

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту  
ступінь вищої освіти бакалавр

галузі знань 14 Електрична інженерія

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему Автоматизований електропривод рольгангу для подачі  
та прийому метала у валки кліті «Дуо» прокатного стану 2250

Виконав: студент групи ЕЕ-20дв

Бербеницький С.Р.  
(прізвище, та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник

д.т.н., доц. Руднєв Є. С.  
(прізвище, та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. Руднєв Є. С.  
(прізвище, та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент

доц. Іванов В.Г.  
(прізвище, та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ 2024 р.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії

Кафедра Електричної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
(шифр і назва)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕІ**

д.т.н., доц. Руднєв Є. С.

“      ”      2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Бербеницькому Сергію Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизований електропривод рольгангу для подачі та прийому метала у валки кліті «Дуо» прокатного стану 2250

керівник проекту Руднєв Є. С. д.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «13» 05 2024 р. №191/15.23-С

2. Строк подання студентом проекту 10 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту Технологія роботи. Кінематична схема механізму. Технічні, технологічні та конструктивні дані. Вимоги до електроприводу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Відомості про механізм і вимоги до електроприводу. Розрахунок потужності та вибір електродвигуна. Вибір силової та перетворювальної техніки. Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом. Моделювання системи електроприводу у середовищі MATLAB/Simulink. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Кінематична схема та технічні данні (лист 1). Навантажувальна діаграма та тахограма ЕП (лист 2). Принципова схема силової частини (лист 3). Структурна

схема швидкісної системи підпорядкованого керування ЕП (лист 4). Графіки перехідних процесів (листи 5-6). Функціональна схема контуру регулювання струму у перетворювачі (лист 7). Функціональна схема контуру регулювання швидкості у перетворювачі (лист 8).

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спецрозділи	д.т.н., доц. Руднев Є. С.		
Охорона праці	д.т.н., доц. Руднев Є. С.		

7. Дата видачі завдання 6 травня 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	1 тиждень	
2	Відомості про механізм і вимоги до електроприводу	2 тиждень	
3	Розрахунок потужності та вибір електродвигуна	3 тиждень	
4	Вибір силової та перетворювальної техніки	3-4 тиждень	
5	Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом	4-5 тиждень	
6	Моделювання системи електроприводу у середовищі MATLAB/Simulink	5 тиждень	
7	Розробка заходів з охорони праці	5-6 тиждень	
8	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу дипломного проекту	6 тиждень	

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )

Бербеницький С.Р.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту \_\_\_\_\_  
( підпис )

Руднев Є. С.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить 87 с., 33 рис., 10 табл., 14 джерел.

Об'єкт розрахунку - автоматизований електропривод рольгангу кліті «Дуо» прокатного стану 2250.

Мета проекту – проектування автоматизованого електроприводу рольгангу кліті «Дуо» стану 2250.

У процесі проектування обрано двигун типу ДС-808, перетворювач концерну Siemens типу SIMOREG DC Master 6RM70. Синтезована система підпорядкованого управління, з наступним моделюванням за допомогою ЕОМ. Створено структурну і Simulink-модель швидкісної системи підлеглого керування електроприводом. Розглянуто питання охорони праці та цивільної оборони. Розглянуто питання охорони праці та цивільної оборони. Зроблено конструкторську розробку налаштування перетворювача.

РОЛЬГАНГ, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЕЛЕКТРОПРИВОД,  
СИСТЕМА ПІДПОРЯДКОВАНОГО УПРАВЛІННЯ, КОНТУР СТРУМУ,  
КОНТУР ШВИДКОСТІ, КАПІТАЛЬНІ ВИТРАТИ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 Опис технологічного процесу товстолистого стану 2250.....	8
1.1 Сортамент стану 2250.....	8
1.2 Характеристика товстолистого цеху.....	8
1.3 Опис технологічного процесу товстолистого стану 2250.....	11
1.3.1 Підготовка до роботи та посад слябів.....	11
1.3.2 Технічна характеристика печей.....	12
1.3.3 Прокатка слябів на кліті «Дуо».....	12
1.3.4 Прокатка слябів на кліті «Кварто».....	13
1.3.5 Правка та охолодження листів.....	14
1.3.6 Огляд, розмітка та різання листів.....	15
1.3.7 Додаткова обробка листів на складі та відвантаження.....	16
1.4 Опис конструкції, технічні дані та принцип роботи механізму рольганга кліті «Дуо».....	17
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ РОЛЬГАНГА КЛІТИ «ДУО» СТАНА 2250 .....	20
2.1. Розрахунок статичних моментів.....	21
2.2. Розрахунок динамічних моментів та прискорень.....	24
2.3 Час керування електроприводом.....	28
2.4. Перевірка потужності вибраного електродвигуна за нагріванням.....	34
3 ВИБІР СИЛОВОЇ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ РОЛЬГАНГА КЛІТИ «ДУО».....	36
3.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору силової частини системи та електроприводу.....	36
3.2. Вибір комплектного електропривода.....	39
3.3 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя.....	43
3.4 Опис принципової схеми робочого рольганга.....	44
3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (перетворювача SIMOREG DC Master) .....	44

	6
3.4.2 Резервування перетворювальної техніки .....	44
3.5 Вимоги до системи автоматизації.....	46
4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛЬГАНГУ КЛІТИ «ДУО».....	47
4.1 Математичний опис електроприводу рольгангу .....	47
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу...	48
4.3 Синтез регулятора струму .....	52
4.4 Синтез регулятора швидкості.....	56
4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості.....	60
5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РОЛЬГАНГУ КЛІТИ «ДУО» У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK.....	64
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	75
6.1 Причини виробничого травматизму.....	75
6.2 Шкідливі та небезпечні фактори на робочому місці, їх аналіз.....	76
6.3 Виробнича санітарія.....	79
6.3.1 Мікроклімат у виробничих приміщеннях та склад повітря.....	80
6.3.2 Освітлення на виробництві.....	81
6.3.3 Шум у виробничих приміщеннях.....	82
6.3.4 Виробничі вібрації.....	83
6.3.5 Засоби індивідуального захисту.....	83
ВИСНОВОК .....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	86

## ВСТУП

Рольганги (роликові конвеєри) використовуються для транспортування металу до прокатних станів, для транспортування металу до валків, для зняття металу з валків і для транспортування металу до ножиців, пил, правильних машин та інших механізмів. Роликові конвеєри мають велику загальну довжину. Вага рольгангів а їх сумарна вага досягає до 20-30% загальної ваги машин і устаткування прокатного стану. Рольганги за призначенням поділяються на робочі та транспортувальні. Робочі валки розташовані біля кліті стану і виконують функцію передачі прокату на валки і з валків. Перші валки з правого і лівого боку від валків стану називаються прокатними валками.

Транспортні роликові конвеєри (завантажувальні та розвантажувальні) призначені для з'єднання окремих допоміжних машин і обладнання стану.

Предмет даної розробки відноситься до робочих рольгангів (роликових транспортерів).

Однією з найпоширеніших і наймасовіших систем керування електроприводами на сьогодні є система керування, що базується на принципі підпорядкованого керування. У порівнянні зі звичайними системами, системи підпорядкованого керування працюють швидше, базуються на уніфікованих елементах і простіші в проектуванні та монтажі.

Оскільки частка регульованих електроприводів швидко зростає, а економія матеріальних і трудових ресурсів стає все більш вимогливою, переваги електроприводів все більше оцінюються не тільки з точки зору ефектів, що досягаються в технічній сфері, але і з точки зору витрат, пов'язаних з виробництвом і експлуатацією пристроїв. Тому спостерігається тенденція до поглибленої інтеграції пристроїв керування.

Предметом розробки в даній дипломній роботі є автоматизований електропривод рольгангу для подачі та прийому металу у валки кліті «Дуо» прокатного стану 2250. Вимоги та вихідні дані для проектування електроприводу наведені у відповідному розділі.

# 1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТОВСТОЛИСТОВОГО СТАНУ 2250

## 1.1 Сортамент стану 2250

На товстолистовому стані 2250 прокатується листовий прокат з вуглецевої, конструкційної, низьколегованої та легованої сталі з межею міцності при холодному розтягуванні  $780 \text{ Н/мм}^2$  ( $80 \text{ кгс/мм}^2$ ) [1]:

- Товщина листа - від 4 мм до 25мм;
- Ширина листа - від 1250 мм до 2000 мм;
- Довжина листа - від 2500 мм до 10000 мм (загальна довжина розкату - до 18000 мм).

Розміри листів, допуски, площинність та інші вимоги повинні відповідати вимогам нормативних документів, таких як ДСТУ, технічні умови, іноземні стандарти та контракти.

Форми поставки.

- Форма I - стандартні, складські розміри;
- Форма II - одиниці товщини (тоннажні одиниці) без зазначення розмірів;
- Форма III - кратні розміри (нарізка);
- Форма IV - мірні (за певними розмірами).

## 1.2 Характеристика товстолистового стану 2250

Товстолистовий цех призначений для прокатки листів завтовшки від 4 мм до 25 мм, шириною від 1100 мм до 1300 мм і довжиною до 3 м.

Сировиною для прокатки товстолистового прокату є сляби (металеві заготовки), прокатані на блюмінгу 1250 і такі, що поставляються іншими заводами. Рациональні розміри слябів визначаються залежно від схеми прокатки на кліті «Дуо», та умов нагріву в печі.



Таблиця 1.1 – Сортамент слябів

Товщина, мм	Ширина, мм	Довжина, мм	Маса, кг
105-250	550-1050	1200-1850	550-3800

Перед укладанням слябів у печі особа, відповідальна за передачу сировини, напівфабрикатів і готової продукції, готує документацію у двох примірниках, що містить в собі інформацію щодо якості сталі, номеру плавки, розмірів та кількості, порядок укладання та розташування плит (місце знаходження).

Проводиться підготовка слябів до посаду: сортування за плавкою та розмірами, що знижує ризик затримки технологічного процесу.

Листи подаються на рольганг через приймальний стіл, причому гаряча подача здійснюється за допомогою підхватів, а холодна - переважно за допомогою магнітів. Для плит шириною до 700 мм дві плити одночасно виштовхуються з приймального столу і подаються в піч. Щоб уникнути одностороннього нагрівання роликів, гарячі листи повинні безперервно переміщатися на роликівому конвеєрі. Перед подачею в піч поверхня сляба повинна бути повністю очищена від сміття, шлаку і окалини. Сляби повинні бути розміщені в нагрівальній печі впорядковано і рівномірно у всіх рядах.

Листи розміщуються в нагрівальній печі впорядковано і рівномірно у всіх рядах. Якщо є значні відмінності в товщині або системі нагріву, товстіші листи можуть бути розміщені в одній печі, а тонші - в іншій. Якщо в нагрівальну піч укладають сляби з різних марок сталі з однаковими розмірами, їх слід розділяти слябами зі значно більшими розмірами.

Після нагрівання до необхідної температури сляби подаються подавальними рольгангами до клітей «Дуо» і «Кварто». З кліті «Дуо» сляби прокатуються. Після вивантаження з печі листи транспортуються до валків живильними і робочими роликами і укладаються на валки на найменшій швидкості головного приводу. Перші два проходи виконуються в поздовжньому напрямку сляба. При поздовжній схемі прокатки загальний об'єм прокатки максимально великий (не менше 15-20% від товщини листа), а довжина прокату, отриманого після цих

проходів, не повинна перевищувати 2300 мм, щоб уникнути звуження прокату з обох кінців.

Таблиця 1.1 - Допустимі значення обтиснень слябів під час прокатки на кліті «Дуо» залежно від їхніх розмірів

Товщина сляба перед пропуском, мм	Допустимі обтиски при ширині сляба, мм			
	До 600	650-800	850-1000	1050-1200
200 – 180	80	70	50	45
170 – 150	80	60	45	40
140 – 120	70	50	40	35
115 – 105	60	45	35	30

Після того, як сляб витягнутий у довжину, його задають у валки для отримання заданої товщини (під час поперечної прокатки).

Під час проведення процесу прокатки на кліті «Дуо» – відповідальні особи (оператор та вальцювальник) видаляють окалини з поверхні рулону за допомогою верхнього та нижнього гідравлічних молотів, які розташовуються по задній часті кліті «Дуо».

Наступним етапом починається прокатка листів на чистовій кліті «Кварто».

Прокатка проводиться:

- вздовж осі валка;
- зі швидкістю не більше 4,2 рад/с (40 об/хв);
- проводиться центрування маніпуляторами.

Після процесу прокатки готовий виріб по рольгангу транспортується у правильну машину для гарячої правки у РПМ-1 та РПМ-2.

Процес охолодження проводиться за допомогою вентиляторів та розпиленням води. Періодично проводиться замір товщини листів.

Потім лист транспортується на ділянку різання, де краї листа обрізуються і розкрояються до потрібної довжини. Після розрізання дисковими, кромко обрізними та гільйотинними ножицями листи транспортуються на стелаж

доставки. На приймальному стелажі оглядається верхня поверхня листа, видаляються дефекти, перевіряються геометричні розміри і лист штампується, маркується і приймається відділом технічного контролю. Листи, зняті зі стелажів, складаються в штабелі на складі для обробки листів, а коли вагони прибувають до цеху, їх завантажують і відправляють замовнику за призначенням.

### **1.3 Опис технологічного процесу товстолистого стану 2250**

#### **1.3.1 Підготовка до роботи та посад слябів**

Ділянка, де обробляються та складуються сляби оснащені двома кранами:

- 10-ти тонний мостовий кран з підхватом та магнітом;
- 20-ти тонний кран з електромагнітом та візком, котрим обертається.

Крани потрібні для подачі слябів до пічного рольгангу.

Під час підготовки слябів до завантаження в нагрівальну піч сляби сортуються відповідно до виробничої лінії і укладаються в однакові штабелі, щоб уникнути змішування і затримок під час завантаження. Порядок завантаження слябів у піч визначається послідовністю прокатки, яка повинна забезпечити максимальну ефективність і високу якість продукції протягом усього технологічного процесу, а також уникнути аварій і затримок. Товстолистий прокат завантажується в зону зварювання, коли прокатний стан зупиняється для технічного обслуговування або планового ремонту. Перед зупинкою прокатного стану (печі) для планового технічного обслуговування піч повинна бути звільнена від слябів.

Через приймальні столи на завантажувальний рольганг заготовки подаються або магнітами (при холодному посаді) або за допомогою підхватів. Сляби до 700 мм по 2 штуки одночасно подаються у піч, переміщаючись по рольгангу безперервно, щоб зупинка не призвела до перегріву роликів. Саме під час переміщення спеціалісти - контролери виявляють дефекти. Виявлені під час перевірки листи з дефектами повинні підлягати обробці.

Посадка слябів:

- видалення сміття, шлаки; окалини;
- вкладання слябів у піч строго з визначеним порядком;
- сортування за товщиною;
- сортування за марками сталі.

### 1.3.2 Технічна характеристика печей

- Тип - нижній підігрів, завантаження / вивантаження-торцеве;
- паливо: коксо - доменне з теплотою згоряння від 2100 ккал/м<sup>3</sup> до 2300 ккал/м<sup>3</sup> (резервне паливо: коксоприродне з теплотою згоряння від 2300 ккал/м<sup>3</sup> до 2450 ккал/м<sup>3</sup>);
- режим роботи – безперервний;
- режим видалення накипу – сухий;
- залежності від кількості годин часу простою температуру нагріву в зоні печі знижують від 20°C до 100°C.

### 1.3.3 Прокатка слябів на кліті «Дуо»

Сляб, який вийшов із печі по рольгангам приймальному та робочому надається до валків на найменших обертах та по ходу центрується. По-перше сляби центруються по довжині, щоб:

- вилучити залишки окалини;
- для зменшення вигину плити вниз під час другого проходу і для полегшення вигину (обертання) плити.

Після поздовжнього лист повертається (кантується) за допомогою конічних валків, центрується і подається на валки для розбивки ширини при поздовжній прокатці і для отримання заданої товщини рулону при поперечній прокатці. Товщина прокату, що транспортуються до чистової кліті «Кварто», визначається товщиною листа, розмірами листа, швидкістю прокатки та іншими факторами, які наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Товщина прокату, що транспортується до чистової кліті

Товщина листа, мм	4	5	6	7-9	10-25
Товщина розкату, мм	13-14	15-20	20-25	25-30	30-60

При прокатці на кліті «Дуо» поверхня листа повинна бути повністю очищена від окалини з печі за допомогою гідравлічних молотів, розташованих за кліттю.

#### 1.3.4. Прокатка слябів на кліті «Кварто»

У будь-якому окремому випадках швидкість прокатки повинна бути відрегульована таким чином, щоб лист залишався на проміжних валках не більше 5-10 секунд.

При прокатці товстого листа з низьколегованих сталей та інших марок сталі, де температура кінця прокатки обмежена, допускається прокатка в три розкати з більш тривалим часом перебування на проміжних валках. У цьому випадку повинні бути вжиті заходи, що виключають затримку валків на проміжних валках, щоб уникнути нагрівання валків і листа. Швидкість обертання валків не повинна перевищувати 40 об/хв строго уздовж осі валка. На чистовій кліті лист повинен прокатуватися точно по центру рольганга, для чого їх центрують на всіх проходах за допомогою маніпуляторів з обох боків кліті. Центрування повинно виконуватися без затримок, щоб уникнути тривалих періодів, коли валки не рухаються, і щоб запобігти локальному охолодженню валків.

Маса листа після проведення обтисків для зменшення хвилястості кромки та різної товщини розраховується за формулою:

$$m_{\text{сл}} = H_{\text{ср}} \cdot B \cdot L \cdot \gamma, \quad (1.1)$$

де:  $H_{\text{ср}}$  - середня товщина листа, м;

$B$  - номінальна ширина листа, м;

$L$  - номінальна довжина листа, м;

$\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3$  - питома маса сталі.

Середня товщина листа  $H_{\text{cp}}$  розраховується в залежності від величини виробітку:

$$H_{\text{cp}} = \frac{2 \cdot H_{\text{max}} \frac{H_1 + H_2}{2}}{3} \quad (1.2)$$

де  $H_{\text{max}}$  - максимальна товщина листа посередині, м;

$H_1$  - товщина листа по одній кромці, м;

$H_2$  - товщина листа по іншій кромці, мм.

Після першого проходу температура на початку прокатки листа в чистовій кліті становить не менше:

- 960 °С - для розкатів товщиною до 20 мм (лист від 4мм до 5 мм);
- 980 °С - для розкатів товщиною від 20 мм до 30 мм (сляб від 6мм до 9 мм);
- 1000 °С - для розкатів товщиною понад 30 мм.

Наприкінці прокатки листів чистової кліті, тобто перед останнім проходом, температура не повинна бути нижче 720 °С.

### 1.3.5 Правка та охолодження листів

Листоправильна машина № 1:

- правка листів товщиною від 5мм до 25 мм - температура від 600 °С до 800 °С;
- правка листів товщиною від 2мм до 12 мм – до 600 °С;
- кількість робочих валків-7;
- швидкість правки-0,5 м/с.;
- швидкість траверси-0,0013м/с.
- охолодження опорних і робочих роликів забезпечується подачею води через отвори, просвердлені в роликах.

### Листоправильна машина № 2

- правка листів товщиною від 5мм до 12 мм, шириною від 100мм до 1900 мм - температура правки від 700°C до 800 °C;
- правка листів товщиною від 2мм до 12 мм – до 600 °C;
- кількість робочих валків-9;
- швидкість правки - 0,5 – 0.1 м/с.;

Забороняється подавати в правильну машину :

1. листи, що мають загнутий передній кінець;
2. листи, що мають підігнутий нерівний торець;
3. листи с забрудненою поверхнею.

Листи охолоджуються окремо, коли вони транспортуються транспортними роликками та передавальними шлеперами. Охолодження має бути рівномірним, а листи повинні перебувати в постійному русі. На транспортному роликовому конвеєрі перед контрольним столом листи можна охолоджувати за допомогою вентилятора з водяним розпилювачем.

Не допускається накладання листів один на інший під час руху їх рольгангами. Це пов'язано з тим, що кожна секція має різну швидкість охолодження, що може призвести до значних відмінностей у властивостях листів по довжині.

#### 1.3.6 Огляд, розмітка та різання листів

Під час проходження по транспортному рольгангу лист підлягає огляду відповідальною особою відділу технічного контролю на наявність дефектів. Якщо дефекти відсутні, то лист кантується та відправляється на стелажі для подальшого огляду і нанесення маркувань: номер плавки, марка сталі, номер позиції, номер сляба (за потреби).

Перед тим як почати процес різання листів потрібно перевірити стан налаштування ножиців, ножі повинні мати однаковий ріжучий діаметр відхилення 1 мм. Температура листів під час різання повинна бути в межах від 250°C до 300 °C, щоб не перебувати в межах «синьоламкості». Для зниження температури

листа дозволяється його охолодження водою або вентиляторами з водою. Обрізки після різання листів збирається окремо у короба (мульди) та відвантажуються у вагони у першій секції стану. Листи, які були виготовлені з порушенням режиму (температура була нижчою) повинні перевірятися окремо кожен лист.

Після остаточного обрізу і вирізання проб на кожен лист наноситься клеймо (включно) незалежно від розміру, якості поверхні (в тому числі другого сорту, браку і відходів, що направляються на додаткове різання, зачистку і обрізку).

Наприкінці цього етапу штампувальною машиною наносять штамп ВТК, номер інструменту, торгову марку виробника, марку сталі, номер плавки, номер партії тощо на передній кромці кожного листа. Після процесу розрізання за довжиною листи розподіляються по трьох стелажах до 900 мм, а більші проходять транспортування по ланцюгових доріжках одночасно по двом секціям.

На стелажах перевіряють на чіткість і точність штампування, а листи маркують - із зазначенням марки сталі, номера плавки, розмірів листа і номера партії (листа) під машинним штампом. На листах, що випробовуються, проставляється нумерація.

На стелажах видачі оглядають верхню поверхню листа, зачищають дефекти абразивом, перевіряють розміри, наносять маркування і приймають лист працівники ВТК. Листи з дефектами, в тому числі листи нестандартних розмірів, що вимагають виправлення і різання в розмір, направляються на стелажі видачі пересувними шліфувальними машинами за умови, що глибина дефектів не перевищує допусків, зазначених у стандарті або технічних умовах. Приймається листовий прокат партіями, що складаються з однієї плавки, марки сталі, товщини листа, режиму прокатки і термічної обробки. Кожна партія супроводжується сертифікатом якості, який містить додаткові вказівки ГОСТ і вимоги до постачання цієї продукції.

### 1.3.7 Додаткова обробка листів на складі та відвантаження

Листи, що мають дефекти та відхилення (хвилястість кромки, коробоватість, відхилення по площині, вгнутість, механічні пошкодження) направляються у



відділення холодної виправки на РПМ № 3.4. У РПМ проводиться до обробка: обрізка, термообробка, виправлення та вирізка дефективних ділянок прокату малих розмірів та оброблення проб.

