

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Відомості про механізм і вимоги до електроприводу робочого рольгангу	7
1.1 Сортамент товстолистого стану 3000	7
1.2 Технологічні вимоги до початкової заготовки	7
1.3 Прокатка листів в чорновій/чистовій клітях	9
1.4 Обробка прокочуваних листів	14
1.5 Режим прокатки листів в чорновій/чистовій клітях	14
1.6 Опис конструкції і роботи механізму робочого рольганга перед чистовою кліттю	16
2 Розрахунок потужності та вибір електродвигунів робочого рольганга перед чистовою кліттю	20
2.1 Розрахунок статичних моментів	21
2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень	26
2.3 Час управління електроприводом	30
2.4 Перевірка потужності вибраного електродвигуна за нагрівом	36
3 Вибір силової та перетворювальної техніки робочого рольгангу	38
3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом	38
3.2 Вибір комплектного електропривода.....	42
3.3 Вибір силового трансформатора й згладжуючого дроселя	46
3.4 Опис принципової схеми робочого рольгангу.....	47
3.5 Вимоги до системи автоматизації	49
4 Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом робочого рольгангу	51
4.1 Математичний опис об'єкта керування.....	51
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електропривода.....	52
4.3 Синтез регулятора струму	56

	5
4.4 Синтез регулятора швидкості	60
4.5 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості.....	64
5 Моделювання електропривода робочого рольгангу у середовищі MATLAB/SIMULINK	68
6 Охорона праці	79
6.1 Умови експлуатації електроустановки.....	79
6.2 Заходи з охорони праці	80
6.3 Розрахунок захисного заземлення	84
Висновок.....	87
Перелік посилань.....	88
Додаток А.....	90

ВСТУП

Рольганги призначені для транспортування металу до прокатного стану, для подачі металу у валки і приймання його з валків, для пересування металу до ножиць, пил та інших. Загальна довжина рольгангів досить значна, а вага їх досягає 20-30% від загальної маси механічного обладнання прокатного стану. За призначенням рольганги діляться на робочі та транспортні.

Робочі рольганги розташовані безпосередньо у робочій клітці стану і служать для подачі металу у валки і приймання його з валків. Перші ролики, розташовані праворуч і ліворуч від валків стану (по одному або по два з кожного боку), називають станинними.

Транспортні рольганги призначені для зв'язку між собою окремих допоміжних машин і пристроїв стану.

Об'єкт розробки відноситься до робочих рольгангів.

У даний час одними з найбільш поширених є системи управління електроприводом, побудовані за принципом підпорядкованого регулювання. Порівняно з попередніми їм системами вони володіють великою швидкістю, виконані на базі уніфікованих елементів, що полегшує проектування і складання.

В умовах швидкого зростання питомої ваги регульованих електроприводів при суворій економії матеріальних і трудових ресурсів якість електроприводу оцінюються не тільки по ефекту, досягнутому в технологічній сфері, але і по тому, якою ціною вони були досягнуті у сфері виробництва і експлуатації обладнання. Тому існує тенденція до уніфікації пристроїв управління.

Об'єктом розробки в даному дипломному проекті є автоматизований електропривід робочих рольгангів перед чистовою кліткою «Кварто» товстолистового стану 3000. Вимоги до електроприводу та початкові дані для проектування наведені у відповідних розділах.

1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РОБОЧОГО РОЛЬГАНГУ

1.1 Сортамент товстолистового стану 3000

На товстолистовому стані 3000 прокочують листи з вуглецевої, конструкційної, низьколегованої і легваної сталі з тимчасовим опором розриву в холодному стані до 785 Нмм^2 з обрізаною кромкою наступних розмірів, мм:

- товщина листів – від 6 до 50;
- ширина листів – від 1219 до 2650;
- довжина листів – від 5000 до 12000.

(Довжина заготовки до 24000 мм).

Розміри листів, граничні відхилення по ним, площа і інші вимоги повинні відповідати вимогам нормативної документації – ДСТУ, технічним умовам, міжнародним стандартам, контрактам.

До складу стану 3000 входять: чотири нагрівальні печі, чорнова кліть «Дуо», чистова кліть «Кварто», дві листопрямильні машини, транспортні рольганги і шлепера, гільйотинні ножиці, дискові ножиці, кромко-крошительні ножиці і гільйотинні ножиці поперечного різання, термічне відділення, в складі якого чотири термічні печі, гартівний прес, спреєрна установка, правильне відділення.

Проектна потужність цеху – 1000 тисяч тонн в рік.

1.2 Технологічні вимоги до початкової заготовки

Вихідним матеріалом для прокату листів служать сляби, одержувані з обтискного цеху, МНЛЗ і сляби поставляються іншими заводами.

Розміри слябів, мм:

- товщина – від 140 до 320;
- ширина – від 1000 до 1400;
- довжина – від 1500 до 2500;
- маса до 7,5 т.

Раціональні розміри слябів визначають залежно від схеми прокатки на чорновій кліті (уздовж або поперек) і умов нагріву металу в печах. При поздовжній схемі прокатки поздовжня вісі литого і катаного сляба збігається з поздовжньою віссю гуркоту. Для отримання оптимальної форми розкатів служить система керування формою розкатів в плані на чорновій кліті.

Хімічний склад сталі, і граничні відхилення по масовій частці елементів повинні відповідати вимогам діючих стандартів, технічних умов і нарядів-замовлень.

Допуски за розмірами слябів, призначених для прокатки листів повинні бути:

- для катаних слябів:

по товщині 0; 3 мм;

по ширині 0; 10 мм;

по довжині 0; 30 мм.

- для литих слябів:

по товщині 0; 3 мм;

по ширині ± 10 мм;

по довжині -20; +30 мм.

Форма, розміри, граничне відхилення та інші технічні вимоги для слябів повинні відповідати наступним вимогам:

- ромбічність (різниця діагоналей поперечного перерізу) не більше 15 мм;

- серповидність не більше 10 мм на 1 м довжини;

- неплосинність не більше 20 мм на 1 м довжини;

- косина різку (різниця діагоналей великих граней) не повинна перевищувати для катаних слябів – 30 мм, для литих – 10 мм. Допускається не більше 15% катаних слябів однієї плавки з косиною 40 мм.

- розширення слябів на відстані 150 мм від торця при різанні на ножицях – не більше 10% від товщини;

- опуклість (увігнутість) бічних граней слябів – не більше 10 мм на сторону.

Ширина плоскої ділянки на бічних гранях слябів повинна бути не менше 40 % від товщини сляба. Висота задирок при різанні на ножицях – не більше 10 мм.

Загальна серповидність і відхилення від площини не повинні перевищувати добуток допустимої на 1 м серповидності або відхилення від площини на довжину сляба в метрах.

З поверхні слябів вогневої зачисткою видаляються всі дефекти, глибиною не більше 1 мм. На головних качаних слябах з боку протилежному клейму на відстані 300–350 мм від торця на бічній грані роблять часткове (на глибину до 10 мм) видалення глибоких дефектів: плена, розкатане забруднення. Ділянки, що зачищаються, після обробки очищаються від шлаків. Гранична глибина зачистки на широких гранях на слябах товщиною до 140 мм включно – 30 мм, понад 140 мм – 50 мм. При збігу дефектів на протилежних гранях сумарна глибина зачистки цих дефектів не повинна перевищувати відповідно 30 мм і 50 мм. Ділянка з дефектами глибиною понад зазначеної, відрізається, а при неможливості видалення такого дефекту – сляб переводять в брак.

Гранична глибина зачистки на бічних гранях: сляби товщиною до 140 мм включно не зачищаються, понад 140 мм зачищаються на 50 мм. Зачистку дефектів на бічних гранях виробляти по всій їх довжині. При глибині дефектів більш 50 мм робиться один надріз глибиною до 30 мм.

Величина розвалу в місці зачистки дефектів на поверхні слябів повинна бути не менше 1:6 (відношення глибини зачистки дефекту до ширини канавки при зачистці).

Кінці слябів, що відповідні головній і донній частинам злитка, не повинні мати слідів розшарування.

Мінімальна довжина сляба повинна бути не менше 1500 мм. Сляби, прийняті від блюмінга після обробки, повинні бути покладені в штабелі клеймом в одну сторону, рівними рядами. Висота штабеля не повинна перевищувати трьох метрів.

1.3 Прокатка листів в чорновій/чистовій клітках

1.3.1 Прокатка слябів на чорновій клітці

Інформація про сляби, які видаються з нагрівальних печей, передається по комп'ютерній мережі на монітор стану гарячої прокатки. Виданий з печі сляб

по підвідному рольгангу транспортується через камери гідрозбиву окалини до валків. Якщо сляб рухається не по осі рольганга, то він центрується лінійками маніпулятора. Цегла, прокладки та інші предмети, що знаходяться на поверхні сляба видаляються включенням гідрозбиву або вальцювальником.

Прокатка проводиться по поздовжній або поперечній схемам. Вибір схеми прокатки, якщо не вказано в фабрикації схеми прокатки і не передбачено стандартом або технічними умовами, проводиться системою автоматичного керування процесом прокатки. При заданих схемах прокатки з фабрикації оператор вручну вводить в комп'ютер необхідну схему.

Перші два – чотири пропуску виконуються уздовж по довжині сляба:

- при поздовжній схемі прокатки з протяжкою довжина одержуваного розкату не повинна перевищувати 280 мм;

- при поперечній схемі прокатки для отримання необхідної ширини розкату (з урахуванням припуску на обрізку бічних крайок) сумарна величина обтиснень визначається довжиною сляба і необхідної шириною розкату.

Вибір кількості пропусків по довжині сляба, проводиться автоматично програмним забезпеченням, для отримання оптимальної форми розкату. Інформація про схеми прокатки, температурно-деформаційним, швидкісним режимах прокатки на чорновій кліті, виводиться на монітор оператора стану гарячої прокатки.

Після протяжки в довжину розкат повертають (кантують) на 90° за допомогою робочого рольганга з конічними роликами з задньої або передньої сторони кліті і центрують маніпуляторами:

- розбивки ширини – при поздовжній прокатці;

- отримання заданої товщини розкату – при поперечній прокатці.

При поперечній прокатці, після кантування, одночасно з центруванням проводиться вимірювання отриманої довжини сляба – ширини майбутнього листа з припуском на бічну крайку. Якщо довжина (ширина) коротше на 20 мм і більше необхідної, оператор повинен розкантувати сляб назад і протягнути його додатково в довжину, задаючи необхідні обтиски шляхом коригування розмірів розкату в програмі прокатки. Розрахункові значення збільшення

довжини розкату при стисненні на 1 мм наведені в таблиці 1.1.

Якщо довжина (ширина) перевищує задану більш, ніж на 30 мм, то даний сляб необхідно катати по поздовжній схемі.

При поздовжній прокатці, після розбивки ширини, розкат повертають на 90° за допомогою конічних роликів, центрують маніпулятором і прокочують далі до отримання заданої товщини підкату для передачі на чистову кліть. Одночасно з центруванням проводиться вимірювання ширини підкату по циферблату лінійок.

Величина припуску на обрізку бічних крайок встановлюється в межах 80–120 мм. Рекомендуються наступні припуски на обрізку бічних крайок:

- для листів товщиною до 20 мм при довжині розкатів 24–30 м припуск 100–120 мм;
- для листів всіх товщин при довжині розкатів до 12 м припуск – 80-100 мм;
- для листів товщиною до 20 мм при довжині розкатів до 24 м припуск – 9-110 мм.

Припуски на крайку вказані при вимірюванні в чорновій кліті. Величина припуску на крайку в рекомендованих вище межах, встановлюється виробничим майстром і вальцювальником стану в кожному окремому випадку в залежності від форми отриманого розкату, роботи чистової кліті, одержуваної довжини розкату і результатів вирізки листів на ножицях.

Режими обтиснень і схеми прокатки розраховуються автоматично і не повинні перевищувати допустимі для кліті.

Товщина розкату, переданого на чистову кліть, в залежності від товщини листа, що прокочуються визначається автоматично для забезпечення рівномірного завантаження чорнової і чистової кліті і повинна бути не менше:

- | | |
|------------|-----------|
| - 6-8 мм | 20-30 мм; |
| - 9-10 мм | 30-40 мм; |
| - 11-15 мм | 40-50 мм; |
| - 16-20 мм | 50-60 мм; |
| - 21-50 мм | 65-90 мм. |

Таблиця 1.1 – Розрахункові значення збільшення довжини розкату при стисненні 1 мм за прохід

Товщина розкату, мм	Збільшення ширини (довжини) розкату при обтисненні 1 мм при ширині, мм											
	1550-1600	1650-1700	1750-1800	1850-1900	1950-2000	2050-2100	2150-2200	2250-2300	2350-2400	2450-2500	2550-2600	2650-2700
190-200	8	9	9	10	10	11	12	13	14	15	16	16
170-180	9	10	10	11	11	12	13	14	15	16	18	17
150-160	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	19
130-140	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	20
110-120	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24
100-105	15	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
90-95	17	20	21	22	23	24	25	26	28	30	30	32
80-85	20	22	23	25	26	27	28	30	32	34	38	36
70-75	24	25	27	28	30	32	33	35	36	38	39	40
60-65	28	30	31	32	36	38	40	41	42	44	46	46
50-55	32	35	37	39	42	44	46	48	50	52	52	54

Прокатку на чорновій кліті зазвичай закінчують непарним пропуском. Якщо передній кінець розкату загинається настільки, що важко його подати на валки чистової кліті, в цих випадках прокатку необхідно закінчувати парним пропуском.

Розкат прокочують і відправляють на чистову кліть строго по вісі рольганга.

Температура розкатів, що відправляються на чистову кліть повинна бути не менше 1050 °С для сталі з вмістом вуглецю 0,30% і більше, а також для

низьколегованих марок сталі, що прокочуються не по режимам контрольованої прокатки.

При прокатці на чорновій лінії з поверхні розкату повинна бути видалена повністю окалина. Видалення окалини проводиться за допомогою верхнього та нижнього гідрозбиву, встановлених перед і за кліттю. У разі неповного видалення окалини гідрозбивом використовують для цієї мети кухонну сіль. Тиск води в системі гідрозбиву окалини при прокатці повинен бути не менше 19,6 МПа (200 атмосфер). Включення гідрозбиву має бути коротким і своєчасним: під час включення сляб повинен переміщатися, щоб виключити місцеве охолодження розкату в місцях удару струменя.

1.3.2 Прокатка листів на чистовій кліті

Прокатка листів на чистовій кліті виробляється строго по середині бочок валків, для чого розкат центрується за допомогою маніпуляторів з обох боків кліті, у всіх пропусках. Центрування проводиться без затримок, щоб уникнути тривалого перебування розкату без руху на роликах і місцевого його охолодження.

Розкат задається суворо по вісі рольганга при швидкості валків не більше 50 об/хв (5,25 рад/с).

При загнутому вгору передньому кінці розкату швидкість захвату зменшується до мінімальної.

За станом переднього кінця розкату стежать оператор і вальцювальник чистової кліті.

При великій зігнутості догори розкат відправляється назад, на чорнову кліть, для пропрасування, про що негайно повідомляється оператору по селектору.

При неможливості повернення на чорнову кліть розкат приймається при максимальному розвороті валків і пропрасовується в зворотному напрямку.

Задана ширина замірюється лінійками маніпулятора, а перед кантуванням розраховується автоматично по довжині розкату.

Задана товщина розкату забезпечується гідронатискальним пристроєм кліті і автоматичним забезпеченням. Під час прокатки вальцювальник чистової

кліті повинен ретельно стежити за станом поверхні листів, не допускаючи укочування частинок металу, що відірвалися і сторонніх предметів.

Оператор стану зобов'язаний систематично контролювати ширину розкатів.

1.4 Обробка прокочуваних листів

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

Листи проходять через правильні машини РПМ-1 і РПМ-2. Все прокатані на стані розкати проходять гарячу правку в РПМ-1 і РПМ-2.

Далі відбувається охолодження листів.

Це проводиться поштучно під час їх переміщення по транспортним рольгангам і передавальним шлеперам. 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 кантуванні листи розташовують паралельно вісі кантувателя на відстані не більше 200 мм від виступів важелів.

Потім листи надходять на ділянку різання де відрізаються кромки листів і ріжуться на мірні довжини. Після порізки на дискових, кромкокришільних і гільйотинних ножицях листи надходять на стелажі видачі. На стелажих видачі проводиться огляд верхньої поверхні листів, зачистка дефектів, перевірка геометричних розмірів, клеймовки, маркування та приймання листів ВТК. Зняті зі стелажів листи укладаються на листообробки на складі листів в штабелі, а по надходженню вагонів в цех вантажаться і відправляються замовнику за призначенням.

1.5 Режим прокатки листів в чорновій/чистовій клітях

Приблизні режими обтисень у чорновій і чистовій клітях при прокатці листів шириною 1500–2500 мм з вуглецевих сталей наведені в таблицях 1.2, 1.3.

1.6 Опис конструкції і роботи механізму робочого рольганга перед чистовою кліттю

1.6.1 Опис конструкції

Рольганг робочий перед чистовою кліттю «Кварто» призначений для подачі розкату в чистову кліть у непарних пропусках і прийому розкату з кліті після здійснення обтиснення кліттю в парних пропусках. Рольганг робочий за чистової кліттю призначений для прийому розкату з кліті після прокатки в непарних пропусках і для подачі розкату в кліть, з подальшим обтисненням його по висоті в парних пропусках.

Робота рольгангів узгоджується по швидкості і напрямку обертання з роботою головного приводу чистової кліті і станинних роликів чистової кліті (вхідна і вихідна сторони).

Рольганг робочий перед чистовою кліттю кварто (секція 54). Кінематична схема рольганга представлена на рисунку 1.1.

Рольганг складається з 11 циліндричних роликів. Рольганг обладнаний маніпуляторними лінійками, призначеними для центрування сляба (розкату) по поздовжній осі прокатки.

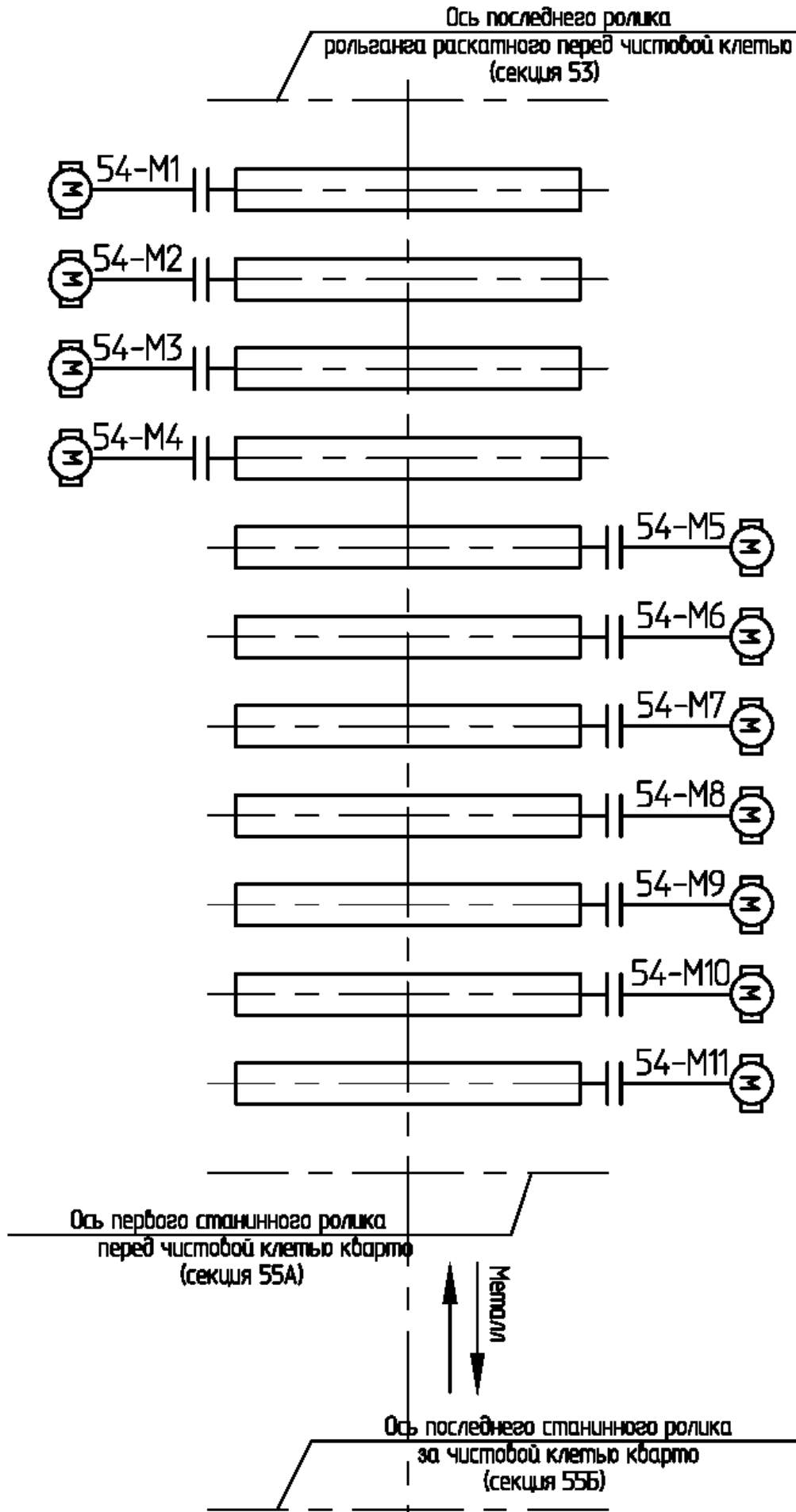


Рисунок 1.1 – Кінематична схема робочого рольганга перед чистою кліттю

1.6.2 Опис роботи механізму рольганга

На робочий рольганг перед чистовою кліттю надходить черговий розкат, який вийшов з чорнової кліті або з ділянки байпасу після охолодження, якщо це необхідно за технологією. Після повної зупинки перед чистовою кліттю розкат центрується маніпуляторними лінійками і може бути поданий у прокатку при розведених маніпуляторних лінійках перед і за кліттю, при зупинених натискних гвинтах в кліті.

Режим прокатки в чистовій кліті – реверсивний. При цьому в кожному конкретному пропуску підтримується рівень швидкості, необхідний за технологією. У загальному випадку: кількість пропусків в чистовій кліті – непарне, а швидкість від пропуску до пропуску збільшується у відповідності із зменшенням товщини розкату.

У процесі прокатки швидкість подачі металу рольгангом перед кліттю узгоджується зі швидкістю станинних роликів і з головним приводом кліті, а на виході з кліті (з урахуванням випередження металу) зі швидкістю станинних роликів за кліттю і робочого рольганга за кліттю.

Повернення металу в прокатку в парному пропуску можливий після установки нового розсуву валків натискними гвинтами, а також після центровки розкату по поздовжній осі прокатки (маніпуляторними лінійками за кліттю). Обидві згадані операції можуть виконуватися одночасно.

Після завершення прокатки в чистовій кліті розкат транспортується в напрямі ділянки прискореного контрольованого охолодження (ПКО), звільняючи робочий рольганг за чистовою кліттю.

Приводи рольгангів працюють в повторно-короткочасному, реверсивному режимі. Швидкість регулюється зміною величини напруги, живлючої якірні ланцюги двигунів.

1.6.3 Технологічні та технічні дані

Таблиця 1.4 – Вихідні технологічні і технічні дані

Найменування та розмірність технічного параметра	Значення параметра
1. Розкат 1.1. Товщина, <i>мм</i> 1.2. Ширина, <i>мм</i> 1.3. Довжина, <i>мм</i> 1.4. Маса максимальна, <i>кг</i>	6...50 1500...2800 до 26000 до 7500
2. Рольганг 2.1. Діаметр бочки ролика, <i>мм</i> 2.2. Довжина бочки ролика, <i>мм</i> 2.3. Крок роликів, <i>мм</i> 2.4. Кількість роликів, <i>шт.</i> 2.5. Маса ролика, <i>кг</i> 2.6. Середній діаметр підшипника, <i>мм</i>	400 2950 800 11 2550 235
3. Технологічні дані 3.1. Швидкість транспортування розката, <i>м/с</i>	до 5,0

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ РОБОЧОГО РОЛЬГАНГА ПЕРЕД ЧИСТОВОЮ КЛІТТЮ

На даний момент в якості приводних електродвигунів електроприводу робочого рольганга перед чистовою кліттю «Кварто» товстолистого стану 3000 встановлені двигуни постійного струму типу Д812У2 зі зниженою частотою обертання з технічними даними, наведеними в табл. 2.1. Рольганг містить 11 циліндричних роликів. Привід роликів індивідуальний, безредукторний. Перевіримо можливість роботи рольганга з існуючими двигунами. Вихідні дані, необхідні для подальших розрахунків, представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Технічні дані електродвигуна Д812У2

Найменування параметра	Чисельне значення
Номінальна потужність, кВт	$P_H = 35$
Номінальна напруга, В	$U_H = 440$
Номінальний струм, А	$I_H = 93$
Номінальна частота обертання, об/хв	$n_H = 270$
Каталожна тривалість включення, %	ПВ=100
Максимальний струм перегрузки (допустимий), А	
Максимальний обертаючий момент, Н·м	$M_{\max} = 2900$
Момент інерції якоря, кг·м ²	$J_{\text{дв}} = 5,75$

Двигуни оснащені імпульсними датчиками швидкості HOG 10 DN концерну Huebner Berlin – 1024 імпульси/оберт.

