

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Відомості про механізм і вимоги до електроприводу	7
1.1 Сортамент стану 2250	7
1.2 Характеристика товстолистого стану 2250	7
1.3 Технологічний процес товстолистого стану 2250	11
1.3.1 Підготовка до прокатці	11
1.3.2 Посад слябів	11
1.3.3 Нагрівання і видача слябів в прокатку	12
1.3.4 Прокатка слябів на чорновій кліті «ДУО».....	13
1.3.5 Прокатка листів на чистової кліті «КВАРТО».....	13
1.3.6 Виправлення листів.....	15
1.3.7 Охолодження листів.....	16
1.3.8 Огляд, кантування, робоче маркування листів	16
1.3.9 Розмітка і різання листів.....	16
1.3.10 Маркування, остаточний огляд, зачистка і приймання листів	17
1.3.11 Додаткова обробка листів на складі	18
1.3.12 Прибирання, формування, прозважування, здача на склад і відвантаження	18
1.3.13 Упаковка металу	19
1.4 Опис конструкції і роботи механізму рольгангу кліті «ДУО».....	19
1.4.1 Опис конструкції рольгангу	19
1.4.2 Технічні дані рольгангу	20
2. Розрахунок потужності і вибір електродвигунів рольгангу	22
2.1 Розрахунок статичних моментів.....	23
2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень	25
2.3 Час керування електроприводом.....	30
2.4 Перевірка потужності обраного електродвигуна по нагріванню.....	35
3 Вибір силової та перетворювальної техніки рольгангу чорнової кліті.....	37

3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом	37
3.2 Вибір комплектного електроприводу	41
3.3 Вибір силового трансформатора і згладжуючого дроселя	45
3.4 Опис принципової схеми робочого рольгангу	46
3.4.2 Резервування перетворювальної техніки.....	46
3.5 Вимоги до системи автоматизації	46
4 Структурно-алгоритмічний синтез системи управління електроприводом рольгангу	49
4.1 Математичний опис об'єкту управління.....	49
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу.....	50
4.3 Синтез регулятора струму	54
4.3 Синтез регулятора швидкості	55
4.4 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості.....	62
5 Моделювання системи підпорядкованого керування електроприводом рольганга у середовищі MATLAB/SIMULINK.....	65
6 Охорона праці	76
6.1 Аналіз умов праці, небезпечних і шкідливих факторів у прокатному цеху.....	76
6.2 Електробезпечність	77
6.2.1 Підготовка електротехнічного персоналу	77
6.2.2 Засоби попередження електротравматизму	78
6.2.3 Правила техніки безпеки при технічному обслуговуванні і ремонті електроустаткування	79
6.3 Категорії приміщень і будівель по вибухонебезпечних та пожежною безпекою	80
6.3.1 Вогнестійкість будівель і споруд.....	82
6.3.2 Засоби припинення горіння та основні вогнегасні речовини.....	83
Висновок	85
Перелік джерел посилання	86

ВСТУП

Рольганги - найчисельніші механізми товстолистових станів гарячої прокатки. Основне призначення рольгангів - транспортування металу уздовж технологічними лінії стану.

Робочі рольганги прокатних клітей розташовані на вході і виході чорнових клітей. Робочі рольганги забезпечують розгін і завдання розкату в кліть, прийом і гальмування розкату, що виходить з кліті, транспортування розкату до подальших клітей.

За конструктивним виконанням рольганги розрізняють з груповим редукторним приводом і з індивідуальним безредукторним або редукторним.

Груповий привід редуктора рольгангів найчастіше застосовується на ділянці завантаження і вивантаження слябів, в районі перших чорнових клітей. Як правило, такий привід містить окремі і роздатковий редуктори. Застосування групового редукторного приводу обґрунтовується тим, що при транспортуванні сляба в окремі моменти часу ролик рольганга навантажується майже повною вагою сляба. Найчастіше це виникає при коротких слябах, а також слябах, що мають криву поверхню. У цьому випадку застосування індивідуального приводу роликів необхідно б значно більшою сумарною встановленою потужності електродвигунів, ніж при груповому приводі.

Індивідуальний безредукторний привід традиційно застосовується на робочих рольгангах реверсивних чорнових клітей, на проміжному рольгангу, на відвідних рольгангах, на рольгангах над моталками.

Останнім часом сфера застосування індивідуального приводу рольгангів розширилася за рахунок більш широкого застосування індивідуального редукторного приводу. При цьому обертання роликів здійснюється як від електродвигунів через окремі редуктори, так і від мотор-редукторів. Компактний редуктор в поєднанні з електродвигуном невеликої маси надають індивідуальним редукторним ряд переваг, серед яких такі: можливість роботи стану при відключених декількох електродвигунах, простота обслуговування і ремонту, простота конструкції, високий рівень уніфікації, мала вага запчастин.

1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Сортамент стану 2250

На товстолистовому стані 2250 прокочують листи з вуглецевої, конструкційної, низьколегованої і легованої сталі з тимчасовим опором розриву в холодному стані до 780 Н/мм^2 (80 кгс/мм^2) наступних розмірів, мм:

- товщина листів - від 4 до 25;
- ширина листів - від 1250 до 2000;
- довжина листів - від 2500 до 10000.

(Загальна довжина заготовки - до 18000мм).

Розміри листів, граничні відхилення по ним, площинність і інші вимоги повинні відповідати вимогам нормативної документації - ГОСТ, технічних умов, зарубіжних стандартів, контрактів.

Форми поставки товстолистової сталі:

- форма I (Ia, Ic, Iv) - стандартних, складських розмірів;
- форма II - по товщині без вказівки розмірів (по тоннажу);
- форма III - кратних розмірів (по розкрою);
- форма IV - мірні (певних розмірів).

1.2 Характеристика товстолистового стану 2250

Товстолистовий цех № 1 (ТЛЦ № 1) призначений для прокатки листів товщиною 4-25 мм, шириною 1100-1300 мм і загальною довжиною до 3-х метрів.

Вихідним матеріалом для прокату листів служать сляби, які прокачуються на блюмінгу 1250 мм і поставляються іншими заводами. Сляби для прокату листів замовляються обтискному цеху відповідно місячним профілям замовлень стану і тижневим графікам прокатки, які коригуються щодня.

Перед посадом слябів в методичні печі бригадир з переміщення сировини, напівфабрикатів і готової продукції виписує в 2-х примірниках завдання на посад слябів: перший примірник видає посадчику, другий - контролеру ВТК посада із зазначенням:

- марки сталі;

- номер плавки;
- розмірів і кількості слябів;
- виду слябів (холодний або гарячий);
- послідовності посаду слябів;
- кількість «легких» слябів, слябів з бічними надрізами;
- місцезнаходження слябів (проліт, колона, штабель).

Згідно наряд-завдання і завдання на посад посадчик виробляє підготовку слябів до посаду: розсорткування і укладку слябів поплавочно, поразмерно, щоб уникнути їх змішування і затримок при посаді.

Сляби, відсортовані на гарячий посад, але не висаджені в нагрівальні печі, звіряються з даними сертифіката, маркуються і здаються разом з обробленою плавкою.

Сляби подаються на навантажувальний рольганг тільки через приймальні столи електромостовими кранами:

- при гарячому посаді - стопами за допомогою «підхватів»;
- при холодному посаді - в основному «магнітами».

При посаді слябів шириною до 700 мм з приймального столу оператор ПУ1 одночасно зіштовхує і подає до печі по два сляба. Гарячі сляби, для уникнення перегріву роликів, повинні безперервно переміщатися по рольгангу (зворотно-поступальний рух).

Далі по рольгангу сляби рухаються до нагрівальних печей (2 шт.) для нагріву їх перед прокаткою.

Після нагріву до потрібної температури сляби по підвідному рольгангу рухаються до кліті «ДУО» і «Кварта».

Прокатка слябів починається з чорної кліті «ДУО».

Виданий з печі сляб по приймальному та робочому рольгангам транспортується до валків і задається в них при мінімальних обертах головного приводу. Перші два пропуску виробляються уздовж по довжині сляба:

- при поздовжньої схемі прокатки, в уникненні отримання вузьких кінців розкату, сумарна величина витяжки повинна бути максимальною (не менше 15-

20% від товщини сляба), при цьому довжина що виходить після цих перепусток гуркоту не повинна перевищувати 2300 мм;

- при поперечній схемі прокатки для отримання необхідної ширини розкату сумарна величина обтиснень визначається довжиною сляба і необхідною шириною листа.

Допустимі міцністю валків і потужністю двигунів величини обтиснень в перших пропусках не повинні перевищувати значень, наведених у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Допустимі значення обтиснень слябів при прокатці на кліті «ДУО» в залежності від їх розмірів

Товщина сляба перед пропуском, мм	Допустимі обтискання 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 протягання в довжину сляб повертають (кантують) на 90° за допомогою конічних роликів і правої лінійки маніпулятора. З передньої сторони кліті і задають в валки для:

- розбивки ширини - при поздовжньої прокатці;
- отримання заданої товщини підкату - при поперечної прокатці.

Заготовка прокочується і відправляється на чистову кліть строго по осі рольгангу.

Під час прокатки на чорновій кліті оператор і вальцювальник вживають заходів з видалення з поверхні розкату окалини за допомогою верхнього та нижнього гідрозбиву, встановлених за кліттю «ДУО».

Після прокатки слябів кліттю «ДУО» починається прокат листів на чистовій кліті.

Заготовка задається суворо по осі рольгангу при швидкості валків не більше 4,2 рад / хв (40 об / хв.). Прокатка листів на чистовій кліті виробляється строго по

середині бочок валків. Для чого заготівля центрується за допомогою маніпуляторів з обох боків кліті у всіх пропусках. Центрування проводиться без затримок, щоб уникнути тривалого переривання заготовки без руху на роликах і місцевого її охолодження.

Після прокатки вже готові листи з транспортного рольгангу за кліттю надходять в правильну машину №1.

Листи проходять через правильні машини РКК-1 і РКК-2. Усі прокатані на стані заготовки проходять гарячу правку в РКК-1 і РКК-2.

Далі відбувається охолодження листів.

Це проводиться поштучно під час їх переміщення по транспортним рольгангам і передавальним шлепперам. На транспортному рольгангу листи можуть охолоджуватися за допомогою вентилятора з розпиленням води.

Після охолодження листів відбувається огляд верхньої поверхні, кантування і попереднє маркування листів.

Верхня сторона листів оглядається контролером УТК на транспортному рольгангу перед інспекторським столом. Тут же проводиться періодичне вимірювання товщини листів. При кантовке листи розташовують паралельно осі кантователя на відстані не більше 200 мм від виступів важелів.

Потім листи надходять на ділянку різання де обрізаються кромки листів і ріжуться на мірні довжини. Після порізки на дискових, кромкокришительних і гільйотинних ножицях листи надходять на стелажі видачі. На стелажих видавання проводиться огляд верхньої поверхні листів, зачистка дефектів, перевірка геометричних розмірів, клеймування, маркування та приймання листів ОТК. Зняті зі стелажів листи укладаються на лістообробки на складі листів в штабелі, а по надходженню вагонів до цеху завантажуються і відправляються замовнику за призначенням.

У ТЛЦ-1 знаходиться 2 маслопідвалу, які призначені для обслуговування основного обладнання на стані. Маслопідвал №2 обслуговує кліті, маслопідвал №3 обслуговує ділянку різання.

1.3 Технологічний процес товстолистого стану 2250

1.3.1 Підготовка до прокатці

Сляби обробляють і складують в другому і третьому прольотах ад'юстажу блюмінгу-слябінгу. Перший проліт обладнаний 10 т мостовим краном з підхватами і електромагнітом, другий - 20 т мостовим краном з електромагнітом і поворотним візком. Обидва крана можуть подавати сляби до приймального пічного рольгангу.

Ділянка обладнана стелажми. Колектори коксового газу і кисню дозволяють одночасно працювати 8 - 12 газовими різаками продуктивністю 5 т / год. Поверхневі дефекти слябів видаляють на спеціальній ділянці пневматичною вирубкою.

1.3.2 Посад слябів

Підготовка слябів до посаду в нагрівальні печі полягає в розсортуванні і укладанні слябів поплавочно, поразмерно згідно фабрикації, щоб уникнути їх змішування і затримок при посаді. Порядок посаду слябів в нагрівальні печі встановлюється наряд-завданням на прокатку і повинен забезпечувати максимальну продуктивність всього технологічного потоку, висока якість продукції, виключити аварії і затримки.

Посад товстих слябів проводиться так, щоб під час зупинки стану на профілактику або перевалку сляби перебували в зварювальних зонах.

Перед зупинкою стану (печі) на плановий ремонт, в печах не повинно бути слябів відповідальних марок сталі, а на подині повинні знаходитися сляби мінімальної маси.

Гарячий посад слябів проводиться після отримання сертифіката на плавку, в якому повинно бути зазначено кількість відсортованих, придатних для гарячого посаду слябів. Сляби, розсортовані на гарячий посад і невисажені в нагрівальні печі, звіряються з даними сертифіката і здаються разом з обробленою частиною плавки.

Сляби подаються на завантажувальний рольганг тільки через приймальні столи, при гарячому посаді - стопами за допомогою підхватів, при холодному - в основному магнітами.

При посаді слябів товщиною до 700 мм з приймального столу одночасно стикаються і задаються в піч два сляба. Гарячі сляби щоб уникнути одностороннього нагріву роликів повинні безперервно переміщатися по рольгангу (зворотно-поступальний рух).

При знаходженні слябів на завантажувальному рольгангу особливо при гарячому посаді) поверхня їх контролюється Посадником металу і контролером ВТК. Сляби з виявленими дефектами негайно знімаються (холодні - магнітом, гарячі - кліщами) і направляються на обробку.

Перед посадом в піч поверхня слябів повинна бути очищена від сміття, шлаку і окалини. Посад слябів в нагрівальні печі повинен проводитись в порядку, зазначеному в завданні, рівномірно в усі ряди. У разі великої різниці в товщині або режимах нагріву допускається посад товстих слябів в одну піч, а тонких в іншу. При посаді слябів, перший сляб кожної плавки, а всередині плавки - перший сляб іншого розміру в кожному ряду розділяються шматком вогнетривкої цегли.

При посаді слябів різних марок сталі близьких розмірів їх розділяють слябами які різко відрізняються розмірами.

Щоб уникнути порушень режиму нагріву і роботи печі забороняється при холодному посаді завантажувати в піч сляби, що розрізняються по товщині більш ніж на 30 мм.

1.3.3 Нагрівання і видача слябів в прокатку

Коротка технічна характеристика печей:

тип - методичні чотирьохзонні з нижнім підігрівом, торцевим завантаженням і видачею, дворядні;

паливо - коксодомений суміш, теплота згорання 2100 2300 ккал / м³.
(Резервне паливо - коксоприродньодоменна суміш, теплота згорання 2300 2450 ккал / м³);

режим роботи - безперервний. Видалення окалини - сухе.

Режим роботи печі регулюється відповідно до темпу видавання, в межах, що забезпечують якісний нагрів без оплавлення окалини і склепіння.

Щоб уникнути підсосу повітря через вікна томильної зони тиск в пічному просторі підтримується позитивним (22,5 - 24,5 Па).

При простоях стану температуру по зонах печі знижують до 20 - 100 °С в залежності від часу простою.

З метою рівномірної видачі сляби подаються в кожен ряд працюючих печей рівномірно. Цей порядок змінюється тільки у виняткових випадках.

1.3.4 Прокатка слябів на чорновій кліті «ДУО»

Виданий з печі сляб по прийомному і робочому рольгангам переміщується до валків і задається в них при мінімальних обертах двигуна. Якщо сляб рухається не по осі рольгангу, то він на ходу центрується однією з лінійок маніпулятора.

Перші два пропуску виробляються уздовж по довжині сляба. Сумарне обтиснення в цих пропусках розподіляється між ними таким чином, щоб:

- забезпечити гарне розпушування і збивання окалини;
- зменшити згинання слябів донизу у другому пропуску, щоб полегшити кантовку (поворот) сляба.

Згинання сляба зменшується зі зменшенням обтиску.

Після протягання в довжину сляб повертають (кантують) за допомогою кінчних роликів і правої лінійки маніпулятора в сторону кліті, центрують маніпуляторами і задають до валків для розбивки ширини при поздовжньої прокатці або отримання заданої товщини підкату при поперечній прокатці.

Товщина злитку, переданого на чистову кліть, в залежності від товщини листа, розмірів сляба, темпу прокатки та інших факторів повинна бути:

для листів товщиною 4 мм	- 13 -14 мм;
для листів товщиною 5 мм	- 15 - 20 мм;
для листів товщиною 6 мм	- 20 - 25 мм;
для листів товщиною 7- 9 мм	- 25 - 30 мм;
для листів товщиною 10 - 25 мм	- 30 - 60 мм.

При прокатці на чорновій кліті з поверхні сляба повинна бути повністю вилучена пічна окалина. Окаліну з поверхні смуги видаляють за допомогою гідрозбиву, встановленого з заднього боку кліті.

1.3.5 Прокатка листів на чистовій кліті «КВАРТО»

Темп прокатки листів в кожному окремому випадку встановлюється таким, щоб виключалося перебування розкату на проміжному рольгангу більше 5 - 10

сек. При прокатці товстих листів з низьколегованих і інших марок сталі з обмеженням температури кінця прокатки дозволяється прокатка в три розкату з тривалим перебуванням заготовки на проміжному рольгангу. При цьому повинні бути вжиті заходи по виключенню затримки злитків на проміжному рольгангу, щоб уникнути нагріву роликів і плит. Заготовки повинні безперервно переміщатися вперед-назад по рольгангу.

Злиток повинен задаватися строго по осі рольгангу на швидкості валків не більше 40 об / хв. Прокатка листів на чистової кліті повинна здійснюватися чітко посередині бочки валків, для чого заготовка центрирується за допомогою маніпуляторів з обох боків кліті у всіх пропусках. Центрування має вироблятися без затримок, щоб уникнути тривалого перебування розкату без руху на роликах і місцевого охолодження його.

Прогладжування, а також зменшення обтиснень в останніх пропусках застосовується у всіх випадках, коли потрібно отримати лист з мінімальною хвилястістю кромки і поперечною різнотовщинністю перетину.

Теоретична маса листа з урахуванням різнотовщинності перетину (виробітку) визначається за формулою:

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

де H_{cp} - середня товщина листа, м;

B - номінальна ширина листа, м;

L - номінальна довжина листа, м;

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

Середня товщина листа розраховується залежно від величини виробітку:

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

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

H_1 - товщина листа по одній кромці, м;

H_2 - товщина листа за іншою кромці, мм.

Номинальна теоретична маса підраховується по тій же формулі, тільки замість H_{cp} підставляється номінальна товщина листа.

При «виробці» яка перевищує допустимі межі виробничий майстер стану вживає заходів до її усунення шляхом:

Зменшення обтиснень в останніх пропусках, введення пропрасовування, якщо воно не проводилося, збільшення «підриву» валків при пропрасовуванні, введення повторного пропрасовування, збільшення числа пропусків та ін.

Збільшення температури кінця прокатки (якщо можливо) за рахунок поліпшення якості нагріву і інтенсифікації прокатки на чорновій кліті.

Зменшення подачі охолоджувальної води на валки.

Температура початку прокатки листів на чистової кліті після першого пропуску повинна становити не менш:

960 °С – для гуркоту товщиною до 20 мм (лист 4-5 мм);

980 °С – для гуркоту товщиною 20-30 мм (лист 6-9 мм);

1000 °С – для гуркоту товщиною понад 30 мм.

Температура кінця прокатки листів на чистової кліті, тобто температура перед останнім пропуском, повинна бути не нижче 720°С. Допускається проглажування при температурі 700°С.

1.3.6 Виправлення листів

Пресове обладнання № 1.

Розміри листів, що підлягають правленню: при температурі листів 600-800 °С - 5 25 мм, при температурі менше 600 °С – 2 - 12 мм. Кількість робочих роликів - 7. Швидкість правки - 0,5 м / с. Швидкість ходу траверси - 0,0013м / с.

Охолодження опорних і робочих роликів проводиться водою, шляхом подачі її в отвори, просвердлені всередині роликів.

Пресове обладнання № 2.

Розміри листів: товщина 5 - 12 мм, шириною 1000 - 1900 мм, температура правлення – 700 - 800 °С. Кількість робочих роликів - 9. Швидкість правки - 0,5 0,1 м / с.

Усі прокатані на стані листи проходять гаряче правлення на машинах РПМ 1 або РПМ 2.

Забороняється ставити в правильну машину листи, що мають передній загнутий кінець або підігнутий нерівний торець. Щоб уникнути утворення вм'ятин при правці не допускається завдання в машину листів із забрудненою поверхнею.

1.3.7 Охолодження листів

Охолодження листів проводиться поштучно під час їх переміщення по транспортним рольгангам і передавальним шлепперам. Охолодження має бути рівномірним, листи повинні безперервно переміщатися.

На транспортному рольгангу перед інспекторським столом листи можуть охолоджуватися за допомогою вентилятора з розпиленням води.

Не допускається наганяти листи один на одного при русі їх по рольгангу, так як це може привести до великої різниці у властивостях листів по довжині через різну швидкість охолодження окремих їх ділянок.

1.3.8 Огляд, кантування, робоче маркування листів

Верхня сторона листа оглядається контролером ОТК на транспортному рольгангу перед інспекторським столом. Тут же проводиться періодичне вимірювання товщини листа.

Якщо на верхній стороні дефекти не виявлені, то листи кантуються і відправляються на стелажі видачі для подальшого огляду.

У разі виявлення дефектів на верхній стороні, лист направляється на стелажі видачі без кантування.

Робоче маркування наноситься на поверхню листа крейдою і містить номер плавки, марку сталі, номер замовлення і позиції, номер розкату (сляба) в даній плавці або порядковий номер листа для листів, що здаються полистно. При необхідності на листи переноситься маркування слябів.

1.3.9 Розмітка і різання листів

Перед порізкою листів ножиці ретельно налаштовуються. Всі 4 ножа повинні мати однаковий ріжучий діаметр з відхиленням ± 1 мм .

Верхні ножі звалюються у напрямку різання (вперед) на 100 -150 мм, щоб забезпечити відгинання, кромки яку потрібно обрізати донизу.

Швидкість гойдання кромкокришильних ножиць повинна відповідати

лінійної швидкості дискових ножиць.

Температура листів при різанні на дискових ножицях обмежується якістю одержуваної кромки і не повинна знаходитися в межах «синеломкості» металу 250-300°C.

Перед порізкою на мірні довжини на гільйотинних ножицях лист повинен бути встановлений строго паралельно осі рольгангу за допомогою маніпуляторів.

Температура заготовки при різанні на гільйотинних ножицях обмежується якістю різку, підгинанням заднього кінця при різанні товстих листів і нагріванням ножів.

Для зниження температури листа до необхідної і нижче дозволяється охолоджувати їх водою в потоці стану або під вентилятором з водою після РПМ - 2.

Обрізки з-під кромкокрошильних і гільйотинних ножиць збираються в мульди (короба) і завантажуються в вагони в першому прольоті стану.

Листи, прокатані при температурі нижче, необхідної за технологією, а також листи які пройшли термообробку з порушенням технологічної інструкції, піддаються листовому випробуванню. При цьому вони виділяються з партії.

Після обрізки кінцевого обрізу, вирізки проб і карт для механічних випробувань проводиться клеймовка (за допомогою клеймовочного пристрою, встановленого на гільйотинних ножицях) кожного аркуша незалежно від розмірів, якості поверхні і тощо (В тому числі: другий сорт, брак, беззаказні, що направляються на додатковий переріз, зачистку і правку).

Клеймовочною машиною на передньому кінці кожного листа наносять клеймо, яке містить: клеймо ВТК, номер бригади, товарний знак виробника, марку сталю, номер плавки, номер партії.

1.3.10 Маркування, остаточний огляд, зачистка і приймання листів

Після порізки на мірні довжини і клеймовкі листи з рольгангу за ножицями переміщуються на шлеппери видачі.

Листи розподіляються за трьома секціями стелажів при довжині до 900 мм включно; при більшій довжині лист переміщується одночасно за двома секціями усіма ланцюговими доріжками.

На стелажах перевіряють чіткість і правильність клеймовки і під машинним клеймом виробляють маркування листів пеком (або чорною фарбою) із зазначенням: марки сталі, номери плавки, розмірів листа і номери партії (листа). Крім того, на аркушах випробовуваних полистно, клеймується номер листа.

