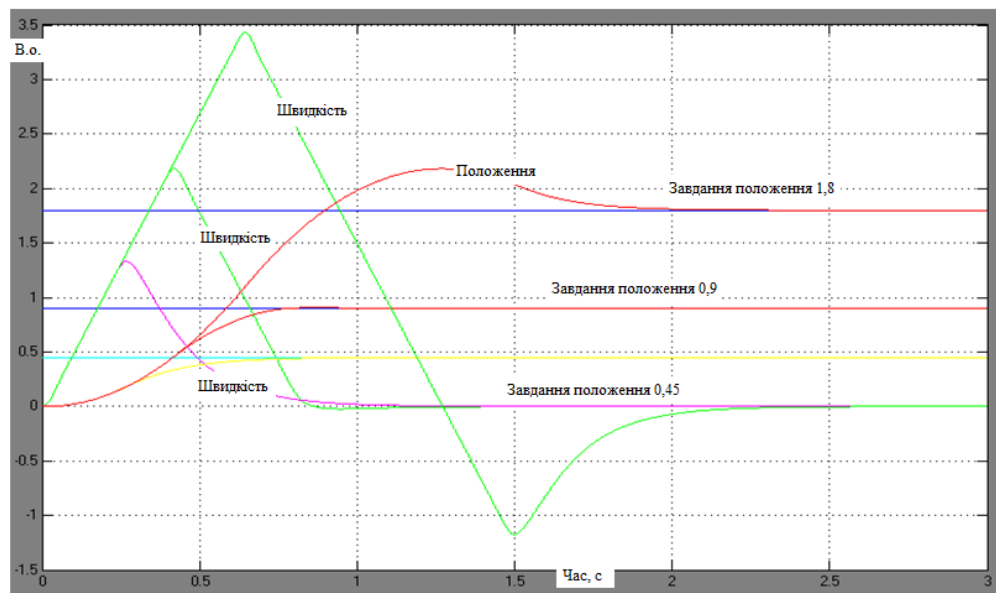


Рисунок 2.19 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість при відпрацюванні пересувань $\varphi_3 = 0,9; 0,45; 1,8$

Оскільки схема моделі містить контур швидкості з обмеженим значенням коефіцієнта підсилення регулятора швидкості та контур струму, що володіє інерцією, то результати розрахунків будуть відрізнятися від графіків (рис.2.19). Через несвоєчасний вихід регулятора швидкості із насичення позиціонування привода здійснюється з перерегулюванням за швидкістю та положенням. Для усунення даного явища коефіцієнт підсилення регулятора положення на рис.2.18 (блоки Gain 7-9) був підібраним таким чином, щоб швидкість у процесі позиціонування змінювалася за трикутним законом.

Час пуску та гальмування привода при відпрацюванні пересування меншого за налагоджувальне $\varphi_3 = 0,45$ та більшого за нього $\varphi_3 = 1,8$:

$$t_{п.г3} = \sqrt{\frac{4 \cdot \varphi_3 \cdot T_M \cdot i_{\max}}{\rho_e \cdot (i_{\max}^2 - i_c^2)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,45 \cdot 0,043 \cdot 2,3}{0,14 \cdot (2,3^2 - 0,8^2)}} = 0,58 \text{ с.} \quad (2.82)$$

$$t_{п.г4} = \sqrt{\frac{4 \cdot \varphi_3 \cdot T_M \cdot i_{\max}}{\rho_e \cdot (i_{\max}^2 - i_c^2)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,8 \cdot 0,043 \cdot 2,3}{0,14 \cdot (2,3^2 - 0,8^2)}} = 1,16 \text{ с.} \quad (2.83)$$

Результати розрахунків співпадають з графіками на рис.2.19.

4. Дослідження перехідних процесів у контурі положення при відпрацюванні середніх пересувань (вихід регулятора швидкості обмежений, $i_c = 0,8$) здійснюємо на моделі, що наведена на рисунку 2.20. Через обмежене значення коефіцієнта підсилення регулятора швидкості та наявність інерційності у контурі струму позиціонування привода здійснюється з перерегулюванням за швидкістю та положенням (рисунок 2.21). Для усунення даного явища коефіцієнт підсилення регулятора положення $k_{пн1} = 8,23$ на рис.2.18 (блок Gain 16) був підібраним таким чином, щоб швидкість у процесі позиціонування змінювалася за трикутним законом $k_{пн1y} = 6,5$ (блок Gain 18).

