

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

**за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Електропривод важільно-планетарних летючих ножиць типу ВПЛН-150
за системою «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму»**

Виконав: студент групи ЗЕЕМ-22ск

Олександр АНДРУХІВ

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

АНДРУХІВ Олександр Ярославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Електропривод важільно-планетарних летючих ножиць типу
ВПЛН-150 за системою «тиристорний перетворювач – двигун постійного
струму»

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація
електромеханічної системи летючих ножиць типу ВПЛН-150 за системою
«тиристорний перетворювач – двигун постійного струму».
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Технологія прокатного виробництва; II. Електропривод важільно-
планетарних летючих ножиць; III. Система керування електроприводом
важільно-планетарних летючих ножиць.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Схема розташування обладнання дрібносортового прокатного
стану; II. Технічна характеристика летючих ножиць; III. Вимоги до
електроприводу та системи керування; IV. Структурна схема сак двозонного
регулювання швидкості; V. Принципова схема двозонної сак електроприводу;
VI. Графіки перехідних процесів.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Юрій ОСАДЧУК		
II	Юрій ОСАДЧУК		
III	Юрій ОСАДЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Характеристика летючих ножиць	15.05.25
2	Модернізація електроприводу	17.05.25
3	Модернізація системи керування	19.05.25
4	Загальні відомості про електропривод	21.05.25
5	Статичні характеристики електроприводу	24.05.25
6	Структура системи керування	26.05.25
7	Розрахунок елементів системи керування	31.05.25
8	Вибір обладнання системи керування	04.05.25
9	Показники якості системи керування	10.06.25
10	Креслення	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Олександр АНДРУХІВ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Юрій ОСАДЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Електропривод важільно-планетарних летючих ножиць типу ВПЛН-150 за системою «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму»»

49 с., 12 рис., 10 літературних джерел

Об'єкт розробки – електромеханічна система важільно-планетарних летючих ножиць типу ВПЛН-150 за системою «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму».

Мета роботи – дослідити електропривод важільно-планетарних летючих ножиць типу ВПЛН-150 за системою «тиристорний перетворювач – двигун постійного струму».

У першому розділі було розглянуто технологічний процес дрібносортового прокатного стану ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» у якому для забезпечення геометричних розмірів готової продукції використовуються летючі ножиці. Було показано що для ефективної роботи дрібносортового прокатного стану необхідно забезпечити ритмічну роботу механізму розрізання заготовок. Для ефективної роботи механізму летючих ножиць необхідно скласти систему керування яка буде забезпечувати належне різання металевих заготовок. Відповідно до технологічного процесу різання металевих заготовок було сформовано вимоги до електроприводу летючих ножиць.

У другому розділі була розглянута електромеханічна частина летючих ножиць дрібносортового прокатного стану. Було розглянуто особливості електропривода летючих ножиць представлено кінематичну схему та

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розраховано статичні навантаження. Були розраховані там обрані елементи що складають електромеханічну систему летючих ножиць. Так наприклад було обрано електричний двигун там перетворювальний пристрій для можливості регулювання його частоти обертання. Також за розрахованими статичними навантаженнями було обрано елементи захисту від аварійних режимів роботи.

У третьому розділі було розглянуто систему керування електроприводом летючих ножиць дрібносортового прокатного стану. Було відзначено що важливим елементом системи керування летючими ножицями є можливість забезпечувати стабільну швидкість різання металевих заготовок. Для цієї мети була застосована система підлеглого регулювання з керуючим контуром швидкості різання металевих заготовок. Розробка цифрової системи керування швидкістю різання металевих заготовок дозволило усунути недоліки аналогової системи керування. Також було проведено моделюванням перехідних процесів усіх режимів роботи електроприводу летючих ножиць дрібносортового прокатного стану. Можна зазначити що з графіків перехідних процесів в режимів роботи електроприводу летючих ножиць дрібносортового прокатного стану можна бачити що система керування поліпшує умови роботи електроприводу летючих ножиць та забезпечує стабільну швидкість різання металевих заготовок в умовах дрібносортового прокатного стану.

ЛЕТЮЧІ НОЖИЦІ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ДРІБНОСОРТОВИЙ СТАН,
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Технологія прокатного виробництва	10
1.1. Характеристика важільно-планетарних летючих ножиць	10
1.2. Режими роботи важільно-планетарних летючих ножиць.....	11
1.3. Модернізація електроприводу важільно-планетарних летючих ножиць	12
1.4. Модернізація системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць	13
1.5. Вимоги до електроприводу важільно-планетарних летючих ножиць..	14
Розділ 2. Електропривод важільно-планетарних летючих ножиць	17
2.1. Загальні відомості про електропривод важільно-планетарних летючих ножиць	17
2.2. Характеристика летючих ножиць ВПЛН-150	21
2.3. Система електроприводу летючих ножиць ВПЛН-150	23
2.4. Статичні характеристики електроприводу летючих ножиць ВПЛН-150	25
2.5. Характеристика електрообладнання летючих ножиць ВПЛН-150.....	29
Розділ 3. Система керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць	32
3.1. Структура системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць	32
3.2. Розрахунок елементів системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць	35

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

3.3. Вибір обладнання системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць	40
3.4. Показники якості системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць	41
Висновки	46
Список використаних джерел	48

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Металургійні комбінати відносяться до великих індустріальних об'єктів з унікальним за своїми можливостями та потужностями технологіями.

Металургійний комбінат ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» відноситься до індустріальних об'єктів що спеціалізуються на виробництві армованої сталі та катаного дроту.

Для виробництва використовуються як звичайні типи так і низьколегіровані марки сталі.

Спираючись на багаторічний досвід свого розвитку, з огляду на неухильно зростаючі вимоги до якості продукції, підприємство постійне проводить модернізацію устаткування, удосконалює технологічні процеси, що дозволяє забезпечувати виробництво продукції в повній відповідності щодо вимог міжнародних стандартів.

Для виробництва високоякісного прокату комбінат має у своєму розпорядженні могутні сучасні автоматизовані стани, спеціальні агрегати й устаткування для термічної обробки і здійснення оздоблювальних операцій.

Комбінат робить прокат по вітчизняних і закордонних стандартах. Якість продукції прокатного виробництва відповідає вимогам міжнародних стандартів.

З урахуванням реалій світового ринку споживання металу, зростаючих вимог до якості і службових властивостей металопродукату на комбінаті проводиться планомірна, цілеспрямована робота з технічного переозброєння, упровадженню нової техніки і технологій.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета, що ставиться перед комбінатом буде досягнута за рахунок виводу з експлуатації морально і фізично застарілих виробництв, енергоємних агрегатів, впровадження екологічно чистих технологій.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Технологія прокатного виробництва

1.1. Характеристика важільно-планетарних летючих ножиць

Летучі ножиці (ВПЛН - 150) призначені для гарячого порізу готового профілю (квадратного і круглого перетину), одержуваного на прокатному стані при постійній швидкості прокатки.

Вони працюють як із пропуском порізу, так і без пропуску. Складаються з механізмів різання, збирання обрізків, пропуску реза і пересування ножиць.

Механізм різання складається з двох несучих (верхнього і нижнього) барабанів, що обертаються з різною швидкістю.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1			Лім.	Лист	Листів	
Розробив	Андрухів О.Я.										
Перевірів	Осадчук Ю.Г.									10	7
Реценз.								КНУ ЗЕЕМ-22ск			
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.										
Затвердив	Пересунько І.І.										

1.2. Режими роботи важільно-планетарних летючих ножиць

Важливим для розуміння проведення модернізації електромеханічного обладнання летючих ножиць визначити режими роботи електроприводу.

Виходячи з вимог технологічного процесу та діаграм зміни кутової частоти та моменту на валу електричного двигуна можна зробити аналіз режимів роботи електроприводу летючих ножиць.

Слід зазначити що характер діаграм зміни моменту електричного двигуна свідчить про виникнення пікових навантажень у процесі пуску електричного двигуна а також наявність підвищених значень моменту електричного двигуна при контакті з металевою заготовкою.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Модернізація електроприводу важільно-планетарних летючих ножиць

Метою розробки є керування швидкістю обертання несучих барабанів для узгодження порізу зі швидкістю руху металу, для забезпечення технологічного процесу порізу на заданій довжині.

Дані летучі ножиці зв'язані технологічним процесом з цілою низкою механізмів, що автоматизовані.

Для успішної роботи цих механізмів необхідно узгоджено впливати на їхні виконавчі органи, щоб одержати продукцію високої якості.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Модернізація системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць

Предметом розробки ефективної системи керування електроприводом летючих ножиць дрібносортового прокатного стану буде визначення та проектування конструкторських розробок щодо складання окремих вузлів керування електромеханічною системою.

У якості технологічного процесу буде задіяно електромеханічне обладнання дрібносортового стану.

Проектні розробки мають забезпечити визначення функціональних та технологічних залежностей щодо узгодження керування електроприводом летючих ножиць у більш широкому розумінні прокатного виробництва.

Проектні розробки мають забезпечити замкнений цикл керування електромеханічним обладнанням летючих ножиць.

Додатково буде використано матеріали щодо опису режимів роботи дрібносортового прокатного стану та ролі механізму летючих ножиць у виробничому процесі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Вимоги до електроприводу важільно-планетарних летючих ножиць

Відповідно до технологічних вимог складемо завдання щодо проектної розробки електроприводу летючих ножиць.

У якості електричного двигуна у електромеханічній системі летючих ножиць використовується двоякірний електричний двигун.

