

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Відомості про механізм і вимоги до електроприводу .....	8
1.1 Сортамент товстолистого стану 3000 .....	8
1.2 Технологічні вимоги до початкової заготовки .....	8
1.3 Прокатка листів в чорновій/чистовій кліті.....	11
1.3.1 Прокатка слябів на чорновій кліті.....	11
1.3.2 Прокатка листів на чистовій кліті .....	14
1.4 Обробка листів, які прокочуються .....	15
1.5 Режим прокатки листів на чорновій/чистовій кліті.....	16
1.6 Опис конструкції та роботи механізму станинних роликів.....	17
1.6.1 Опис конструкції.....	17
1.6.2 Опис роботи механізму .....	18
1.6.3 Технологічні та технічні дані .....	19
1.7 Вимоги до електроприводу станинних роликів.....	20
2 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна станинних роликів чистової кліті .....	21
2.1 Розрахунок статичних моментів.....	21
2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень .....	24
2.3 Час керування електроприводом.....	28
2.4 Перевірка потужності обраного електродвигуна по нагріву.....	33
3 Вибір силової та перетворювальної техніки станинних роликів чистової кліті .....	35
3.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору силової частини системи і електроприводу .....	35
3.2 Вибір комплектного електропривода.....	39
3.3 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя.....	44
3.4 Опис принципової схеми силового ланцюга електроприводу станинних роликів.....	48

	5
3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (SIMOREG DC Master) .....	52
3.4.2 Резервування перетворювальної техніки .....	52
3.5 Вимоги до системи автоматизації .....	52
4 Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом станинних роликів чистової кліті.....	54
4.1 Математичний опис об'єкту керування.....	54
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу .....	55
4.3 Синтез регулятора струму.....	58
4.4 Синтез регулятора швидкості .....	62
4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості.....	66
5 Моделювання системи підпорядкованого керування електроприводом станинних роликів у середовищі MATLAB/SIMULINK .....	70
6 Охорона праці .....	81
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів .....	81
6.2 Заходи з техніки безпеки праці та безпечної експлуатації електроустановки .....	82
6.3 Промислова санітарія.....	84
6.3.1 Температура повітря.....	84
6.3.2 Шум .....	84
6.3.3 Вібрація .....	85
6.3.4 Хімічні шкідливі речовини .....	85
6.3.5 Ультразвук і інфразвук.....	85
6.4 Пожежна безпека.....	86
Висновок.....	88
Перелік посилань .....	89
Додаток А .....	91

## ВСТУП

Розвиток і вдосконалення технології гарячої прокатки вимагає від виробника прокатного обладнання застосування більш сучасних, оптимальних і ефективних електроприводів, основою яких є електродвигуни. Правильний вибір основних параметрів електродвигунів мінімізує фінансові витрати при виготовленні обладнання і його подальшої експлуатації, оптимізує навантаження і продуктивність, є запорукою успішної та надійної роботи механізмів.

Механізми прокатних станів різноманітні але конструкція і виконувані функції різноманітні, у зв'язку з цим різні і вимоги, що пред'являються до їх автоматизованих електроприводів, які можна розділити на дві групи. До першої групи належать досить прості електроприводи без регулювання швидкості, до другої - складні регульовані електроприводи, що працюють в динамічних режимах з частими пусками і гальмуваннями. До цієї ж групи належать приводи механізмів, які потребують точної зупинки або працюють на упор. Для приводів другої групи широко використовуються системи живлення двигуна від керованого джерела (тиристорного перетворювача напруги, перетворювача частоти).

Станинними називаються перші ролики, розташовані по обидва боки прокатної кліті (до трьох роликів з кожного боку). Вони застосовуються тільки на великих обтискних заготівельних станах, що прокочують короткі злитки. Ці ролики розташовуються якомога ближче до валків для надійної подачі металу в кліть зі швидкістю, що відповідає швидкості обертання прокатних валків або дещо більшою.

Об'єкт розробки відноситься до станинних роликів перед чорною кліттю.

В даний час одними з найбільш поширених і такі, що масово випускаються промисловістю є системи керування електроприводом, побудовані за принципом підпорядкованого регулювання. У порівнянні з

попередніми їм системами вони мають більшу швидкодію, 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 переваги електроприводу оцінюються не тільки за ефектом, досягнутому в технологічній сфері, а й за тим, якою ціною вони досягнуті в сфері виробництва і експлуатації обладнання. Тому існує тенденція до глибокої уніфікації пристроїв керування.

Об'єктом розробки у даній дипломній роботі є автоматизований електропривод станинних роликів перед чорною кліттю кварто товстолистового стану 3000. Вимоги до електроприводу і початкові дані для проектування наведені у відповідних розділах.

# 1 ВІДОМОСТІ ПРО МЕХАНІЗМ І ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

## 1.1 Сортамент товстолистового стану 3000

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

- товщина листів - від 6 до 50;
- ширина листів - від 1219 до 2650;
- довжина листів - від 5000 до 1 2000.

(Довжина розкату до 24000мм).

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 листопробірні 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 заготівки

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.

Рациональні 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 наряд - 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  $\pm 10$  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;

- неплщинність не більше 20 мм на 1 м довжини;

- косина різі (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 кліті**

### **1.3.1 Прокатка слябів на чорновій кліті**

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 роликками 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 розкантиувати 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.

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
<b>190-200</b>	8	9	9	10	10	11	12	13	14	15	16	16
<b>170-180</b>	9	10	10	11	11	12	13	14	15	16	18	17
<b>150-160</b>	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	19
<b>130-140</b>	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	20
<b>110-120</b>	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24
<b>100-105</b>	15	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
<b>90-95</b>	17	20	21	22	23	24	25	26	28	30	30	32
<b>80-85</b>	20	22	23	25	26	27	28	30	32	34	38	36
<b>70-75</b>	24	25	27	28	30	32	33	35	36	38	39	40
<b>60-65</b>	28	30	31	32	36	38	40	41	42	44	46	46
<b>50-55</b>	32	35	37	39	42	44	46	48	50	52	52	54

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. |

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 1/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, 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 відірваних частин металу і сторонніх предметів.

Оператор стану зобов'язаний систематично контролювати ширину розкатів.

#### **1.4 Обробка листів, які прокочуються**

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.



## 1.6 Опис конструкції та роботи механізму станинних роликів

### 1.6.1 Опис конструкції

Кінематична схема механізму представлена на рис.1.1.

Станинні ролики (секція 55) встановлюються між станинами з обох боків чистової кліти на ділянці між роликом робочого рольганга і робочими валками. Перед і за кліттю встановлюється по три станинні ролика. Станинні ролики мають ребристу бочку діаметром 600/400мм.

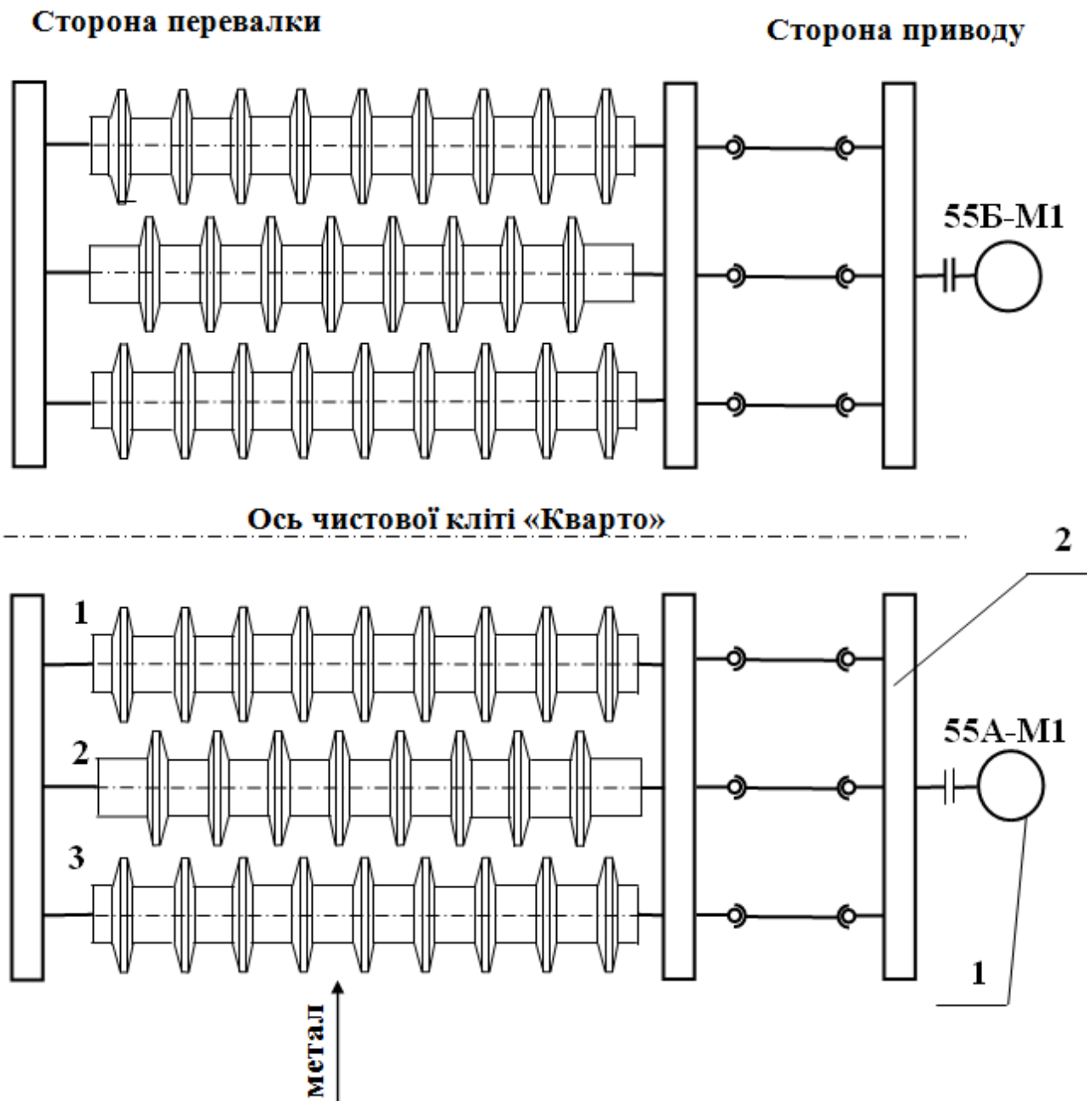


Рисунок 1.1 – Кінематична схема станинних роликів чистової кліти товстолистового стану 3000

Груповий привід обертання трьох станинних роликів здійснюється електродвигуном постійного струму (1), який через зубчасту муфту пов'язаний із середнім станинним роликом. Передача руху двом іншим роликам здійснюється через роздавальний редуктор (2) з паразитними шестернями, виконаний таким чином, щоб окружна швидкість всіх станинних роликів була однаковою (див. рисунок 1.2).

До електродвигунів підводиться повітря від системи примусової вентиляції, що працює по розімкненому циклу.

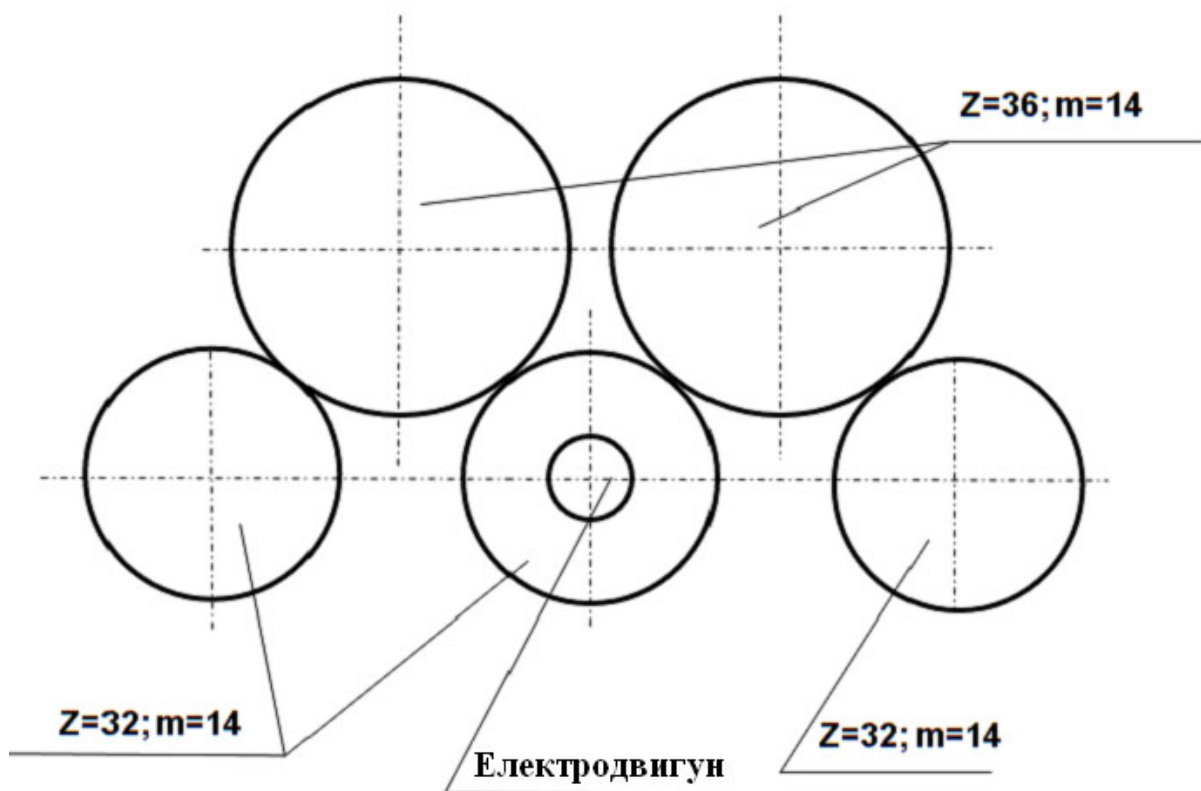


Рисунок 1.2 – Кінематична схема роздавального редуктора

### 1.6.2 Опис роботи механізму

Режим прокатки в чистової «Кварто» кліті - реверсивний. При цьому в кожному конкретному пропуску підтримується рівень швидкості, необхідний за технологією. У загальному випадку: кількість пропусків в чистової кліті - непарне, а швидкість від пропуску до пропуску збільшується відповідно до зменшення товщини розкату.

У процесі прокатки швидкість транспортування і подачі металу станинними роликами узгоджується зі швидкістю головного приводу з урахуванням випередження і відставання металу в осередку деформації.

Повернення металу в прокатку в парному пропуску можливе після установки нового отвору валків натискаючими гвинтами, а також після центрування розкату по поздовжній вісі прокатки (маніпуляторними лінійками за кліттю). Обидві згадані операції можуть виконуватися одночасно.

Приводи станинних роликів працюють в повторно-короткочасному, реверсивному режимі. Швидкість регулюється зміною величини напруги, яка живить якірні ланцюги двигунів.

### 1.6.3 Технологічні та технічні дані

Таблиця 1.4 – Вихідні технологічні і технічні дані станинних роликів

Найменування і розмірність технічного параметра	Значення параметра
1.1. Товщина підкату, мм	20...80 (до 120)
1.2. Ширина підкату, мм	1500...2800
1.3. Довжина підкату, мм	9000
1.4. Маса сляба, кг	до 7500
2 Станинні ролики	
2.1 Діаметр бочки ролика, мм	600/400
2.2 Внутрішній діаметр підшипника ролика, мм	200
2.3 Зовнішній діаметр підшипника ролика, мм	420
2.4 Кількість роликів, шт.	3
2.5 Маса ролика:	
першого, кг	3222
другого, кг	3154
третього, кг	3122
2.6 Передаточне число редуктора, відн. од.	1
3 Технологічні дані	
3.1 Швидкість прокатки, м/с	5
3.2 Момент прокатки у кліті, кНм	3500
3.3 Зусилля прокатки в кліті, кН	45000



### **1.7 Вимоги до електроприводу станинних роликів**

Станинні ролики працює в повторно-короткочасному режимі, при цьому число включень на годину становить 360-450 і тривалість включень ПВ = 80%.

Для забезпечення необхідних технологічних режимів роботи і високої продуктивності стану, електропривод станинних роликів повинен задовольняти основним вимогам:

- час протікання перехідних процесів при заданих значеннях динамічного струму повинно бути мінімальним;
- забезпечувати часті пуски і гальмування;
- забезпечувати необхідний діапазон регулювання швидкості;
- величина прискорення не повинна залежати від швидкості, до якої розганяється двигун;
- мати високу перевантажувальну здатність приводного двигуна по струму і моменту;
- забезпечувати високу надійність роботи системи;
- система керування електроприводом повинна забезпечувати зручності введення керуючих впливів з боку системи автоматики при малій потужності цих впливів.