Увесь металопрокат розташовується на стелажах видачі. Усі листи з одної партії та одного замовлення зазвичай прибирають кількістю місткості вагона за допомогою магнітних кранів.

Увесь листовий металопрокат з товщиною від 4 мм до 10 мм, який поставляється замовнику на експорт проходить пакування по 5000 кг (якщо не оговорено інше).

Обв'язку проводять металевою стрічкою до 2 мм завтовшки та шириною до 30 мм. Після проведення перевірки та заповнення усієї документації металопрокат поставляється замовнику.

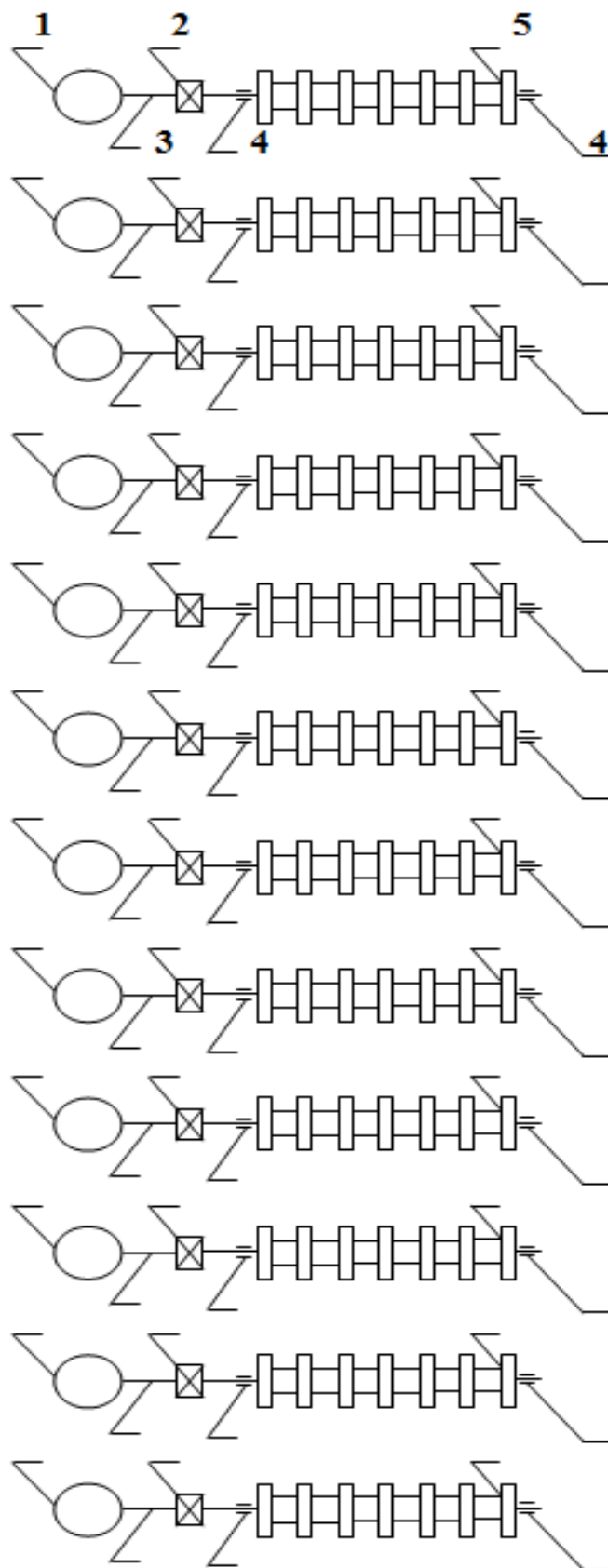
#### **1.4 Опис конструкції, технічні дані та принцип роботи механізму рольганга кліті «Дуо».**

Рольганг робочий перед кліттю «Дуо» призначений для подачі прокату в кліть у непарних пропусках і приймання розкату з кліті після обтискання кліттю в парних пропусках. Рольганг робочий за кліттю «Дуо» призначений для приймання розкату з кліті після здійснення прокатки в непарних пропусках і для подачі розкату в кліть, з подальшим обтисненням його по висоті в парних пропусках. Робота рольгангів узгоджується за швидкістю і напрямком обертання з роботою головного приводу і станинних роликів кліті «Дуо» (вхідна і вихідна сторони). Кінематична схема рольганга кліті «Дуо» представлена на рисунку 1.1. Рольганг складається з 12 ребристих роликів. Привід рольганга - індивідуальний від двигуна типу ДС-808 ( $P_n = 10$  кВт;  $n_n = 180$  об/хв;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 60$  А;  $R_n = 0,33$  Ом).

Рольганг має маніпуляторні лінійки, які призначені для центрування сляба (розкату) за поздовжньою віссю прокатки.

Таблиця 1.3 – Технічні дані рольганга

Найменування технічного параметра	Позначення	Одиниці вимірювання	Числове значення
1	2	3	4
Діаметр бочки ролика	$d_{p,cp}$	мм	406
Довжина бочки ролика	$l_p$	мм	2240
Діаметр шейки ролика (D цапфи підшипника )	$d_{ш}$	мм	120
Маса одного ролика	$m_p$	кг	880
Кількість роликів	$n_p$	шт	12
Крок роликів	$l_{ш}$	мм	750
Довжина рольганга	$L_p$	м	8,25
Швидкість транспортування розкату	$V_{пр}$	м/с	2,5



1 – електричний двигун типу ДС-808; 2 – сполучна муфта типу МЗ-3 (зубчаста);  
 3 - промисловий вал (промвал); 4 - підшипник; 5 - ребристий ролик.

Рисунок 1.1 – Кінематична схема механізму рольганга

## 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ РОЛЬГАНГА КЛІТИ СТАНА 2250

Станом на сьогоднішній день встановлені двигуни постійного струму типу ДС-808 як приводні електроприводу рольганга кліти «Дуо» товстолистового стану 2250 з технічними даними, наведеними в табл. 2.1.

Рольганг вміщує в собі 12 ребристих роликів. Привід роликів є індивідуальним, без редукторний. Перевіримо, чи є можливість роботи рольганга за допомогою наявного електродвигуна. Початкові дані, необхідні для подальших розрахунків, наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні дані електродвигуна постійного струму типу ДС-808

Найменування параметрів, кВт	Числове значення
Номінальна потужність, кВт	$P_n = 10$
Номінальна напруга, В	$U_n = 220$
Номінальний струм, А	$I_n = 60$
Номінальна частота обертання, об/хв	$n_n = 180$
Каталожна тривалість увімкнення, %	ПВ = 100
Максимальний струм перевантаження (короткочасний), А	$I_{max} = 180$
Число пар полюсів	$2p = 4$
Момент інерції якоря, кг·м <sup>2</sup>	$J_{дв} = 2$

Двигуни обладнані датчиками швидкості. Використання за способом охолодження – продувні.

Розглянемо сляб 180мм × 850мм x 1280 мм, сталь 09Г2, температура 1220-900 °С)

Таблиця 2.2 - Режим прокатки листів 8мм×1500мм×12000 мм

№ п/п	Товщина листа $h$ , мм	Ширина листа $b$ , мм	Довжина листа $L$ , мм	Швидкість прокатки $V_{пр}$ , м/с
1	140	1650	850	2,5
2	115	1650	1032	2,5
3	89	1650	1334	2,5
4	67	1650	1772	2,5
5	50	1650	2374	2,5
6	38	1650	3123	2,5
7	30	1650	3956	2,5

Вихідні технічні дані механізму рольганга наведено у табл. 1.2.

### 2.1 Розрахунок статичних моментів

За час роботи рольганга його електродвигуни піддаються навантаженню статичними моментами різної величини. Під час розрахунків виділяють такі основні статичні моменти: момент холостого ходу, момент транспортування металу по роликах, момент буксувань роликів по металу, що транспортується. Обчислення ведеться для індивідуального, без редукторного електроприводу[1-3].  
Час холостого ходу на приводному валу ролика:

$$M_{x.p} = \frac{9,81m_p d_{ш} \mu_{ш}}{2} = \frac{9,81 \cdot 880 \cdot 0,12 \cdot 0,007}{2} = 3,63 \text{ Нм}, \quad (2.1)$$

де  $m_p = 880 \text{ кг}$  - маса одного ролика;

$d_{ш} = 0,12 \text{ м}$  - діаметр шийки ролика (діаметр цапфи підшипника);

$\mu_{ш} = 0,007$  - коефіцієнт тертя в підшипниках ковзання ролика під впливом високих температур металу, що транспортується [1, табл. 5.3].

Під час визначення холостого ходу необхідно також враховувати втрати в електродвигуні. Момент холостого ходу електродвигуна:

$$M_{x.p} = \frac{9,81m_p d_{ш} \mu_{ш}}{2} = \frac{9,81 \cdot 880 \cdot 0,12 \cdot 0,007}{2} = 3,63 \text{ Нм} \quad (2.1)$$

де  $M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{10 \cdot 10^3}{18,85} = 530,5 \text{ Нм}$  - номінальний момент електродвигуна;

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 180}{30} = 18,85 \text{ 1/с} - \text{ номінальна швидкість електродвигуна.}$$

Таким чином, повний момент холостого ходу рольганга:

$$M_x = M_{x.p} + M_{x.d} = 3,63 + 37,14 = 40,77 \text{ Нм}, \quad (2.3)$$

Момент транспортування металу по роликах:

$$\begin{aligned} M_{тр} &= 9,81m_m \left( \frac{d_{ш}}{2} \mu_{ш} + f \cdot 10^{-2} \right) = \\ &= 9,81 \cdot 771 \cdot \left( \frac{0,12}{2} 0,007 + 0,15 \cdot 10^{-2} \right) = 14,5 \text{ Нм} \end{aligned} \quad (2.4)$$

де  $m_m = 0,5 \cdot m_{сл} = 0,5 \cdot 1542 = 771 \text{ кг}$  - маса металу, що припадає на один ролик рольганга, кг;

$m_{сл} = 1542 \text{ кг}$  - маса сляба розраховується з ширини, ширини і довжини сляба (щільність сталі  $7850 \text{ кг/м}^3$ );

$f = 0,15 \text{ см}$  - коефіцієнт тертя перекату гарячого металу по роликах [1, с. 88].

Для рольгангів із груповим електроприводом величина як правило дорівнює масі злитка . Однак для рольгангів з індивідуальним електроприводом або з груповим електроприводом, але за довгих смуг транспортованого металу, розмір має дещо невизначене значення, тому що залежить від кількості спільних точок дотику металу з роликками рольганга. При цьому суттєвим є ступінь кривизни металу, що прокатується, точність установки рольганга за рівнем і т.д. Зміна величини має велике значення, оскільки визначає статичне навантаження на

електродвигун. У таблиці 2.3 подано значення відносної маси металу, що припадає на один ролик рольганга з індивідуальним електроприводом. Ці дані може бути використано як під час визначення моменту транспортування, так і під час розрахунку моменту буксування[1-3].

Таблиця 2.3 - Розрахункові значення частки маса металу, що приходить на один ролик рольганга

Характеристика розкату	Частка маси $k = m_m / m_{сл}$
Розкат перерізом понад 1000 мм <sup>2</sup> і довжиною менше трьох кроків роликів	0,75
Смуги перерізом понад 2000 мм <sup>2</sup> і довжиною понад три кроки роликів	0,5
Смуги перерізом понад 2000 мм <sup>2</sup> і довжиною понад чотири кроки роликів	0,3
Тонкі смуги та дрібно сортний прокат завдовжки понад дев'ять кроків роликів	Маса металу на довжині потрібного кроку роликів

Повний статичний момент під час транспортування металу рольгангом і за відсутності буксування та додаткових опорів [4]:

$$M_{c.t} = M_x + M_{тр} = 40,77 + 14,5 = 55,3 \text{ Нм} \quad (2.5)$$

Двигуни рольгангів біля клітей реверсивних станів, рольганги біля нереверсивних клітей, рольганги біля упору ножиць і пилок для розрізання прокату мають забезпечити момент, який є достатнім для пробуксування роликів об метал:

$$M_6 = \frac{9,81 m_m d_p \mu_6}{2} = \frac{9,81 \cdot 771 \cdot 0,406 \cdot 0,3}{2} = 920,8 \text{ Нм}, \quad (2.6)$$

де  $d_p = 0,406 \text{ м}$  - середній діаметр ролика;

$\mu_6 = 0,3$  - коефіцієнт тертя при буксуванні [1, табл. 4.2].

Повний момент статичного опору під час буксування:

$$M_{сб} = M_x + M_6 = 40,77 + 920,8 = 961,6. \quad (2.7)$$

## 2.2 Розрахунок динамічних моментів та прискорень

Через буксування розкату по роликах не можливо розігнати розкат із ще більшим прискоренням, ніж максимально допустиме його прискорення. Покажемо це з теоретичної точки зору.

Для розгону розкату потрібно подолати силу інерції. Величина сили інерції, що приходить на один ролик, становить:

$$F_{ін} = m_m a, \quad (2.8)$$

де  $a$  - лінійне прискорення розкату.  $F_{ін}$

Сила інерції не може бути більше сили буксування.  $F_{ін} \leq F_6$ . Тоді маємо:

$$m_m a \leq G_m \mu_6, \quad (2.9)$$

Тому як  $G_m = m_m g$ , де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ , то із формули (2.9) отримаємо вираз для визначення найбільш максимального пришвидшення розкату на рольгангу:

$$a \leq g \mu_6, \quad (2.10)$$

З останнього виразу випливає, що максимально можливе пришвидшення розкату на рольгангу визначають за коефіцієнтом тертя під час буксування  $\mu_6$ . Приймаючи  $\mu_6 = 0,15 \div 0,3$ , отримуємо  $a \leq 1,47 \div 2,94 \text{ м/с}^2$ . Більше значення прискорення відповідає гарячому металу, менше - холодному [1, 2].

Момент електродвигуна, що відповідає максимально можливому пришвидшенню розкочування, називають гранично - виправданим моментом. Якщо момент електродвигуна перевищує гранично - виправданий момент, то відбувається буксування, внаслідок чого погіршується якість поверхні розкочування, підвищується знос роликів, але збільшення прискорення розкочування не відбувається. Через те, що буксування можливе як під час



розгону (прискорення), так і під час гальмування (сповільнення), то мають місце два гранично-виправдані моменти - під час розгону і під час гальмування.

Отримаємо вираз гранично-виправданого моменту електродвигуна під час розгону (прискорення) ролика рольганга:

$$M_{\text{г.в.м}} = M_{\text{дин}} + M_{\text{с.т}_i}, \quad (2.11)$$

де  $M_{\text{дин}}$  - динамічний момент, що необхідний для прискорення роботи механізму і розкату з гранично - виправданим прискоренням;

$M_{\text{с.т}_i}$  - повний статичний момент при транспортуванні металу по рольгангу і за відсутності буксування і додаткових опорів.

Динамічний момент на валу електродвигуна дорівнює:

$$M_{\text{дин}} = J'_{\Sigma} \frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt}, \quad (2.12)$$

де  $J'_{\Sigma}$  - сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції злитка, що транспортують), приведений до валу електричного двигуна;

$\frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt}$  - кутове прискорення електродвигуна.

Визначимо кутове прискорення електродвигуна через лінійне прискорення розкату,

$$\frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt} = \frac{d\omega_{\text{р}}}{dt} i = \frac{2i}{d_{\text{р}}} \frac{dV}{dt}, \quad (2.13)$$

де  $\omega_{\text{р}}$  - кутова швидкість ролика,  $1/c$ ;

$i$  - передавальне число редуктора рольганга, далі опускається, тому що електропривод не має редуктору;

$d_{\text{р}}$  - діаметр ролика, м;

$a = \frac{dV}{dt}$  - лінійне прискорення металу на рольгангу,  $m/c^2$ .

Сумарний момент інерції наведемо як суму моменту інерції механізму  $J_{\text{мех}}$  і моменту інерції  $J_{\text{м}}$  розкату, який було отримано за допомогою еквівалентного приведення поступального до обертального руху:

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{мех}} + J_{\text{м}}. \quad (2.14)$$

Підведення поступального руху до обертального руху відбувається на підставі закону збереження енергії, а саме - кінетична енергія в обох випадках має бути однаковою. У зв'язку з цим запишемо:

$$\frac{m_{\text{м}} V_{\text{м}}^2}{2} = \frac{J_{\text{м}} \omega_{\text{дв}}^2}{2}, \quad (2.15)$$

звідки знаходимо

$$J_{\text{м}} = m_{\text{м}} \frac{V_{\text{м}}^2}{\omega_{\text{дв}}^2}. \quad (2.16)$$

Заміняючи замість лінійної швидкості металу її вираз через частоту обертання електродвигуна  $V_{\text{м}} = \frac{\omega_{\text{дв}} d_{\text{р}}}{2}$ , матимемо момент інерції злитка, що транспортують, приведений до валу електродвигуна.

$$J_{\text{м}} = m_{\text{м}} \frac{d_{\text{р}}^2}{4} = 771 \frac{0,406^2}{4} = 31,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.17)$$

Беручи максимально можливе значення лінійного прискорення (2.10), з урахуванням (2.13), (2.14) і (2.17) з (2.12) одержуємо наступний вираз для визначення динамічного моменту на валу електродвигуна:

$$M_{\text{дин}} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_{\text{р}}} J'_{\Sigma}, \quad (2.18)$$

де  $J'_{\Sigma}$  - сукупний момент інерції (з урахуванням моменту інерції транспортованого злитка), що приведений до валу електричного двигуна.

Момент інерції механізму дорівнює:

$$J_{\text{мех}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} = 2 + 18,13 = 20,13 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.19)$$

де  $J_{\text{дв}} = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції двигуна (див. табл. 2.1);

$$J_{\text{р}} = m_{\text{р}} \frac{d_{\text{р}}^2}{8} = 880 \frac{0,406^2}{8} = 18,13 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент інерції ролика};$$

$m_{\text{р}} = 880 \text{ кг}$  - маса одного ролика.

Сумарний момент інерції системи "двигун-ролик-метал":

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}} = J_{\text{мех}} + J_{\text{м}} = 20,13 + 31,75 = 51,88 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.20)$$

Якщо максимальне прискорення визначають виразом (2.10), то це означає, що для гранично-виправданого моменту під час розгону (прискорення) вираз (2.11) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} M_{\text{г.в.м}} &= (J_{\text{мех}} + J_{\text{м}}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} + M_{\text{с.т}} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} J'_{\Sigma} + M_{\text{с.т}} = \\ &= \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{0,406} 51,88 + 55,3 = 807,5 \text{ Нм} = 1,52 M_{\text{н}} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Для гальмування (уповільнення) вираз гранично-виправданого моменту матиме вигляд:

$$M_{\text{г.в.м}} = M_{\text{дін}} - M_{\text{с.т}}, \quad (2.22)$$

або

$$\begin{aligned} M_{\text{г.в.м}} &= (J_{\text{мех}} + J_{\text{м}}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} - M_{\text{с.т}} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} J'_{\Sigma} + M_{\text{с.т}} = \\ &= \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{0,406} 51,88 - 55,3 = 697,1 \text{ Нм} = 1,31 M_{\text{н}} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Отже, бачимо, що моменти і залежні від маси металу, що припадає на ролик. Для гарантованого розгону і гальмування без буксування потрібно обмежувати момент електродвигуна на рівні його мінімального значення моменту, що розрахований за виразами (2.21) і (2.23). Якщо момент двигуна в перехідному режимі є меншим або дорівнює гранично - виправдовуванному, то розрахунки перехідних процесів проводяться у звичайний спосіб і будуть дійсними як для двигуна, так і для заготовки. З виразів для гранично-обґрунтованих моментів

впливає, що мінімальні значення і мають місце за мінімальної маси металу, що припадає на ролик рольганга. Беремо кратність пуск-гальмівних струмів (динамічних моментів) .

Як видно з виразів (2.21) і (2.23), кратність пуск-гальмівних струмів (динамічних моментів) не перевищує кратності гранично-виправданих моментів, що забезпечує рух матеріалів по роликам із застосуванням прискорення/уповільнення без їх прослизання (буксування) та виконує необхідне його прискорення під час розгону/гальмування.

### **2.3 Час керування електроприводом**

Під час прокатки робота робочого рольганга узгоджується за швидкістю і напрямком обертової дії з роботою головного приводу і станинних роликів кліті «Дуо». На рольганг перед кліттю поступає наступний розкат. Після повної зупинки перед кліттю розкат центрується маніпуляторними лінійками.

У кліті «Дуо» режим прокатки - реверсивний. При цьому в кожному окремому пропуску підтримується рівень швидкості, що вимагається за технологією.

Робочий цикл електроприводу робочого рольганга складається з наступних секцій:

- прискорення рольганга із заготовкою;
- пересування розкату по рольгангу;
- гальмування рольганга вхолосту до нуля;
- центрування листа за допомогою маніпулятора (час простою);
- розгін рольганга з холостого ходу до швидкості передачі (реверс);
- переміщення розкату на рольгангу у зворотному напрямку;
- гальмування рольганга із заготовкою на ньому до нуля.

Після проходження циклу прокатки в кліті «Дуо» розкат транспортується до кліті «Кварто», і звільняє рольганг за кліттю «Дуо».

Час розгону і гальмування електроприводу рольганга:

$$t_{\Pi} = \frac{\Sigma J \omega_{\text{пр}i}}{M_{\Pi} - M_c}, \quad (2.24)$$

$$t_{\Gamma} = \frac{\Sigma J \omega_{\text{пр}i}}{M_{\Gamma} + M_c}, \quad (2.25)$$

де  $\Sigma J$  - сукупний момент інерції на валу електричного двигуна (при розгоні або гальмуванні рольганга вхолосту)  $\Sigma J = J_{\text{мех}} = J_{\text{дв}} + J_p$ ; при розгоні або гальмуванні із заготовкою  $\Sigma J = J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_p + J_{M_i}$ ),  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\omega_{\text{пр}i} = \frac{2V_{\text{пр}i}}{d_p}$  - швидкість електричного двигуна, яка відповідає швидкості

прокатки у кожному пропуску, 1/с;

$V_{\text{пр}}$  - лінійна швидкість прокатки, м/с (см. табл. 2.2);

$M_{\Pi}$  - середній пусковий момент електричного двигуна (для подальших розрахунків беремо  $M_{\Pi} = \lambda_{\text{пт}} M_{\text{н}} = 1,2 M_{\text{н}} = 636,6 \text{ Нм}$ );

$M_2$  - середній гальмівний момент електричного двигуна (для подальших розрахунків приймаємо  $M_2 = \lambda_{\text{пт}} M_{\text{н}} = 1,2 M_{\text{н}} = 636,6 \text{ Нм}$ );

$M_c$  - статичний момент навантажень на валу електричного двигуна (під час розгону або гальмування рольганга вхолосту; під час розгону або гальмування із заготівлею  $M_c = M_{\text{с.т}} = M_x + M_{\text{тр}}$ ).

Тривалість процесу транспортування металу:

$$t_y = \frac{L_i}{V_{\text{пр}i}}. \quad (2.26)$$

Значення часу пуску, гальмування, сталого руху і часе пауз для кожного пропуску, розраховані за вищевказаними формулами та зведені в таблиці 2.4.