Живлення електричного двигуна виконується від блоку тристоронних перетворювачів.

Блок теристорних перетворювачів виконується у якості комплектного електротехнічного пристрою обладнання якого зосереджено у електричній шафі що живиться від цехового трансформатору.

Цеховий трансформатор знаходиться на підстанції у безпосередній близькості до шаф керування.

Як було вже зазначено раніше режим роботи механізму летючих ножиць повторно короткочасний.

Але режим роботи електромеханічного обладнання що забезпечує живлення електричних двигунів має бути безперервним.

Отже режим роботи комплектного тристорного перетворювача безперервний.

Система керування комплектного тристорного перетворювача побудована на базі програмного контролера.

Також у комплексному теристорному перетворювачі використовуються системи захисту електричних двигунів та комплектом тристорного перетворювача від режимів короткого замикання яке може виникнути у разі наявності контакту однієї з фаз та заземлюючим дротом а також при наявності контакту між фазами.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також у комплектному перетворювачі є можливість обмеження струмів навантаження та забезпечення нормального режиму роботи електромеханічного обладнання без перегрівання його складових частин.

Окремий елемент захисту який використовується у комплексному тиристорному перетворювачі - це захист від перенапруги.

Як вже зазначалось раніше особлива увага при роботі летючих ножиць приділяється стабільності швидкості різання металевих заготовок тому відповідно до вимог технологічного процесу дрібна сортового прокатного стану похибка швидкості різання немає перевищувати 20%.

Також важливим є забезпечення максимальної швидкодії роботи електромеханічного обладнання летючих ножиць.

Тому за умовами завдання на проектування обмежується час протікання перехідних процесів при роботі електроприводу летючих ножиць на рівні максимальної динамічної складової робочого струму.

Для плавності роботи електромеханічного обладнання при переході з одного режиму в інший необхідно забезпечити зміну швидкості електричного двигуна у широкому діапазоні.

Слід зазначити що оскільки різання виконується для металевих заготовок різної щільності тому необхідною умовою є велика перевантажувальна здатність електричного двигуна а також системи його живлення.

Оскільки електропривод летючих ножиць має працювати у безперебійному режимі роботи тому особлива увага приділяється надійності роботи електромеханічного обладнання.

Слід також зазначити що для узгодження режимів роботи обладнання дрібносортового прокатного стану швидкість різання металевих заготовок

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

летючими ножицями має бути узгоджено з швидкістю руху металевих заготовок.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Електропривод важільно-планетарних летючих ножиць

2.1. Загальні відомості про електропривод важільно-планетарних летючих ножиць

Летучі барабанні ножиці (рисунок 2.1) призначаються для поперечного різання тонкого листового і дрібного сортового прокату на ходу.

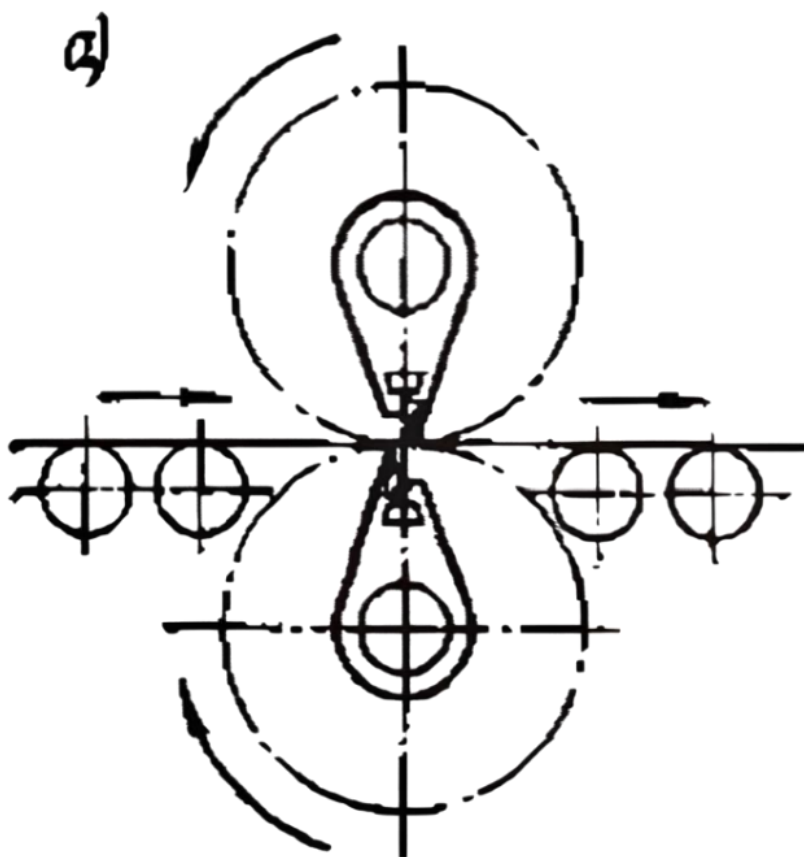


Рисунок 2.1 - Схема різання на летучих барабанних ножицях

Недоліком барабанних ножиць є непаралельність ножів при різанні, що впливає на якість поверхні металу в місці розрізу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат							
Розробив		Андрухів О.Я.			Розділ 2			Літ.	Лист	Листів	
Перевірив		Осадчук Ю.Г.								17	15
Реценз.								КНУ ЗЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Осадчук Ю.Г.									
Затвердив		Пересунько І.І.									

Летучі важільно-планетарні ножиці РПЛН-150 встановлені в лінії стану на відстані 6600 мм від осі останньої.

Ножиці призначені для якісної порезки заготовель великого перетину (до квадрата 120x120 мм) при швидкості прокатки до 7 м/с, як із пропуском порізу, так і без нього.

На рисунках (2.2), (2.3) приведена кінематична схема ножиць і кінематична схема планетарного механізму летучих ножиць.

Механізм різання складається з двох несущих (верхнього і нижнього барабанів), що обертаються в різні сторони.

У середині кожного з барабанів змонтований планетарний механізм, що складається із сонячної шестірні, паразитної шестірні і планетарної шестірні.

Сонячна шестірня закріплена на нерухомому валові, а з планетарною шестірнею жорстко зв'язані голівки з закріпленими на них ножами, на кожному ножі розташовані два ріжучі калібри для зменшення простоїв, зв'язаних з їхньою заміною.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

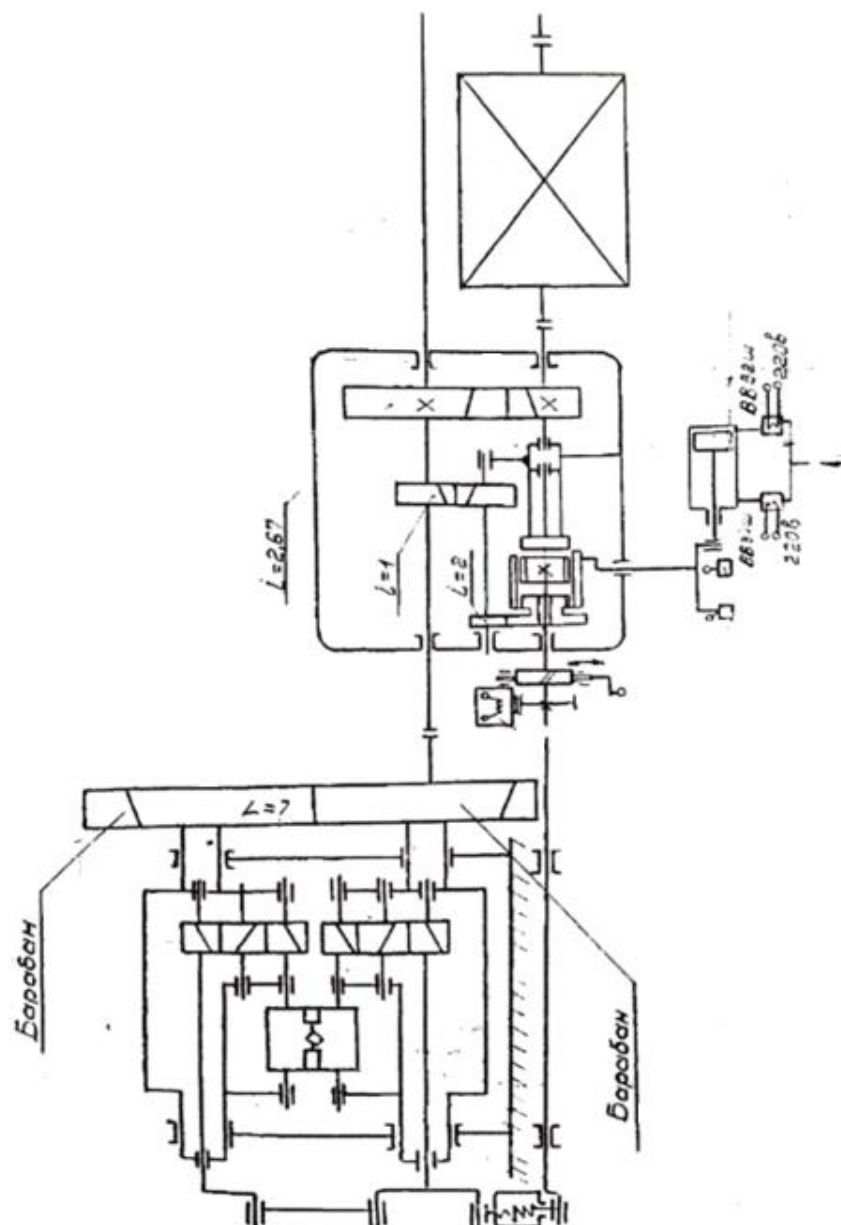


Рисунок 2.2 - Кінематична схема летучих ножиць

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01

Арк.