Таблиця 2.2 – Режим прокатки листів 19×2685×13123 мм
(сляб 250×1300×2060 мм, маса 5,25 т, сталь X56, температура 850-830 0С)

Товщина листа h , мм	Ширина листа b , мм	Довжина листа L , мм	Швидкість прокатки $V_{пр}$, м/с																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>82.58</td></tr> <tr><td>2</td><td>74.88</td></tr> <tr><td>3</td><td>67.82</td></tr> <tr><td>4</td><td>61.37</td></tr> <tr><td>5</td><td>55.51</td></tr> <tr><td>6</td><td>50.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>50.2</td></tr> </table>		1	1	82.58	2	74.88	3	67.82	4	61.37	5	55.51	6	50.2	7	50.2	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2168</td></tr> <tr><td>2</td><td>2169</td></tr> <tr><td>3</td><td>2170</td></tr> <tr><td>4</td><td>2171</td></tr> <tr><td>5</td><td>2172</td></tr> <tr><td>6</td><td>2172</td></tr> <tr><td>7</td><td>2172</td></tr> </table>		1	1	2168	2	2169	3	2170	4	2171	5	2172	6	2172	7	2172	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>4364</td></tr> <tr><td>2</td><td>4808</td></tr> <tr><td>3</td><td>5302</td></tr> <tr><td>4</td><td>5854</td></tr> <tr><td>5</td><td>6466</td></tr> <tr><td>6</td><td>7143</td></tr> <tr><td>7</td><td>7139</td></tr> </table>		1	1	4364	2	4808	3	5302	4	5854	5	6466	6	7143	7	7139	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2.61</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.68</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.77</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.86</td></tr> <tr><td>5</td><td>2.96</td></tr> <tr><td>6</td><td>3.07</td></tr> <tr><td>7</td><td>3.5</td></tr> </table>		1	1	2.61	2	2.68	3	2.77	4	2.86	5	2.96	6	3.07	7	3.5
	1																																																																		
1	82.58																																																																		
2	74.88																																																																		
3	67.82																																																																		
4	61.37																																																																		
5	55.51																																																																		
6	50.2																																																																		
7	50.2																																																																		
	1																																																																		
1	2168																																																																		
2	2169																																																																		
3	2170																																																																		
4	2171																																																																		
5	2172																																																																		
6	2172																																																																		
7	2172																																																																		
	1																																																																		
1	4364																																																																		
2	4808																																																																		
3	5302																																																																		
4	5854																																																																		
5	6466																																																																		
6	7143																																																																		
7	7139																																																																		
	1																																																																		
1	2.61																																																																		
2	2.68																																																																		
3	2.77																																																																		
4	2.86																																																																		
5	2.96																																																																		
6	3.07																																																																		
7	3.5																																																																		

Вихідні технологічні і технічні дані механізму наведені в таблиці 1.4.

2.1 Розрахунок статичних моментів

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

Момент холостого ходу на приводному валу ролика:

$$M_{x.p} = \frac{9,81m_p d_{ш} \mu_{ш}}{2} = \frac{9,81 \cdot 2550 \cdot 0,235 \cdot 0,007}{2} = 20,6 \text{ Нм} \quad (2.1)$$

де $m_p = 2550$ кг - маса одного ролика;

$d_{ш} = 0,235$ м - діаметр шийки ролика (діаметр цапфи підшипника);

$\mu_{ш} = 0,007$ - коефіцієнт тертя в підшипниках ковзання ролика при впливі високих температур транспортованого металу [1, табл. 5.3].

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

$$M_{x.d} = 0,07M_H = 0,07 \cdot 1237,8 = 86,6 \text{ Нм} \quad (2.2)$$

де $M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{35 \cdot 10^3}{28,3} = 1237,8 \text{ Нм}$ - номінальний момент електродвигуна;

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 270}{30} = 28,3 \text{ 1/с} - \text{ номінальна швидкість електродвигуна.}$$

Таким чином, повний момент холостого ходу рольганга:

$$M_x = M_{x.p} + M_{x.d} = 20,6 + 86,6 = 107,2 \text{ Нм} \quad (2.3)$$

Момент транспортування металу по роликam:

$$M_{тр} = 9,81m_M \left(\frac{d_{ш}}{2} \mu_{ш} + f \cdot 10^{-2} \right), \quad (2.4)$$

де m_{M_i} - маса металу, що припадає на один ролик рольганга, кг;

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

Для рольгангів з груповим електроприводом величина m_M зазвичай приймається рівної маси злитка $m_{сл}$. Однак для рольгангів з індивідуальним електроприводом або з груповим електроприводом, при довгих смугах транспортованого металу, величина m_M має кілька невизначених значень, оскільки залежить від кількості точок зіткнення металу з роликam рольганга. При цьому суттєвим є ступінь викривлення прокочуваного металу, точність установки рольгангу за рівнем і т. д.

Якщо розкат має ідеальну рівну форму, а утворює з поверхнею роликів однаковий рівень відносно нульової позначки цеху, можна вважати, що розкат спирається рівномірно на всі роликam рольганга по своїй довжині. У цьому випадку маса (вага) металу, що припадає на один ролик дорівнює:

$$m_{M.мин_i} = m_{сл} \frac{l_{ш}}{L_i}, \quad (2.5)$$

де $m_{сл} = 6010 \text{ кг}$ - маса сляба;

$l_{ш} = 0,8 \text{ м}$ - крок роликів;

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

Реально розкат не має рівної форми. У процесі прокатки і транспортування на розкаті мають місце вигини рештків, спучування. Крім того, через похибки у виготовленні роликів, похибки монтажу утворюючі поверхні роликів можуть мати різний рівень щодо нульової позначки цеху. Отже, в реальних умовах розкат по своїй довжині не спирається рівномірно на всі ролики рольганга. Тоді під масою металу, обчислену за формулою (2.5), потрібно розуміти мінімально можливу масу металу, що припадає на один ролик.

Для розрахунку маси металу, що припадає на один ролик, зручно користуватися відносною величиною, а саме, знати масу (вагу) металу щодо маси (ваги), відповідного кроку роликів рольганга:

$$\bar{m}_M = \frac{m_M}{m_{M.МИН}}, \quad (2.6)$$

За методикою, викладеною в [2] визначаємо відносну масу (вагу) металу \bar{m}_M , припадаючу на один ролик у кожному проході, відповідні діаграми для коротких і довгих розкатів наведено на рис. 2.1 і 2.2.

Остаточну, масу металу, припадаючу на один ролик для кожного проходу можна визначити з виразу (2.6) знаючи мінімально можливу масу $m_{M.МИН}$ і відносну масу металу \bar{m}_M .

Отримані значення мінімально можливої маси металу (2.5), відносної маси металу рис. 2.1 і 2.2, а також масу металу, припадаючої на один ролик для кожного проходу зведені в табл.2.3.

Повний статичний момент при транспортуванні металу по рольгангу і при відсутності буксування і додаткових опорів (див. табл. 2.4):

$$M_{с.т_i} = M_x + M_{тp_i}. \quad (2.7)$$

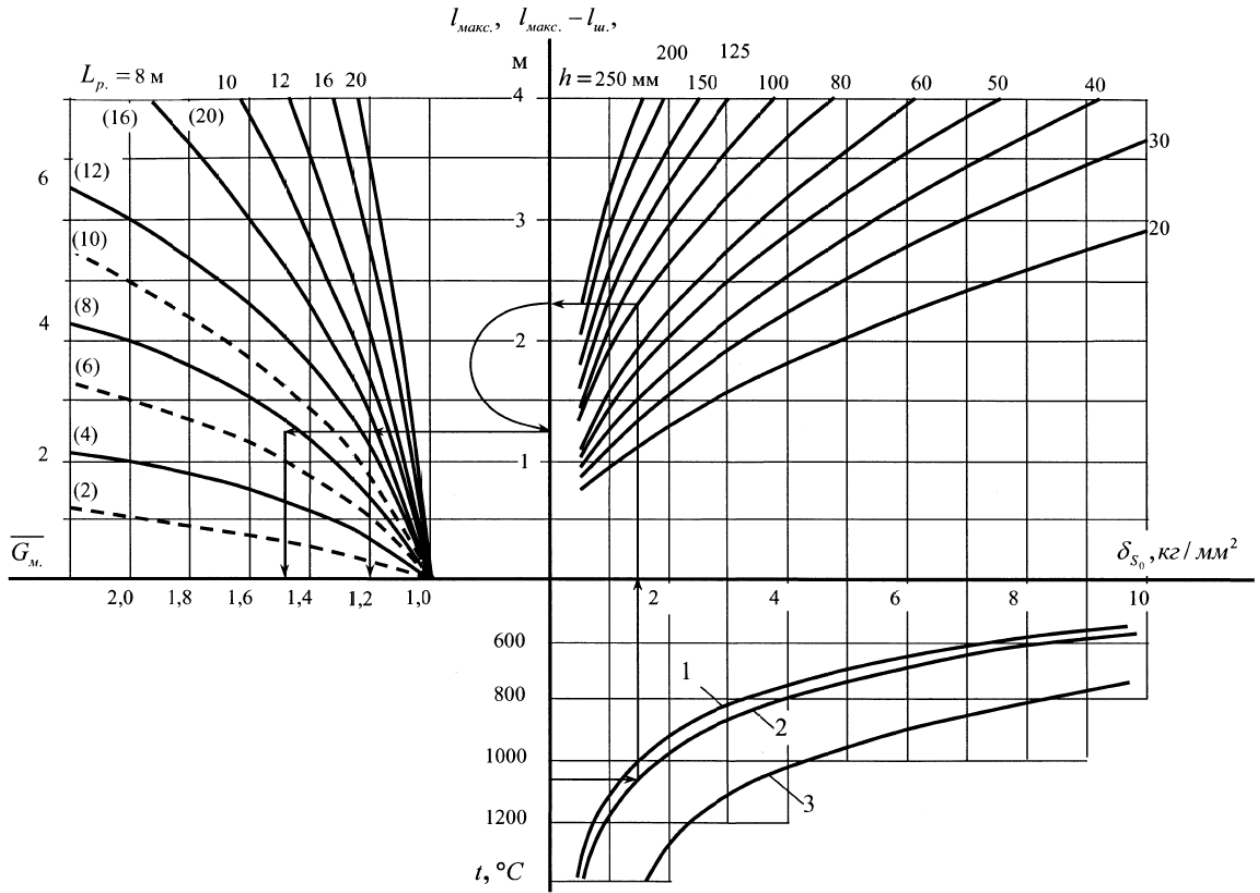


Рисунок 2.1 – Діаграма для визначення \bar{m}_M для коротких розкатів

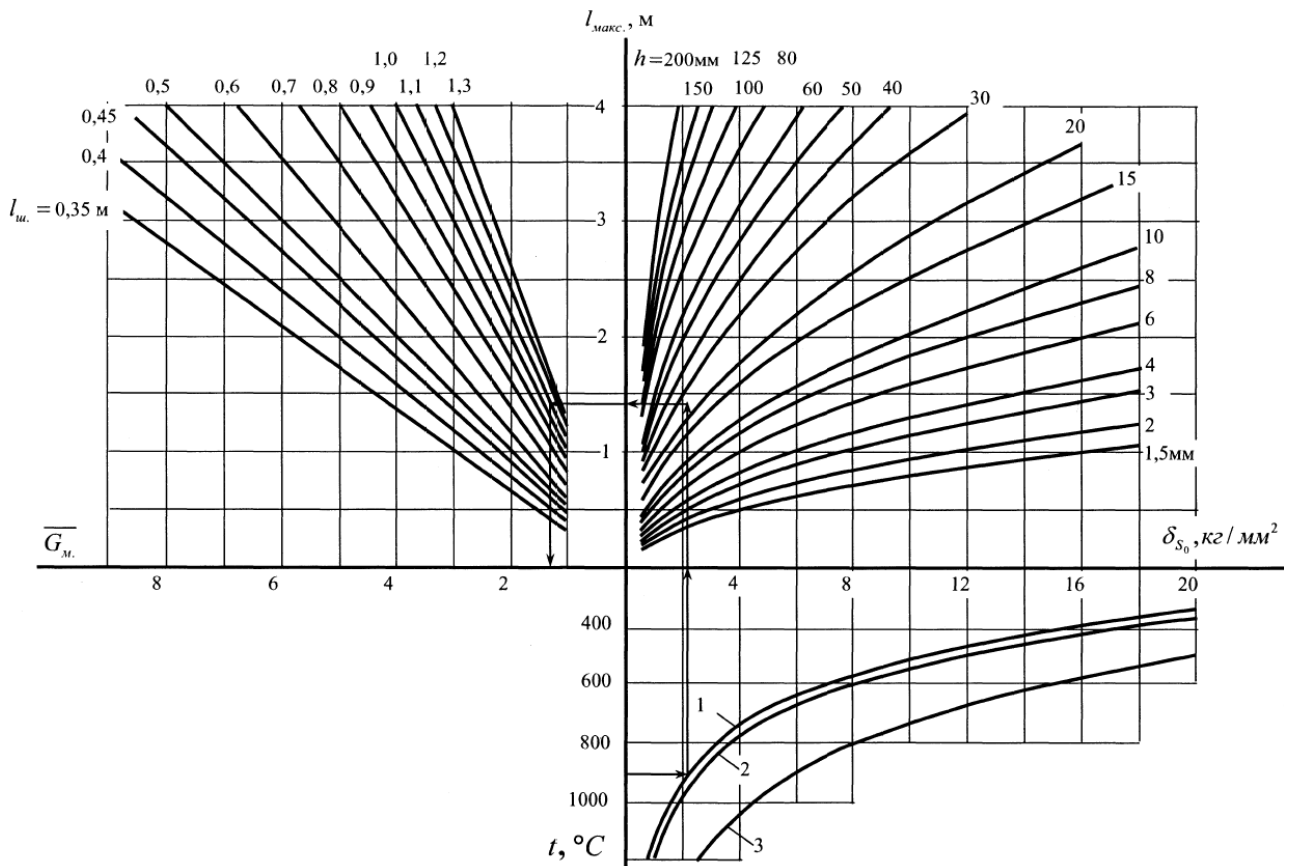


Рисунок 2.2 – Діаграма для визначення \bar{m}_M для довгих розкатів

Таблица 2.3 – Маса металу, що припадає на один ролик рольганга

L , мм		$m_{\text{м.мин}_i}$, кг (2.5)		$\bar{m}_{\text{м}_i}$, (рис. 2.1-2.2)		$m_{\text{м}_i}$, кг (2.6)	
	1		1		1		1
1	4364	1	1101.742	1	1.9	1	2093.309
2	4808	2	1000	2	1.8	2	1800
3	5302	3	906.828	3	1.7	3	1541.607
4	5854	4	821.319	4	1.6	4	1314.11
5	6466	5	743.582	5	1.5	5	1115.373
6	7143	6	673.107	6	1.5	6	1009.66
7	7139	7	673.484	7	1.5	7	1010.226

Момент буксування, приведений до валу електродвигуна (див. табл. 2.4):

$$M_{\delta} = \frac{9,81 m_{\text{м}_i} d_p \mu_{\delta}}{2}, \quad (2.8)$$

де $d_p = 0,4$ м - діаметр ролика;

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

Повний момент статичного опору при буксуванні:

$$M_{\text{сб}_i} = M_x + M_{\delta_i}. \quad (2.9)$$

Отримані значення моменту транспортування металу по роликах (2.4), а також значення 2.7 – 2.8 зведені в табл.2.4.

Таблица 2.4 – Розрахунок статичних моментів електродвигунів робочого розкатного рольганга

$m_{\text{м}_i}$, кг (2.6)		$M_{\text{тр}}$, Нм (2.4)		$M_{\text{с.т}_i}$, Нм (2.7)		$M_{\text{сб}_i}$, Нм (2.9)	
	1		1		1		1
1	2093.309	1	47.693	1	154.92	1	1339.348
2	1800	2	41.011	2	148.237	2	1166.706
3	1541.607	3	35.124	3	142.35	3	1014.616
4	1314.11	4	29.94	4	137.167	4	880.711
5	1115.373	5	25.412	5	132.639	5	763.735
6	1009.66	6	23.004	6	130.23	6	701.512
7	1010.226	7	23.017	7	130.243	7	701.845

2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень

Через буксування розкату по роликам не можна розігнати розкат з прискоренням, що перевищує максимально можливе прискорення. Покажемо це теоретично.

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

$$F_{\text{ин}} = m_{\text{м}} a, \quad (2.10)$$

де a - лінійне прискорення розкату.

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

$$m_{\text{м}} a \leq G_{\text{м}} \mu_{\text{б}}, \quad (2.11)$$

Оскільки $G_{\text{м}} = m_{\text{м}} g$, де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, то з (2.11), отримаємо вираз для визначення максимально можливого прискорення розкату на рольгангу

$$a \leq g \mu_{\text{б}} \quad (2.12)$$

З останнього виразу видно, що максимально можливе прискорення розкату на рольгангу визначається коефіцієнтом тертя при буксуванні $\mu_{\text{б}}$. Приймаючи $\mu_{\text{б}} = 0,15 \div 0,3$ [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 можливому прискоренню розкату, називають гранично-виправданим моментом. Якщо момент електродвигуна перевищує гранично-виправданий момент, то виникає буксовка, в результаті чого погіршується якість поверхні розкату, підвищується знос роликів, але збільшення прискорення розкату не відбувається. Оскільки буксовка можлива як при розгоні (прискоренні), так і при гальмуванні (уповільненні), то мають місце два гранично-виправданих момента – при розгоні і при гальмуванні.

Отримаємо вираз гранично-виправданого моменту електродвигуна при розгоні (прискоренні) роликів рольганга:

$$M_{\text{п.о.р}} = M_{\text{дин}} + M_{\text{с.т.і}}, \quad (2.13)$$

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

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

Динамічний момент на валу електродвигуна дорівнює:

$$M_{\text{дин}} = J'_{\Sigma} \frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt}, \quad (2.14)$$

де J'_{Σ} - сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції транспортованого злитка), приведений до валу електродвигуна;

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

Виразимо кутове прискорення електродвигуна через лінійне прискорення розкату,

$$\frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt} = \frac{d\omega_{\text{р}}}{dt} i = \frac{2i}{d_{\text{р}}} \frac{dV}{dt}, \quad (2.15)$$

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

i - передаточне число редуктора рольганга, далі опускається, оскільки електропривод безредукторний;

$d_{\text{р}}$ - діаметр ролика, м;

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

Сумарний момент інерції уявімо як суму моменту інерції механізму $J_{\text{мех}}$ і моменту інерції розкату $J_{\text{м}}$, отриманого шляхом еквівалентного приведення поступального руху до обертального руху:

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{мех}} + J_{\text{м}} \quad (2.16)$$

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

$$\frac{m_M V_M^2}{2} = \frac{J_M \omega_{дв}^2}{2}, \quad (2.17)$$

звідки знаходимо

$$J_M = m_M \frac{V_M^2}{\omega_{дв}^2}. \quad (2.18)$$

Підставляючи замість лінійної швидкості металу її вираз через частоту обертання електродвигуна $V_M = \frac{\omega_{дв} d_p}{2}$, одержимо момент інерції транспортованого злитка, приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску

$$J_{M_i} = m_{M_i} \frac{d_p^2}{4}. \quad (2.19)$$

Беручи максимально можливе значення лінійного прискорення (2.12), з урахуванням (2.15), (2.16) і (2.19) з (2.14) отримуємо такий вираз для визначення динамічного моменту на валу електродвигуна:

$$M_{дин} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} J'_\Sigma, \quad (2.20)$$

де J'_Σ - сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції транспортованого злитка), приведений до валу електродвигуна в кожному пропуску.

Момент інерції механізму дорівнює:

$$J_{мех} = J_{дв} + J_p = 5,75 + 45 = 50,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.21)$$

де $J_{дв} = 5,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент інерції двигуна (див. табл. 2.1);

$$J_p = m_p \frac{d_p^2}{8} = 2550 \frac{0,4^2}{8} = 51 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 - \text{момент інерції ролика.}$$

Оскільки максимальне прискорення визначається виразом (2.12), то для гранично-виправданого моменту при розгоні (прискоренні) вираз (2.13) приймає вигляд (див. табл. 2.5):

$$M_{п.о.р} = (J_{мех} + J_{M_i}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} + M_{с.т_i} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} J'_\Sigma + M_{с.т_i}, \quad (2.22)$$

Для гальмування (уповільнення) вираз гранично-виправданого моменту має вигляд (див. табл. 2.5):

$$M_{п.о.т} = M_{дин} - M_{с.т_i}, \quad (2.23)$$

або

$$M_{п.о.т} = (J_{мех} + J_{M_i}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} - M_{с.т_i} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} J'_\Sigma + M_{с.т_i} \quad (2.24)$$

Таблиця 2.5 – Розрахунок динамічних моментів електродвигунів робочого рольганга

$J_{M_i}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ (2.19)	$M_{п.о.р}, (2.22)$	$\frac{M_{п.о.р}}{M_H}$	$M_{п.о.т}, (2.24)$	$\frac{M_{п.о.т}}{M_H}$																																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>83.732</td></tr> <tr><td>2</td><td>72</td></tr> <tr><td>3</td><td>61.664</td></tr> <tr><td>4</td><td>52.564</td></tr> <tr><td>5</td><td>44.615</td></tr> <tr><td>6</td><td>40.386</td></tr> <tr><td>7</td><td>40.409</td></tr> </table>		1	1	83.732	2	72	3	61.664	4	52.564	5	44.615	6	40.386	7	40.409	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2222.118</td></tr> <tr><td>2</td><td>2042.793</td></tr> <tr><td>3</td><td>1884.816</td></tr> <tr><td>4</td><td>1745.728</td></tr> <tr><td>5</td><td>1624.223</td></tr> <tr><td>6</td><td>1559.592</td></tr> <tr><td>7</td><td>1559.938</td></tr> </table>		1	1	2222.118	2	2042.793	3	1884.816	4	1745.728	5	1624.223	6	1559.592	7	1559.938	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.795</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.65</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.523</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.41</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.312</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.26</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.26</td></tr> </table>		1	1	1.795	2	1.65	3	1.523	4	1.41	5	1.312	6	1.26	7	1.26	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1912.278</td></tr> <tr><td>2</td><td>1746.319</td></tr> <tr><td>3</td><td>1600.116</td></tr> <tr><td>4</td><td>1471.395</td></tr> <tr><td>5</td><td>1358.946</td></tr> <tr><td>6</td><td>1299.132</td></tr> <tr><td>7</td><td>1299.452</td></tr> </table>		1	1	1912.278	2	1746.319	3	1600.116	4	1471.395	5	1358.946	6	1299.132	7	1299.452	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.545</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.411</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.293</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.189</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.098</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.049</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.05</td></tr> </table>		1	1	1.545	2	1.411	3	1.293	4	1.189	5	1.098	6	1.049	7	1.05
	1																																																																																			
1	83.732																																																																																			
2	72																																																																																			
3	61.664																																																																																			
4	52.564																																																																																			
5	44.615																																																																																			
6	40.386																																																																																			
7	40.409																																																																																			
	1																																																																																			
1	2222.118																																																																																			
2	2042.793																																																																																			
3	1884.816																																																																																			
4	1745.728																																																																																			
5	1624.223																																																																																			
6	1559.592																																																																																			
7	1559.938																																																																																			
	1																																																																																			
1	1.795																																																																																			
2	1.65																																																																																			
3	1.523																																																																																			
4	1.41																																																																																			
5	1.312																																																																																			
6	1.26																																																																																			
7	1.26																																																																																			
	1																																																																																			
1	1912.278																																																																																			
2	1746.319																																																																																			
3	1600.116																																																																																			
4	1471.395																																																																																			
5	1358.946																																																																																			
6	1299.132																																																																																			
7	1299.452																																																																																			
	1																																																																																			
1	1.545																																																																																			
2	1.411																																																																																			
3	1.293																																																																																			
4	1.189																																																																																			
5	1.098																																																																																			
6	1.049																																																																																			
7	1.05																																																																																			

Видно, що моменти $M_{п.о.р}$ і $M_{п.о.т}$ залежать від маси металу, що припадає

на ролик. Для гарантованого розгону і гальмування без буксовки слід обмежувати момент електродвигуна на рівні мінімального значення моменту, розрахованого за виразами (2.22) і (2.24). З виразів для гранично-обґрунтованих моментів видно, що мінімальні значення $M_{п.о.р}$ і $M_{п.о.т}$ мають місце при мінімальній масі металу m_{M_i} , що припадає на ролик рольганга. Приймаємо кратність пуск-гальмівних струмів (динамічних моментів) $\lambda_{пт} = 1$.