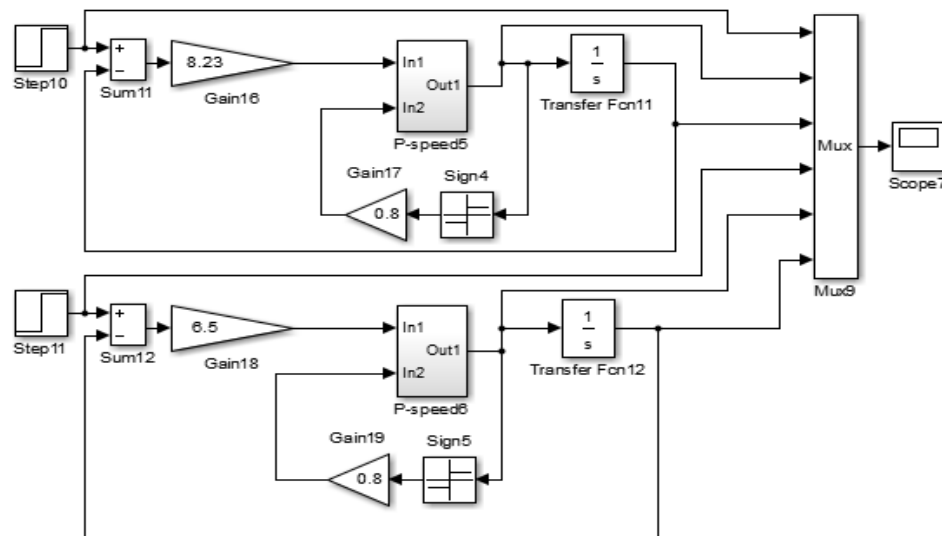


Рисунок 2.20 – Структурна схема моделі контуру положення

Відповідні графіки перехідних процесів наведені на рисунку 2.19.

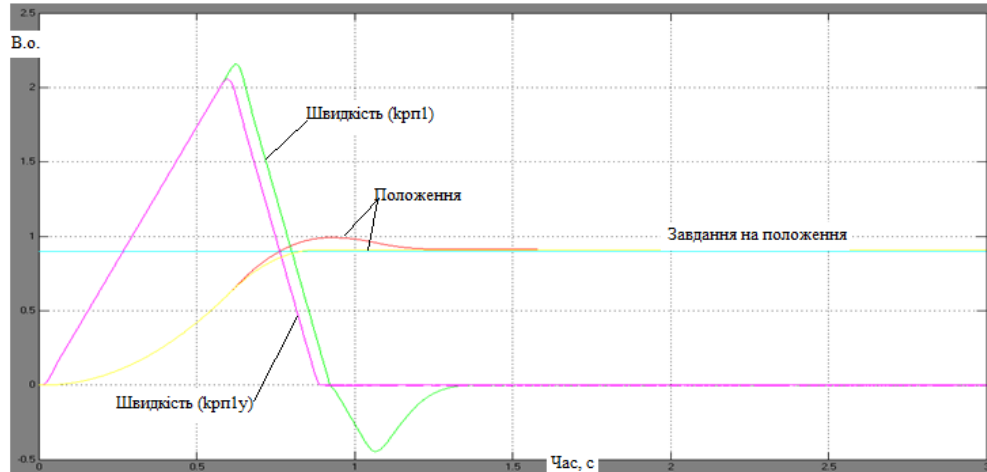


Рисунок 2.21 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість при $k_{p1} = 8,23$ та $k_{p1y} = 6,5$

На рисунку 2.22 наведена модель контуру положення з відпрацюванням трьох пересування з навантаженням $i_c = 0,8$ при уточненому значенню коефіцієнта підсилення регулятора положення $k_{p1y} = 6,5$.

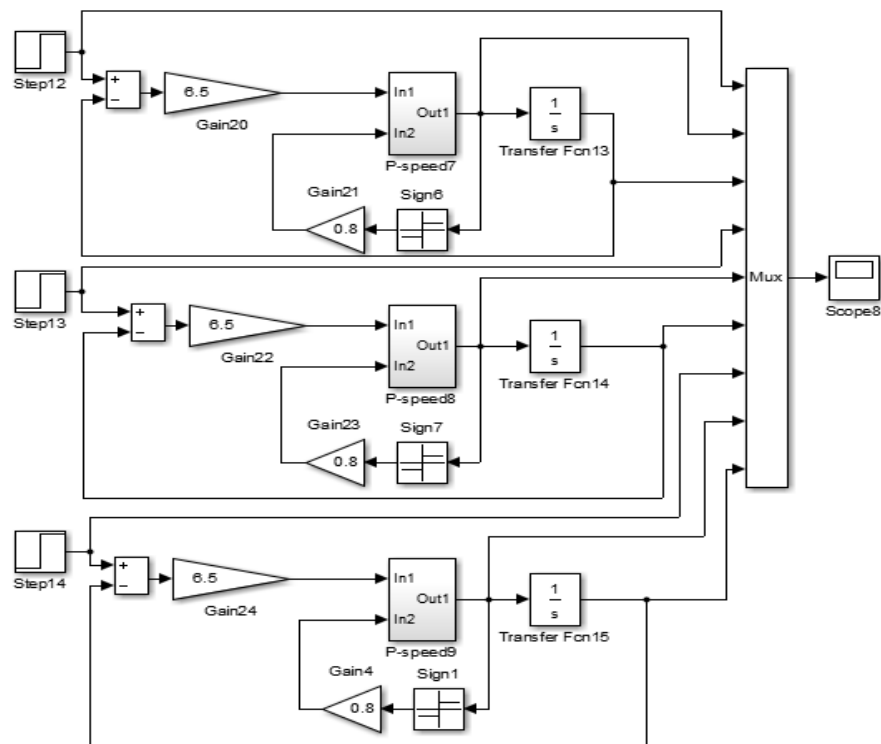


Рисунок 2.22 – Структурна схема моделі контуру положення з обмеженням завдання на струм якоря ($i_c = 0,8$) при відпрацюванні пересувань

$$\varphi_s = 0,9; 0,45; 1,8$$

Відповідні графіки перехідних процесів наведені на рисунку 2.23.