З кожним пропуском довжина листа збільшується, а вага, яка приходиться на кожен ролик зменшується. Маса (вага) металу, що приходиться на один ролик, становить:

$$m_{\text{М.МИН}_i} = m_{\text{СЛ}} \frac{l_{\text{Ш}}}{L_i}, \quad (2.27)$$

де  $m_{\text{СЛ}} = 1542 \text{ кг}$  - маса сляба;

$l_{\text{Ш}} = 0,75 \text{ м}$  - шаг роликів;

$L_i$  - довжина листа у кожному проході, м (див. табл. 2.2).

З урахуванням зменшення ваги розкату з кожним пропуском стає меншим і сукупний момент інерції. Момент інерції транспортованого металу, який приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску:

$$J_{\text{М}_i} = m_{\text{М}_i} \frac{d_{\text{П}}^2}{4}. \quad (2.28)$$

Момент інерції (сумарний) системи "двигун-ролик-метал", приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску:

$$J'_{\Sigma i} = J_{\text{ДВ}} + J_{\text{П}} + J_{\text{М}_i} = J_{\text{МЕХ}} + J_{\text{М}_i}. \quad (2.29)$$

(2.28), і сумарний момент інерції системи "двигун-ролик-метал", наведений до валу електродвигуна в кожному пропуску (2.29), зведені в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахунок часу роботи електричного привода рольганга кліті і значення моменту інерції

№ пропуску	$t_{\text{П}}, \text{ с}$ (2.24)	$t_{\text{Т}}, \text{ с}$ (2.25)	$t_{\text{У}}, \text{ с}$ (2.26)	$m_{\text{М.МИН}_i}, \text{ кг}$ (2.27)	$J_{\text{М}_i}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$ (2.28)	$J'_{\Sigma i}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$ (2.29)
1	2	3	4	5	6	7
1	1,614	0,366	0,34	1360,013	56,045	76,177
2	0,416	1,18	0,413	1120,165	46,161	66,293
3	1,183	0,366	0,534	866,575	35,711	55,843
4	0,416	0,837	0,709	652,376	26,884	47,016

1	2	3	4	5	6	7
5	0,852	0,366	0,95	486,946	20,067	40,199
6	0,416	0,63	1,249	370,16	15,254	35,386
7	0,682	0,366	1,582	292,217	12,042	32,174

Кутова швидкість на валу електродвигуна, що відповідає швидкості прокатки (див. табл. 2.2):

$$n_{\text{пр}_i} = V_{\text{пр}_i} \frac{60}{\pi d_p} = \frac{2,5 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,406} = 117,5 \text{ об / мин} \quad (2.30)$$

Як бачимо з виразу (2.3), вибраний електричний двигун підтримує необхідну для прокатки максимальну швидкість. При цьому немає потреби знижувати поле збудження машин; потрібна швидкість забезпечується зміною напруги на якорі.

На рис. 2.1 - 2.2 приведено тахограми та навантажувальні діаграми роботи електропривода рольганга кліті за весь цикл роботи прокатного стану (прокатка в кліті «Дуо» після кантування на 900), а також для декількох із пропусків.

Цикл роботи електричного приводу робочого рольганга включає такі ділянки: 1 пропуск - розгін рольганга із заготовкою, гальмування вхолосту; 2 пропуск - розгін рольганга вхолосту, гальмування із заготовкою.

Робота рольганга при прокатці розкату в третьому-сьомому пропусках є аналогічною роботі його при прокатці в першому-другому пропусках зі збільшенням довжини листового прокату.

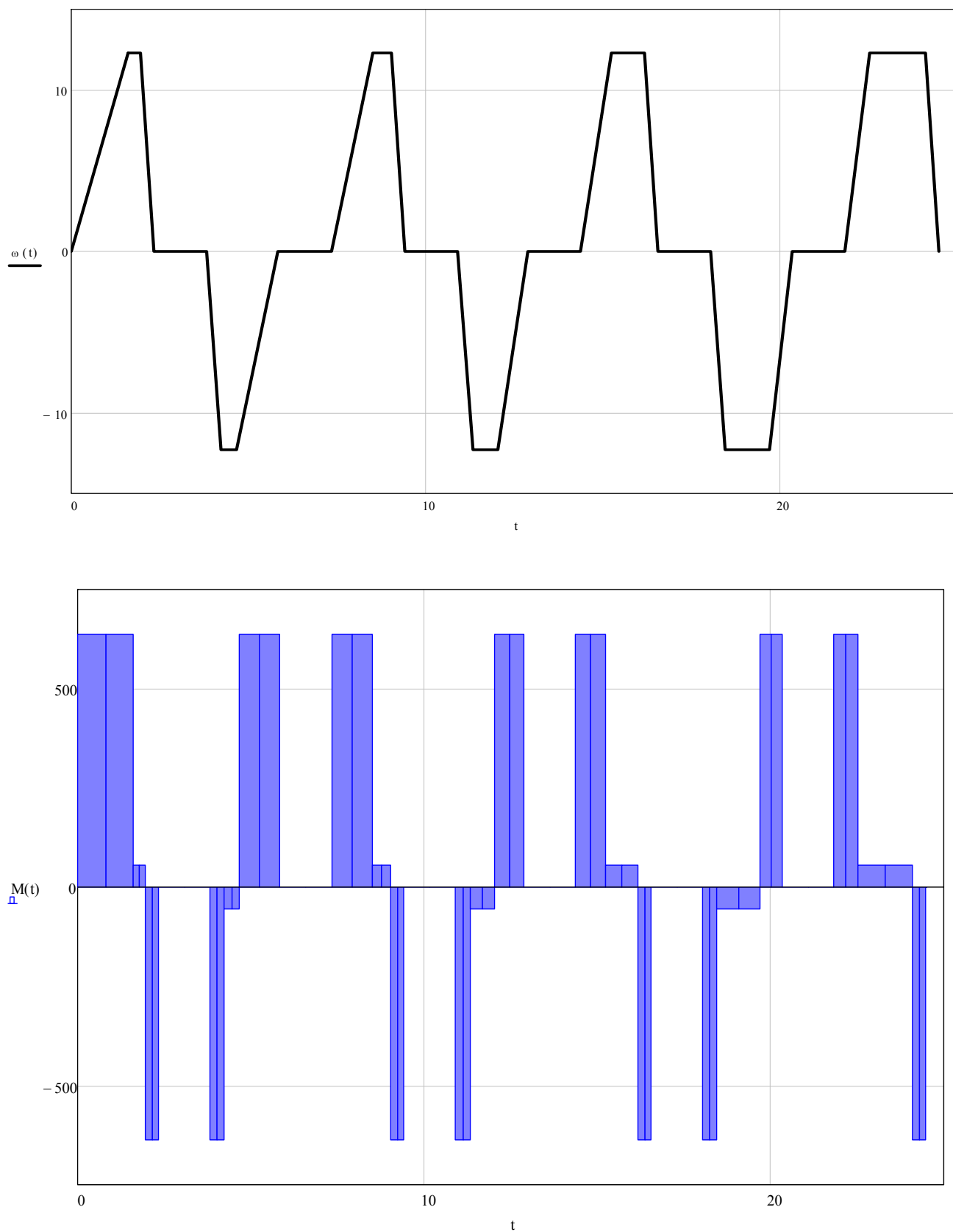
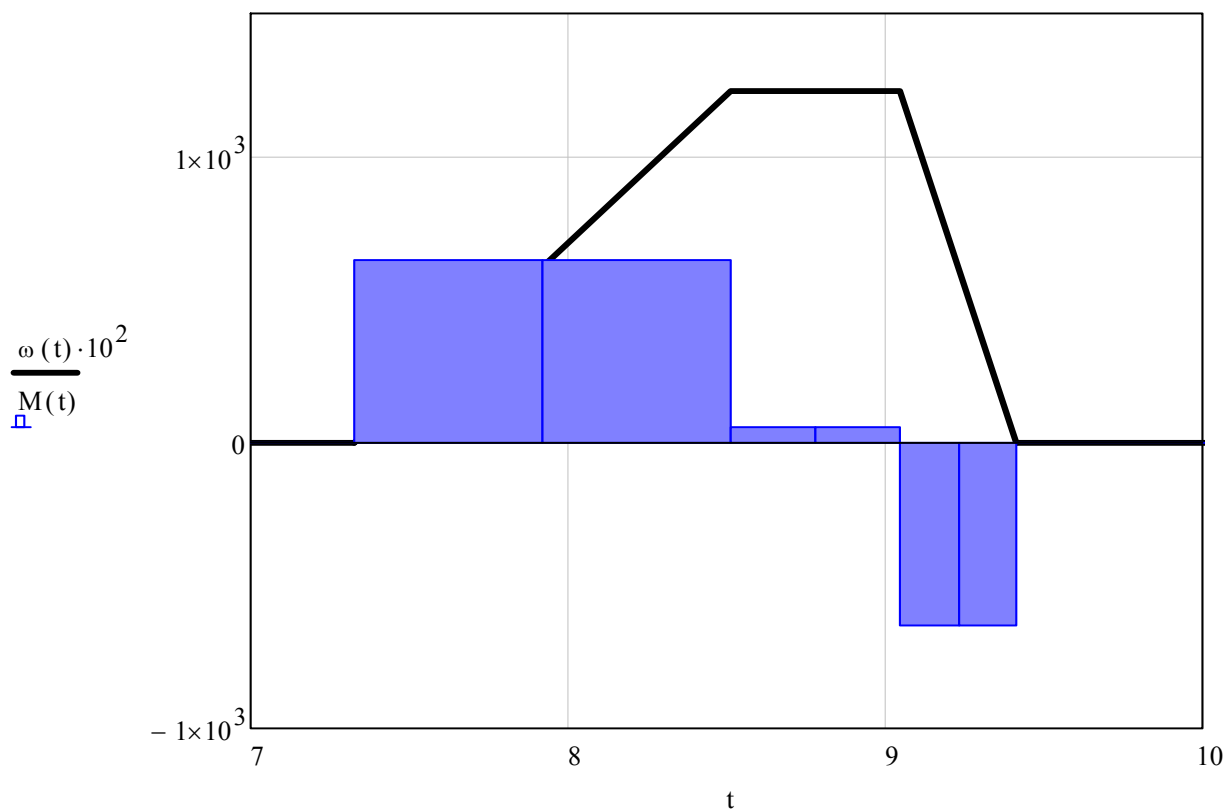
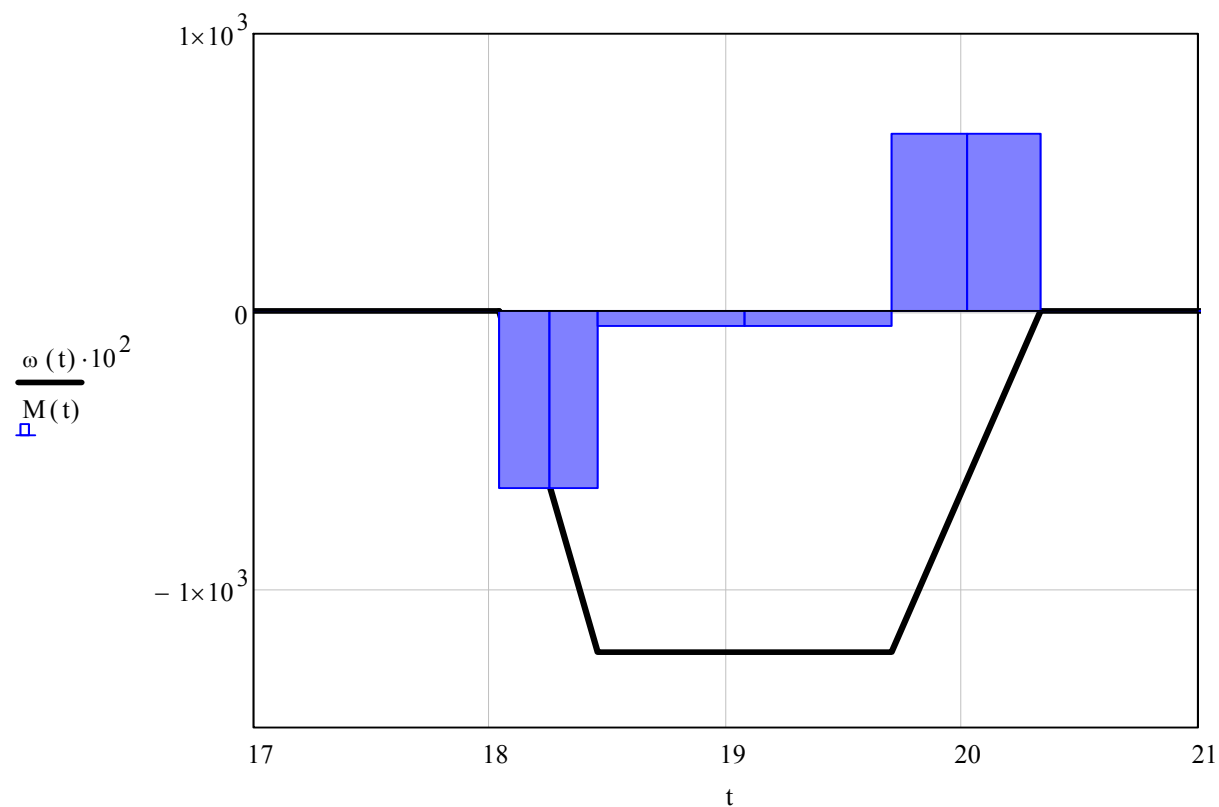


Рисунок 2.1 - Навантажувальна діаграма та тахограма роботи електропривода ролганга кліті «Дуо» за цикл роботи прокатного стану





третій пропуск



шостий пропуск

Рисунок 2.2 - Навантажувальні діаграми та тахограми роботи електропривода рольганга кліті «Дуо»

## 2.4 Перевірка потужності вибраного електродвигуна за нагріванням

На рисунку 2.1 показана навантажувальна діаграма електричного приводу рольганга кліті «Дуо». Під час пуску, гальмування і постійного руху роликів під час прокатки листа швидкість прокатки і швидкість роликів синхронізуються, щоб не було прослизання металу.

Еквівалентний момент електричного двигуна, що приведений до фактичного значення часу ввімкнення  $\varepsilon = \Sigma t_{\text{вкл}} / t_u = 15,46/24,76 = 0,63$ :

$$M_e = \sqrt{\frac{M_{\text{п}}^2 \Sigma t_{\text{п}} + M_{\text{г}}^2 \Sigma t_{\text{г}} + M_{\text{с.т}}^2 \Sigma t_{\text{у}}}{\Sigma t_{\text{п}} + \Sigma t_{\text{г}} + \Sigma t_{\text{у}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{636,6^2 \cdot 5,57 + 636,6^2 \cdot 4,11 + 17,65 \cdot 10^3}{5,57 + 4,11 + 5,77}} = 461,3 \text{ Нм.} \quad (2.31)$$

Еквівалентний момент, перерахований для ПВ = 100% дорівнює:

$$M_{\varepsilon 100\%} = M_{\varepsilon} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}} = 461,3 \sqrt{\frac{0,63}{1,0}} = 366,1 \text{ Нм} = 0,69 M_{\text{н}}. \quad (2.32)$$

Одержане розрахункове значення еквівалентного моменту демонструє, що прийняті значення в пусковому і гальмівному моментах забезпечують інтенсивний хід перехідних процесів за одночасного припустимого навантаження електродвигуна за нагріванням. Завантаженість електродвигуна становить 69%.

3-поміж усіх імовірних моментів на валу двигуна найбільшим є пусковий момент електроприводу під час транспортування металу - 636,6 Нм, що відносно до номінального моменту становить , що допустимо. Таким чином, обраний електродвигун підходить і за параметрами перевантажувальної здатності.

Під час прокатки листів інших типорозмірів (за підкатів більшої маси) завантаженість двигуна складає 50-85%, що припустимо. Завищена потужність машини зумовлена потребою реалізації завданого темпу розгону/гальмування під час транспортування металу з найбільшою масою 2 т. Окрім того, у разі ручного

управління механізмами району прокатної кліти можливе неузгодження лінійних швидкостей валів головного приводу, станинних роликів, робочих і розкатних рольгангів, що спричиняє появу буксування роликів об поверхню металу (статичні моменти на двигуні зростають до моментів буксування), утворюючи додаткове нагрівання машини. Крім того, буксування роликів об метал виникає під час виходу розкату з валів кліти з більшою швидкістю внаслідок так званого "випередження". Будемо вважати, що 30%-го резерву потужності двигуна вистачить для забезпечення захисту додаткових моментів.

## **3 ВИБІР СИЛОВОЇ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ РОЛЬГАНГА КЛІТИ «ДУО»**

### **3.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору силової частини системи та електроприводу**

Для живлення якірних ланцюгів електродвигунів і обмоток збудження електричних машин постійного струму використовуються, переважно, електромашинні генератори (Г), що обертаються, широтно-імпульсні перетворювачі (ШП) на тиристорах і транзисторах, а також тиристорні перетворювачі (ТП) змінного струму в постійний. Відповідно до цього силова частина електроприводу може бути зібрана за різними схемами: Г-Д, ШП-Д або ТП-Д.

Система Г-Д має гарні регульовальні властивості, відносно невисоку питому вартість і тривалий термін експлуатації. Основною перевагою цієї системи також є високий коефіцієнт потужності, окрім того, під час роботи системи Г-Д не змінюється форма напруги живильної мережі перемінного струму.

До недоліків цієї системи варто зарахувати: її складність, низький ККД через потрібне перетворення енергії (електричної на механічну і навпаки), високий рівень шуму в процесі роботи, потребу в регулярному і ретельному технічному обслуговуванні.

Наразі система Г-Д має обмежене застосування у зв'язку з масовим впровадженням перетворювачів на тиристорах і транзисторах. У металургійній промисловості її використовують як електропривод великої потужності на деяких прокатних станах (наприклад, обтискних).

Переваги системи ШП-Д визначаються переважно можливостями ШП як джерела живлення, а саме:

- високі динамічні властивості (швидкодія, точність, якість регулювання) ;
- широкий діапазон регулювання вихідної напруги;

- високий коефіцієнт корисної дії, оскільки втрати потужності на регулювальному елементі ШПП незначні, якщо порівнювати з втратами потужності у випадку безперервного регулювання;
- високий коефіцієнт потужності роботи системи;
- високе використання двигунів за струмом, через велику частоту комутації та малі пульсації струму якоря;
- низький вихідний опір перетворювача й тому більш жорсткі швидкісні та механічні характеристики двигуна;
- низька чутливість щодо змін температури довкілля, через те, що регулювальним чинником є час провідності ключа, а не величина внутрішнього опору регулювального елемента, що відбувається під час безперервного регулювання;
- невеликі розміри та вага;
- постійна готовність до роботи.

Разом з тим ШПП мають і недоліки:

- імпульсний режим роботи елемента, що регулює, призводить до потреби встановлювати вихідні фільтри, що сприяє інерційності в процесі регулювання в замкнутих системах;
- високі швидкості вмикання і вимикання струму в силовому ланцюзі ШПП приводять до виникнення радіоперешкод.

На сьогодні практичне використання ШПП на напівпровідникових елементах обмежено для електроприводів малої та середньої потужності.

В електричних приводах середньої та великої потужності широко розповсюджена система ТП-Д. Порівняно із системою Г-Д ця система електричного приводу має чимало переваг:

- безшумний у роботі, відсутні обертові частини;
- високі швидкодія і ККД;
- відсутності інерції веде до більш точного регулювання, що значно забезпечує більшу продуктивність механізму і якість продукції;
- відсутність складних вентиляційних пристроїв.

Система ТП-Д має такі недоліки:

- погіршення коефіцієнта потужності пропорційно і зменшення при цьому навантажувальної здатності ТП, що особливо суттєво в приводах великої потужності;
- при глибокому регулюванні разом зі зменшенням коефіцієнта потужності зростає амплітуда пульсацій у кривих випрямленої напруги і струму, що може несприятливо позначитися на комутації струму приводного двигуна, спричинити розриви струму і коливання швидкості обертання двигуна;
- спотворення напруги живильної мережі внаслідок комутаційних процесів у ТП, що несприятливо позначається на роботі інших електроустановок, які живляться від цієї мережі, а також на роботі самого ТП, оскільки нерідко мережеву напругу використовують як опорну.

Ці недоліки системи ТП-Д стають вагомими тільки за високої потужності приводу, проте переваги перевищують їх.

Тиристорні електроприводи (система ТП-Д) мають високі техніко-економічні показники та експлуатаційні переваги, що відповідають сучасним вимогам технологічних процесів і по праву становляться головним засобом керованого перетворення електричної енергії в механічну.

Для підтримання системою заданих параметрів на потрібному рівні їх роблять замкнутими, а збільшення якісних показників їх роботи забезпечується введенням відповідних коригувальних ланок. Системи з паралельною, послідовною і змішаною корекцією переважно є багатоконтурними системами регулювання, які мають свої переваги і недоліки.

При застосуванні паралельної корекції зростає стабільність характеристик системи за рахунок ланок, що охоплені зворотним зв'язком. Вплив перешкод на пристрій, що коригує, менший, оскільки сигнал знімається з виходу системи, що являє собою фільтр низьких частот.

До основних недоліків паралельної корекції можна віднести складність розрахунку системи і більшу трудомісткість налаштування. Окрім того, цю

систему слід завжди розглядати як єдине ціле, оскільки в більшості випадків зміна одного з параметрів вимагає перерахунку і перебудови всієї системи.

Створення практично без інерційних тиристорних і транзисторних перетворювачів з невеликою потужністю керування та операційних підсилювачів постійного струму, забезпечує широке втілення систем з послідовною корекцією для керування майже всіма видами металургійного електроприводу постійного струму. Системи автоматичного керування з послідовною корекцією поділяються на низку контурів. Параметрами регулювання можуть бути: напруга перетворювача, сила струму в головному ланцюзі, швидкість електродвигуна, кутове або лінійне положення робочого механізму, натягнення металу, що прокатується, тощо.

У системі регулювання з послідовною корекцією головним параметром регулювання являється той, який виявляє основну мету автоматичного регулювання. Інші параметри - допоміжні, вони підпорядковані головному параметру. Окрім усього іншого, допоміжні параметри також знаходяться в підпорядкуванні один з одним.

### 3.2 Вибір комплектного електропривода

Основні технічні дані комплектних тиристорних електроприводів - номінальний струм  $I_{н\text{ тп}}$  і напруга  $U_{н\text{ тп}}$ . Для багато рухових електроприводів у разі послідовного живлення якірних кіл за номінальний струм перетворювача беруть сумарний струм двигунів, внаслідок чого зросте його потужність, а отже, і його вартість. При окремому живленні якірних ланцюгів номінальний струм перетворювача має бути більший ніж:

$$I_{н\text{ дв}} \frac{\lambda_{п.г} + M_{с*}}{1,8} = 60 \cdot \frac{1,5 + 0,3}{1,8} = 60 \text{ А}, \quad (3.1)$$

де  $I_{н\text{ дв}}$  номінальний струм якоря обраного електродвигуна, А;

$\lambda_{п.г}$  величина кратності пуско - гальмівних струмів, що забезпечує роботу електродвигуна без перегріву;

$M_{c*}$  відносна величина статичного моменту;

1,8 - перевантажувальна здатність за струмом перетворювачів SIMOREG DC Master концерну Siemens.