На стелажах видачі проводиться огляд верхніх поверхонь листів, абразивна зачистка дефектів, перевірка розмірів, клеймовки, маркування та приймання листів контролерами ВТК. Приймання, маркування готової продукції проводиться відповідно до вимог ГОСТ 7566 81.

Зачистці на стелажах видачі пересувними наждаковими машинами підлягають листи з дефектами, в т.ч. беззаказні за розмірами, що вимагають правки і різання на складські розміри, за умови, якщо глибина залягання дефектів не перевищує допусків за стандартом або технічними умовами.

Листовий прокат приймають партіями, що складаються з однієї плавки-ковша, однієї марки сталі, одного розміру по товщині, одного режиму прокату і термічної обробки. Кожна партія супроводжується документом про якість за ГОСТ 7566 81 з додатковими вказівками і вимогами ГОСТ на поставку зазначеної продукції.

1.3.11 Додаткова обробка листів на складі

Листи всіх марок сталі, що мають хвилястість кромки, загальну хвилястість і коробоватість, що перевищує допустимі відхилення від плоскостності, а також листи, зігнуті в результаті падіння при складуванні металу в штабель, з механічними пошкодженнями і тощо піддаються холодній правці на РПМ № 3, 4.

На гільйотинних ножицях листообробки проводиться обрізка листів, відсортованих зі стелажів видачі, правильної машини і термообробки, по довжині і ширині, вирізка дефектів, малогабаритного прокату і оброблення проб.

1.3.12 Прибирання, формування, прозважування, здача на склад і відвантаження

Всі листи передаються шлеперами і складуються стопами в кишені, розташовані в кінці стелажа видачі в прольоті листообробки. Прийняті листи однієї партії і одного замовлення прибирають з кишень магнітними кранами і укладають на складі позамовно, як правило, вагонними кількостями.

Листи, що поставляються з обмеженнями по масі (судосталь), прозважувані на 25-тонних вагах. При необхідності прозважуються окремі листи, щоб визначити відповідність їх маси нормам стандартів (технічних умов).

Після формування і прозважування(при необхідності) і отримання задовільних результатів механічних випробувань проводиться здача листів на склад готової продукції.

1.3.13 Упаковка металу

Вся листова сталь товщиною 4 - 10 мм, що поставляється на експорт або на вимогу споживача, упаковується на спеціальному столі в міцно скріплені смугами пачки вагою до 5000 кг, якщо не обговорена в замовленні вага пачки.

Для обв'язки листів застосовують металеву стрічку товщиною 0,2 - 2 мм, шириною до 30 мм згідно з ГОСТ 3560 -73, ГОСТ 6009- 74.

Після остаточного приймання металу і оформлення товаросупровідної документації відповідно до вимог НТД метал підлягає відвантаженню споживачу.

1.4 Опис конструкції і роботи механізму рольгангу кліті «ДУО»

1.4.1 Опис конструкції рольгангу

Рольганг робочий перед кліттю «ДУО» призначений для подачі заготовок в чорнову кліть в непарних пропусках і прийому заготовок з кліті після скоєння обтиску кліттю в парних пропусках. Рольганг робочий за чорновою кліттю призначений для прийому злитків з кліті після скоєння прокатки в непарних пропусках і для подачі заготовок в кліть, з подальшим обтисненням його по висоті в парних пропусках.

Робота рольгангів узгоджується за швидкістю і напрямку обертання з роботою головного приводу чорнової кліті і станиною роликів чорнової кліті «ДУО» (вхідний і вихідний боки).

Кінематична схема рольгангу кліті «ДУО» представлена на рисунку 1.1

Рольганг складається з 12 ребристих роликів. Привід рольгангу - індивідуальний вид 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 обладнаний маніпуляторними лінійками, призначеними для центрування сляба (розкату) по поздовжній осі прокатки.

1.4.2 Технічні дані рольгангу

Таблиця 1.2 - Вихідні технічні дані рольгангу

Найменування технічного параметру	Позначення	Одиниці виміру	Чисельне значення
Діаметр бочки ролика	$d_{p.cp}$	мм	406
Довжина бочки ролика	l_p	мм	2240
Діаметр шийки ролика (Діаметр 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 рольгангу	L_p	м	8,25
Швидкість транспортування гуркоту	$V_{пр}$	м/с	2,5

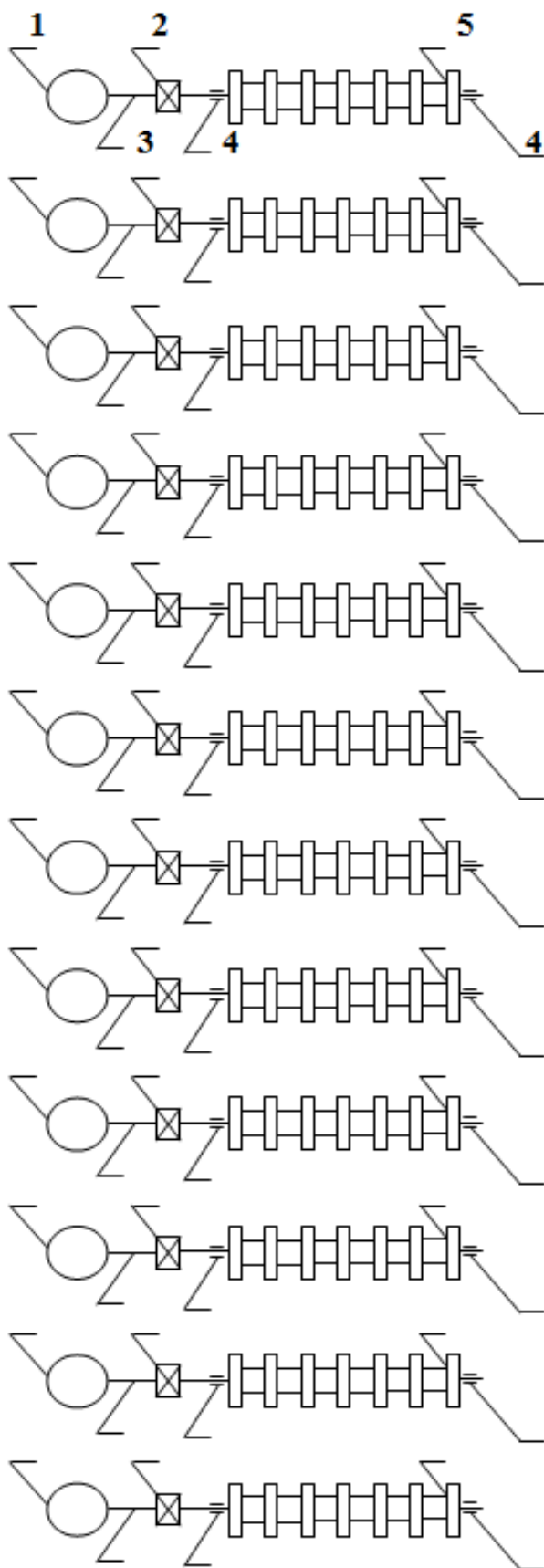


Рисунок 1.1 - Кінематична схема механізму рольгангу

1 - електродвигун типу ДС-808; 2 - єднальна муфта типу МЗ-3 (зубчаста);

3 - провал; 4 - підшипник качки; 5 - ролик ребристий

2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ І ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ РОЛЬГАНГУ

На даний момент в якості приводних електродвигунів електроприводу рольгангу встановлені двигуни постійного струму типу ДС-808 з технічними даними, наведеними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні дані електродвигуна ДС-808

Найменування параметру	Найменування параметру
Номинальна потужність, кВт	$P_H = 10$
Номинальна напруга, В	$U_H = 220$
Номинальний струм, А	$I_H = 60$
Номинальна частота обертання, об / хв	$n_H = 180$
Каталожна тривалість включення, %	ПВ = 100
Максимальний струм навантаження (короткочасний), А	$I_{max} = 180$
Число пар полюсів	$2p = 4$
Момент інерції якоря, кг · м ²	$J_{дв} = 2$

Таблиця 2.2 - Режим прокатки листів 8 × 1500 × 12000 мм
(Сляб 180 × 850 × 1280 мм, сталь 09Г2, температура 1220-900 °С)

Товщина листа h , мм	Ширина листа b , мм	Довжина листа L , мм	Швидкість прокатки $V_{пр}$, м/с																																																																
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>1</td><td style="text-align: center;">140</td></tr> <tr><td>2</td><td style="text-align: center;">115</td></tr> <tr><td>3</td><td style="text-align: center;">89</td></tr> <tr><td>4</td><td style="text-align: center;">67</td></tr> <tr><td>5</td><td style="text-align: center;">50</td></tr> <tr><td>6</td><td style="text-align: center;">38</td></tr> <tr><td>7</td><td style="text-align: center;">30</td></tr> </table>		1	1	140	2	115	3	89	4	67	5	50	6	38	7	30	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>1</td><td style="text-align: center;">1650</td></tr> <tr><td>2</td><td style="text-align: center;">1650</td></tr> <tr><td>3</td><td style="text-align: center;">1650</td></tr> <tr><td>4</td><td style="text-align: center;">1650</td></tr> <tr><td>5</td><td style="text-align: center;">1650</td></tr> <tr><td>6</td><td style="text-align: center;">1650</td></tr> <tr><td>7</td><td style="text-align: center;">1650</td></tr> </table>		1	1	1650	2	1650	3	1650	4	1650	5	1650	6	1650	7	1650	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>1</td><td style="text-align: center;">850</td></tr> <tr><td>2</td><td style="text-align: center;">1032</td></tr> <tr><td>3</td><td style="text-align: center;">1334</td></tr> <tr><td>4</td><td style="text-align: center;">1772</td></tr> <tr><td>5</td><td style="text-align: center;">2374</td></tr> <tr><td>6</td><td style="text-align: center;">3123</td></tr> <tr><td>7</td><td style="text-align: center;">3956</td></tr> </table>		1	1	850	2	1032	3	1334	4	1772	5	2374	6	3123	7	3956	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td></td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>1</td><td style="text-align: center;">2.5</td></tr> <tr><td>2</td><td style="text-align: center;">2.5</td></tr> <tr><td>3</td><td style="text-align: center;">2.5</td></tr> <tr><td>4</td><td style="text-align: center;">2.5</td></tr> <tr><td>5</td><td style="text-align: center;">2.5</td></tr> <tr><td>6</td><td style="text-align: center;">2.5</td></tr> <tr><td>7</td><td style="text-align: center;">2.5</td></tr> </table>		1	1	2.5	2	2.5	3	2.5	4	2.5	5	2.5	6	2.5	7	2.5
	1																																																																		
1	140																																																																		
2	115																																																																		
3	89																																																																		
4	67																																																																		
5	50																																																																		
6	38																																																																		
7	30																																																																		
	1																																																																		
1	1650																																																																		
2	1650																																																																		
3	1650																																																																		
4	1650																																																																		
5	1650																																																																		
6	1650																																																																		
7	1650																																																																		
	1																																																																		
1	850																																																																		
2	1032																																																																		
3	1334																																																																		
4	1772																																																																		
5	2374																																																																		
6	3123																																																																		
7	3956																																																																		
	1																																																																		
1	2.5																																																																		
2	2.5																																																																		
3	2.5																																																																		
4	2.5																																																																		
5	2.5																																																																		
6	2.5																																																																		
7	2.5																																																																		

Рольганг містить 12 ребристих роликів. Привід роликів індивідуальний, безредукторний. Перевіримо можливість роботи рольгангу з існуючими

двигунами. Вихідні дані, необхідні для подальших розрахунків, представлені в таблиці 2.2.

Двигуни оснащені датчиками швидкості. Використання за способом охолодження - продувні.

Вихідні технічні дані механізму рольгангу наведені в табл. 1.2.

2.1 Розрахунок статичних моментів

За час циклу роботи рольгангу його електродвигуни навантажені статичними моментами різної величини. При розрахунку виділяють наступні основні статичні моменти: момент холостого ходу, момент транспортування металу по роликам, момент буксування роликів по транспортованому металу [1-3]. Розрахунок ведеться для індивідуального, безредукторного електроприводу.

Момент холостого ходу на приводному валу ролика:

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

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 дією високих температур, металу що транспортується [1, табл. 5.3].

При визначенні холостого ходу необхідно також враховувати втрати в електродвигуні. Момент холостого ходу електродвигуна:

$$M_{x,d} = 0,07 M_n = 0,07 \cdot 530,5 = 37,14 \text{ Нм}, \quad (2.2)$$

де $M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{10 \cdot 10^3}{18,85} = 530,5 \text{ Нм}$ - номінальний момент електродвигуна;

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

Таким чином, повний момент холостого ходу рольгангу:

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

Момент транспортування металу по роликам

$$M_{\text{тр}} = 9,81m_m \left(\frac{d_{\text{ш}}}{2} \mu_{\text{ш}} + f \cdot 10^{-2} \right) =$$

$$= 9,81 \cdot 771 \cdot \left(\frac{0,12}{2} 0,007 + 0,15 \cdot 10^{-2} \right) = 14,5 \text{ Нм} \quad (2.4)$$

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

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

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

Таблиця 2.3 - Розрахункові значення частки маси металу, що припадає на один ролик рольгангу

Характеристика заготовки	Частка маси $k = m_m / m_{\text{сл}}$
Заготовка перетином понад 1000 мм^2 і довжиною менше трьох кроків роликів	0,75
Смуги перетином понад 2000 мм^2 і довжиною понад трьох кроків роликів	0,5
Смуги перетином понад 2000 мм^2 і довжиною понад чотири кроків роликів	0,3
Тонкі смуги і дрібносортний прокат довжиною понад дев'ять кроків роликів	Маса металу на довжині потрібного кроку роликів

Для рольгангів з груповим електроприводом величина зазвичай приймається рівною масі злитка. Однак для рольгангів з індивідуальним електроприводом або з груповим електроприводом, але при довгих смугах металу що транспортується, величина має кілька невизначене значення, так як залежить від кількості точок дотику металу з роликми рольгангу. При цьому істотним є ступінь викривлення металу, що прокочується, точність установки рольгангу за

рівнем і т.д. Зміна величини має велике значення, тому що визначає статичне навантаження на електродвигуні. У таблиці 2.3 [1-3] наведені значення відносної маси металу, що припадає на один ролик рольгангу з індивідуальним електроприводом. Ці дані можуть бути використані як при визначенні моменту транспортування, так і при розрахунку моменту буксування.

Повний статичний момент при транспортуванні металу по рольгангу і при відсутності буксування і додаткових опорів:

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

Двигуни рольгангів у клітей реверсивних станів, що задають рольганги у нереверсивних клітей, рольганги у упорів ножиць і пилок для різання прокату повинні забезпечувати момент, достатній для пробуксовки роликів від метал.

Момент буксування, приведений до валу електродвигуна:

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

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

$\mu_{\delta} = 0,3$ - коефіцієнт тертя при буксуванні [1, табл. 4.2].

Повний момент статичного опору при буксуванні:

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

Визначення моменту роликів по металу необхідно для вибору (перевірки) електродвигуна по перевантажувальній здатності.

2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень

Через буксування заготовки по роликам можна розігнати заготовку з прискоренням, що перевищує максимально можливе прискорення. Покажемо це теоретично.

Для розгону заготовки необхідно подолати силу інерції. Величина сили інерції, що припадає на один ролик, дорівнює:

$$F_{\text{ин}} = m_{\text{м}} a, \quad (2.8)$$

де a - лінійне прискорення заготівки.

Ця сила не може бути більше сили буксування $F_{\text{ин}} \leq F_{\text{б}}$. тоді запишемо:

$$m_{\text{м}} a \leq G_{\text{м}} \mu_{\text{б}}, \quad (2.9)$$

Так як $G_{\text{м}} = m_{\text{м}} g$, де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, то з (2.9) отримаємо вираз для визначення максимально можливого прискорення заготівки на рольгангу:

$$a \leq g \mu_{\text{б}}, \quad (2.10)$$

З останнього виразу видно, що максимально можливе прискорення заготівки на рольгангу визначається коефіцієнтом тертя при буксуванні $\mu_{\text{б}}$. Беручи $\mu_{\text{б}} = 0,15 \div 0,3$ [1, 2], отримаємо $a \leq 1,47 \div 2,94 \text{ м/с}^2$. Більше значення прискорення відповідає гарячому металу, менше - холодному.

Момент електродвигуна, відповідний максимально можливого прискорення заготівки, називають гранично-виправданим моментом. Якщо момент електродвигуна перевищує гранично-виправдовуваний момент, то виникає буксовка, в результаті чого погіршується якість поверхні заготівлі підвищується знос роликів, але збільшення прискорення заготовки не відбувається. Так як буксовка можлива як при розгоні (прискоренні), так і при гальмуванні (уповільнення), то мають місце два гранично-підтверджуваних моментів - при розгоні і при гальмуванні.

Отримаємо вираз гранично-виправданого моменту електродвигуна при розгоні (прискоренні) ролика рольгангу:

$$M_{\text{п.о.р}} = M_{\text{дин}} + M_{\text{с.т}}, \quad (2.11)$$

де $M_{\text{дин}}$ - динамічний момент, необхідний для розгону механізму і заготівки з гранично-виправданим прискоренням;

$M_{\text{с.т}}$ - повний статичний момент при транспортуванні металу по рольгангу і при 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'_{Σ} - сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції злитка що транспортується), приведений до валу електродвигуна;

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

Висловимо кутове прискорення електродвигуна через лінійне прискорення заготівки:

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

де ω_p - кутова швидкість ролика, $1/c$;

i - передавальне число редуктора рольгангу, далі опускається, тому що електропривід безредукторний;

d_p - діаметр ролика, m ;

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

Сумарний момент інерції представимо як суму моменту інерції механізму і моменту інерції заготівки, отриманого шляхом еквівалентного приведення поступального руху до обертального руху:

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

Приведення поступального руху до обертального руху здійснюється на підставі закону збереження енергії, а саме - кінетична енергія в обох випадках повинна 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:

$$J_M = m_M \frac{V_M^2}{\omega_{дв}^2}. \quad (2.16)$$

Підставляючи замість лінійної швидкості металу її вираження через частоту обертання електродвигуна $V_M = \frac{\omega_{дв} d_p}{2}$, отримаємо момент інерції злитка, що транспортується, приведений до валу електродвигуна:

$$J_M = m_M \frac{d_p^2}{4} = 771 \frac{0,406^2}{4} = 31,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.17)$$

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

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

де J'_Σ - сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції злитка що транспортується, приведений до валу електродвигуна.

Момент інерції механізму дорівнює :

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

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

$$J_p = m_p \frac{d_p^2}{8} = 880 \frac{0,406^2}{8} = 18,13 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ - момент інерції ролика;}$$

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

Сумарний момент інерції системи «двигун-ролик-метал»:

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

Так як максимальне прискорення визначається виразом (2.10), то для гранично-виправдовуваного моменту при розгоні (прискоренні) вираз (2.11) набирає вигляд:

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

Для гальмування (уповільнення) вираз гранично-виправдовуваного моменту має вигляд:

$$M_{\text{п.о.т}} = M_{\text{дин}} - M_{\text{с.т}}, \tag{2.22}$$

або

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

Видно, що моменти $M_{\text{п.о.р}}$ і $M_{\text{п.о.т}}$ залежать від маси металу яка припадає на ролик. Для гарантованого розгону і гальмування без буксування слід обмежувати момент електродвигуна на рівні мінімального значення моменту, розрахованого за виразами (2.21) і (2.23). Якщо момент двигуна в перехідному режимі менше або дорівнює гранично-виправдовуваному, то розрахунок перехідних процесів проводиться звичайним способом і буде дійсний як для двигуна, так і для заготівлі. З виразів для гранично-обґрунтованих моментів видно, що мінімальні значення $M_{\text{п.о.р}}$ і $M_{\text{п.о.т}}$ мають місце при мінімальній масі металу, що припадає на ролик рольгангу. Приймаємо кратність пуск-гальмівних струмів (динамічних моментів) $\lambda_{\text{пт}} = 1,2$.

З виразів (2.21) і (2.23) видно, що кратність пуск-гальмівних струмів (динамічних моментів) $\lambda_{\text{пт}}$ не перевищує кратності гранично-підтверджуваних моментів, що гарантує рух заготівлі по роликам з прискоренням / уповільненням без ковзання (буксування) і забезпечує необхідне прискорення розгону / гальмування.

2.3 Час керування електроприводом

Розглянемо більш детально процес переміщення злитка при прокатці.

У процесі прокатки робота робочого рольгангу узгоджується за швидкістю і напрямку обертання з роботою головного приводу і станиною роликів чорнової кліті. На рольганг перед чорною кліттю надходить чергова заготівка. Після повної зупинки перед чорною кліттю заготівка центрирується маніпуляторними лінійками і може бути задана в прокатку при розведених маніпуляторних лінійках перед і за кліттю, при зупинених натискних гвинтах в кліті.

Режим прокатки в чорнової кліті - реверсивний. При цьому в кожному конкретному пропуску підтримується рівень швидкості, необхідний за технологією. У загальному випадку: кількість пропусків в чорнової кліті - непарне.

Цикл роботи електроприводу робочого рольгангу складається з наступних ділянок:

- розгін рольгангу з заготівлею;
- переміщення заготівлі по рольгангу;
- гальмування заготівлі вхолосту до нуля;
- центрування заготівлі маніпуляторними лінійками (час паузи);
- розгін рольгангу вхолосту до транспортної швидкості (реверс);
- переміщення заготівлі по рольгангу в зворотньому напрямку;
- гальмування рольгангу з заготівлею до нуля.

Робота рольгангу при прокатці заготівлі в третьому-сьомому пропусках аналогічна роботі його при прокатці в першому-другому пропусках зі збільшенням довжини листа що прокочується.

Після завершення прокатки в чорнової кліті заготовка транспортується до чистової кліті, звільняючи рольганг за чорною кліттю.

Час розгону і гальмування електроприводу рольгангу:

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

$$t_T = \frac{\Sigma J \omega_{\text{пр}i}}{M_T + M_C}, \quad (2.25)$$

де ΣJ - сумарний момент інерції на валу електродвигуна (при розгоні або гальмуванні рольгангу вхолосту $\Sigma J = J_{\text{мех}} = J_{\text{дв}} + J_p$; при розгоні або гальмуванні з заготівлею $\Sigma J = J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_p + J_{M_i}$), $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$$\omega_{\text{пр}i} = \frac{2V_{\text{пр}i}}{d_p} - \text{швидкість на валу електродвигуна, відповідна швидкості}$$

прокатки в кожному пропуску, $1/\text{с}$;

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

$M_{\text{п}}$ - середній пусковий момент електродвигуна (для подальших розрахунків приймаємо $M_{\text{п}} = \lambda_{\text{пт}} M_{\text{н}} = 1,2 M_{\text{н}} = 636,6 \text{ Нм}$);

M_T - середній гальмівний момент електродвигуна (для подальших розрахунків приймаємо $M_T = \lambda_{\text{тт}} M_{\text{н}} = 1,2 M_{\text{н}} = 636,6 \text{ Нм}$);

M_C - статичний момент навантаження на валу електродвигуна (при розгоні або гальмуванні рольгангу вхолосту $M_C = M_x$; при розгоні або гальмуванні з заготівлею $M_C = M_{\text{с.т}} = M_x + M_{\text{тр}}$).

$$\text{Час транспортування металу (усталеного руху): } t_y = \frac{L_i}{V_{\text{пр}i}}. \quad (2.26)$$

Значення часу пуску $t_{\text{п}}$, часу гальмування t_T , часу усталеного руху та час пауз $t_{\text{пауз}}$ для кожного пропуску, розраховані за вищевказаними формулами, зведені в таблицю 2.4.

З кожним пропуском довжина заготівлі збільшується. На ролики доводиться все менша маса заготівлі. В цьому випадку маса (вага) металу, що припадає на один ролик дорівнює:

$$m_{\text{м.мин}i} = m_{\text{сл}} \frac{l_{\text{ш}}}{L_i}, \quad (2.27)$$

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

$l_{ш} = 0,75 \text{ м}$ - крок роликів;

L_i - довжина листа в кожному проході, м (см. табл. 2.2).