З табл. 2.5 видно, що кратність пуск-гальмівних струмів (динамічних моментів) $\lambda_{пт}$ не перевищує кратності гранично-виправданих моментів, що гарантує рух розкату по роликам з прискоренням/уповільненням без проковзування (буксування) і забезпечує необхідне прискорення розгону/гальмування.

2.3 Час управління електроприводом

Розглянемо більш детально процес переміщення злитка при прокатці.

У процесі прокатки робота робочого рольганга узгоджується по швидкості і напрямку обертання з роботою головного приводу чистової кліті і станинних роликів чистової кліті. На робочий рольганг перед чистовою кліттю надходить черговий розкат, який вийшов з чорнової кліті або з ділянки байпаса після охолодження, якщо це потрібно за технологією. Після повної зупинки перед чистовою кліттю розкат центрується маніпуляторними лінійками і може бути заданий в прокатку при розведених маніпуляторних лінійках перед і за кліттю, при зупинених натискних гвинтах в кліті.

Режим прокатки в чистовій кліті – реверсивний. При цьому в кожному конкретному пропуску підтримується рівень швидкості, необхідний за технологією. У загальному випадку: кількість пропусків в чистовій кліті – непарне, а швидкість від пропуску до пропуску збільшується у відповідності із зменшенням товщини розкату.

Цикл роботи електроприводу робочого рольганга складається з наступних ділянок:

- розгін рольганга з заготівлею;

- переміщення розкату по рольгангу;
- гальмування рольганга вхолосту до нуля;
- центрування розкату маніпуляторними лінійками (час паузи);
- розгін рольганга вхолосту до транспортної швидкості (реверс);
- переміщення розкату по рольгангу у зворотному напрямку;
- гальмування рольганга з заготівлею до нуля.

Робота робочого рольганга розкату при прокатці в третьому-сьомому пропусках аналогічна його роботі при прокатці в першому-другому пропусках із збільшенням довжини листа.

Після завершення прокатки в чистовій кліті розкат транспортується в напрямі ділянки прискореного контрольованого охолодження (ПКО), звільняючи робочий рольганг за чистової кліттю.

Час розгону і гальмування електропривода рольганга:

$$t_{\Pi} = \frac{\Sigma J \omega_{\text{пр}i}}{M_{\Pi} - M_{\text{с}}}, \quad (2.25)$$

$$t_{\text{T}} = \frac{\Sigma J \omega_{\text{пр}i}}{M_{\text{T}} + M_{\text{с}}}, \quad (2.26)$$

де ΣJ - сумарний момент інерції на валу електродвигуна (при розгоні або гальмуванні рольганга вхолосту $\Sigma J = J_{\text{мех}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}}$; при розгоні або

гальмуванні з заготівлею $\Sigma J = J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}i}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$\omega_{\text{пр}i} = \frac{2V_{\text{пр}i}}{d_{\text{р}}}$ - швидкість на валу електродвигуна, що відповідає швидкості

прокатки в кожному пропуску, 1/с;

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

M_{Π} - середній пусковий момент електродвигуна (для подальших розрахунків приймаємо $M_{\Pi} = \lambda_{\text{пт}} M_{\text{н}} = 1M_{\text{н}} = 1237,8 \text{ Нм}$;

M_{T} - середній гальмівний момент електродвигуна (для подальших розрахунків приймаємо $M_{\text{T}} = \lambda_{\text{пт}} M_{\text{н}} = 1M_{\text{н}} = 1237,8 \text{ Нм}$;

M_c - статичний момент навантаження на валу електродвигуна (при розгоні або гальмуванні рольганга вхолосту $M_c = M_x$; при розгоні або гальмуванні з заготівлею $M_c = M_{c.т_i} = M_x + M_{тp_i}$).

Час транспортування металу (усталеного руху):

$$t_y = \frac{L_i}{V_{пp_i}}. \quad (2.27)$$

Значення часу пуску $t_{п}$, часу гальмування $t_{т}$, часу усталеного руху і час пауз $t_{пауз}$ для кожного пропуску, розраховані за вищевказаними формулами, зведені в таблицю 2.6.

Кутова швидкість на валу електродвигуна, що відповідає швидкості прокатки (див. табл. 2.6):

$$n_{пp_i} = V_{пp_i} \frac{60}{\pi d_p}, \text{ об / хв} \quad (2.28)$$

Таблиця 2.6 – Розрахунок часу роботи ЕП робочого рольганга

$t_{п}, c$ (2.25)	$t_{т}, c$ (2.26)	t_y, c (2.27)	$t_{пауз}, c$	$n_{пp_i}, об / хв$																																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.693</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.673</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.497</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.718</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.357</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.77</td></tr> <tr><td>7</td><td>1.535</td></tr> </table>		1	1	1.693	2	0.673	3	1.497	4	0.718	5	1.357	6	0.77	7	1.535	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0.551</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.15</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.584</td></tr> <tr><td>4</td><td>1.137</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.624</td></tr> <tr><td>6</td><td>1.09</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.738</td></tr> </table>		1	1	0.551	2	1.15	3	0.584	4	1.137	5	0.624	6	1.09	7	0.738	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1.672</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.794</td></tr> <tr><td>3</td><td>1.914</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.047</td></tr> <tr><td>5</td><td>2.184</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.327</td></tr> <tr><td>7</td><td>2.04</td></tr> </table>		1	1	1.672	2	1.794	3	1.914	4	2.047	5	2.184	6	2.327	7	2.04	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.3</td></tr> </table>		1	1	2	2	2	3	2	4	2	5	2	6	2	7	0.3	<table border="1"> <tr><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>124.618</td></tr> <tr><td>2</td><td>127.961</td></tr> <tr><td>3</td><td>132.258</td></tr> <tr><td>4</td><td>136.555</td></tr> <tr><td>5</td><td>141.33</td></tr> <tr><td>6</td><td>146.582</td></tr> <tr><td>7</td><td>167.113</td></tr> </table>		1	1	124.618	2	127.961	3	132.258	4	136.555	5	141.33	6	146.582	7	167.113
	1																																																																																			
1	1.693																																																																																			
2	0.673																																																																																			
3	1.497																																																																																			
4	0.718																																																																																			
5	1.357																																																																																			
6	0.77																																																																																			
7	1.535																																																																																			
	1																																																																																			
1	0.551																																																																																			
2	1.15																																																																																			
3	0.584																																																																																			
4	1.137																																																																																			
5	0.624																																																																																			
6	1.09																																																																																			
7	0.738																																																																																			
	1																																																																																			
1	1.672																																																																																			
2	1.794																																																																																			
3	1.914																																																																																			
4	2.047																																																																																			
5	2.184																																																																																			
6	2.327																																																																																			
7	2.04																																																																																			
	1																																																																																			
1	2																																																																																			
2	2																																																																																			
3	2																																																																																			
4	2																																																																																			
5	2																																																																																			
6	2																																																																																			
7	0.3																																																																																			
	1																																																																																			
1	124.618																																																																																			
2	127.961																																																																																			
3	132.258																																																																																			
4	136.555																																																																																			
5	141.33																																																																																			
6	146.582																																																																																			
7	167.113																																																																																			

Як видно з табл. 2.6, обраний електродвигун забезпечує необхідну максимальну швидкість прокатки. При цьому немає необхідності знижувати поле збудження машин; необхідна швидкість забезпечується зміною напруги на якорі.

На рис. 2.3 – 2.4 наведені тахограми та навантажувальні діаграми роботи електроприводу робочого рольганга (див. табл. 2.4, 2.5) за цикл роботи прокатного стану (прокатка в чистовій кліті), а також для кількох з пропусків.

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

Робота робочого рольганга при прокатці розкату в третьому-сьомому пропусках аналогічна роботі його при прокатці в першому-другому пропуски із збільшенням довжини листа.

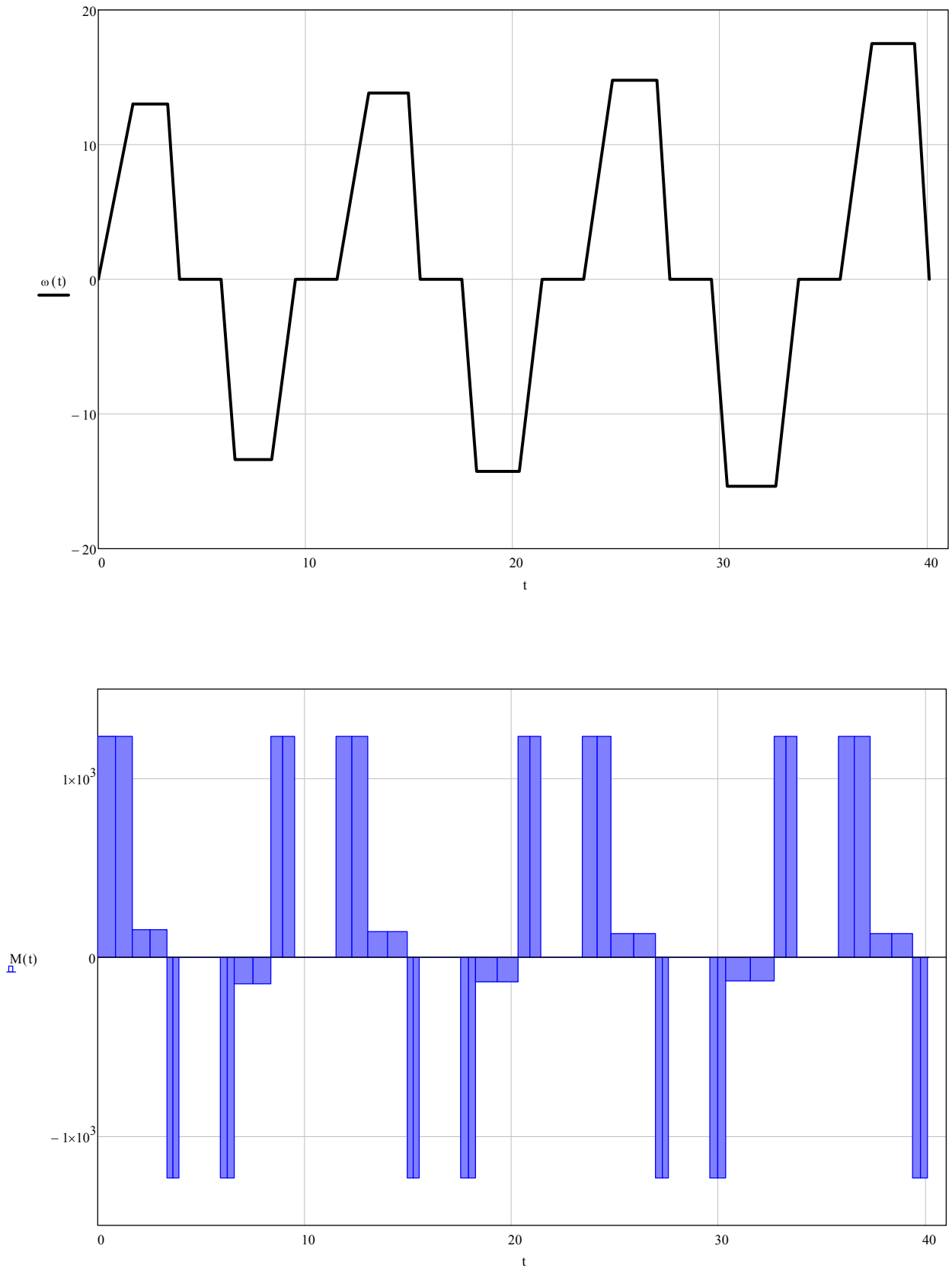
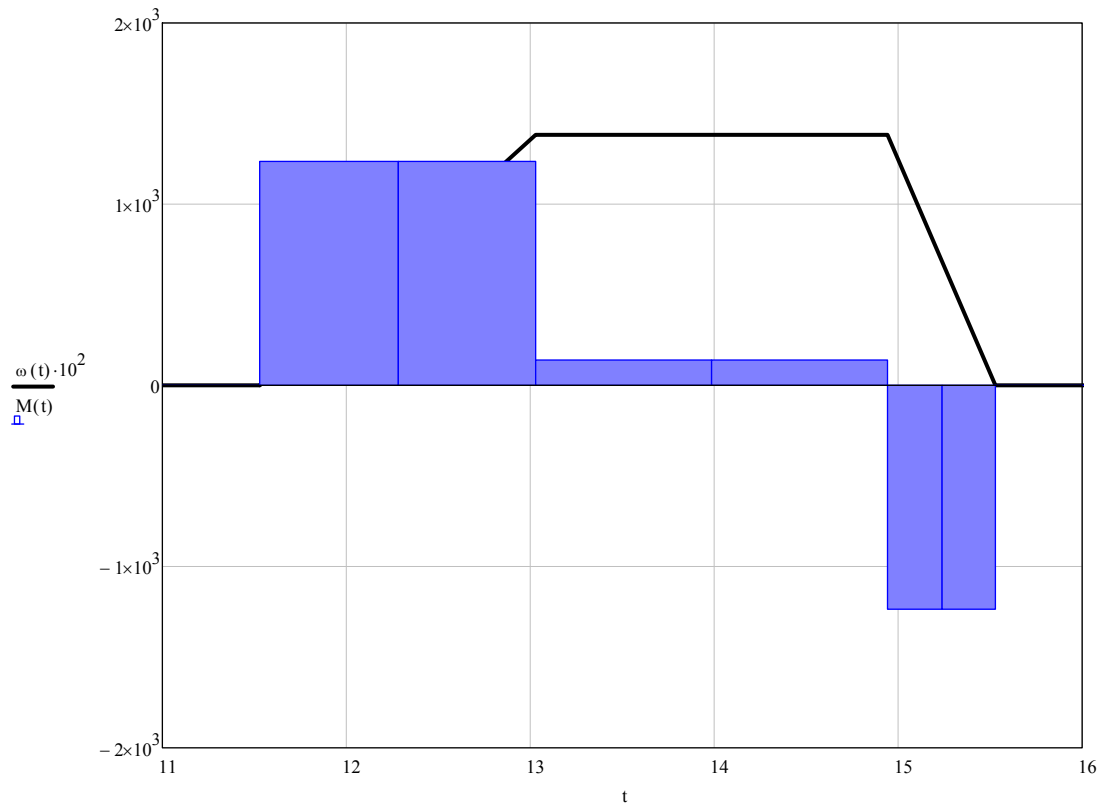
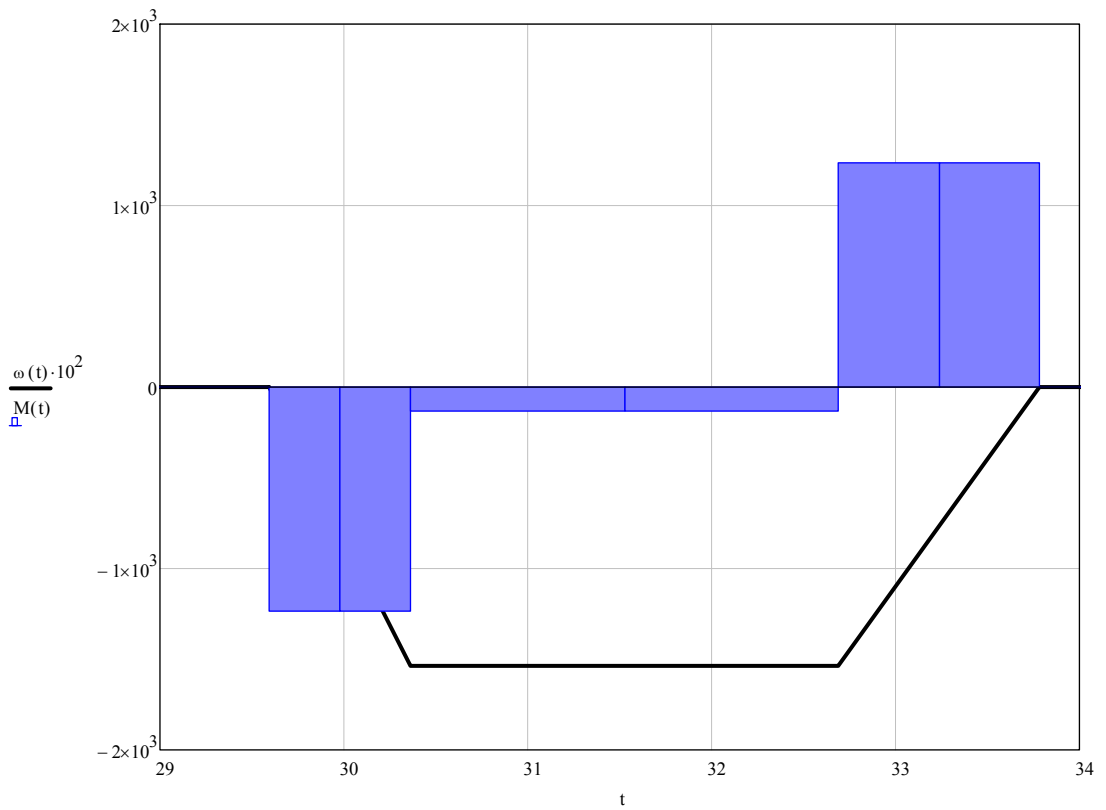


Рисунок 2.3 – Тахограми та навантажувальні діаграми роботи електропривода робочого рольганга перед чистовою кліттю за цикл роботи прокатного стану



третій пропуск



шостий пропуск

Рисунок 2.4 – Тахограми та навантажувальні діаграми роботи електропривода робочого рольганга перед чистовою кліттю

2.4 Перевірка потужності вибраного електродвигуна за нагрівом

На рис. 2.3 зображена навантажувальна діаграма електроприводу робочого рольганга перед чистовою кліттю. Оскільки в періоди пуску, гальмування та усталеного руху роликів рольганга при прокатці листів швидкість прокатки і швидкість роликів синхронізовані, то буксування о метал відсутнє.

Еквівалентний момент електродвигуна, доведений до фактичного значення тривалості включення $\varepsilon = \Sigma t_{\text{вкл}} / t_{\text{ц}} = 28,1/40,4 = 0,69$:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_{\text{п}}^2 \Sigma t_{\text{п}} + M_{\text{т}}^2 \Sigma t_{\text{т}} + M_{\text{с.т}}^2 \Sigma t_{\text{у}}}{\Sigma t_{\text{п}} + \Sigma t_{\text{т}} + \Sigma t_{\text{у}}}} = \quad (2.29)$$

$$= \sqrt{\frac{1237,8^2 \cdot 8,24 + 1237,8^2 \cdot 5,87 + 269,34 \cdot 10^3}{8,24 + 5,87 + 13,97}} = 882,9 \text{ Нм}$$

Еквівалентний момент перерахований для ПВ=100% складає:

$$M_{\text{э}100\%} = M_{\text{э}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}} = 882,9 \sqrt{\frac{0,69}{1,0}} = 736,59 \text{ Нм} = 0,673 M_{\text{н}} \quad (2.30)$$

Отримане розрахункове значення еквівалентного моменту показує, що прийняті значення пускового і гальмівного моментів забезпечують інтенсивне протікання перехідних процесів при одночасному припустимому навантаженні електродвигуна з нагріву. Завантаження електродвигуна становить 67,3%.

Серед усіх можливих моментів на валу двигуна найбільшим є пусковий момент електроприводу при транспортуванні металу – 1237,8 Н·м, що у відношенні до номінального моменту становить $1M_{\text{н}}$, що допустимо. Таким чином, вибраний 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 50-80%, що допустимо. Дещо завищена потужність машини пояснюється необхідністю реалізації заданого темпу розгону/гальмування при транспортуванні металу найбільшої маси 7,5 т. Крім того, у разі ручного керування механізмами району прокатної кліті можливі неузгодженості лінійних швидкостей валів головного

приводу , станинних роликів, робітників і розкатних рольгангів, що призводить до появи буксування роликів по поверхні металу (статичні моменти на двигуні зростають до моментів буксування), викликаючи додатковий нагрів машини. Також буксування роликів по металу виникає при виході розкату з валів кліті з більшою швидкістю через так зване «випередження». Вважаємо, що 30% -го резерву потужності двигуна достатньо для покриття додаткових моментів.

3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ РОБОЧОГО РОЛЬГАНГУ

3.1 Вибір та обґрунтування силової частини системи та способу керування електроприводом

Для живлення якірних ланцюгів електродвигунів і обмоток збудження електричних машин постійного струму застосовуються, головним чином електромашинні генератори (Г), що обертаються, широтно-імпульсні перетворювачі (ШП) на тиристорах і транзисторах, і тиристорні перетворювачі (ТП) змінного струму в постійний. Відповідно до цього силова частина електропривода може бути зібрана по різних схемах: Г-Д, ШП-Д або ТП-Д.

Система Г-Д має гарні регульовальні властивості, порівняно невисоку питому вартість і більший термін служби. Основною перевагою цієї системи є високий коефіцієнт потужності, крім того, при роботі системи Г-Д не спотворюється форма напруги живильної мережі змінного струму.

До недоліків цієї системи слід віднести: складність, низький ККД через потрібне перетворення енергії (електричної в механічну й навпаки), великий рівень шуму в процесі роботи, необхідність регулярного й ретельного обслуговування.

У цей час система Г-Д має обмежене застосування у зв'язку з масовим впровадженням перетворювачів на тиристорах і транзисторах. У металургійній промисловості використовується в якості електропривода великої потужності на деяких прокатних станах (наприклад, обтискних).

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

– високі динамічні властивості (швидкодія, точність, якість регулювання і т.д.) через відсутність у ШП додаткових індуктивностей у ланцюзі навантаження, високої частоти комутації й менше істотних нелінійностей перетворювача;

– широкий діапазон регулювання вихідної напруги (до $1: 10^5$);

– високий ККД, тому що втрати потужності на регулюючому елементі

ШПП незначні в порівнянні із втратами потужності у випадку безперервного регулювання;

- високий коефіцієнт потужності системи;
- високе використання двигунів по струму через велику частоту комутації й малих пульсацій струму якоря;
- низький вихідний опір перетворювача й тому більш швидкісні й механічні характеристики двигуна;
- мала чутливість до змін температури навколишнього середовища, оскільки регулюючим фактором є час провідності ключа, а не величина внутрішнього опору регулюючого елемента, що має місце при безперервному регулюванні;
- малі габарити й маса;
- постійна готовність до роботи.

Разом з тим ШПП властиві й недоліки:

- імпульсний режим роботи регулюючого елемента приводить до необхідності встановлювати вихідні фільтри, що викликає інерційність процесу регулювання в замкнених системах;
- високі швидкості включення й вимикання струму в силовому ланцюзі ШПП приводять до виникнення радіоперешкод.

У теперішній час практичне застосування ШПП на напівпровідникових елементах обмежене електроприводами малої й середньої потужності.

В електроприводах середньої й великої потужності широке поширення отримала система ТП-Д. В порівнянні із системою Г-Д ця система електропривода має низку переваг:

- відсутність обертових частин, безшумність у роботі;
- більш високі швидкодія й ККД (ККД системи ТП-Д становить 0,96...0,98, системи Г-Д – 0,76...0,84);
- більш висока точність регулювання завдяки відсутності інерції, що часто забезпечує механізм більшою продуктивністю і високою якістю продукції;

- менша чутливість до впливу газів і забрудненого середовища;
- відсутність складних вентиляційних пристроїв.