Номінальна напруга перетворювача визначається номінальною напругою електродвигуна, яка менша за номінальну напругу ТП, що забезпечує необхідний запас на регулювання швидкості та на безпечне інвертування в разі зниження напруги мережі живлення, тобто  $U_{н\ тп} = (1,05 \div 1,15)U_{н\ дв}$ .

Номінальні дані двигунів ДС-808, для яких здійснюється вибір силових ТП, наведено в таблиці 2.1. Відповідно до наведених рекомендацій обираємо окреме живлення якірних ланцюгів. Встановлюємо на кожен електродвигун по одному перетворювачу й один резервний. Для встановлених електродвигунів з каталогу вибираємо реверсивний комплектний тиристорний електропривод (КТЕ) SIMOREG DC Master концерну Siemens шафового типу, технічні дані для якого наведено в табл. 3.1. [5, 6].

Однолінійна схема силової частини комплектного електропривода SIMOREG DC MASTER наведена на рис. 3.1 [5].

Таблиця 3.1 - Технічні дані перетворювача шафового виконання SIMOREG DC MASTER 6RM7028-6DV02

Найменування параметра	Позначення та чисельне значення
Номінальна живильна 3х фазна напруга, В	$U_{н1\ тп} = 400$
Номінальний вхідний струм, А	$I_{н1\ тп} = 75$
Номінальна випрямлена (постійна) напруга, В	$U_{н\ тп} = 420$
Номінальний випрямлений (постійний) струм, А	$I_{н\ тп} = 90$
Номінальна потужність, кВт	$P_{н\ тп} = 38$
Номінальна напруга збудження, В	$U_{в\ тп} = 325$
Номінальний струм збудження, А	$I_{в\ тп} = 10$
Маса, кг	$m_{тп} = 185$



Перетворювачі SIMOREG DC MASTER є стовідсотково цифровими компактними модулями з трьохфазним живленням, що призначені для живлення якоря та обмотки збудження двигунів постійного струму з можливістю регулювання швидкості та з його номінальним струмом якоря в межах від 15А до 2000А. Компактні перетворювачі можуть вмикатися паралельно для забезпечення струму до 10000А. Максимальна величина струму для живлення ланцюга збудження становить 40А (рівні струмів залежать від номінального струму якоря).

Усі блоки SIMOREG DC MASTER мають просту панель, що складається з п'яти розрядного, семи сегментного індикатора, трьох світло діодів індикації стану і трьох клавіш налаштування параметрів. На панелі є з'єднувач типу X300 з інтерфейсом USS, який відповідає стандарту RS232 або RS485. Панель керування забезпечує відображення вимірних значень, необхідних для запуску перетворювача [7].

Його параметри можна також здійснювати через стандартний РС з використанням відповідного програмного забезпечення.

Цей інтерфейс використовується під час запуску, для збереження параметрів під час вимкнення, а також для діагностики під час роботи. Ба більше, оновлене програмне забезпечення перетворювача можна завантажити через цей інтерфейс для зберігання на карті пам'яті.

В одно квадрантних перетворювачах ланцюг якоря живиться від повністю керованого трифазного моста, а в чотирьох квадрантних модулях - від двох повністю керованих трифазних мостів, увімкнених зустрічно-паралельно. На схему збудження живлення подається через однофазний двонапівперіодний міст, що наполовину керований.

Напруга живлення якоря і схеми збудження може відрізнятися за частотою (лежати в діапазоні від 45 до 65 Гц). Послідовність чергування фаз джерела живлення якоря значення не має.

With SIMOREG DC MASTER 15 A to 125 A, 400 V

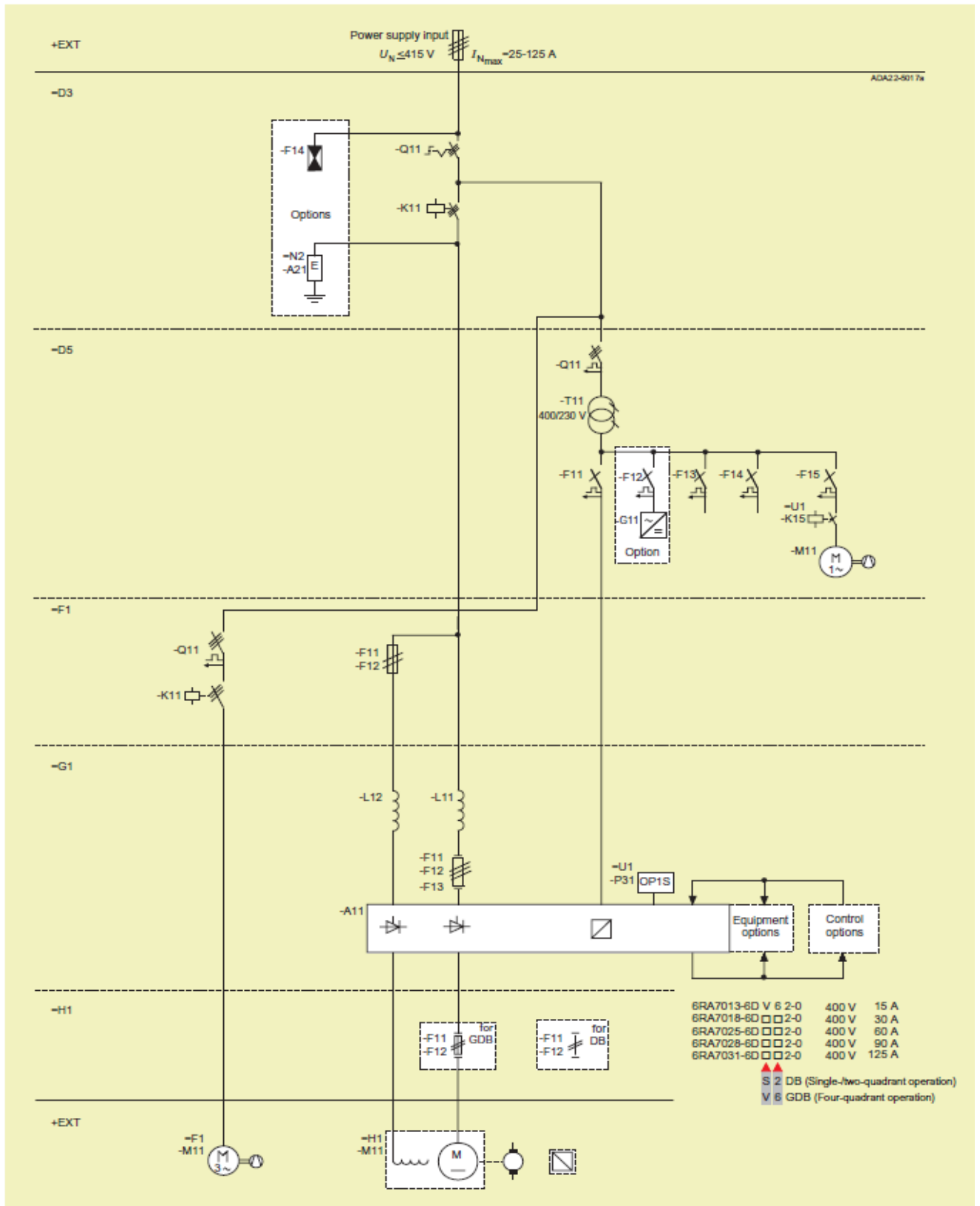


Рисунок 3.1 - Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER

### 3.3 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя

Силовий трансформатор у схемі керованого випрямляча використовують для узгодження стандартної напруги на мережі та напруги навантаження. Зменшення напруги на виході ТП (тиристорних перетворювачів) постійного струму за рахунок зміни кута керування є недопустимим, тому що це веде до неповного використання за потужністю перетворювальної установки та зниження її енергетичних показників. До того ж трансформатор обмежує струм у режимі короткого замикання, а також швидкість зростання струму як у робочих, так і в аварійних режимах роботи перетворювача.

Для узгодження тиристорних перетворювачів (12+1 од.) із мережею живлення з довідника обираємо силовий трансформатор ТСЗП-630/10УЗ, технічні дані котрого наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики силового трансформатора ТСЗП-630/10УЗ виконання 2 для живлення тиристорного перетворювача [8].

Найменування параметра	Позначення та чисельне значення
Потужність, кВ А	$P_{\text{тр тп}} = 580$
Номінальна первинна напруга, В	$U_{1 \text{ тр тп}} = 6000$
Номінальна вторинна напруга, В	$U_{2 \text{ тр тп}} = 410$
Діюче значення струму вторинної обмотки, А	$I_{2 \text{ тр тп}} = 816$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{\text{хх тп}} = 2100$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{\text{кз тп}} = 6000$
Напруга короткого замикання, %	$U_{\text{кз}\% \text{ тп}} = 5,9$
Струм холостого ходу, %	$I_{\text{хх}\% \text{ тп}} = 2$
Маса, кг	$m_{\text{тр тп}} = 765$

Через те, що електродвигун серії ДС дозволяє виконувати роботу без згладжувального дроселя, а за довідником не рекомендується використовувати

його на цю напругу та струм, адже індуктивності якоря двигуна та трансформатора достатньо для згладжування пульсацій, що виникають у роботі електропривода, то вибір згладжувального дроселя не здійснюється. Це суттєво зменшить собівартість і габаритні характеристики (вага, розміри) електропривода.

### **3.4 Опис принципової схеми робочого рольганга**

Принципову схему силового ланцюга рольганга кліті «Дуо» наведено на рис. 3.2.

3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (перетворювача SIMOREG DC Master)

Для живлення електродвигунів використовують комплекти тиристорних електроприводів SIMOREG DC Master 6RM7028-6DV02 (див. табл. 3.1) з реверсом струму в якірному ланцюзі, трансформаторне підключення до мережі, з лінійним контактором і приладом динамічного гальмування, з вмонтованим пристроєм збудження двигуна, з програмованими засобами керування, з однозонною системою керування швидкості із зворотним зв'язком за швидкістю від імпульсного датчика швидкості, з мережевими зв'язками Profibus DP і CAN.

Система захисту реагує на датчики аварій, а в тому числі на аварійні ситуації, які обчислюються програмним забезпеченням

### **3.4.2 Резервування перетворювальної техніки**

Як резервний варіант застосували агрегат UZR, для живлення електродвигунів KTE SIMOREG DC Master SIMOREG DC Master 6RM7028-6DV02 (див. табл. 3.1). Схема перемикання на резервний перетворювач наведена на рис. 3.2. Перемикання електродвигуна на живлення від резервного тиристорного перетворювача виконується в разі вимкненого живлення основних ланцюгів і при зупиненому приводі.



### 3.5 Вимоги до системи автоматизації

Ручний режим керування використовується під час налагодження, випробування, у позаштатних і аварійних ситуаціях, а також у випадках тимчасових поломок у роботі. Автоматичний режим управління є основним і містить у собі автоматичну послідовність роботи механізмів у функції наявності металу у відповідному контрольному перерізі стану. Необхідно узгоджувати швидкість рольгангів зі швидкістю кліті, прилеглих рольгангів і станинних роликів, з огляду на випередження металу під час прокатки на стороні виходу металу з кліті.

Система автоматизації повинна забезпечувати такі функції:

- збір і обробка інформації датчиків наявності металу, пірометрів;
- зв'язок з іншими локальними системами із супроводу металу та обміну інформацією;
- зв'язок з електроприводами по шині profibus через станцію віддаленого введення-виведення та іншим радіальним каналам;
- ситуаційно-логічне керування комплексом;
- введення і виведення параметрів, друк протоколів;
- діагностика несправності комплексу.

Технічні засоби, на яких створюється система автоматизації, мають бути максимально уніфіковані та взаємозамінні.

Пульти керування мають бути інтегрованими (тобто містити як органи керування приводами, так і органи керування, що належать до системи автоматизації). Кількість органів керування і сигналізації має бути погоджена між проектувальниками електроприводів і АСУТП під час проектування.

Апарати на пультах керування мають бути розподілені за трьома зонами: оперативна зона; зона апаратури ручного керування; зона підготовки обладнання до роботи. На кожному з пультів, оснащених сигнальною арматурою, передбачається кнопка для контролю сигнальних ламп.

Управління рольгангами перед і за кліттю «Дуо» здійснюється з поста управління кліттю.

## 4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛЬГАНГУ КЛІТИ «ДУО»

### 4.1 Математичний опис електроприводу рольгангу

Під час процесу проектування системи керування приймаються звичайні для систем електроприводу допущення - двигун і регульоване джерело живлення ланцюга якоря. Під час математичного опису не враховується вплив пружних елементів, вихрових струмів і реакції якоря. Коефіцієнти передач і постійні часу структурних елементів електроприводу прийняті незмінними.

Об'єктом керування в цій системі слугує тиристорний перетворювач, електродвигун і механічна частина.

Тиристорний перетворювач як елемент системи регулювання є нелінійним дискретним пристроєм. Його специфічні особливості полягають у такому. Керування тиристорним перетворювачем здійснюється дискретно, оскільки після відмикання чергового тиристора зміна сигналу керування протягом деякого інтервалу часу не призводить до зміни напруги тиристорного перетворювача.

У зв'язку з цим повноцінне дослідження динамічних характеристик тиристорних перетворювачів є складним завданням, і на практиці застосовують різноманітні спрощення. Найпоширенішого застосування набули два види моделей тиристорних перетворювачів (ТП): безперервна, у якій ТП подається аперіодичною ланкою з коефіцієнтом  $k_{\text{ТП}}$  і постійною часу  $\tau_{\mu} = \frac{\pi}{m\omega_0}$ , та імпульсна.

Система керування тиристорного перетворювача обраного типу є двох процесорною, а всі регулятори (струму якоря, швидкості, електрорушійна сила двигуна, струму збудження тощо) побудовано з функціональних блоків, які було реалізовано програмно. Завдяки тому, що швидкодія мікропроцесорів має достатньо високі ресурси, котрих, крім усього іншого, вистачає для реалізації системи захистів і сигналізації, здійснення моніторингу стану електроприводу, виявлення збоїв і попереджень, інтерфейсу оператора тощо, синтез системи регулювання можна здійснити згідно з традиційною настройкою контурів за

модульним та симетричним оптимумами, причому саму систему регулювання вважають безперервною.

Таким чином, електродвигун представимо у вигляді трьох типових ланок (рис. 4.1): аперіодичної ланки першого порядку (електрична частина двигуна) та інтегрувальної ланки (механічна частина), охоплених негативним зворотним зв'язком за електрорушійною силою двигуна.

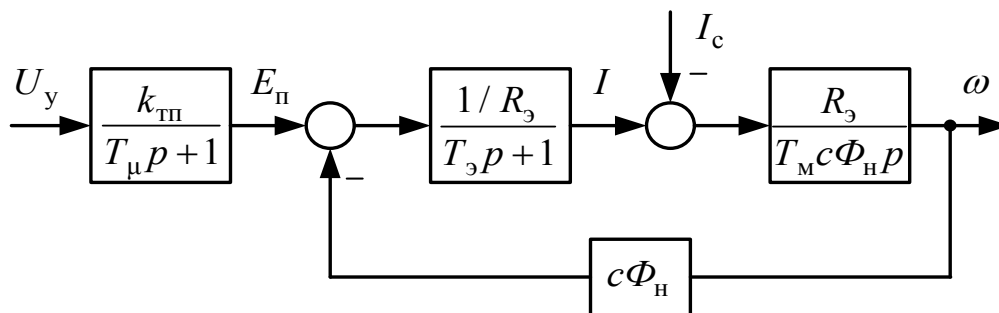


Рисунок 4.1 - Структурна схема силової частини електропривода

#### 4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу

Значення максимальної випрямленої ЕРС (напряга на виході тиристорного перетворювача):

$$E_{d0\text{ ТП}} = 1,35 U_{2\text{ тр ТП}} = 1,35 \cdot 410 = 553,5 \text{ В}, \quad (4.1)$$

де 1,35 - коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

$U_{2\text{ тр ТП}}$  - номінальна напряга на вторинній обмотці силового трансформатора, В (см. табл. 3.2).

Кругова частота першої гармоніки випрямленої напряги:

$$\omega_1 = 2\pi f_c m_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 6 = 1884,956 \text{ Гц}, \quad (4.2)$$

де  $f_c$  - частота мережі живлення, Гц;

$m_\phi$  - кількість фаз випрямлення.



Активний, індуктивний і повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр тп}} = \frac{\Delta P_{\text{кз тп}} U_{2 \text{ тр тп}}^2}{P_{\text{тр тп}}^2} = \frac{6000 \cdot 410^2}{(580 \cdot 10^3)^2} = 3 \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

$$z_{\text{тр тп}} = \frac{U_{\text{кз\% тп}} U_{2 \text{ тр тп}}}{100 I_{2 \text{ тр тп}} \sqrt{3}} = \frac{5,9 \cdot 410}{100 \cdot 816 \cdot \sqrt{3}} = 17,115 \cdot 10^{-3}, \quad (4.4)$$

$$x_{\text{а тр тп}} = \sqrt{z_{\text{тр тп}}^2 - r_{\text{тр тп}}^2} = \sqrt{(17,115 \cdot 10^{-3})^2 - (3 \cdot 10^{-3})^2} = 16,85 \cdot 10^{-3}, \quad (4.5)$$

де  $\Delta P_{\text{кз тп}}$  - потужність втрат від короткого замикання трансформатора, Вт;

$P_{\text{тр тп}}$  потужність трансформатора, В А;

$U_{\text{кз\% тп}}$  - напруга короткого замикання трансформатора, %;

$I_{2 \text{ тр тп}}$  - значення струму вторинної обмотки трансформатора, що діє, А.

Індуктивність силового трансформатора, що приведена до ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{тр тп}} = \frac{x_{\text{а тр тп}}}{2\pi f_c} = \frac{16,85 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 53,635 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (4.6)$$

де  $x_{\text{а тр тп}}$  - де - повний опір силового трансформатора.

Індуктивність якоря двигуна визначається за емпіричною формулою:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{U_{\text{н}}}{2p \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}} = 6 \frac{220}{4 \cdot 180 \cdot 60} = 30,556 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (4.7)$$

де  $k$  - постійний коефіцієнт, який безпосередньо залежить від конструкції електричного двигуна;

$U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$  - номінальна напруга електродвигуна;

$I_{\text{н}} = 60 \text{ А}$  - номінальний струм електродвигуна;

$2p = 4$  - кількість пар полюсів електродвигуна;

$n_n = 180$  об/хв – номінальна частота обертання електричного двигуна.

Сумарний опір якірного ланцюга електродвигуна:

$$r_{\text{я.дв}} = \beta(r_{\text{я}} + r_{\text{дп}}) = 0,33 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

де  $\beta = 1,32$  - температурний коефіцієнт двигуна, що враховує зміну опору під час нагрівання машини на  $80^\circ\text{C}$ ;

$r_{\text{я}}$  Ом - опір обмотки якоря (холодний) при  $20^\circ\text{C}$ ;

$r_{\text{дп}}$  Ом – опір додаткових полюсів (холодний).

Активний опір трансформатора викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 16,85 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.9)$$

де  $m_{\text{ф}} = 6$  - кількість фаз випрямлення;

$x_{\text{а}} = 16,85$  мОм - повний опір силового трансформатора.

За синусоїдальної опорної напруги цифровою системою імпульсно-фазового керування (СІФК) перетворювача характеристика вхід-вихід тиристорного перетворювача (ТП) лінійна, і коефіцієнт передавання тиристорного перетворювача (ТП) за напругою розраховується за формулою:

$$k_{\text{тп}} = \frac{E_{\text{d0}}}{U_{\text{y max}}} = \frac{553,5}{10} = 55,35 \quad (4.10)$$

де  $U_{\text{y max}} = 10$  В – максимально керуюча напруга тиристорного перетворювача (ТП).

Еквівалентний активний опір якірного кола системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_e &= r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ &= 0,33 + 2(3 \cdot 10^{-3}) + 16,1 \cdot 10^{-3} + 33 \cdot 10^{-3} = 0,385 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.11)$$

де  $r_{\text{я.дв}} = 0,33$  Ом - активний опір якірного кола двигуна;

$r_{\text{тр}} = 3$  мОм - активний опір силового трансформатора;

$r_{\text{к}} = 16,1$  мОм – комутаційний опір;

$r_{\text{ш}} = 0,1r_{\text{я.дв}} = 0,1 \cdot 0,33 = 33$  мОм - активний опір шин або кабелю, що з'єднують ТП із якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якірного кола системи ТП-Д:

$$L_e = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} = 30,556 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 53,635 \cdot 10^{-6} = 0,031 \text{ Гн} \quad (4.12)$$

Сумарний приведений момент інерції електропривода:

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}} = 2 + 18,13 + 35,711 = 55,84 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.13)$$

де  $J_{\text{дв}} = 2$  кгм<sup>2</sup> - момент інерції електродвигуна (див. табл. 2.1);

$J_{\text{р}} = 18,3$  кг · м<sup>2</sup> - момент інерції ролика;

$J_{\text{м}}$  - момент інерції металу, що транспортується, кг · м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}r_{\text{я.дв}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{220 - 60 \cdot 0,33}{18,82} = 10,63 \text{ Вс} \quad (4.14)$$

де  $\omega_{\text{н}} = 18,82$  1/с - номінальна швидкість електродвигуна.

Електромагнітна постійна часу системи ТП-Д:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,031}{0,385} = 0,081 \text{ с} \quad (4.15)$$

Електромеханічна постійна часу електроприводу:

$$T_{\text{м}} = \frac{J'_{\Sigma}R_e}{c\Phi_{\text{н}}^2} = \frac{55,84 \cdot 0,385}{10,63^2} = 0,19 \text{ с} \quad (4.16)$$

Постійну часу ТП через наявність у ньому й узагалі в системі малих неврахованих інерційностей, приймаємо мс.  $T_{\mu} \approx 5$  мс.

### 4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму вважатимемо, що електромеханічна постійна часу є значно більшою від електромагнітної постійної часу.

Структурну схему контуру струму наведено на рисунку 4.2.