З урахуванням зменшення маси заготівлі з кожним пропуском зменшується і сумарний момент інерції. Момент інерції злитка що транспортується, приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску:

$$J_{M_i} = m_{M_i} \frac{d_p^2}{4}. \quad (2.28)$$

Сумарний момент інерції системи «двигун-ролик-метал», приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску:

$$J'_{\Sigma i} = J_{дв} + J_p + J_{M_i} = J_{мех} + J_{M_i}. \quad (2.29)$$

Значення маси (ваги) металу, що припадає на один ролик дорівнює $m_{м.мин_i}$ (2.27), момент інерції, злитка що транспортується, приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску J_{M_i} (2.28) і сумарний момент інерції системи «двигун-ролик-метал», приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску (2.29) зведені в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахунок часу роботи ЕП рольгангу кліті «ДУО» і значення моменту інерції

$t_{п}, \text{с}$ (2.24)	$t_{т}, \text{с}$ (2.25)	$t_{у}, \text{с}$ (2.26)	$m_{м.мин_i}, \text{кг}$ (2.27)	$J_{M_i}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$ (2.28)	$J'_{\Sigma i}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$ (2.29)																																																																																																
<table border="1"><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1.614</td></tr><tr><td>2</td><td>0.416</td></tr><tr><td>3</td><td>1.183</td></tr><tr><td>4</td><td>0.416</td></tr><tr><td>5</td><td>0.852</td></tr><tr><td>6</td><td>0.416</td></tr><tr><td>7</td><td>0.682</td></tr></table>		1	1	1.614	2	0.416	3	1.183	4	0.416	5	0.852	6	0.416	7	0.682	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0.366</td></tr><tr><td>2</td><td>1.18</td></tr><tr><td>3</td><td>0.366</td></tr><tr><td>4</td><td>0.837</td></tr><tr><td>5</td><td>0.366</td></tr><tr><td>6</td><td>0.63</td></tr><tr><td>7</td><td>0.366</td></tr></table>		1	1	0.366	2	1.18	3	0.366	4	0.837	5	0.366	6	0.63	7	0.366	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0.34</td></tr><tr><td>2</td><td>0.413</td></tr><tr><td>3</td><td>0.534</td></tr><tr><td>4</td><td>0.709</td></tr><tr><td>5</td><td>0.95</td></tr><tr><td>6</td><td>1.249</td></tr><tr><td>7</td><td>1.582</td></tr></table>		1	1	0.34	2	0.413	3	0.534	4	0.709	5	0.95	6	1.249	7	1.582	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1360.013</td></tr><tr><td>2</td><td>1120.165</td></tr><tr><td>3</td><td>866.575</td></tr><tr><td>4</td><td>652.376</td></tr><tr><td>5</td><td>486.946</td></tr><tr><td>6</td><td>370.16</td></tr><tr><td>7</td><td>292.217</td></tr></table>		1	1	1360.013	2	1120.165	3	866.575	4	652.376	5	486.946	6	370.16	7	292.217	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>56.045</td></tr><tr><td>2</td><td>46.161</td></tr><tr><td>3</td><td>35.711</td></tr><tr><td>4</td><td>26.884</td></tr><tr><td>5</td><td>20.067</td></tr><tr><td>6</td><td>15.254</td></tr><tr><td>7</td><td>12.042</td></tr></table>		1	1	56.045	2	46.161	3	35.711	4	26.884	5	20.067	6	15.254	7	12.042	<table border="1"><tr><td></td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>76.177</td></tr><tr><td>2</td><td>66.293</td></tr><tr><td>3</td><td>55.843</td></tr><tr><td>4</td><td>47.016</td></tr><tr><td>5</td><td>40.199</td></tr><tr><td>6</td><td>35.386</td></tr><tr><td>7</td><td>32.174</td></tr></table>		1	1	76.177	2	66.293	3	55.843	4	47.016	5	40.199	6	35.386	7	32.174
	1																																																																																																				
1	1.614																																																																																																				
2	0.416																																																																																																				
3	1.183																																																																																																				
4	0.416																																																																																																				
5	0.852																																																																																																				
6	0.416																																																																																																				
7	0.682																																																																																																				
	1																																																																																																				
1	0.366																																																																																																				
2	1.18																																																																																																				
3	0.366																																																																																																				
4	0.837																																																																																																				
5	0.366																																																																																																				
6	0.63																																																																																																				
7	0.366																																																																																																				
	1																																																																																																				
1	0.34																																																																																																				
2	0.413																																																																																																				
3	0.534																																																																																																				
4	0.709																																																																																																				
5	0.95																																																																																																				
6	1.249																																																																																																				
7	1.582																																																																																																				
	1																																																																																																				
1	1360.013																																																																																																				
2	1120.165																																																																																																				
3	866.575																																																																																																				
4	652.376																																																																																																				
5	486.946																																																																																																				
6	370.16																																																																																																				
7	292.217																																																																																																				
	1																																																																																																				
1	56.045																																																																																																				
2	46.161																																																																																																				
3	35.711																																																																																																				
4	26.884																																																																																																				
5	20.067																																																																																																				
6	15.254																																																																																																				
7	12.042																																																																																																				
	1																																																																																																				
1	76.177																																																																																																				
2	66.293																																																																																																				
3	55.843																																																																																																				
4	47.016																																																																																																				
5	40.199																																																																																																				
6	35.386																																																																																																				
7	32.174																																																																																																				

Кутова швидкість на валу електродвигуна, відповідна швидкості прокатки (див. Табл. 2.2):

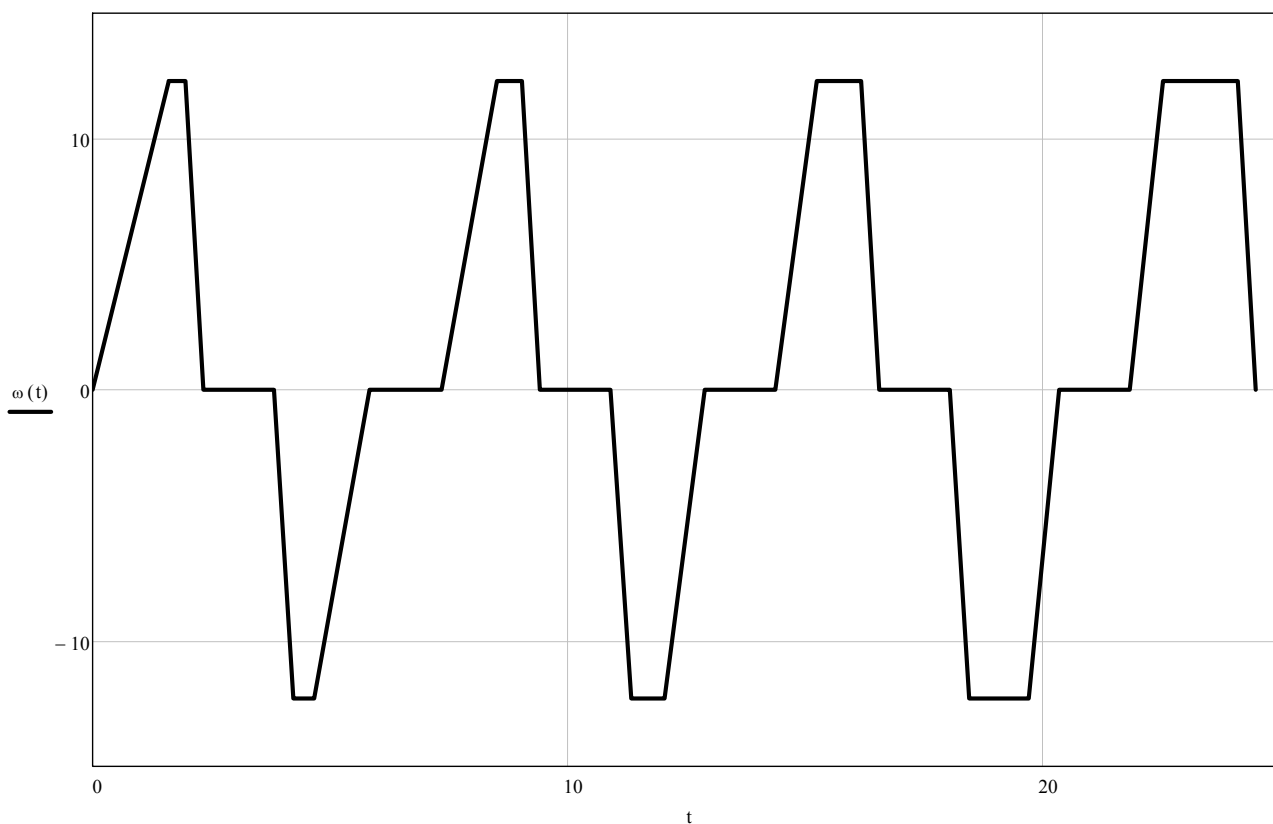
$$n_{\text{пр}_i} = V_{\text{пр}_i} \frac{60}{\pi d_p} = \frac{2,5 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,406} = 117,5 \text{ об / мин} \quad (2.30)$$

Як видно з виразу (2.3.), обраний електродвигун забезпечує необхідну максимальну швидкість прокатки. При цьому немає необхідності знижувати поле збудження машин; необхідна швидкість забезпечується зміною напруги на якорі.

На рис. 2.1 - 2.2 наведені тахограми і навантажувальні діаграм роботи електроприводу рольгангу (див. Табл. 2.2, 2.4) за цикл роботи прокатного стану (прокатка в чорновий кліті після кантування на 90^0), а також для декількох з пропусків.

Цикл роботи електроприводу робочого рольгангу складається з наступних ділянок (див. вище): 1 пропуск - розгін рольгангу з заготівлею, гальмування вхолосту; 2 пропуск - розгін рольгангу вхолосту, гальмування з заготівлею.

Робота рольгангу при прокатці розкату в третьому-сьомому пропусках аналогічна роботі його при прокатці в першому-другому пропусках зі збільшенням довжини листа що прокочується.



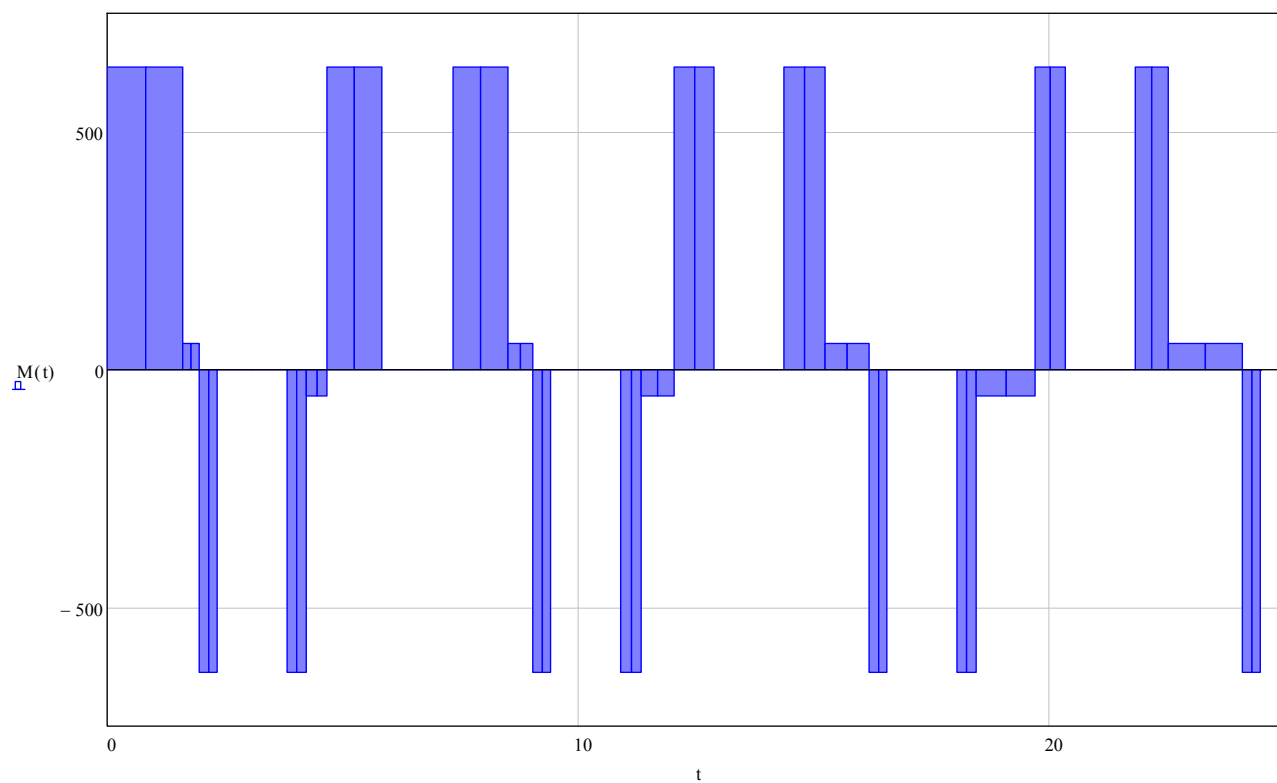
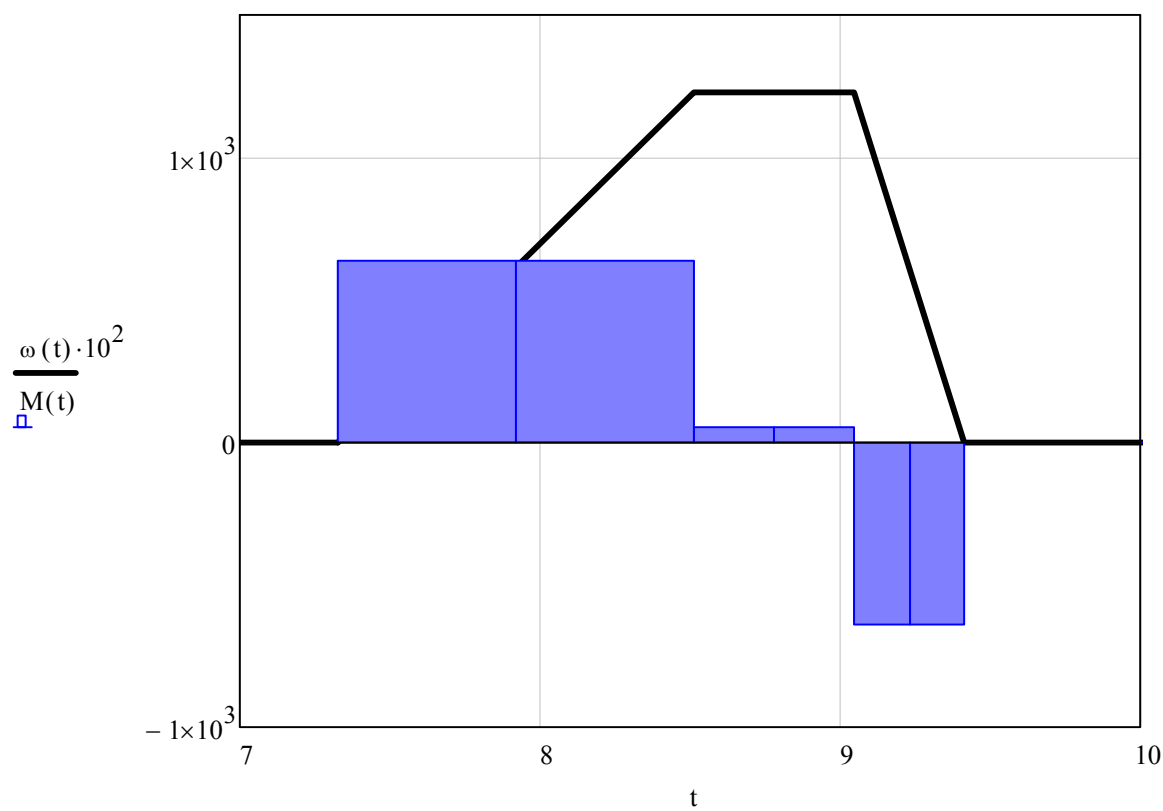


Рисунок 2.1 – Тахограми і навантажувальна діаграми роботи електроприводу ролгангу за цикл роботи прокатного стану



третій пропуск

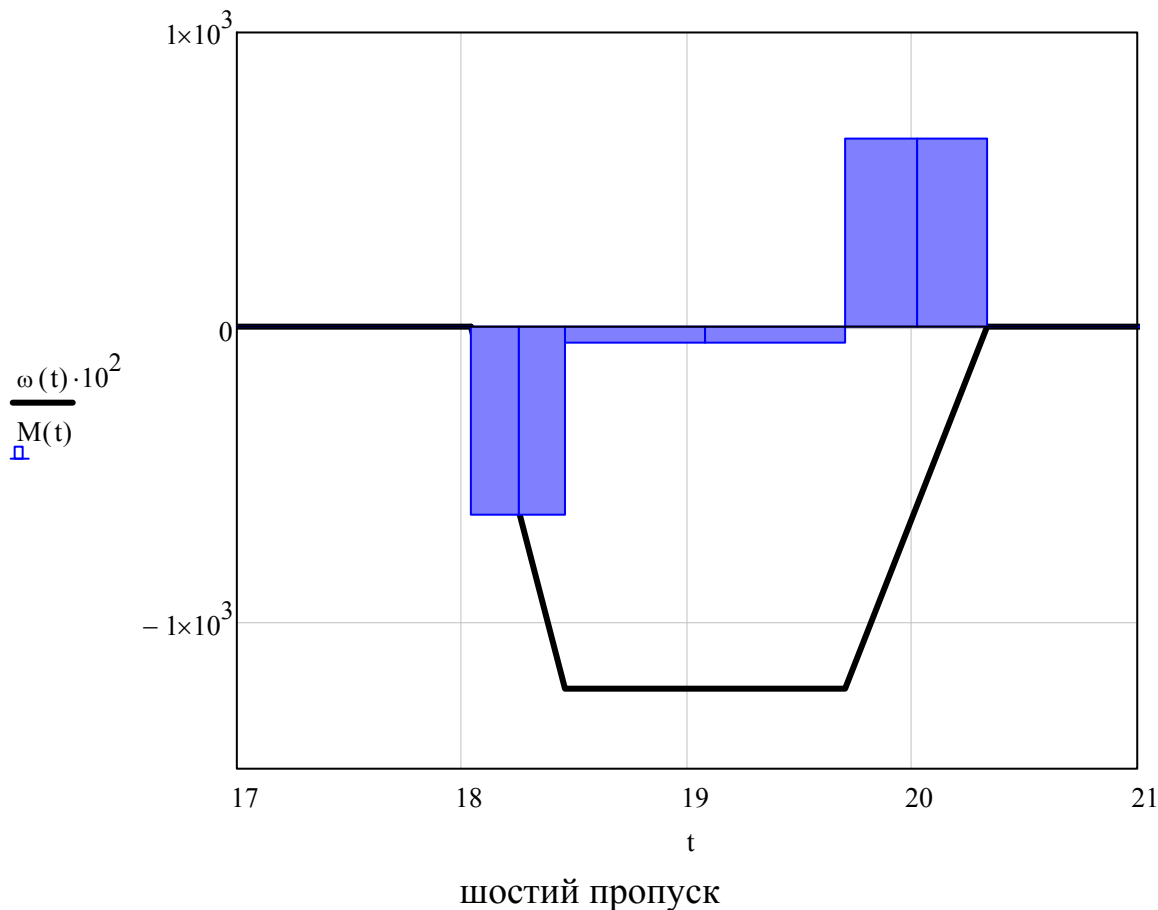


Рисунок 2.2 – Тахограми і навантажувальні діаграми роботи електроприводу рольгангу

2.4 Перевірка потужності обраного електродвигуна по нагріванню

На рис. 2.1 зображена нагрузочна діаграма електроприводу рольгангу. Так як в періоди пуску, гальмування і усталеного руху роликів рольгангу при прокатці листів швидкість прокатки і швидкість роликів синхронізовані, то буксування о метал відсутнє.

Еквівалентний момент електродвигуна, наведений до фактичного значення тривалості включення $\varepsilon = \Sigma t_{\text{вкл}} / t_{\text{ц}} = 15,46/24,76 = 0,63$:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{э}} &= \sqrt{\frac{M_{\text{п}}^2 \Sigma t_{\text{п}} + M_{\text{т}}^2 \Sigma t_{\text{т}} + M_{\text{с.т}}^2 \Sigma t_{\text{у}}}{\Sigma t_{\text{п}} + \Sigma t_{\text{т}} + \Sigma t_{\text{у}}}} = \\
 &= \sqrt{\frac{636,6^2 \cdot 5,57 + 636,6^2 \cdot 4,11 + 17,65 \cdot 10^3}{5,57 + 4,11 + 5,77}} = 461,3 \text{ Нм.}
 \end{aligned}
 \tag{2.31}$$

Еквівалентний момент, перерахований для ПВ=100% складає

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

Отримане розрахункове значення еквівалентного моменту показує, що прийняті значення пускового і гальмівного моментів забезпечують інтенсивне протікання перехідних процесів при одночасному допустимому навантаженні електродвигуна по нагріванню. Завантаження електродвигуна становить 69%.

Серед усіх можливих моментів на валу двигуна найбільшим є пусковий момент електроприводу при транспортуванні металу - 636,6 Нм, що у ставленні до номінального моменту становить $1,2 M_{\text{н}}$, що допустимо. Таким чином, обраний електродвигун проходить і по перевантажувальній здатності (максимально допустима кратність струму якоря 2,5).

При прокатці листів інших типорозмірів (при підкатах більшої маси) завантаження двигуна по середньоквадратичному моменту становить 50-85%, що допустимо. Кілька завищена потужність машини пояснюється необхідністю реалізації заданого темпу розгону / гальмування при транспортуванні металу найбільшої маси 2 т. Крім того, в разі ручного керування механізмами району прокатної кліти можливі неузгодженості лінійних швидкостей валів головного приводу, станинних роликів, робочих і розкатних рольгангів що призводить до появи буксування роликів від поверхню металу (статичні моменти на двигуні зростають до моментів буксування), викликаючи додатковий нагрів машини. Також буксування роликів від метал виникає при виході розкату з валів кліти з більшою швидкістю через так званого «випередження». Вважаємо, що 30% -го резерву потужності двигуна досить для покриття додаткових моментів.

3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ РОЛЬ ГАНГУ ЧОРНОВОЇ КЛІТИ

3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом

Електричний привод являє собою електромеханічну систему, що складається з перетворювального, електродвигунного, передавального і керуючого пристроїв, призначених для керованого перетворення електричної енергії в механічну роботу або для зворотного перетворення механічної енергії в електричну. Плавне регулювання в широких межах швидкості обертання двигунів здійснюється системою машин, в яку входять генератор і двигун постійного струму.

Для широкого і плавного регулювання частоти обертання електродвигуна постійного струму застосовується система генератор - двигун (Г - Д). Основний принцип цієї системи полягає в зміні прикладеної до якоря двигуна напруги при постійній напрузі ланцюга збудження.

Дана система «генератор-двигун» дозволяє здійснити двозонне регулювання:

- 1 зона - за рахунок зміни напруги (ЕРС генератора);
- 2 зона - за рахунок зміни магнітного потоку двигуна при номінальній напрузі

Переваги системи Г - Д:

- можливість плавного регулювання частоти обертання в широкому діапазоні до 16: 1;
- швидкий розгін виконавчого двигуна без допомоги пускового реостата, тобто з мінімальними втратами енергії;
- легкий пуск первинного двигуна, що обертає збудженому генератору;
- швидке і чітке гальмування виконавчого електродвигуна.

Основними недоліками системи генератор - двигун постійного струму є відносно низький коефіцієнт корисної дії, викликаний багаторазовим перетворенням енергії, висока вартість і громоздкість, що визначаються

наявністю в системі великого числа електричних машин. Вартість системи перевищує вартість одного короткозамкнутого асинхронного двигуна такої ж потужності в 8 - 10 разів. Крім того, така система електроприводу вимагає багато місця. Слід зазначити, що зниження ККД в значній мірі компенсується можливістю економічного управління виконавчим електродвигуном при його пуску і регулювання частоти обертання. Ця економія енергії особливо помітна в електроприводах, що вимагають частих пусків і реверсів двигуна.

Велика кількість ЕП живляться від мережі постійного струму. В таких системах необхідно виконати регулювання постійної напруги мережі живлення. Для вирішення цієї задачі використовують ШПІ перетворювачі.