19

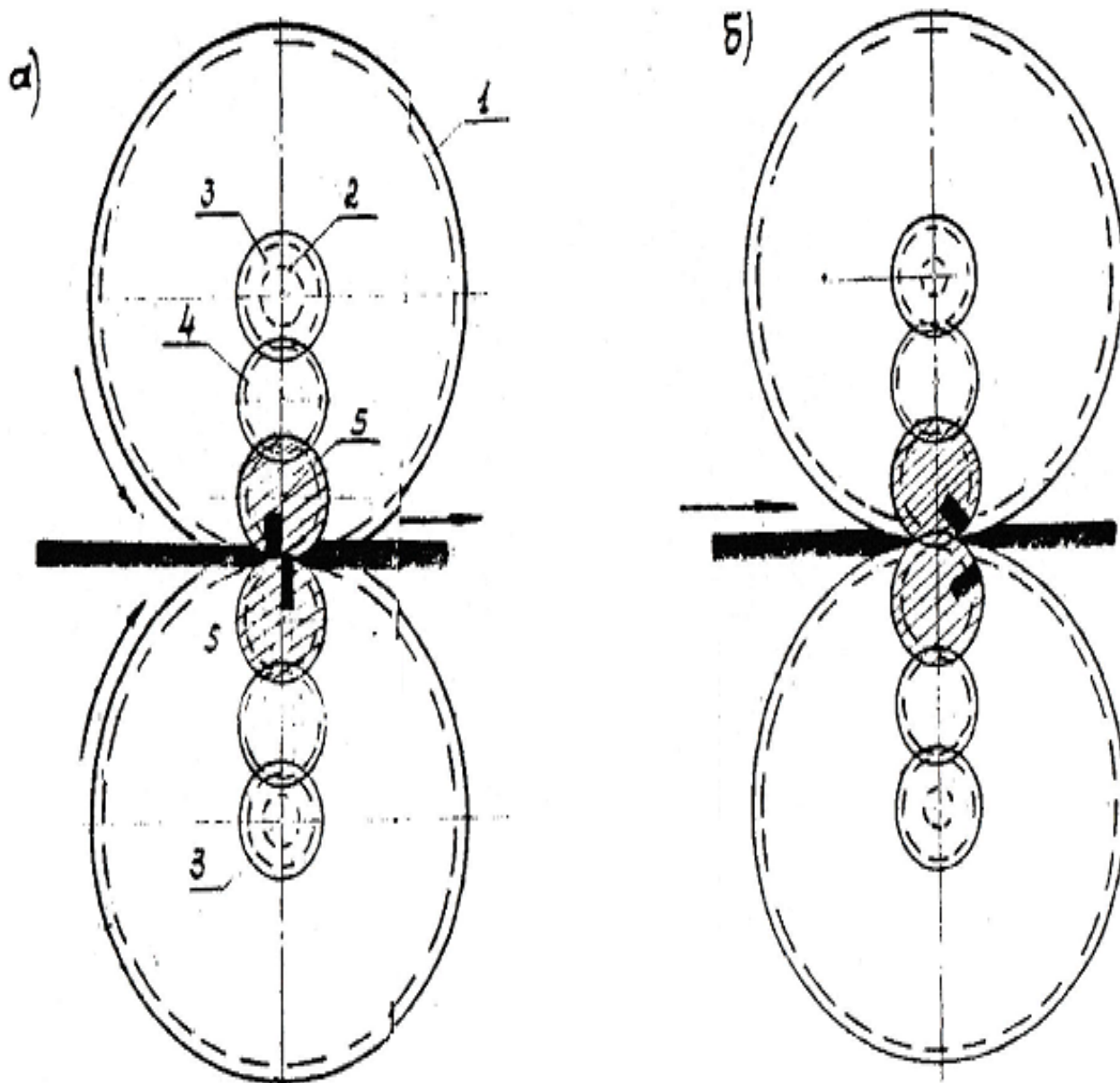


Рисунок 2.3 - Кінематична схема планетарного механізму летучих ножиць

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01

Арк.

20

2.2. Характеристика летючих ножиць ВПЛН-150

Летучі ножиці (ВПЛН- 150) призначені для гарячого порізу готового профілю, одержуваного на стані 500.

Складаються з механізмів різання, збирання обрізків, пропуску порізу і пересування ножиців.

Летучі ножиці працюють у комплексі з установкою невинного розкрою металу.

Кількість.....1

Довжина порізаних заготівель.....5-12 м

Максимальне зусилля різання.....150 тон.

Швидкість пересування ножиць.....6,6 мм/сек.

Робочий хід ножиць.....600 мм.

Температура металу, що розрізається, не нижче.....800 °С.

Привод - електродвигун типу 2П-176-8ДО - 1200 квт, 400 об/хв.

Радіуси центрів крайок, що різуть:

нижній барабан.....1040 мм

верхній барабан.....1055 мм

Підшипники качення..... $\mu = 0.01$

Число обертів барабанів ножиців

між двома порізами..... $K = 1; K = 2$

Максимальне припустиме перевищення

швидкості ножів над швидкістю розкату

при порізі (обгін).....20%

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точність установки барабанів при переключенні механізму пропуску
порізу.....1,5 – 2° по валу

Редуктор циліндричний, спеціальний, комбінований.

Передача до приводу барабанів одноступінчата..... $i_p = 2,67$

Передача до приводу механізму пропуску порізу..... $i_k = 2$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Система електроприводу летючих ножиць ВПЛН-150

Характерні графіки швидкості повторно-короткочасного режиму представлені на рис. 2.4, а,б.

При трикутному графіку швидкості привід працює тільки в перехідних процесах і час відпрацьовування заданого переміщення механізму визначається інтенсивністю протікання перехідних процесів.

Завзята механічна характеристика двигуна необхідна в тому випадку, коли можлива значне перевантаження.

Вона обмежує моменти і струми двигуна, що створює велику надійність роботи механізму й захищає двигун від надмірного нагрівання.

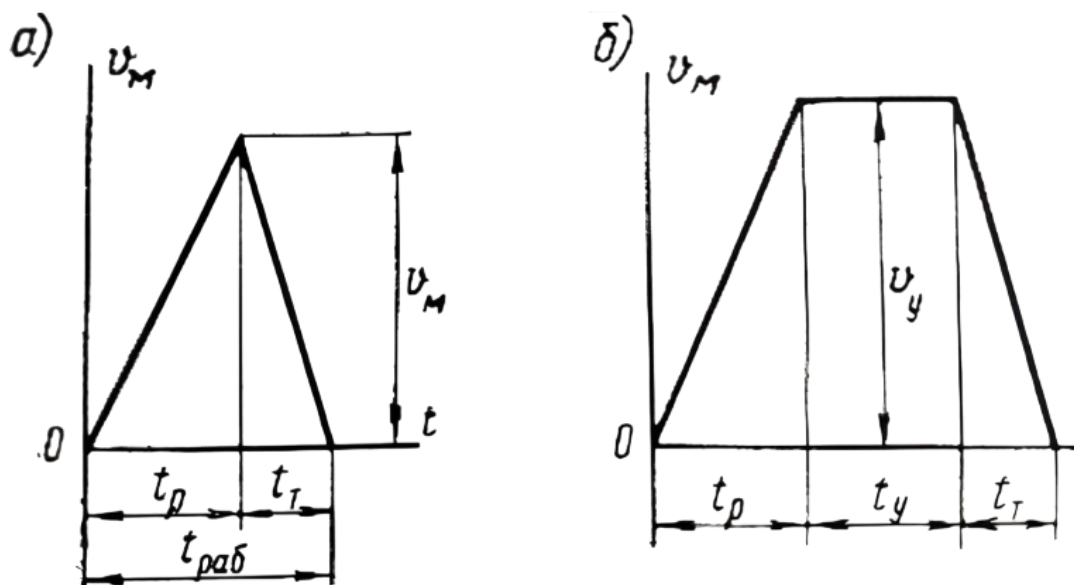


Рисунок 2.4 - Характерні графіки швидкості механізмів прокатних станів, що працюють у повторно-короткочасному режимі

Тип двигуна для приводу механізмів прокатних станів вибирається виходячи з режиму роботи і необхідності регулювання швидкості.

Механізми, що працюють у тривалому або повторно-короткочасному режимі і потребуючі регулювання швидкості, звичайно мають двигуни постійного струму.

Етапом розвитку електропривода механізмів прокатних станів з'явилося застосування тиристорних перетворювачів для живлення приводних двигунів (система ТПД тиристорний перетворювач - двигун).

Досить мала інерційність і великий коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача дозволяють будувати системи з високими статичними і динамічними характеристиками, що задовольняють вимогам широкого класу реверсивних механізмів прокатних станів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Статичні характеристики електроприводу летючих ножиць ВПЛН-150

Зусилля різання для летючих ножиць можна визначити за величиною максимальних вертикальних зусиль різання [10,257]. Значення максимального вертикального зусилля різання, з достатньої для інженерних розрахунків точністю, може бути визначене з вираження:

$$P = \tau \cdot \theta \quad (2.1)$$

де:

θ - площа перетину металу, що розрізається;

τ - питомий опір різанню, що залежить від відносної глибини різання, Н/мм²

Питомий опір різанню визначається експериментально і будується у вигляді кривих у залежності від відносної глибини різання:

$$\tau = \frac{h_0 - h}{t_0}, \quad (2.2)$$

де:

h_0 - початкове значення товщини металу;

h - поточне значення товщини металу, що розрізається;

$[h_0 - h]$ - глибина різання.