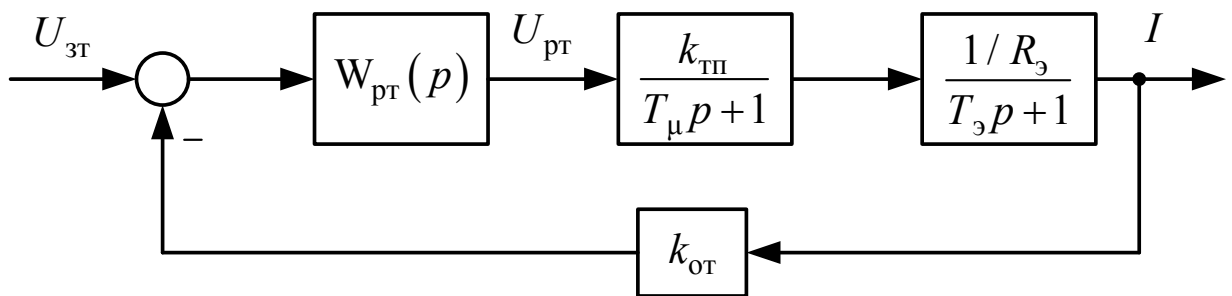


Рисунок 4.2 - Структурна схема контуру струму

За малу постійну часу контуру струму беремо малу постійну ТП  $T_{\mu} = 5$  мс. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

Передавальна функція регулятора має вигляд:

$$W_{\text{рТ}}^{\text{м}}(p) = \frac{R_e(T_e p + 1)}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} 2T_{\mu} p} = \frac{R_e(T_e p + 1)}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} p} = k_{\text{рТ}\Pi} + \frac{k_{\text{рТ}И}}{p} \quad (4.17)$$

Пропорційна та інтегральна частина пропорційно – інтегрального (ПІ) регулятора струму:

$$k_{\text{рТ}\Pi} = \frac{R_e T_e}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}} = \frac{0,385 \cdot 0,081}{55,35 \cdot 0,067 \cdot 0,01} = 0,841 \quad (4.18)$$

$$k_{\text{рТ}И} = \frac{R_e}{k_{\text{ТП}} k_{\text{зс}} T_{\text{от}}} = \frac{0,385}{55,35 \cdot 0,067 \cdot 0,01} = 10,382 \quad (4.19)$$

де  $T_e = 0,081$  с - електромагнітна постійна часу системи ТП-Д;

$k_{\text{ТП}} = 55,35$  - коефіцієнт передачі ТП за напругою;

$k_{\text{зм}} = \frac{U_{\text{зт.мак}}}{I_{\text{мак}}} = \frac{10}{150} = 0,067$  В/А - коефіцієнт передачі ланцюга зворотного

зв'язку за струмом;

$U_{\text{зт.мак}} = 10$  В - максимальний сигнал завдання на струм;

$I_{\text{мак}} = 2,5I_{\text{н}} = 2,5 \cdot 60 = 150$  А - максимально допустимий струм якоря двигуна (струм упору);

$T_{\text{от}} = 2T_{\mu} = 2 \cdot 0,005 = 0,01$  с - постійна часу інтегрування контуру струму при налаштуванні на модульний оптимум.

Функціональну схему контуру регулювання струму якоря, впроваджену в перетворювачі програмно на базі відповідних блоків, представлено на рисунку 4.3. Розраховані величини пропорційної та інтегральної частин регулятора струму під час налагодження електропривода необхідно встановити в параметрах P155.F і P156.F відповідно.

Для формування сигналу, пропорційного реальному струму якоря двигунів, використовується канал аналогового входу (клеми X174.4 і X174.5 на мал. 4.4), на які подається напруга з датчика напруги, підключеного до вимірювального шунта. Шунт необхідно встановити в якірному ланцюзі двигуна. Після цього сигнал буде фільтруватися апаратним згладжуванням, буде опрацьовано аналого-цифровим перетворювачем А/Д, нормуватиметься за величиною до 100% параметром P701.F і за потреби інвертуватися за допомогою параметра P703, програмно фільтруватиметься, і на виході K0011 вийде програмний сигнал, пропорційний реальному струму.

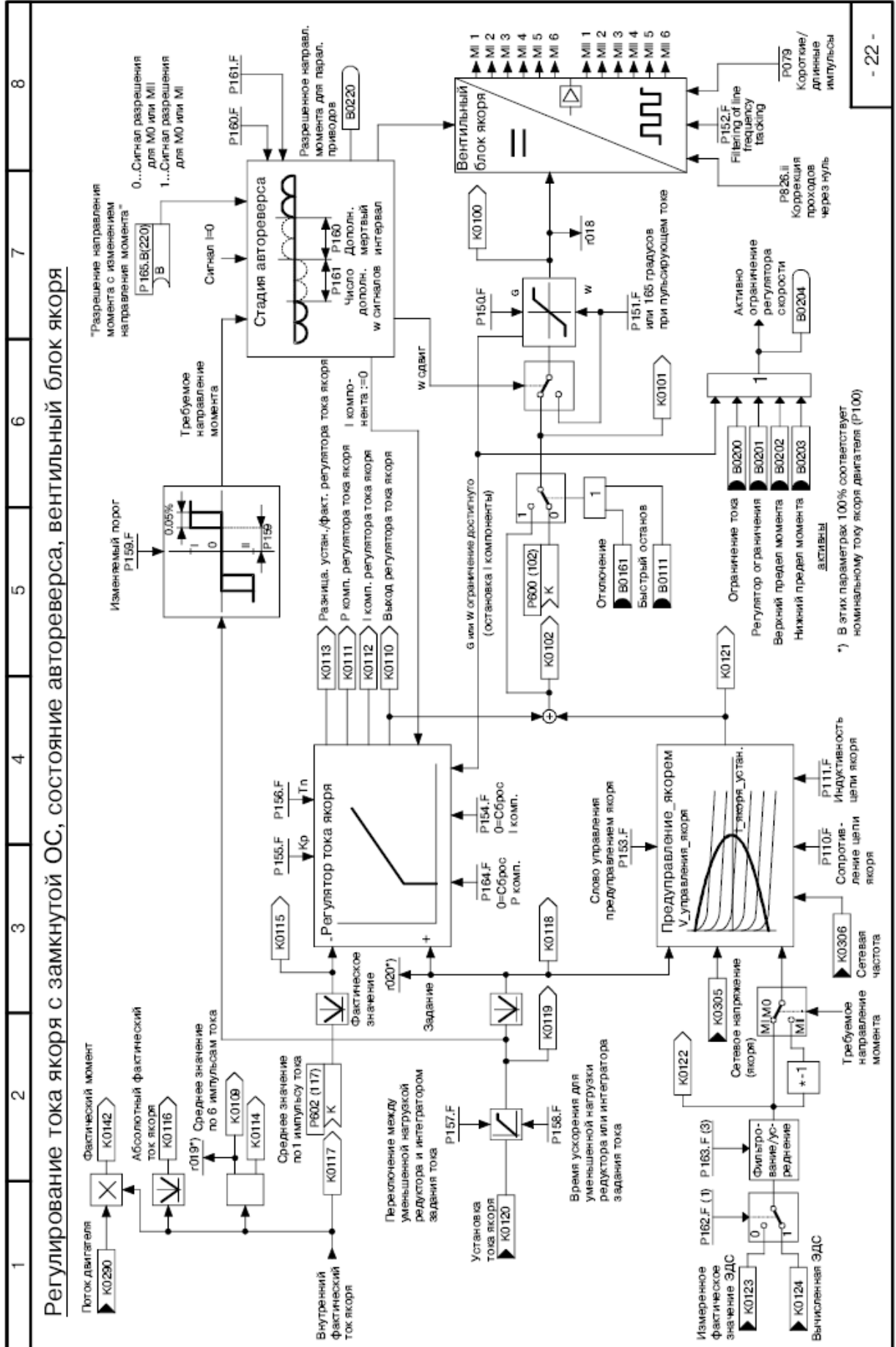


Рисунок 4.3 - Функціональна схема контуру регулювання струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

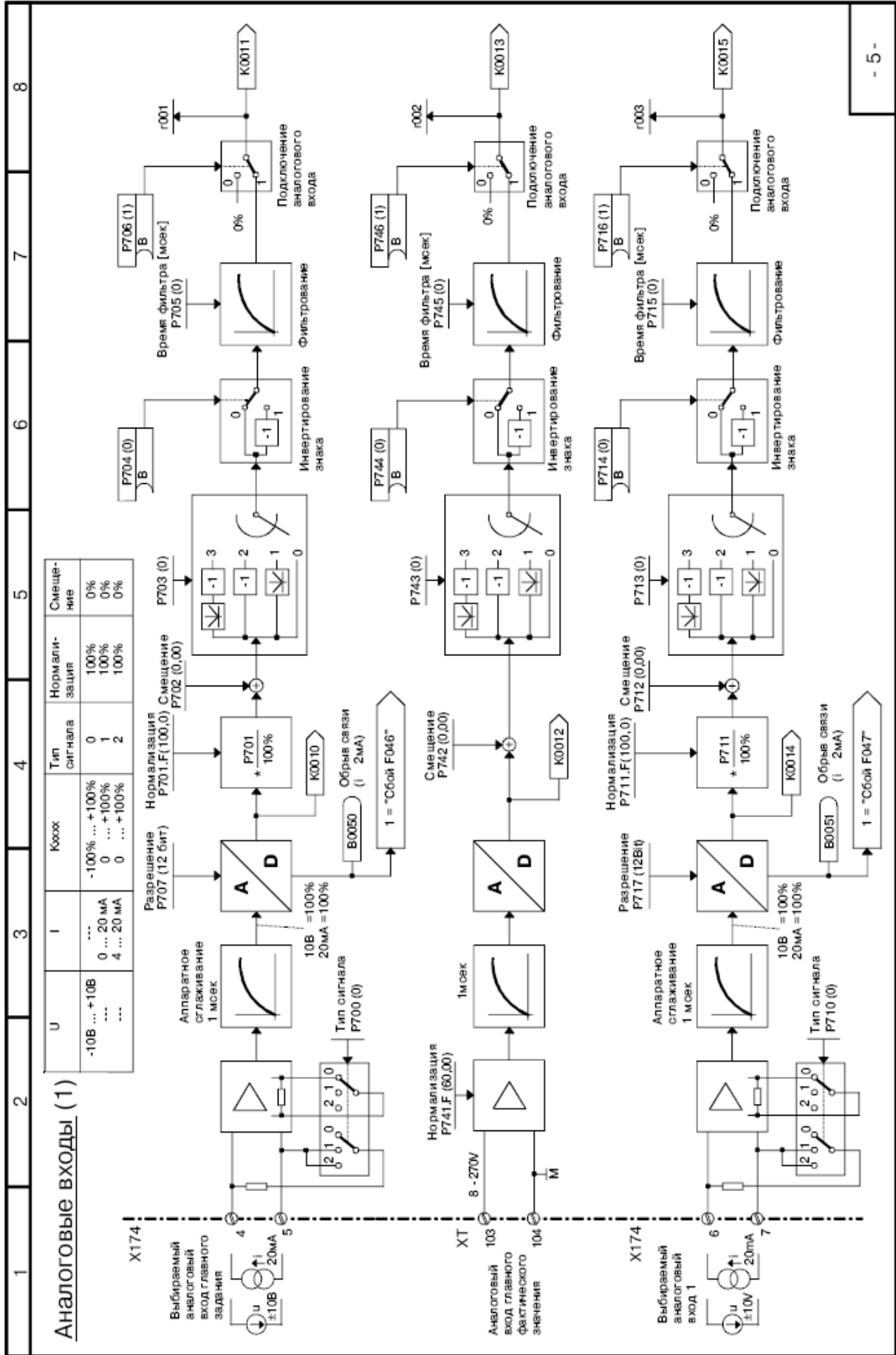


Рисунок 4.4 - Канал формування сигналу зворотного зв'язку за струмом у перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.4 Синтез регулятора швидкості

Структурну схему контуру швидкості зі згорнутим контуром струму наведено на рисунку 4.5.

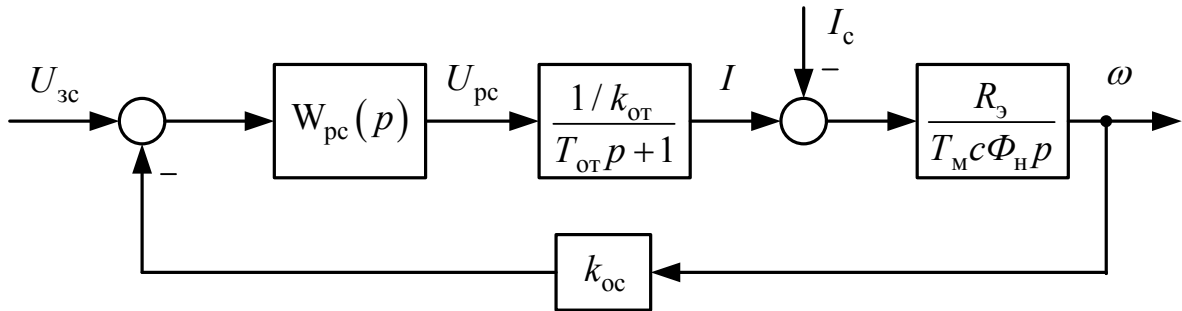


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

Через те, що вимоги до статички - забезпечення статичної помилки регулювання в межах 5%, контур швидкості здійснюємо двократно-інтегрованим (з ПІ-регулятором), а саме, здійснюємо настройку на симетричний оптимум. У цьому випадку передавальна функція регулятора швидкості набуває такого вигляду:

$$W_{pc}^c(p) = \frac{T_M c \Phi_H k_{ot}}{R_3 k_{oc} 2T_{ot}} \frac{4T_{ot}p + 1}{4T_{ot}p} = \frac{T_M c \Phi_H k_{ot}}{R_3 k_{oc} T_{oc}} \frac{2T_{oc}p + 1}{2T_{oc}p} = k_{pc\Pi} + \frac{k_{pcИ}}{p} \quad (4.20)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора швидкості:

$$k_{pc\Pi} = \frac{T_M c \Phi_H k_{ot}}{R_3 k_{oc} T_{oc}} = \frac{0,19 \cdot 10,63 \cdot 0,067}{0,081 \cdot 0,531 \cdot 0,02} = 33 \quad (4.21)$$

$$k_{pcИ} = \frac{T_M c \Phi_H k_{ot}}{R_3 k_{zc} 2T_{oc}^2} = \frac{0,19 \cdot 10,63 \cdot 0,067}{0,081 \cdot 0,531 \cdot 2 \cdot 0,02^2} = 825 \quad (4.22)$$

де  $T_M = 0,19$  с - електромеханічна постійна часу системи ТП-Д;

$$k_{zc} = \frac{U_{zc,max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{18,83} = 0,531 \text{ Вс} - \text{коєфіцієнт передачі ланцюга зворотного}$$

зв'язку за швидкістю;



$U_{зс.маx} = 10$  В - максимальний сигнал завдання на швидкість;

$\omega_{маx} = \omega_{н} = 18,83$  1/с максимальна швидкість електродвигуна;

$T_{ос} = 2T_{от} = 2 \cdot 0,01 = 0,02$  с - постійна часу інтегрування контуру швидкості під час налаштування на симетричний оптимум.

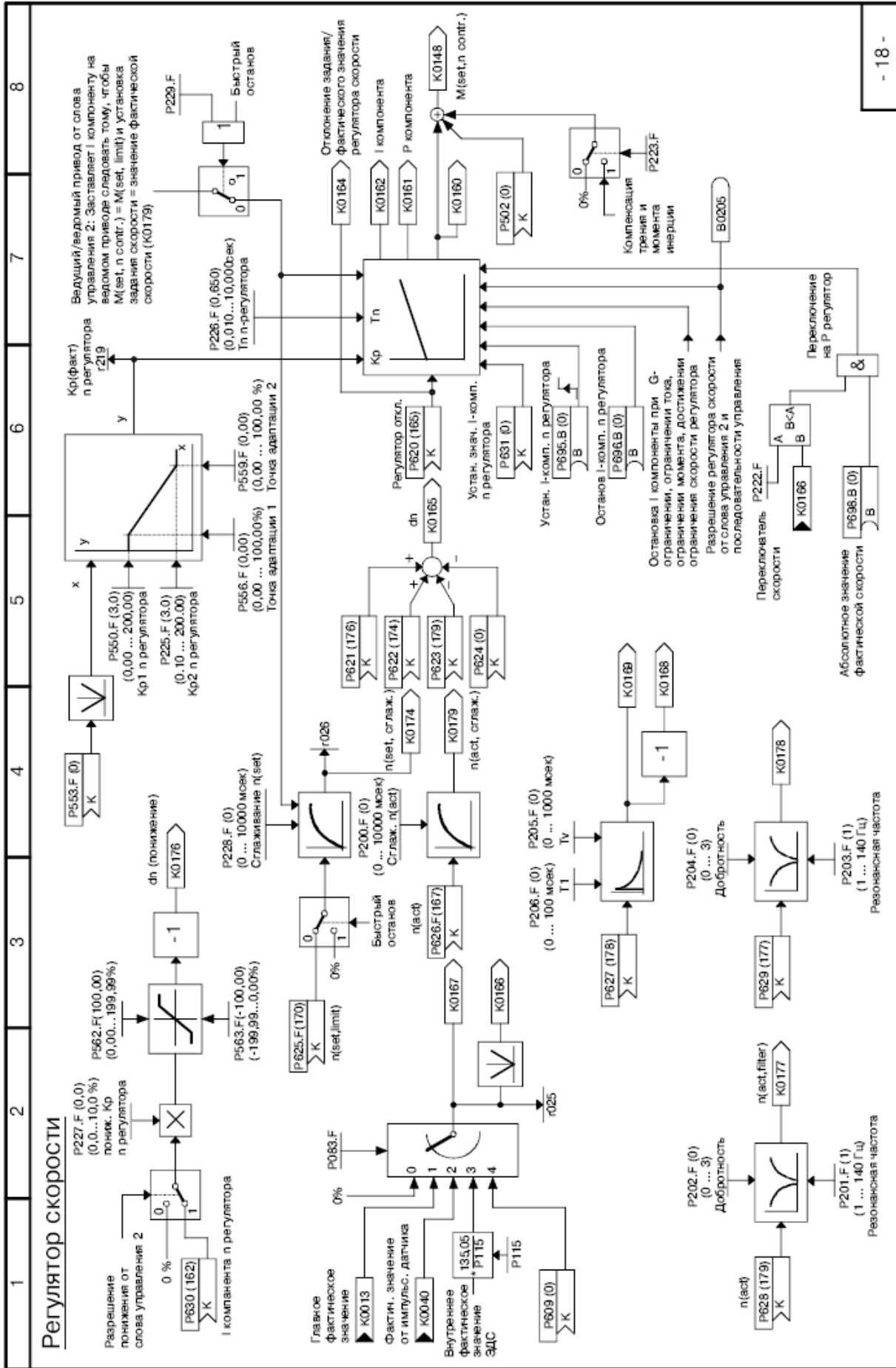
Для зменшення перерегулювання по швидкості під час налаштування контуру на симетричний оптимум на його вході ми встановлюємо фільтр із передавальною функцією:

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi}p + 1} \quad (4.23)$$

де  $T_{\phi} = 8T_{\mu} = 2T_{ос} = 2 \cdot 0,02 = 0,04$  с – постійна часу фільтру.

Функціональну схему контуру регулювання швидкості, який реалізовано у перетворювачі SIMOREG DC Master програмно на базі відповідних блоків, показано на рисунку 4.6. Розраховані величини пропорційної та інтегральної частин регулятора швидкості під час налагодження електропривода необхідно встановити в параметрах P550.F, P225.F і P226.F відповідно.

В якості датчика швидкості обираємо імпульсний датчик HOG 10 DN концерну Huebner Berlin - 1024 імпульси/оберт.





#### 4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості

З метою розгону і гальмування двигуна з динамічним струмом, що менший за уставку струмообмеження ( $I_{\max} = 2,5I_H$ ) потрібно на вході регулятора швидкості установити задатчик інтенсивності швидкості (ЗІШ). Він перетворює ступінчастий сигнал задавання швидкості в сигнал, що лінійно змінюється в часі. Встановлене значення напруги виходу ЗІШ, яке подається на вхід регулятора швидкості, дорівнює вхідному сигналу. Структурну схему задатчика інтенсивності зображено на рисунку 4.8.

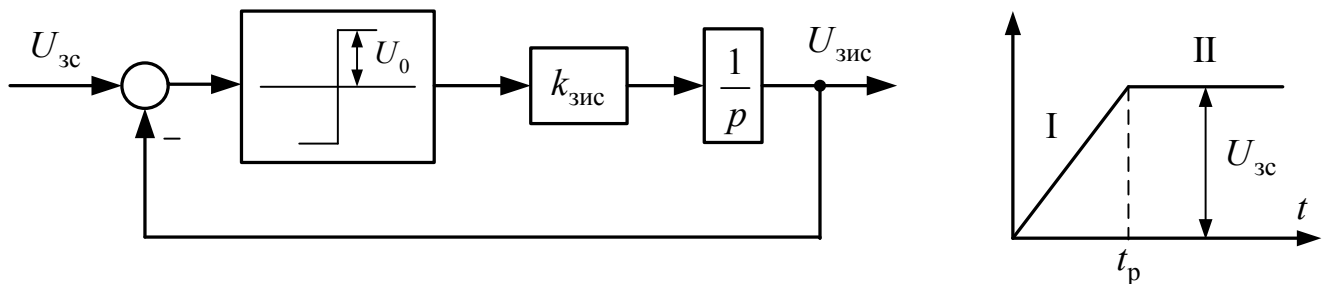


Рисунок 4.8 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідну напругу задатчика інтенсивності можна описати такими рівняннями:

I ділянка:

$$U_{zish}^I = U_0 k_{zish} t_p = \frac{R_2}{T_M c \Phi_H} \frac{I_{дин} U_{zc}}{\omega_{з,уст}} t_p \quad (4.24)$$

II ділянка

$$U_{zис}^{II} = U_{zc} \quad (4.25)$$

де  $I_{дин} = 1,2I_H = 72$  А - заданий динамічний струм;

$\omega_{з,уст} = 12,3$  1/с – швидкість, що встановилася (швидкість транспортування

металу), що відповідає  $U_{zc}$ ;

$U_{zc} = 10$  В - напруга на вході ЗІШ;

$U_0 = 10$  В - полка релейного елемента.

Зі співвідношення, наданого у прикладі (3.24) обчислимо час розгону

двигуна до сталої швидкості:

$$t_p = \frac{T_M c \Phi_H}{R_s} \cdot \frac{\omega_{з.уст}}{I_{дин}} = \frac{0,19 \cdot 10,63}{0,081} \cdot \frac{12,3}{72} = 0,9 \text{ с} \quad (4.26)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{зиш} = \frac{U_{зс}}{t_p} = \frac{10}{4,26} = 11,11 \text{ В/с} \quad (4.27)$$

Функціональна схема задатчика інтенсивності швидкості, реалізованого в перетворювачі SIMOREG DC Master програмно на базі відповідних блоків, наведена на рисунку 4.8.

На рисунку 4.9 наведено структурну схему швидкісної системи підпорядкованого керування електропривода.