## 2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА СТАНИННИХ РОЛИКІВ ЧИСТОВОЇ КЛІТИ

На даний момент в якості приводного електродвигуна електроприводу станинних роликів перед чорною кліттю кварто товстолистового стану 3000 встановлено електродвигун постійного струму типу П100/1600У3 закритого виконання з примусовою вентиляцією по розімкненому циклу з паспортними даними, наведеними в табл. 2.1. Привод обертання трьох станинних роликів груповий, який через зубчасту муфту пов'язаний із середнім станинним роликом. Передача руху двом іншим роликам здійснюється через роздавальний редуктор з паразитними шестернями, виконаний таким чином, щоб окружна швидкість всіх станинних роликів була однаковою.

Таблиця 2.1 - Паспортні дані електродвигуна П100/160У3

Найменування параметра	Чисельне значення
Номінальна потужність, кВт	$P_H = 100$
Номінальна напруга, В	$U_H = 440$
Номінальний струм, А	$I_H = 248$
Номінальна частота обертання, об/хв	$n_H = 160$
Момент інерції якоря, кг·м <sup>2</sup>	$J_{дв} = 54,9$
Номінальна напруга обмотки збудження, В	$U_B = 220/110$

Двигуни оснащені імпульсними датчиками швидкості HOG 10 DN концерну Huebner Berlin – 1024 імпульсу/оборот.

### 2.1 Розрахунок статичних моментів

За час циклу роботи станинних роликів електродвигун навантажений статичними моментами різної величини. При розрахунку виділяють наступні

основні статичні моменти: момент холостого ходу, момент транспортування металу по роликам, момент буксування роликів по транспортованому металу [1-3]. Розрахунок ведеться для групового, редукторного електроприводу. Момент холостого ходу на приводному валу ролика [1, 2]:

$$M_{x.p} = \frac{G_p d_{ш} \mu_{ш}}{2i\eta_x}, \quad (2.1)$$

де  $G_p$  - вага роликів (3 шт), кг;

$d_{ш} = 0,2$  м - діаметр шийки ролика (внутрішній діаметр підшипника);

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

$i = 1$  отн. ед. - передавальне число редуктора;

$\eta_x$  - ККД редуктора при холостому ході.

Вага роликів визначається за формулою:

$$G_p = g(m_1 + m_2 + m_3) = 9,81(3222 + 3154 + 3122) = 93140 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \quad (2.2)$$

де  $m_1, m_2, m_3$  - маси відповідно 1-го, 2-го, 3-го роликів, кг;

$g = 9,81$  м / с<sup>2</sup> - прискорення вільного падіння.

Оскільки при холостому ході момент на валу редуктора становить 5-10% від номінального, то рекомендується [1] зменшувати ККД приводу в два рази, тобто

$$\eta_x = 0,5\eta_n = 0,5 \cdot 0,95 = 0,475 \quad (2.3)$$

де  $\eta_n = 0,95$  - ККД зубчастих редукторів [1, табл. 5.4].

З огляду на все вище зазначене, розрахуємо момент холостого ходу за формулою (2.1) з урахуванням (2.2) і (2.3)

$$M_{x.p} = \frac{93175,38 \cdot 0,2 \cdot 0,007}{2 \cdot \eta_x} = 161.341 \text{ Нм}$$

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

$$M_{x,d} = 0,07M_H = 0,07 \cdot 5968,3 = 417,7 \text{ Нм} \quad (2.4)$$

де  $M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{100 \cdot 10^3}{16,75} = 5968,3 \text{ Нм}$  - номінальний момент двигуна;

$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{3,14 \cdot 160}{30} = 16,75 \text{ 1/с}$  - номінальна швидкість електродвигуна.

Таким чином, повний момент холостого ходу станинних роликів:

$$M_x = M_{x,p} + M_{x,d} = 161.341 + 417,8 = 579,1 \text{ Нм} \quad (2.5)$$

Момент транспортування металу по роликам:

$$M_{тр} = \frac{9,81m_M \left( \mu_{ш} \frac{d_{ш}}{2} + f \right)}{i\eta_x} = \quad (2.6)$$

$$= \frac{9,81 \cdot 4200 \left( 0,007 \frac{0,2}{2} + 0,0015 \right)}{0,475} = 201,5 \text{ Нм}$$

де  $m_M = m_{сл} = 4200 \text{ кг}$  - маса металу, яка припадає на станинний блок (технологічні данні прокатки конкретної заготовки);

$f = 0,0015$  - коефіцієнт тертя кочення гарячого металу по роликам [1, с. 88];

$\eta_{тр} \approx \eta_x = 0,5\eta_H = 0,475$ , оскільки транспортування злитка по станинним роликам дає зазвичай незначне збільшення статичного навантаження на електропривод в порівнянні з навантаженням холостого ходу [1].

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

$$M_{c,r} = M_x + M_{тр} = 579,1 + 201,5 = 780,6 \text{ Нм} \quad (2.7)$$

Момент буксування, приведений до валу електродвигуна:

$$M_{\delta} = \frac{9,81 m_{\text{м}} d_{\text{р}} \mu_{\delta}}{2 \eta_{\text{н}}} = \frac{9,81 \cdot 4200 \cdot 0,5 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,95} = 2602,2 \text{ Нм} \quad (2.8)$$

де  $d_{\text{р}} = \frac{0,4 + 0,6}{2} = 0,5$  м - діаметр ролика;

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

Повний момент статичного опору при буксуванні:

$$M_{\text{сб}} = M_{\text{х}} + M_{\delta} = 579,1 + 2602,2 = 3121,3 \text{ Нм} \quad (2.9)$$

## 2.2 Розрахунок динамічних моментів і прискорень

Через буксування розкату по роликам 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  $F_{\text{ин}} \leq F_{\delta}$ . Тоді запишемо

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

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

$$a \leq g \mu_{\delta}, \quad (2.12)$$

З останнього виразу видно, що максимально можливе прискорення розкату на рольгангу визначається коефіцієнтом тертя при буксуванні  $\mu_{\delta}$ .

Приймаючи  $\mu_{\delta} = 0,15 \div 0,3$  [1, 2], отримаємо  $a \leq 1,47 \div 2,94 \text{ м/с}^2$ . Більше значення прискорення відповідає гарячому металу, менше – холодного.

Момент електродвигуна, що відповідає максимально можливому прискоренню розкату, називають гранично-виправданим моментом. Якщо момент електродвигуна перевищує гранично-виправданий момент, то виникає буксування, в результаті чого погіршується якість поверхні розкату, підвищується знос роликів, але збільшення прискорення розкату не відбувається. Оскільки буксування можливе як при розгоні (прискоренні), так і при гальмуванні (уповільненні), то мають місце два гранично-підтверджуваних моменти – при розгоні і при гальмуванні.

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

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

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

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

Динамічний момент на валу електродвигуна дорівнює:

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

де  $J'_{\Sigma}$  - 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,  $1/c$ ;

$i$  - передавальне число редуктора рольганга, далі опускається, тому що електропривод безредукторний;

$d_p$  - діаметр ролика, м;

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

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

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

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

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

звідки знаходимо

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

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

$$J_M = m_M \frac{d_p^2}{4} = 4200 \frac{0,4^2}{3} = 506,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.19)$$

Приймаючи 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:

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

де  $J'_\Sigma$  - сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції транспортованого злитка), приведений до валу двигуна в кожному пропуску.

Момент інерції механізму дорівнює:

$$J_{\text{мех}} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р1}} + J_{\text{р2}} + J_{\text{р3}} = 54,9 + 100,7 + 98,5 + 97,5 = 351,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.21)$$

де  $J_{\text{дв}} = 54,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції двигуна (див. табл. 2.1);

$$J_{\text{р1}} = m_1 \frac{d_p^2}{8} = 3222 \frac{0,5^2}{8} = 100,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ - момент інерції 1-го ролика;}$$

$$J_{\text{р2}} = m_2 \frac{d_p^2}{8} = 3154 \frac{0,5^2}{8} = 98,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ - момент інерції 2-го ролика;}$$

$$J_{\text{р3}} = m_3 \frac{d_p^2}{8} = 3122 \frac{0,5^2}{8} = 97,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ - момент інерції 3-го ролика;}$$

Момент інерції механізму (з урахуванням моменту інерції транспортованого злитка), приведений до валу електродвигуна згідно (2.16):

$$J'_{\text{мех}} = 54,9 + 506,5 = 561,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Оскільки максимальне прискорення визначається виразом (2.12), то для гранично-виправданому моменту при розгоні (прискоренні) вираз (2.13) набирає вигляду:

$$\begin{aligned} M_{\text{п.о.р}} &= \left( J_{\text{дв}} + J_{\text{м}} + m_{\text{м}} \frac{d_p^2}{3} \right) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} + M_{\text{с.т}} = \\ &= \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} J'_\Sigma + M_{\text{с.т}} = 11653,74 \text{ Нм} = 1,95 M_{\text{н}} \end{aligned} \quad (2.22)$$



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

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

або

$$\begin{aligned} M_{\text{п.о.т}} &= (J_{\text{мех}} + J_{\text{м}}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} - M_{\text{с.т}} = \\ &= \frac{2 \cdot 9,81 \mu_{\text{б}}}{d_{\text{р}}} J'_{\Sigma} - M_{\text{с.т}} = 11462,3 \text{ Нм} = 1,92 M_{\text{н}} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Приймаємо кратність пуск-гальмівних струмів (динамічних моментів)  
 $\lambda_{\text{пт}} = 2$ .

### 2.3 Час керування електроприводом

Виділимо наступні ділянки навантажувальної діаграми в циклі роботи електроприводу станинних роликів чистової кліті:

- розгін без підкату до швидкості захоплення;
- робота на холостому ході до підходу підкату;
- транспортування металу до захоплення його валками;
- розгін з металом до швидкості прокатки;
- гальмування вхолосту.

У таблиці 2.2 наведено час роботи електроприводу станинних роликів, заснований на реальних графіках завдання швидкості для станинних роликів, які формуються контролером керування АСУ ТП.

На рис. 2.1 - 2.3 наведені тахограми і навантажувальні діаграм роботи електроприводу робочого рольганга за цикл роботи прокатного стану (прокатка в чорновій кліті), а також для декількох з пропусків. Цифри над стрілками позначають час роботи на виділених ділянках діаграми. Так, 1-час пуску, 2 час розгону від швидкості захоплення до швидкості прокатки, 3 час руху на холостому ході, 4 час транспортування, 5 час гальмування, 6-час паузи перед проходом. Конкретні значення часу наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Час роботи електроприводу станинних роликів перед  
чистою кліттю

№ проходу	Час, с					
	Розгін до швидкості захоплення	Розгін до швидкості транспортування	Рух на швидкості транспортування	Гальмування	Швидкість прокатки, м/с	Пауза перед проходом
1	1,2	1,22	2,5	1,12	3,15	5,2
2		1,41	2,91	1,17	3,45	5,2
3		1,46	3,34	1,31	3,78	5,2
4		1,65	3,77	1,40	4,12	5,2
5		1,72	4,18	1,53	4,46	5,2
6		1,91	4,55	1,63	4,8	5,2
7		1,93	5,03	1,70	5,0	0,2
Загальний час	8,4	11,3	26,3	25,16	28,76	31,4

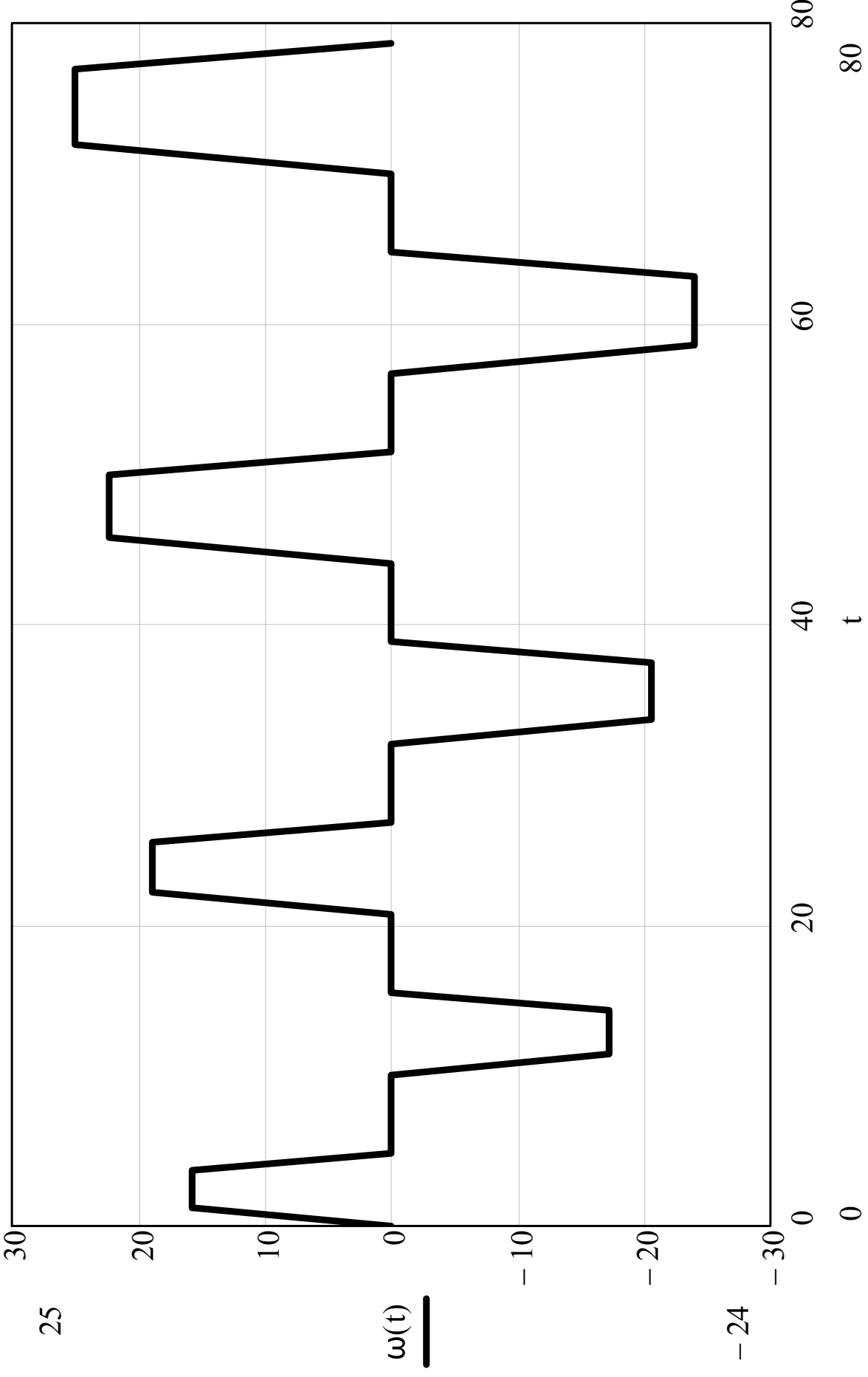


Рисунок 2.1 – Тахограми роботи ЕП станинних роликів перед чорною кліткою за цикл роботи прокатного стану

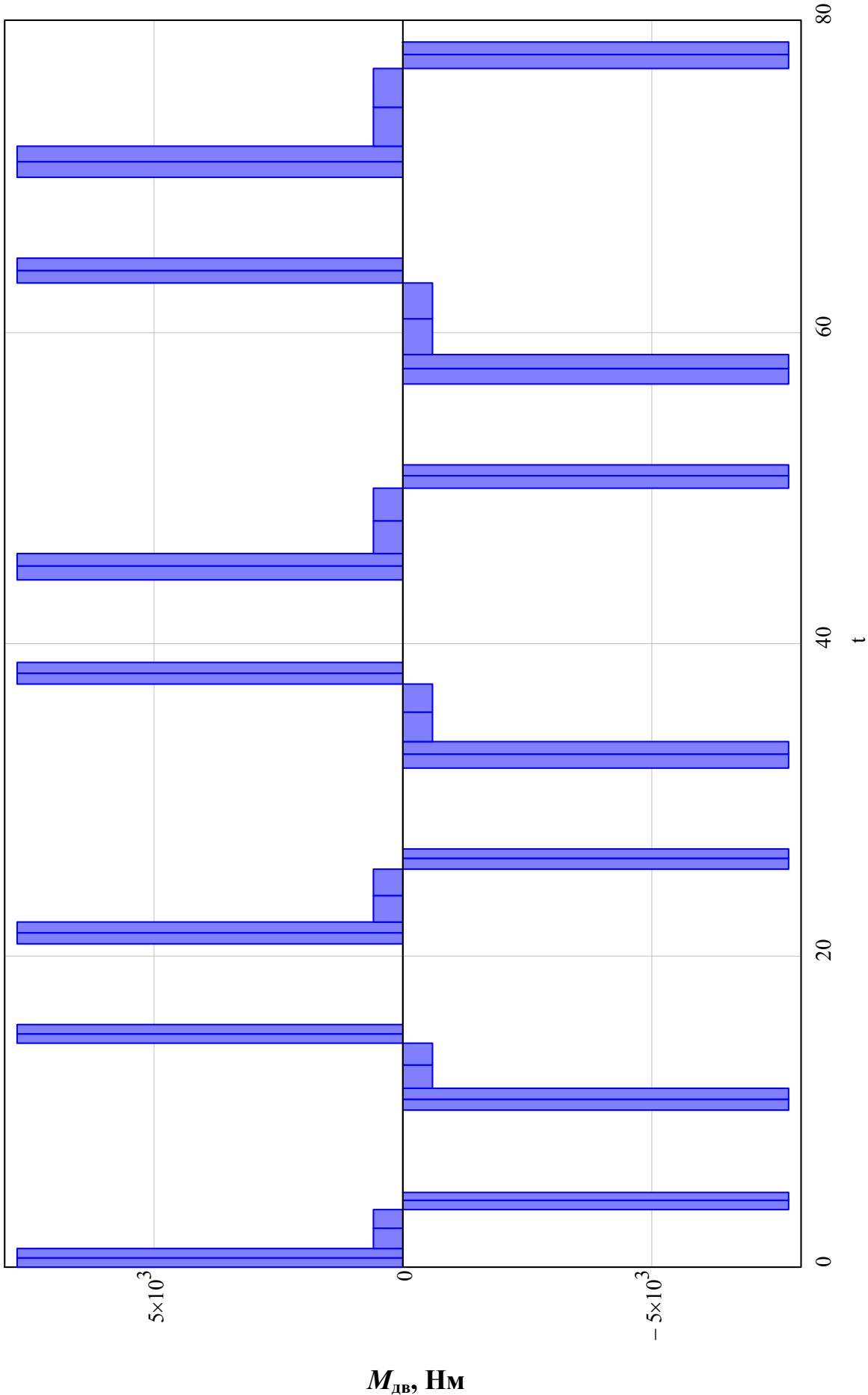


Рисунок 2.2 – Навантажувальна діаграма роботи ЕП станинних роликів перед чорною кліткою за цикл роботи стану