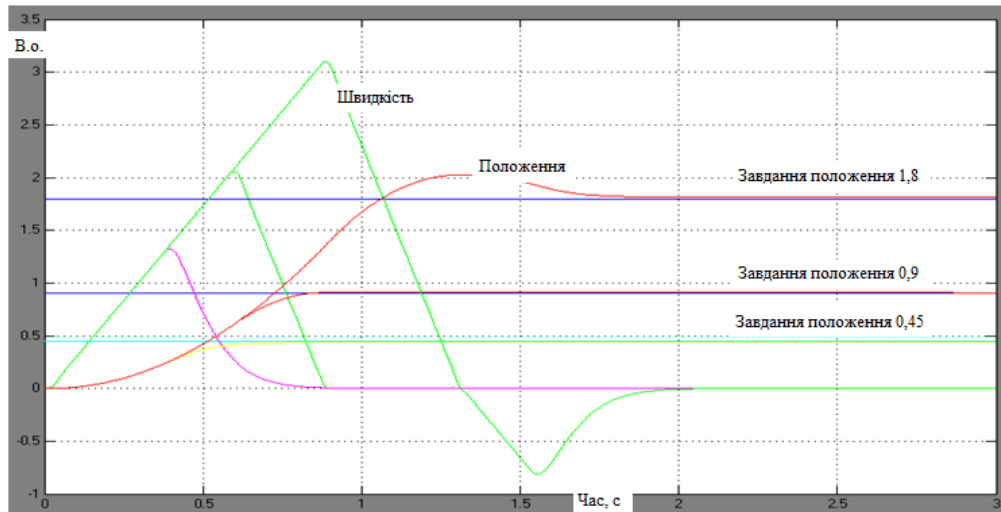


Рисунок 2.23 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість при відпрацюванні пересувань $\varphi_3 = 0,9; 0,45; 1,8$ з навантаженням $i_c = 0,8$

5. Дослідження перехідних процесів у контурі положення при відпрацюванні середніх та великих пересувань (вихід регулятора положення та вихід регулятора швидкості обмежені, $i_c = 0,8$) здійснюємо на моделі, що наведена на рисунку 2.24.

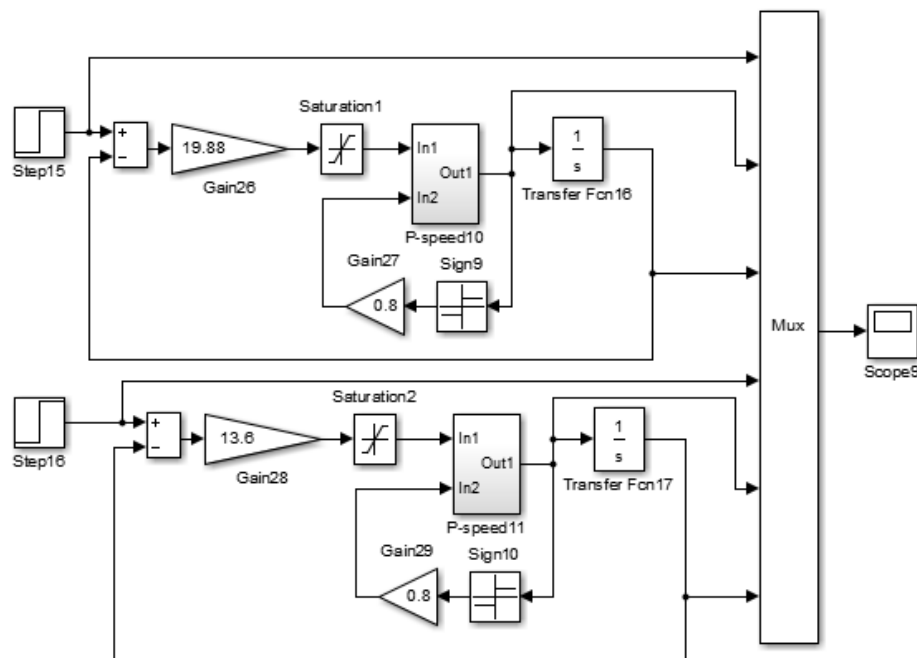


Рисунок 2.24 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість при $k_{пз} = 19,88$ та $k_{пзу} = 13,6$

Коефіцієнт підсилення регулятора положення $k_{p\text{пз}} = 19,88$ був уточненим відповідно до вже згаданих вище припущень до $k_{p\text{пзy}} = 13,6$. Графіки завдання на положення, положення та швидкість при $k_{p\text{пз}} = 19,88$ та $k_{p\text{пзy}} = 13,6$ наведені на рисунку 2.25.