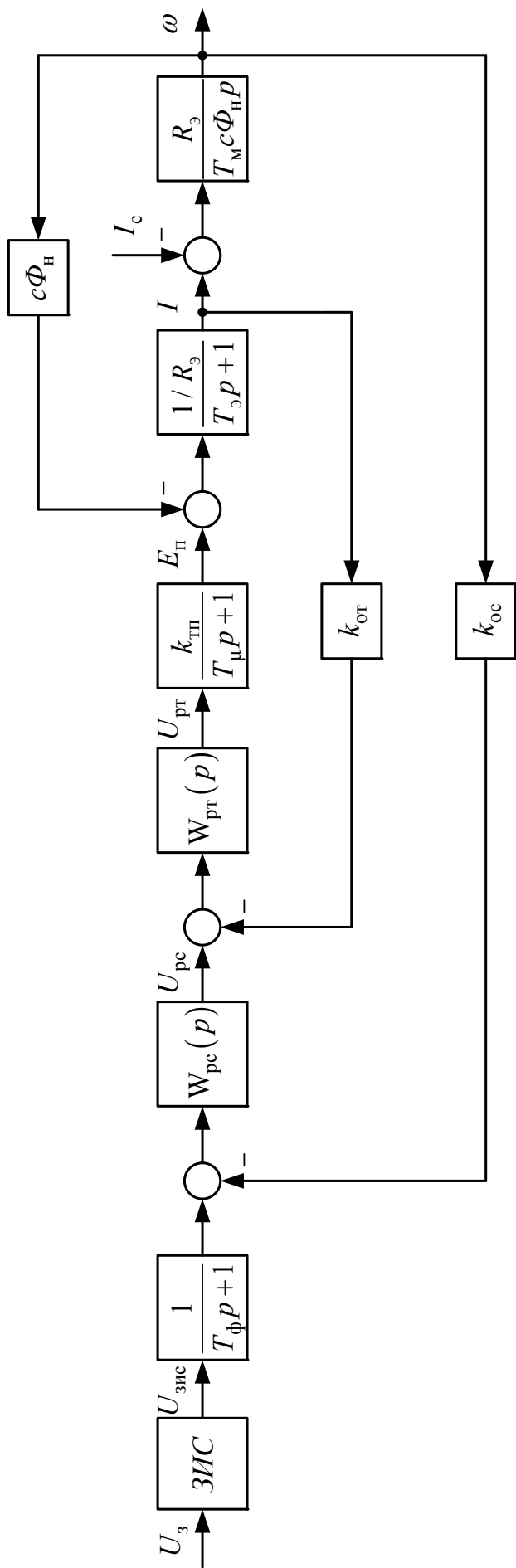


Рисунок 4.9 - Структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування

## 5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РОЛЬГАНГУ КЛІТИ «ДУО» У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

Моделювання даної системи відбувається в середовищі моделювання динамічних систем Matlab/Simulink. Створену Simulink-модель швидкісної системи підпорядкованого керування електроприводом робочого рольганга, яка має у своєму складі ПІ-регулятори струму, швидкості та задатчик інтенсивності швидкості наведено на рис. 5.1. Внутрішні структури підсистем (Subsystem) типових вузлів схеми зображено на рис. 5.2 - 5.4.

У процесі реалізації регуляторів струму і швидкості в цифровій моделі було враховано їхнє насичення. Для прикладу, під час побудови моделі ПІ-регулятора недостатньо обмежити лише його вихідну напругу за допомогою блока Saturation, адже внутрішня інтегральна складова блока може накопичувати в перехідному процесі значення, що вищі за передбачуваний поріг насичення. Із цієї причини використовувати стандартний блок PID-Controller, представлений у бібліотеці Simulink Extras/Additional Liner, не можна. Моделі регуляторів коректно враховують поріг насичення регулятора В (див. рис. 5.3) [9].

Графіки перехідних процесів (швидкість обертання двигуна; струм якірною ланцюга системи; ЕРС силового перетворювача; вихідна напруга регулятора положення; вихідна напруга регулятора швидкості; вихідна напруга регулятора струму; вихідна напруга задавача інтенсивності швидкості), отримані як за номінальних параметрів об'єкта керування, так і за їхньої варіації, наведено на рис. 5.5 - 5.7.



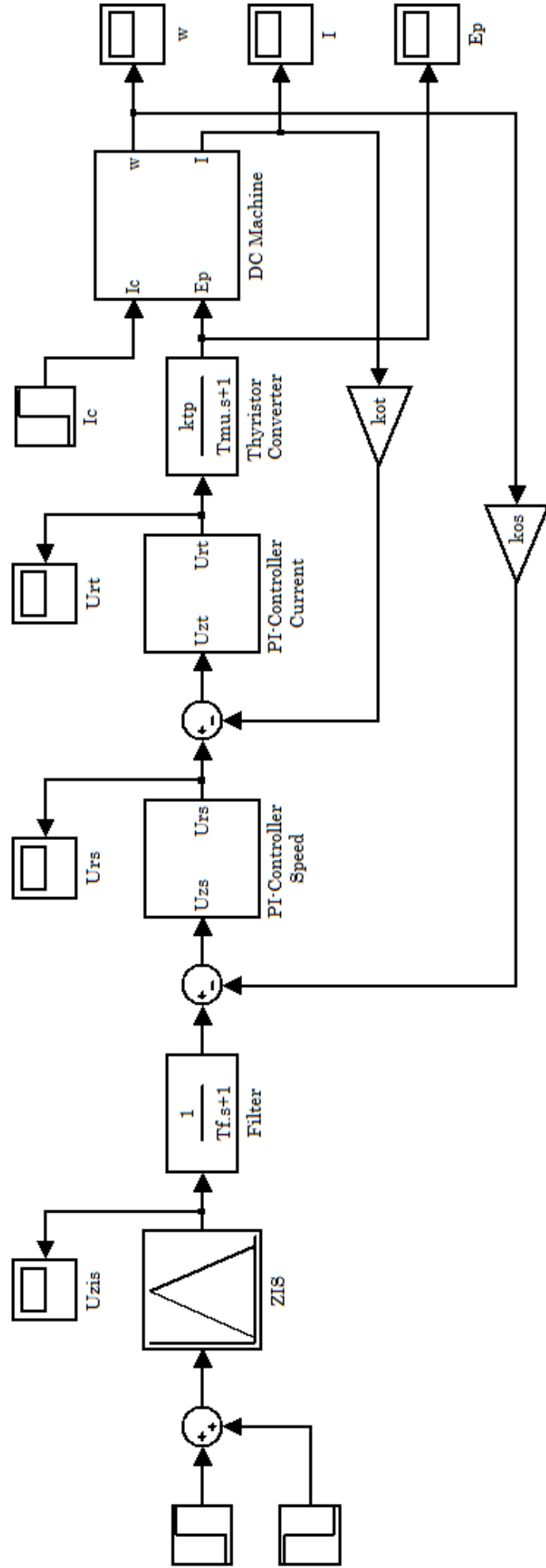


Рисунок 5.1 – Simulink-модель швидкісної системи підрядкованого керування

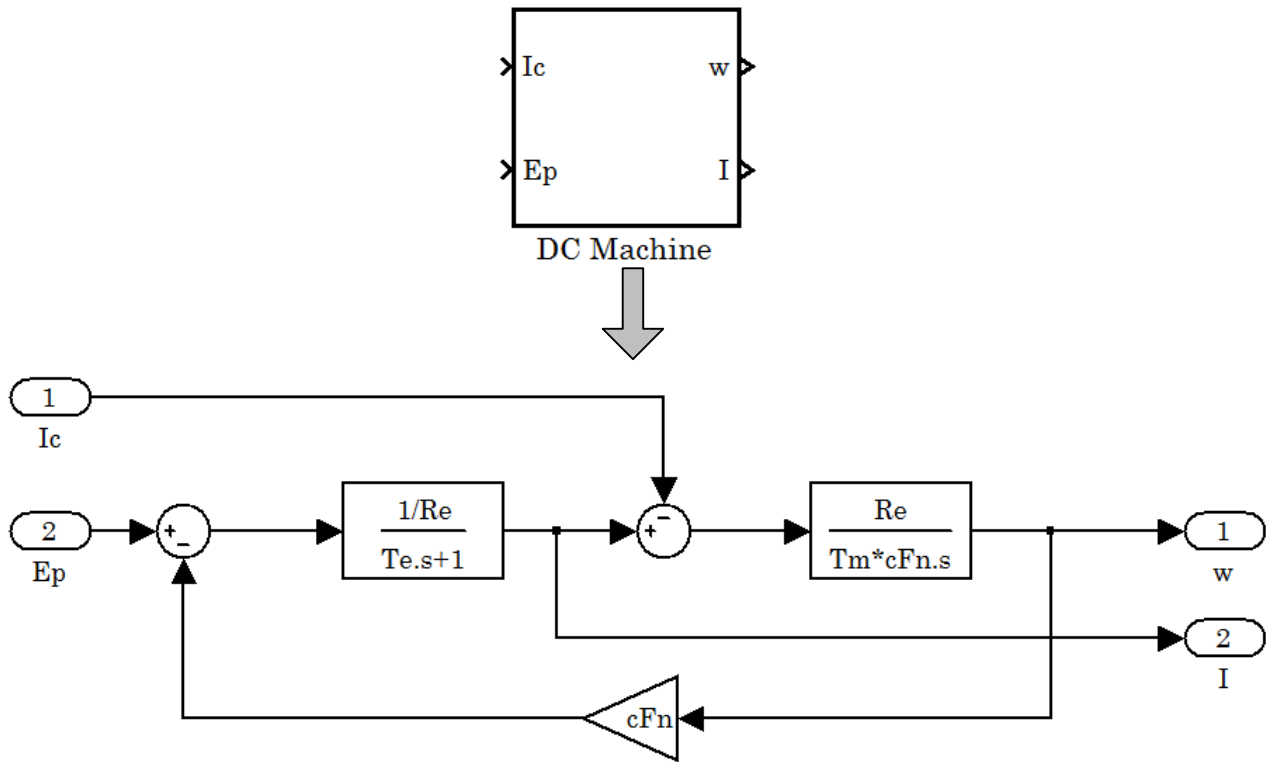


Рисунок 5.2 Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

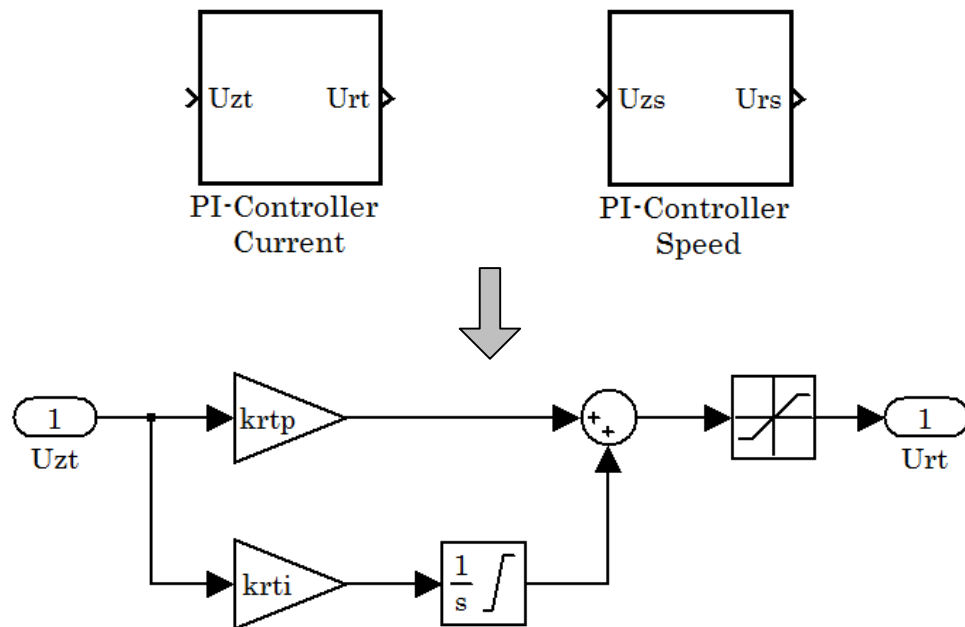


Рисунок 5.3 - Підсистема "ПІ-регулятор" струму (PI-Controller Current) і швидкості (PI-Controller Speed), що враховує поріг насичення регулятора

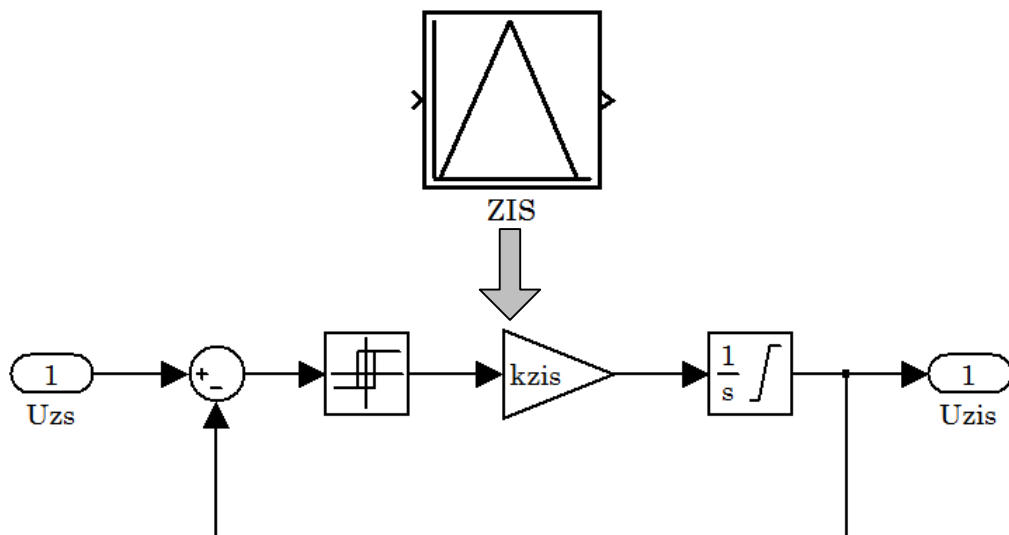


Рисунок 5.4 - Підсистема "Задатчик інтенсивності швидкості", що здійснює раціональну динаміку

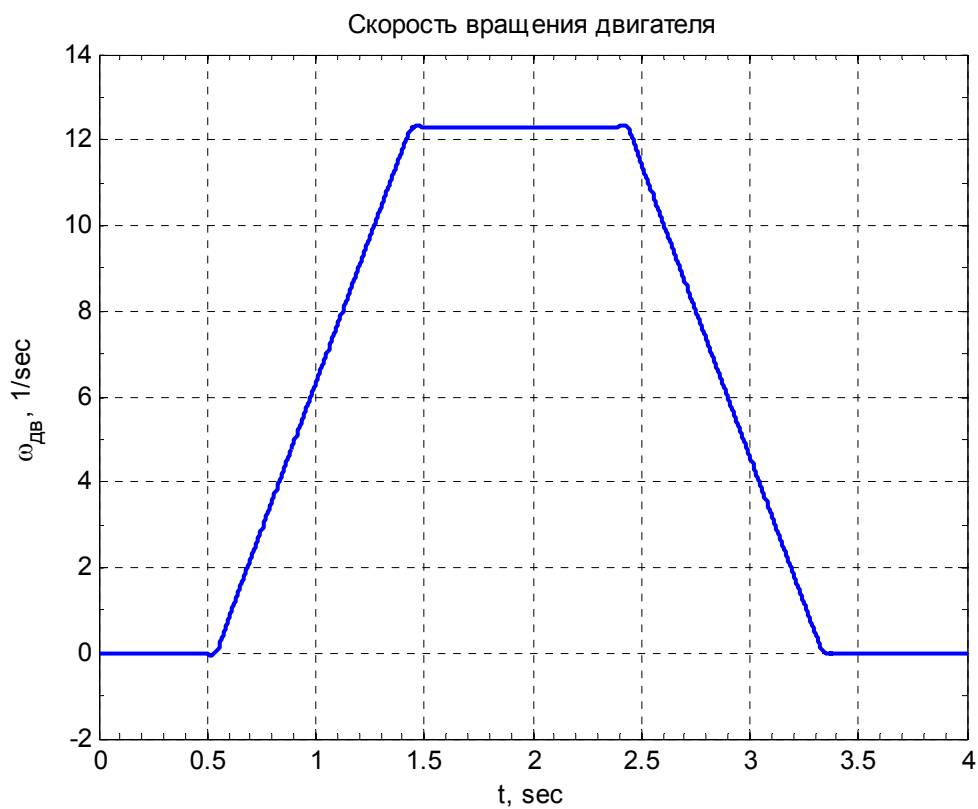


Рисунок 5.5 – - Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна ( $I_c = 0,3I_H$ )

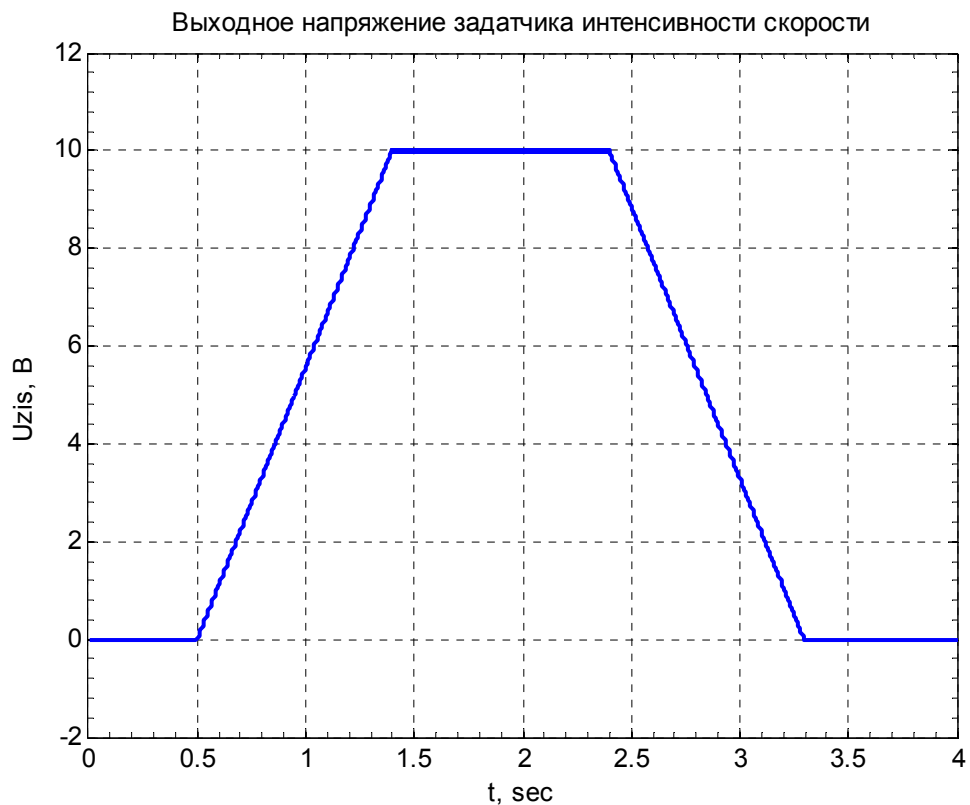


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу напруги датчика інтенсивності швидкості ( $I_c = 0,3I_H$ )

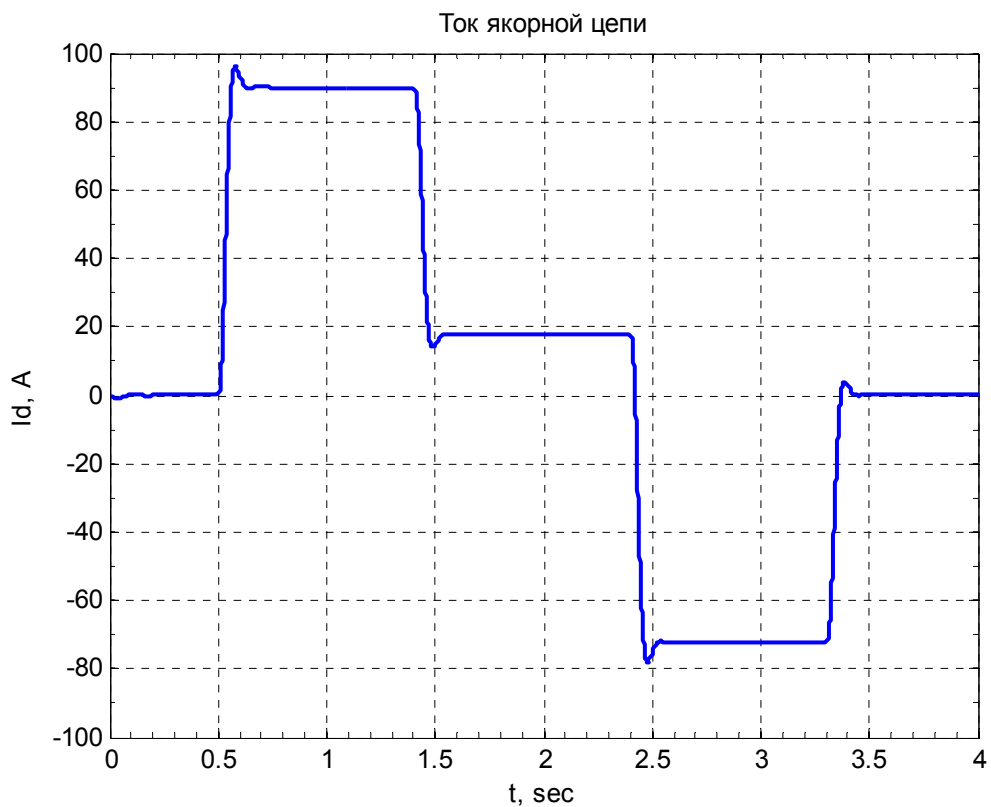


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу струму якоря ( $I_c = 0,3I_H$ )

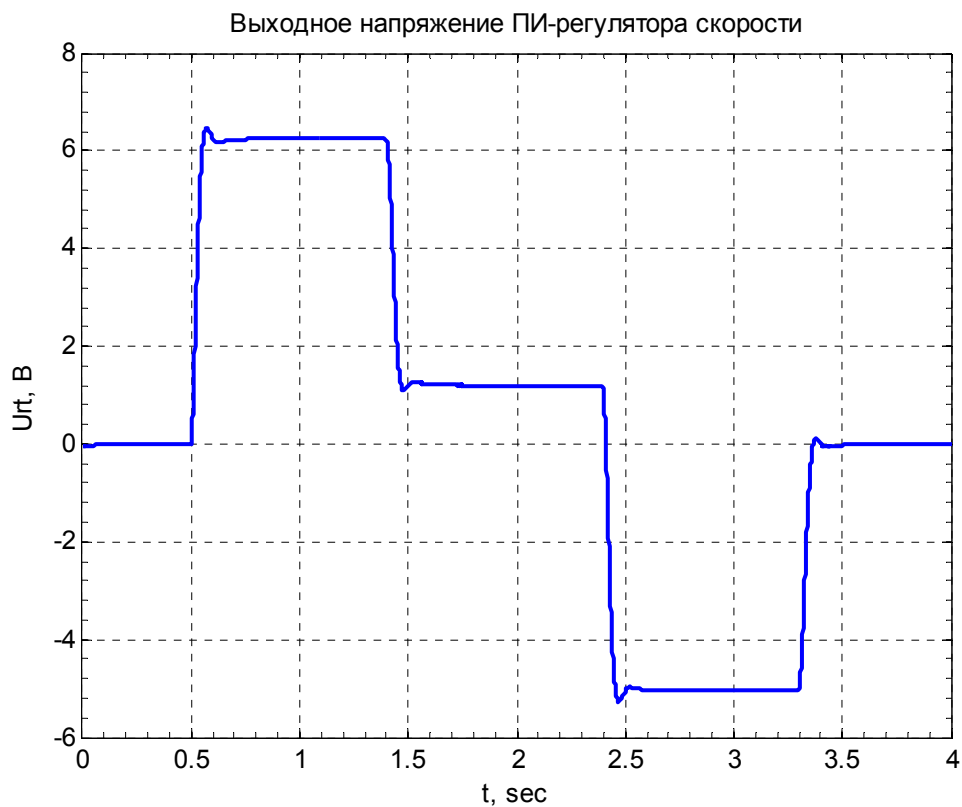


Рисунок 5.7 - Графік перехідного процесу напруги  
 ПІ-регулятора швидкості ( $I_c = 0,3I_H$ )