Для розрахунку зручно виразити зусилля різання в залежності від кута повороту кривошипа.

Для цього необхідно установити зв'язок між кутом повороту вала і відносною глибиною підрізу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переміщення ножів для летучих ножиць складають:

$$x = r \cdot (1 - \cos \alpha) + l \cdot (1 - \cos \beta) \quad (2.3)$$

Так відстань між ножами:

$$h = 2r - x - h_n \quad (2.4)$$

де $h=14\text{мм}$ перекриття ножів, де з їхньою допомогою (2.3) визначаємо залежність поточної товщини металу від кута повороту вала кривошипа:

$$h = r \cdot (1 + \cos \alpha) - l \cdot (\cos \beta) - h_n \quad (2.5)$$

У цьому випадку:

$$l \cdot \sin \beta = r \cdot \sin \alpha, \quad (2.6)$$

$$l(1 - \cos \beta) = l \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \cdot \sin^2 \alpha} \right] \quad (2.7)$$

З огляду на, що для летучих ножиць $\frac{r}{l} \leq 0.1$, можна приблизно прийняти:

$$1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \cdot \sin^2 \alpha \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{l}\right)^2 \cdot \sin^2 \alpha \quad (2.8)$$

Тоді:

$$l(1 - \cos \beta) \approx r \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{r}{l} \cdot \sin^2 \alpha \right) \quad (2.9)$$

З цього випливає, що (2.5) прийме вид:

$$h = r \left(1 + \cos \alpha - 0.5 \frac{r}{l} \sin^2 \alpha \right) - h_n \quad (2.10)$$

У практичних розрахунках потужності електродвигуна ножиців замість формули (2.10) користуються спрощеною формулою:

$$h = r \cdot (1 + \cos \alpha) - h_n \quad (2.11)$$

де

r - радіус кривошипа; h - відстань між ножами, $r=250$ мм (з умови).

Залежність поточної товщини металу, що h розрізається, від кута повороту вала кривошипа знаходимо з рівняння:

$$h = 0.25 \cdot (1 + \cos 78^\circ) - 0.014 = 0.287(\text{м})$$

Знаходимо відносну глибину різання:

$$E = \frac{h_0 - h}{h_0} = 0.045$$

Тепер по кривих питомого опору різанню при різній температурі в залежності від відносної глибини різання знаходимо, що в інтервалі температур $800-9500^\circ\text{C}$ величина $\tau = 58.8 \text{ Н/мм}^2$.

Підставляючи ці значення у формулу (2.1) вважаємо зусилля різання ножиць:

$$P = \tau \cdot \theta = 58.8 \cdot 120 \cdot 120 = 846.72 \text{ (кН)}$$

Для роботи електродвигуна з припустимим нагріванням необхідно,

щоб
$$M_n \geq M_{en} \cdot \lambda \left(\frac{\omega_{xx}}{\omega_n} \right)^2$$

Думаючи, що:

$$\lambda = \lambda_n \cdot \frac{\omega_n}{\omega_{xx}},$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

λ_n - кратність робочого моменту стосовно номінального при такому потоці збудження електродвигуна, тоді:

$$M_n \geq \lambda_n \cdot M_{cp} \frac{\omega_{xx}}{\omega_n} \quad (2.18)$$

Значення λ_n звичайно вибирають у межах (1.2÷1.7). Відповідно до формули (2.18)

$$M_n \omega_n \geq \lambda_n \cdot M_{cp} \cdot \omega_{xx} > \lambda_n \cdot (M \cdot \omega)_{cp}$$

З вище зазначеної нерівності видно, що номінальна потужність для ножиць повинна вибиратися на підставі наступної нерівності:

$$P_n > \lambda_n \cdot P_{cp}$$

З огляду на, що розглянутий метод розрахунку носить орієнтований характер і не може забезпечити велику точність, номінальну потужність електродвигуна ножиць необхідно прийняти з деяким запасом приблизно (20-25%). Остаточна формула для попереднього вибору електродвигуна ножиць матиме вигляд:

$$P_n \geq 1,25 \cdot \lambda_n \cdot P_{cp} = 1,25 \cdot 839,2 \cdot 1,2 = 1153,9 \text{ (кВт)}$$

2.5. Характеристика електрообладнання летючих ножиць ВПЛН-150

Вибір двигуна постійного струму проводимо по заздалегідь розрахованій потужності і виходячи з умов необхідних для роботи механізму ножиць.

Технічні характеристики обладнання взяті з технічних паспортів і каталогів на обладнання.

Двигун постійного струму для прокатних станів типу 2П176-8К у двошкірному виконанні потужністю 1200 кВт.

Параметри електродвигуна приведені з розрахунку на один якір:

Номінальна потужність, P_n1200 кВт

Номінальна напруга, U_n440 В

Номінальний струм якоря, I_n2460 А

Момент інерції двигуна, J_d50 кг · м²

Номінальна швидкість обертання, n_n315 об/хв

Максимальна швидкість обертання, n_{max}800 об/хв

Номінальний струм, збудження I_{zn}32 А

Мінімальний струм, збудження I_{zmin}8 А

Число полюсів, $2p$8

Число витків обмотки збудження на полюс, w_z240

Опір якоря, R_j0,00331 Ом

Опір обмотки додаткових полюсів, R_{dp}0,001 Ом

Опір компенсаційної обмотки, R_{ko}0,002 Ом

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір обмотки збудження, $R_{оз}$3,27 Ом

Спадання напруги під щітками, $U_{щ}$2 В

Для живлення двофазного комплектних тиристорних електроприводи серії КТЕУ.

Тип електропривода.....КТЕУ-2500/440-13222-УХЛ4

Номінальна випрямлена напруга, $U_{дн}$2500 В

Номінальний випрямлений струм, $I_{дн}$460 А

Схема випрямлення.....мостова реверсивна

Силовий трансформатор вибираємо з двома вторинними обмотками від яких живляться два комплекти тиристорних перетворювачів.

Параметри втрат і напруги холостого ходу приведені з розрахунку для однієї вторинної обмотки.

Тип трансформатора.....ТМТП-3200/10У2

Вторинна фазна напруга, $U_{2ф}$237 В

Напруга короткого замкнення трансформатора, $U_{к.з}$0,053 В

Втрати в міді трансформатора, ΔP_{MT}2,8 кВт

Дросель типу, що згладжує, СРОСЗ-125М

Індуктивність, $L_{зд}$0,32 мГн

Активний опір, $R_{зд}$ $0.6 \cdot 10^{-3}$ Ом

Тиристорний перетворювач збудження

Номінальне випрямлена напруга, $U_{дн}$230 В

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальний випрямлена струм, I_{dH}50 А

Фазна напруга, $U_{2\phi}$220 В

Передатний коефіцієнт СІФУ, K_o5,5 град/В

Тахогенератор

Номінальна напруга, U_H220 В

Номінальна швидкість обертання, n_H1000 об/хв

Шунт у коліякоря

Номінальний струм, I_H2500 А

Спадання напруги в шунті при I_H , $U_{ш}$ $75 \cdot 10^{-3}$ В

Шунт у колі збудження

Номінальний струм, I_H50 А

Спадання напруги в шунті при I_H , $U_{ш}$ $75 \cdot 10^{-3}$ В

Момент інерції приводу, J1380 кг · м²

Розділ 3. Система керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць

3.1. Структура системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць

За структурою системи стабілізації швидкості електроприводів виконуються трьох видів: із проміжним (підсумовуючим) підсилювачем; з незалежним регулюванням параметрів; з підлеглим регулюванням параметрів [5,116].

У системі з підлеглим регулюванням параметрів (рисунок 3.1 в) регулювання здійснюється послідовно. Кожному регульованому параметрові відповідає свій регулятор ($A_1, A_2, \dots, A_n$), а сигнал кожного наступного, що задає, регульованого параметра відповідає виходові попереднього регулятора.

Тому регулювання кожної координати підлеглого регулюванню попередньої.

Система з підлеглим регулюванням дозволяє набудовувати кожен параметр окремо, починаючи з внутрішнього, і робити це незалежно від настроювання зовнішнього параметра.

У таких системах просто здійснюється обмеження значень параметрів шляхом обмеження вихідного сигналу попереднього параметра.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Андрухів О.Я.				Розділ 3	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Осадчук Ю.Г.						32	14
Реценз.								
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЗЕЕМ-22ск		

Аналіз систем автоматичного регулювання показує, що тільки структура підлеглого регулювання задовольняє пропонованим вимогам технологічного процесу.