Основним типом перетворювачів, які використовуються в даний час для управління ДПТ, є тиристорний перетворювач, тобто статичний напівпровідниковий перетворювач. Ці перетворювачі представляють керовані реверсивні або неререверсивні, однофазні або трифазні випрямлячі, зібрані по бруківці або нульовий схемою. Певні перспективи розвитку тиристорних перетворювачів пов'язані з використанням в них транзисторів, які в даний час застосовуються в основному для імпульсного регулювання напруги.

ШПІ мають наступні переваги:

- мають менше запізнювання у порівнянні з ТП;
- мають менші пульсації струму, що дозволяє виконати більш точне регулювання.

В наслідок цих переваг ШПІ застосовують у швидко дійних приводах постійного струму різних верстатів.

Найбільш простим способом управління ШПІ є симетричний.

Симетричний спосіб управління зазвичай використовується в малопотужних приводах постійного струму. Його перевагою є простота реалізації і відсутність зони нечутливості в регулювальній характеристиці.

Недоліки ШПІ з симетричним керуванням складаються в наявності двополярної напруги на навантаженні і в зв'язку з цим, підвищених пульсацій струму в навантаженні. Останнє вимагає підвищення частоти комутації

транзисторів (силових ключів) і призводить до збільшення втрат на ключах і до додаткового нагрівання.

Система тиристорний перетворювач - двигун постійного струму (ТП - Д) є технічним рішенням регульованого електроприводу малої і середньої потужності.

На сьогоднішній день система ТП-Д набула найбільшого поширення через наступні переваги:

- плавність і значний діапазон регулювання швидкості;
- висока жорсткість механічних характеристик;
- високий ККД електроприводу (ККД перетворювача визначають ККД трансформатора 0,93-0,98 і ККД випрямляча 0,9-0,92);
- мала інерційність, високу швидкодію;
- безшумність в роботі, простота в обслуговуванні і експлуатації.

Але поряд з цим існують і такі недоліки:

- одностороння провідність перетворювача;
- для отримання характеристик у всіх чотирьох квадрантах необхідність використання двухкомплектного реверсивного перетворювача;
- напруга на якорі двигуна має пульсуючий характер, що погіршує його роботу;
- необхідність згладжування пульсацій призводить до застосування складних багатофазних систем випрямлення і досить дорогих і важких дроселів;
- робота керованого випрямляча характеризується режимом переривчастих струмів, що призводить до нелінійності характеристик;
- з ростом діапазону регулювання швидкості знижується коефіцієнт потужності ($\cos\varphi \approx \cos\alpha$; $\cos\varphi = \cos(\alpha + \gamma / 2)$, де γ - кут комутації);
- вентильний перетворювач вносить спотворення в форму струму і напруги джерела живлення;
- тиристорні перетворювачі мають невисоку перешкодозахищеність і малу перевантажувальну здатність.

Електропривод з системою ТП - Д має такі переваги над системою Г - Д (генератор двигун):

- тиристорний електропривод значно знизив інерційність системи і підвищив швидкодію роботи установки, механізму;
- він досить безвідмовний у роботі і простий в експлуатації;
- ККД перетворювача не нижче 95%;
- мала маса і габаритні розміри, що дозволяє зменшити площу, необхідну для розташування пристрою;
- як правило має блокову компоновку тиристорів, що дозволяє при виході якого - то тиристора з ладу швидко його замінити.

Але маючи переваги вона також має і недоліки:

- на виході перетворювача присутні пульсації струму і напруги, що викликає проблеми з комутацією а також нагрів електродвигуна. Для поліпшення енергетичних показників як правило потрібна установка фільтрів;
- досить низький коефіцієнт потужності при використанні глибокого регулювання швидкості обертання двигуна. В системі Г - Д якщо використовують в якості приводний синхронну машину, то регулювання її потоку дозволить зберегти високий коефіцієнт потужності;
- перевантажувальні здатності нижче ніж в Г – Д;
- напруження мережі живлення спотворюється, що в більшості випадків призводить до установки додаткових фільтрів для поліпшення гармонійного складу мережі;
- при гальмуванні електродвигуна при використанні Г - Д рекупірація енергії в мережу відбувається природно, то для ТП - Д необхідно застосовувати спеціальні схеми включення, що веде до додаткових витрат.

Система Г-Д постійного струму експлуатується в установках великої потужності, наприклад, в електроприводах клітей прокатних станів і екскаваторах.

- Системи керування електроприводами забезпечують узгодження процесів перетворення енергій з метою одержання заданою технологією параметрів руху об'єкта керування.

Система керування має два канали регулювання швидкості.

- перший канал регулювання зміною напруги якоря;

- другий канал регулювання зміною струму збудження.

Будь-яка САУ повинна відповідати таким вимогам:

- система повинна бути стійкою;
- похибка (помилка) в сталому режимі (іноді і в перехідному) не повинна перевищувати заданої;
- система повинна забезпечувати задану якість перехідних процесів.

Часто ці вимоги виявляються суперечливими.

Для забезпечення стійкості системи та її показників якості використовують коригувальні ланки, які можуть бути включені або в прямий канал посилення (послідовна корекція), або в місцеві (внутрішні) зворотні зв'язки (ОС), що охоплюють частину функціонально необхідних елементів (паралельна корекція). Можливо спільне використання цих способів корекції - змішана корекція.

Системи з паралельною і змішаною корекцією є багатоконтурними стемами регулювання.

3.2 Вибір комплектного електроприводу

Основними технічними даними комплектних тиристорних електроприводів є номінальний струм $I_{н\text{тп}}$ і $U_{н\text{тп}}$ напруга. Для багатодвигунових електроприводів при послідовному живленні якірних ланцюгів за номінальний струм перетворювача приймається сумарний струм двигунів, через що зросте його потужність, а отже і його ціна. При роздільному живленні якірних ланцюгів номінальний струм перетворювача, повинен бути більше ніж:

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

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

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

$M_{с*}$ - відносна величина статичного моменту;

1,8 - перевантажувальна здатність по струму перетворювачів SIMOREG DC Master концерну Siemens.

Номинальна напруга перетворювача визначається номінальною напругою електродвигуна, яка менше номінальної напруги ТП, який визначається по ГОСТ 25953-83, на 5-15%, що забезпечує необхідний запас на регулювання швидкості і на безпечне інвертування при зниженні напруги мережі живлення, тобто $U_{н\ TP} = (1,05 \div 1,15)U_{н\ ДВ}$.

Номинальні дані двигунів ДС-808 для яких проводиться вибір силових ТП наведені в таблиці 2.1.

Дотримуючись наведених рекомендацій вибираємо роздільне живлення якірних ланцюгів. Встановлюємо на кожен електродвигун по одному перетворювачю і один резервний.

Для встановлених електродвигунів, з каталогу [4-5] вибираємо реверсивний комплектний тиристорний електропривід (ТКЕ) SIMOREG DC Master концерну Siemens шафового виконання, технічні дані якого наведені в табл. 3.1.

Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER приведена на рис 3.1 [4].

Перетворювачі SIMOREG DC MASTER є повністю цифровими компактними модулями з трифазним живленням, призначеними для живлення якоря і обмотки збудження двигунів постійного струму з регульованою швидкістю і з номінальним струмом якоря в діапазоні від 15А до 2000А. Компактні перетворювачі можуть включатися паралельно для забезпечення струму до 10000А. Максимальне значення струму для живлення ланцюга збудження дорівнюється 40А (рівні струмів залежать від номінального струму якоря).

Всі блоки SIMOREG DC MASTER забезпечені простою панеллю керування (PMU), закріпленою на дверцятах перетворювача. Панель складається з п'ятиразрядного семисегментного індикатора, трьох світлодіодів індикації стану і трьох кнопок параметрування. На панелі управління так само знаходиться з'єднувач типу X300 з інтерфейсом USS, відповідний стандарту RS232 або RS485. Панель забезпечує все необхідне для регулювання і лаштування, а так само відображення вимірних значень, необхідних для запуску перетворювача.

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

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

Параметрування перетворювача можна так само здійснювати через стандартний РС при використанні відповідного програмного забезпечення.

ЕОМ підключається до базового блоку за допомогою послідовного інтерфейсу. Цей інтерфейс використовується під час запуску, для збереження параметрів при відключенні, а так само для діагностики під час роботи. Більш того, оновлене програмне забезпечення перетворювача можна завантажити через цей інтерфейс для зберігання у Flash пам'яті.

У одноквадрантних перетворювачах ланцюг якоря живиться від повністю керованого трифазного моста, а в чотириквадрантних модулях - від двох повністю керованих трифазних мостів, включених зустрічно-паралельно.

На схему збудження живлення подається через однофазний напівкерований двонапівперіодний міст.

Напруга живлення якоря і схеми збудження може відрізнитися по частоті (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

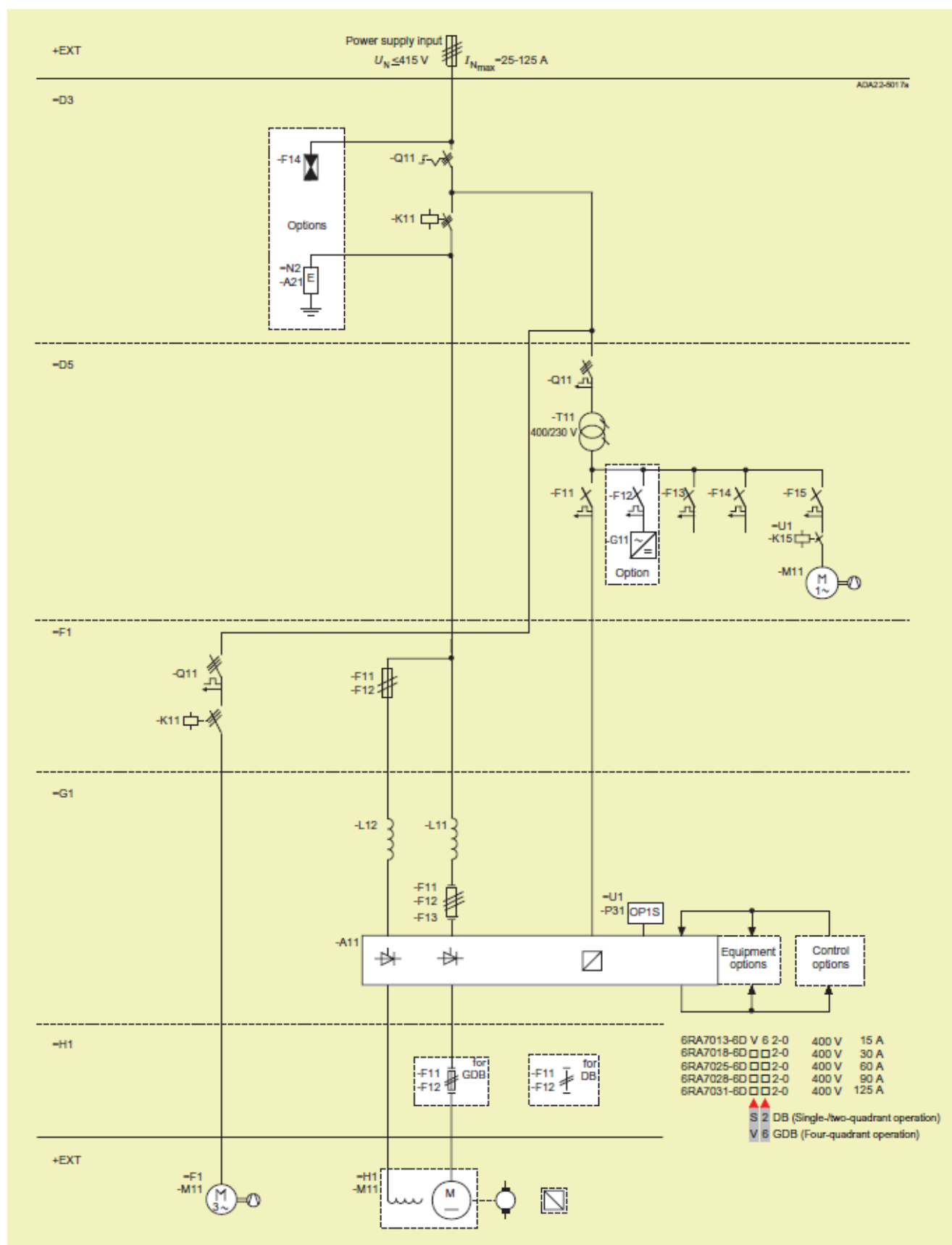


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER

3.3 Вибір силового трансформатора і згладжуючого дроселя

Силовий трансформатор в схемі керованого випрямляча застосовується для узгодження стандартної напруги мережі і напруги навантаження. Зменшення напруги на виході ТП постійного струму за рахунок зміни кута управління в більшості практичних випадків неприпустимо, так як це веде до недовикористання по потужності перетворювальної установки і зниження її енергетичних показників (коефіцієнта потужності). Крім того, трансформатор обмежує струм в режимі короткого замикання, а також швидкість наростання струму як в робочих, так і в аварійних режимах роботи перетворювача.

Для узгодження тиристорних перетворювачів (12 + 1 шт) з мережею живлення з довідника [7] вибираємо силовий трансформатор ТСЗП-400 / 10УЗ технічні дані, якого наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні дані силового трансформатора ТСЗП-400 / 10УЗ виконання 3 для живлення тиристорного перетворювача [7]

Найменування параметру	Позначення і чисельне значення
Потужність, кВ А	$P_{\text{тр тп}} = 351$
Номінальна первинна напруга, В	$U_{1 \text{ тр тп}} = 6000$
Номінальна вторинна напруга, В	$U_{2 \text{ тр тп}} = 310$
Чинне значення струму вторинної обмотки, А	$I_{2 \text{ тр тп}} = 653$
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, %	$U_{\text{кз\% тп}} = 5,9$
Струм холостого ходу, %	$I_{\text{хх\% тп}} = 2$
Маса, кг	$m_{\text{тр тп}} = 765$

Оскільки двигун серії ДС допускає роботу без реактора, що згладжує і за довідником не рекомендується використовувати його на дану напругу і струм, так як індуктивності якоря двигуна і трансформатора досить для згладжування пульсацій, що виникають в роботі електроприводу, то вибір згладжувального

реактора не проводиться. Це істотно зменшить вартість і масогабаритні показники електроприводу.

3.4 Опис принципової схеми робочого рольгангу

Принципова схема силового ланцюга рольгангу чорновій кліті «ДУО» приведена на рис. 3.2.

3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (перетворювача SIMOREG DC Master)

Для живлення електродвигунів використовуються комплектні тиристорні електроприводи SIMOREG DC Master 6RM7028-6DV02 (див. Табл. 3.1) з реверсом струму в якорному ланцюгу, трансформаторне підключення до мережі, з лінійним контактором і приладом динамічного гальмування, з вбудованим пристроєм збудження двигуна; з програмованими засобами управління, з однозонною системою регулювання швидкості зі зворотнім зв'язком за швидкістю від імпульсного датчика швидкості, з мережевими зв'язками Profibus DP і CAN. Система захисту. Система захисту реагує на датчики аварій, а також на аварійні ситуації обчислювані програмно.

3.4.2 Резервування перетворювальної техніки

В якості резервного агрегату UZR, для живлення електродвигунів застосований TKE SIMOREG DC Master SIMOREG DC Master 6RM7028-6DV02 (див. Табл. 3.1). Схема перемикачів на резервний перетворювач приведена на рис. 3.2. Перемикач електродвигуна на живлення від резервного тиристорного перетворювача проводиться при відключеному живленні основних ланцюгів і зупиненому приводі.

3.5 Вимоги до системи автоматизації

Управління роботою рольгангів - ручне і автоматичне.

Ручний режим управління використовується при налагодженні, випробуванні, в нештатних і аварійних ситуаціях, а також у випадках тимчасових відмов у роботі. Автоматичний режим управління є основним і містить в собі

автоматичну послідовність роботи механізмів у функції наявності металу у відповідному контрольному перетині стану.

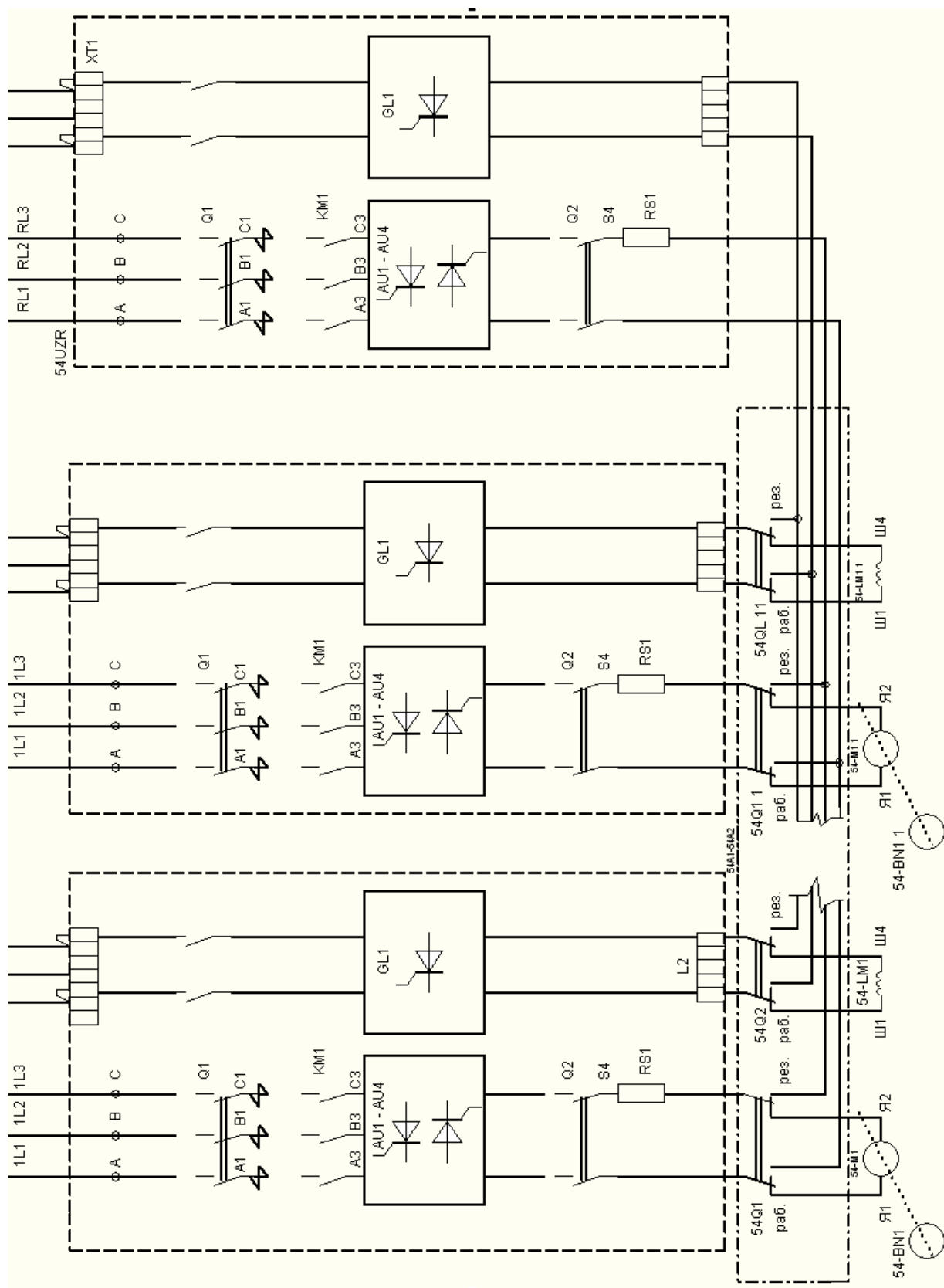


Рисунок 3.2 - Принципова схема силового ланцюга рольгангу чорнової кліті «ДУО»

Узгодити швидкості рольгангів зі швидкістю кліті, рольгангів що примикають і станинних роликів (на стороні виходу металу з кліті врахувати випередження металу при прокатці).

Система автоматизації повинна бути інформаційно пов'язана з системами верхнього рівня автоматизації і забезпечувати вирішення наступних завдань:

- збір і обробка інформації датчиків наявності металу, пірометрів, і ін;
- зв'язок з іншими локальними системами по супроводу металу і обміну інформацією;
- зв'язок з електроприводами по шині profibus через станцію віддаленого вводу-виводу et200 і іншим радіальним каналам;
- ситуаційно-логічне управління комплексом;
- введення параметрів і вивід на кольорові монітори, друк протоколів (при необхідності);
- локальна діагностика несправності комплексу (на рівні приводів).

Технічні засоби, на яких створюється система автоматизації, повинні бути максимально уніфіковані і взаємозамінні.

Пульти керування повинні бути інтегрованими (тобто містити як органи управління приводами, так і органи управління, що відносяться до системи автоматизації).

Кількість органів управління і сигналізації повинно бути погоджено між проектувальниками електроприводів і АСУТП в ході проектування. Апарати на пультах управління повинні бути розподілені по трьох зонах:

- оперативна зона;
- зона апаратури ручного (поштовхового) управління;
- зона підготовки обладнання до роботи.

На кожному з пультів, оснащених сигнальної арматурою, передбачається кнопка для контролю сигнальних ламп.

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

4 СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛЬГАНГУ

4.1 Математичний опис об'єкту управління

При синтезі системи управління приймаються звичайні для систем електроприводу допущення, лінеарізуючі силову частину об'єкту управління - двигун і регульоване джерело живлення ланцюга якоря. При математичному описі не враховується вплив пружних елементів, вплив гістерезису, вихрових струмів і реакції якоря. Коефіцієнти передач і постійні часу структурних елементів електроприводу приймаються незмінними.

Об'єктом управління в даній системі виступає тиристорний перетворювач, електродвигун і механічна частина.

Тиристорний перетворювач як елемент системи регулювання є нелінійним дискретним пристроєм. Його специфічні особливості полягають в наступному. Управління ТП здійснюється дискретно, так як після відмикання чергового тиристора зміна сигналу управління протягом деякого інтервалу часу не призводить до зміни напруги ТП.

Якщо швидкість зміни кута $d\alpha/dt > \omega_0$, то ЕРС визначається не кутом α , а зміною по кривій напруги живлення останнього тиристора що проводив струм в зв'язку з неможливістю закрити по ланцюгу управління відкритий тиристор. Останнє явище отримало назву неповної керованості ТП.

У зв'язку з цим повне дослідження динамічних характеристик ТП є складним завданням, і на практиці застосовують різного роду спрощення.

Найбільшого поширення набули два види моделей ТП: безперервна, в якій ТП представляється аперіодичною ланкою з коефіцієнтом $k_{\text{тп}}$ і постійною часу

$\tau_{\mu} = \frac{\pi}{m\omega_0}$ і імпульсна. Надалі, при синтезі САУ буде використана безперервна

модель ТП.

Система регулювання обраного тиристорного перетворювача двухпроцессорна, усі регулятори (струму якоря, швидкості, е.р.с двигуна, струму

збудження і т.п.) побудовані з функціональних блоків, реалізованих програмно. Внаслідок того, що швидкодія мікропроцесорів досить висока ресурсів, яких до того ж вистачає для реалізації системи захистів і сигналізації, здійснення моніторингу стану електроприводу, діагностики збоїв і попереджень, інтерфейсу оператора і т.п., синтез системи регулювання може бути здійснений відповідно до традиційного налаштування контурів по модульним і симетричному оптимумам, причому сама система регулювання вважається безперервною. Детальні структурні схеми відповідних контурів регулювання перетворювача SIMOREG DC Master будуть представлені в наступних розділах при синтезі САР.

Таким чином, електродвигун представимо у вигляді трьох типових ланок (рис. 4.1): аперіодичної ланки першого порядку (електрична частина двигуна) і інтегруючої ланки (механічна частина), охоплених негативним зворотним зв'язком по е.р.с двигуна.