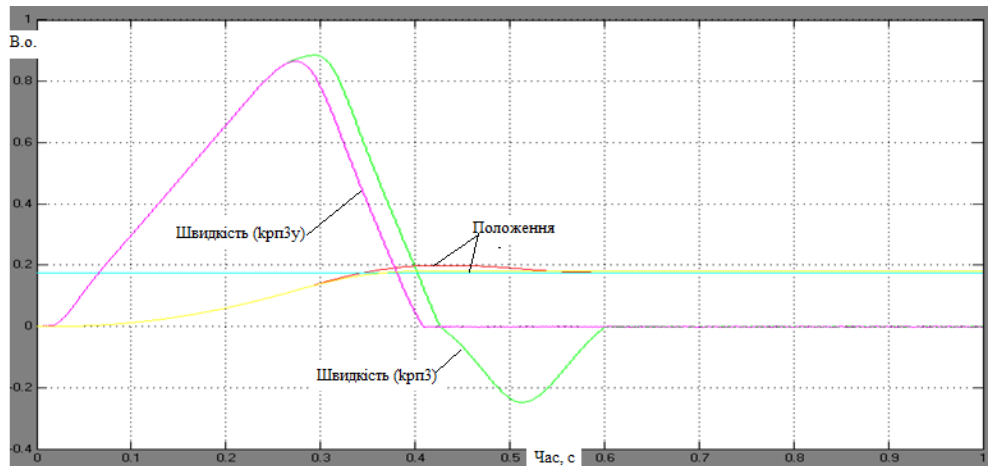


Рисунок 2.25 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість

На рисунку 2.26 наведена модель контуру положення з відпрацюванням трьох пересування з навантаженням $i_c = 0,8$.

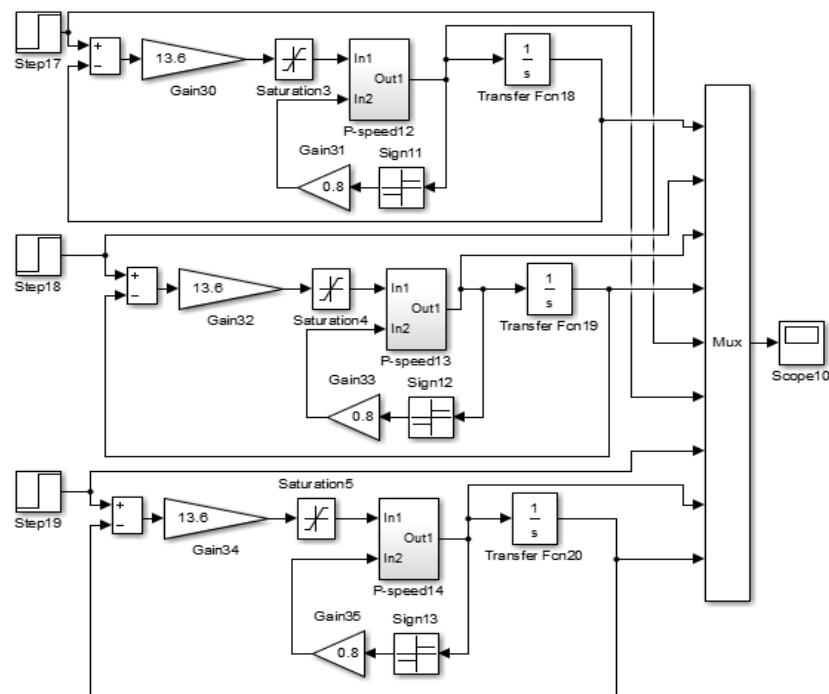


Рисунок 2.26 – Структурна схема моделі контуру положення при відпрацюванні пересувань $\varphi_{\text{пр}} = 0,175; 0,0875; 0,35$

Графіки завдання на положення, положення та швидкість при відпрацюванні пересувань $\varphi_{\text{шт}} = 0,175; 0,0875; 0,35$ з навантаженням $i_c = 0,8$ наведені на рисунок 2.27.

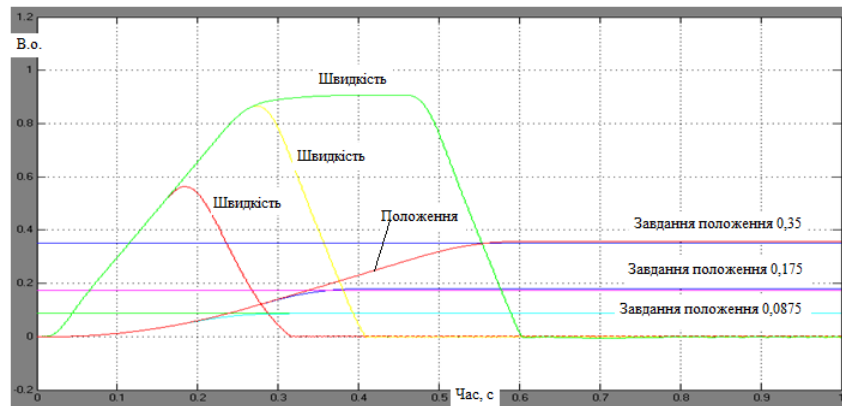


Рисунок 2.27 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість

6. Дослідження перехідних процесів в контурі положення з параболічним регулятором при відпрацюванні середніх пересувань (вихід регулятора швидкості обмежений, $i_c = 0,8$) здійснюється на моделі, що наведена на рисунок 2.28.