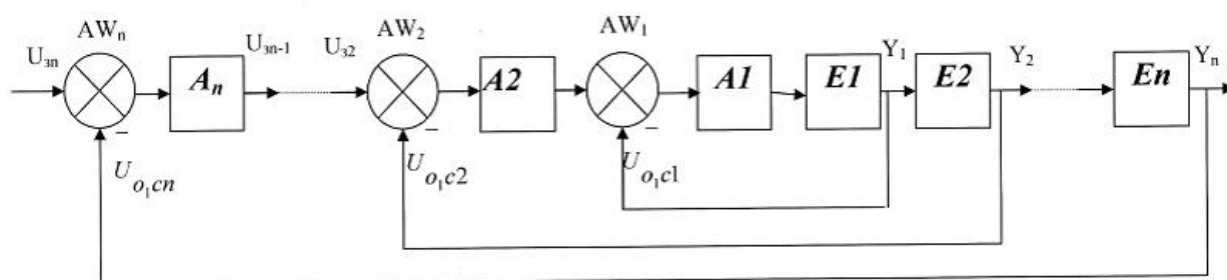


Рисунок 3.1 - Структурна схема системи електропривода підлеглого регулювання

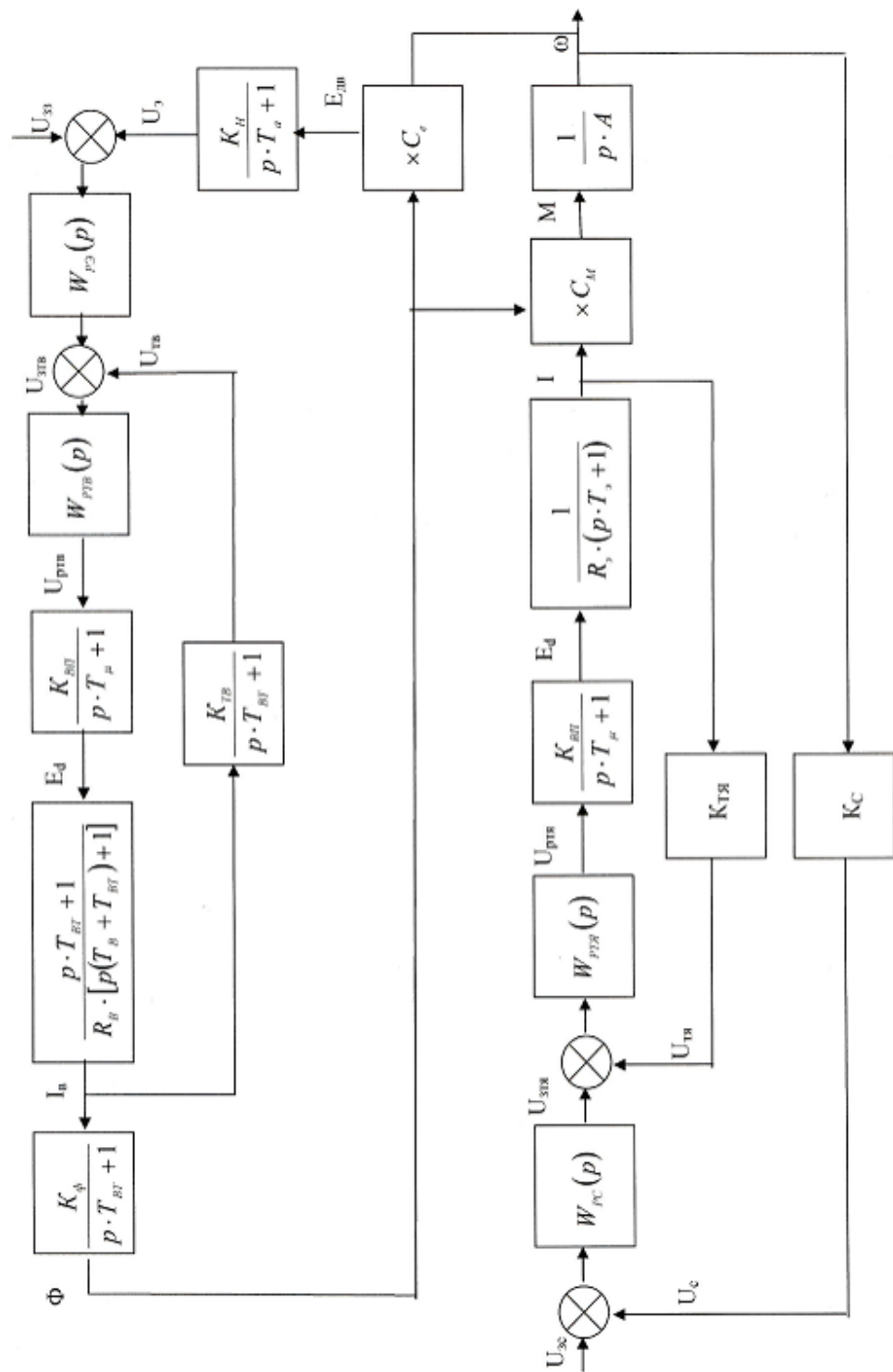


Рисунок 3.2 - Структурна схема САК двозонного регулювання швидкості

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01

Арк.

34

3.2. Розрахунок елементів системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць

Розрахунок параметрів об'єкта регулювання виконуємо відповідно до структурної схеми САК двохзонного регулювання швидкості (рис. 3.3).

Номінальна кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_{11} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 315}{30} = 33 \text{ 1/с}, \quad (3.1)$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{11} = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{1000000}{33} = 30303 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.2)$$

Опір якорного кола

$$R_a = \beta_T (R_{\Sigma} + R_{к.о} + R_{д.л.}) = 1.24 \cdot (0.00331 + 0.002 + 0.001) = 0.0078 \text{ Ом} \quad (3.3)$$

Де $\beta_T = 1 + 0.004\Delta\theta = 1 + 0.004 \cdot 60 = 1.24$ - коефіцієнт, що враховує зміну опору при нагріванні на $\Delta\theta = 60^\circ\text{C}$.

Активний опір трансформатора

$$R_T = \frac{\Delta P_{м.т.}}{I_{дн}^2} = \frac{2800}{2500^2} = 0.000448 \text{ Ом}$$

Активний опір дроселя, що згладжує

$$R_{з.д} = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

Максимальна э.р.с. перетворювача якоря:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$E_{d0я} = 2,34 \cdot U_{2ф} = 2,34 \cdot 237 = 555 \text{ В}; \quad (3.4)$$

е.р.с. збудження

$$E_{d0з} = 2,34 \cdot U_{2ф} = 2,34 \cdot 220 = 514.8 \text{ В}; \quad (3.5)$$

Еквівалентний опір трансформатора, викликаний реактанцем розсіювання

$$R_{\text{СКВ}} = 0.5 \cdot u_k \cdot \frac{E_{d0я}}{I_{dH}} = 0.5 \cdot 0.053 \cdot \frac{555}{2500} = 0,006 \text{ Ом} \quad (3.6)$$

Активний опір головного кола

$$R = R_{\alpha} + R_T + R_{3\phi} + R_{\text{СКВ}} + R_{\text{ШН}} = 0.078 + 0.000448 + 0.0006 + 0.006 + 0.00078 = 0.0156 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

Де $R_{\text{ШН}}$ - опір шин, прийнятий рівним 0,1 Ra

Активний опір кола збудження

$$R_{\beta} = \beta_m \cdot R_{0з} = 1.24 \cdot 3.27 = 4 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

(опором інших ділянок цього кола можна зневажити).

Індуктивність якірного кола

$$L_{\alpha} = c \cdot \frac{U_H \cdot 60}{I_H \cdot 3 \cdot 2\pi n_H} = 0.1 \frac{440 \cdot 60}{2460 \cdot 8 \cdot 3.14 \cdot 315} = 0.135 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.9)$$

Індуктивний опір фази трансформатора, приведений до вторинної обмотки

$$x_T = u_k \cdot \frac{U_{2ф}}{I_{2н}} = u_k \cdot \frac{U_{2ф}}{0.29 \cdot I_{dH}} = 0.053 \cdot \frac{237}{0.29 \cdot 2500} = 0.02 \text{ Ом}$$

Де I_{2n} - номінальний струм вторинної обмотки.

Індуктивність розсіювання трансформатора

$$L_T = 0.5 \cdot \frac{x_T}{\omega_M} = 0.5 \cdot \frac{0.02}{314} = 0.032 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Де ω_M - кутова частота живильної мережі.

Індуктивність головного кола

$$L = L_{\alpha} + 2L_T + L_{\Sigma\phi} = 0.000135 + 0.000032 \cdot 2 + 0.00032 = 0.000519 \text{ Гн} \quad (3.10)$$

Електромагнітна постійна часу якірного кола двигуна

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{0.000135}{0.0078} = 0.017 \text{ с} \quad (3.11)$$

Електромагнітна постійна часу головного кола

$$T_E = \frac{L}{R} = \frac{0.000519}{0.0156} = 0.033 \text{ с} \quad (3.12)$$

Розрахунок параметрів аналогових регуляторів виконаємо відповідно до принципової схеми на рис 3.3.