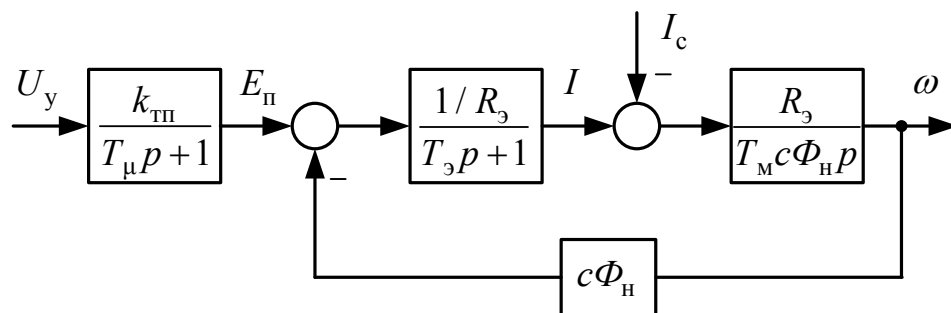


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електроприводу

4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу

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

$$E_{d0\text{ тп}} = 1,35U_{2\text{ тр тп}} = 1,35 \cdot 310 = 418,5 \text{ В} \quad (4.1)$$

де 1,35 - коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

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

Кругова частота 1-ої 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 живильної мережі, Гц;

m_ϕ - число фаз випрямлення.

Активний, індуктивний і повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр тп}} = \frac{\Delta P_{\text{кз тп}} U_{2 \text{ тр тп}}^2}{P_{\text{тр тп}}^2} = \frac{6000 \cdot 310^2}{(351 \cdot 10^3)^2} = 4,6 \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

$$z_{\text{тр тп}} = \frac{U_{\text{кз\% тп}} U_{2 \text{ тр тп}}}{100 I_{2 \text{ тр тп}} \sqrt{3}} = \frac{5,9 \cdot 310}{100 \cdot 653 \cdot \sqrt{3}} = 16,171 \cdot 10^{-3} \quad (4.4)$$

$$x_{\text{а тр тп}} = \sqrt{z_{\text{тр тп}}^2 - r_{\text{тр тп}}^2} = \sqrt{(16,171 \cdot 10^{-3})^2 - (4,6 \cdot 10^{-3})^2} = 15,5 \cdot 10^{-3} \quad (4.5)$$

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

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

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

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

Індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{тр тп}} = \frac{x_{\text{а тр тп}}}{2\pi f_c} = \frac{15,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 49,363 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (4.6)$$

де $x_{\text{а тр тп}}$ - 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, що залежить від конструкції електродвигуна ($k = 5 \dots 6$ - для компенсованих машин);

$U_n = 220$ В - номінальна напруга електродвигуна;

$I_n = 60$ А - номінальний струм електродвигуна;

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

$n_n = 180$ об/хв. - номінальна частота обертання електродвигуна.

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 при нагріванні машини на 80°C ;

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

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

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликане реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 15,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 14,8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.9)$$

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

$x_{\text{а}} = 15,5$ мОм - повний опір силового трансформатора.

При синусоїдальній опорній напрузі СІФУ перетворювача характеристика вхід-вихід ТП лінійна і коефіцієнт передачі ТП по напрузі розраховується за формулою

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{\text{d0}}}{U_{\text{у max}}} = \frac{418,5}{10} = 41,85 \quad (4.10)$$

де $U_{\text{у max}} = 10$ В – максимальна керуюча напруга ТП.

Еквівалентний активний опір якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_{\text{э}} &= r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ &= 0,33 + 2(3 \cdot 10^{-3}) + 14,8 \cdot 10^{-3} + 33 \cdot 10^{-3} = 0,384 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.11)$$

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

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

$r_{\text{к}} = 14,8$ 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 з якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} = 30,556 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 49,363 \cdot 10^{-6} = 0,031 \text{ Гн} \quad (4.12)$$

Сумарний приведений момент інерції електроприводу:

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

де $J_{\text{дв}} = 2$ кгм² - момент інерції електродвигуна (див. табл. 2.1);

$J_{\text{р}} = 18,3$ кг · м² - момент інерції ролика;

$J_{\text{м}}$ - момент інерції злитка що транспортується, кг · м².

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:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,031}{0,384} = 0,081 \text{ с} \quad (4.15)$$

Електромеханічна постійна часу електроприводу:

$$T_{\text{м}} = \frac{J'_{\Sigma} R_{\Sigma}}{c\Phi_{\text{н}}^2} = \frac{55,84 \cdot 0,384}{10,63^2} = 0,19 \text{ с} \quad (4.16)$$

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

4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму будемо вважати, що електромеханічна стала часу набагато більше електромагнітної постійної часу T_3 . Можна також знехтувати зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, вважаючи її обурюючим впливом в контурі струму.

Структурна схема контуру струму представлена на рисунку 4.2.

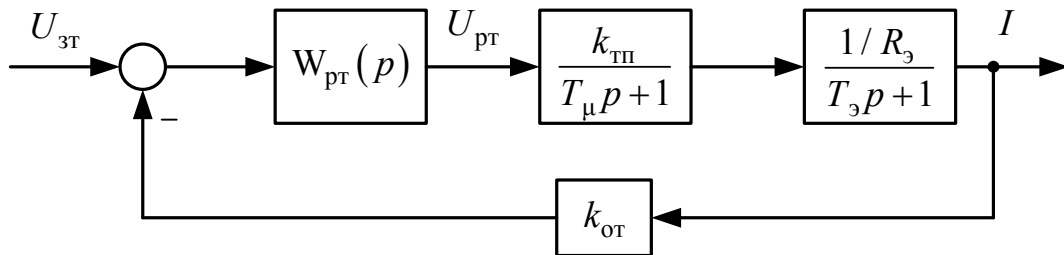


Рисунок 4.2 - Структурна схема контуру струму

Як малої постійної часу контура струму приймаємо малу постійну ТП $T_\mu = 5$ мс. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

Передавальна функція регулятора має вигляд

$$W_{\text{рг}}^{\text{м}}(p) = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{\text{тп}} k_{\text{от}} 2T_\mu p} = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{\text{тп}} k_{\text{от}} T_{\text{от}} p} = k_{\text{ргП}} + \frac{k_{\text{ргИ}}}{p} \quad (4.17)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора струму:

$$k_{\text{ргП}} = \frac{R_3 T_3}{k_{\text{тп}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}} = \frac{0,384 \cdot 0,081}{41,85 \cdot 0,067 \cdot 0,01} = 1,112 \quad (4.18)$$

$$k_{\text{ргИ}} = \frac{R_3}{k_{\text{тп}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}} = \frac{0,384}{41,85 \cdot 0,067 \cdot 0,01} = 13,714 \quad (4.19)$$

де $T_3 = 0,081$ с - електромагнітна постійна часу системи ТП-Д;

$k_{\text{тп}} = 41,85$ - коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

$k_{\text{от}} = \frac{U_{\text{зт.макс}}}{I_{\text{макс}}} = \frac{10}{150} = 0,067$ В/А - коефіцієнт передачі ланки зворотнього

зв'язку по струму;

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

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

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

Функціональна схема контуру регулювання струму якоря, реалізована в перетворювачі програмно на базі відповідних блоків, представлена на рисунку 4.3. Розраховані величини пропорційної і інтегральної частин регулятора струму при налагодженні електроприводу 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 рис. 4.4), на який подається напруга з датчика напруги, підключеного до вимірювального шунту. Шунт необхідно встановити в якірному ланцюгу двигуна. Далі сигнал фільтрується апаратним згладжуванням, оцифровується аналого-цифровим перетворювачем А / D, нормується за величиною до 100% параметром P701.F і далі при необхідності інвертується за допомогою параметру P703, програмно фільтрується і на виході конектора K0011 виходить програмний сигнал, пропорційний реальному струму.

4.3 Синтез регулятора швидкості

Структурна схема контуру швидкості зі згорнутим контуром струму (оскільки T_{μ} - мала постійна часу, то множенням $T_{\text{от}}T_{\mu}$ можна знехтувати) приведена на рисунку 4.5.

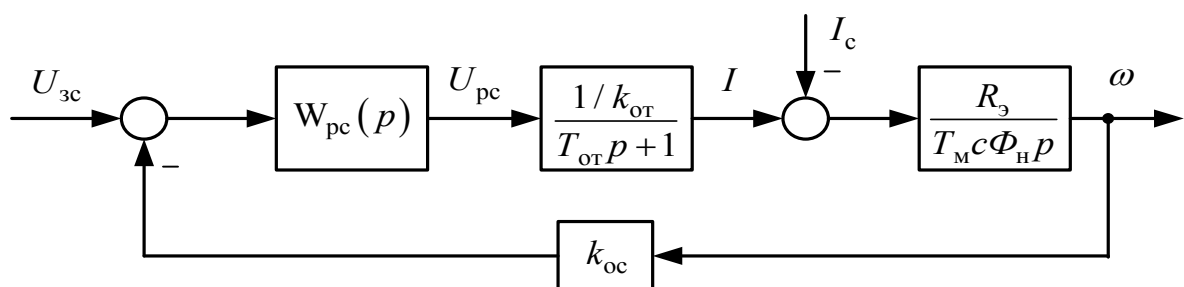


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

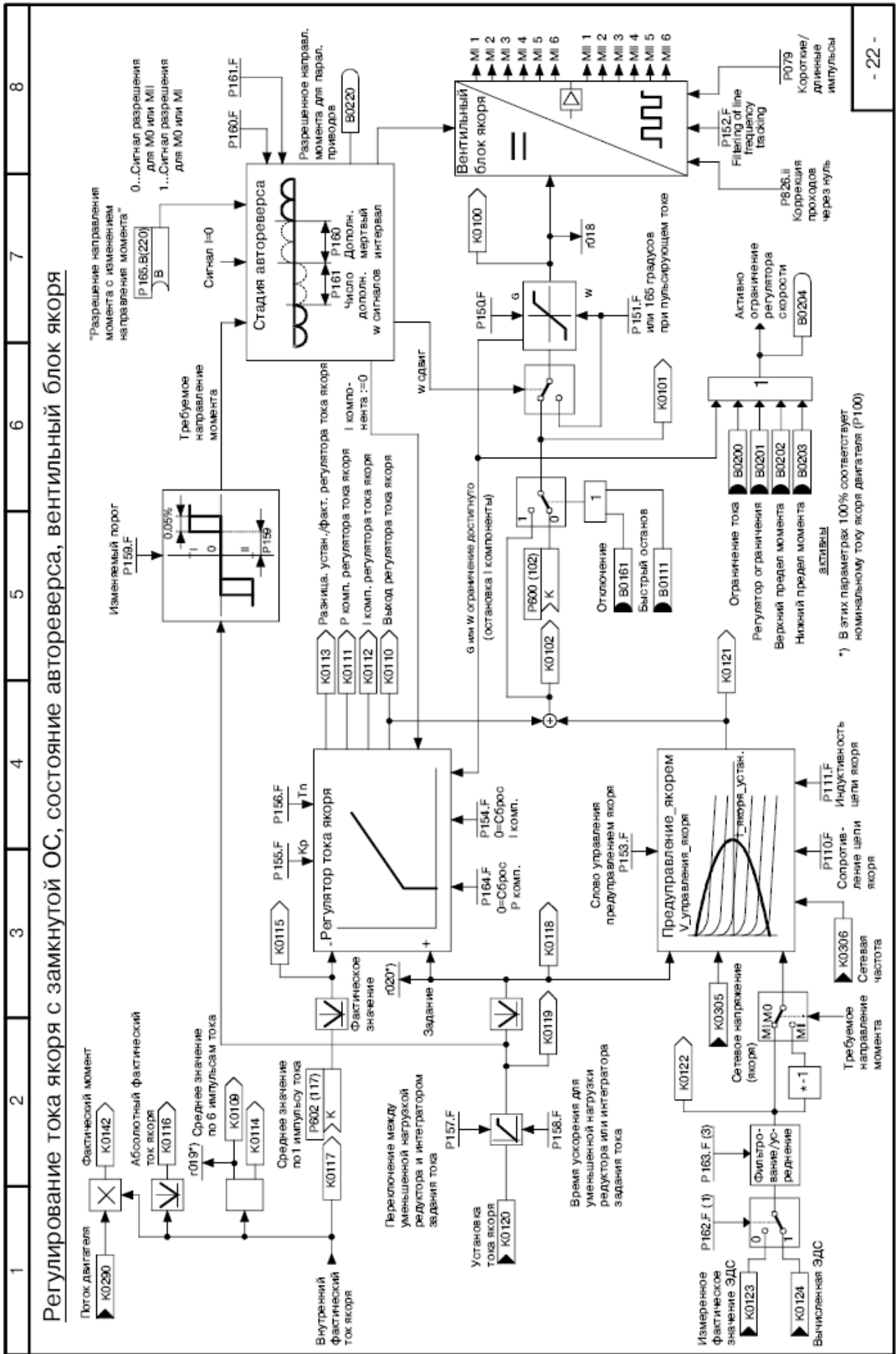


Рисунок 4.3 - Функціональна схема контуру регулювання струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

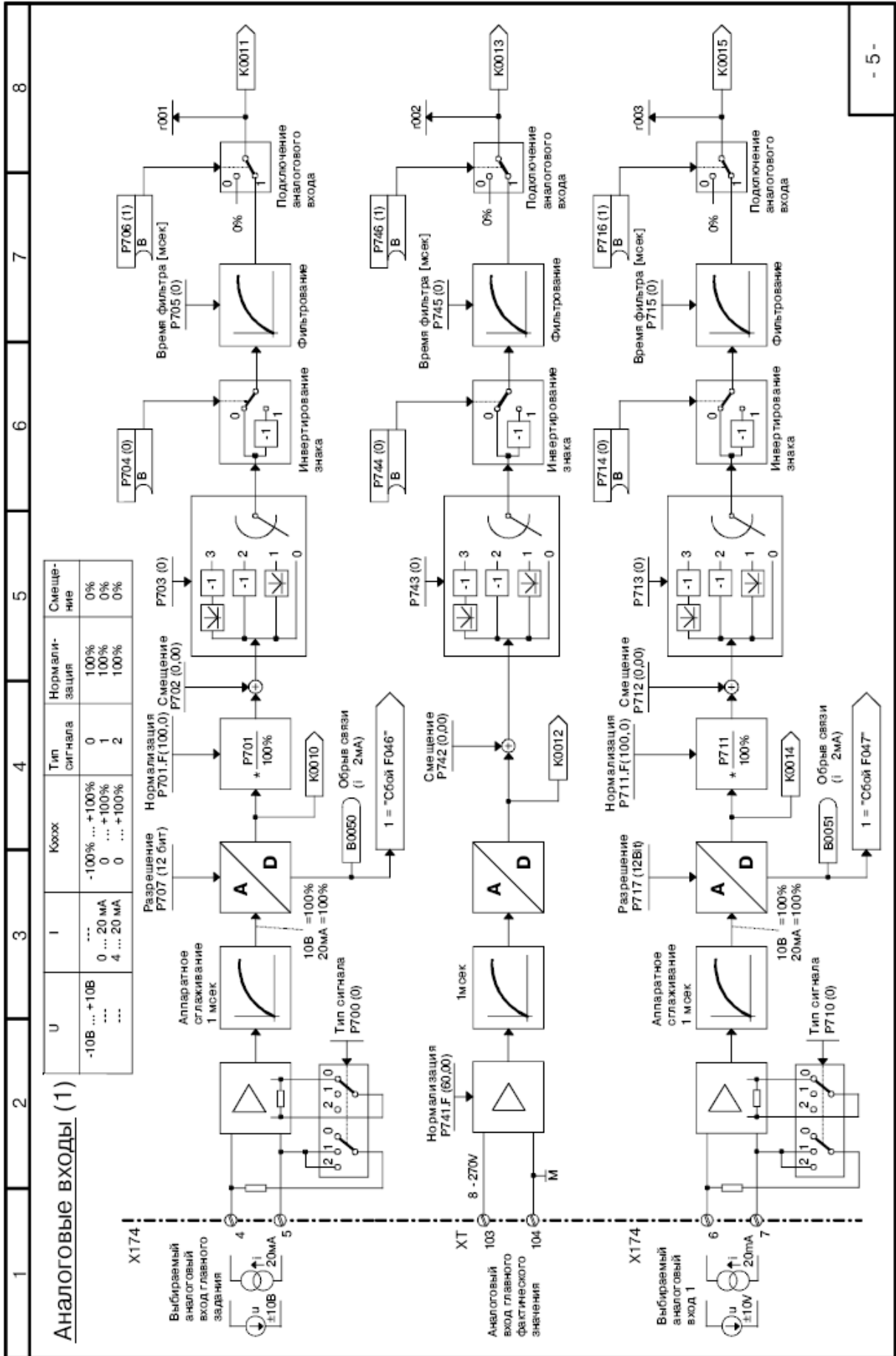


Рисунок 4.4 - Канал формирования сигнала зворотнього зв'язку по струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

Оскільки вимоги до статички - забезпечення статичної помилки регулювання в межах 5%, контур швидкості виконуємо дворазово-інтегруючим (з ПІ-регулятором), тобто здійснюємо настройку на симетричний оптимум. В цьому випадку передавальна функція регулятора швидкості має вигляд:

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

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора швидкості:

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

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

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

$$k_{ос} = \frac{U_{зс.маx}}{\omega_{маx}} = \frac{10}{18,83} = 0,531 \text{ Вс} - \text{коєфіцієнт передачі ланки зворотнього}$$

зв'язку за швидкістю;

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

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

$T_{ос} = 2T_{от} = 2 \cdot 0,01 = 0,02$ с - постійна часу інтегрування контуру швидкості

при налаштуванні на симетричний оптимум.

Для зниження перерегулювання по швидкості під час налаштування контуру на симетричний оптимум на його вході, встановлюємо фільтр з функцією передачі:

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

де $T_{\Phi} = 8T_{\mu} = 2T_{ос} = 2 \cdot 0,02 = 0,04$ с - постійна часу фільтра.

Функціональна схема контуру регулювання швидкості, реалізованого в

перетворювачі SIMOREG DC Master програмно на базі відповідних блоків, представлена на рисунку 4.6. Розраховані величини пропорційної і інтегральної частин регулятора швидкості при налагодженні електроприводу необхідно встановити в параметрах P550.F, P225.F і P226.F відповідно.

Як датчик швидкості вибираємо імпульсний датчик HOG 10 DN концерну Huebner Berlin - 1024 імпульсу / оборт.

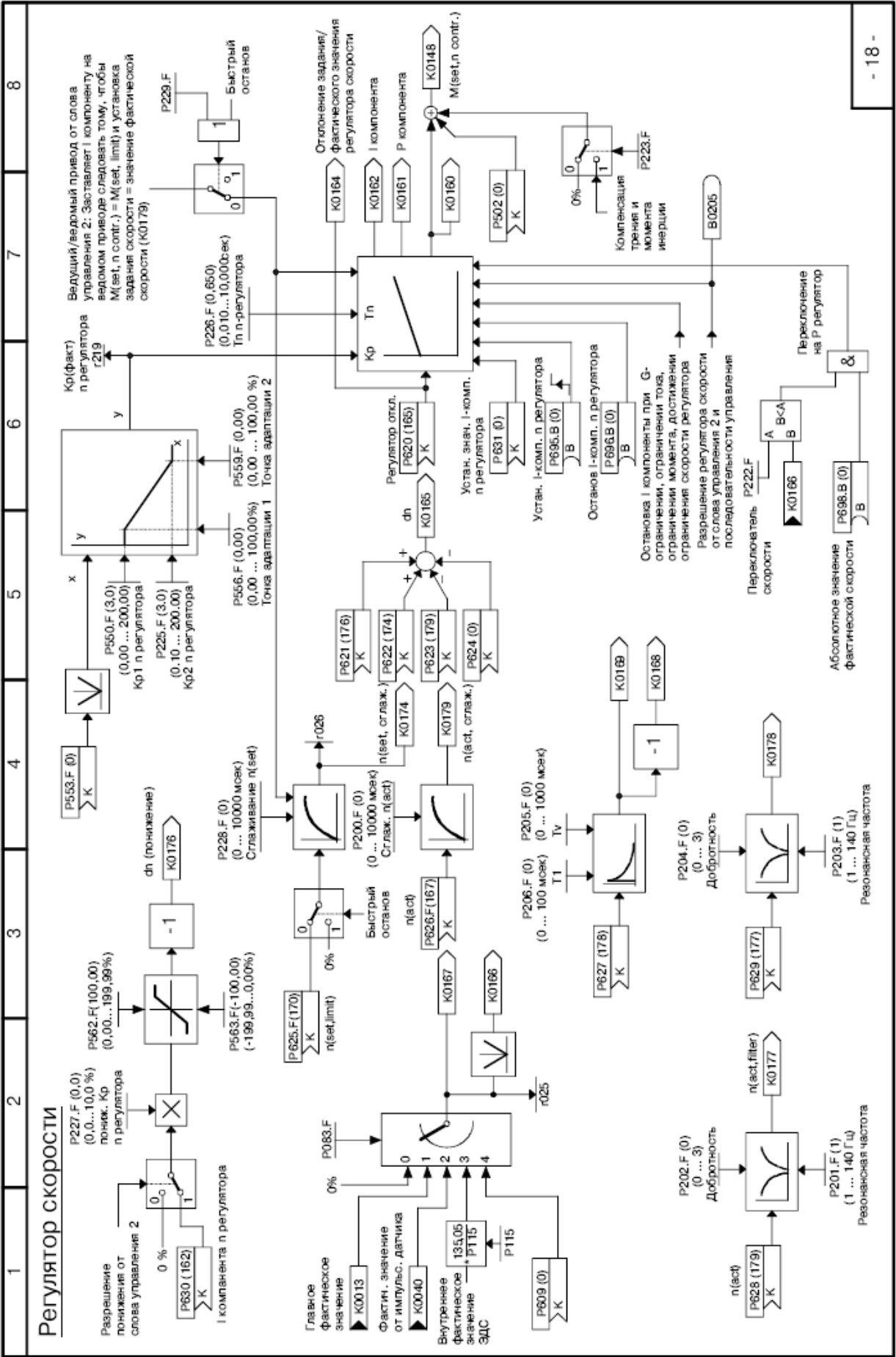


Рисунок 4.6 - Функциональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

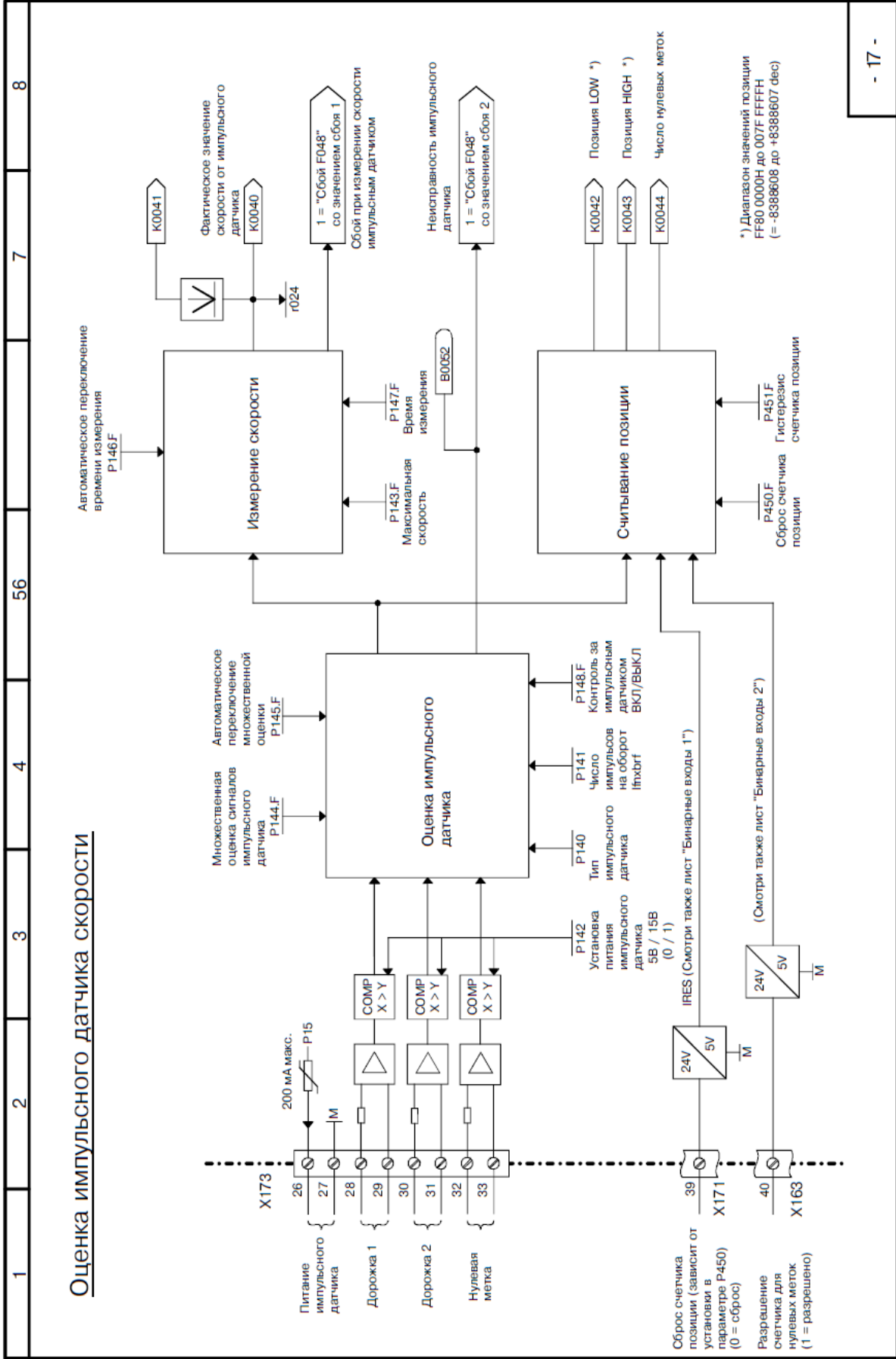


Рисунок 4.7 – Канал формування сигналу зворотного зв'язку по швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

4.4 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону і гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки струмообмеження ($I_{\max} = 2,5I_{\text{н}}$) необхідно на вході регулятора швидкості встановити задатчик інтенсивності швидкості (ЗІС). Він перетворює ступінчастий сигнал завдання швидкості в лінійно змінювальний сигнал в часі. Стале значення напруги виходу ЗІС, яка подається на вхід регулятора швидкості, так само вхідного сигналу. Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості приведена на рисунку 4.8.