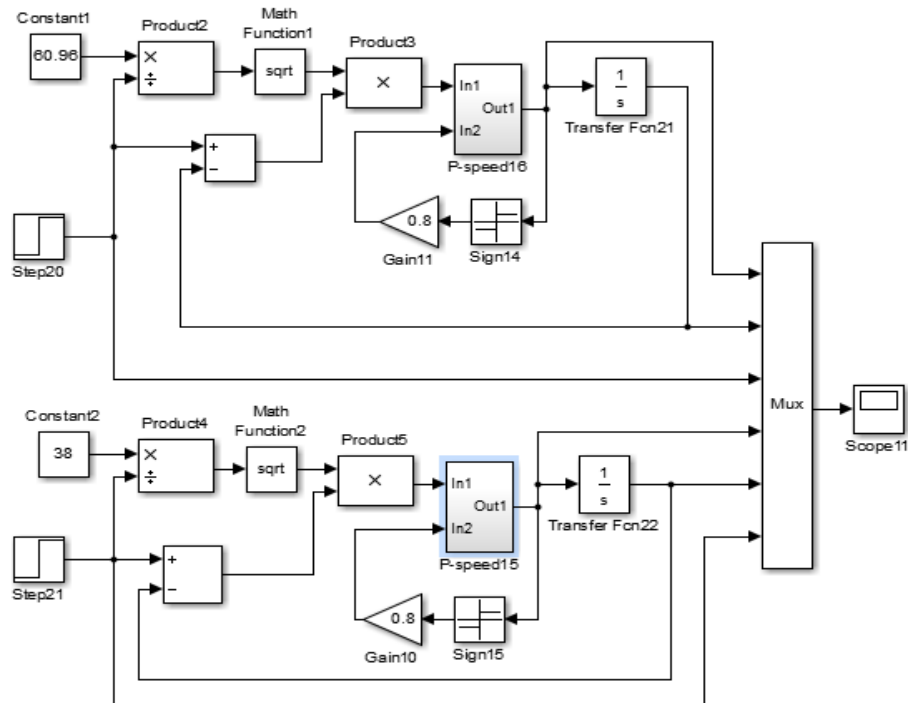


Рисунок 2.28 – Структурна схема моделі контуру положення з параболічним регулятором положення та обмеженням завдання на струм

Графіки завдання на положення, положення та швидкість моделі (рис.2.28) наведені на рисунку 2.29.



Рисунок 2.29 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість
На рисунку 2.30 наведена модель контуру положення.

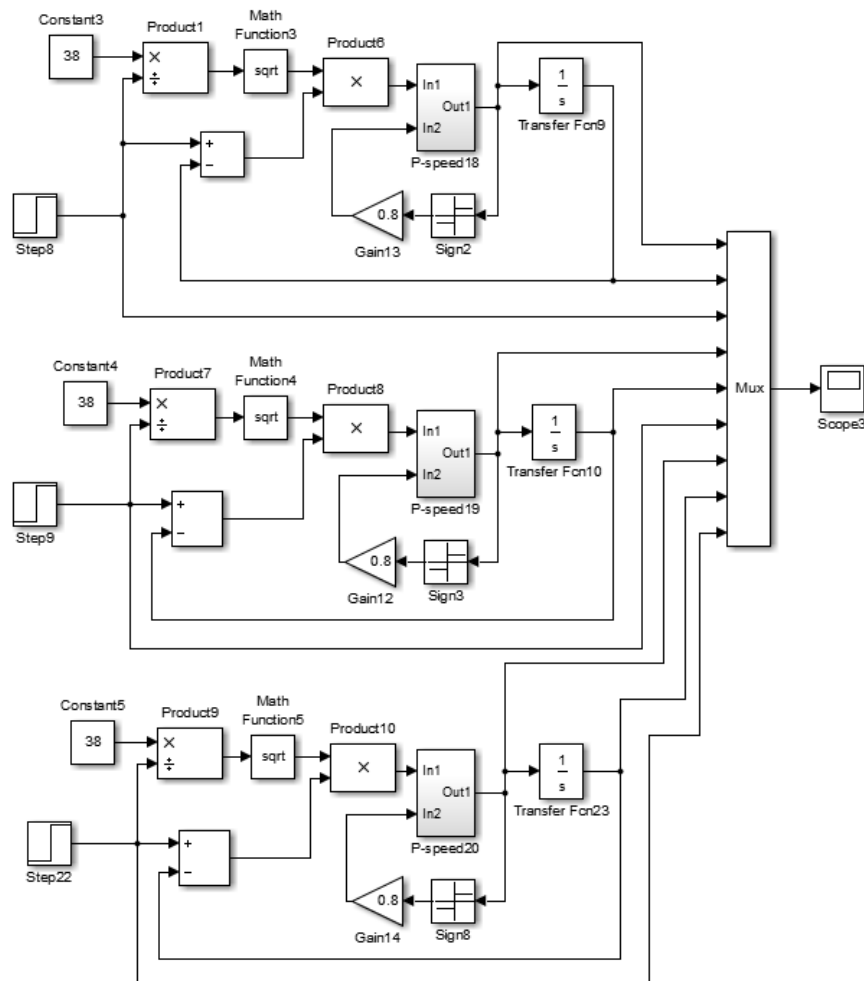


Рисунок 2.30 – Структурна схема моделі контуру положення при
відпрацюванні пересувань $\varphi_3 = 0,9; 0,45; 1,8$