Задаємося $C_{\text{с.т.я}} = 1 \text{ мкф}$ і знаходимо:

$$R_{\text{о.с.т.я.}} = \frac{T_{\Sigma}}{C_{\text{о.с.т.я.}}} = \frac{0.033}{0.000001} = 33000 \text{ Ом} \quad (3.34)$$

$R_{\text{о.с.т.я.}} = 33 \text{ кОм}$

Приймаємо $a_{\text{с.я}} = 2$, тобто $T_{\text{с.я.}} = 2 T_{\mu} = 0.01 \text{ с}$

Для обраного типу множно-ділильного пристрою

$$U_{м.макс} = U_{д.макс} = U_0 = 10 \text{ В}$$

$$U_{д.мін} = 1 \text{ В}$$

Знаходимо коефіцієнт дільника напруги тахогенератора:

$$K_{д.т.г.} = \frac{U_{м.макс}}{K_{т.г.} \cdot n_{макс}} = \frac{10}{0.22 \cdot 800} = 0.057 \quad (3.37)$$

Визначимо коефіцієнт підсилення підсумовуючого підсилювача по входу «напруги»

$$\frac{R_{о.с.у.}}{R_{II}} = \frac{U_{д.макс}}{K_{д.т.г.} \cdot E_{д.в.п.}} = \frac{10}{0.22 \cdot 442.8} \approx 0.1 \quad (3.38)$$

Приймаємо $U_{м.д.у.макс} = U_{р.шв.макс} = 10 \text{ В}$, тобто $K_u = 0,1$

Задаємося $C_{з.з.т.з} = 2 \text{ мкф}$ і знаходимо

$$R_{з.з.с.з} = \frac{T_{г.} + T_{в.с.}}{C_{о.с.т.в.}} = \frac{1.392 + 0.139}{2 \cdot 10^{-6}} = 766 \text{ кОм} \quad (3.44)$$

Приймаємо $a_{т.з} = 2$, тобто $c_{з.} = 2T_{\mu} = 0.01 \text{ с}$

Визначимо параметр a_3 виходячи з умови одержання перерегулювання е.р.с. не більш 10%.

Час розвантажування приводу до номінальної швидкості при $M_d = M_n$

$$t_H = \frac{\Lambda \cdot n_{II}}{M_{II}} = \frac{149.6 \cdot 315}{30303} = 1.55 \text{ с}$$

$$T_s = T_{т.в.} + T_a = 0.01 + 0.017 = 0.027 \text{ с.}$$

$$\tau_H = \frac{t_H}{T_s} = \frac{1.55}{0.027} = 57.4$$

Де τ_H відношення часу розгону приводу до номінальної швидкості до сумарної некомпенсованої постійної часу контуру е.р.с.

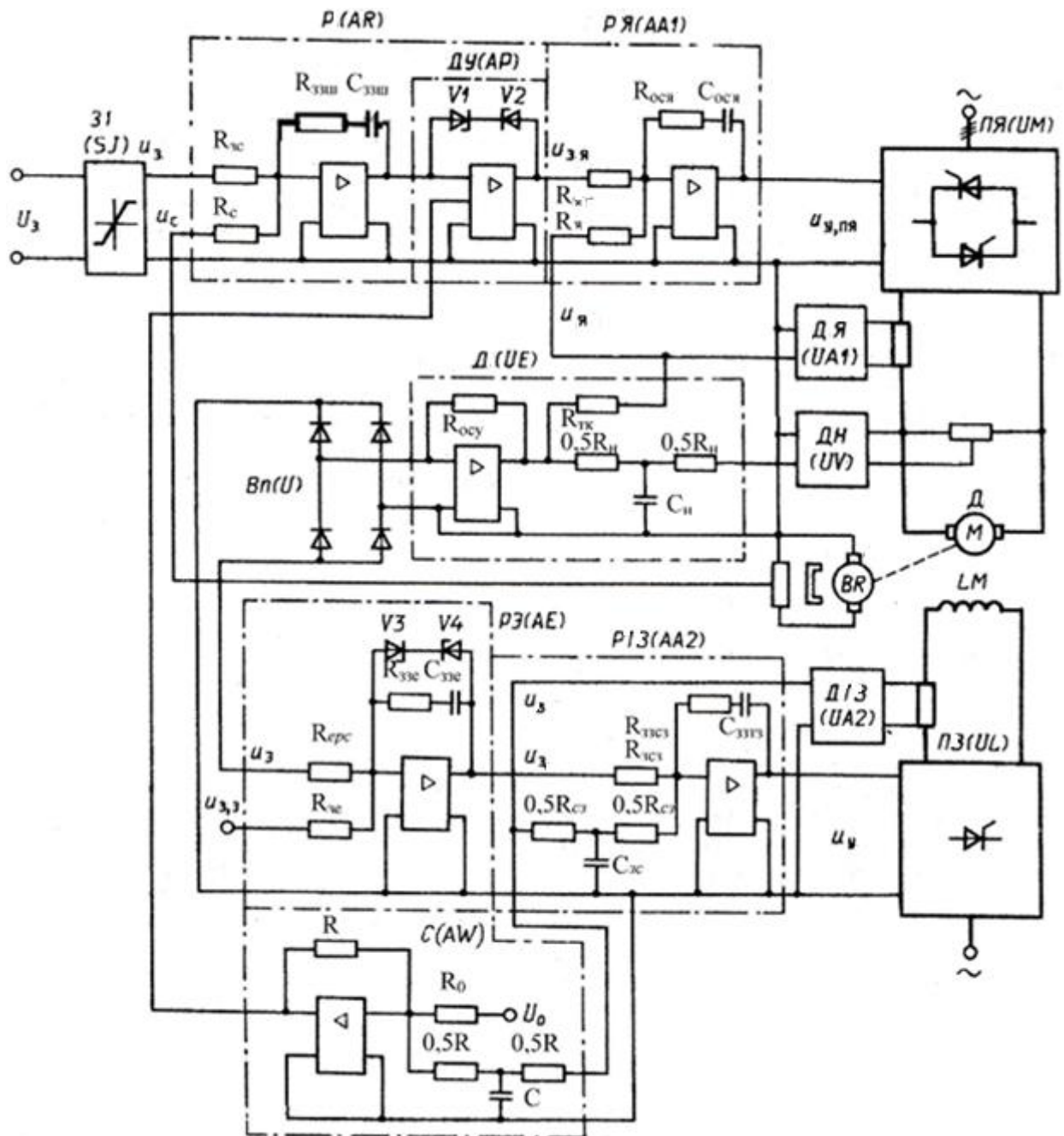


Рисунок 3.3 - принципова схема двозонної САК електроприводу

3.3. Вибір обладнання системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць

Конфігурація контролерів залежить від типу задачі автоматизації і технологічних процесів, керування якими виконується на прокатному стані.

- мікропроцесори 8088, 80186
- обсяг пам'яті центрального процесора до 256 КБ;
- продуктивність до 1*10⁶ оп/з;
- цифрові входи-виходи до 3072;
- аналогові входи-виходи до 192.

Контролери орієнтовані для використання в промисловості:

- температура 0°C - 55°C;
- вологість 15%-95% без

крапель вологи;

- вібростійкий монтаж на стаціонарних невібруючих панелях, стінах тощо [11,59].

3.4. Показники якості системи керування електроприводом важільно-планетарних летючих ножиць

Для оцінки показників якості розробленої системи автоматичного керування виконаємо аналіз динамічних режимів.

Система автоматичного керування швидкістю летючих ножиць виконана по системі тиристорного двозонного регулювання перетворювач-двигун постійного струму за швидкістю.

САК побудована за принципом підлеглого регулювання координат.

Структурна алгоритмічна схема САК приведена на рисунку 3.2.

Схема містить наступні контури регулювання: струму якоря, швидкості, струму збудження і ЕРС.

Передатна функція регулятора струму якоря

$$W_{рся}(p) = \frac{(T_E p + 1) \cdot R_E}{a_c \cdot T_\mu \cdot K_{mn} \cdot K_c \cdot p}$$

Передатна функція регулятора швидкості

$$W_{р,шв}(p) = \frac{(1T_{\mu c} p + 1) \cdot K_{mv} \cdot K_{cm} \cdot T_a}{8(T_{\mu c})^2 \cdot K_{mv} \cdot R_v \cdot p}$$

Передатна функція регулятора ЕРС

$$W_{ре}(p) = \frac{K_{сз}}{a_c \cdot (T_a + T_{vm}) \cdot K_\phi \cdot K_H \cdot p \cdot C_e \cdot \omega_0}$$

По алгоритмічній структурній схемі складаємо модель системи позначеннях MATLAB і заносимо параметри в модель.

Схема моделі представлена на рис.3.4.

Результати моделювання представлені на рисунках: рис.3.5 - перехідний процес у контурі струму якоря; рис.3.6 - перехідний процес у контурі швидкості; рис.3.7 - перехідний процес у контурі струму збудження; рис.3.8 - перехідний процес у контурі ЕРС двигуна.