Разом з тим у порівнянні із системою Г-Д система ТП-Д має наступні недоліки:

– погіршення коефіцієнта потужності пропорційно $\cos\phi$ й зменшення при цьому навантажувальній здатності ТП, що особливо відчутно в приводах великої потужності;

– при глибокому регулюванні крім зменшення коефіцієнта потужності збільшується амплітуда пульсацій у кривих випрямленої напруги й струму, що може несприятливо позначитися на комутації струму приводного двигуна, викликати розриви струму й коливання швидкості обертання двигуна;

– викривлення форми напруги живильної мережі в результаті комутаційних процесів у ТП, що несприятливо позначається на роботі інших електроустановок, що живляться від цієї мережі, а також на роботі самого ТП, оскільки нерідко сіткова напруга використовується в якості опорної.

Особливо відзначимо, що перераховані недоліки системи ТП-Д стають вагомими тільки при великій потужності привода, однак при цьому і її переваги виступають особливо яскраво.

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

Для підтримки системою заданих параметрів на необхідному рівні вони, як правило, будуються замкненими, а підвищення якісних показників їх роботи досягається введенням спеціальних коригувальних ланок (системи з послідовною, паралельною й змішаною корекцією) або організацією модального управління. Системи з паралельною, послідовною й змішаною корекцією звичайно являють собою багатоконтурні системи регулювання. Кожна із цих систем має свої переваги й недоліки.

При застосуванні паралельної корекції підвищується стабільність характеристик системи за рахунок ланок, охоплених зворотним зв'язком. Вплив

перешкод на коригувальний пристрій, включених в ланцюг зворотного зв'язку, значно менше, чим при включенні його в прямий канал системи, оскільки сигнал знімається з виходу системи, що представляє собою фільтр низьких частот.

Основними недоліками паралельної корекції є відносна складність розрахунків системи й більша трудомісткість настроювання. Контур, утворений зворотним зв'язком, може сам по собі виявитися нестійким, виникають також труднощі з підсумовуванням сигналів. Крім того, цю систему слід завжди розглядати як єдине ціле, тому що в більшості випадків зміна одного з параметрів вимагає перерахунку й перебудови всієї системи.

Системи з послідовною корекцією вигідно відрізняються від систем з паралельною корекцією, особливо при складних структурах об'єкта регулювання, великій кількості регульованих параметрів і високих вимогах до якості регулювання. Прості й зручні для практики способи розрахунків і настроювання контурів систем з послідовною корекцією дозволяють навіть при значних погрішностях у визначенні динамічних параметрів об'єкта регулювання одержати цілком працездатну систему управління електроприводом. Такі системи вводять в експлуатацію методом послідовного настроювання окремих контурів системи керування (на відміну від систем з паралельною корекцією). Більшою перевагою систем з послідовною корекцією є зручність обмеження кожного з регульованих параметрів на заданому рівні.

Створення практично без інерційних тиристорних і транзисторних перетворювачів з малою потужністю керування й операційних підсилювачів постійного струму, застосованих у якості активних коригувальних ланок, забезпечило широке впровадження систем з послідовною корекцією для управління практично всіма видами металургійного електропривода постійного струму.

САК з послідовною корекцією розбивається на ряд контурів, число яких дорівнює числу регульованих параметрів системи. Параметрами регулювання можуть бути: напруга перетворювача, сила струму в головному ланцюзі, швидкість електродвигуна, кутове або лінійне положення робочого механізму,

натяг металу, що прокочується, і ін.

У системі регулювання з послідовною корекцією головним параметром регулювання є той, який визначає основну мету автоматичного регулювання. Інші параметри – допоміжні, вони підпорядковані головному параметру. Крім того, допоміжні параметри також перебувають у підпорядкуванні один з одним. Наприклад, параметр напруги перетворювача підпорядковані параметру струму в головному ланцюзі, а останній підпорядкований параметру швидкості електродвигуна й т.п. Тому системи з послідовною корекцією називають також системами підпорядкованого керування (регулювання).

3.2 Вибір комплектного електропривода

Технічними даними комплектних тиристорних електроприводів є номінальний струм $I_{н\text{ тп}}$ і напруга $U_{н\text{ тп}}$. Для багатодвигунових електроприводів при послідовному живленні якірних ланцюгів номінального струму перетворювача береться сумарний струм двигунів $I_{н\text{ тп}} = 2I_{н\text{ дв}} = 184\text{ А}$, через що зростає його потужність, а отже і його ціна. При роздільному живленні якірних ланцюгів номінальний струм перетворювача, повинен бути не більше ніж:

$$I_{н\text{ дв}} \frac{\lambda_{п.т} + M_{с*}}{1,8} = 93 \cdot \frac{1,5 + 0,3}{1,8} = 93\text{ А} \quad (3.1)$$

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

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

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

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

Номінальна напруга перетворювача визначається номінальною напругою електродвигуна, яка менше номінальної напруги ТП, визначається за ДСТ 25953-83, на 5-15%, що забезпечує необхідний запас на регулювання швидкості

й на безпечне інвертування при зниженні напруги живлячої мережі, тобто

$$U_{н\ тп} = (1,05 \div 1,15)U_{н\ дв}$$

Номінальні дані двигунів Д812У2 для яких проводиться вибір силових ТП наведені в таблиці 2.1.

Дотримуючись наведених рекомендацій, обираємо роздільне живлення якірних ланцюгів. Установлюємо на кожний електродвигун по одному перетворювачу.

Для встановлених електродвигунів, по каталогах [4-5] вибираємо реверсивний комплектний тиристорний електропривод (ТКЕ) SIMOREG DC Master концерну Siemens шафового виконання, технічні дані якого наведено в таблиці 3.1.

Однолінійна схема силовій частини комплектного електропривода SIMOREG DC MASTER наведена на рис. 3.1 [4].

Таблиця 3.1 – Технічні дані перетворювача шафового виконання SIMOREG DC MASTER 6RM7031-6FV02

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Номінальна живильна 3х фазна напруга, В	$U_{н1\ тп} = 460$
Номінальний вхідний струм, А	$I_{н1\ тп} = 104$
Номінальна вирівняна (постійна) напруга, В	$U_{н\ тп} = 480$
Номінальний вирівняний (постійний) струм, А	$I_{н\ тп} = 125$
Номінальна потужність, кВт	$P_{н\ тп} = 60$
Номінальна напруга збудження, В	$U_{в\ тп} = 373$
Номінальний струм збудження, А	$I_{в\ тп} = 10$
Вага, кг	$m_{тп} = 200$

Перетворювачі SIMOREG DC MASTER є повністю компактними цифровими 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 дорівнює 40А (рівні струмів залежать від номінального струму якоря).

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

Параметрування перетворювача можна 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 вимиканні, а так само для діагностики під час роботи. Більш того, оновлене програмне забезпечення перетворювача можна завантажити через цей інтерфейс для зберігання в Flash пам'яті.

У одноквадрантних перетворювачах ланцюг якоря живиться від повністю керованого трифазного моста, а в чотирьохквадрантних модулях – від двох повністю керованих трифазних мостів, включених зустрічно-паралельно. На схему порушення живлення подається через однофазний напівкерований двохполуперіодний міст.

Напруга живлення якоря і схеми збудження може відрізнитися по частоті (в діапазоні від 45 до 65 Гц). Послідовність чергування фаз джерела живлення якоря значення не має.

With SIMOREG DC MASTER 60 A to 210 A, 575 V

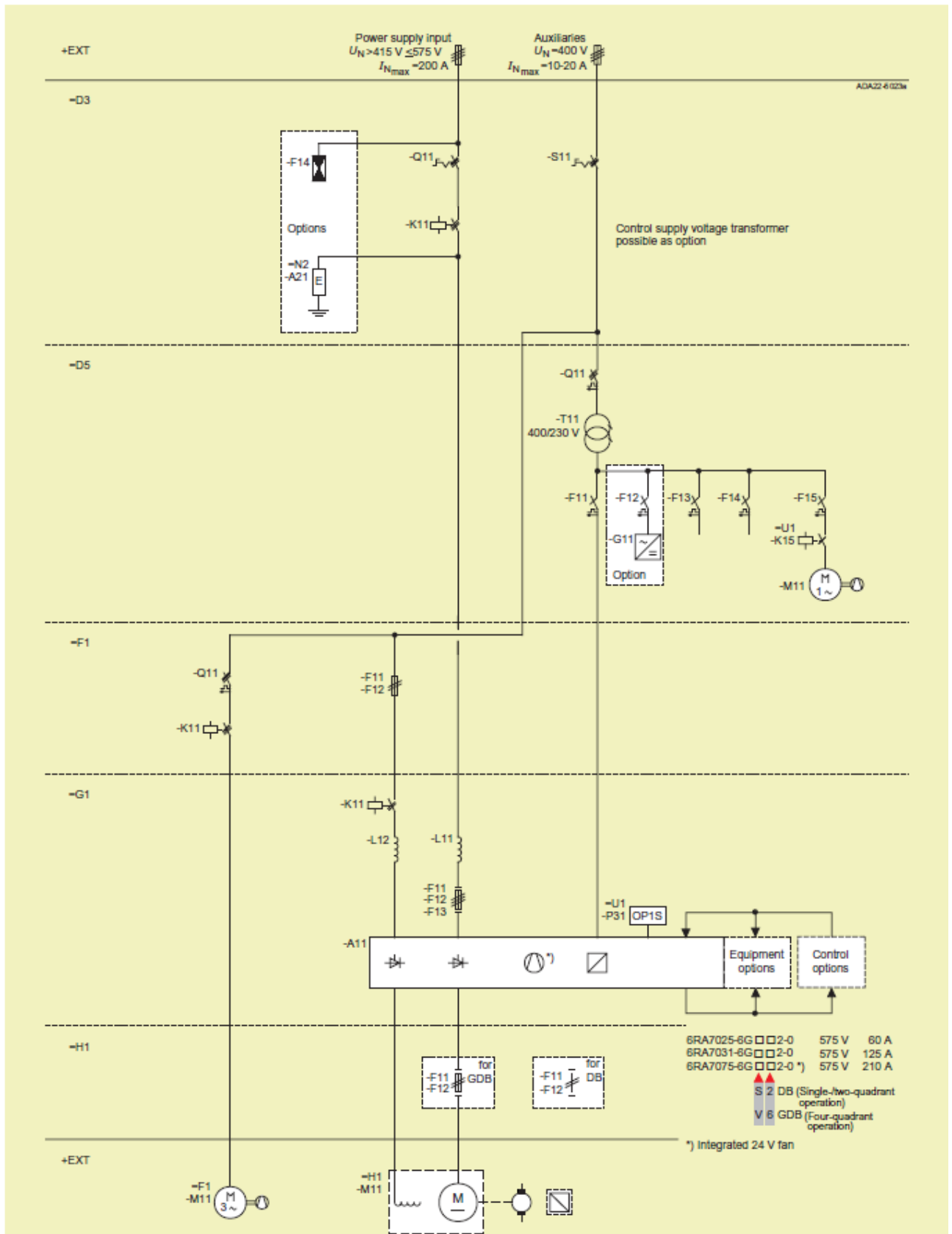


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема силовій частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER

3.3 Вибір силового трансформатора й згладжуючого дроселя

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

Для узгодження тиристорного перетворювача з живлячою мережею вибираємо з довідника [7] силовий трансформатор ТСЗП-400/10В3, технічні дані, якого наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні дані силового трансформатора ТНЗП-630/10У3 виконання 5 (Y / Δ) для живлення тиристорного перетворювача [7]

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Потужність, кВ А	$P_{\text{тр тп}} = 457$
Номінальна первинна напруга, В	$U_{1 \text{ тр тп}} = 6000$
Номінальна вторинна напруга, В	$U_{2 \text{ тр тп}} = 460$
Значення діючого струму вторинної обмотки, А	$I_{2 \text{ тр тп}} = 800$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{\text{хх тп}} = 1600$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{\text{кз тп}} = 6900$
Напруга короткого замикання%	$U_{\text{кз}\% \text{ тп}} = 4,75$
Струм холостого ходу%	$I_{\text{хх}\% \text{ тп}} = 1,8$
Маса, кг	$m_{\text{тр тп}} = 4000$

Оскільки двигун серії Д допускає роботу без згладжуючого реактора і за довідником не рекомендується використовувати його на дану напругу і струм, так як індуктивності якоря двигуна і трансформатора достатньо для

згладжування пульсацій, що виникають у роботі електропривода, то вибір згладжуючого реактора не проводиться. Це суттєво зменшить вартість і масогабаритні показники електроприводу.

3.4 Опис принципової схеми робочого рольгангу

Принципова схема силового ланцюга робочого рольганга перед чистовою кліттю наведена на рис. 3.2.

3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (перетворювача SIMOREG DC Master)

Для живлення електродвигунів використовуються комплектні тиристорні електроприводи SIMOREG DC Master 6RM7031-6FV02 (див. табл. 3.1) з реверсом струму в якірному ланцюзі, трансформаторне підключення до мережі, з лінійним контактором і пристроєм динамічного гальмування, з вбудованим пристроєм збудження двигуна; з програмованими засобами керування, з однозонної системою регулювання швидкості зі зворотнім зв'язком по швидкості від імпульсного датчика швидкості, з мережевими зв'язками Profibus DP і CAN.

Система захисту реагує на датчики аварій, а також на аварійні ситуації обчислювані програмно.

3.4.2 Резервування перетворювальної техніки

В якості резервного агрегату 54UZR, для живлення електродвигунів застосований комплектний тиристорний електропривод SIMOREG DC Master SIMOREG DC Master 6RM7031-6FV02 (див. табл. 3.1). Схема перемикання на резервний перетворювач наведена на рис. 3.2. Перемикання електродвигуна на живлення від резервного тиристорного перетворювача проводиться при відключеному живленні основних ланцюгів і зупиненому приводі.

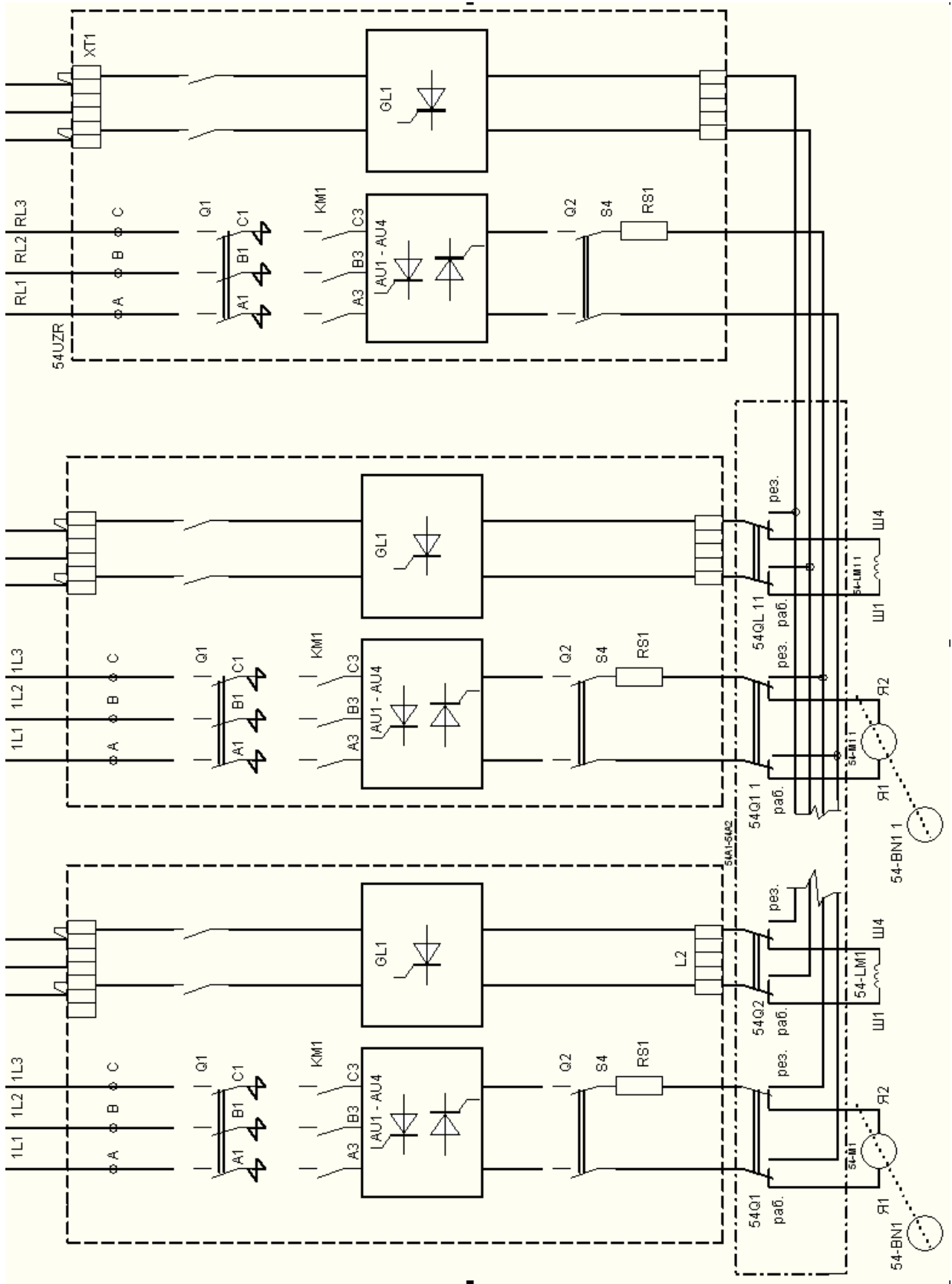


Рисунок 3.2 – Принципова схема силового ланцюга робочого рольганга перед чистою кліткою

3.5 Вимоги до системи автоматизації

Управління роботою робочих рольгангів – ручне і автоматичне.

Ручний режим управління використовується при налагодженні, випробуванні, нештатних і аварійних ситуаціях, а також у випадках тимчасових відмов у роботі.

Автоматичний режим управління є основним і укладає в собі автоматичну послідовність роботи механізмів функції в наявності металу у відповідному контрольному перерізі стану.

Узгодити швидкість рольгангів зі швидкістю кліті, примикаючих рольгангів 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 та обробка інформації датчиків наявності металу, пірометрів, та ін;
- зв'язок з іншими локальними системами супроводу металу та обміну інформацією;
- зв'язок з електроприводами по шині profibus через станцію віддаленого вводу-виводу ET200 та інших радіальних каналів;
- ситуаційно-логічне управління комплексом;
- введення параметрів і виведення 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 та взаємозамінні.

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

Кількість органів керування і сигналізації повинна бути узгоджена між проектувальниками електроприводів і АСКТП в ході проектування.

Апарати на пультах керування 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 робочими рольгангами перед і за чистової кліттю кварто здійснюється з поста керування чистової кліті ПУ4.

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ РОБОЧОГО РОЛЬГАНГУ

4.1 Математичний опис об'єкта керування

При синтезі системи керування приймаються звичайні для систем електроприводу допущення, лінійризуючі силову частину об'єкта керування – 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 сталі часу структурних елементів електроприводу приймаються незмінними.

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

Тиристорний перетворювач, як елемент системи регулювання, є нелінійним дискретним пристроєм. Його специфічні особливості полягають у наступному. Керування ТП здійснюється дискретно, тому що після відмикання чергового тиристора зміна сигналу керування 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 живлячої напруги останнього тиристора, що проводив струм у зв'язку з неможливістю закрити по ланцюгу керування відкритий тиристор. Останнє явище одержало назву неповної керуваності ТП.

У зв'язку із цим повне дослідження динамічних характеристик ТП є складним завданням, і на практиці застосовують різного роду спрощення. Найбільше поширення одержали два види моделей тиристорних перетворювачів: безперервна, у якій ТП представляється аперіодичною ланкою з коефіцієнтом $k_{\text{ТП}}$ і сталою часу $\tau_{\mu} = \frac{\pi}{m\omega_0}$ й імпульсна. Надалі, при синтезі

САК буде використана безперервна модель ТП.

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

порушення й т.п.) побудовані з функціональних блоків, реалізованих програмно. Внаслідок того, що швидкодія мікропроцесорів досить висока, ресурсів, яких крім усього іншого вистачає для реалізації системи захистів і сигналізації, здійснення моніторингу стану електропривода, діагностики збоїв і попереджень, інтерфейсу оператора й т.п., синтез системи регулювання може бути здійснений відповідно до традиційного настроювання контурів по модульному й симетричному оптимумах, 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.

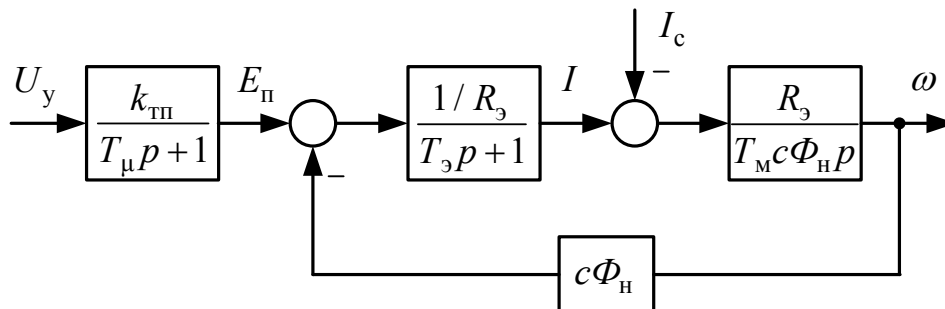


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електропривода

4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електропривода

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

$$E_{d0\text{ ТП}} = 1,35U_{2\text{ тр ТП}} = 1,35 \cdot 460 = 621 \text{ В} \quad (4.1)$$

де 1,35 – коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

$U_{2\text{ тр ТП}}$ – номінальна напруга на вторинній обмотці силового

трансформатора, В (див. табл. 3.2).

Кругова частота першої гармоніки випрямленої напруги:

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

де f_c – частота живлячої мережі, Гц;

m_ϕ – число фаз випрямлення.

Активний, індуктивний і повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр тп}} = \frac{\Delta P_{\text{кз тп}} U_{2 \text{ тр тп}}^2}{P_{\text{тр тп}}^2} = \frac{6900 \cdot 460^2}{(457 \cdot 10^3)^2} = 7 \cdot 10^{-3} \quad (4.3)$$

$$z_{\text{тр тп}} = \frac{U_{\text{кз\% тп}} U_{2 \text{ тр тп}}}{100 I_{2 \text{ тр тп}} \sqrt{3}} = \frac{4,75 \cdot 460}{100 \cdot 800 \cdot \sqrt{3}} = 15,769 \cdot 10^{-3} \quad (4.4)$$

$$x_{\text{а тр тп}} = \sqrt{z_{\text{тр тп}}^2 - r_{\text{тр тп}}^2} = \sqrt{15,769 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-3}} = 8,769 \cdot 10^{-3} \quad (4.5)$$

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, %;

$I_{2 \text{ тр тп}}$ – значення діючого струму вторинної обмотки трансформатора,

А.

Індуктивність силового трансформатора, наведена у ланцюзі випрямленого струму:

$$L_{\text{тр тп}} = \frac{x_{\text{а тр тп}}}{2\pi f_c} = \frac{8,769 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 27,626 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (4.6)$$

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

Індуктивність якоря двигуна визначається по емпіричній формулі:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{U_{\text{н}}}{2p \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}} = 6 \frac{440}{2 \cdot 270 \cdot 93} = 52,569 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (4.7)$$

де k – постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції електродвигуна ($k = 5 \dots 6$ - для компенсованих машин);

$U_{\text{н}} = 440 \text{ В}$ – номінальна напруга електродвигуна;

$I_{\text{н}} = 93 \text{ А}$ – номінальний струм електродвигуна;

$2p = 2$ – число пар полюсів електродвигуна;

$n_{\text{н}} = 270 \text{ про/хв}$ – номінальна частота обертання електродвигуна.

Сумарний опір якріного ланцюга електродвигуна:

$$r_{\text{я.дв}} = \beta(r_{\text{я}} + r_{\text{дп}}) = 1,32(0,065 + 0,034) = 0,128 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

де $\beta = 1,32$ – температурний коефіцієнт двигуна, що враховує зміну опору при нагріванні машини на 80°C ;

$r_{\text{я}} = 0,065 \text{ Ом}$ – опір обмотки якоря (холодний) при 20°C ;

$r_{\text{дп}} = 0,034 \text{ Ом}$ – опір додаткових полюсів (холодний).

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 8,679 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 8,288 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.9)$$

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

$x_{\text{а}} = 8,679 \text{ мОм}$ – повний опір силового трансформатора.