Регулятор швидкості повинен обмежувати струм при пуску та гальмуванні на рівні $i_{\max} = 2,3$. Параболічний регулятор положення повинен змінювати коефіцієнт підсилення при зміні φ_3 у відповідності з формулою:

$$k_{\text{рпп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot i_{\max} \cdot \rho_e}{T_M \cdot \varphi_3} \cdot \frac{i_{\max} + i_c}{i_{\max} - i_c}} = \sqrt{\frac{k_{\text{рп1}}}{\varphi_3}}. \quad (2.84)$$

Графіки завдання на положення, положення та швидкість при відпрацюванні пересувань $\varphi_3 = 0,9; 0,45; 1,8$ з навантаженням $i_c = 0,8$ наведені на рисунку 2.31.

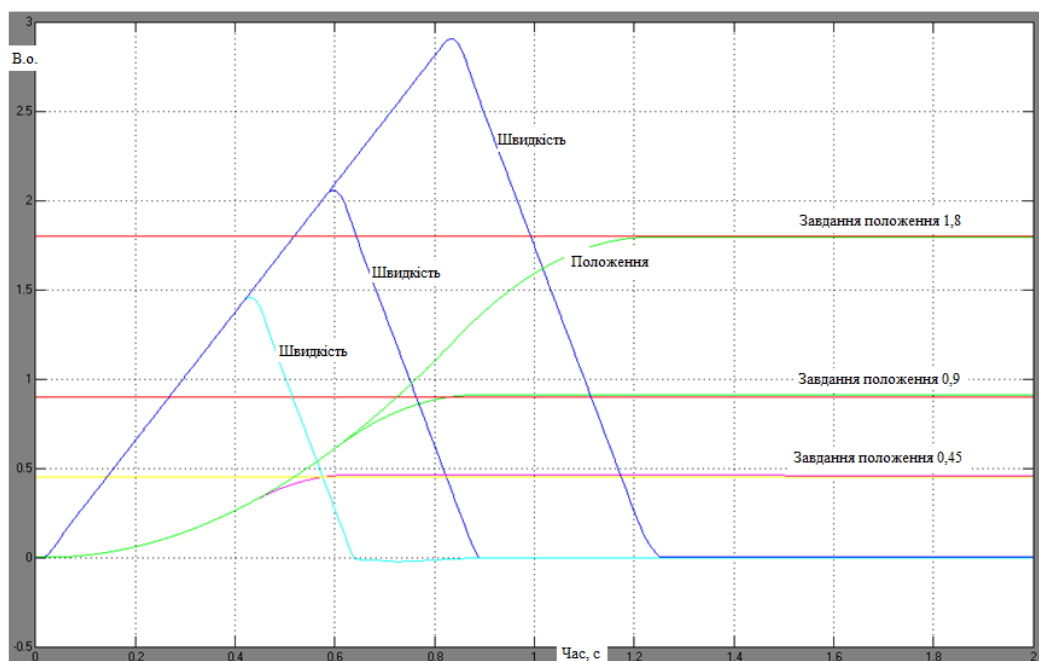


Рисунок 2.31 – Графіки завдання на положення, положення та швидкість при відпрацюванні пересувань $\varphi_3 = 0,9; 0,45; 1,8$ з навантаженням $i_c = 0,8$

Проаналізувавши графіки перехідних процесів, зведемо у таблицю 2.6 характеристики перехідної функції положення.

Таблиця 2.6 – Характеристики перехідної функції положення

		Час пуску та гальмування, с	Перерегулювання, %	Час досягнення сталого значення, с
1. Середні пересування φ_3 , РШ обмежений, $i_c = 0$ (П-регулятор)	$\varphi_3 = 0,9$	0,55	0	1,1
	$\varphi_3 = 0,45$	0,4	0	0,8
	$\varphi_3 = 1,8$	1,1	30	2,2
2. Середні пересування φ_3 , РШ обмежений, $i_c = 0,8$ (П-регулятор)	$\varphi_3 = 0,9$	0,4	0	0,8
	$\varphi_3 = 0,45$	0,3	0	0,6
	$\varphi_3 = 1,8$	1,1	10	2,2
3. Середні пересування φ_3 , РП та РШ обмежений, $i_c = 0,8$ (П-регулятор)	$\varphi_{\text{пр}} = 0,175$	0,2	0	0,4
	$\varphi_{\text{пр}} = 0,0875$	0,151	0	0,32
	$\varphi_{\text{пр}} = 0,35$	0,3/0,1	0	0,6
4. Середні пересування φ_3 , РШ обмежений, $i_c = 0$ (параболічний регулятор)	$\varphi_3 = 0,9$	0,45	0	0,9
	$\varphi_3 = 0,45$	1	0	2
	$\varphi_3 = 1,8$	0,625	0	1,25

Таким чином, у роботі здійснено розв’язання актуальної практичної задачі з дослідження моделі контуру положення електропривода постійного струму з впровадженням останньої у навчальний процес. Суть виконання досліджень полягає в представленні САР положення у вигляді системи підпорядкованого регулювання координат з розрахунками силового каналу електропривода та структури типових регуляторів при роботі САР у режимі