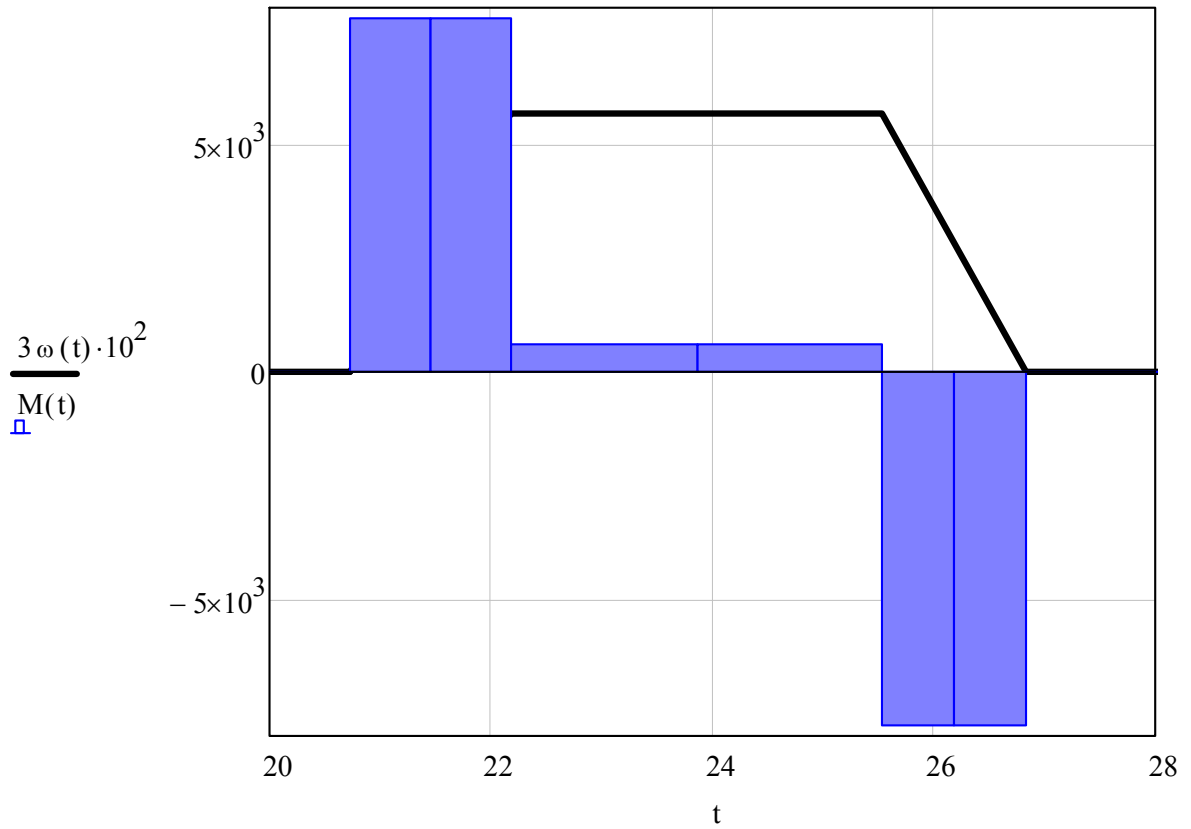


Рисунок 2.3 – Тахограма і навантажувальна діаграма роботи ЕП станинних роликів перед чистовою кліттю 3 прохід

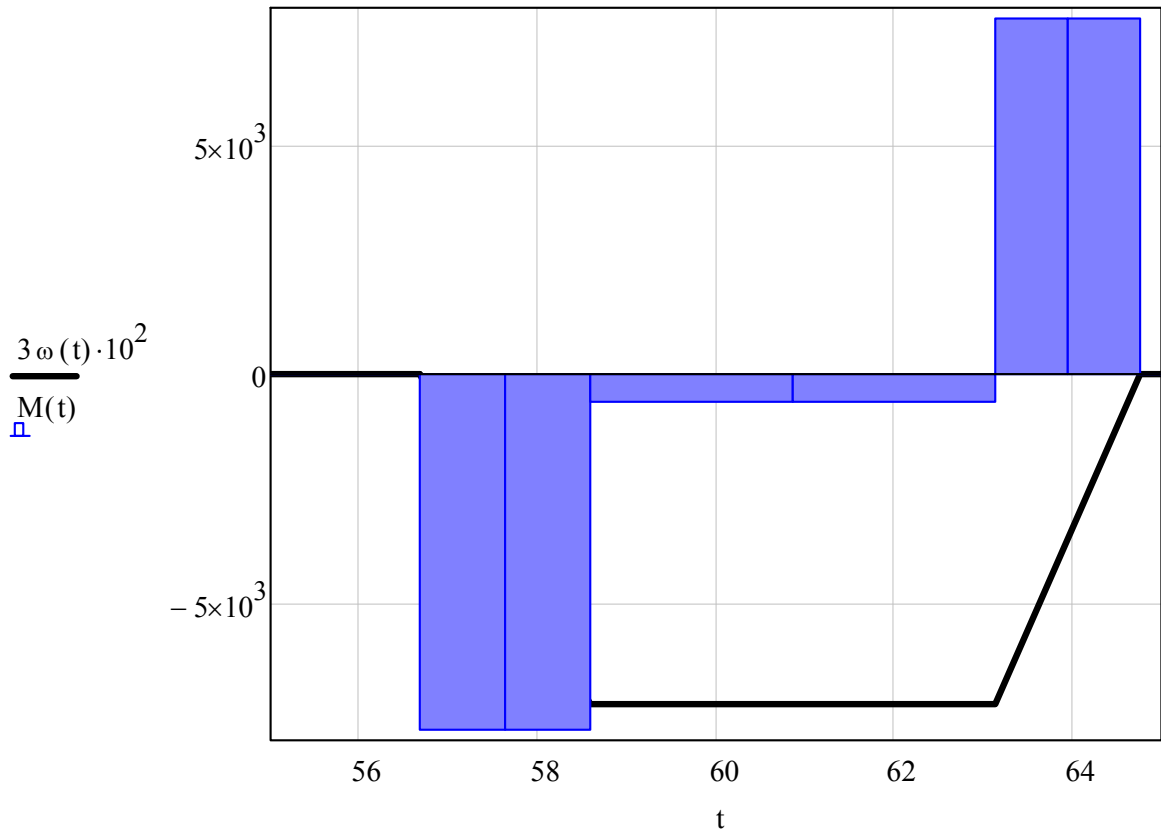


Рисунок 2.4 – Тахограма і навантажувальна діаграма роботи ЕП станинних роликів перед чистовою кліттю 6 прохід

## 2.4 Перевірка потужності обраного електродвигуна по нагріву

На рис. 2.2 зображена навантажувальна діаграма електроприводу станинних роликів перед чорною кліттю.

Еквівалентний момент електродвигуна:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_{\text{пт}}^2 (t_{\text{п}} + t_{\text{т}} + t_{\text{р}}) + M_{\text{х}}^2 \cdot t_{\text{х}} + M_{\text{тр}}^2 \cdot t_{\text{тр}}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{п}} + \sum t_{\text{т}}}} = \quad (2.25)$$

$$= 4566,32 \text{ Нм} = 0,76 M_{\text{н}}$$

де  $M_{\text{пт}}$  - середній пускотормозний момент, Нм;

$M_{\text{тр}}$  - момент транспортування, Нм;

$t_{\text{п}}$  - час пуску, с;

$t_{\text{р}}$  - час розгону від швидкості захоплення до швидкості прокатки, с;

$t_{\text{т}}$  - час гальмування, с;

$t_{\text{тр}}$  - час транспортування, с,

$t_{\text{х}}$  - час руху на холостому ході, с,

$t_{\text{ц}}$  - час циклу, с,

ТВ – тривалість включення.

Отримане розрахункове значення еквівалентного моменту показує, що прийняті значення пускового і гальмівного моментів забезпечують інтенсивне протікання перехідних процесів при одночасній допустимому навантаженні електродвигуна по нагріванню. Завантаження електродвигуна становить 80%.

Серед усіх можливих моментів на валу двигуна найбільшим є пусковий момент електроприводу при транспортуванні металу. Таким чином, обраний електродвигун проходить і по перевантажувальній здатності (максимально допустима кратність струму якоря 2,5).

При прокатці аркушів інших типорозмірів (при підкатах більшої маси) завантаження двигуна по середньоквадратичного моменту становить 90%, що

допустимо. Дещо завищена потужність машини пояснюється необхідністю реалізації заданого темпу розгону/гальмування при транспортуванні металу найбільшої маси 7,5 т. Крім того, в разі ручного керування механізмами району прокатної кліти можливі неузгодженості лінійних швидкостей валів головного приводу, станинних роликів, робочих і розкатних рольгангів що призводить до появи буксування роликів об поверхню металу (статичні моменти на двигуні зростають до моментів буксування), викликаючи додатковий нагрів машини. Також буксування роликів об метал виникає при виході розкату з валів кліти з більшою швидкістю через так званого «випередження». Вважаємо, що 25% -го резерву потужності двигуна досить для покриття додаткових моментів.

## **3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ СТАТИННИХ РОЛИКІВ ЧИСТОВОЇ КЛІТИ**

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

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 електроприводу може бути зібрана за різними схемами: Г-Д, ШП-Д або ТП-Д.

Система Г-Д володіє хорошими регульовальними властивостями, порівняно невисокою питомою вартістю і великим терміном служби. Основною перевагою цієї системи є високий коефіцієнт потужності, крім того, при роботі системи Г-Д не спотворюється форма напруги мережі живлення змінного струму.

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

В даний час система Г-Д має обмежене застосування в зв'язку з масовим впровадженням перетворювачів на тиристорах і транзисторах. У металургійній промисловості використовується в якості електроприводу великої потужності на деякі 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 в ланцюзі навантаження, високої частоти комутації і менш істотних нелінійностей перетворювача;



- широкий діапазон регулювання вихідної напруги (до  $1:10^5$ );
- високий ККД, оскільки втрати потужності на регулюючому елементі ШПІ незначні в порівнянні з втратами потужності в разі безперервного регулювання;
- високий коефіцієнт потужності системи;
- високе використання двигунів по струму через велику частоту комутації і малі пульсації струму якоря;
- низький вихідний опір перетворювача і тому більш жорсткі швидкісні і механічні характеристики двигуна;
- мала чутливість до змін температури навколишнього середовища, оскільки регулюючим чинником є час провідності ключа, а не величина внутрішнього опору регулюючого елемента, що має місце при безперервному регулюванні;
- малі габарити і маса;
- постійна готовність до роботи.

Разом з тим ШПІ притаманні і недоліки:

- імпульсний режим роботи регулюючого елемента призводить до необхідності встановлювати вихідні фільтри, що викликає інерційність процесу регулювання в замкнутих системах;
- високі швидкості включення і виключення струму в силовому ланцюзі ШПІ призводять до виникнення радіоперешкод.

В даний час практичне застосування ШПІ на напівпровідникових елементах обмежене електроприводами малої і середньої потужності.

В електроприводах середньої і великої потужності широкого поширення набула система ТП-Д. В порівнянні з системою Г-Д ця система електроприводу має низку переваг:

- відсутність обертових частин, безшумність в роботі;
- вищі швидкодія і 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 механізму велику продуктивність і високу якість продукції;
- менша чутливість до впливу газів і забрудненого середовища;
- відсутність складних вентиляційних пристроїв.

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

- погіршення коефіцієнта потужності пропорційно і зменшення при цьому здатності навантаження ТП, що особливо відчутно в приводах великої потужності;
- при глибокому регулюванні крім зменшення коефіцієнта потужності збільшується амплітуда пульсацій в кривих випрямленої напруги і струму, що може несприятливо позначитися на комутації струму приводного двигуна, викликати розриви струму і коливання швидкості обертання двигуна;
- спотворення форми кривої напруги мережі живлення в результаті комутаційних процесів в ТП, що несприятливо позначається на роботі інших електроустановок, які живляться від цієї мережі, а також на роботі самого ТП, оскільки нерідко мережева напруга використовується в якості опорної.

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

Тиристорні електроприводи (система ТП-Д) мають високі техніко-економічні показники і 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 замкнутими, а підвищення якісних показників їх роботи досягається введенням спеціальних коригувальних ланок (системи з послідовною, паралельною і змішаною корекцією) або організацією модального керування. Системи з паралельною, послідовною і змішаною корекцією зазвичай представляють собою багатоконтурні системи регулювання. Кожна з цих систем має свої переваги і недоліки.

При застосуванні паралельної корекції підвищується стабільність характеристик системи за рахунок ланок, охоплених зворотнім зв'язком. Вплив перешкод на коригуючий пристрій, включений в ланцюг зворотного зв'язку, значно менше, ніж 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 розрахунку системи і велика трудомісткість налаштування. Контур, утворений місцевим зворотнім зв'язком, може сам по собі виявитися нестійким, виникають також труднощі з підсумовуванням сигналів. Крім того, цю систему слід завжди розглядати як єдине ціле, оскільки в більшості випадків зміна одного з параметрів вимагає перерахунку і перебудови всієї системи.

Системи з послідовною корекцією вигідно відрізняються від систем з паралельною корекцією, особливо при складних структурах об'єкта регулювання, великому числі регульованих параметрів і високих вимогах до якості регулювання. Прості і зручні для практики методи розрахунку і настроювання контурів систем з послідовною корекцією дозволяють навіть при значних погрішності у визначенні динамічних параметрів об'єкта регулювання отримати цілком працездатну систему керування електроприводом. Такі системи вводять в експлуатацію методом послідовного налаштування окремих контурів системи керування (на відміну від систем з паралельною корекцією). Великою перевагою систем з послідовною корекцією є зручність обмеження будь-якого з регульованих параметрів на заданому рівні.

Створення практично безінерційних тиристорних і транзисторних перетворювачів з малою потужністю керування і операційних підсилювачів постійного струму, що застосовуються в якості активних коригувальних ланок, забезпечило широке впровадження систем з послідовною корекцією для керування практично всіма видами металургійного електроприводу 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 знаходяться в підпорядкуванні один з іншим. Наприклад, параметр напруги перетворювача підпорядкований параметру струму в головному ланцюзі, а останній підпорядкований параметру швидкості електродвигуна і т.п. Тому системи з послідовною корекцією називають також системами підпорядкованого керування (регулювання).

### **3.2 Вибір комплектного електропривода**

Основними технічними даними комплектних тиристорних електроприводів є номінальний струм  $I_{н\text{ ТП}}$  і напруга  $U_{н\text{ ТП}}$ . При роздільному живленні якірних ланцюгів номінальний струм перетворювача збігається з номінальним струмом двигуна.

Номінальна напруга перетворювача визначається номінальною напругою електродвигуна, яке менше номінальної напруги ТП, визначеного по ГОСТ 25953-83, на 5-15%, що забезпечує необхідний запас на регулювання швидкості і на безпечне інвертування при зниженні напруги мережі живлення. Номінальні дані двигуна П100/160У3 для якого проводиться вибір силового ТП наведені в таблиці 2.1.

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

Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу та конструкція шафи SIMOREG DC MASTER приведена на рис. 3.2 - 3.2 [5].