При синусоїдальній опорній напрузі СІФК перетворювача, характеристика вхід-вихід ТП лінійна й коефіцієнт передачі ТП по напрузі розраховується за формулою:

$$k_{\text{тп}} = \frac{E_{\text{д0}}}{U_{\text{у max}}} = \frac{621}{10} = 62,1 \quad (4.10)$$

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

Еквівалентний активний опір якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ &= 0,128 + 2(7 \cdot 10^{-3}) + 8,288 \cdot 10^{-3} + 12,8 \cdot 10^{-3} = 0,293 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.11)$$

де $r_{\text{я.дв}} = 0,128$ мОм – активний опір якорного ланцюга двигуна;

$r_{\text{тр}} = 7$ мОм – активний опір силового трансформатора;

$r_{\text{к}} = 8,288$ мОм – комутаційний опір;

$r_{\text{ш}} = 0,1r_{\text{я.дв}} = 0,1 \cdot 0,128 = 12,8$ мОм – активний опір шин або кабелю, що

з'єднують ТП із якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} = 52,569 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 27,626 \cdot 10^{-6} = 0,053 \text{ Гн} \quad (4.12)$$

Сумарний наведений момент інерції електропривода:

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}} = 5,75 + 51 + 80 = 136,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.13)$$

де $J_{\text{дв}} = 5,75$ кгм² – момент інерції електродвигуна (див. табл. 2.1)

$J_{\text{р}} = 51$ кг · м² - момент інерції ролика;

$J_{\text{м}}$ - момент інерції транспортуемого злитку, кг · м².

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}r_{\text{я.дв}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{440 - 93 \cdot 0,128}{28,26} = 15,148 \text{ Вс} \quad (4.14)$$

де $\omega_{\text{н}} = 28,26$ 1/с – номінальна швидкість електродвигуна.

Електромагнітна стала часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,053}{0,293} = 0,18 \text{ с} \quad (4.15)$$

Електромеханічна стала часу електропривода:

$$T_M = \frac{J'_\Sigma R_3}{c\Phi_H^2} = \frac{136,75 \cdot 0,293}{15,148^2} = 0,2 \text{ с} \quad (4.16)$$

Сталу часу ТП через наявність у ньому й взагалі в системі малих неврахованих інерційності, приймаємо $T_\mu \approx 5 \text{ мс}$.

4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму будемо вважати, що електромеханічна стала часу набагато більша електромагнітної сталої часу T_3 . Можна також зневажати зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, вважаючи її збурюючим впливом у контурі струму.

Структурна схема контуру струму представлена на рисунку 4.2.

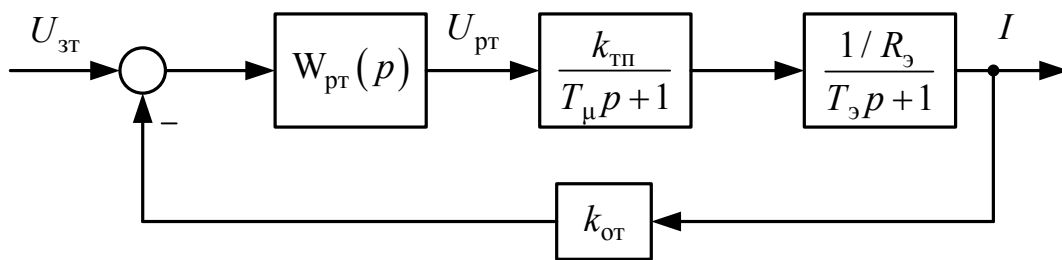


Рисунок 4.2 - Структурна схема контуру струму

У якості малої сталої часу контуру струму ухвалюємо малу постійну ТП $T_\mu = 5 \text{ мс}$. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

Передатна функція регулятора має вигляд:

$$W_{р\tau}^M(p) = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{тп} k_{от} 2T_\mu p} = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{k_{тп} k_{от} T_{от} p} = k_{р\tau\Pi} + \frac{k_{р\tau И}}{p} \quad (4.17)$$

Пропорційна й інтегральна частина Пі-регулятора струму:

$$k_{р\tau\Pi} = \frac{R_3 T_3}{k_{тп} k_{от} T_{от}} = \frac{0,293 \cdot 0,18}{62,1 \cdot 0,043 \cdot 0,01} = 1,975 \quad (4.18)$$

$$k_{\text{рТИ}} = \frac{R_3}{k_{\text{ТП}} k_{\text{от}} T_{\text{от}}} = \frac{0,293}{62,1 \cdot 0,043 \cdot 0,01} = 10,973 \quad (4.19)$$

де $T_3 = 0,18$ з – електромагнітна стала часу системи ТП-Д;

$k_{\text{ТП}} = 62,1$ – коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

$$k_{\text{от}} = \frac{U_{\text{зт.мах}}}{I_{\text{мах}}} = \frac{10}{232,5} = 0,043 \quad \text{В/А} \quad \text{– коефіцієнт передачі ланцюга}$$

зворотного зв'язка по струму;

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

$I_{\text{мах}} = 2,5I_{\text{н}} = 2,5 \cdot 93 = 232,5$ А – максимально допустимий струм якоря двигуна (струм упору);

$T_{\text{от}} = 2T_{\mu} = 2 \cdot 0,005 = 0,01$ с – стала 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 рис 4.3. Розраховані величини пропорційної й інтегральної частин регулятора струму при налагодженні електропривода необхідно встановити в параметрах P155.F і P156.F відповідно.

Для формування сигналу, пропорційного реальному струму якоря двигунів використовується канал аналогового входу (клеми X174.4 і X174.5 на рис. 4.4), на які подається напруга з датчика напруги, підключеного до вимірювального шунта. Шунт необхідно встановити в якірному ланцюзі двигуна. Далі сигнал фільтрується апаратним згладжуванням, оцифровується аналого-цифровим перетворювачем А/D, нормується по величині до 100% параметром P701.F і далі при необхідності інвертується за допомогою параметра P703, програмно фільтрується й на виході конектора K0011 виходить програмний сигнал, пропорційний реальному току.

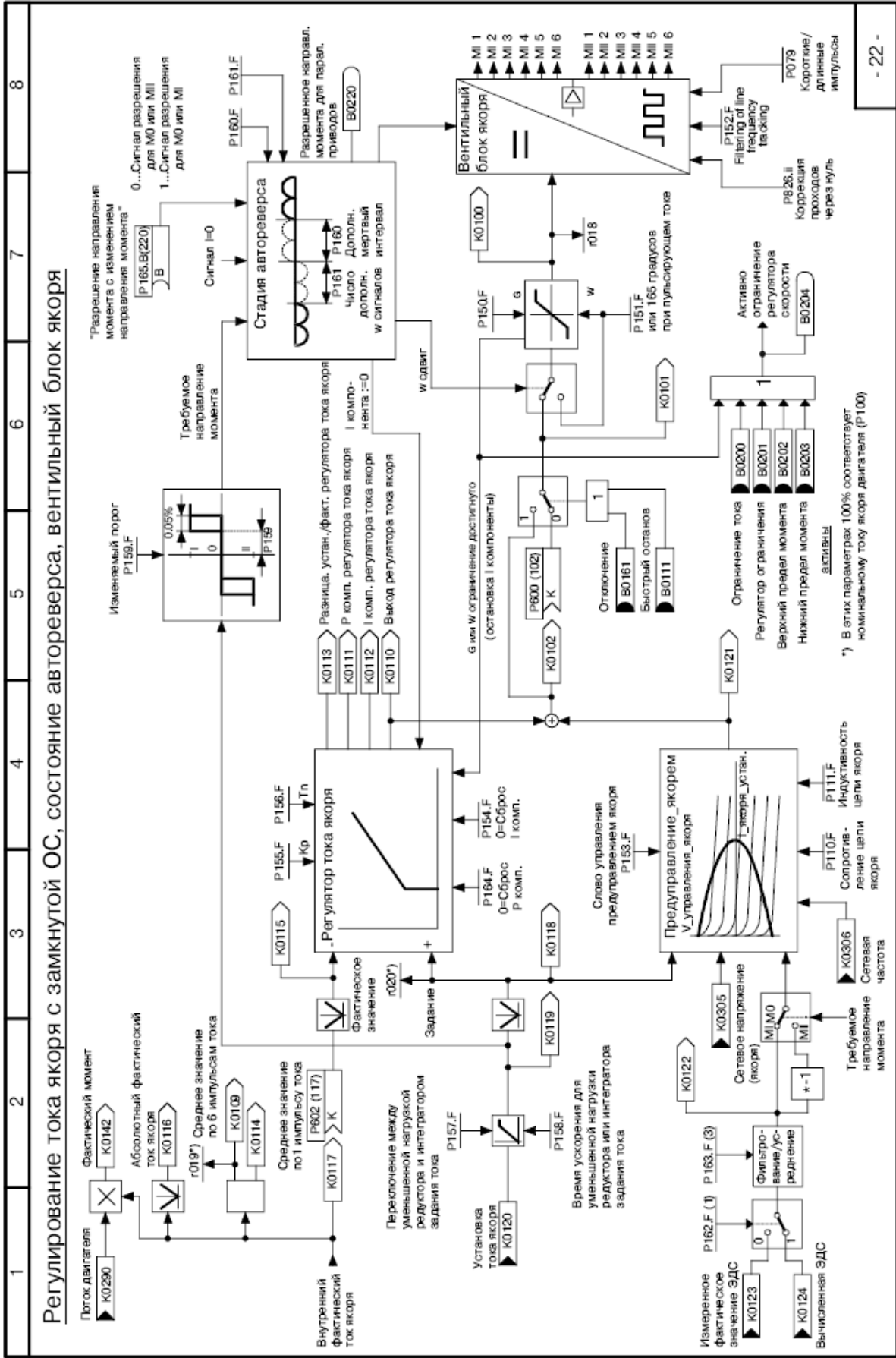


Рисунок 4.3 – Функціональна схема контуру регулювання струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

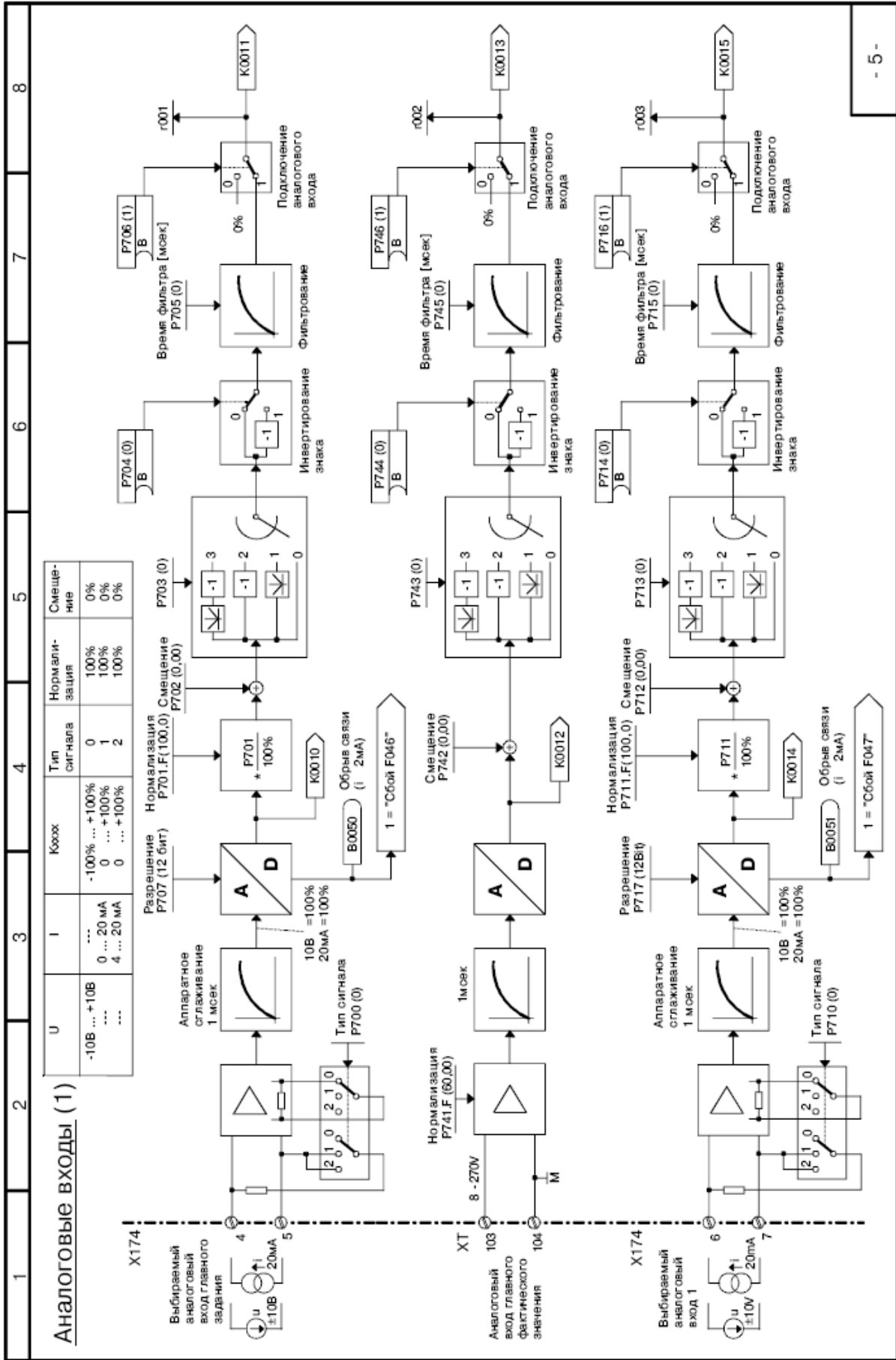


Рисунок 4.4 – Канал формирования сигнала возвратного зв'язку по струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

4.4 Синтез регулятора швидкості

Структурна схема контуру швидкості зі згорнутим контуром струму (оскільки T_μ - мала стала часу, то добутком $T_{от}T_\mu$ можна зневажити) наведено на рисунку 4.5.

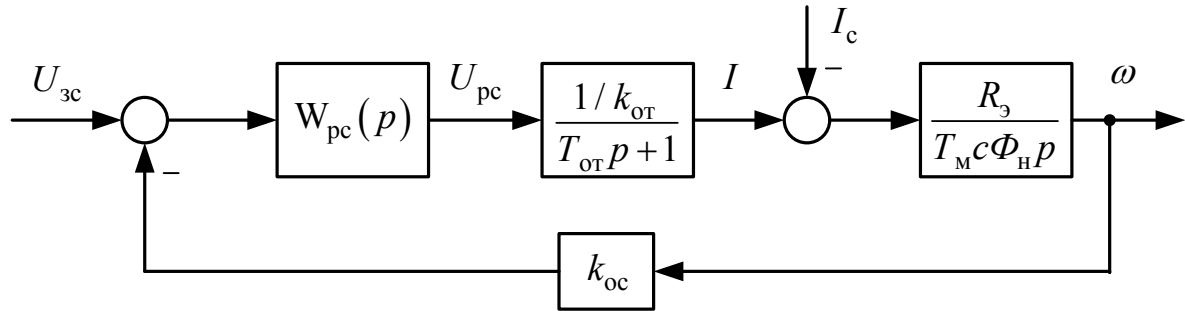


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

Оскільки вимоги до статичної помилки регулювання в межах 5%, контур швидкості виконуємо двократно-інтегруючим (з ПІ-регулятором), тобто здійснюємо налаштування на симетричний оптимум. У цьому випадку передатна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{рс}^c(p) = \frac{T_м c \Phi_н k_{от}}{R_э k_{ос}} \frac{4T_{от} p + 1}{4T_{от} p} = \frac{T_м c \Phi_н k_{от}}{R_э k_{ос} T_{ос}} \frac{2T_{ос} p + 1}{2T_{ос} p} = k_{рс\Pi} + \frac{k_{рсИ}}{p} \quad (4.20)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора швидкості:

$$k_{рс\Pi} = \frac{T_м c \Phi_н k_{от}}{R_э k_{ос} T_{ос}} = \frac{0,2 \cdot 15,148 \cdot 0,043}{0,293 \cdot 0,354 \cdot 0,02} = 62,8 \quad (4.21)$$

$$k_{рсИ} = \frac{T_м c \Phi_н k_{от}}{R_э k_{ос} 2T_{ос}^2} = \frac{0,2 \cdot 15,148 \cdot 0,043}{0,293 \cdot 0,354 \cdot 2 \cdot 0,02^2} = 784,9 \text{ 1/с} \quad (4.22)$$

де $T_м = 0,2$ с – електромеханічна стала часу системи ТП-Д;

$$k_{ос} = \frac{U_{зс.max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{28,26} = 0,354 \text{ Вс} \text{ – коефіцієнт передачі ланцюга зворотного}$$

зв'язка по швидкості;

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

$\omega_{маx} = \omega_H = 28,26$ 1/с – максимальна швидкість електродвигуна;

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

при настроюванні на симетричний оптимум.

Для зниження перерегулювання швидкості при налаштуванні контурів на симетричний оптимум на його вході, встановлюємо фільтр з передавальної функцією:

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

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

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

У якості датчика швидкості вибираємо імпульсний датчик HOG 10 DN концерну Huebner Berlin – 1024 імпульсу/оберт.

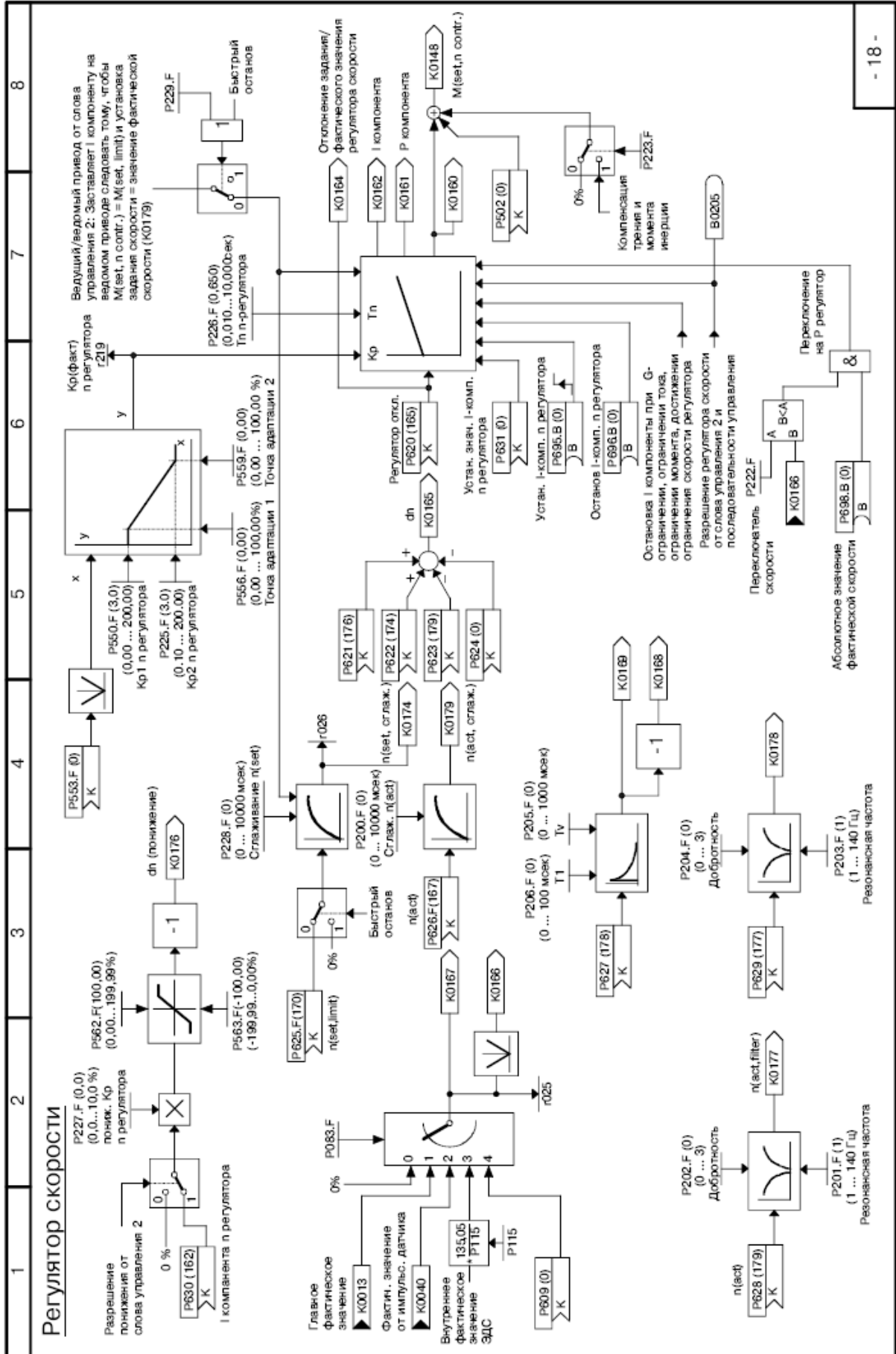


Рисунок 4.6 – Функціональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

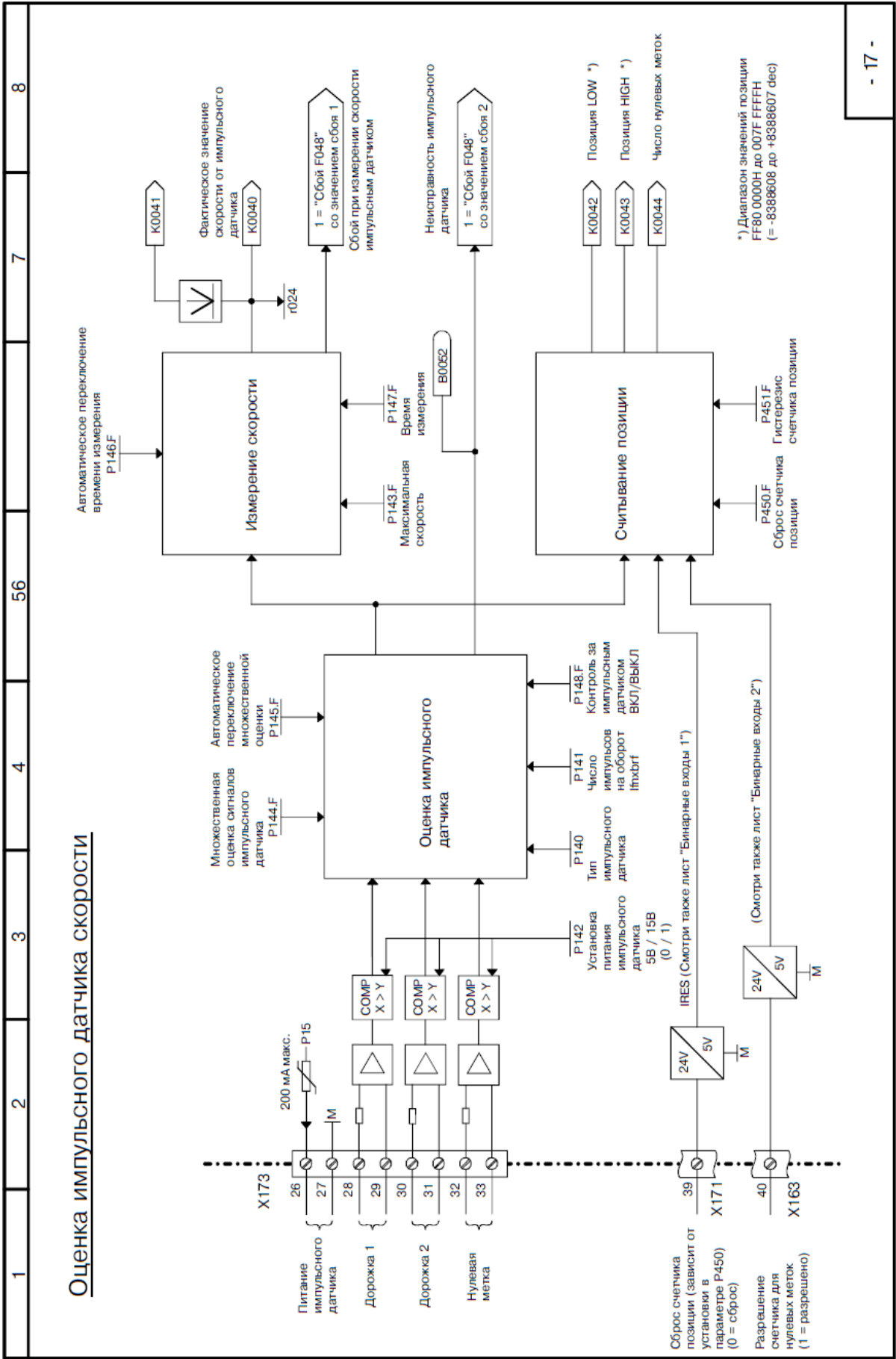


Рисунок 4.7 – Функціональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

4.5 Розрахунки задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону та гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим вставки токообмеження ($I_{\max} = 2,5I_{\text{н}}$) необхідно на вході регулятора швидкості встановити задатчик інтенсивності швидкості (ЗІШ). Він перетворить східчастий сигнал завдання швидкості в лінійно мінливий сигнал у часі. Значення напруги виходу ЗІШ, що встановилося, яке подається на вхід регулятора швидкості, дорівнює вхідному сигналу. Структурну схему задатчика інтенсивності наведено на рисунку 4.8.