позиціонування з відпрацюванням заданого налагоджувального пересування при його збільшенні та зменшенні. Для оптимізації процесів керування за критерієм межової швидкодії використаний параболічний регулятор положення, що забезпечує необхідну швидкість, точність та відсутність таких небажаних показників якості як перерегулювання. Використання параболічного регулятора положення (при обмеженні виходу РШ) дозволяє виконувати налагоджувальне пересування при його подвійному збільшенні та зменшенні без перерегулювання за положенням та швидкістю. Завантаження двигуна здійснено моментом, що складає 80% від номінального. А використання П-регулятора положення (вихід РП та РШ обмежений) дозволяє виконувати налагоджувальне пересування без перерегулювання, але при його подвійному збільшенні перерегулювання складає 10%. За швидкістю найкращий результат показує параболічний регулятор положення.

2.5 Охорона праці та безпека експлуатації електрообладнання

Під час експлуатації системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050 особливе значення має забезпечення безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу та надійної роботи електротехнічного обладнання. Електроприводи прокатних станів належать до установок підвищеної небезпеки, оскільки працюють у важких виробничих умовах, характеризуються значними струмами навантаження, наявністю рухомих механізмів, підвищеною температурою навколишнього середовища та впливом вібрацій.

Основною умовою безпечної експлуатації електрообладнання є дотримання вимог чинних нормативних документів з охорони праці, правил технічної експлуатації електроустановок та інструкцій підприємства. До обслуговування електроустановок допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, перевірку знань з електробезпеки та мають необхідну групу допуску.

Для запобігання ураженню електричним струмом усі металеві неструмовідні частини обладнання повинні бути надійно заземлені. Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику до безпечних значень у разі пошкодження ізоляції та появи потенціалу на корпусі електрообладнання. Стан заземлювальних пристроїв повинен регулярно контролюватися шляхом проведення вимірювань опору заземлення та огляду контактних з'єднань.

Одним із важливих заходів електробезпеки є застосування захисної апаратури. Для відключення пошкоджених ділянок мережі використовуються автоматичні вимикачі, запобіжники, релейний захист та пристрої контролю ізоляції. У разі виникнення короткого замикання, перевантаження або інших аварійних режимів захисна апаратура забезпечує швидке відключення електрообладнання, що запобігає його пошкодженню та виникненню пожежі.

Особливу увагу необхідно приділяти технічному стану кабельних ліній, силових перетворювачів, електродвигунів та шаф керування. У процесі

експлуатації слід регулярно перевіряти стан ізоляції, надійність контактних з'єднань, відсутність механічних пошкоджень та перегріву струмопровідних частин. Для контролю температурного режиму можуть застосовуватися теплові реле, датчики температури та системи автоматичного моніторингу.

Виробничі приміщення, де встановлено електрообладнання, повинні відповідати вимогам пожежної безпеки. Необхідно забезпечити вільний доступ до електрощитів, аварійних вимикачів та засобів пожежогасіння. Для гасіння електроустановок, що перебувають під напругою, використовують вуглекислотні або порошкові вогнегасники. Застосування води та пінних засобів пожежогасіння допускається лише після повного зняття напруги.

Під час виконання ремонтних і налагоджувальних робіт необхідно дотримуватися організаційних та технічних заходів безпеки. До них належать оформлення наряду-допуску, відключення обладнання від джерел живлення, перевірка відсутності напруги, встановлення переносних заземлень та вивішування попереджувальних плакатів. Роботи повинні виконуватися із застосуванням справних засобів індивідуального захисту: діелектричних рукавичок, інструменту з ізольованими ручками, захисних окулярів та спецодягу.

Реконструкція системи керування електроприводом передбачає впровадження сучасних технічних рішень, які підвищують рівень безпеки експлуатації. Використання мікропроцесорних засобів керування, систем самодіагностики, автоматичного контролю параметрів та аварійного захисту дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Таким чином, забезпечення електробезпеки та охорони праці під час експлуатації електропривода натискних гвинтів блюмінгу 1050 є важливою умовою безаварійної роботи обладнання, збереження життя і здоров'я персоналу, а також підвищення ефективності виробничого процесу. Комплексне застосування організаційних і технічних заходів дозволяє

мінімізувати виробничі ризики та забезпечити надійну експлуатацію модернізованої системи керування.

2.6 Протипожні заходи

Електрообладнання системи керування натискними гвинтами блюмінгу 1050 належить до об'єктів підвищеної пожежної небезпеки, оскільки в процесі його роботи використовуються силові електричні кола, кабельні мережі, комутаційні апарати та електронні пристрої керування. Виникнення пожежі може бути спричинене коротким замиканням, перевантаженням електрообладнання, пошкодженням ізоляції провідників, порушенням контактних з'єднань, перегрівом елементів силової електроніки або недотриманням правил експлуатації.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів. Усі струмопровідні частини повинні бути надійно ізольовані та захищені від механічних пошкоджень. Кабельні лінії необхідно прокладати відповідно до вимог нормативних документів із використанням вогнестійких або важкогорючих кабелів. Проходи кабелів через стіни та перекриття мають бути герметизовані негорючими матеріалами для запобігання поширенню полум'я між приміщеннями.