Таблиця 3.1 - Технічні дані перетворювача шафового виконання SIMOREG DC Master 6RM7078-6FV02

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Номінальна живляча 3х фазна напруга, В	$U_{H1\ TP} = 460$
Номінальний вхідний струм, А	$I_{H1\ TP} = 233$
Номінальна випрямлена (постійна) напруга, В	$U_{H\ TP} = 480$
Номінальна випрямлена (постійна) струм, А	$I_{H\ TP} = 280$
Номінальна потужність, кВт	$P_{H\ TP} = 134$
Номінальна напруга збудження, В	$U_{B\ TP} = 373$
Номінальний струм збудження, А	$I_{B\ TP} = 15$
Маса, кг	$m_{TP} = 200$

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

Всі блоки SIMOREG DC MASTER забезпечені простою панеллю керування (PMU), закріпленою на дверцятах перетворювача. Панель складається з п'ятирозрядного, семисигментного індикатора, трьох світлодіодів індикації стану і трьох клавiш параметрування. На панелі керування так само знаходиться з'єднувач типу X300 з інтерфейсом USS, що відповідає стандарту RS232 або RS485. Панель забезпечує все необхідне для регулювання і

налаштування, а так само відображення вимірних значень, необхідних для запуску перетворювача.

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

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

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

With SIMOREG DC MASTER 30 A to 280 A, 460 V

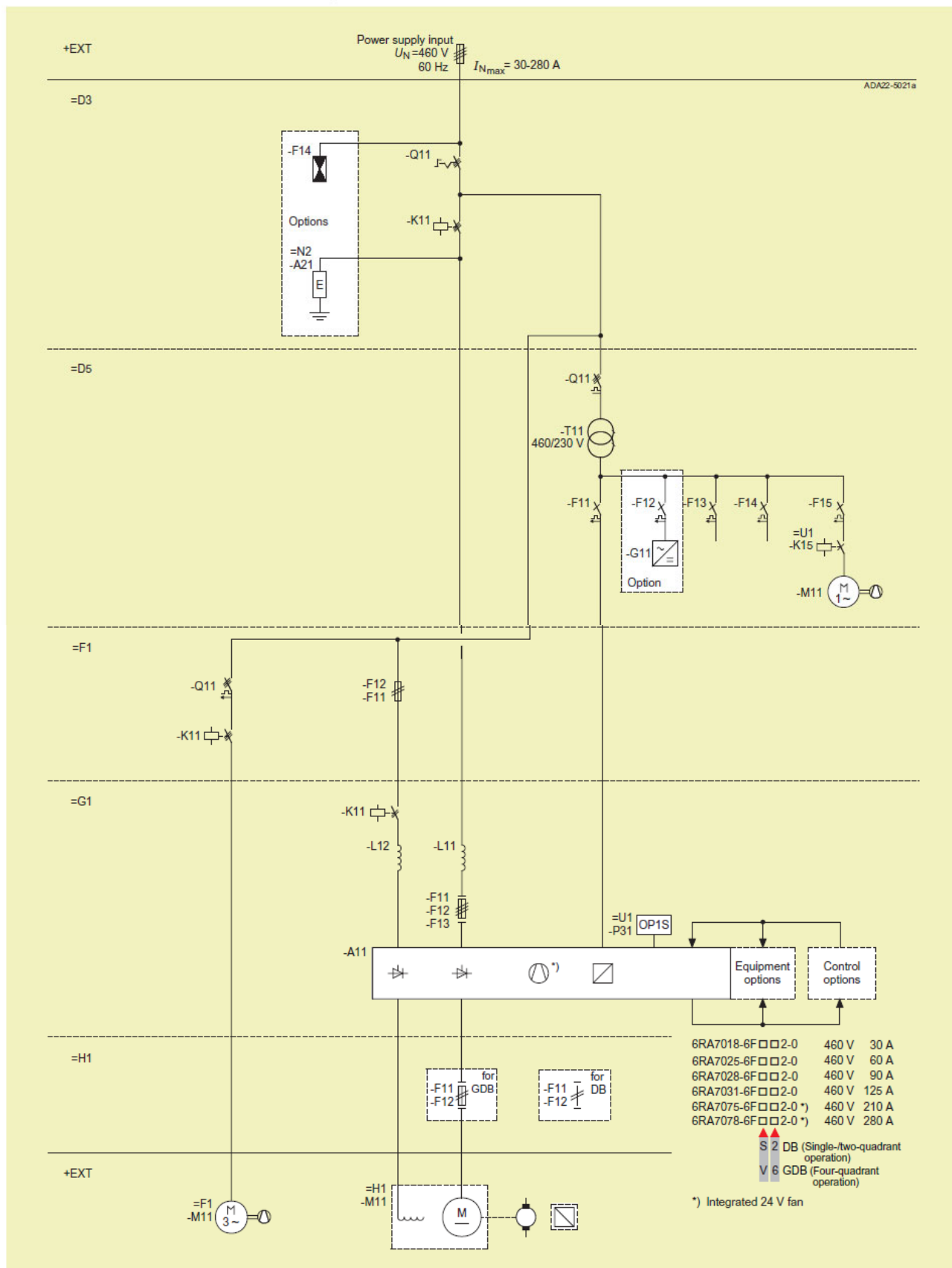


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема силової частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER

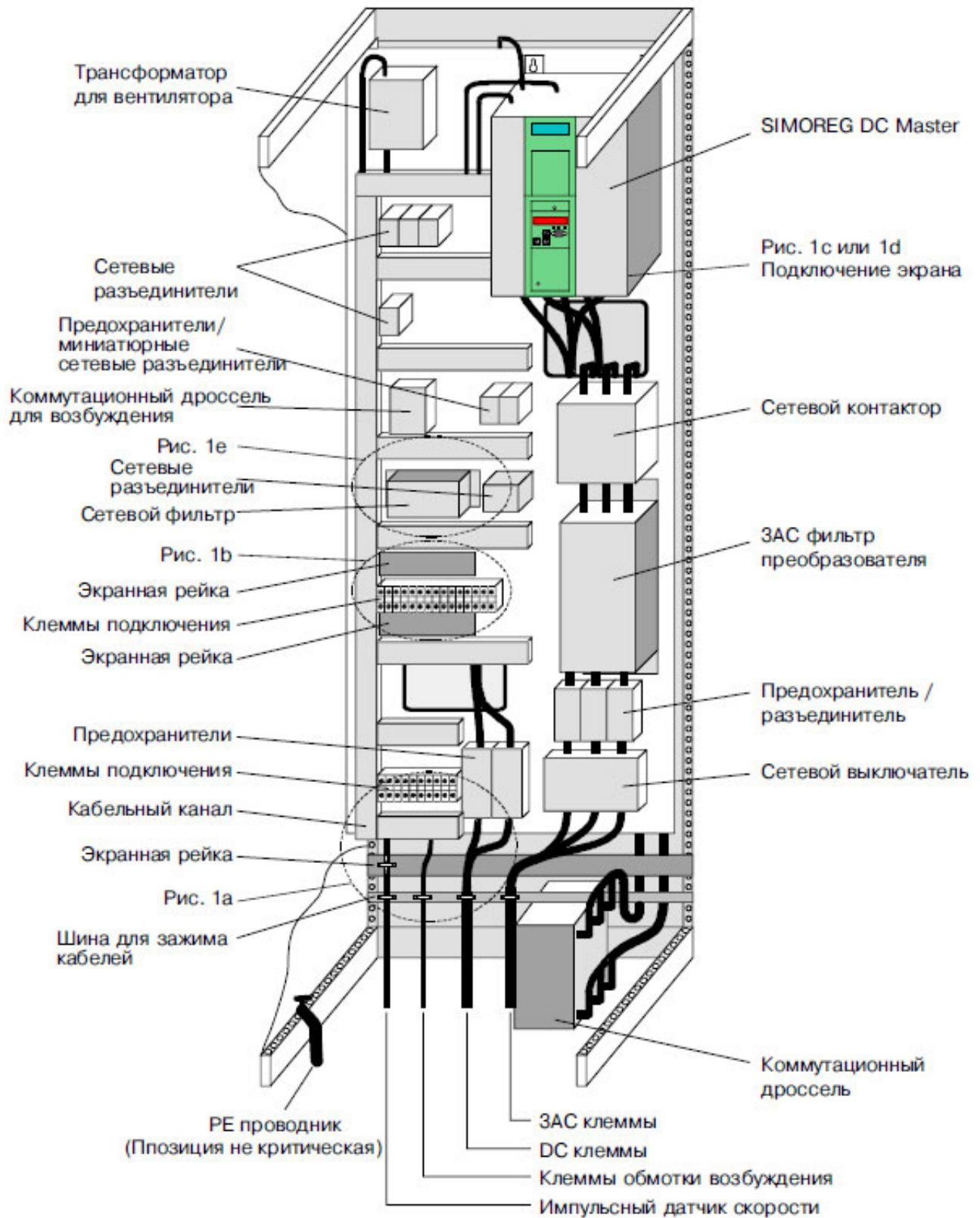


Рисунок 3.2 - Конструкция шкафа комплектного тиристорного электроприводу SIMOREG DC MASTER серіі 6RM70



### 3.3 Вибір силового трансформатора і згладжувального дроселя

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

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

Таблиця 3.2 - Технічні дані силового трансформатора ТСЗП-400 / 10УЗ виконання 2 для живлення двох тиристорних перетворювачів

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Первинна номінальна потужність, кВ·А розрахункове значення $S_{1н} = 1,045 \cdot 1,35 \cdot U_{2тр} \cdot I_{днтр} \cdot 10^{-3}$	$P_{тр} = 364$
Напруга живильної мережі (мережева обмотка), В	$U_{1тр} = 6000$
Номінальна випрямлена напруга (перетворювач), В	$U_{дн} = 460$
Номінальний випрямлений струм (перетворювач), А	$I_{днтр} = 630$
Вторинна лінійна напруга (вентильна обмотка) $U_{2лн}$ , В	$U_{2тр} = 409$
Вторинний лінійний струм (вентильна обмотка) $I_{2лн}$ , А розрахункове значення $I_{2тр\ тп} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_{днтр}$	$I_{2тр} = 514$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{хх} = 1600$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{кз} = 4500$
Напруга короткого замикання, %	$U_{кз\%} = 5,3$
Струм холостого ходу, %	$I_{хх\%} = 2,5$

Трансформаторне обладнання вибирається відповідно до параметрів тиристорного перетворювача та електродвигуна.

Оскільки пульсації струму, що протікає в якірному ланцюгу, погіршують тепловий режим електродвигуна й умови його комутації, для їх зменшення застосовується згладжувальний дросель. Зменшення пульсацій напруги на затискачах якоря при включенні дроселя пояснюється тим, що на якір подається сума випрямленої напруги мережі і ЕРС самоіндукції дроселя. Крім цього, введення згладжувального реактора призводить до звуження зони переривчастих струмів, що, в свою чергу, призводить до збільшення жорсткості швидкісних характеристик приводу.

Індуктивність згладжувального дроселя, що включається послідовно з якорем двигуна, вибирається з умови виконання двох вимог:

- забезпечення безперервності струму якоря двигуна в певному діапазоні навантажень і частот обертання двигуна;
- обмеження амплітуди змінної складової струму якоря двигуна.

Нижче наведено розрахунок згладжує дроселя [11, приклад 1-24, 1-27].

Значення максимально випрямленої ЕРС (ідеальна випрямлена напруга; напруга на виході перетворювача):

$$E_{d0} = 1,35U_{2\text{ тр}} = 1,35 \cdot 409 = 552,15 \text{ В} \quad (3.1)$$

де 1,35 - коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

$U_{2\text{ тр}}_{\text{нп}}$  - номінальну напругу на вторинній обмотці силового трансформатора, В.

Кругова частота 1-ої гармоніки випрямленої напруги:

$$\omega_1 = 2\pi f_c m_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 6 = 1884,956 \text{ Гц} \quad (3.2)$$

де  $f_c$  - частота живильної мережі, Гц;  $m_\phi$  - число фаз випрямлення.

Активний, індуктивний та повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} U_{2 \text{ тр}}^2}{P_{\text{тр}}^2} = \frac{4500 \cdot 409^2}{(364 \cdot 10^3)^2} = 5,681 \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$

$$z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}\%} U_{2 \text{ тр}}}{100 I_{2 \text{ тр}} \sqrt{3}} = \frac{5,3 \cdot 409}{100 \cdot 514 \cdot \sqrt{3}} = 24,349 \cdot 10^{-3} \quad (3.4)$$

$$x_{\text{а тр}} = \sqrt{z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{(24,349 \cdot 10^{-3})^2 - (5,681 \cdot 10^{-3})^2} = 26,677 \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

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

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

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

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

Індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\text{тр}} = \frac{x_{\text{а тр}}}{2\pi f_c} = \frac{23,677 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 75,365 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (3.6)$$

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

Індуктивність обмотки якоря двигуна визначається за емпіричною формулою [12, с.56]:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{30 \cdot U_{\text{н}}}{\pi \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} \cdot p} = 0,1 \frac{30 \cdot 440}{3,14 \cdot 160 \cdot 248 \cdot 2} = 5,294 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.7)$$

де  $k$  – постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції електродвигуна ( $k=0,1$  - для компенсованих машин;  $k=0,5\dots 0,6$  – для некомпенсованих машин);

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

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

$p = 8$  – число пар полюсів електродвигуна;

$n_n$  – номінальна частота обертання електродвигуна.

Пульсації випрямленої напруги призводять до пульсації випрямленого струму, які погіршують комутацію двигуна та збільшують його нагрівання. Вплив пульсацій на комутацію двигунів виражається у звужуванні зони темної комутації порівняно з живленням від генератора постійного струму та у появі іскріння під щітками.

Для обмеження нагрівання та поліпшення комутації двигуна з допомогою згладжувальних реакторів обмежують (згладжують) амплітуду змінної складової. При цьому звичайно виходять з допустимого рівня пульсацій випрямленого струму для двигуна при номінальній швидкості та номінальній напрузі. Оцінка ведеться за діючим значенням основної гармоніки, яке повинно складати від 2 до 15 % номінального струму двигуна залежно від його потужності та діапазону регулювання швидкості. Із збільшенням потужності двигуна, а також при значному діапазоні регулювання швидкості допустимий рівень пульсації випрямленого струму зменшується.

Розрахункову індуктивність згладжувального дроселя, необхідну для забезпечення потрібного рівня пульсацій випрямленого струму можна визначити за наступною формулою [12, с. 56]:

$$L_{\text{сд}} = \frac{e_n E_{\text{d0}}}{i_e \omega_1 I_{\text{н дв}}} - (2L_{\text{тр}} + L_{\text{дв}}) =$$

$$= \frac{0,24 \cdot 552,15}{0,03 \cdot 1884,956 \cdot 248} - (2 \cdot 75,365 \cdot 10^{-6} + 5,294 \cdot 10^{-3}) = 4 \text{ мГн} \quad (3.8)$$

де  $e_n$  - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої напруги, може бути підрахована за допомогою рівнянь [11, с. 40], або з графіка [11, с. 47 рис. 1.31]. На цьому графіку зображено залежність  $e_n$  для мостової трифазної схеми випрямлення в функції кута регулювання  $\alpha$ . Приймаємо граничний кут регулювання  $\alpha_{\text{max}} = 90$  ел. град, тоді значення  $e_n = 0,24$ ;

$E_{d0}$  - значення максимально випрямленої ЕРС, В;

$i_e$  - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої струму.  $i_e = 0,02 \div 0,05$ , нижня межа береться для електроприводу середньої і великої потужності, а верхній - для електроприводу малої потужності [11, с. 46, 59];

$\omega_1$  - кругова частота 1-ої гармоніки випрямленої напруги, Гц;

$I_{н д\text{в}}$  - номінальний струм якоря електродвигуна (струм навантаження перетворювача), А (див. табл. 1.3);

$L_{т\text{р}}$  - індуктивність силового трансформатора, наведена до ланцюга випрямленого струму, Гн;

$L_{д\text{в}}$  - індуктивність обмотки якоря електродвигуна, Гн.

З довідника [10, 12] вибираємо згладжувальний дросель, технічні дані якого наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні данні згладжувального дроселя типу ФРОС-250/0,5У3

Найменування параметра	Позначення та чисельне значення
Втрати в міді, Вт	$P_{сдм} = 5810$
Номінальний постійний струм, А	$I_{н сд} = 320$
Номінальна індуктивність, мГн	$L_{н сд} = 4,2$
Активний опір, мОм	$r_{сд} = 11,5$
Вага, кг	$m_{сд} = 220$

### 3.4 Опис принципової схеми силового ланцюга електроприводу станинних роликів

Принципова схема силового ланцюга станинних роликів чистової кліті наведена на рис. 3.3.

Схема підключення тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70 приведена на рис. 3.4 - 3.5.