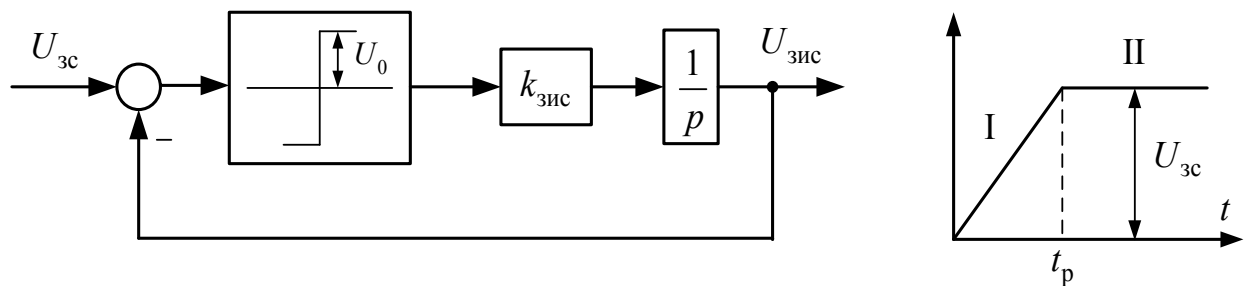


Рисунок 4.8 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідну напругу задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

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

II ділянка:

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

де $I_{\text{дин}} = I_{\text{н}} = 93$ А - заданий динамічний струм;

$\omega_{\text{з.уст}} = 13,85$ 1/с- усталена швидкість (швидкість транспортування злитка), відповідна $U_{\text{зс}}$;

$U_{\text{зс}} = 10$ В - напруга на вході напруги виходу ЗІШ (напруга, що задає);

$U_0 = 10$ В – «полка» релейного елемента.

Зі співвідношення (4.24) визначимо час розгону двигуна до встановленої швидкості:

$$t_p = \frac{T_M c \Phi_H}{R_3} \cdot \frac{\omega_{з.уст}}{I_{дин}} = \frac{0,2 \cdot 15,148}{0,293} \cdot \frac{13,85}{93} = 1,475 \text{ с} \quad (4.26)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{зис} = \frac{U_{зс}}{t_p} = \frac{10}{1,475} = 6,78 \text{ В/с} \quad (4.27)$$

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 наведена структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування електропривода.

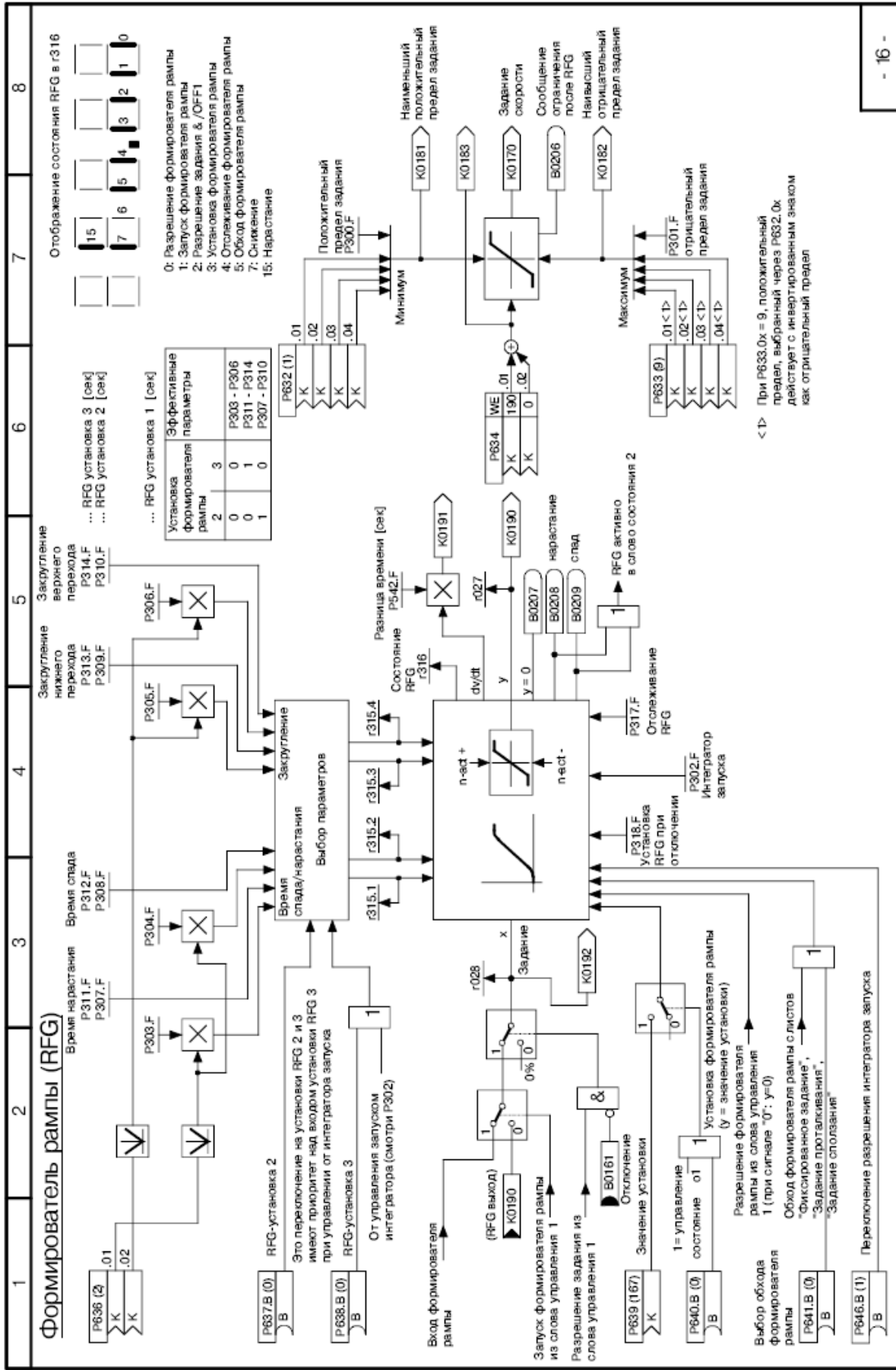


Рисунок 4.8 – Функциональна схема задатчика інтенсивності в перетворювачі SIMOREG DC Master

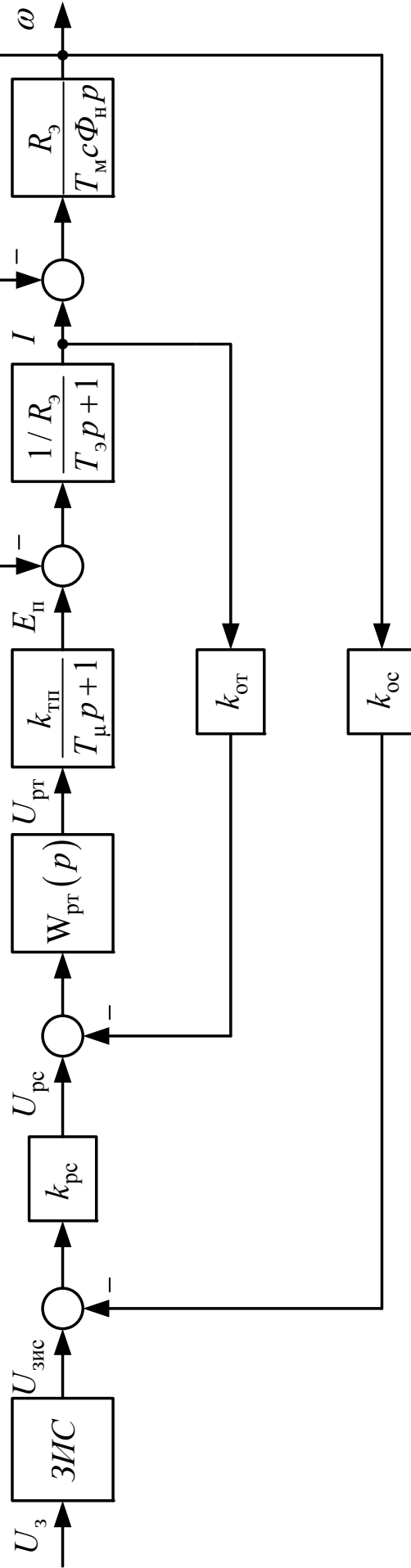


Рисунок 4.9 – Структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування

5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА РОБОЧОГО РОЛЬГАНГУ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

Цифрове моделювання розрахованої системи здійснюється в середовищі моделювання динамічних систем Matlab/Simulink. Створена Simulink-модель швидкісної системи підлеглого управління електроприводом робочого рольганга, що має у своєму складі Пі-регулятор струму, П-регулятор швидкості й 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 й швидкості в цифровій моделі враховувалося їхнє насичення. Наприклад, при побудові моделі Пі-регулятора недостатньо обмежити тільки лише 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. Із 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 (див. рис. 5.3).

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 при номінальних параметрах об'єкта керування, так і при їхній варіації наведені на рис. 5.5 - 5.7.

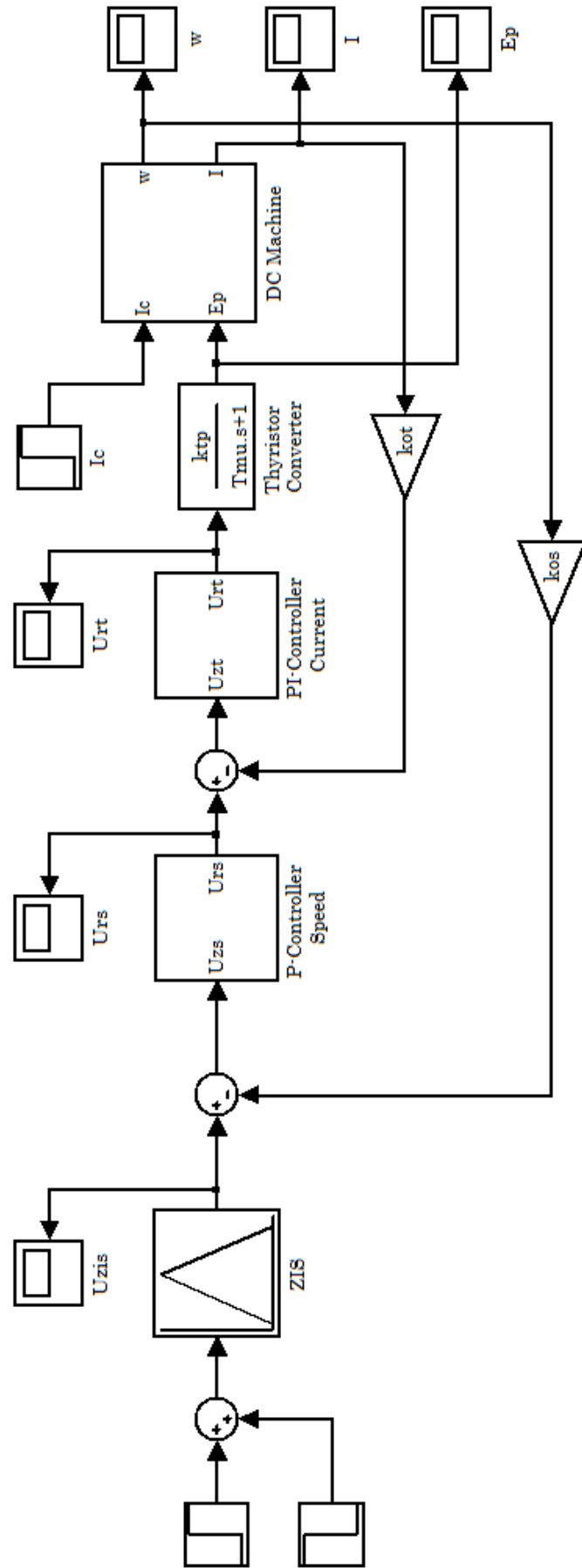


Рисунок 5.1 – Simulink-Модель швидкісної системи підлеглого управління

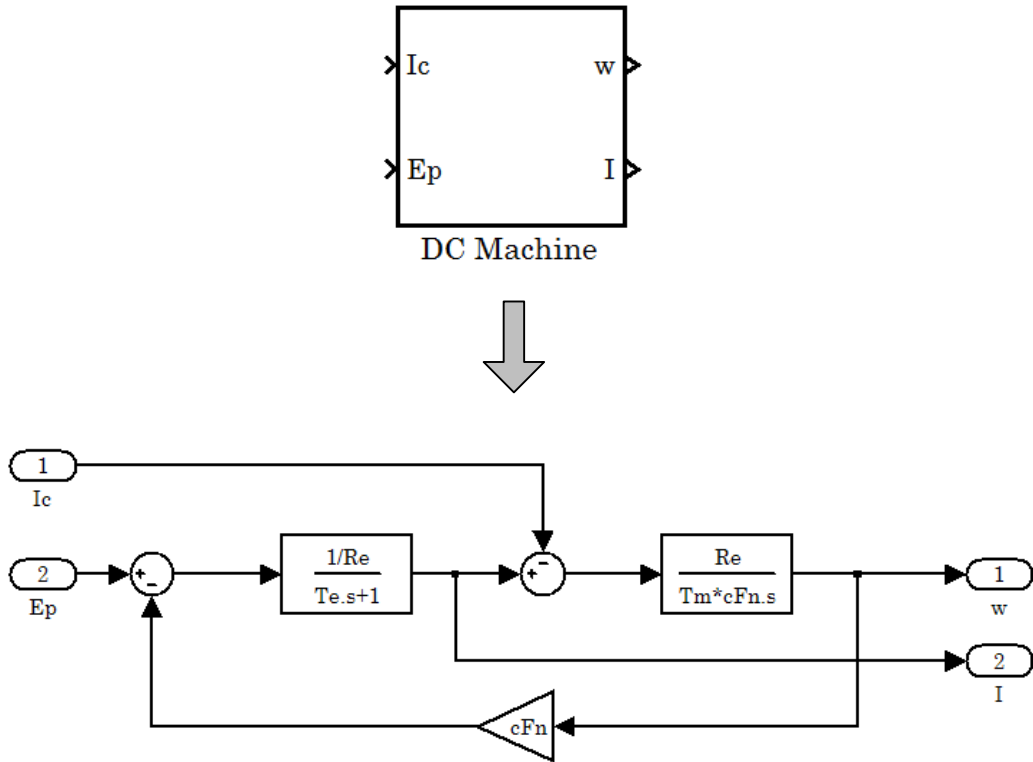


Рисунок 5.2 – Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

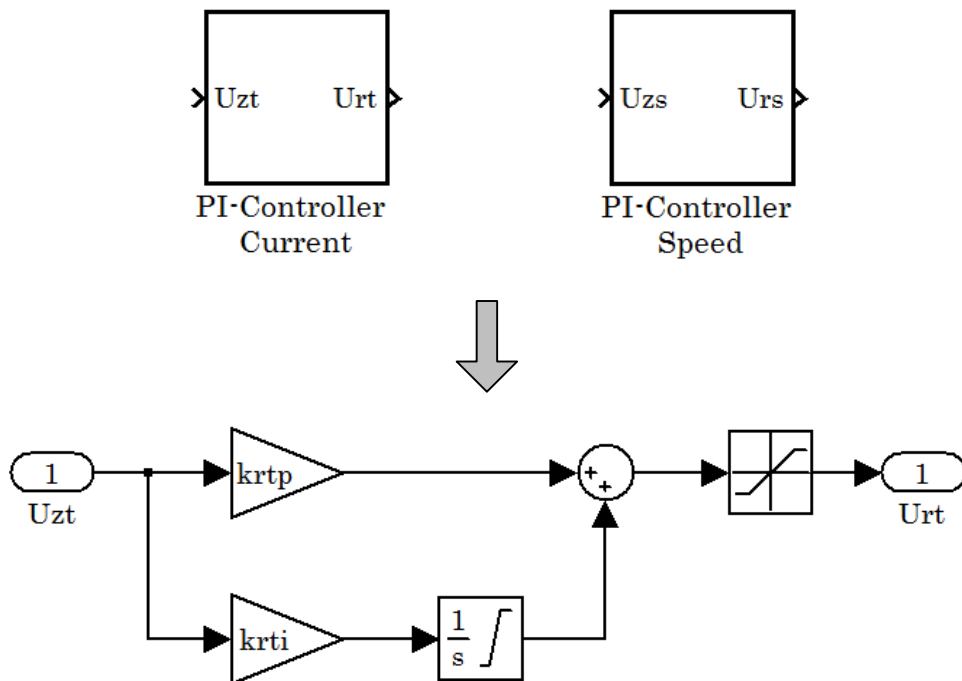


Рисунок 5.3 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-Controller Current) і швидкості (PI-Controller Speed), враховуюча поріг насичення регулятора

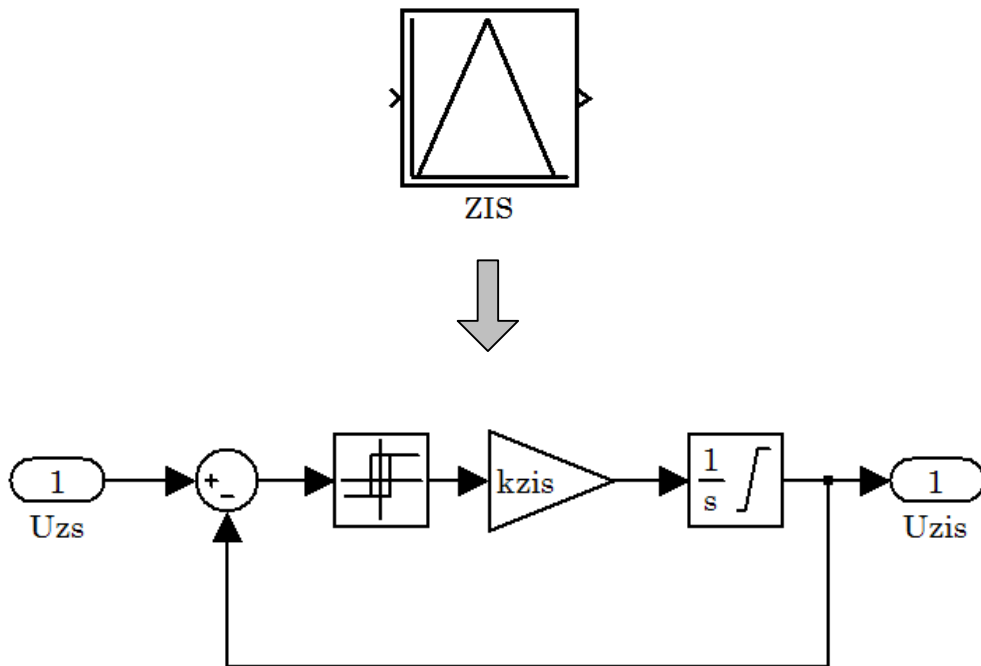


Рисунок 5.4 – Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS), що реалізує раціональну динаміку

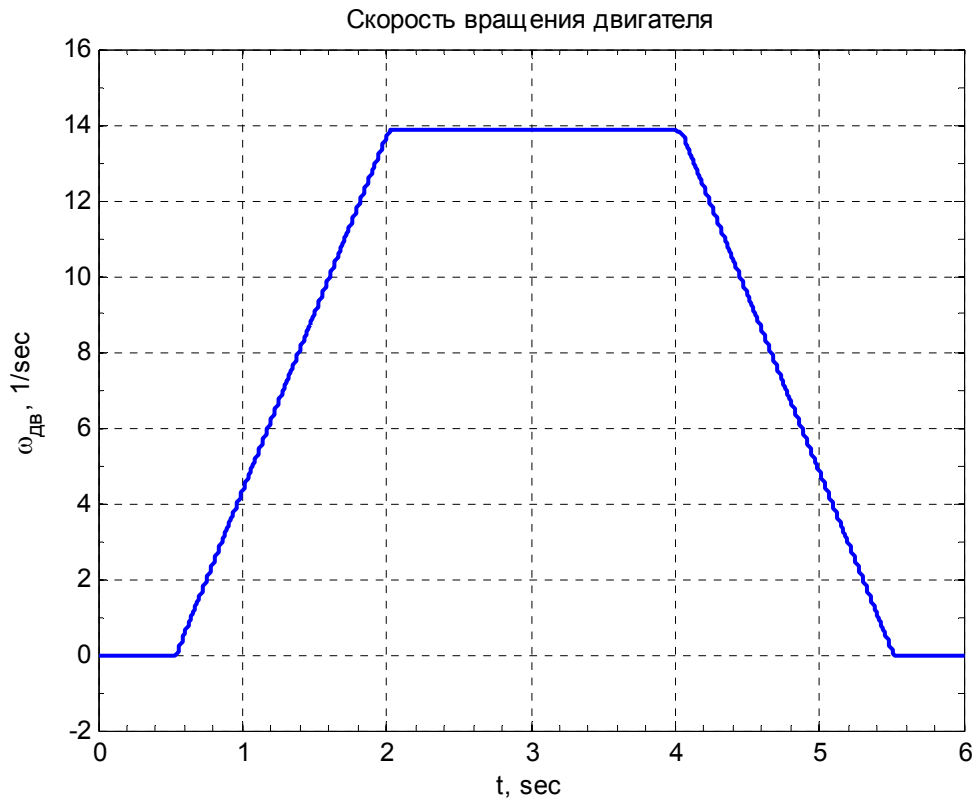


Рисунок 5.5 – График переходного процесса скорости обертання двигуна ($I_c = 0,3I_H$)

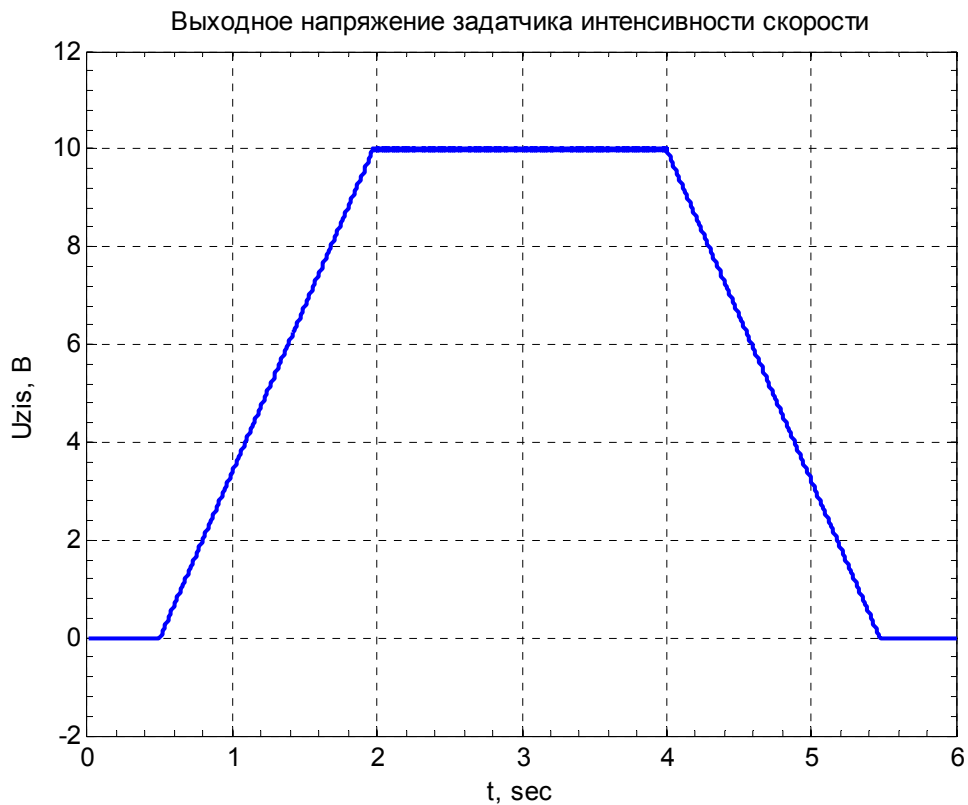


Рисунок 5.6 – Графіки переходного процесу напруги датчика інтенсивності швидкості ($I_c = 0,3I_H$)