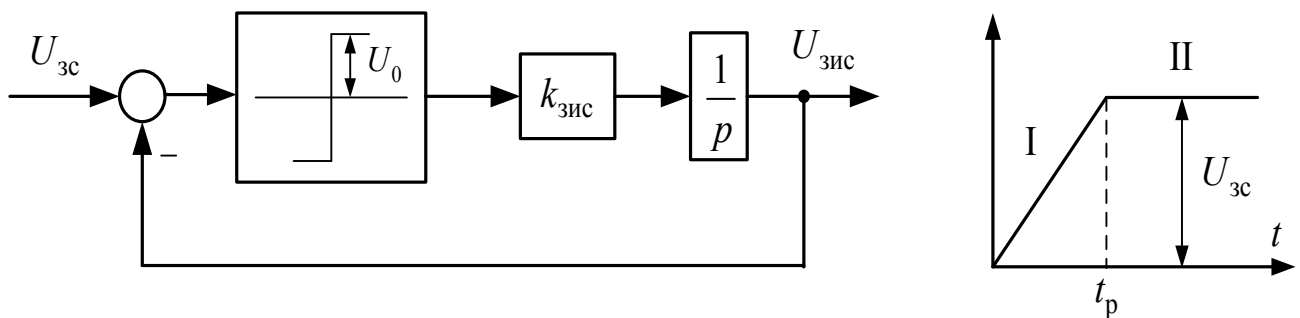


Рисунок 4.8 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідну напругу задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянку:

$$U_{\text{зис}}^{\text{I}} = U_0 k_{\text{зис}} t_{\text{р}} = \frac{R_{\text{э}}}{T_{\text{м}} c \Phi_{\text{н}}} \frac{I_{\text{дин}} U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{з.уст}}} t_{\text{р}} \quad (4.24)$$

II ділянку:

$$U_{\text{зис}}^{\text{II}} = U_{\text{зс}} \quad (4.25)$$

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

$\omega_{\text{з.уст}} = 12,3 \text{ 1/с}$ - стала швидкість (швидкість транспортування злитка),

відповідна $U_{\text{зс}}$;

$U_{\text{зс}} = 10 \text{ В}$ - напруга на вході ЗІС (яке задає напругу);

$U_0 = 10 \text{ В}$ - полка релейного елемента.

Зі співвідношення (3.24) визначимо час розгону двигуна до сталої швидкості:

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

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

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

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

На рисунку 4.9 наведені структурна схема швидкісної системи підлеглого управління електроприводу.

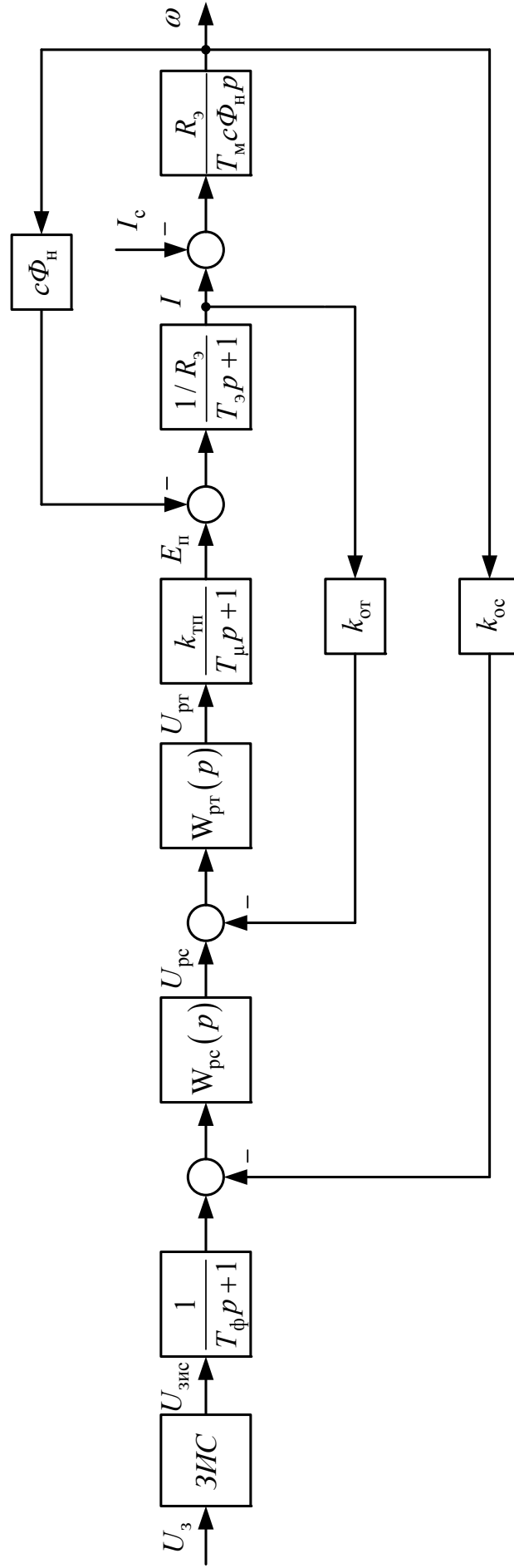


Рисунок 4.9 - Структурна схема швидкісної системи підлеглого управління

5 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛЬГАНГА У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

Цифрове моделювання розрахованої системи здійснюється в середовищі моделювання динамічних систем Matlab/Simulink. Створена Simulink-модель швидкісної системи підпорядкованого керування електроприводом станинних роликів, що має в своєму складі ПІ-регулятор струму, ПІ-регулятор швидкості і задатчик інтенсивності швидкості наведена на рис. 5.1. Внутрішні структури підсистем (Subsystem) типових вузлів схеми наведені на рис. 5.2 - 5.4.

При реалізації регуляторів струму і швидкості в цифровій моделі враховувалося їх насичення. Наприклад, при побудові моделі ПІ-регулятора недостатньо обмежити тільки його вихідну напругу за допомогою блоку Saturation, оскільки внутрішня інтегральна складова блоку при цьому може накопичувати в перехідному процесі значення, що перевершують передбачуваний поріг насичення. З цієї причини використання стандартного блоку PID-Controller, представленого в бібліотеці Simulink Extras/Additional Liner неприпустимо. Моделі регуляторів коректно враховують поріг насичення регулятора $U_{y,max} = 10$ В (см. рис. 5.2) [13-15].

Графіки перехідних процесів (швидкість обертання двигуна; струм якірного ланцюга системи; ЕРС силового перетворювача; вихідна напруга регулятора положення; вихідна напруга регулятора швидкості; вихідна напруга регулятора струму; вихідна напруга задатчика інтенсивності швидкості) отримані як за номінальними параметрами об'єкта керування, так і при їх варіації наведено на рис. 5.4 - 5.19.

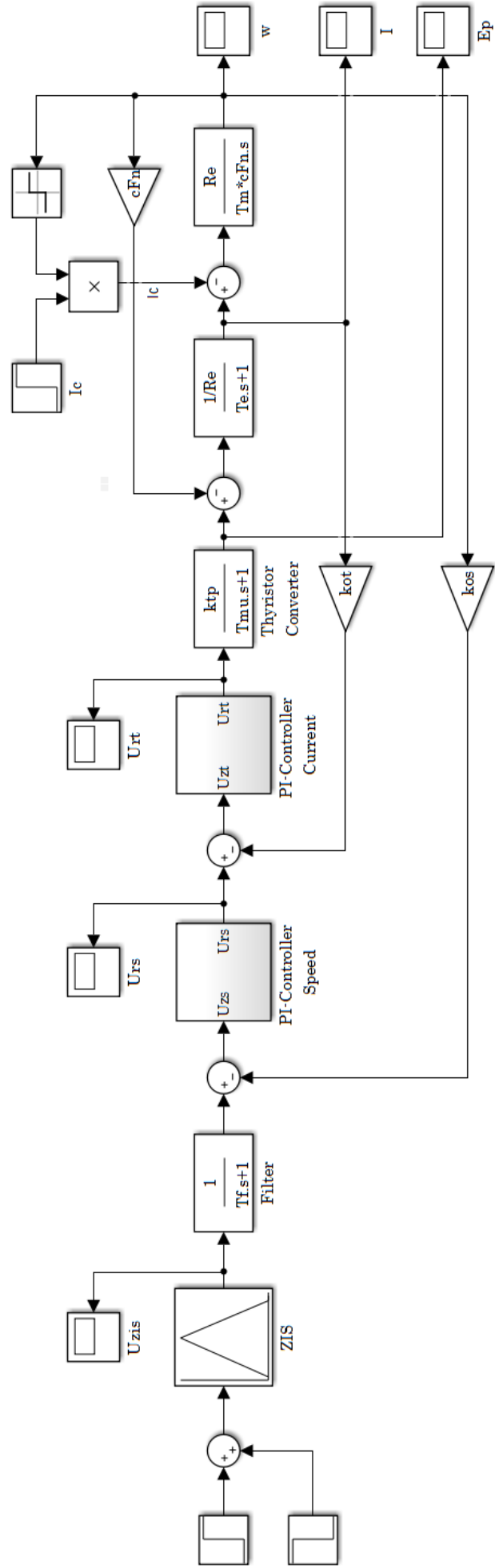


Рисунок 5.1 – Simulink-модель системи підпорядкованого керування електроприводом рольгангу

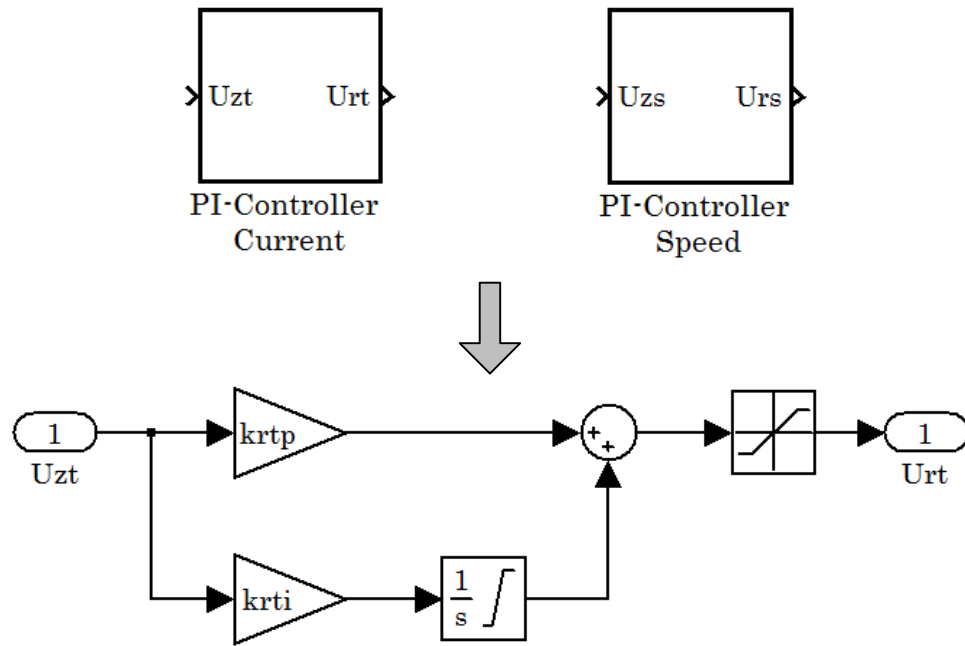


Рисунок 5.2 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-Controller Current) і швидкості (PI-Controller Speed), що враховує поріг насичення регулятора

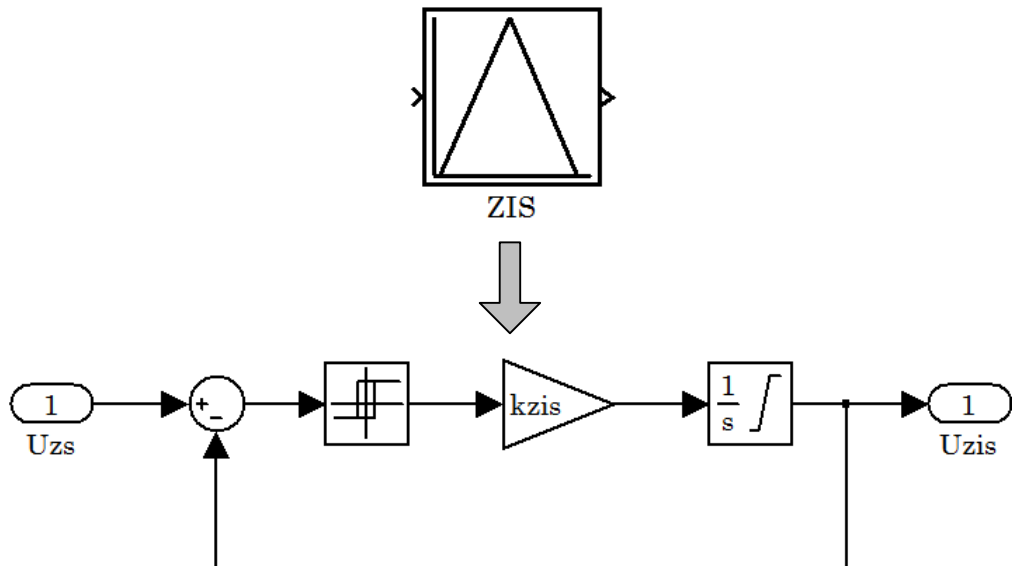


Рисунок 5.3 - Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS), що реалізує раціональну динаміку

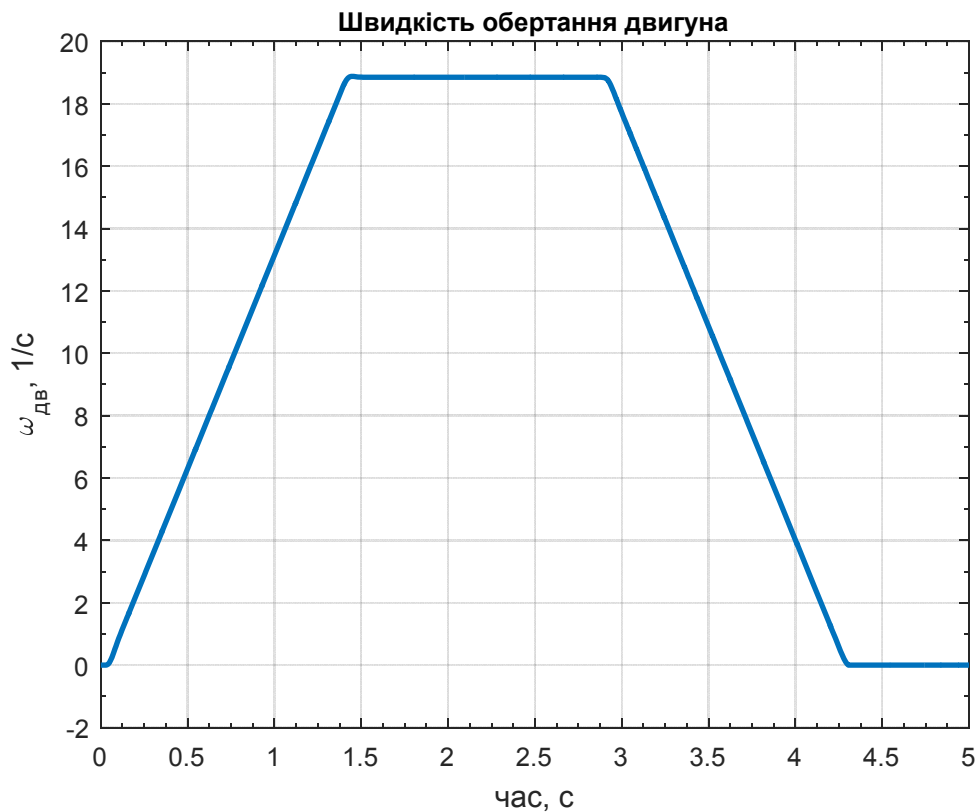


Рисунок 5.4 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при номінальних параметрах ($I_c = 0,3I_H$)

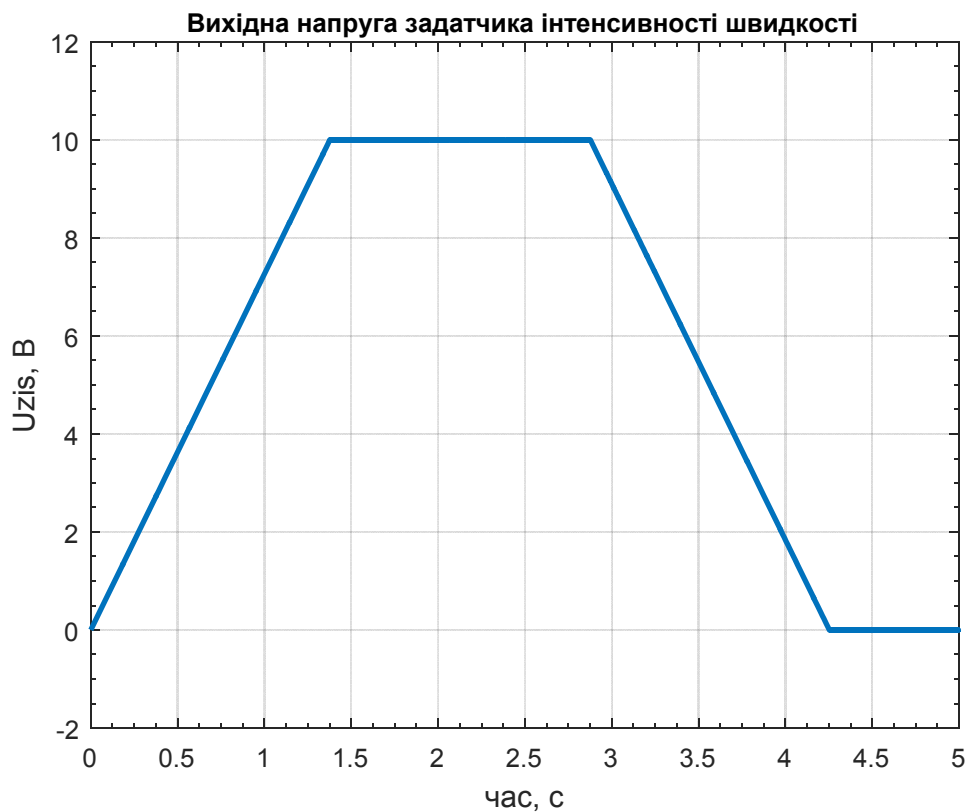


Рисунок 5.5 – Графік перехідного процесу напруги задатчика інтенсивності швидкості ($I_c = 0,3I_H$)

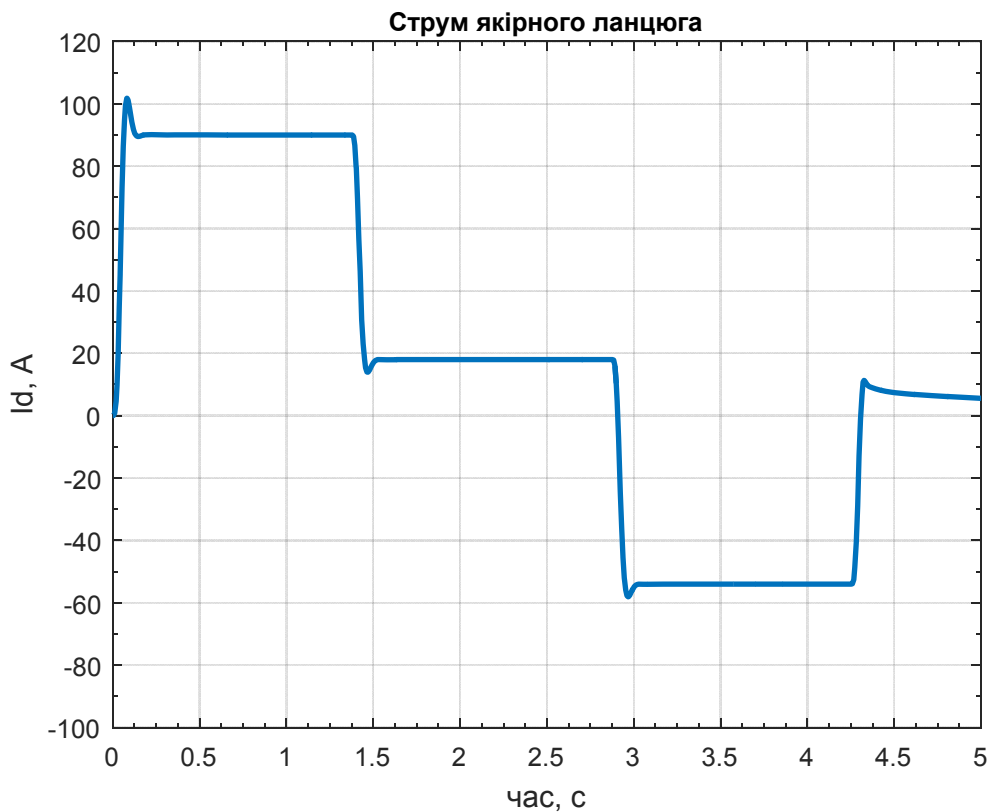


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу струму якоря
($I_c = 0,3I_H$)



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

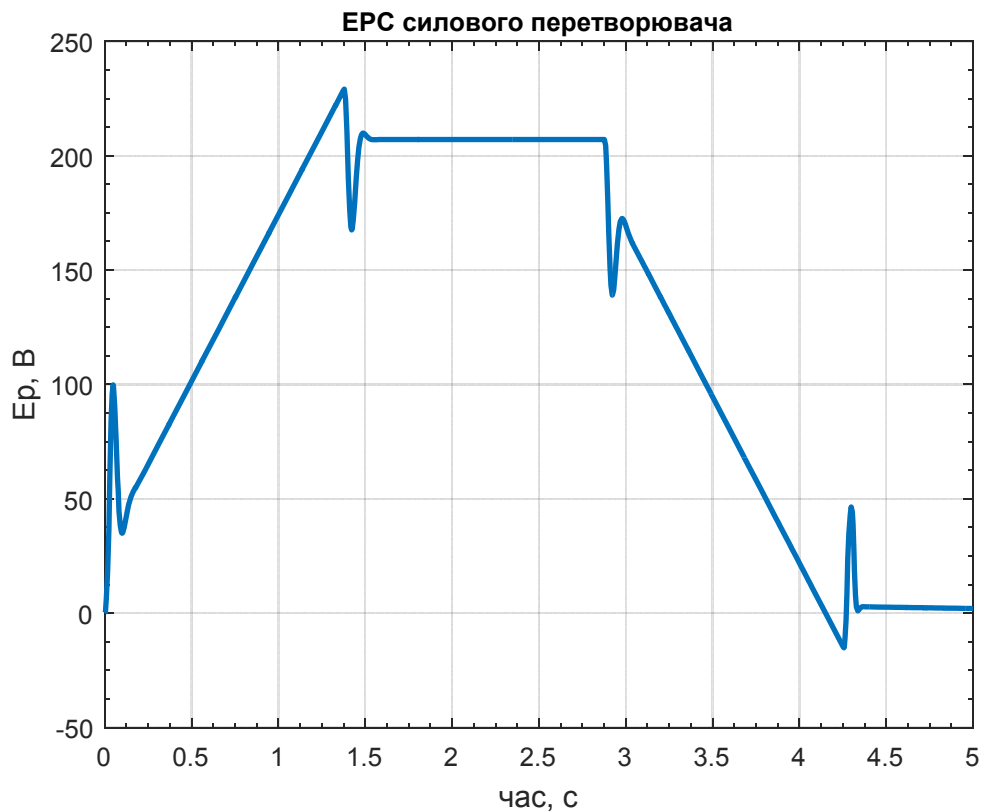


Рисунок 5.8 - Графік переходного процесу ЕРС тиристорного перетворювача ($I_c = 0,3I_H$)