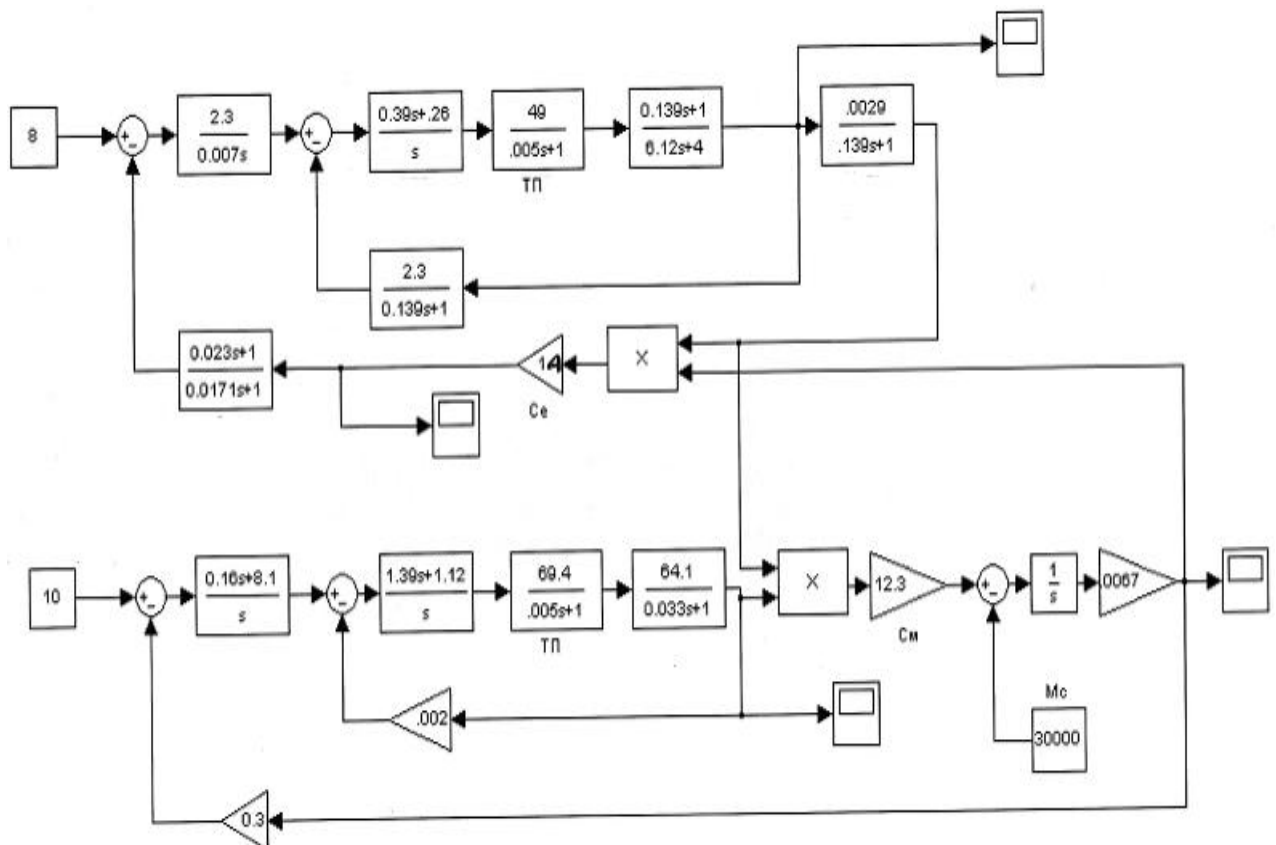


Рисунок 3.4 - Структурна схема моделі САК

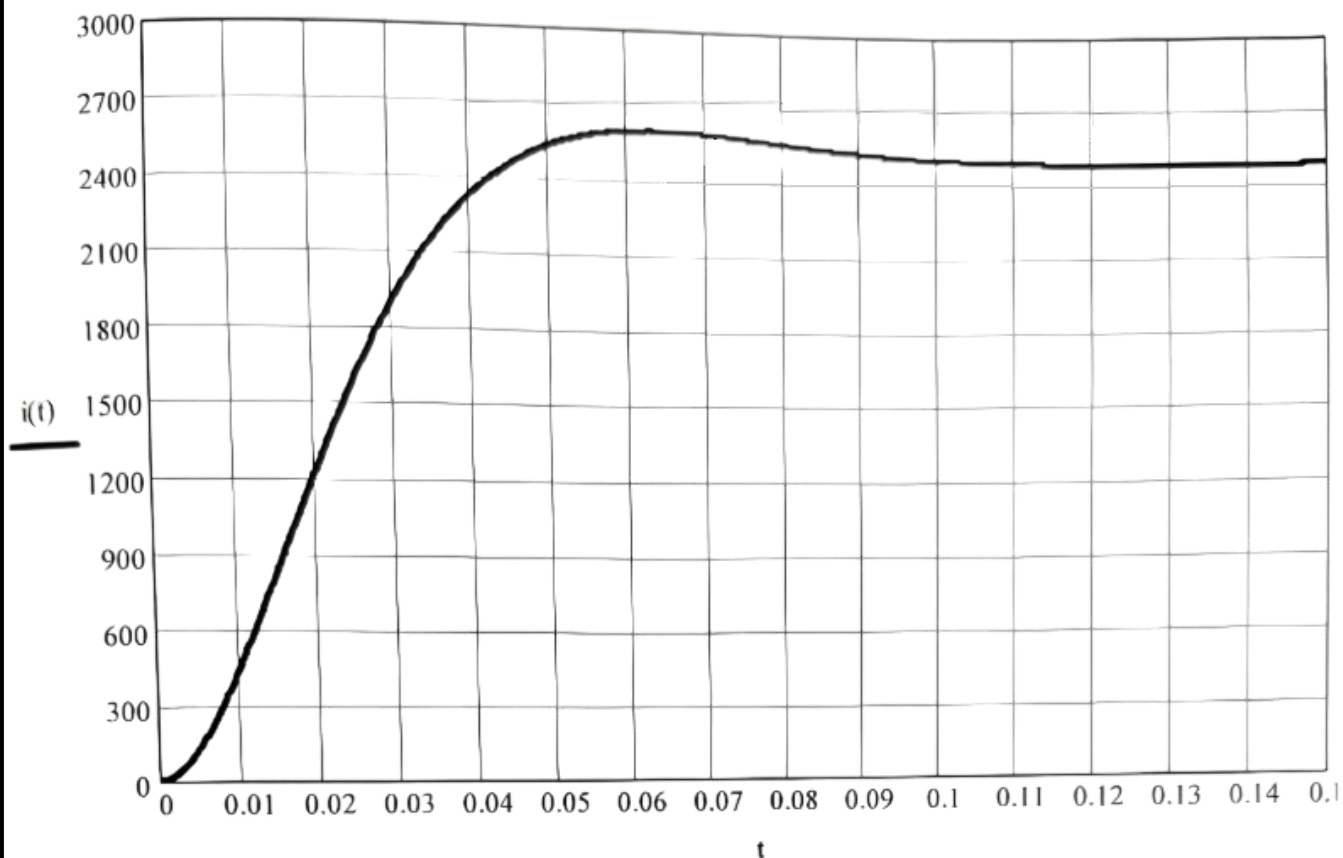


Рисунок 3.5 - Перехідний процес у контурі струму якоря

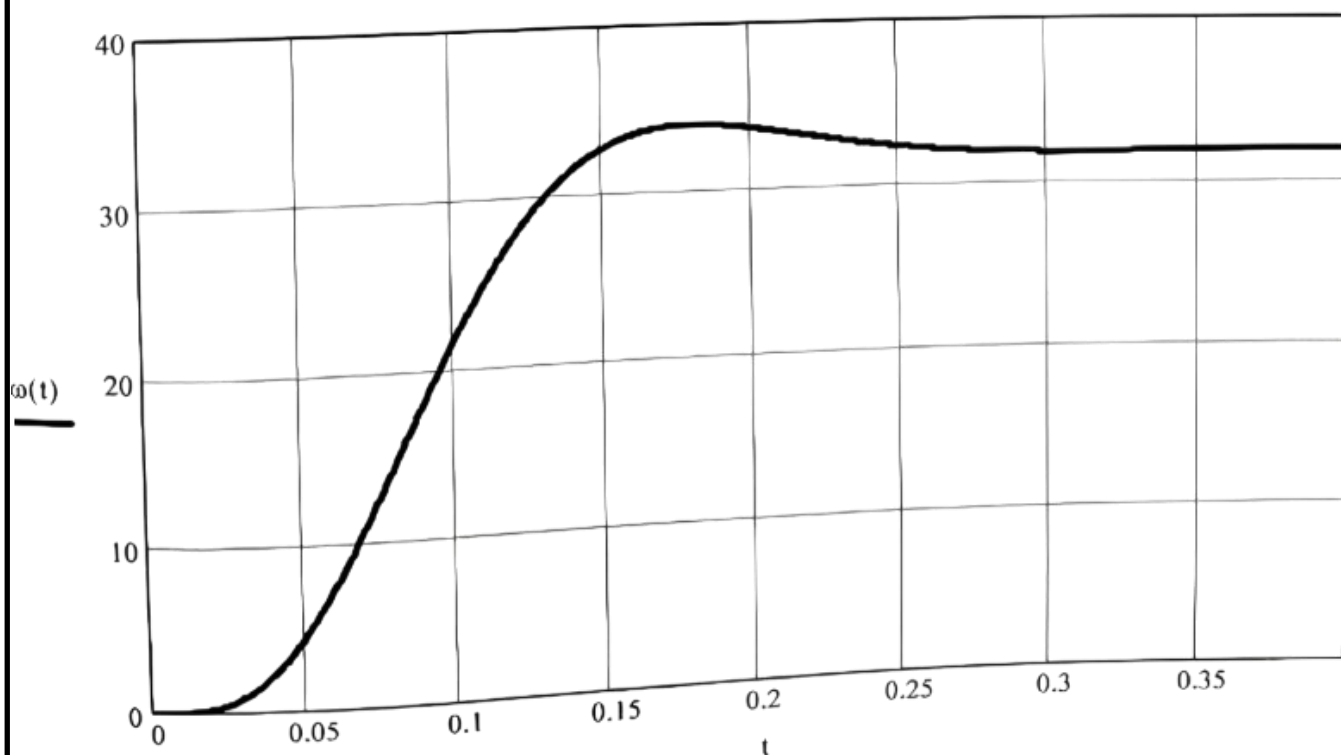


Рисунок 3.6- Перехідний процес у контурі швидкості

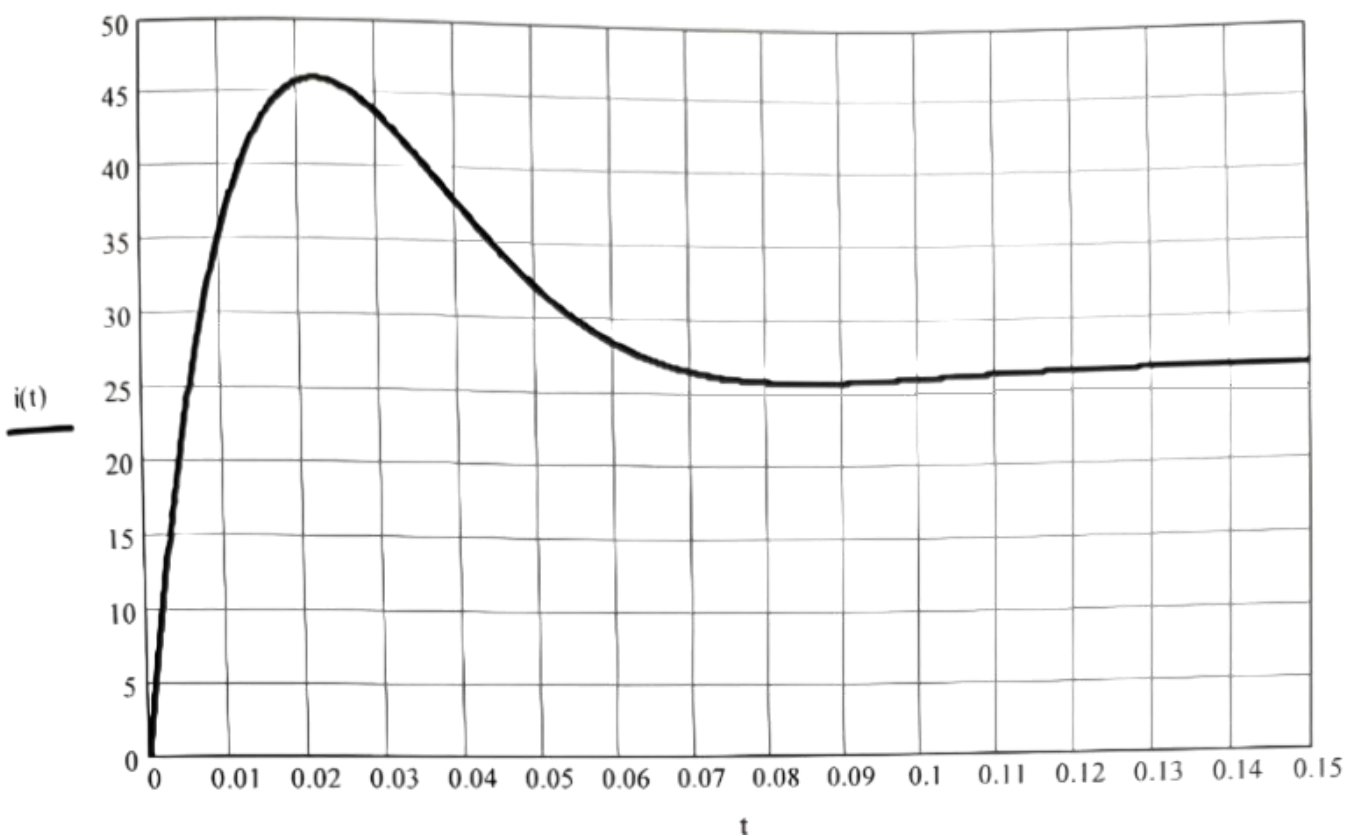


Рисунок 3.7- Перехідний процес у контурі струму збудження двигуна

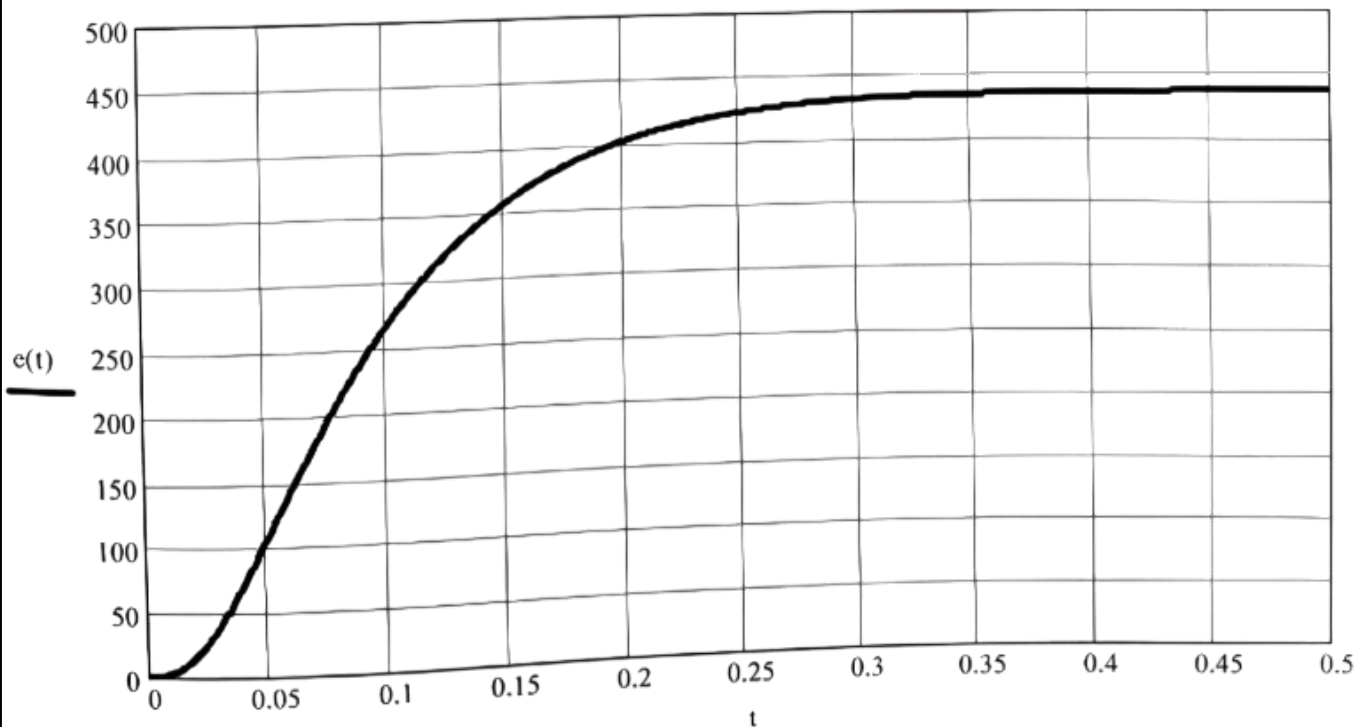


Рисунок 3.8 - Перехідний процес у контурі Е.Р.С. двигуна

У результаті моделювання перехідних процесів для контурів регулювання струму якоря, швидкості, струму збудження і ЕРС двигуна отримані наступні показники якості.

Для контуру струму якоря:

час перехідного процесу $t = 0.09$ с,

Перерегулювання $\sigma = (2620 - 2460) 100 / 2460 = 6.5\%$

Для контуру швидкості:

час перехідного процесу $t = 0.25$ с,

Перерегулювання $\sigma = (34.8 - 33) 100 / 33 = 5.5\%$

Для контуру струму збудження:

час перехідного процесу $t = 0.10$ с,

Перерегулювання $\sigma = (46 - 27) 100 / 27 = 7\%$.

Для контуру Е.Р.С. двигуна:

час перехідного процесу $t = 0.35$ с,

Перерегулювання $\sigma = 0$

Проаналізувавши отримані показники якості можна зробити висновок, що розроблена система автоматичного керування працездатна і відповідає заданим вимогам, пропонованим до систем подібного роду для керування летучими ножицями.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У першому розділі було розглянуто технологічний процес дрібносортового прокатного стану ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» у якому для забезпечення геометричних розмірів готової продукції використовуються летючі ножиці.

Було показано що для ефективної роботи дрібносортового прокатного стану необхідно забезпечити ритмічну роботу механізму розрізання заготовок.

Для ефективної роботи механізму летючих ножиць необхідно скласти систему керування яка буде забезпечувати належне різання металевих заготовок.