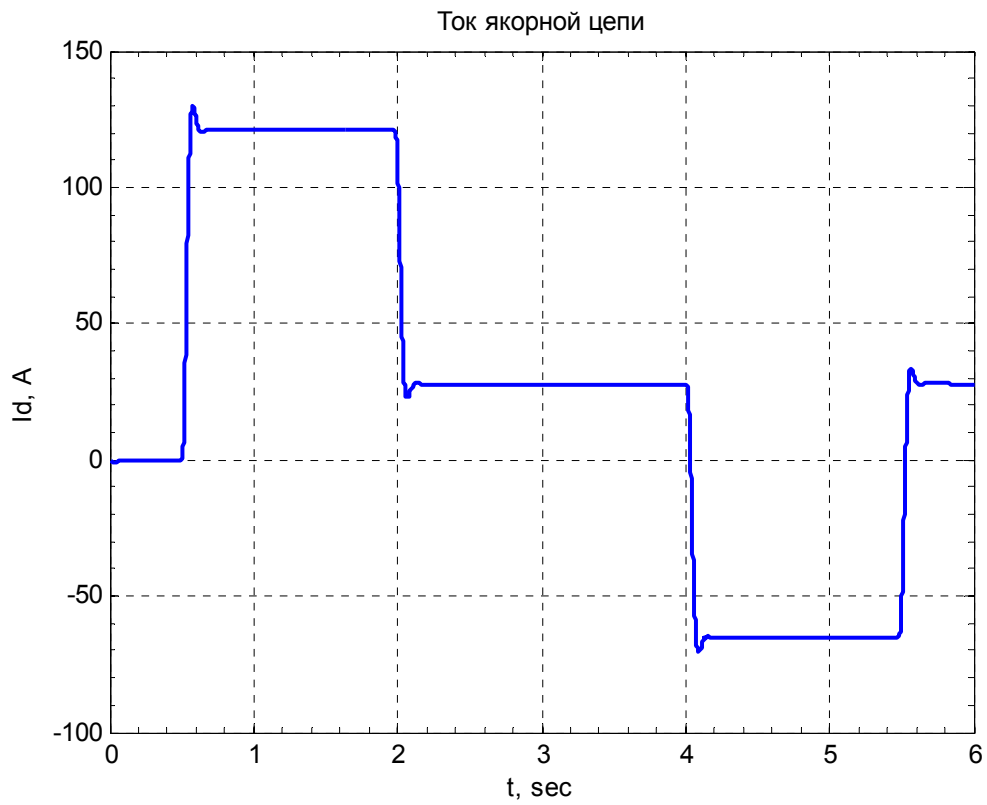


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу струму якоря ($I_c = 0,3I_H$)

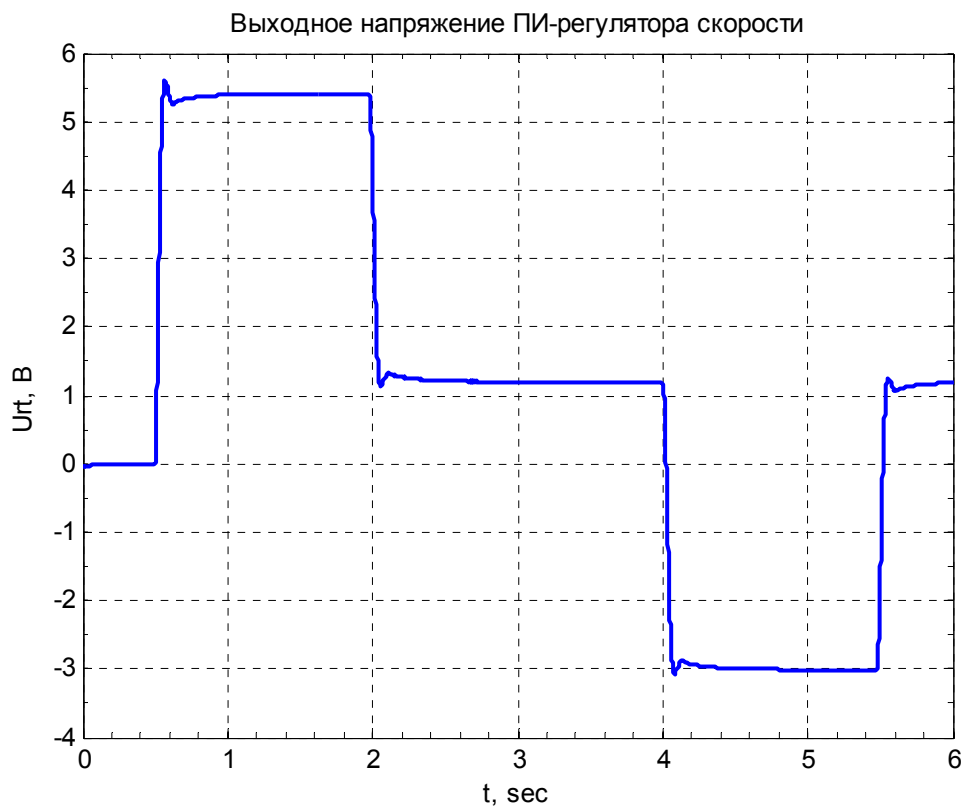


Рисунок 5.7 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора швидкості ($I_c = 0,3I_H$)

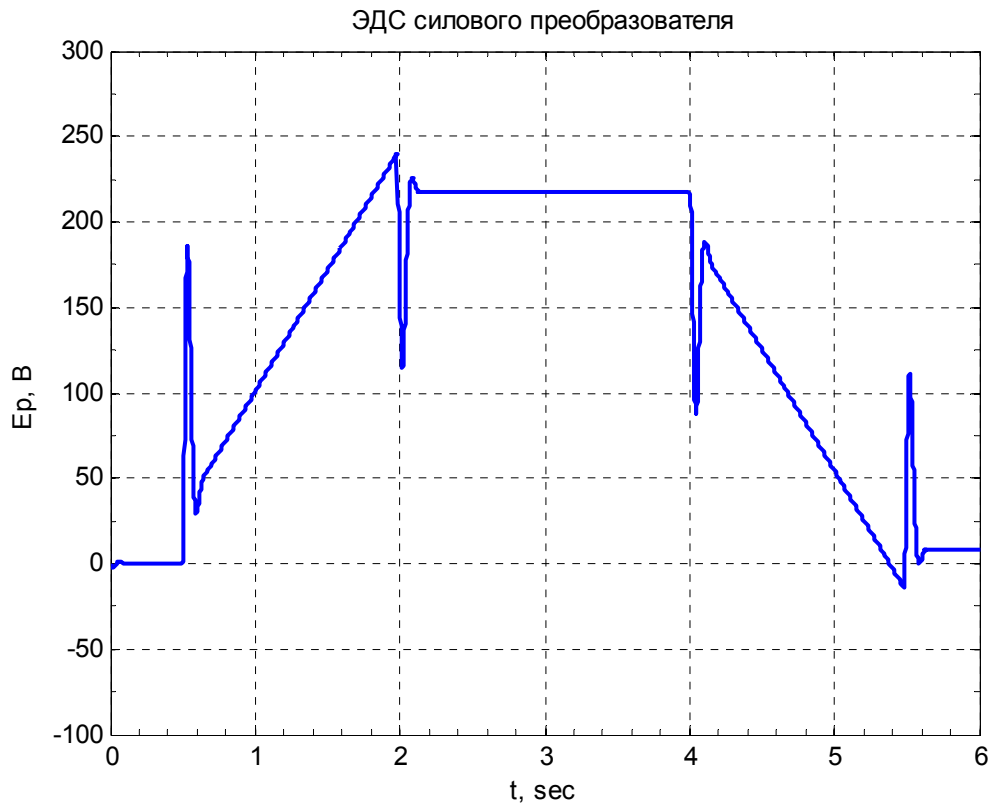


Рисунок 5.8 – Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача ($I_c = 0,3I_H$)

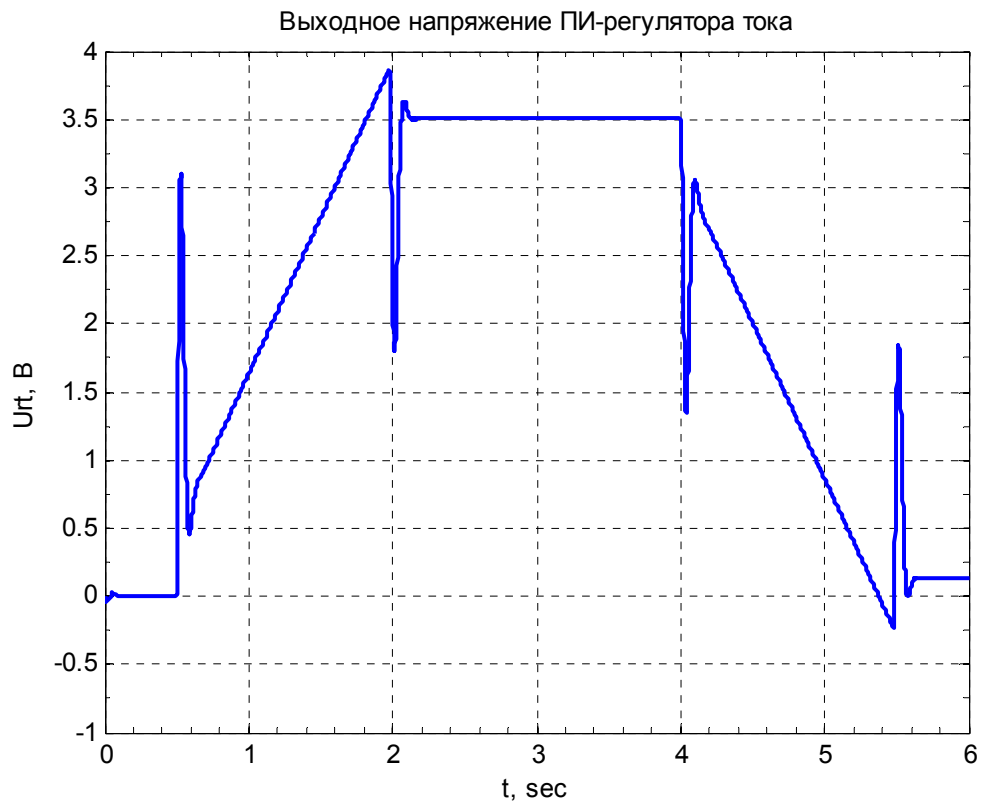


Рисунок 5.9 – Графік перехідного процесу напруги Пі-регулятора струму ($I_c = 0,3I_H$)

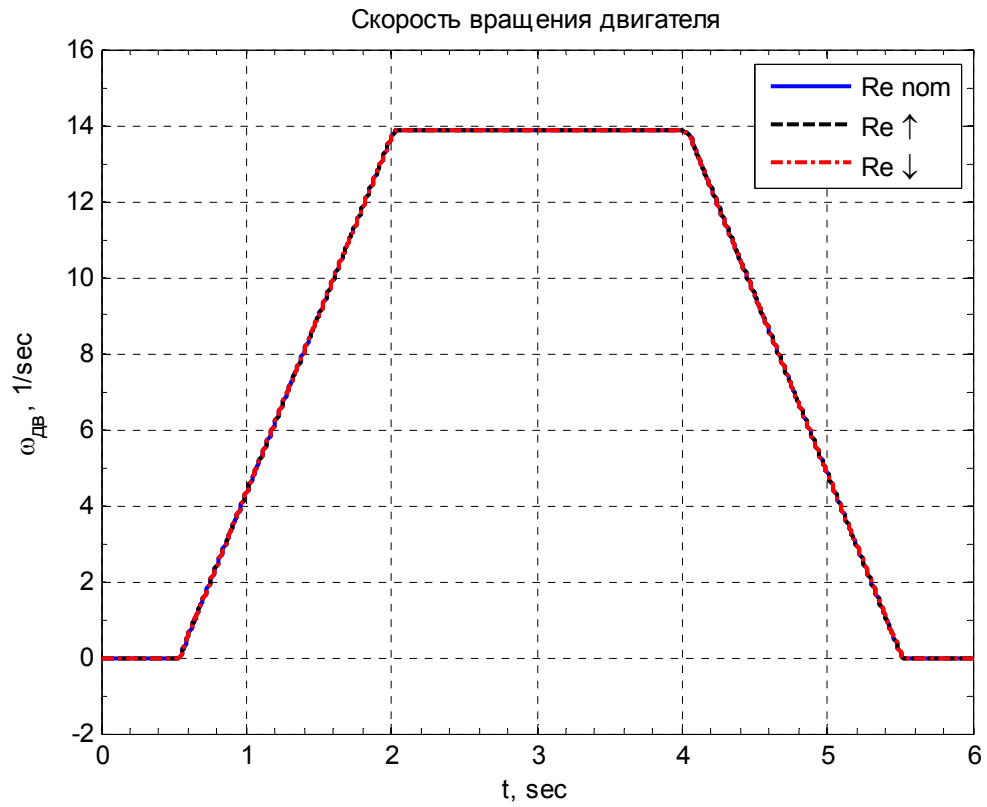


Рисунок 5.10 – Графики переходного процесса швидкості обертання двигуна при зміні R_e в 2 рази

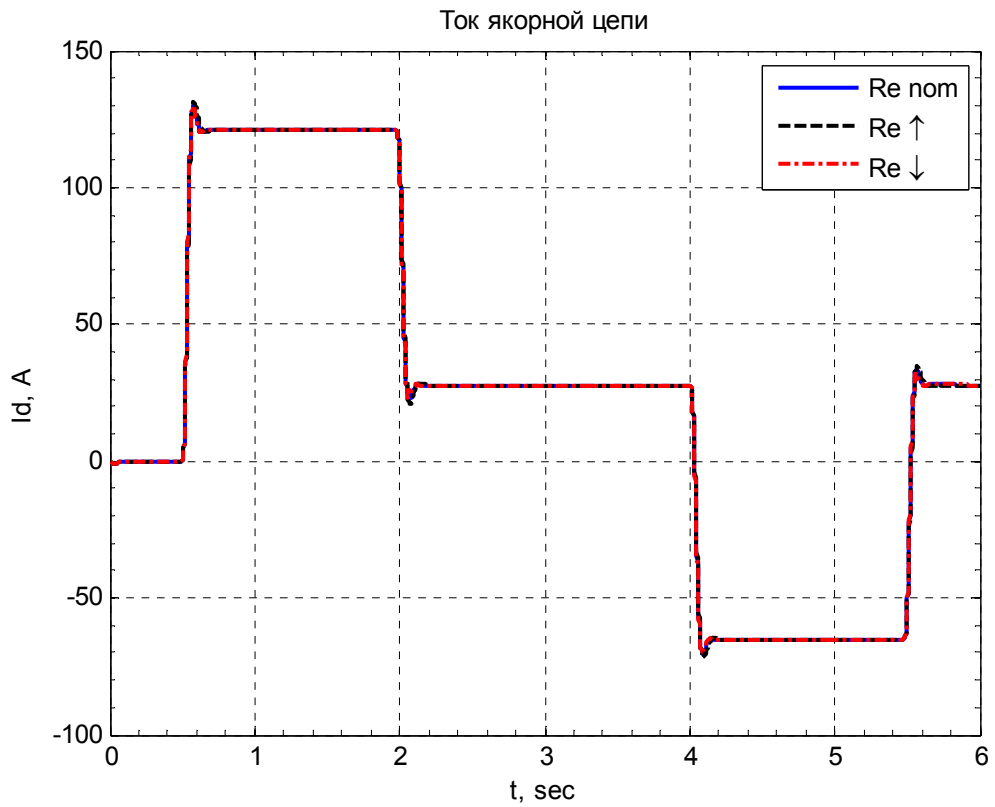


Рисунок 5.11 – Графік переходного процесу струму якоря при зміні R_e в 2 рази

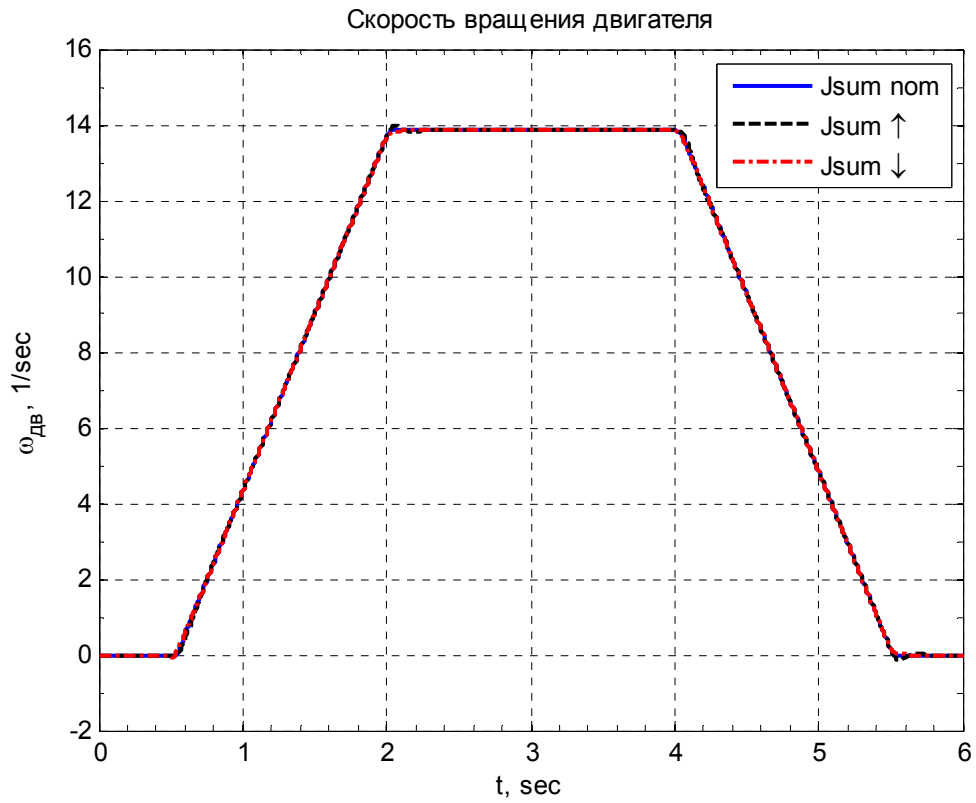


Рисунок 5.12 – Графики переходного процесса скорости вращения двигателя при изменении J'_{Σ} в 2 раза

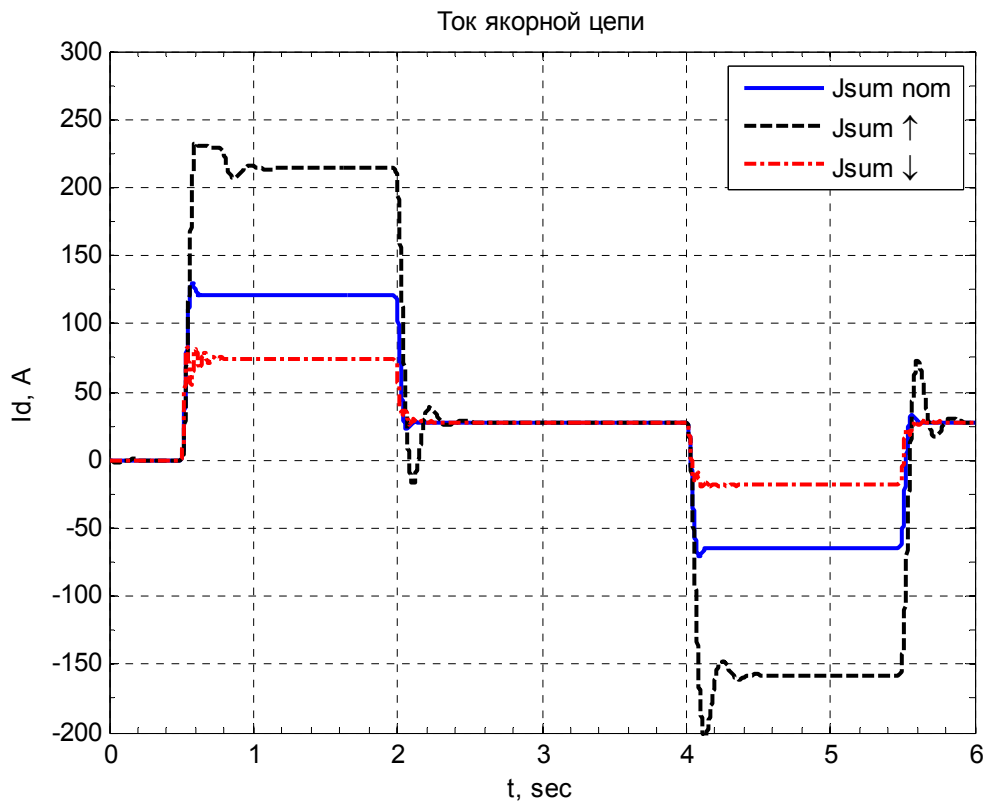


Рисунок 5.13 – Графики переходного процесса тока якоря при изменении J'_{Σ} в 2 раза

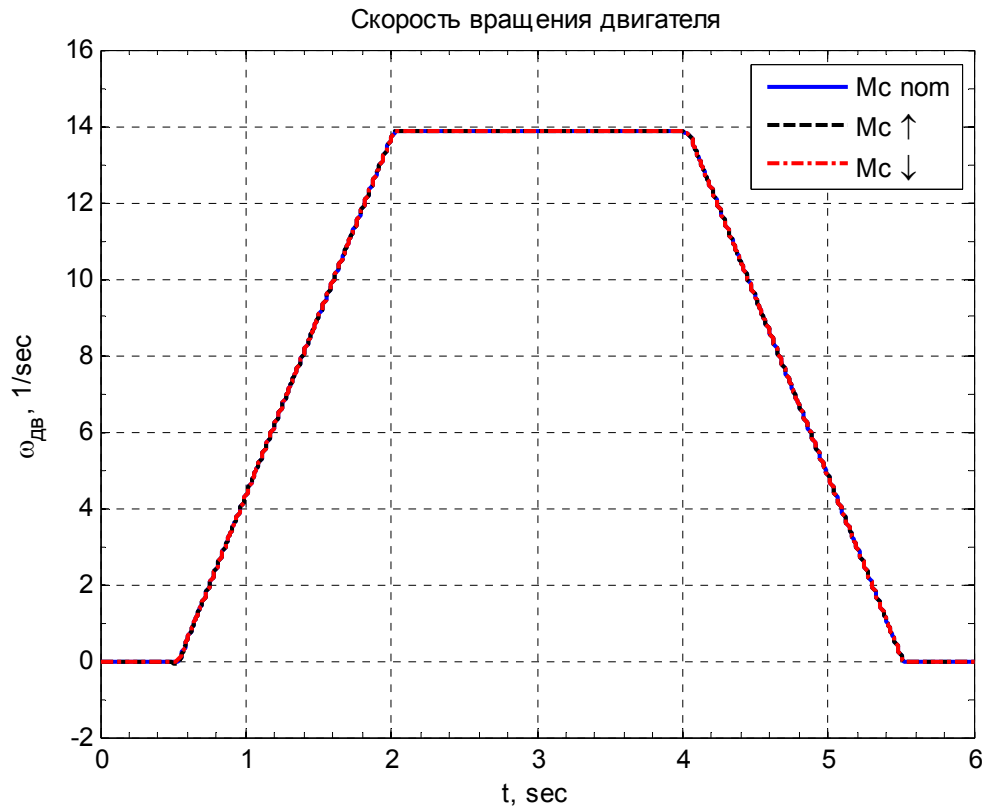


Рисунок 5.14 – Графики переходного процесса швидкості обертання двигуна при зміні M_c в 2 рази