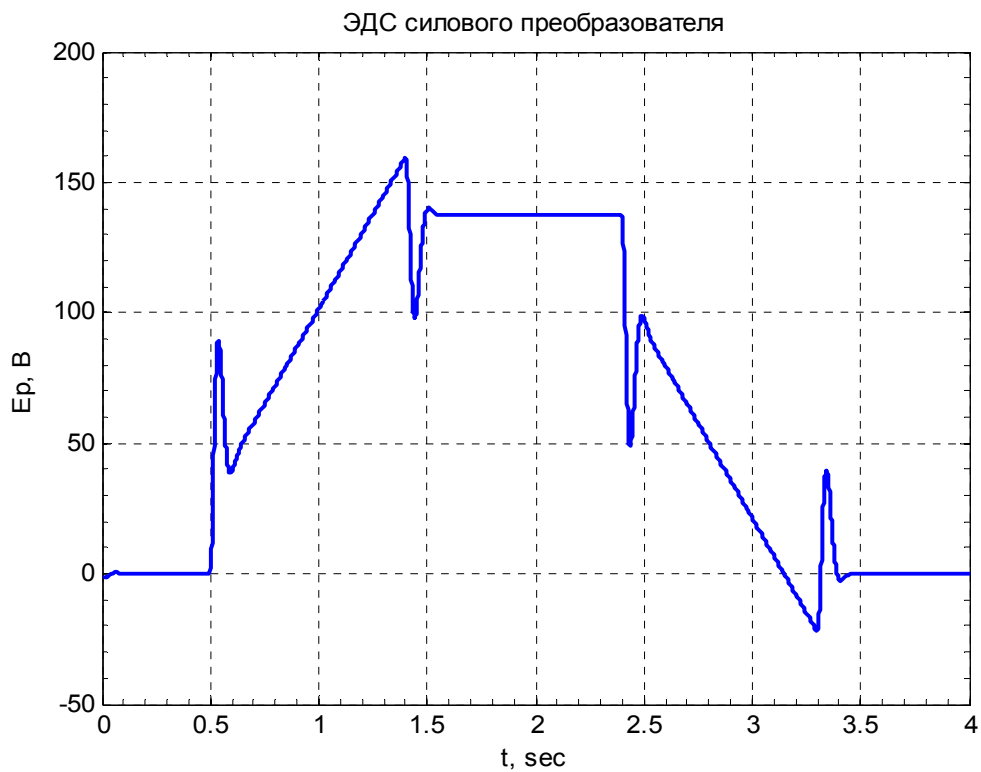


Рисунок 5.8 - Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного  
 перетворювача ( $I_c = 0,3I_H$ )

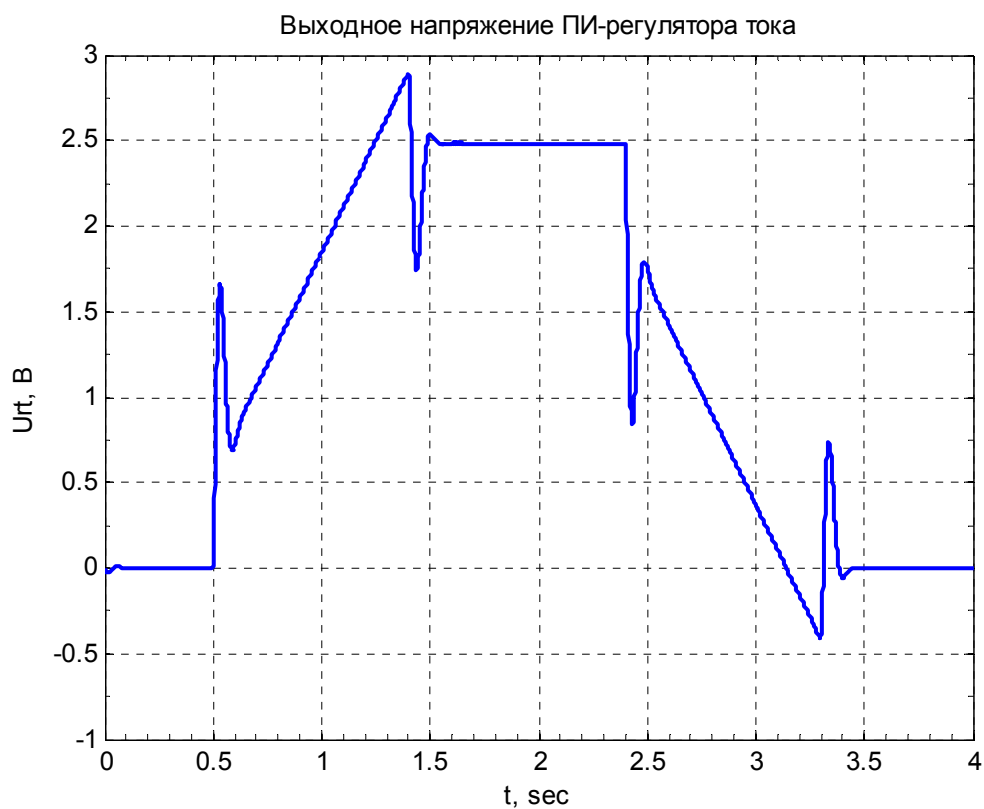


Рисунок 5.9 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму  
( $I_c = 0,3I_H$ )

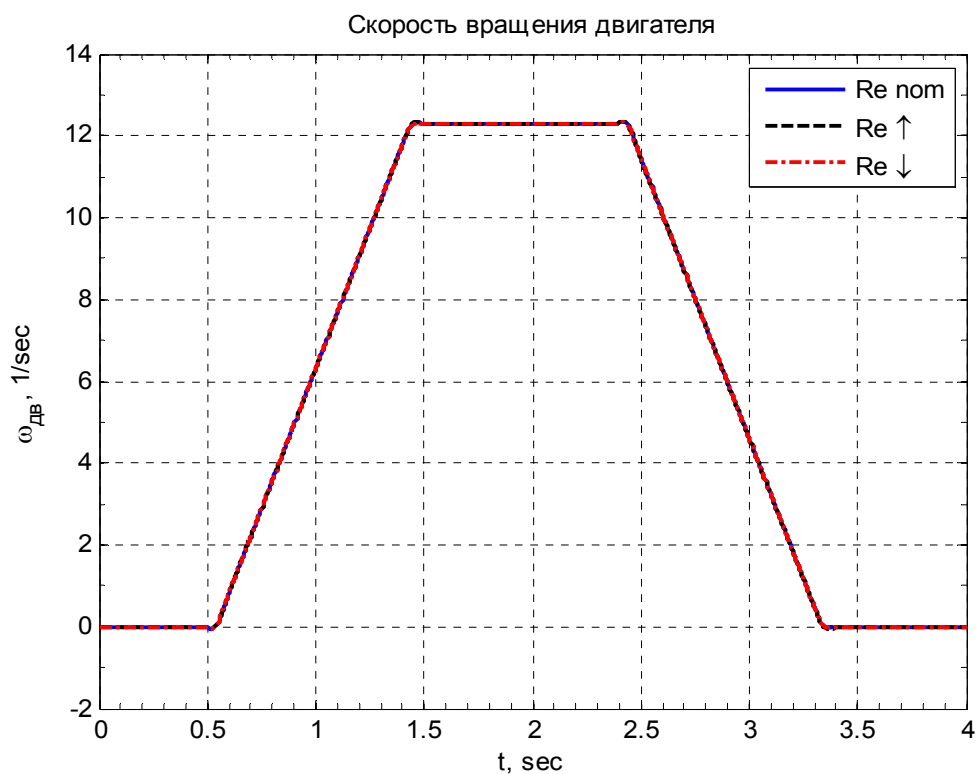


Рисунок 5.10 – Графіки перехідного процесу швидкості  
обертання двигуна під час збільшення та зменшення  $R_s$  у 2 рази

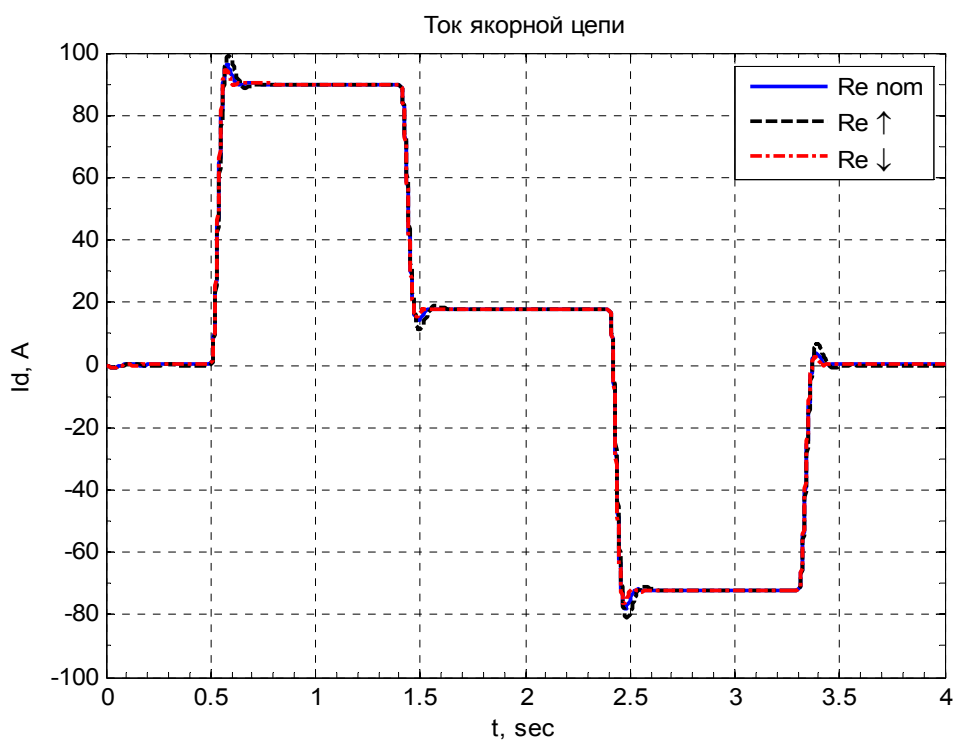


Рисунок 5.11 - Графік перехідного процесу струму якоря при збільшенні та зменшенні у 2 рази

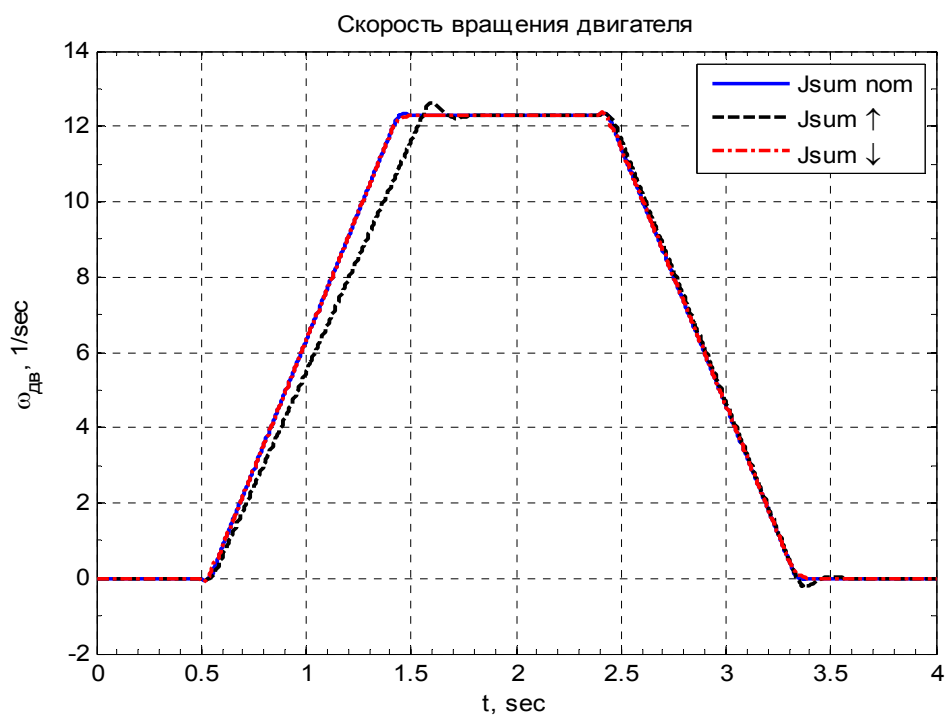


Рисунок 5.12 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна під час збільшення та зменшення  $J'_\Sigma$  у 2 рази

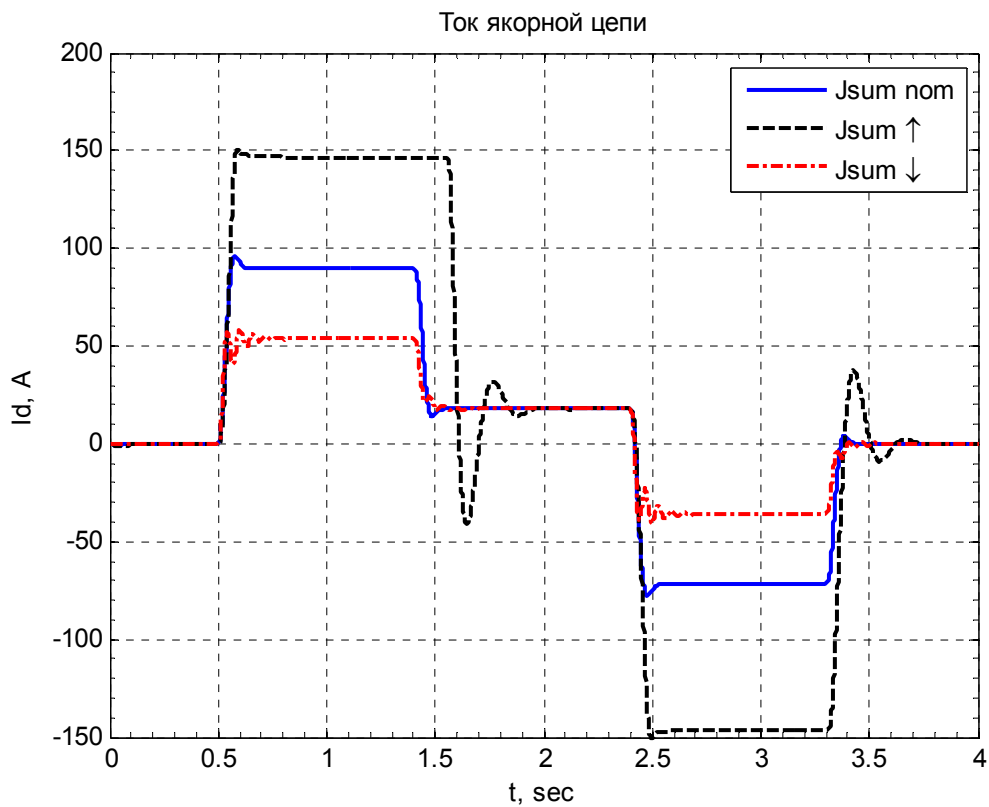


Рисунок 5.13 – Графік перехідного процесу струму якоря при збільшенні та зменшенні  $J'_\Sigma$  у 2 рази

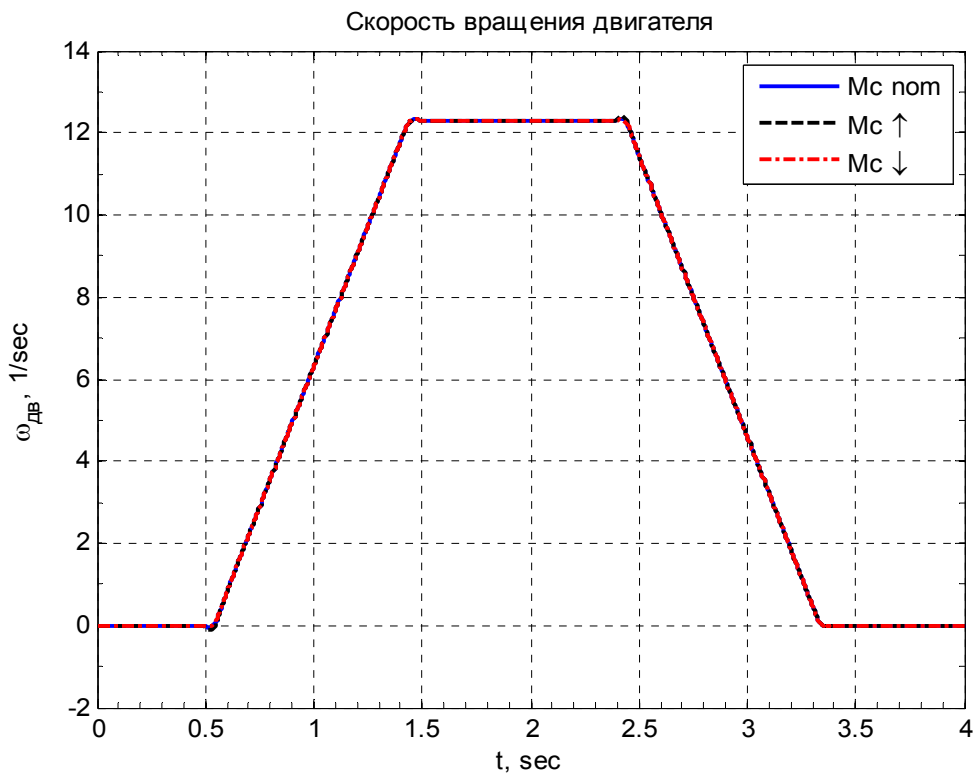


Рисунок 5.14 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна під час збільшення та зменшення  $M_c$  у 2 рази



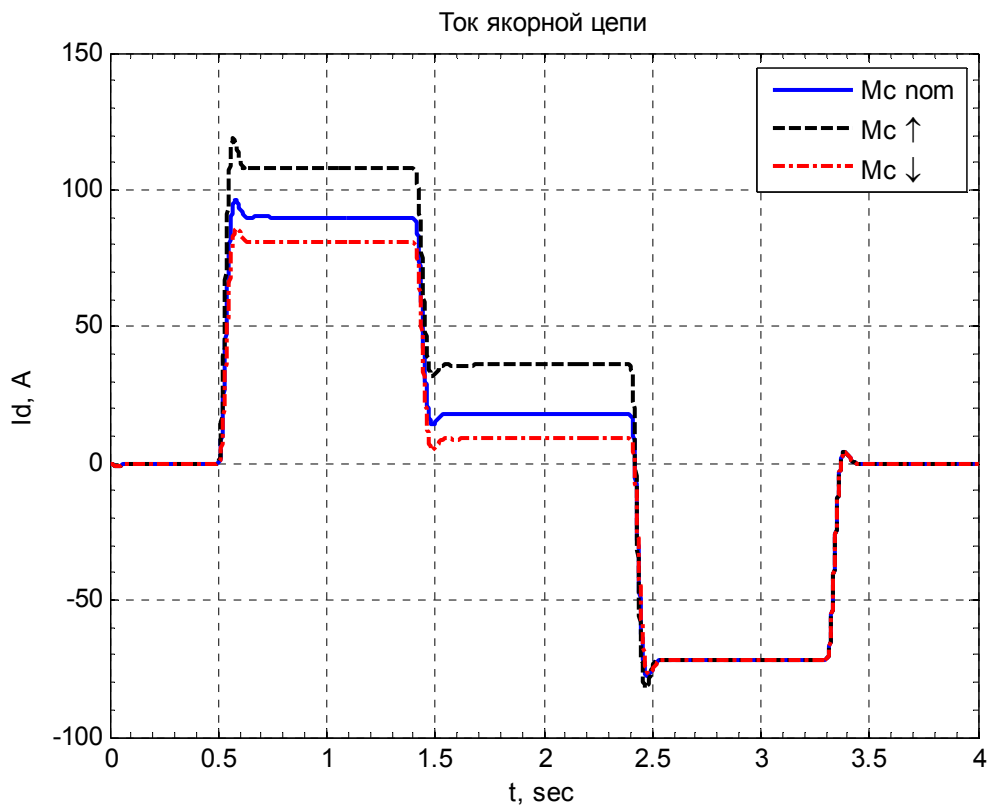


Рисунок 5.15 – Графік перехідного процесу струму якоря при збільшенні та зменшенні  $M_c$  у 2 рази

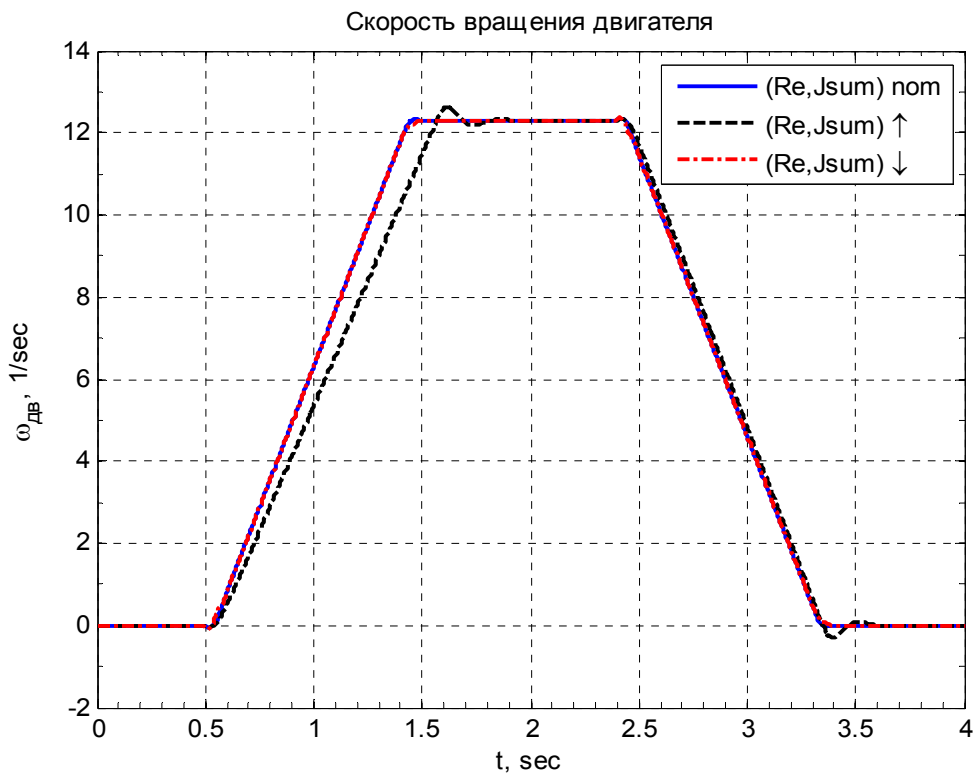


Рисунок 5.16 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна за одночасної зміни  $R_e$  и  $J'_{\Sigma}$  у 2 рази