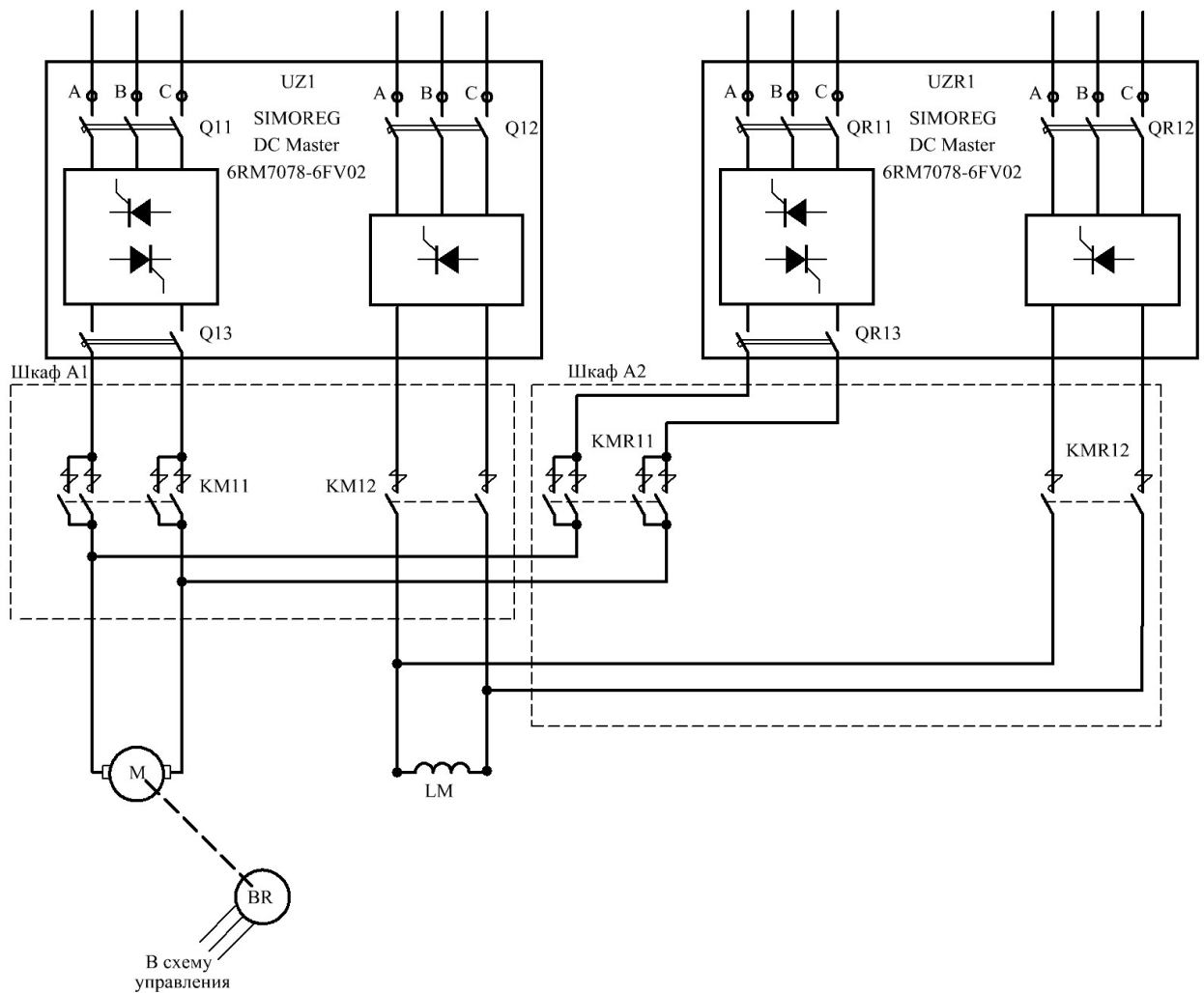


Рисунок 3.3 – Принципова схема силового ланцюга електроприводу станинних роликів чистової кліті

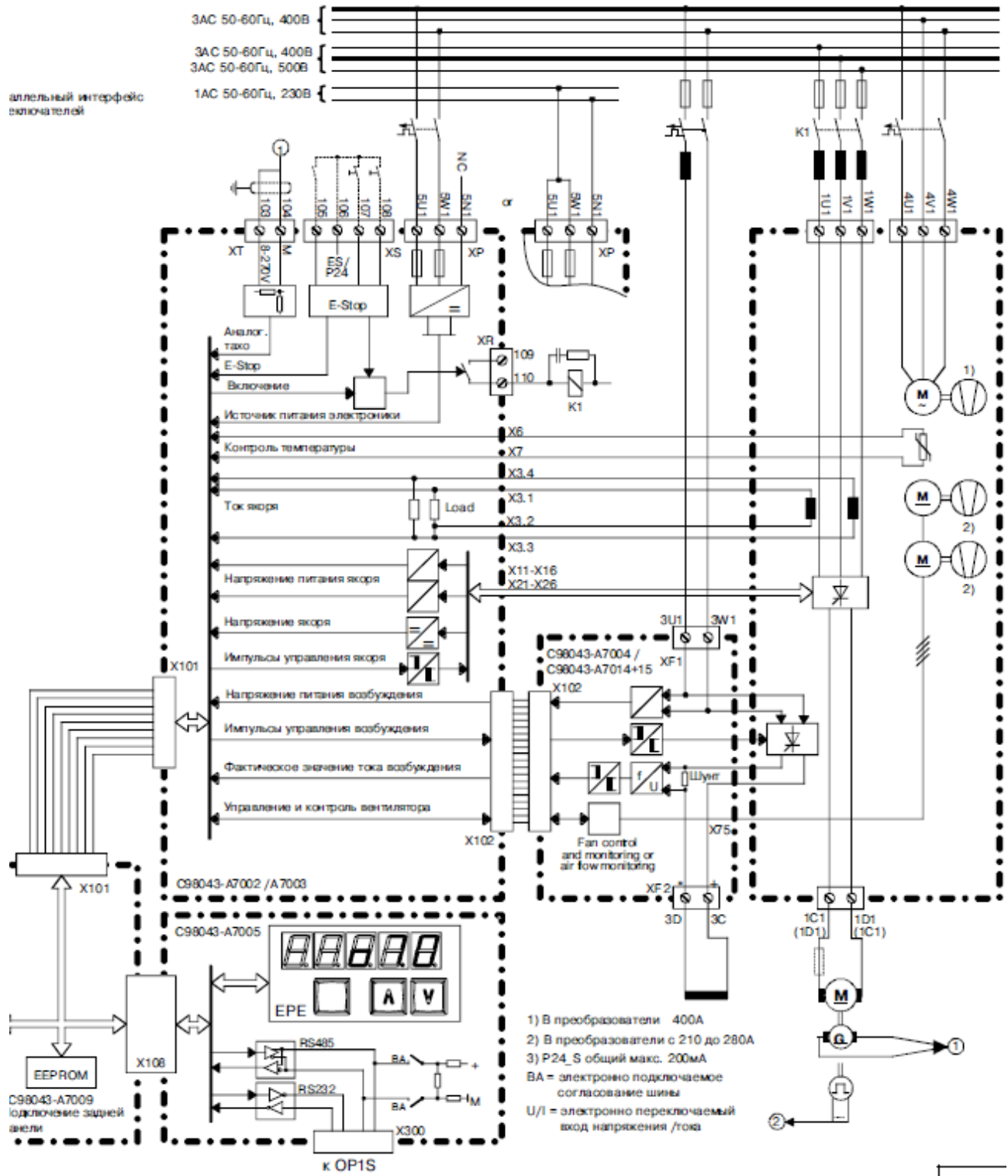


Рисунок 3.4 - Функціональна схема підключення (силова схема) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

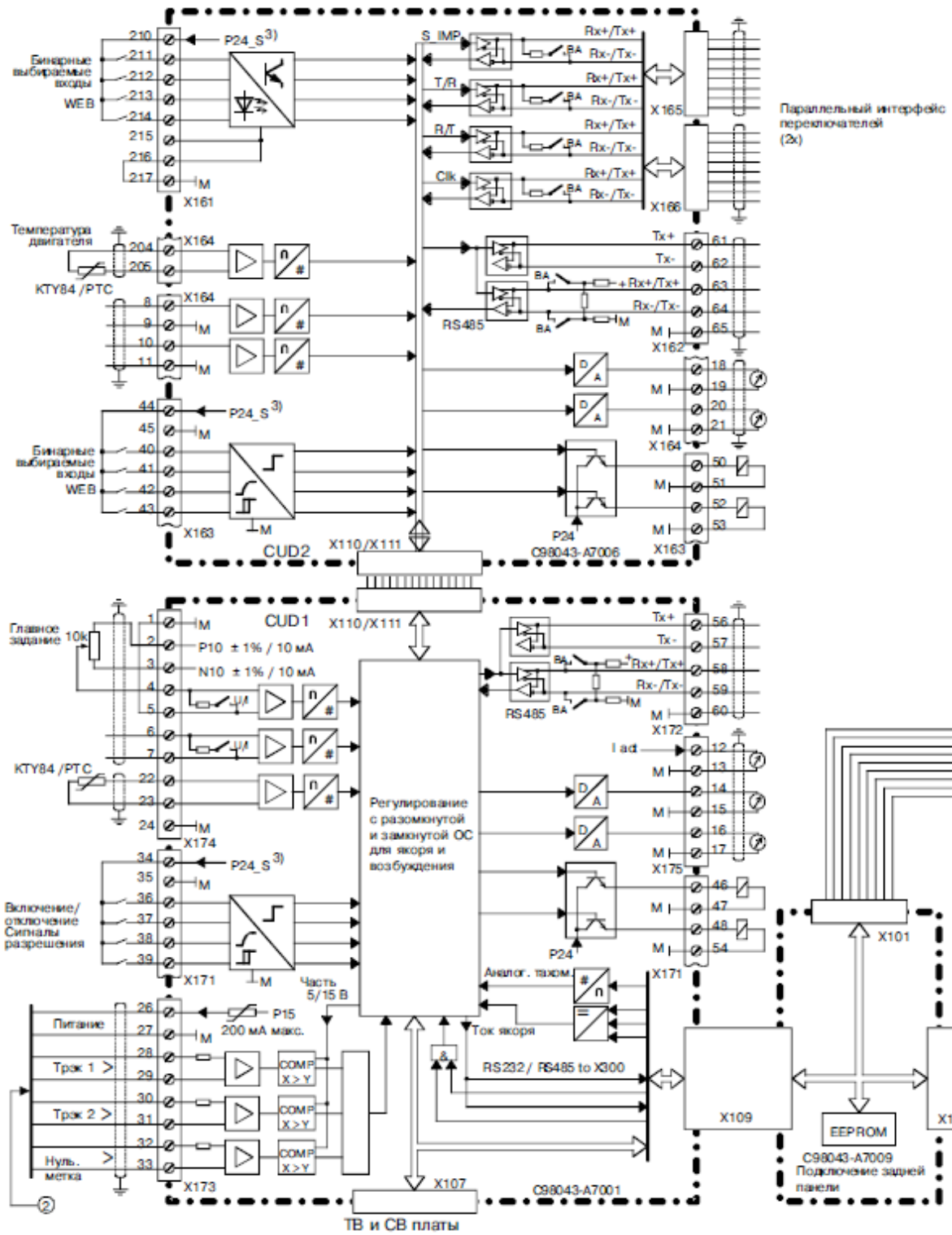


Рисунок 3.5 - Функціональна схема підключення (схема керування) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70



### **3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (SIMOREG DC Master)**

Для живлення електродвигунів використовуються комплектні тиристорні електроприводи SIMOREG DC Master 6RM7078-6FV02 (див. табл. 3.1) з реверсом струму в якорному ланцюзі, трансформаторне підключення до мережі, з лінійним контактором і пристроєм динамічного гальмування, з вбудованим пристроєм збудження двигуна; з програмованими засобами керування, з однозонною системою регулювання швидкості зі зворотним зв'язком за швидкістю від імпульсного датчика швидкості, з мережевими зв'язками Profibus DP і CAN. Система захисту реагує на датчики аварій, а також на аварійні ситуації, що вираховуються програмно.

### **3.4.2 Резервування перетворювальної техніки**

В якості резервного агрегату UZR1, для живлення електродвигунів застосований комплектний тиристорний електропривод SIMOREG DC Master SIMOREG DC Master 6RM7078-6FV02 (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.

### **3.5 Вимоги до системи автоматизації**

Керування роботою станинних роликів - ручне і автоматичне.

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

Автоматичний режим керування є основним і містить в собі автоматичну послідовність роботи механізмів у функції наявності металу у відповідному контрольному перетині стану.

Інші функції при необхідності забезпечуються розробником АСУТП. Узгодити швидкість станинних роликів зі швидкістю кліті рольгангів, що примикають.

### Функції системи автоматизації

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

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

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

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

Кількість органів керування і сигналізації повинно бути погоджено між проектувальниками електроприводів і АСУ ТП в ході проектування.

Апарати на пультах керування повинні бути розподілені по трьох зонах:

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

На кожному з пультів, оснащених сигнальної арматурою, передбачити кнопку для контролю справності сигнальних ламп.

Керування станинними роликками перед і за чорною кліткою кварто здійснюється з поста керування чорною кліткою ПУЗ.

## 4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СТАНИННИХ РОЛИКІВ ЧИСТОВОЇ КЛІТИ

### 4.1 Математичний опис об'єкту керування

При синтезі системи керування приймаються звичайні для систем електроприводу допущення, лінійаризуючі 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 постійні 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 в наступному. Керування ТП здійснюється дискретно, оскільки 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  $\alpha$ , а зміною по кривій напруги живлення останнього тиристора, що проводив струм у зв'язку з неможливістю закрити по ланцюгу керування відкритий тиристор. Останнє явище отримало назву неповної керуваності тиристорного перетворювача.

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

САУ буде використана безперервна модель тиристорного перетворювача.

Система регулювання обраного тиристорного перетворювача двопроцесорна, всі регулятори (струму якоря, швидкості, ЕДС двигуна, струму збудження і т.п.) побудовані з функціональних блоків, реалізованих програмно. Внаслідок того, що швидкодія мікропроцесорів досить високу ресурсів, яких до того ж вистачає для реалізації системи захистів і сигналізації, здійснення моніторингу стану електроприводу, діагностики збоїв і попереджень, інтерфейсу оператора і т.п., синтез системи регулювання може бути здійснений відповідно до традиційного налаштування контурів за модульним і симетричними оптимумами, 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 ЕРС двигуна [13-14].

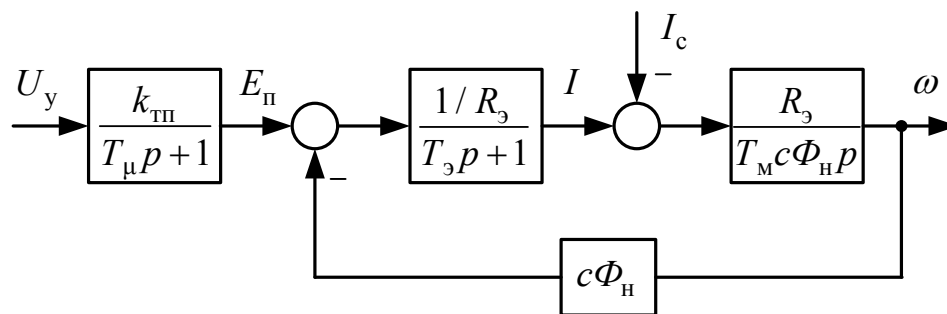


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електроприводу

## 4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу

Сумарний опір якірного ланцюга електродвигуна:

$$r_{\text{я.дв}} = \beta (r_{\text{я}} + r_{\text{дп}}) = 1,32(0,065 + 0,034) = 0,128 \text{ Ом} \quad (4.1)$$

де  $\beta = 1,32$  - температурний коефіцієнт двигуна, що враховує зміну опору

при нагріванні машини на  $80^{\circ}\text{C}$ ;

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

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

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 23,677 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 22,609 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.2)$$

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

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

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

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{\text{d0}}}{U_{\text{у max}}} = \frac{552,15}{10} = 55,21 \quad (4.3)$$

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

$E_{\text{d0}}$  - значення максимально випрямленою ЕРС.

Еквівалентний активний опір якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_{\text{э}} &= r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{сд}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ &= 0,128 + 2(5,681 \cdot 10^{-3}) + 11,5 \cdot 10^{-3} + \\ &+ 22,609 \cdot 10^{-3} + 12,8 \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.4)$$

де  $r_{\text{я.дв}}$  - активний опір якірного ланцюга двигуна;

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

$r_{\text{сд}}$  - активний опір згладжувального дроселя;

$r_{\text{к}}$  - комутаційний опір;

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

з'єднують ТП з якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} = 5,294 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 75,365 \cdot 10^{-6} = 0,0058 \text{ Гн} \quad (4.5)$$

Сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції транспортованого злитка), приведений до валу електродвигуна:

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}} = 54,9 + 506,6 + 374,018 = 935,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.6)$$

де  $J_{\text{дв}} = 54,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції електродвигуна (см. табл. 2.1);

$J_{\text{р}} = 374,018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції роликів;

$J_{\text{м}} = 506,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент інерції транспортованого злитка.