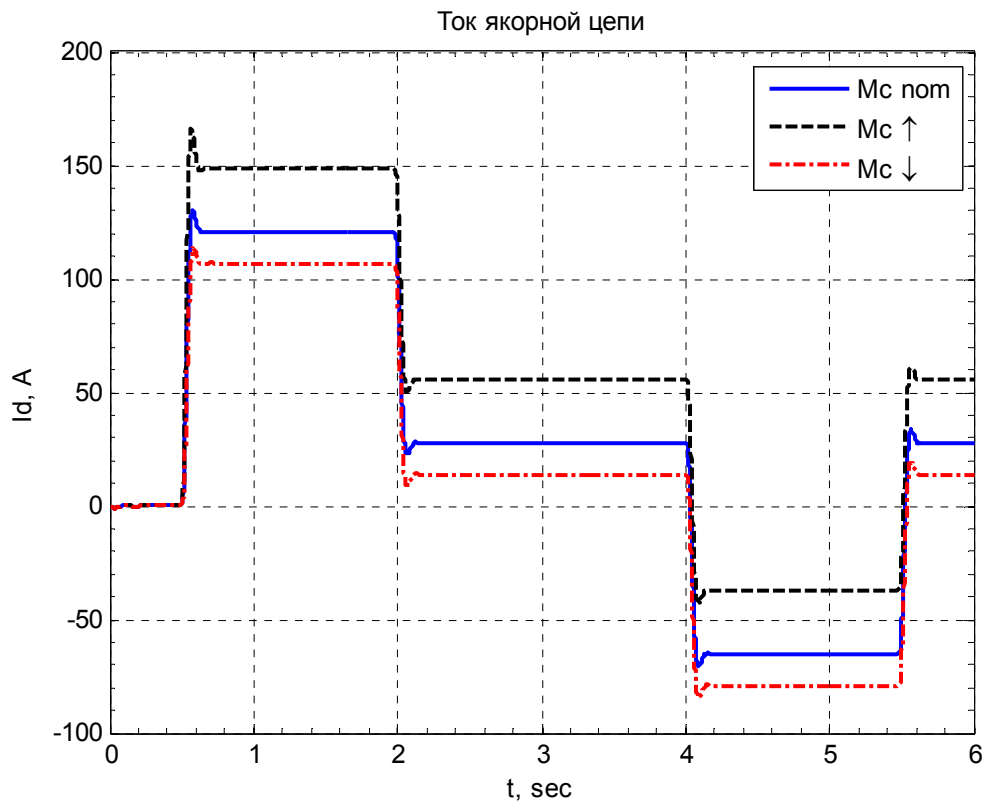


Рисунок 5.15 – Графік переходного процесу струму якоря при зміні M_c в 2 рази

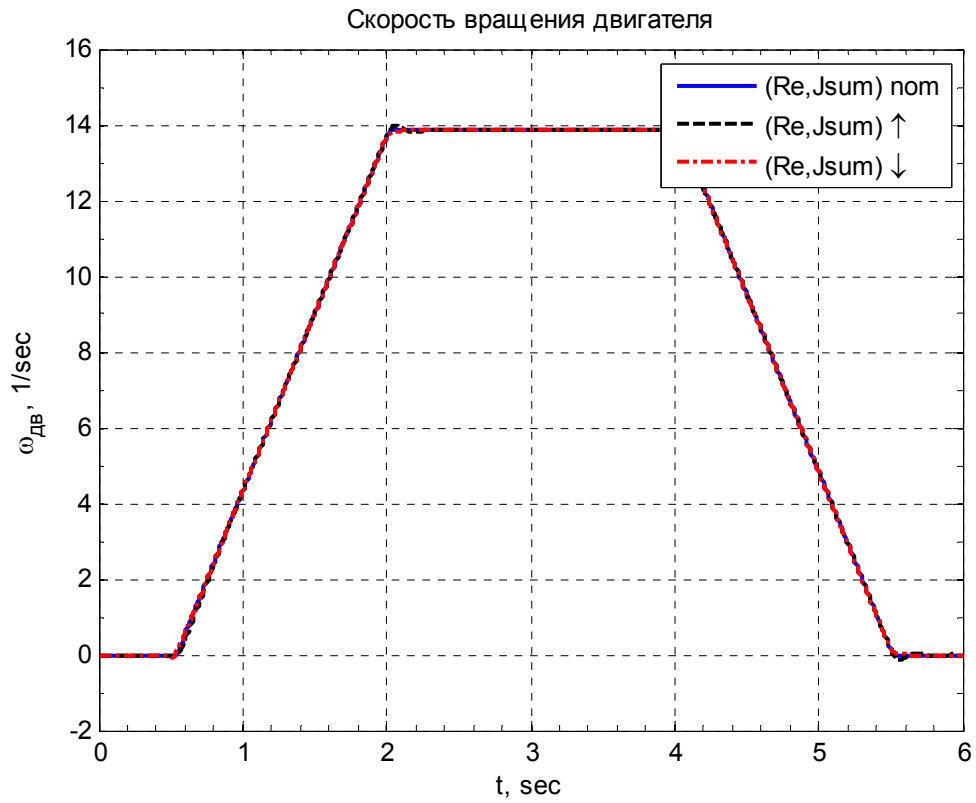


Рисунок 5.16 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при одночасній зміні R_e і J'_Σ в 2 рази

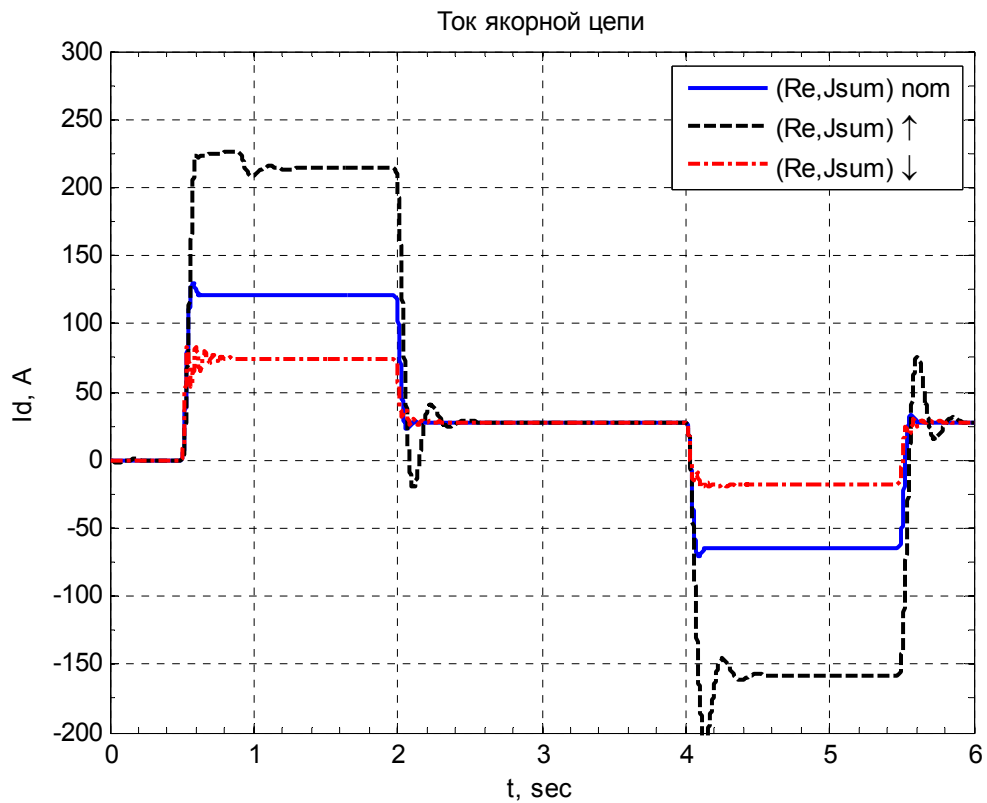


Рисунок 5.17 – Графік перехідного процесу струму якоря при одночасній зміні R_e і J'_Σ в 2 рази

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Умови експлуатації електроустановки

Розроблений автоматизований електропривод призначений для приведення в рух робочого рольганга перед кліттю «Кварто» стану 3000.

Чистова кліть «Кварто» відноситься до класу електроустановок з напругою понад 1000 В. Силова частина електропривода живиться від трифазної мережі змінного струму напругою 6 кВ. За небезпекою ураження електричним струмом приміщення, де розташовані двигуни і силова частина електропривода, належать до категорії з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. Це пояснюється наявністю струмопровідного пилю, струмопровідної підлоги.

Найбільш характерними небезпеками при експлуатації прокатних станів є наступні: захват валками і зтягування обертовими шпинделями і сполучними муфтами, відлитання окалини і частинок металу, а також опіки, удари прокочуваним металом та ін. Для усунення травматизму при прокатці металу необхідно максимально механізувати і автоматизувати прокатні стани, а також застосовувати безперервні стани.

Аналіз травматизму в прокатному виробництві показує, що важкі травми виникають в результаті зтягування робочих з'єднувальними шпинделями і муфтами прокатних станів. Таке зтягування відбувається внаслідок незадовільної конструкції огорож. Зазвичай шпинделі і муфти захищають лише з боків, а зверху огорожа відсутня. Тому стає можливим зтягування рук робітників під час установки валків при регулюванні пристосувань для охолодження шийок валків.

Для запобігання зтягування робочих сполучні шпинделі і муфти захищають не тільки збоку, але і зверху, причому запобіжні кожухи впритул примикають до станинам клітей. На високошвидкісних станах, де виникає небезпека розриву з'єднувальних муфт, запобіжні кожухи повинні витримувати удари шматків вибухлих муфт.

Метеорологічні умови в прокатному цеху характеризуються наявністю

ділянок з високою і низькою вологістю повітря, що негативно впливає на самопочуття і здоров'я людини. У холодний період року оптимальна відносна вологість у виробничих приміщеннях складає 40 – 60% і не перевищує 80%. У теплу пору року при температурі повітря у виробничих приміщеннях 17 – 15С оптимальна відносна вологість повітря становить 40 – 60%. При більш високій температурі повітря допускається менша відносна вологість.

У холодний період року у виробничих приміщеннях прокатного цеху оптимальна швидкість руху повітря дорівнює 0,2 - 0,3 м/с. У літній час допускається швидкість руху повітря 0,3 – 1,5 м/с, а при значному тепловипроміюванні, коли застосовується повітряне душировання, швидкість руху повітря різко зростає. Освітленість в приміщенні, де експлуатуватиметься електроустановка відповідно до СНиП 11-4-79 відносяться до восьмого розряду робіт. Цей розряд характеризується загальним спостереженням за ходом виробничого процесу. У прокатному цеху багато операції супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Пил прокатних цехів складається, в основному, з оксидів заліза з домішками інших речовин: окіс кремнію, марганцю і легуючих елементів. Санітарними нормами для цеху встановлена гранична допустима концентрація пилу в повітрі не більше 10 мг/м³. Гранично допустимий рівень шуму на робочих місцях 100 дБ, гранично допустимий рівень звукового тиску 80 – 95 дБ. Основними джерелами шуму є транспортування металу по рольгангу, прокатка його на стані, працюючі двигуни, шум, що виникає при русі, зіткненні, терті деталей механізмів і машин. Характер створюваного шуму широкосмуговий і імпульсний.

6.2 Заходи з охорони праці

Розроблений автоматизований електропривод містить небезпечні для життя напруги – змінну напругу 6 кВ, постійне 440 Ст. Наявність таких напруг при контакті людини з струмоведучими частинами може привести до смертельного результату[4]. Тому у відповідності з ДСТУ 121.019-79 проведені наступні заходи електробезпеки даної електроустановки:

- режим контролю живильної мережі;

- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин електроприводу;

- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- заземлення;
- захисне відключення;
- сигналізація;
- застосування знижених напружень;
- подвійна ізоляція;
- застосування захисних засобів.

За умовами експлуатації електрообладнання забороняються великі перепади напруги і частоти живильної мережі, тому введено режим контролю живильної мережі. Для його реалізації встановлені стабілізатори напруги та струму.

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

При роботі з переносним ручним електроінструментом, а також ручною переносною лампою, робітник має тривалий контакт з корпусами цього обладнання. В результаті для нього різко підвищується небезпека ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції і появи напруги на корпусі. Тому для освітлення місця ремонту дозволяється користуватися переносними електролампами безпечного типу з напругою не вище 36 Ст. Поза приміщеннями та в приміщеннях вузьких із сирими струмовідними підлогами напруга ручних переносних електроламп не вище 12 Ст.

При роботі з електричними інструментами необхідно перевірити справність заземлюючої проводки і користуватися захисними засобами (діелектричними килимками, рукавичками тощо).

Забороняється:

- а) вішати одяг та інші предмети на проводи, ізолятори, вимикачі та інше електрообладнання;

б) торкатися до електроустаткування або проникати за огороження не відключивши відповідної ділянки і не оформивши дозвіл;

в) відкривати і знімати кожухи з рубильників;

г) користуватися несправним і незаземленим електроінструментом;

д) торкатися до електричних проводів, кабелів, наступати на впалі зі стовпа і лежачі на землі проводи;

е) спиратися або переступати через електричні машини, апарати, трансформатори і т. д.

Про поломки електрообладнання повідомляти черговому електриковому монтеру.

Відповідальною особою за протипожежне утримання території, будівель, приміщень цеху, призначений механік цеху;

- територія цеху, приміщення виробничого корпусу утримуються в чистоті та систематично очищаються від виробничих відходів;

- металева стружка, промаслений обтиральний матеріал та інші виробничі відходи зберігаються роздільно в спеціально виготовленої тарі та відведених для цієї мети місцях (ділянках);

- забезпечується вільний доступ до будівлі цеху, джерел, пожежного інвентарю;

- не допускається наявність відкритих каналів, вибоїн, ям на території цеху, вони мають огороження висотою не менше 0.9 м (в нічний час освітлюються);

- чітко позначені межі проходів і проїздів у цеху;

- всі евакуаційні виходи в робочий час тримають відкритими;

- обробка шляхів евакуації горючих матеріалом не допускається;

- систематично перевіряють засоби пожежогасіння, призначені відповідальні особи за їх справний стан;

- не допускається робота обладнання, установок і верстатів з несправностями, систематично проводиться очищення електродвигунів від горючих пилю;

- зберігання ГР у робочих місцях, що не перевищує добову потребу. Невикористані протягом зміни повертаються до цехової комори;

- вентиляцію цеху містять у справності, піддають періодичним оглядам і

ремонтам, очищають від горючих пилів і відходів виробництва;

- в приміщенні виробничого корпусу забороняється : встановлювати на шляхах евакуації виробниче устаткування; проводити очищення обладнання із застосуванням бензину, гасу та інших легкозаймистих рідин; залишати без нагляду включене обладнання; проводити відігрівання замерзлих труб різних систем паяльними лампами та іншими засобами із застосуванням відкритого вогню; зберігати спецодяг на робочих місцях, використовувати трубопроводи і нагрівальні прилади для її просушування.

- куріння в приміщенні виробничого корпусу допускається в спеціально відведених місцях, обладнаних урнами і ємностями з водою, позначеними написами : " Місце для куріння".

- в обов'язки кожного робітника в цеху входить – при появі запаху диму негайно зупинити роботу, виявити і ліквідувати причину пожежі, негайно повідомити в пожежну охорону по телефону 01, розпочати ліквідацію пожежі наявними засобами пожежогасіння.

Для сповіщення пожежних підрозділів про виникнення пожежі використовують телефонний зв'язок або спеціальну електричну пожежну сигналізацію (ЕПС).

Найбільш надійним видом зв'язку є ЕПС. Така сигналізація влаштовується неавтоматичного і автоматичного типів. Системи ЕПС складаються з приймальної станції, лінійних проводів і сповіщувачів, що встановлюються всередині і зовні будівлі. В практиці застосовують променеву або кільцеву систему сигналізації. Позитивною особливістю ЕПС є здійснення автоматичного контролю за справністю лінії і визначення характеру виявлення пошкодження.

Для забезпечення під час пожежі безпечної евакуації людей розроблені евакуаційні шляхи, які забезпечують безпечний вихід людей. Для гасіння пожеж до прибуття пожежної служби використовуються пісок, ручні вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-5, ОУ-8, а також ручні пінні вогнегасники типу ОХП-10, ОХП-5.

6.3 Розрахунок захисного заземлення

Виконати розрахунок захисного заземлення для електроустановки з напругою до 1000 В при припустимий опір заземлюючого пристрою $R_d = 4 \text{ Ом}$

Питомий опір ґрунту: $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Вибір матеріалу і розміру заземлювачів:

Тип заземлювача: кутовий в землі

Розміри заземлювача:

Довжина куточка: $l = 3 \text{ м}$

Ширина куточка: $b = 43 \text{ мм} = 43 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

$t_0 = 0,6 \text{ м}$

Заземленням будь-якої частини електроустановки називається навмисне електричне з'єднання цієї частини із заземлюючим пристроєм.

Заземлювальний пристрій - це сукупність заземлювача і заземлювальних провідників. Заземлювачем називається провідник (електрод) або сукупність металевих з'єднаних між собою провідників (електродів), що знаходяться в зіткненні з землею.

Заземлення електроустановок застосовують для захисту людини від ураження електричним струмом у випадку пробоя ізоляції струмоведучих частин на корпус. При цьому виникає струм короткого замикання (рисунок 6.1) і відбувається спрацювання захисних пристроїв діють на відключення установки від живлячої мережі. У випадку відсутності захисних пристроїв (запобіжників, захисних автоматичних вимикачів) або їх не спрацювання, в слідстві малого струму короткого замикання, захист людини ґрунтується на зниженні напруги дотику.

Розрізняють контурні і виносні заземлюючі пристрої. Переважним є контурне, оскільки завдяки рівномірно по периметру майданчика розташованим електродам відбувається вирівнювання потенціалів землі і мінімізація значення напруги дотику і крокового напруги.

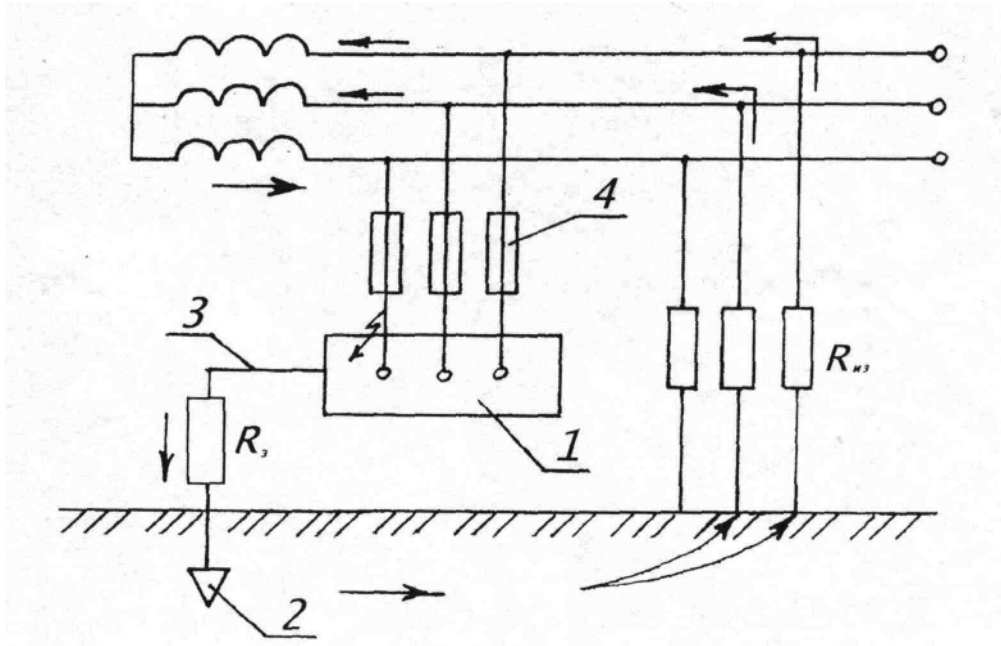


Рисунок 6.1 - Схема захисного заземлення

Позначення на рисунку:

- 1 – заземлене обладнання;
- 2 - заземлювач захисного заземлення;
- 3 - заземлюючий провідник;
- 4 - плавкий запобіжник;
- R_z - опір захисного заземлення;
- R_d - опір ізоляції.

Опір розтіканню струму одного заземлювача:

$$t = \frac{1}{2}l + t_0 = 0,5 \cdot 3 + 0,6 = 2,1 \text{ м} \quad (6.1)$$

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln\left(\frac{2,1 \cdot l}{b}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4,2 \cdot t + l}{4,2 \cdot t - l}\right) =$$

$$= \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln\left(\frac{2,1 \cdot 3}{43 \cdot 10^{-3}}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4,2 \cdot 2,1 + 3}{4,2 \cdot 2,1 - 3}\right) = 14,168 \text{ Ом} \quad (6.2)$$

$R_1 > R_d$ - отже, необхідно більше одного заземлювача.

Визначаємо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів при коефіцієнті використання вертикальних заземлювачів $\eta_\beta = 1$.

$$n' = \frac{R_1}{\eta_\beta \cdot R_\partial} = \frac{14,168}{1 \cdot 4} = 3,542 \quad n = \text{round}(n') = 4 \quad (6.3)$$

Фактичний коефіцієнт використання заземлювачів: $\eta_\phi = 0,73$.

Фактичний опір вертикальних заземлювачів:

$$R_{\phi\phi} = \frac{R_1}{\eta_\phi \cdot n} = \frac{14,168}{0,73 \cdot 4} = 4,852 \text{ Ом} \quad (6.4)$$

Для зв'язку вертикальних заземлювачів застосовуємо сполучну смугу:

протяжна круглого перерізу в землі,

діаметр смуги: $d = 25 \text{ мм} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Опір розтіканню струму з'єднувальної смуги:

$$R_{1n} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_n} \ln \left(\frac{l_n^2}{d \cdot t_n} \right) \quad (6.5)$$

де $l_n = 1,1 \cdot a \cdot (n - 1) = 1,1 \cdot 3 \cdot 3 = 9,45 \text{ м}$ $a = l = 3 \text{ м}$

$t_n = \frac{1}{2}d + t_0 = 0,025 \cdot 0,5 + 0,6 = 0,612 \text{ м}$

тоді: $R_{1n} = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot l_n} \ln \left(\frac{13,2^2}{0,025 \cdot 9,45} \right) = 7,3 \text{ Ом}$

Коефіцієнт використання смуги: $\eta_n = 0,77$. При цьому опір смуги:

$$R_n = \frac{R_{1n}}{\eta_n} = \frac{7,3}{0,77} = 9,483 \text{ Ом} \quad (6.6)$$

Тоді фактичний опір заземлюючого пристрою з вертикальних заземлювачів та з'єднувальної смуги визначається як:

$$R_3 = \frac{R_{\phi\phi} \cdot R_n}{R_{\phi\phi} + R_n} = \frac{4,852 \cdot 9,483}{4,852 + 9,483} = 3,21 \text{ Ом} \quad (6.7)$$

$$R_3 < R_\partial.$$

ВИСНОВОК

У ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення та особливості роботи електроприводу робочого рольганга за чистовою кліттю стану 3000. Була розрахована потужність двигуна, динамічні та статичні моменти навантаження. У результаті розрахунку було обрано/перевірено двигун типу Д812У2 зі зниженою частотою обертання.

У ході розрахунку були знайдені необхідні значення динамічного моменту розгону і гальмування електропривода, що забезпечують необхідну динаміку механізму.

Для живлення двигунів обраний цифровий комплектний тиристорний електропривід концерну Siemens типу SIMOREG DC Master 6RM70, призначений для керування електродвигунами постійного струму.

У проекті розраховано параметри двоконтурної системи підпорядкованого керування, з зовнішнім контуром швидкості (оскільки рольганг це швидкісна система) із внутрішнім контуром струму.

На основі структурної схеми електроприводу була розроблена математична модель. Проведено моделювання роботи ЕП в середовищі Matlab/Simulink, за номінальними параметрами, а також при варіації опору якірного ланцюга 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 технологічні вимоги.

Розроблені узагальнена функціональна та структурна схеми системи підпорядкованого керування електроприводу. Впроваджувана система побудована на найсучаснішому обладнанні з урахуванням нових досягнень техніки й промисловості.

У розділі «Охорона праці» розглянуто умови експлуатації електроустановки, заходи з охорони праці та розрахунок захисного заземлення. Заходи з техніки безпеки праці та безпечної експлуатації установки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
2. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки / В.А. Переходченко. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 384 с.
3. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие / В.С. Коцюбинский. – Алчесвк: ДГМИ, 2002. – 150 с.
4. Catalog DA 12 - 2004. DC motors Sizes 0,45 kW to 1610 kW.
5. Catalog DA 22 - 2002. SIMOREG DC MASTER 6RM70 Digital Converter Cabinet Units.
6. Инструкция по эксплуатации SIMOREG DC MASTER серия 6RA70. Микропроцессорные преобразователи на мощность 6 кВт - 1900 кВт для проводов постоянного тока с регулируемой скоростью.
7. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутра. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
8. А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.
9. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму / В.Т.Пілецький. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей / Главное управление государственного энергетического надзора. – 4 –е изд., пераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 432 с.
11. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - 2-е ига- перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат. 1984. - 448 с.

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

13. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowersystem и Simulink. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

14. 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.

15. Шевченко І.С. Динаміка складних електромеханічних систем: Навч. посібн. – І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – 171 с.