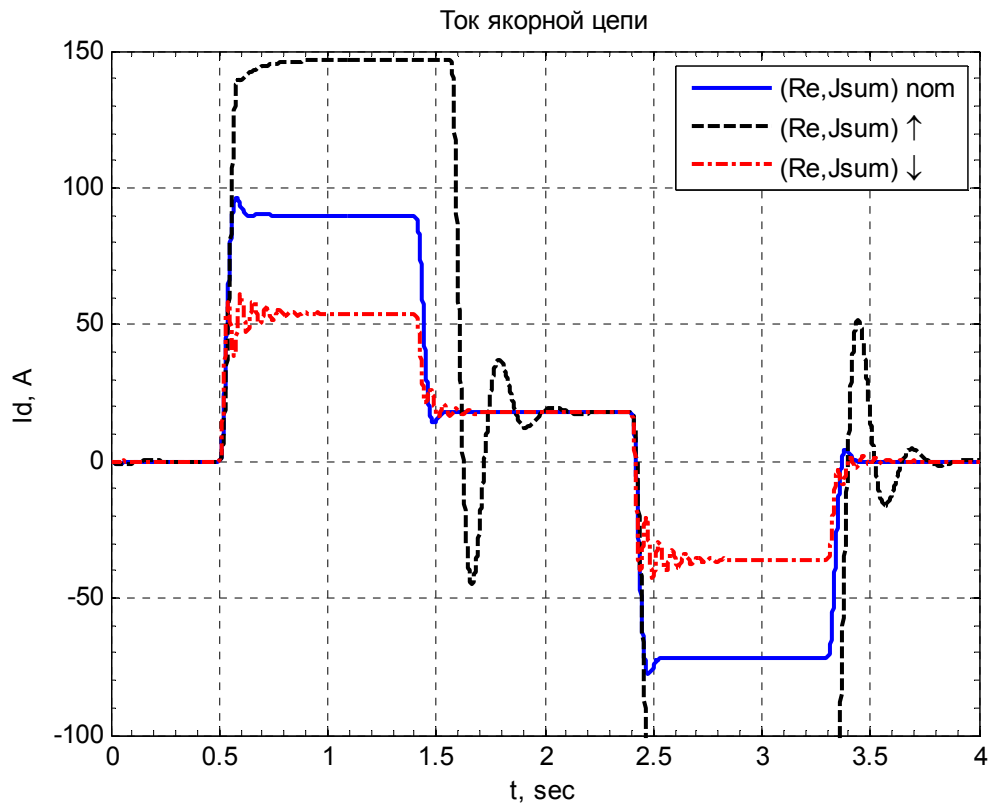


Рисунок 5.17 – Графік перехідного процесу струму якоря при одночасній зміні  $R_s$  и  $J'_\Sigma$  у 2 рази

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.

### 6.1 Причини виробничого травматизму

Основним нормативно - правовим актом з охорони праці в прокатному виробництві є «НПАОП 27.1-1.04-09. Правила охорони праці у прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу».

При визначенні причин нещасних випадків їх поділяють на три групи відповідно до методу класифікації [10]:

- технічні: невідповідні або недосконалі засоби виробництва; ненадійні інструменти; недостатній рівень технічного стану виробничого обладнання та засобів виробництва, транспортних засобів; незадовільний стан виробничого середовища (несприятливі погодні умови, підвищена концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони, наявність небезпечних випромінювань, недостатнє освітлення, підвищений рівень шуму та вібрації тощо).

- організаційні: (залежать від рівня організації праці на робочому місці та діяльності працівників), недостатній рівень навчання безпечним методам роботи (відсутність або неякісне проведення інструктажів, допуск до роботи без навчання та перевірки знань з питань охорони праці), недостатня кількість або відсутність інструкцій з охорони праці, відсутність посадових інструкцій; порушення режиму праці та відпочинку, відсутність або неякісне проведення медичних оглядів (підбір спеціалістів), невикористання ЗІЗ через їх відсутність; виконання робіт в умовах, коли не підключені або несправні засоби колективного захисту, сигналізації, вентиляції та освітлення, залучення до роботи працівників не за фахом, порушення технологічних процесів, порушення вимог безпеки під час експлуатації транспортних засобів, невикористання засобів колективного захисту, невикористання засобів індивідуального захисту, невиконання посадових обов'язків, невиконання вимог інструкцій з охорони праці та безпеки життєдіяльності;

- психофізіологічні: (людські фактори, пов'язані з несумісністю анатомічних, фізіологічних і психологічних особливостей організму людини з

наявними умовами праці): алкогольне, наркотичне сп'яніння, отруєння, невідповідність фізичних даних або стану здоров'я.

При встановленні причини професійного захворювання враховуються такі виробничі фактори: запиленість повітря робочої зони, забрудненість повітря робочої зони шкідливими, висока та низька температури повітря робочої зони, температура поверхні обладнання та матеріалів, рівень шуму, загальна та локальна вібрація, рівні ультразвуку, рівні електромагнітного випромінювання, рівні вологості та швидкості вітру, рівні іонізуючого випромінювання, рівні фізичного перевантаження, інші виробничі фактори відповідно до гігієнічної класифікації праці.

## **6.2 Шкідливі та небезпечні фактори на робочому місці, їх аналіз.**

Розроблений автоматизований електропривод містить небезпечну для життя напругу – змінну 6 кВ, постійну 420 В. Наявність таких напруг при контакті людини з струмопровідними частинами може призвести до смертельного наслідку. Тому відповідно до ДСТУ 7237:2011 проведено такі заходи електробезпеки цієї електроустановки [11]:

- режим контролю мережі живлення;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин - електроприводу;
- контроль та профілактика пошкоджень ізоляції;
- заземлення та захисне відключення;
- захисне відключення;
- сигналізація;
- застосування знижених напруг;
- подвійна ізоляція;
- застосування захисних засобів.

За умовами експлуатації електроустаткування забороняються великі перепади напруг і частоти мережі живлення, тому введено режим контролю

мережі живлення. Для його реалізації встановлено стабілізатори напруги та струму.

Захист від випадкового дотику до струмоведучих частин електроустановок досягається ізоляцією, огорожею, недоступним розташуванням струмопровідних частин, використанням дистанційного керування, блокування та попереджувальної сигналізації.

Працюючи з переносним ручним електроінструментом, а також ручною переносною лампою, працівник має тривалий контакт з корпусами цього обладнання, внаслідок чого різко підвищується небезпека ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції та появи напруги на корпусі. Тому для освітлення місця ремонту дозволяється користуватися переносними електролампами безпечного типу напругою не вище 36 В. Поза приміщеннями та у вузьких приміщеннях з струмопровідними підлогами та наявністю вологості напруга ручних переносних електроламп не вище 12 В.

При користуванні електричними інструментами необхідно перевірити справність заземлюючої проводки та користуватися захисними засобами (діелектричними килимками, рукавичками тощо).

#### Техніка безпеки при експлуатації машин і механізмів

На прокатних станах є різноманітні машини та механізми, призначені для деформації, транспортування та обробки металу, підготовки його до прокатки та пакування готової продукції. Ці машини та механізми становлять значну потенційну небезпеку для обслуговуючого персоналу, включаючи можливість отримання механічного травмування. При проектуванні прокатних станів необхідно враховувати вимоги безпеки машин і механізмів.

Загальноприйнятими вимогами щодо безпеки для всіх прокатних станів є:

- наявність зв'язку та сигналізації в усіх дільницях і з постами керування допоміжних агрегатів. Для візуальної сигналізації використовується загоряння лампи, миготливе світло, а для звукової – сирени, гудок або дзвінок.

- наявність обладнаних переходів з перехідними містками з огороженням через головний з'єднувальний вал кожної кліті прокатного стану;

- забороняється усунення несправностей вузлів і механізмів станів під час прокатки металу;
- дистанційне проведення замірів рухомого профілю прокатоного металу з використанням відповідних вимірювальних приладів;
- зазори між роликками рольгангів повинні бути перекриті, за винятком робочих рольгангів [12];
- наявність захисного огороження для захисту від відлітаючих під час прокатки частинок окалини і шлаку (запобіжні щити, сітчаста огорожа);
- оснащений освітленням натискний пристрій кліті блюмінга (слябінга).

Забороняється:

- вішати одяг та інші предмети на дроти, ізолятори, вимикачі та інше електрообладнання;
- контактувати з електрообладнанням або заходити за огорожу, не відключивши відповідної ділянки та не оформивши дозвіл;
- відкривати та знімати кожухи з рубильників;
- користуватися несправним та незаземленим електроінструментом;
- торкатися електричних проводів, кабелів, наступати на проводи, що лежать на землі;
- спиратися чи переступати через електричні машини, апарати, трансформатори тощо.

Про виявлені недоліки та поломки електроустаткування повідомляти чергового електрика.

Обов'язкові заходи:

- територія цеху, приміщення виробничого корпусу мають бути прибрані від виробничих відходів;
- металева стружка, ганчірки для витирання масла та інші виробничі відходи повинні зберігатися в спеціально обладнаних контейнерах і в спеціально відведених місцях;
- забезпечити вільний доступ до будівлі цеху, джерел води, пожежного інвентарю;

- не допускається наявність відкритих канав, ям біля цеху, вони мають бути обладнані огорожею висотою щонайменше 0.9 м та освітлюватись у темний час доби;
- чітко позначати межі проходів та проїздів у цеху;
- усі евакуаційні виходи у робочий час тримати відкритими;
- оздоблення шляхів евакуації матеріалом, що згорається, не допускається;
- систематично (згідно з графіком) перевіряти засоби пожежогасіння;
- не допускається робота обладнання, установок і верстатів з несправностями, регулярно проводиться очищення електродвигунів від пилу, що займається;
- зберігання горючих рідин на робочих місцях має перевищувати норм потреби. Невикористані протягом зміни повертаються в цехову комору;
- вентиляція цеху має бути справною та проходити планові та періодичні огляди, очищатися від пилу та відходів виробництва.

Забороняється у приміщенні виробничого корпусу: встановлювати на шляхах евакуації виробниче обладнання; проводити очищення обладнання із застосуванням бензину, гасу та інших легкозаймистих речовин; залишати без нагляду увімкнене обладнання; проводити відігрівання замерзлих труб різних систем паяльними лампами та будь-якими іншими способами із застосуванням відкритого вогню; зберігати спецодяг на робочих місцях, використовувати трубопроводи та нагрівальні прилади для його просушування, палити у приміщенні виробничого корпусу. Допускається курити у спеціально відведених місцях, обладнаних урнами та ємностями з водою, позначеними написами «Місце для паління».

### **6.3 Виробнича санітарія**

Виробнича санітарія - це система організаційних, санітарно-гігієнічних і технічних заходів та засобів, спрямованих на запобігання впливу на працівників шкідливих виробничих факторів.

Виробнича санітарія базується на нормативно - правових актах «Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН)»

Комплекс практичних заходів, заснованих на наукових принципах гігієни праці, називається виробничою гігієною. До них належать вентиляція, опалення, забезпечення туалетами, душовими, умивальниками та іншими санітарно-побутовими приміщеннями; озеленення та утримання території підприємства; забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та запобігання забрудненню навколишнього середовища рідинами, газами, парами, димом, випромінюванням та шумом.

### 6.3.1 Мікроклімат у виробничих приміщеннях та склад повітря

Мікроклімат на промисловому підприємстві має такі характеристики: атмосферний тиск, температура, вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового випромінювання. Мікроклімат має значний вплив на перебіг важливих процесів в організмі людини і є важливою характеристикою гігієнічних умов праці [13].

Оптимальні умови - це умови, які гарантують найкращу працездатність і здоров'я людини. Допустимими мікрокліматичними умовами на робочих місцях передбачають можливість інтенсивної роботи і дискомфорту за рахунок температурного режиму, який може бути допустимим для організму. У холодний період року оптимальна відносна вологість у виробничих приміщеннях становить від 40% до 60% і не перевищує 80%. У теплу пору року за температури повітря у виробничих приміщеннях від 15 °С до 17 °С оптимальна відносна вологість повітря також становить від 40% до 60%. При більш високій температурі повітря допускається менша відносна вологість.

У холодний період року у виробничих приміщеннях прокатного цеху оптимальна швидкість руху повітря дорівнює 0,2 - 0,3 м/с. У літню пору допускається швидкість руху повітря 0,3 - 1,5 м/с, а за значного тепловипромінювання, коли застосовується повітряний душ, швидкість руху повітря різко зростає.



Для зменшення теплового випромінювання температура джерела тепла повинна бути якомога нижчою. До ефективних фізіологічних та гігієнічних допоміжних заходів належать гідротерапія та вдосконалення та втілення організації питного режиму.

Під час роботи у виробничих приміщеннях з високими температурами організм людини втрачає багато води через потовиділення. Якщо в нормальних умовах відпочинку з потом втрачається від 0,6 л до 0,7 л води на добу, то за зміну під час гарячих робіт втрачається від 6 до 7 л води.

Під час нагрівання та прокатки металу на прокатних станах утворюються небезпечні речовини, такі як металевий пил, пара металу та різні речовини. Під час гарячої прокатки сталевих листів, повітря в отворі прокатного стану містить пил у вигляді подрібненої окалини. У нагрівальній камері печі утворюються продукти згоряння палива. Тому розробка заходів захисту від шкідливих речовин у виробничих приміщеннях прокатних станів є важливим завданням.

У прокатному цеху багато операцій супроводжуються виділенням значної кількості пилу. Пил прокатних цехів переважно складається з оксидів заліза з домішкою інших речовин: оксид кремнію, марганцю і легуючих елементів. За санітарними нормами для цеху встановлено гранично допустиму концентрацію пилу в повітрі не більше ніж 10 мг/м<sup>3</sup>.

Гранично допустимі концентрації відповідно до ГОСТ 12.1005-88 "Загальні вимоги до повітря робочої зони".

Виробничий пил у приміщеннях прокатних станів є наслідком прокатки металу. Під час роботи в запилених приміщеннях необхідно використовувати засоби захисту органів дихання і завжди носити навушники.

### 6.3.2 Освітлення на виробництві

Через незадовільне освітлення виникають травматичні випадки, вони негативно впливають на зір працюючих і знижують продуктивність праці. Щоб уникнути цього, треба забезпечити відповідне освітлення цеху, як у денний час, так і в нічний час доби.

Природне освітлення цеху забезпечується через вікна в стінах і світлові ліхтарі в даху будівлі. Враховуючи запиленість вікон у цеху, їх потрібно очищати від пилу і бруду щонайменше 4 рази на рік, для чого будівлю треба забезпечити пристроями для доступу до верхніх ярусів вікон і ліхтарів.

Штучне освітлення в цеху існує за рахунок ламп. У цеху застосовують загальне освітлення. Окрім освітлення робочого, у цеху встановлено й аварійне освітлення, що призначене для безперервного обслуговування стану й обладнання у випадку відмови в дії робочого освітлення, а також для забезпечення безперешкодного виходу з приміщення в разі аварії. Аварійне освітлення підключено до незалежного джерела електропостачання.

Для забезпечення оптимального розподілу світлового потоку ламп використовується освітлювальна арматура. У цеху використовуються світильники прямого світла, які можна підвісити на досить великій висоті. Контролювання за станом освітлення здійснюють за допомогою люкметрів.

### 6.3.3 Шум у виробничих приміщеннях

Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я працівників, сприяє виникненню травматизму і погіршує результативність праці. Діяльність в умовах підвищеного шуму протягом усього дня викликає навантаження на слухові органи. Тривалість впливу шуму, що перевищує допустимі норми, призводить до втрати слуху. Шум високих тонів негативно впливає на органи, що керують рівновагою робітника.

Правильне нормування гранично допустимої рівня гучності виробничого шуму має важливе значення.

Припустимий рівень шуму становить на різних ділянках прокатного стану від 75 Дб до 80 Дб, фактичний рівень шуму на прокатному стані становить 100 Дб.

Основним джерелом шуму є прокатка металу та механічне обладнання прокатного стану.

Заходи для зменшення рівня шуму полягають у звукоізоляції обладнання; використанню ізолюючих прокладок та амортизаторів; використанні засобів

індивідуального захисту у вигляді антифонів, проти шумних вкладишів, спеціальних проти шумних накладних навушників.

Вплив ультразвуку значної інтенсивності становить серйозну загрозу для здоров'я людини. Характерні ознаки дії ультразвуку під час експлуатації устаткування, що генерує ультразвуки, проявляються у появі передчасної втоми, головного і вушного болю, блювання.

#### 6.3.4 Виробничі вібрації

Коливання тіл із частотою менше 16 Гц до 20 Гц називаються вібраціями

При збільшенні частоти вібрацій виникає і шум. Довготривала дія струсів високої частоти та амплітуди уражає нервово-м'язову та серцево-судинну системи людини та зумовлює пошкодження суглобів. Водночас може виникнути загальна втрата працездатності. З метою виміру вібрації використовуються віброщупи, що належать до приладів неелектричного типу.

Заходи щодо захисту від шуму і вібрації:

- заміна технологічних процесів, що викликають шум і вібрацію. Процесів, що спричиняють шум і вібрації, іншими менш гучними процесами;
- раціоналізація виробничого обладнання;
- застосування звукоізолюючих кожухів для гучного устаткування чи ізоляції обладнання від виробничих приміщень;
- застосування звукоізолюючих і звукопоглинальних матеріалів.

#### 6.3.5 Засоби індивідуального захисту

Електроустановки повинні бути оснащені перевіреними, готовими до використання захисними засобами (ЗІЗ), а також засобами для надання первинної медичної допомоги згідно з діючими нормами і правилами [14].

Засобами індивідуального захисту поділяються на такі класи: засоби захисту від ураження електричним струмом (електрозахисні засоби); засоби захисту від електричних полів підвищеної напруженості (колективні та індивідуальні); засоби індивідуального захисту.

До електрозахисних засобів належать:

- ізолюючі штанги;
- ізолюючі та електровимірювальні кліщі;
- показчики напруги усіх типів і класів;
- безконтактні сигналізатори наявності напруги;
- ізольований робочий інструмент;
- діелектричні рукавички, боти і калоші, килими, ізолюючі підставки;
- захисні огорожі;
- переносне заземлення;
- пристрої та пристосування для забезпечення безпеки праці під час

проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для перевірки збігу фаз, пристрої для проколу кабелю, показчики пошкодження кабелю тощо);

- плакати і знаки безпеки;
- інші засоби захисту, ізолювальні пристрої та пристосування для ремонтних робіт під напругою в електроустановках 110 кВ і вище).

Із класу електрозахисних засобів виокремлюють ізолюючі електрозахисні засоби, які зі свого боку поділяють на основні та додаткові.

До засобів індивідуального захисту, що застосовуються під час роботи на електроустановках, належать: шумоізоляція (беруші, навушники), засоби захисту голови (каска); очей та обличчя (окуляри, щитки); органів дихання (респіратори); рук (рукавиці, рукавички); засоби, що страхують від падіння (пояси, канати, стропи).

## ВИСНОВОК

У ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення та особливості роботи електроприводу рольганга кліті «Дуо». Розрахували потужність двигуна, динамічні і статичні моменти навантажень. Внаслідок розрахунку було обрано та перевірено двигун типу ДС-808.

Під час проектування було знайдено необхідні значення динамічного моменту розгону і гальмування електроприводу, що гарантують необхідну динаміку механізму.

Для живлення двигунів було обрано цифровий комплектний тиристорний електропривод концерну Siemens типу SIMOREG DC Master 6RM70, що призначений для керування електродвигунами постійного струму.

Отже, у проекті розраховано параметри двоконтурної системи підпорядкованого керування, із зовнішнім контуром швидкості (тому що рольганг - це швидкісна система) і внутрішнім контуром струму.

Виходячи зі структурної схеми електроприводу, було розроблено математичну модель. Було проведено моделювання роботи електричного привода у середовищі Matlab/Simulink, з номінальними параметрами, а також у разі варіації опору якірного ланцюга та сумарного моменту інерції, тим самим отримано оцінку якості перехідних процесів при зміні її динамічних процесів. У процесі розробки ми отримали результати щодо перехідних процесів, які свідчать про точність конфігурацій та налаштування системи. Електропривод, що досліджується, із синтезованою системою керування цілком відповідає технологічним вимогам.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов А.Б. Зеленов. Київ, УМК ВО, 1990. 200 с.
2. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки В.А. Переходченко. Харків: Изд-во «Форт», 2009. 384 с.
3. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие В.С. Коцюбинский. Алчевск: ДГМИ, 2002. 150 с.
4. Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів: навчальний посібник. В. В. Грабко, С. М. Бабій, М. М. Мошноріз. Вінниця, ВНТУ, 2017. 120 с.
5. Catalog DA 12 - 2004. DC motors Sizes 0,45 kW to 1610 kW.
6. Catalog DA 22 - 2002. SIMOREG DC MASTER 6RM70 Digital Converter Cabinet Units.
7. Інструкція з експлуатації SIMOREG DC MASTER серія 6RA70. Мікропроцесорні перетворювачі на потужність 6 кВт - 1900 кВт для постійного струму з регульованою швидкістю
8. Євзеров І.Х., Горобець А.С., Мошкович Б.І. Комплектні тиристорні електроприводи: Довідник; Під ред. канд. тех. наук В.М. Перельмутра. - М.: Энергоатомиздат, 1988. 319 с.
9. Герман-Галкін С.Г. Комп'ютерне моделювання напівпровідникових систем у MatLab 6.0: Навчальний посібник. СПб.: Корона принт, 2001. 320 с.
10. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В. та ін. Основи охорони праці : підручник. 2-ге вид., допов. і перероб. К. : Основа, 2006. 444 с.
11. Чекалін Н.А., Напівхіна Г.Н., Чекаліна С.А, Охорона праці в електроустановках: Навчальний для Вузів. Іздання 3-е , 1983. 336 с.
12. Про затвердження Правил охорони праці в прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу (НПАОП 27.1-1.04-09) URL: <https://op.expertus.com.ua/laws/20162>

13. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці: навч. Посібник для студ. вищ. навч. закл. Київ.: Центр учбової літератури, 2009. 280 с.

14. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В. та ін. Основи охорони праці : підручник. 2-ге вид., допов. і перероб. Київ : Основа, 2006. 444 с.