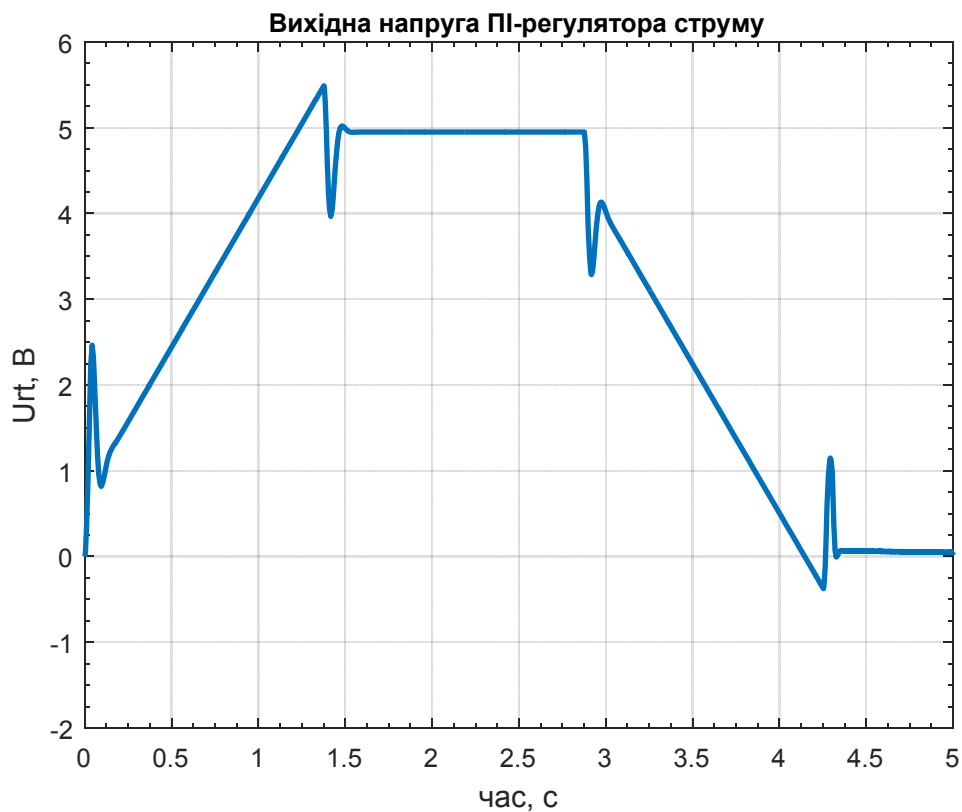


Рисунок 5.9 - Графік переходного процесу напруги ПІ-регулятора струму ($I_c = 0,3I_H$)

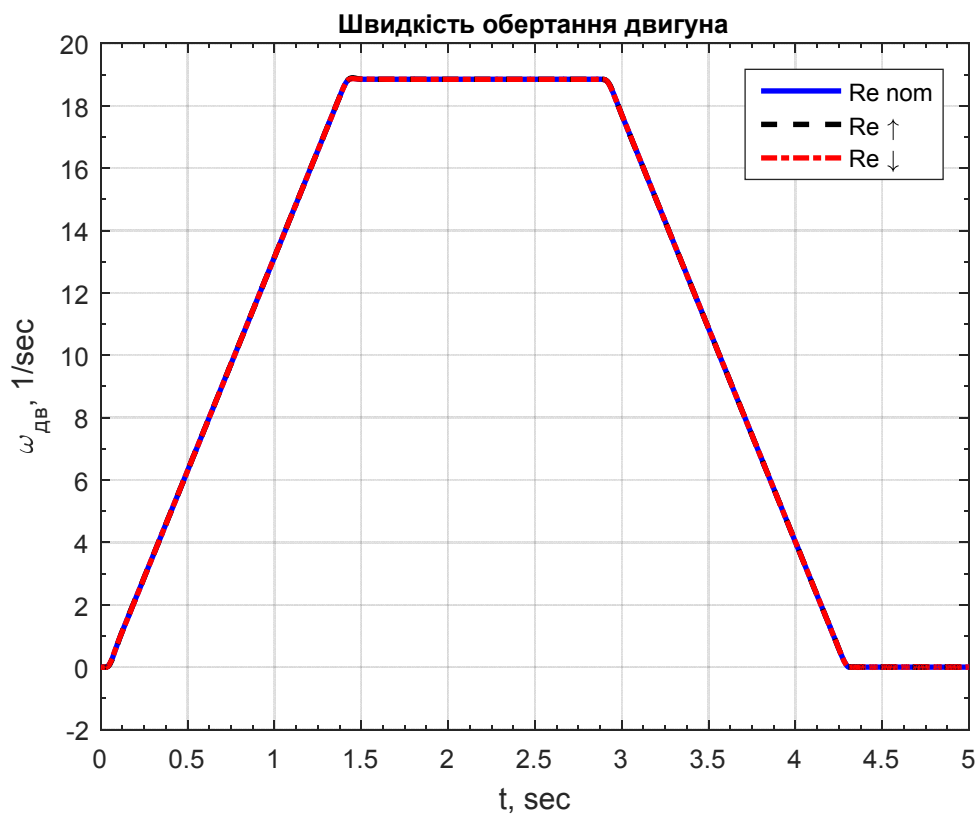


Рисунок 5.10 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні R_e у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

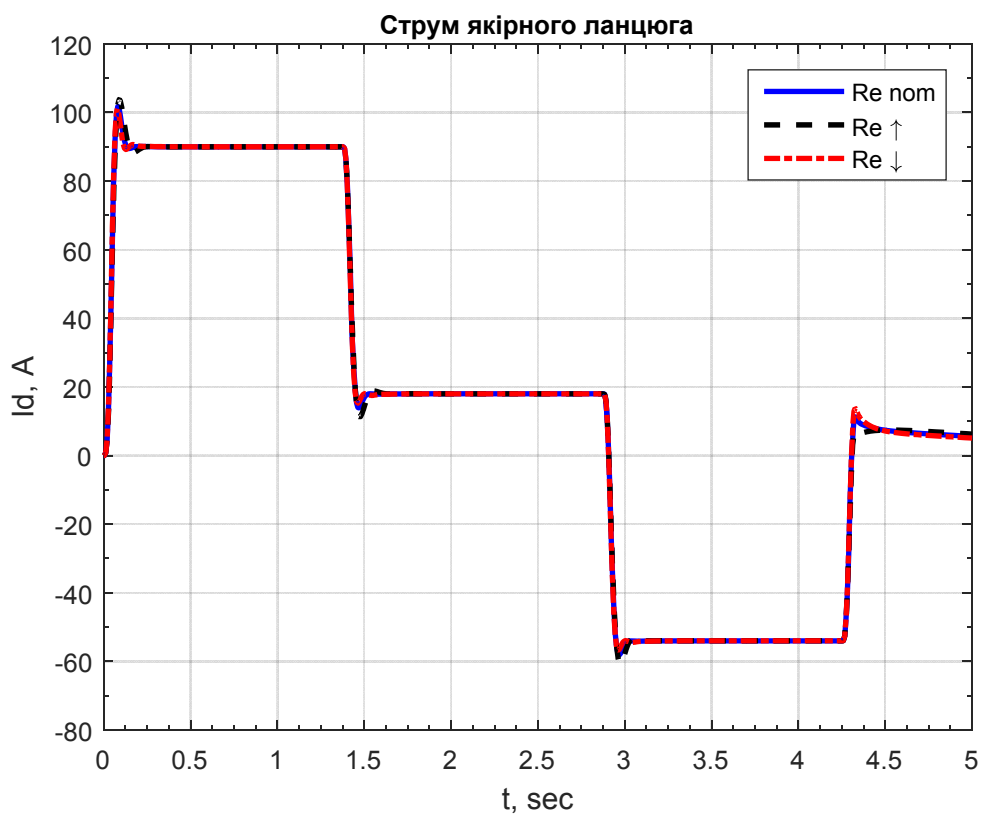


Рисунок 5.11 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні R_e у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

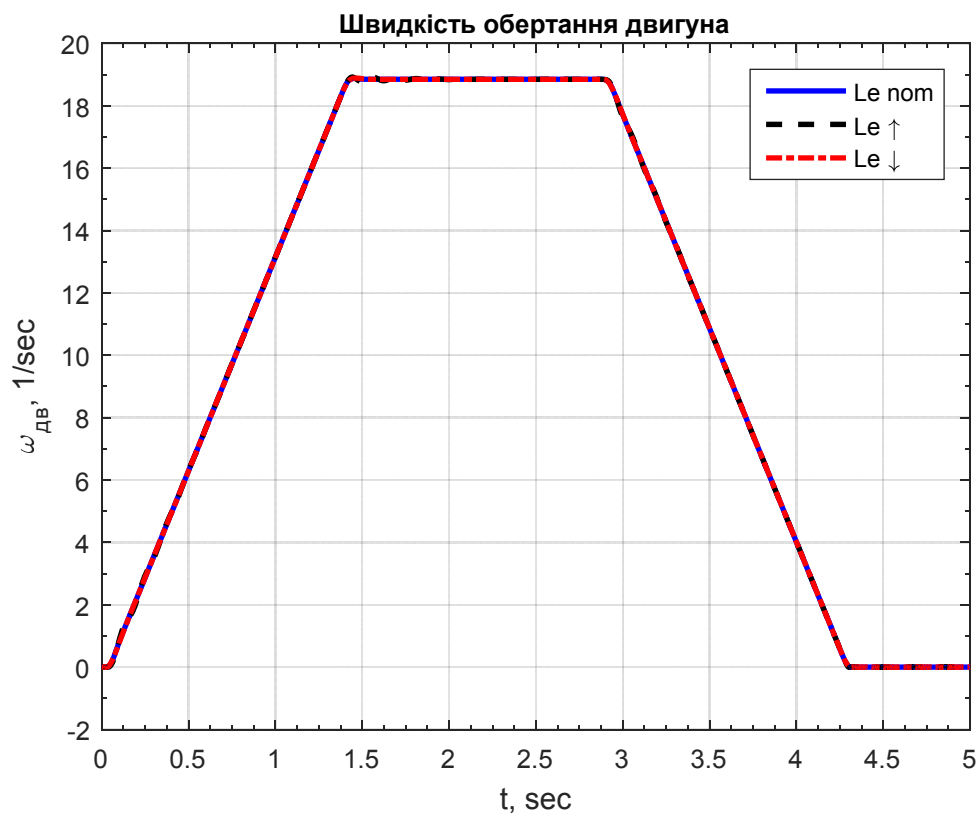


Рисунок 5.12 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні L_e у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

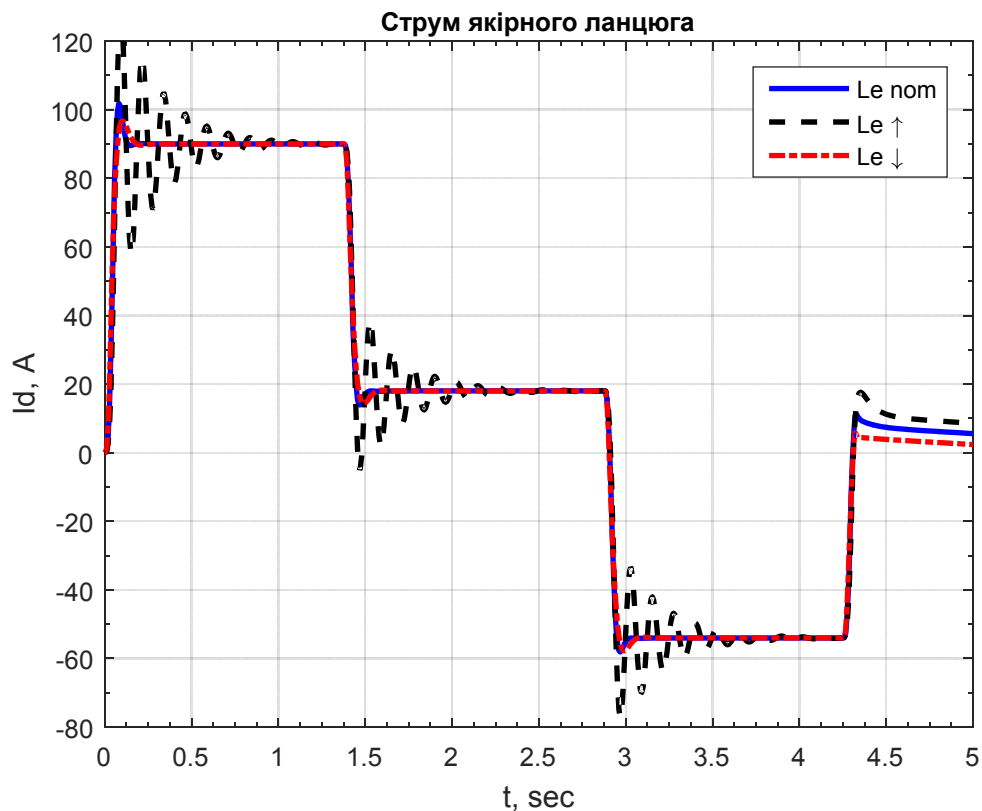


Рисунок 5.13 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні L_e у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

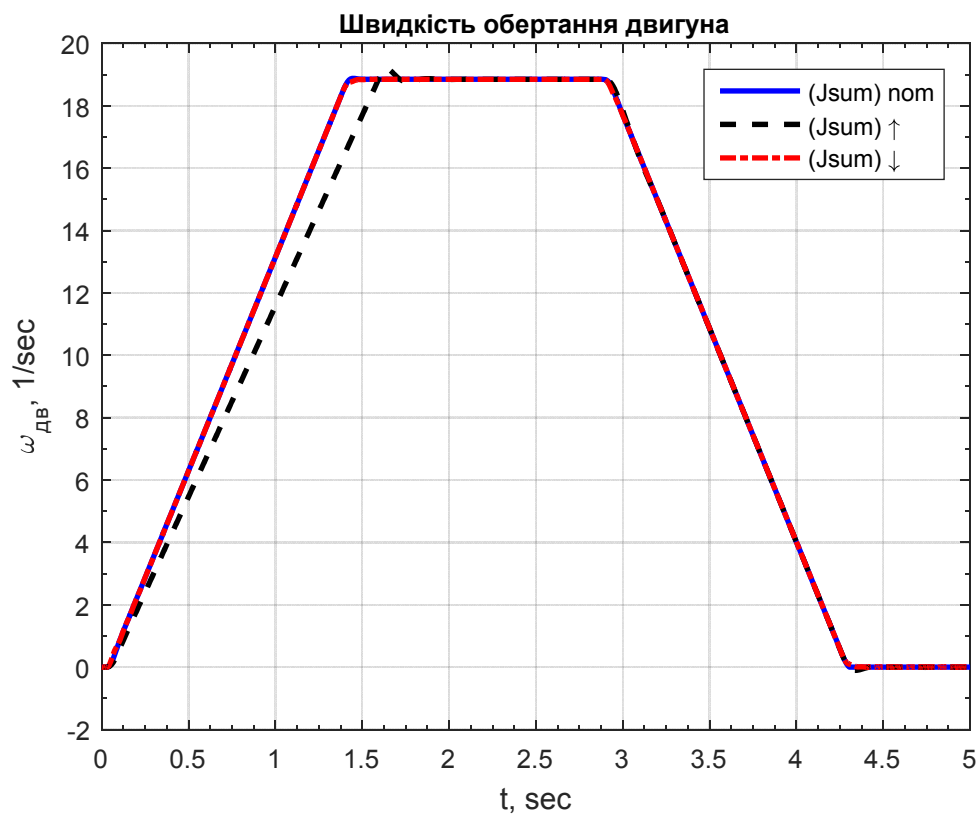


Рисунок 5.14 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні J_{Σ} у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

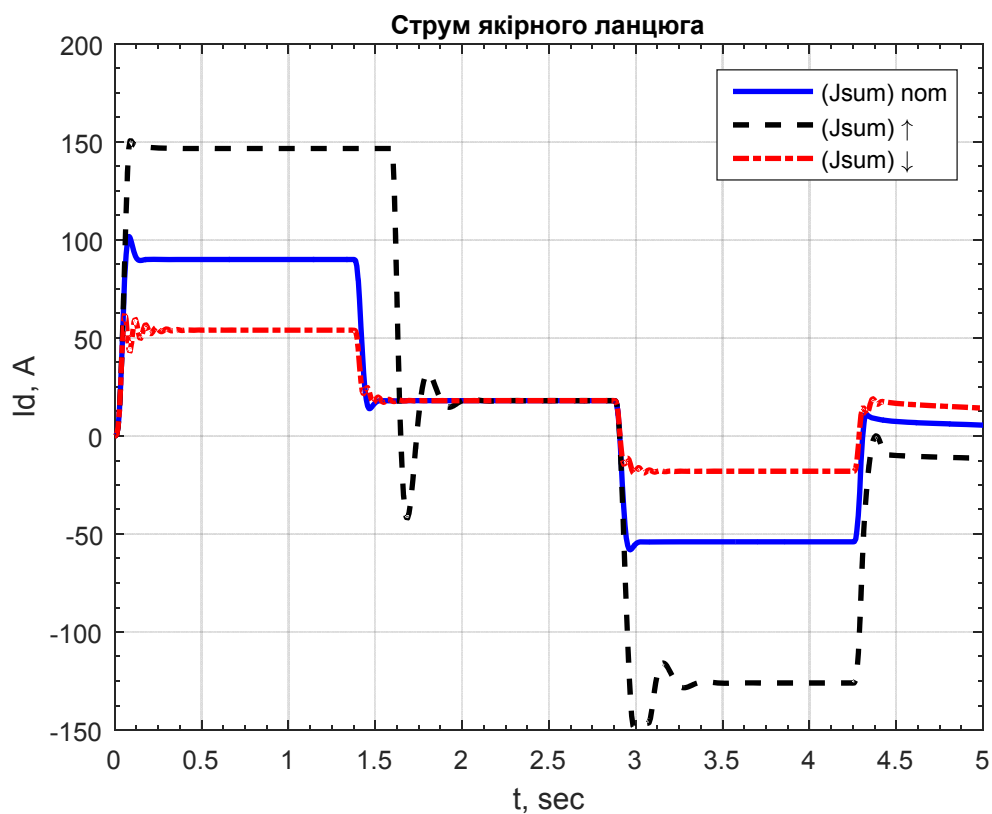


Рисунок 5.15 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні J_{Σ} у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

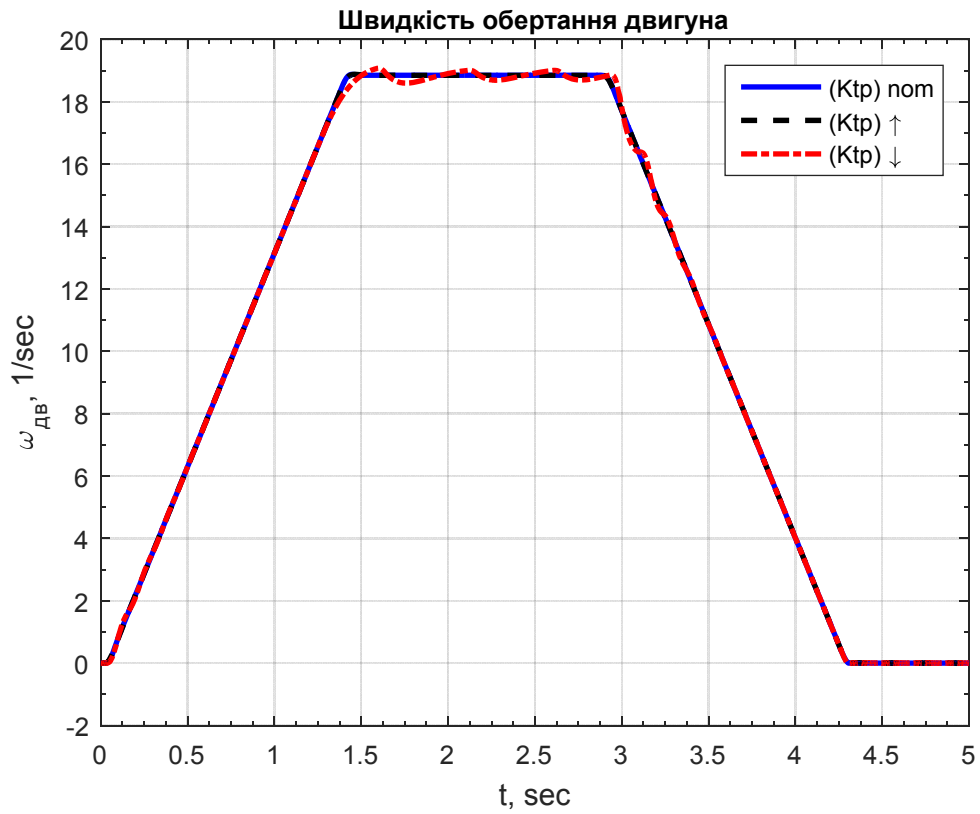


Рисунок 5.16 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні $k_{\text{тп}}$ у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

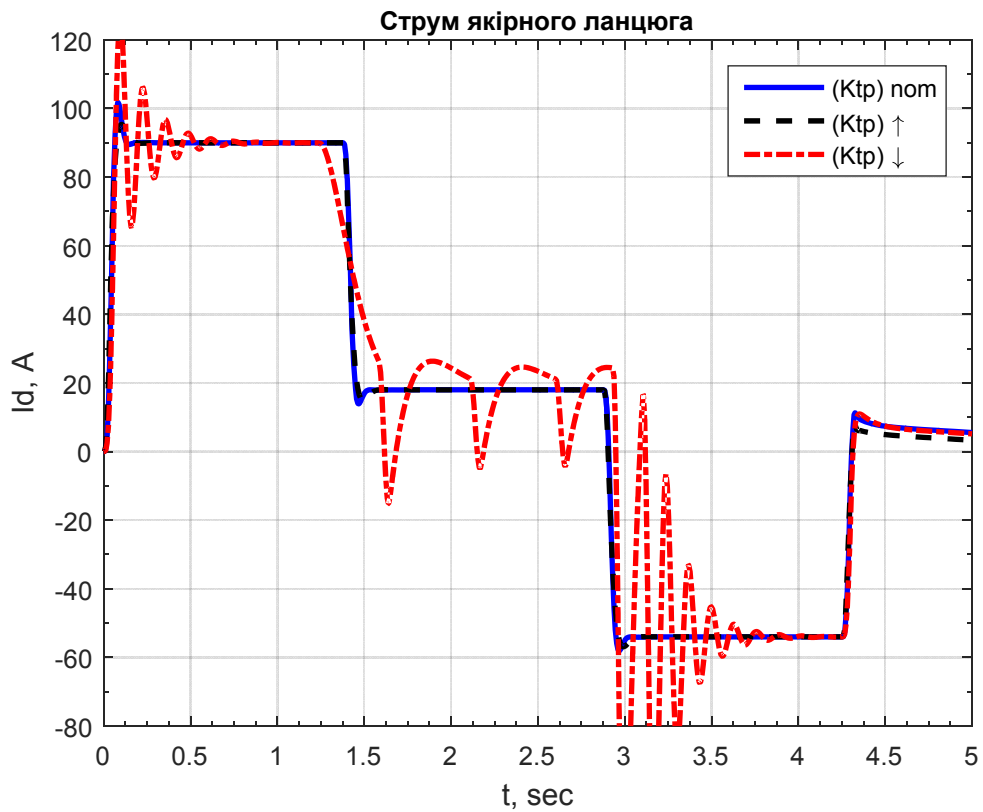


Рисунок 5.17 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні $k_{\text{тп}}$ у 2 рази ($I_c = 0,3I_H$)