Відповідно до технологічного процесу різання металевих заготовок було сформовано вимоги до електроприводу летючих ножиць.

У другому розділі була розглянута електромеханічна частина летючих ножиць дрібносортового прокатного стану.

Було розглянуто особливості електропривода летючих ножиць представлено кінематичну схему та розраховано статичні навантаження.

Були розраховані там обрані елементи що складають електромеханічну систему летючих ножиць.

Так наприклад було обрано електричний двигун там перетворювальний пристрій для можливості регулювання його частоти обертання.

Також за розрахованими статичними навантаженнями було обрано елементи захисту від аварійних режимів роботи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі було розглянуто систему керування електроприводом летючих ножиць дрібносортового прокатного стану.

Було відзначено що важливим елементом системи керування летючими ножицями є можливість забезпечувати стабільну швидкість різання металевих заготовок.

Для цієї мети була застосована система підлеглого регулювання з керуючим контуром швидкості різання металевих заготовок.

Розробка цифрової системи керування швидкістю різання металевих заготовок дозволило усунути недоліки аналогової системи керування.

Також було проведено моделюванням перехідних процесів усіх режимів роботи електроприводу летючих ножиць дрібносортового прокатного стану.

Можна зазначити що з графіків перехідних процесів в режимів роботи електроприводу летючих ножиць дрібносортового прокатного стану можна бачити що система керування поліпшує умови роботи електроприводу летючих ножиць та забезпечує стабільну швидкість різання металевих заготовок в умовах дрібносортового прокатного стану.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.251-01	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		