Для захисту електрообладнання від аварійних режимів роботи передбачаються автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники та релейний захист, які забезпечують швидке відключення пошкодженої ділянки мережі при виникненні короткого замикання або перевантаження. Особливу увагу необхідно приділяти справності систем заземлення, оскільки їх несправність може призвести до появи струмів витоку та нагрівання металевих конструкцій.

У приміщеннях електротехнічного призначення слід підтримувати належний санітарний стан, регулярно видаляти пил і бруд з поверхонь обладнання, оскільки накопичення металевих та вугільного пилу збільшує

ризик займання. Забороняється зберігання легкозаймистих матеріалів поблизу електроустановок, а також виконання вогневих робіт без відповідного дозволу та виконання необхідних заходів безпеки.

Для своєчасного виявлення загоряння доцільно використовувати системи пожежної сигналізації, що реагують на підвищення температури або появу диму. У разі виникнення пожежі повинна бути забезпечена можливість оперативного відключення електроживлення аварійної ділянки та евакуації персоналу згідно із затвердженим планом дій.

Гасіння пожеж в електроустановках, що перебувають під напругою, дозволяється виконувати лише вуглекислотними або порошковими вогнегасниками. Використання води та пінних засобів пожежогасіння на електрообладнанні під напругою забороняється через небезпеку ураження електричним струмом. Місця встановлення первинних засобів пожежогасіння повинні бути позначені відповідними знаками безпеки та забезпечувати швидкий доступ до них.

Виконання зазначених протипожежних заходів дозволяє суттєво знизити ймовірність виникнення пожежі, забезпечити безпечну експлуатацію електропривода натискних гвинтів блюмінгу 1050 та мінімізувати можливі матеріальні збитки у разі виникнення аварійної ситуації.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз існуючої системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050 прокатного цеху №1 ПрАТ «ДМЗ» та розроблено технічні рішення щодо її реконструкції. Актуальність виконаної роботи обумовлена необхідністю підвищення надійності роботи електропривода, покращення динамічних характеристик системи керування, зменшення експлуатаційних витрат і забезпечення стабільної роботи обладнання в умовах сучасного металургійного виробництва.

У процесі виконання роботи було досліджено технологічні особливості роботи натискного механізму блюмінгу, визначено основні вимоги до системи електропривода та проведено аналіз режимів його функціонування. Встановлено, що точність позиціонування і стабільність підтримання заданих параметрів безпосередньо впливають на якість прокату та продуктивність виробничого процесу.

У роботі розглянуто структуру системи автоматичного керування електроприводом та виконано моделювання її роботи із застосуванням різних типів регуляторів швидкості. Отримані результати показали можливість забезпечення необхідних показників якості регулювання та підтвердили працездатність запропонованих технічних рішень. Проведене дослідження перехідних процесів дозволило оцінити динамічні властивості системи та визначити оптимальні параметри налаштування контурів регулювання.

У результаті реконструкції передбачено модернізацію елементів системи керування та захисту електропривода, що сприяє підвищенню надійності роботи обладнання, покращенню його експлуатаційних характеристик та зниженню ризику виникнення аварійних режимів. Запропоновані рішення забезпечують ефективний контроль технологічного процесу та створюють умови для подальшої автоматизації виробництва.

Таким чином, поставлені в кваліфікаційній роботі завдання виконані в повному обсязі. Розроблені технічні рішення можуть бути використані під час реконструкції системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050 та сприятимуть підвищенню ефективності, надійності й безпеки роботи прокатного обладнання в умовах ПрАТ «ДМЗ».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інш. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інш. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
2. Автоматизований електропривод ч. 2 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.І. Теряєв. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
3. Безвесільна О. М., Коробійчук І. В., Тимчик Г. С. Автоматизований електропривод : підручник / О. М. Безвесільна, І. В. Коробійчук, Г. С. Тимчик. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 452 с.
4. Комплектні електроприводи: Навч. посібник / М.М. Казачковський. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 226 с.
5. Бешта О. С. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві / О. С. Бешта, О. В. Балахонцев, В. А. Бородай. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – 224 с.
6. Сільвестров А.М. Островерхов М.Я., Шефер О.В., Ладік Н.А., Зіменков Д.К. Системи автоматичного керування технологічними комплексами: навчальний посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 466 с.
7. Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу. Навчальний посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

141-21д-2026врб.pdf

Автор

141-21д-2026врб.pdf

Науковий керівник / Експерт

Молдло Є.О.

ІД документу

334323899

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

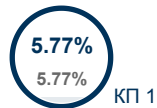
Дата звіту

6/15/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

8676

Кількість слів



КЦ

61686

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		23
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		35

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Колір тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	http://orgconf.com/infolist/kmoss2019.pdf	66 (0.76 %)

ЗГОДА здобувача(чки) вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Ковальов Віталій Олександрович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська (магістерська) робота Реконструкція системи керування електроприводом натискних гвинтів блюмінгу 1050 (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

Дата

підпис

ініціали, прізвище (власноруч)