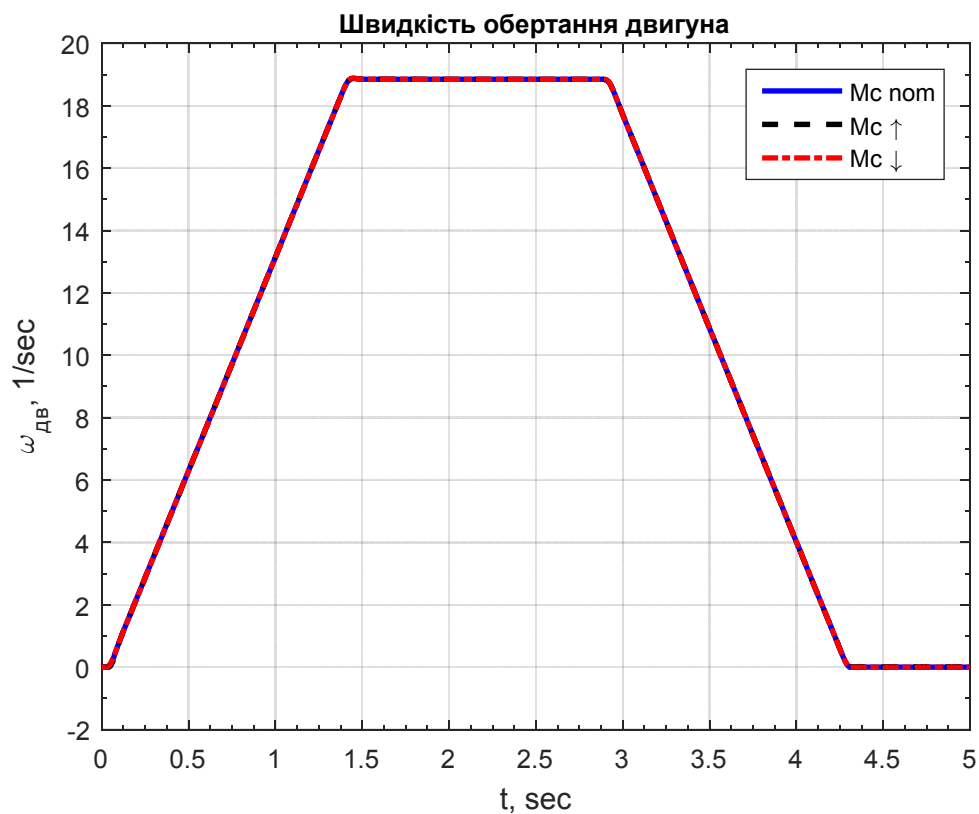


Рисунок 5.18 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні I_c у 2 рази

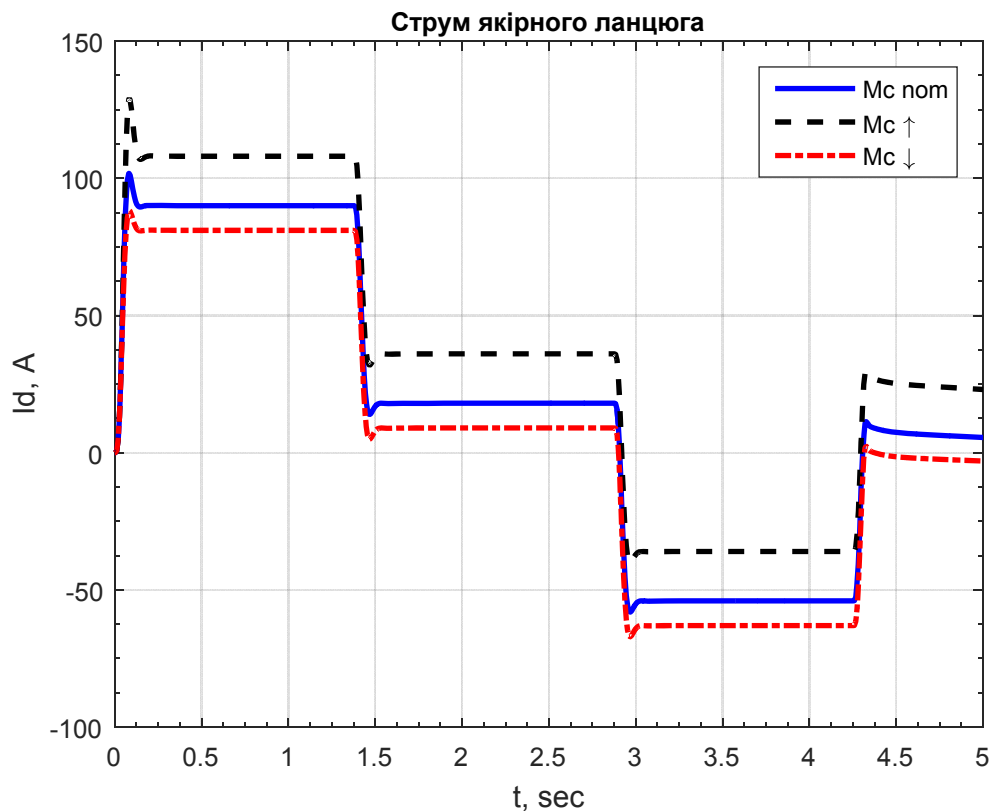


Рисунок 5.19 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні I_c у 2 рази

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз умов праці, небезпечних і шкідливих факторів у прокатному цеху

Сучасні прокатні цехи є складними виробничими комплексами, оснащеними різноманітним механічним, електричним і підйомно-транспортним устаткуванням, обслуговування якого вимагає чіткого дотримання правил безпеки та норм виробничої санітарії.

Прокатне виробництво відрізняється від інших металургійних виробництв високою швидкістю технологічних операцій, інтенсивністю вантажопотоків і різноманітністю метеорологічних умов на різних ділянках.

Небезпечними виробничими факторами в електроприміщенні є:

- висока напруга (до 1000 В);
- підвищений рівень шуму;
- вібрація;
- підвищена температура повітря;
- запиленість.

Безперервність технологічного процесу вимагає одночасного виконання різних за характером операцій, таких як нагрівання, прокатка, транспортування і складування металу. Виконання цих операцій суворо регламентовано за часом як графіка виконання виробничого плану, так і умовами безпеки. Так, недостатній нагрів заготовки перед прокаткою може привести до поломки валків і аварії на стані.

До аналогічних наслідків може призвести і передчасна подача заготовки до стану, її охолодження на приймальному рольгангу. До травмування обслуговуючого персоналу може призвести збільшення швидкості прокатки на одній кліті, так як це призведе до обриву розката або виникненню петлі.

Висока інтенсивність виробництва обумовлює і високу інтенсивність праці персоналу прокатних цехів. Протягом робочої зміни оператори прокатних станів, ріжучих пристроїв, а також машиністи кранів проводять по кілька тисяч

одноманітних рухів, отримуючи при цьому інформацію про роботу кількох виробничих операцій. Це призводить до великого розумового стомлення, що зв'язане з помилками в управлінні механізмами і виникнення небезпечних ситуацій.

Окремі ділянки прокатного цеху різко відрізняються один від одного по метеорологічним умовам. На ділянках нагріву, прокатки та транспортування гарячого металу теплові випромінювання набагато перевищують санітарні норми, має місце знижена вологість повітря, в той час як на інших ділянках температурні умови відповідають зовнішнім.

Для прокатних цехів характерна також велика протяжність і розкиданість механізмів, що обслуговуються, які мають дистанційне керування і розташованих на висоті і в підвальних приміщеннях, що знижує видимість і чутність світлової та звукової сигналізації, ускладнює прийом попереджувальних сигналів.

Електричні установки, до яких відноситься практично все встаткування, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися струмоведучих частин, що перебувають під напругою.

Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Винятково велике значення для запобігання електротравматизму має строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, установлених діючими “Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ) і Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів” (ПБЕЕС) і “Правила пристрою електроустановок” (ППЕ). Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують електробезпечність при експлуатації й ремонті електроустаткування.

6.2 Електробезпечність

6.2.1 Підготовка електротехнічного персоналу

До призначення на самостійну роботу або при переході на іншу посаду (роботу) працівник повинен ознайомитися з устаткуванням, апаратурою й

вивчити в необхідному обсязі:

- ПТЕ, ПБЕЕП і ПУЕ;
- виробничі (посадової й експлуатаційні) інструкції;
- інструкції з охорони праці;
- нормативні й експлуатаційні документи, що діють на даному підприємстві.

Додаткове навчання проводиться також безпосередньо на робочому місці, де організується перевірка знань із урахуванням займаної посади. Результати перевірки знань реєструються в журналах установленної форми. Працівникові, у випадку успішної здачі іспиту на групу по електробезпеці, присвоюється кваліфікаційна група й видається посвідчення на право обслуговування електроустановок, у якому зазначена категорія по електробезпеці, характеристика робіт (ремонтні, оперативні, оперативно-ремонтні). У цеху також повинні проводитися періодичні й позачергові інструктажі, протиаварійні й протипожежні тренування.

6.2.2 Засоби попередження електротравматизму

У прокатному виробництві застосовується величезна кількість різноманітного електрообладнання, яке має небезпечний вплив на працюючих (електричні поля промислової частоти і електромагнітні поля високої частоти). Джерелом електричних полів промислової частоти є струмоведучі частини діючих електроустановок (лінії електропередач, індуктори, конденсатори термічних установок, фідерні лінії, генератори, трансформатори, електромагніти, соленоїди, імпульсні установки, литі і металокерамічні магніти та ін.) Тривала дія електричного поля на організм людини може викликати порушення функціонального стану нервової та серцево-судинної систем.

Небезпечною для людини є сила струму 0,1 А. При напрузі до 1000В відстань до струмоведучих частин від людей не повинна бути менше 0.6 м. Всі апарати і прилади слід розташовувати таким чином, щоб було забезпечено безпечне обслуговування і щоб іскри, які виникають в апаратах, або електричні дуги не могли заподіяти шкоди обслуговуючому персоналу, викликати коротке

замикання або замикання на землю. Необхідно повністю виключити можливість випадкового дотику обслуговуючого персоналу до нагрівальних елементів, що знаходяться під напругою вище 1936 В. З цією метою застосовують блокування, що відключають установки від мережі при відкриванні їхніх вікон.

При ремонті електрообладнання слід дотримуватися запобіжних заходів: працювати на спеціальному килимку в гумових рукавичках і в гумовому взутті.

З метою попередження електротравматизму забороняється:

- працювати на несправних електричних приладах і установках: при виявленні несправності слід припинити роботу і негайно повідомити черговому електротехнічному персоналу;

- залишати без нагляду включені прилади та обладнання; переносити включені електроприлади;

- на включеному електроустаткуванні усувати будь - які неполадки;

- працювати поблизу відкритих струмоведучих частин електроустановок і торкатися до них;

- захаращувати проходи до електричних пристроїв.

Для захисту обслуговуючого персоналу від поразки електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, передбачено занулення корпусів електроустаткування і приладів. Занулення електрообладнання виконується з'єднанням клеми заземлення з нейтраллю мережі електропостачання, для чого використовуються робочі нульові жили кабелів, живлять, або спеціально прокладені для цієї мети провідники.

6.2.3 Правила техніки безпеки при технічному обслуговуванні і ремонті електроустаткування

Згідно з правилами ТБ роботи в діючих електроустановках проводяться за нарядом допуску, форма наряду та вказівки щодо його оформлення приведені в цих же правилах.

Забороняється самовільне виконання робіт, а також розширення робочих місць та обсягів завдань, визначених нарядом або розпорядженням на виконання

будь-яких робіт в електроустановках. У зоні дії іншого наряду, робота повинна узгоджуватися з особою, що видає наряд або працюючим за цим нарядом.

В електроустановках до 1000В підстанцій і на кабельних лініях при роботі під напругою необхідно: захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмовідні частини, що знаходяться під напругою, до яких може статися випадковий дотик. Працювати необхідно з застосуванням електрозахисних засобів та інструменту з ізольованими рукоятками.

Забороняється працювати в електроустановках в одязі з короткими рукавами, в зігнутому положенні, торкатися без застосування електрозахисних засобів до ізоляторів, устаткування, що знаходиться під напругою.

Обслуговуючому персоналу слід пам'ятати, що після зникнення напруги в електроустановки, воно може бути подано без попередження.

У темний час доби ділянки робіт, під'їзди та підходи повинні бути освітлені. Освітленість повинна бути рівномірною. Забороняється проведення робіт в неосвітлених місцях.

Огляд електрообладнання в електроустановках до 1000В може виконувати один робітник із групою допуску III При нещасних випадках, для звільнення потерпілого від дії електричного струму, напруга повинна бути знята негайно без попереднього дозволу.

6.3 Категорії приміщень і будівель по вибухонебезпечних та пожежною безпекою

Вимоги щодо конструктивних і планувальних рішень промислових об'єктів, а також інших питань забезпечення їх пожежо- та вибухобезпеки істотно залежать від категорії приміщень за вибухопожежній та пожежній небезпеці. Визначення категорії приміщення проводиться з урахуванням показників пожежовибухонебезпеки речовин і матеріалів, які там знаходяться (використовуються) та їх кількості. Відповідно до ОНТП 24-86 приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки поділяються на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д

Визначення категорій приміщень з вибухопожежної та пожежної небезпеки

проводиться за методикою, наведеною в загальносоюзних нормах технологічного проектування (ОНТП 24-86).

Категорія вибуховопожежної та пожежної небезпеки, а також клас зони відповідно до Правил улаштування електроустановок, в тому числі для зовнішніх виробничих і складських дільниць, повинні бути позначення на вхідних дверях до приміщення, а також на межах зон всередині приміщення і зовні.

Основним профілактичним заходом щодо попередження пожеж та вибухів від електрообладнання є правильний вибір і експлуатація такого обладнання у вибухових і пожежонебезпечних приміщеннях. Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення поділяються на вибухонебезпечні (В-I, В-Ia, По-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa) і пожежонебезпечні (П-I, П-II, П-IIa, П-III) зони.

Вибухонебезпечна зона – це простір, в якому є або можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші.

Пожежонебезпечна зона - це простір, де можуть знаходитися горючі речовини як при нормальному технологічному процесі, так і при можливих його порушеннях.

Клас В-Iб - такі ж зони, як і зони класу В-Ia, але мають одну з таких особливостей:

- горючі гази мають високий нижній концентраційний межа поширення полум'я (15% і більше) і різкий запах;
- за умовами технологічного процесу виключається об'єктів вибухонебезпечної суміші в обсязі не перевищує 5% загального об'єму приміщення (зони);
- горючі гази і рідини є в невеликих кількостях, а робота з ними проводиться без застосування відкритого полум'я.

Клас В-Iг - зони з зовнішніми пристроями, що містять горючі гази або ЛЗР.

Клас В-II - зони приміщень, в яких можливе утворення вибухонебезпечних концентрацій пилу або волокон з повітрям або іншим окислювачем при нормальних режимах роботи.

Клас В-IIa - зони, аналогічні зонам класу В-II, в яких вибухонебезпечні

концентрації пилу і волокон можуть утворюватися тільки в результаті аварій або несправностей.

Клас П-I - зони приміщень, в яких застосовуються або зберігаються горючі рідини з температурою спалаху вище 61°C .

Клас П-II - зони приміщень, в яких виділяються горючі пил або волокна з нижнім концентраційним межею рас-рення полум'я більше 65 г / м^3 до об'єму повітря.

Клас П-IIIa - зони приміщень, в яких містяться тверді або волокнисті горючі речовини нездатні переходити у завислий стан.

Клас П-III - зони розташовані поза приміщеннями, в яких застосовуються або зберігаються горючі рідини, а також тверді горючі речовини.

Клас зони визначають технологи спільно з енергетиками проектної або експлуатаційної організації, виходячи з характеристики навколишнього середовища.

Залежно від класу вибухонебезпечних і пожежонебезпечних зон призводиться вибір електрообладнання, що встановлюється в цих зонах.

Відповідно до ПУЕ, в пожежонебезпечних зонах встановлюється електрообладнання закритого типу, внутрішній простір якого відокремлено від зовнішнього середовища оболонкою. Апаратуру управління і захисту, світильники рекомендується застосовувати в пилонепроникному виконанні. Вся електропроводка повинна мати надійну ізоляцію.

6.3.1 Вогнестійкість будівель і споруд

Умови розвитку пожежі в будівлях і спорудах багато в чому визначаються здатністю окремих будівельних елементів чинити опір впливу вогню, т. Е. Їх вогнестійкістю.

Вогнестійкість - здатність будівельних елементів і конструкцій зберігати несучу здатність, а також чинити опір нагріванню до критичних температур, утворення наскрізних отворів і рас-пространенію вогню. За вогнестійкістю всі будівлі і споруди поділяються на вісім ступенів (п'ять основних і три додаткових), які характеризуються межами вогнестійкості основних будівельних конструкцій і межами поширення вогню по цих конструкціях.

Межа вогнестійкості - це інтервал часу (в годинах) від початку вогневого стандартного випробування зразків до виникнення одного з граничних станів елементів і конструкцій (втрата несучої і теплоізолюючої здатності, щільності).

Межа поширення вогню - максимальний розмір пошкоджень (в см), яким вважається обвуглювання або вигорання матеріалу, обумовлене візуально, а також оплавлення термопластичних матеріалів.

Для захисту горючих матеріалів від займання застосовують кілька способів захисту - термоізоляція, просочення, вогнезахисне покриття.

Термоізоляція досягається при оштукатурюванні дерев'яних конструкцій, обшивці листової сталлю по азбесту або повсті з глиною.

Вогнезахисна просочування створюється водними розчинами солей антипиренов (наприклад, рідкого скла, фтористого натрію, хлористого кальцію).

Вогнезахисне покриття - це забарвлення деревини спеціальними фарбами.

6.3.2 Засоби припинення горіння та основні вогнегасні речовини

Припинення процесу горіння може бути досягнуто наступними способами:

- припиненням доступу в зону горіння окислювача (повітря) або горючої речовини;
- охолодженням зони горіння або палаючих речовин;
- розведенням повітря або горючих речовин негорючими;
- інтенсивним гальмуванням (інгібуванням) швидкості реакції горіння;
- механічним зривом (відривом) полум'я сильним струменем газу або води;
- придушенням горіння за допомогою вибух.

Основними вогнегасними речовинами є: вода (в різних видах), піна, інертні і негорючі гази, Галоїдоуглеводородні склади, порошки, пісок.

Вода - найпоширеніше, дешеве і доступне вогнегасна речовина. Потрапляючи в зону горіння, вона інтенсивно охолоджує горючу речовину, збиває своєю масою полум'я, змочує поверхню горючої речовини і, утворюючи водяну плівку, перешкоджає доступу до нього кисню з повітря. Пара, що утворилася розбавляє повітря, знижуючи тим самим кількість міститься в ньому кисню (1 л води при випаровуванні утворює 1725 л пара). Для підвищення ефекту

змочування іноді в воду додають спеціальні добавки.

Вогнегасна дія галоїдоуглеводородні складів заснована на хімічному гальмуванні реакції горіння, тому їх називають інгібіторами або антикаталізатором. Вони більш ефективні при гасінні пожежі ніж вуглекислий газ.

Вогнегасні порошки являють собою подрібнені мінеральні солі з різними добавками, що перешкоджають їх злежування і злежуванню. Вони характеризуються найвищою вогнегасною здатністю і універсальністю застосування. Порошок можна використовувати для різноманітних способів пожежогасіння, в тому числі для пригнічення і придушення вибухом. Розрізняють порошки загального та спеціального призначення. Основним компонентом складу ПСБ є бікарбонат натрію; ПФ - діамонійфосфат; ПС вуглекислий натрій; СН - силікагель, насичений хладоном.

Вибір вогнегасної речовини залежить від класу пожежі.

ВИСНОВОК

У ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення і особливості роботи електроприводу робочого рольгангу чорнової кліті «Дуо» товстолистого стану 2250. Була розрахована потужність двигуна, динамічні і статичні моменти навантаження. В результаті розрахунку було обрано/перевірено двигун типу ДС808. В ході розрахунку були знайдені необхідні значення динамічного моменту розгону і гальмування електроприводу, що забезпечують необхідну динаміку механізму.

Для живлення якоря і обмотки збудження двигуна обраний цифровий комплектний електропривод концерну Siemens типу SINAMICS DC MASTER шафового виконання, призначений для керування електродвигунами постійного струму. Для узгодження перетворювача з мережею живлення обраний силовий трансформатор ТСЗП-400/ 10У3.

У проекті розраховані параметри системи підпорядкованого керування. На основі структурної схеми електропривода була розроблена математична модель. Проведено моделювання роботи ЕП в середовищі Matlab/Simulink, з номінальними параметрами, а також при варіації опору якірного ланцюга, еквівалентній індуктивності і сумарного моменту інерції, тим самим отримана оцінка якості перехідних процесів при зміні її динамічних процесів. Отримані перехідні процеси свідчать про правильність налаштування системи. Досліджуваний електропривод з синтезованою системою керування повністю задовольняє технологічним вимогам.

Спроектована система забезпечує резервування, тобто в аварійних режимах, або при проведенні ремонтів може працювати від резервної перетворювальної техніки. Розроблені узагальнена функціональна та структурна схеми ЕП. Впроваджувана система побудована на найсучаснішому обладнанні з урахуванням нових досягнень техніки й промисловості.

У розділі «Охорона праці» розглянуто аналіз умов праці, небезпечних і шкідливих факторів у прокатному цеху, заходи з техніки безпеки праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму/ В. Т. Пілецький. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
2. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.: ил.
3. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Загальний курс електроприводу. - М., Енергоіздат, 1981. – 576 с.
4. Зеленов А. Б. Вибір потужності електроприводу механізмів прокатних станів. - Київ: УМК ВО, 1990. – 220 с.
5. Соколов Н. Г. Основи конструювання електроприводів. - М., «Енергія», 1971. – 256 с.
6. Довідник по електричним машинам. Том 2, під редакцією І. П. Копилова, - М., Енергаторміздад, 1989, — 688 с.
7. Комплектные тиристорные электроприводы. Справочник. Под ред. В.М.Перельмутера (1988)
8. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 376 с.
9. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
10. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов: Учебное пособие / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
11. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.С. Коцюбинский. – Алчесвк: ДонГТУ, 2007. – 205 с.
12. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 384 с.

13. Полилов Е.В. Уточненный метод предельно допустимого времени работы механизма, предназначенный для расчета мощности двигателей позиционных электроприводов / Е.В. Полилов, А.Б. Зеленов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук: КДПУ. - 2005.

14. Полилов Е.В. Алгоритм расчета мощности двигателей позиционных электроприводов. Верификация уточненного метода предельно-допустимого времени работы механизма // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук: КДПУ. - 2008.

15. Гарнов В.К. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии / В.К. Гарнов, В.Б. Рабинович, Л.М. Вишневецкий ; Под ред. Д.С. Ямпольского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М: Металлургия, 1977. – 191 с.

16. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода: Учебник для вузов. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.

17. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводами / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко. – Минск: Высшая шк., 1986. – 143 с.

18. Решмин Б.И. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования / Б.И. Решмин, Д.С. Ямпольский. М.: Энергия, 1975. – 184 с.

19. Инструкция по эксплуатации SIMOREG DC MASTER серия 6RA70. Микропроцессорные преобразователи на мощность 6 кВт - 1900 кВт для проводов постоянного тока с регулируемой скоростью.

20. Башарин А.В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода / А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.

21. Пілецький В.Т. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.

22. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов / Р.Т. Шрейнер. Екатеринбург: Изд-во: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. – 279 с.

23. Зимин Е.Н. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин., В.Л. Кацевич, С.К. Козырев. – М: Энергоиздат, 1981. – 192 с.
24. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниково-вых систем в MatLab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.
25. Половко А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.
26. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowersystem и Simulink. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
27. Чорний О.П. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовой. – Кременчук, 2001. – 410 с.
28. Шевченко І.С. Динаміка складних електромеханічних систем: Навч. посібн. – І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – 171 с.
29. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
30. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1982. – 800 с.