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} r_{\text{я,дв}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{440 - 248 \cdot 0,128}{16,75} = 24,5 \text{ Вс} \quad (4.7)$$

де  $\omega_{\text{н}} = 16,75 \text{ 1/с}$  - номінальна швидкість електродвигуна.

Електромагнітна стала часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,0058}{0,2} = 0,03 \text{ с} \quad (4.8)$$

Електромеханічна стала часу електроприводу:

$$T_{\text{м}} = \frac{J'_{\Sigma} R_{\Sigma}}{c\Phi_{\text{н}}^2} = \frac{935,5 \cdot 0,2}{24,5^2} = 0,314 \text{ с} \quad (4.9)$$

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

Співвідношення електромеханічної постійної часу до електромагнітної  $T_{\text{м}} / T_{\text{е}} = 0,314 / 0,03 = 10,8$ .

### 4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму враховуємо, що електромеханічна постійна часу  $T_M$  набагато більша електромагнітної постійної часу  $T_э$ . Також будемо зневажати зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, розглядаючи його її як збурюючим впливом у контурі струму [12, 18].

Структурна схема контуру струму представлено на рисунку 4.2.

У якості малої постійної часу контуру струму приймаємо малу постійну ТП  $T_μ = 5$  мс, що обирається, виходячи з необхідної швидкодії та завадостійкості системи регулювання. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

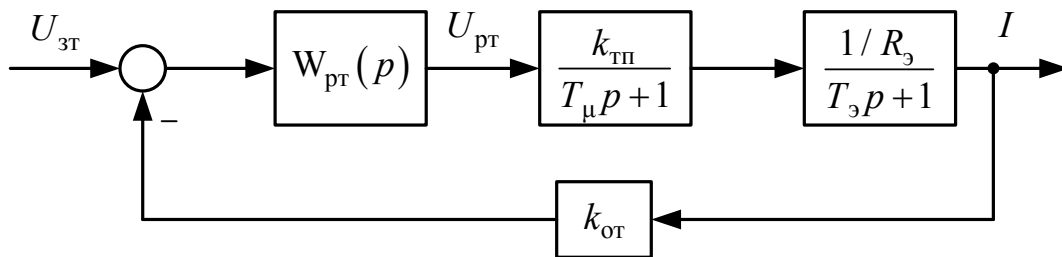


Рисунок 4.2 - Структурна схема контуру струму

На підставі структурної схеми, наведеної на рис. 4.2, та методики, викладеної в [18], можна отримати формули для визначення параметрів ПІ-РТ і передавальну функцію (ПФ) контуру регулювання струму (КРС), налаштованого на модульний оптимум (МО):

$$W_{рТ}^M(p) = \frac{R_э(T_э p + 1)}{k_{тП} k_{от} 2T_μ p} = \frac{R_э(T_э p + 1)}{k_{тП} k_{от} T_{от} p} = k_{рТП} + \frac{k_{рТИ}}{p} \quad (4.10)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора струму:

$$k_{рТП} = \frac{R_э T_э}{k_{тП} k_{от} T_{от}} = \frac{0,2 \cdot 0,03}{55,21 \cdot 0,016 \cdot 0,01} = 0,647 \quad (4.11)$$

$$k_{рТИ} = \frac{R_э}{k_{тП} k_{от} T_{от}} = \frac{0,2}{55,21 \cdot 0,016 \cdot 0,01} = 22,35 \text{ 1/с} \quad (4.12)$$

де  $T_3$  - електромагнітна стала часу системи ТП-Д;

$k_{\text{ТП}}$  - коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

$$k_{\text{от}} = \frac{U_{\text{зт.мах}}}{I_{\text{мах}}} = \frac{10}{620} = 0,016 \text{ В/А} - \text{коефіцієнт передачі ланки зворотнього}$$

зв'язку по струму;

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

$I_{\text{мах}} = 2,5I_{\text{н}} = 2,5 \cdot 248 = 620 \text{ А}$  - максимально допустимий струм якоря двигуна (струм упору);

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

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



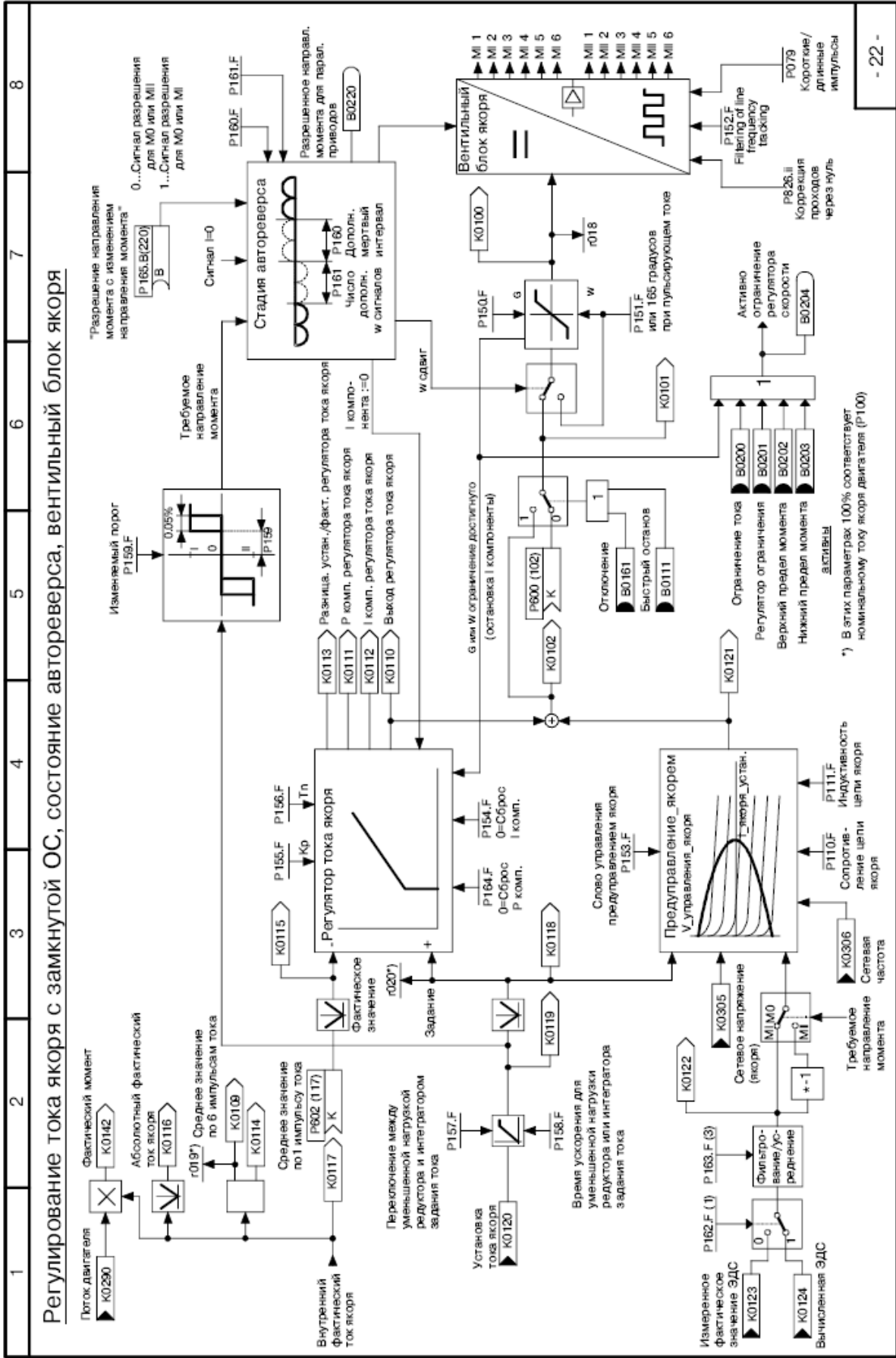


Рисунок 4.3 – Функціональна схема контуру регулювання струму у перетворювачі SIMOREG DC Master

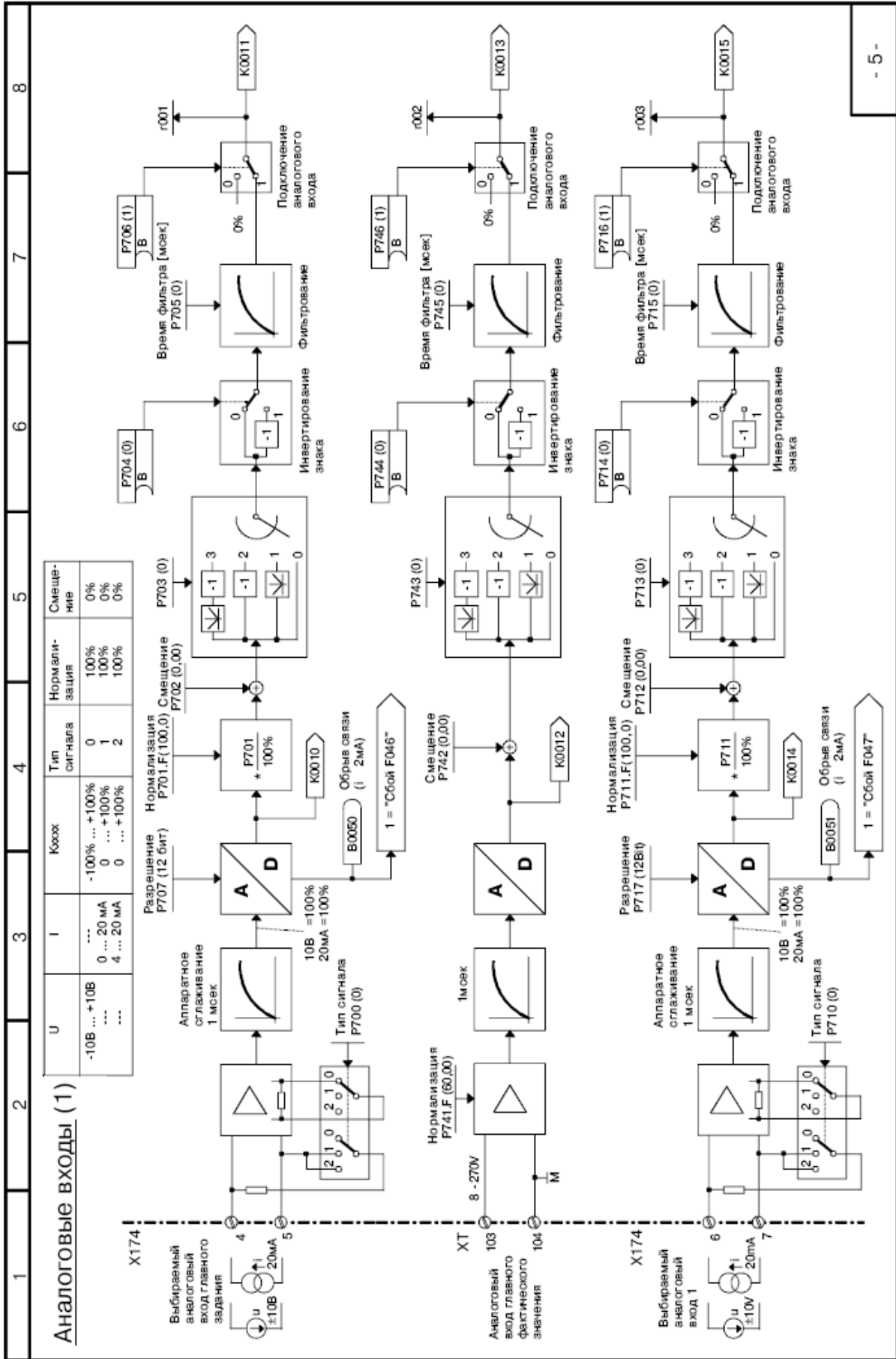


Рисунок 4.4 – Канал формирования сигнала зворотного зв'язку по струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.4 Синтез регулятора швидкості

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

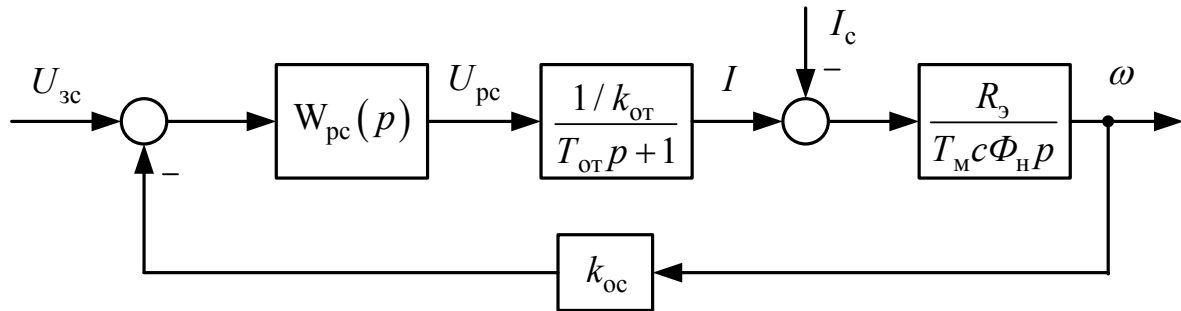


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

Регулятор швидкості організований по пропорційно-інтегральному (ПІ) закону керування з настроюванням на симетричний оптимум. Регулятор для забезпечення необхідних динамічних параметрів повинен компенсувати електромеханічну постійну часу системи  $T_M$ , а також малу постійну часу контуру швидкості  $T_{oc}$ . У цьому випадку передатна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{pc}^c(p) = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{oc} 2T_{от}} \frac{4T_{от}p + 1}{4T_{от}p} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{oc} T_{oc}} \frac{2T_{oc}p + 1}{2T_{oc}p} = k_{pc\Pi} + \frac{k_{pcИ}}{p} \quad (4.13)$$

Пропорційна та інтегральна частини ПІ-регулятора швидкості:

$$k_{pc\Pi} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{oc} T_{oc}} = \frac{0,314 \cdot 24,5 \cdot 0,016}{0,2 \cdot 0,6 \cdot 0,02} = 51,878 \quad (4.14)$$

$$k_{pcИ} = \frac{1}{T_{pc}} = \frac{T_M c \Phi_H k_{от}}{R_э k_{oc} 2T_{от}^2} = \frac{0,314 \cdot 24,5 \cdot 0,016}{0,2 \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot 0,02^2} = 1296,96 \text{ 1/c} \quad (4.15)$$

де  $T_M$  – електромеханічна постійна часу системи ТП-Д;

$$k_{oc} = \frac{U_{zc.max}}{\omega_{max}} = \frac{10}{16,75} = 0,6 \text{ Вс} - \text{ коефіцієнт передачі ланки зворотного}$$

зв'язку по швидкості;

$$U_{zc.max} = 10 \text{ В} - \text{ максимальний сигнал завдання на швидкість};$$

$$\omega_{max} = \omega_H = 16,75 \text{ 1/с} - \text{ максимальна швидкість електродвигуна};$$

$T_{oc} = 2T_{от} = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ с}$  - стала часу інтегрування контуру швидкості при налаштуванні на симетричний оптимум.

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

$$W_{\phi}(p) = \frac{1}{T_{\phi}p + 1} \quad (4.16)$$

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

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

У якості датчика швидкості обираємо імпульсний датчик HOG 10 DN концерну Huebner Berlin - 1024 імпульсу/оборот.

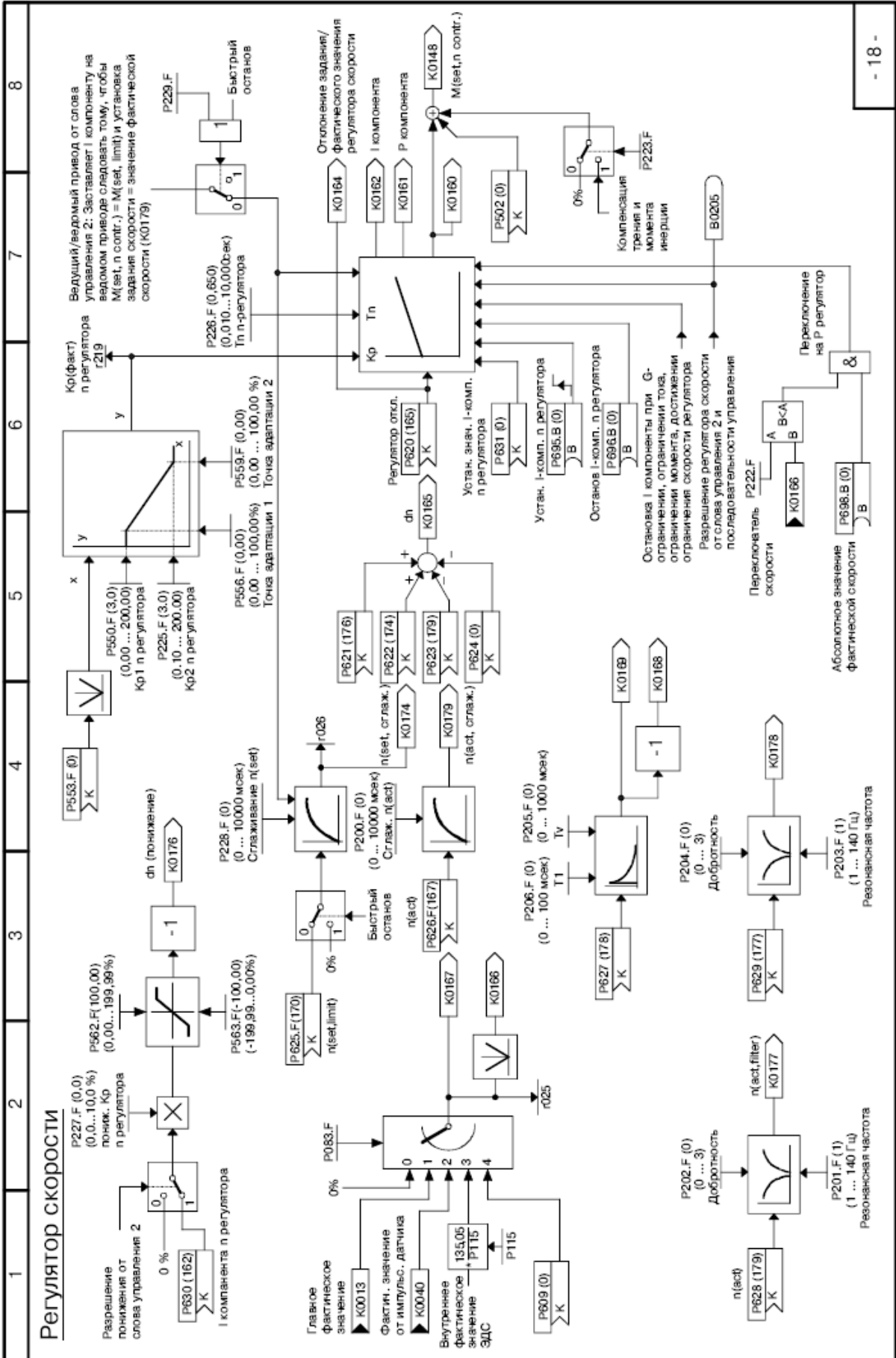


Рисунок 4.6 – Функціональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

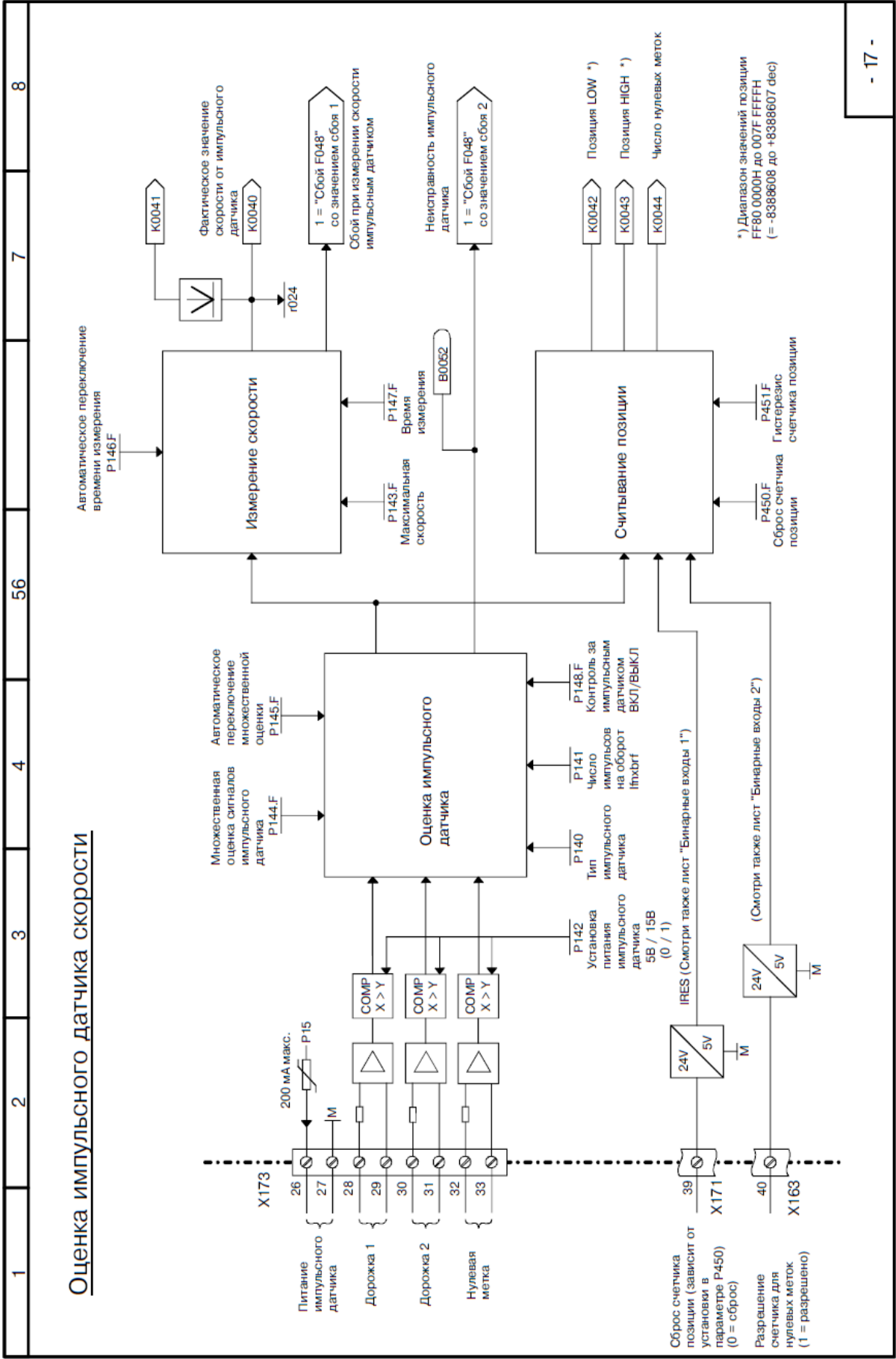


Рисунок 4.7 – Функциональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

#### 4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості

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

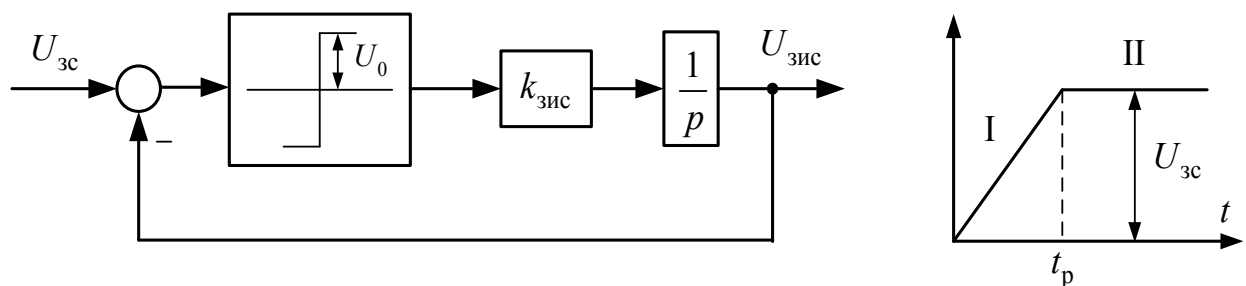


Рисунок 4.8 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідну напругу задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{I}} = U_0 k_{\text{зис}} t_p = \frac{R_3}{T_M c \Phi_H} \frac{I_{\text{дин}} U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{з.уст}}} t_p \quad (4.17)$$

II ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{II}} = U_{\text{зс}} \quad (4.18)$$

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

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

відповідна  $U_{\text{зс}}$ ;

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

$U_0 = 10$  В - позиція релейного елемента.

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

$$t_p = \frac{T_M c \Phi_H}{R_\Sigma} \cdot \frac{\omega_{з.уст}}{I_{дин}} = \frac{0,2 \cdot 24,5}{0,3} \cdot \frac{16,75}{248} = 1,124 \quad (4.19)$$

Коефіцієнт передачі задатчика інтенсивності:

$$k_{зис} = \frac{U_{зс}}{t_p} \quad (4.20)$$

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 швидкісний системи підпорядкованого керування електроприводу.



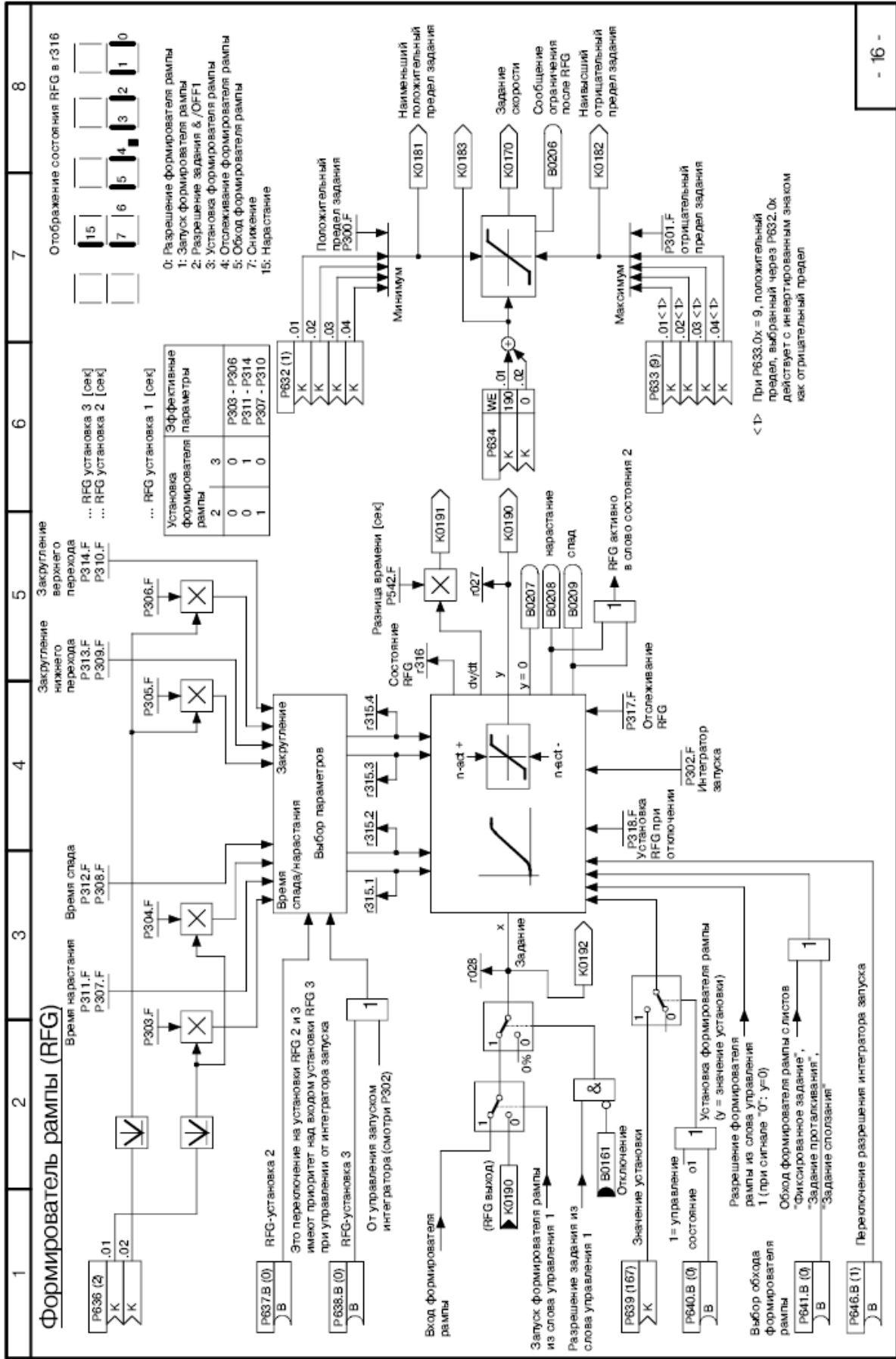


Рисунок 4.8 – Функциональна схема задавача інтенсивності в перетворювачі SIMOREG DC Master

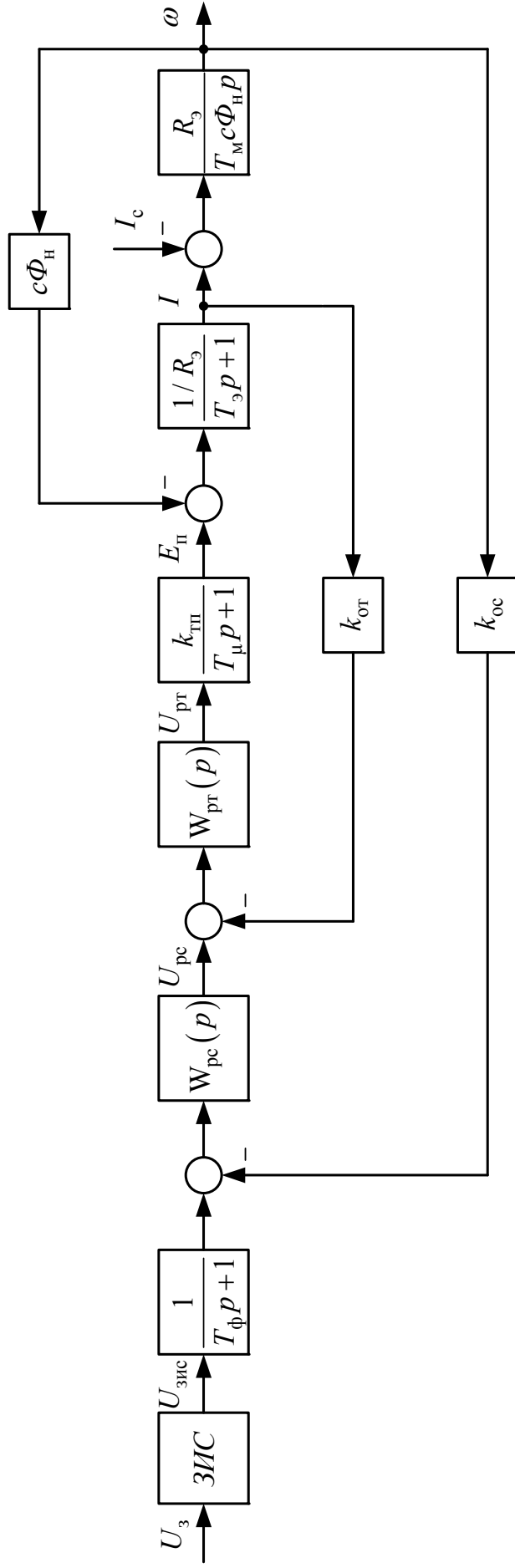


Рисунок 4.9 – Структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування

## 5 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СТАНИННИХ РОЛИКІВ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB/SIMULINK

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

При реалізації регуляторів струму і швидкості в цифровій моделі враховувалося їх насичення. Наприклад, при побудові моделі ПІ-регулятора недостатньо обмежити тільки його вихідну напругу за допомогою блоку Saturation, оскільки внутрішня інтегральна складова блоку при цьому може накопичувати в перехідному процесі значення, що перевершують передбачуваний поріг насичення. З цієї причини використання стандартного блоку PID-Controller, представленого в бібліотеці Simulink Extras/Additional Liner неприпустимо. Моделі регуляторів коректно враховують поріг насичення регулятора  $U_{y.max} = 10$  В (см. рис. 5.3) [13-15].

Графіки перехідних процесів (швидкість обертання двигуна; струм якірного ланцюга системи; ЕРС силового перетворювача; вихідна напруга регулятора положення; вихідна напруга регулятора швидкості; вихідна напруга регулятора струму; вихідна напруга задатчика інтенсивності швидкості) отримані як за номінальними параметрами об'єкта керування, так і при їх варіації наведено на рис. 5.5 - 5.16.

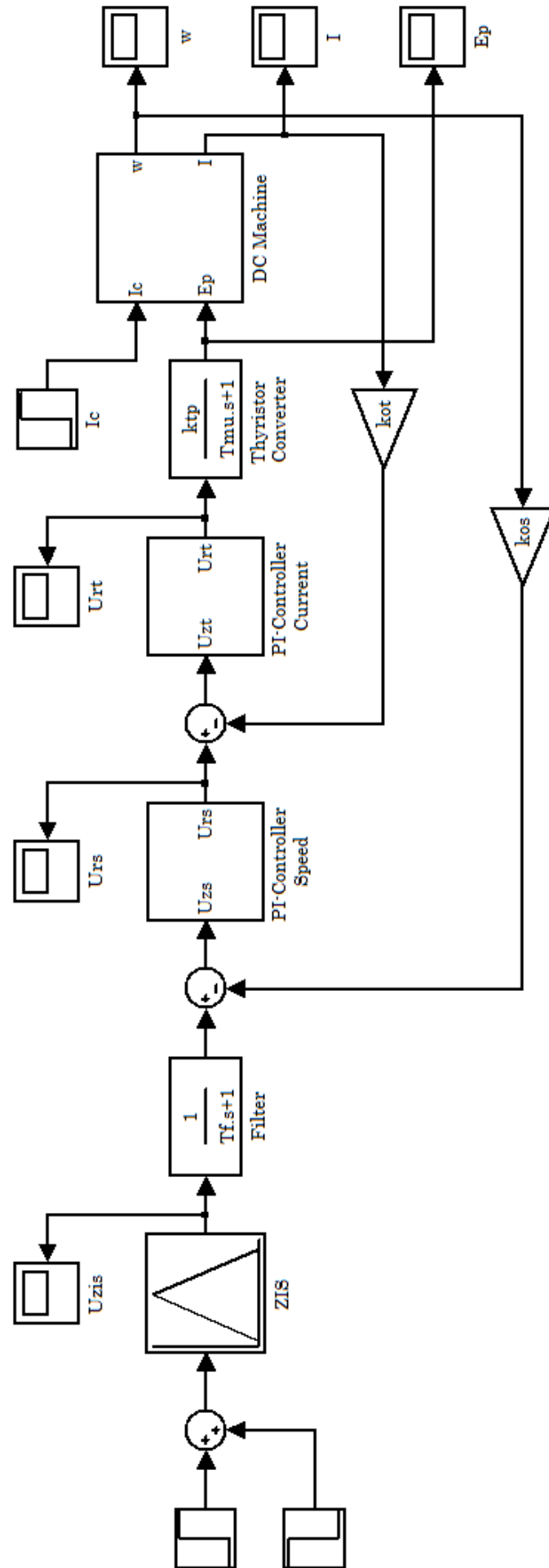


Рисунок 5.1 – Simulink-модель швидкісної системи підпорядкованого керування

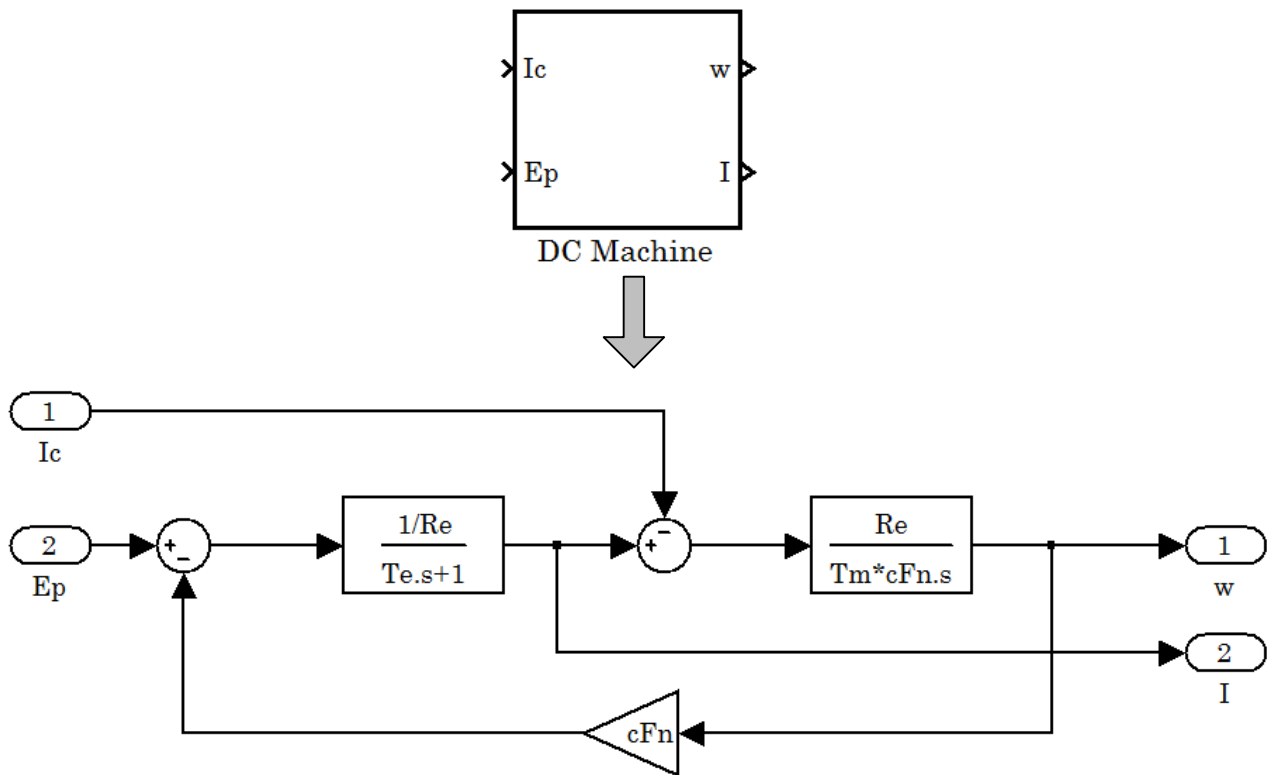


Рисунок 5.2 - Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

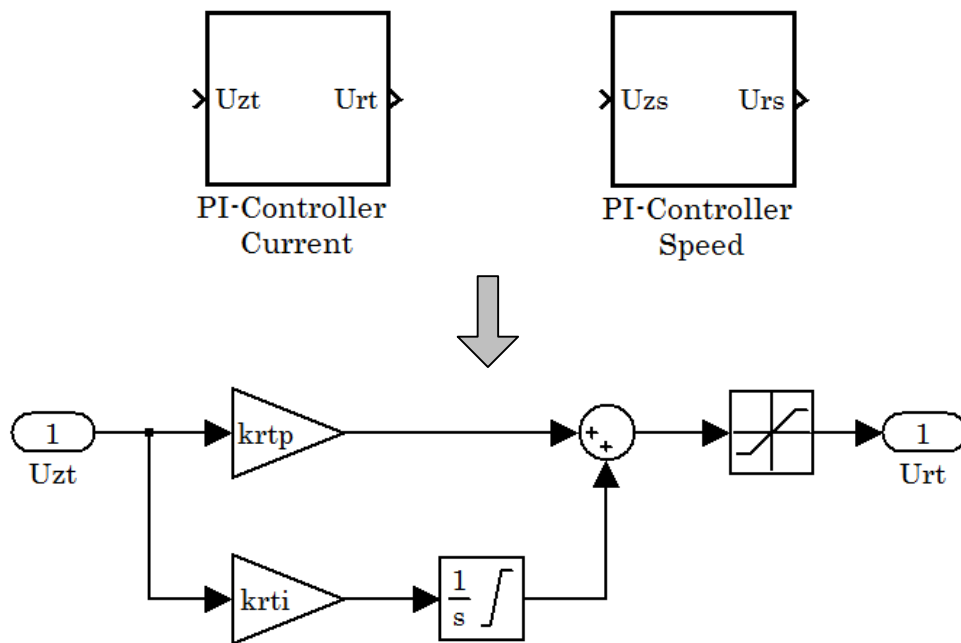


Рисунок 5.3 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-Controller Current) і швидкості (PI-Controller Speed), що враховує поріг насичення регулятора

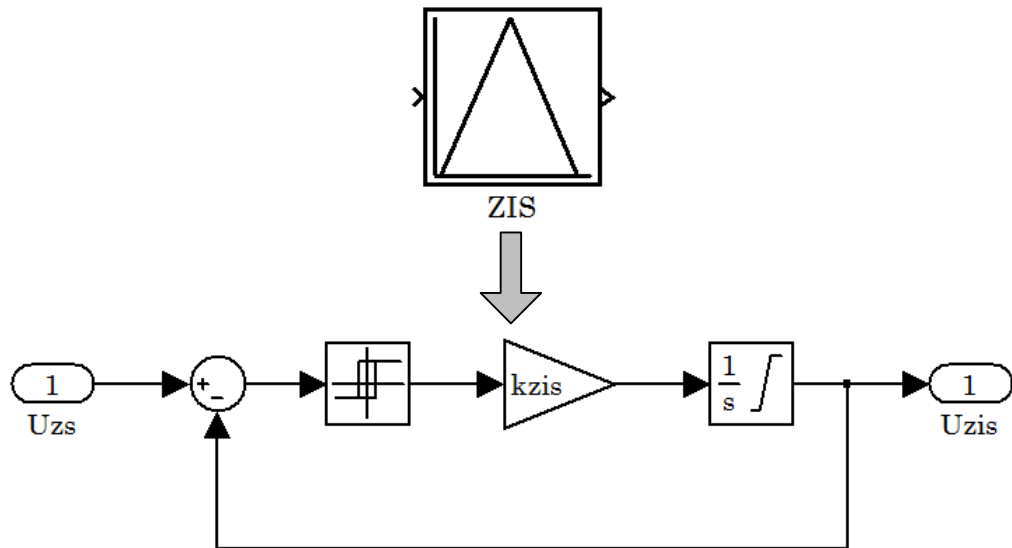


Рисунок 5.4 - Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS), що реалізує раціональну динаміку

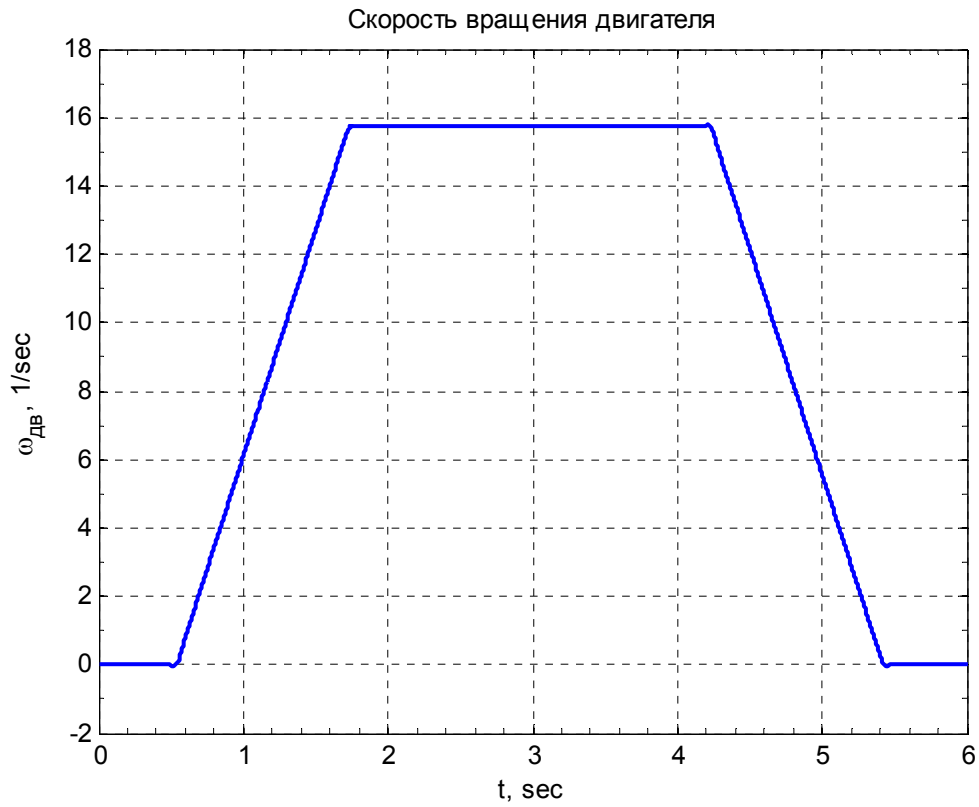


Рисунок 5.5 – График переходного процесса швидкості обертання двигуна ( $I_c = 0,3I_H$ )

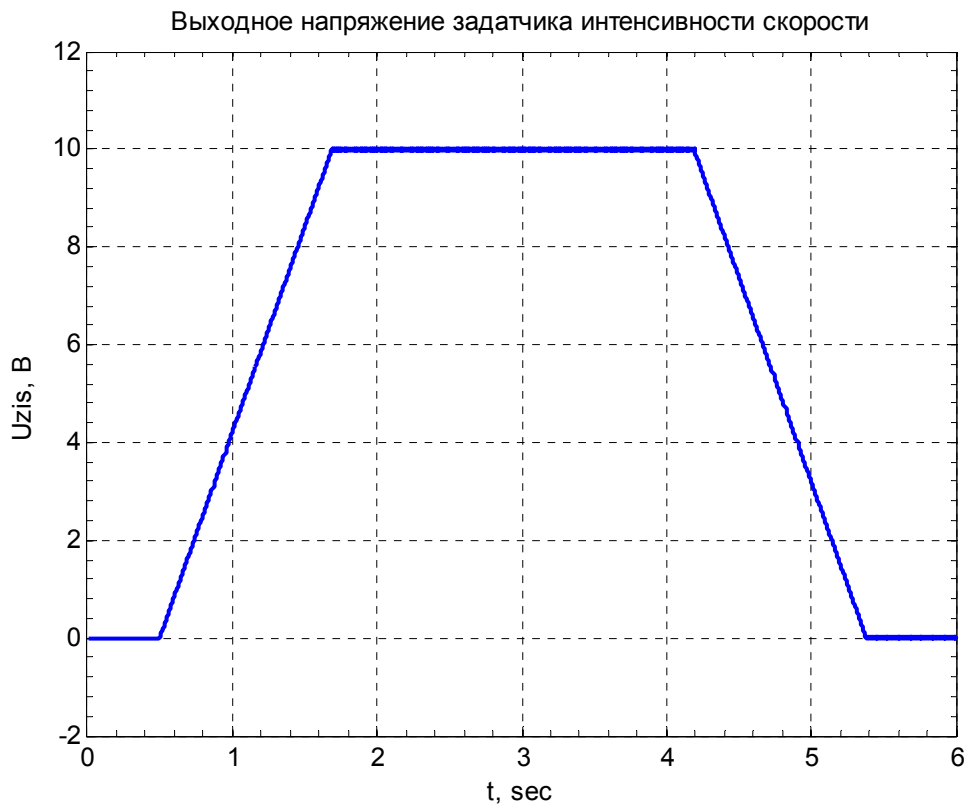


Рисунок 5.6 – График переходного процесу напруги датчика інтенсивності швидкості ( $I_c = 0,3I_H$ )

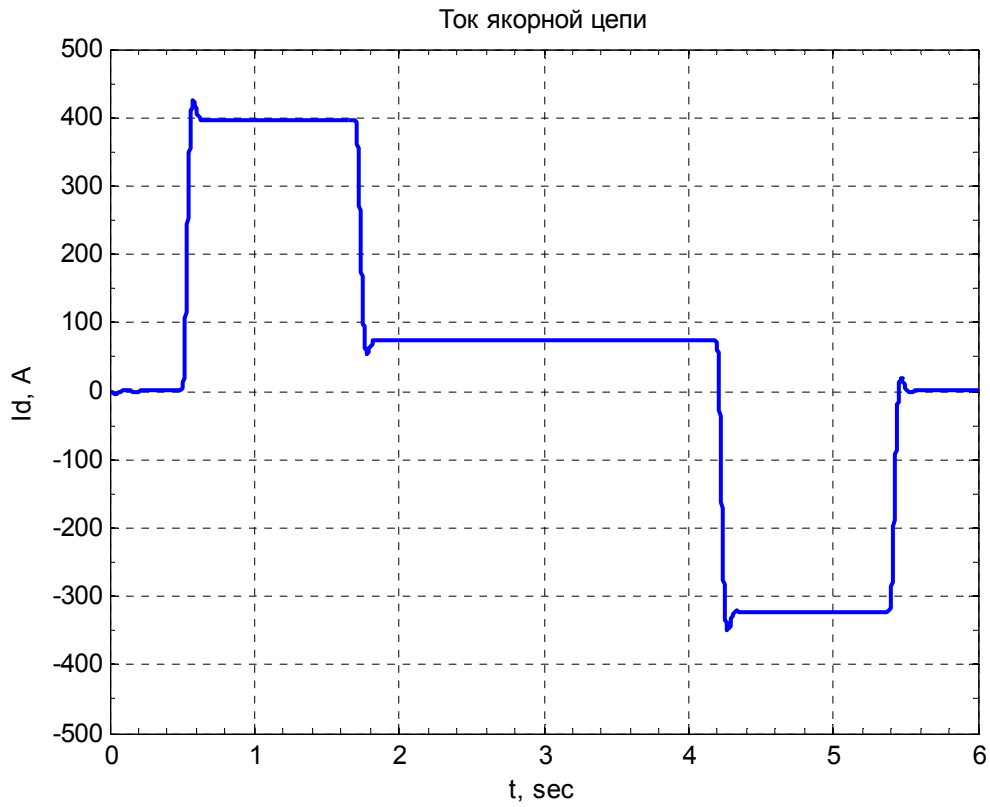


Рисунок 5.7 – График переходного процессу струму якоря ( $I_c = 0,3I_H$ )

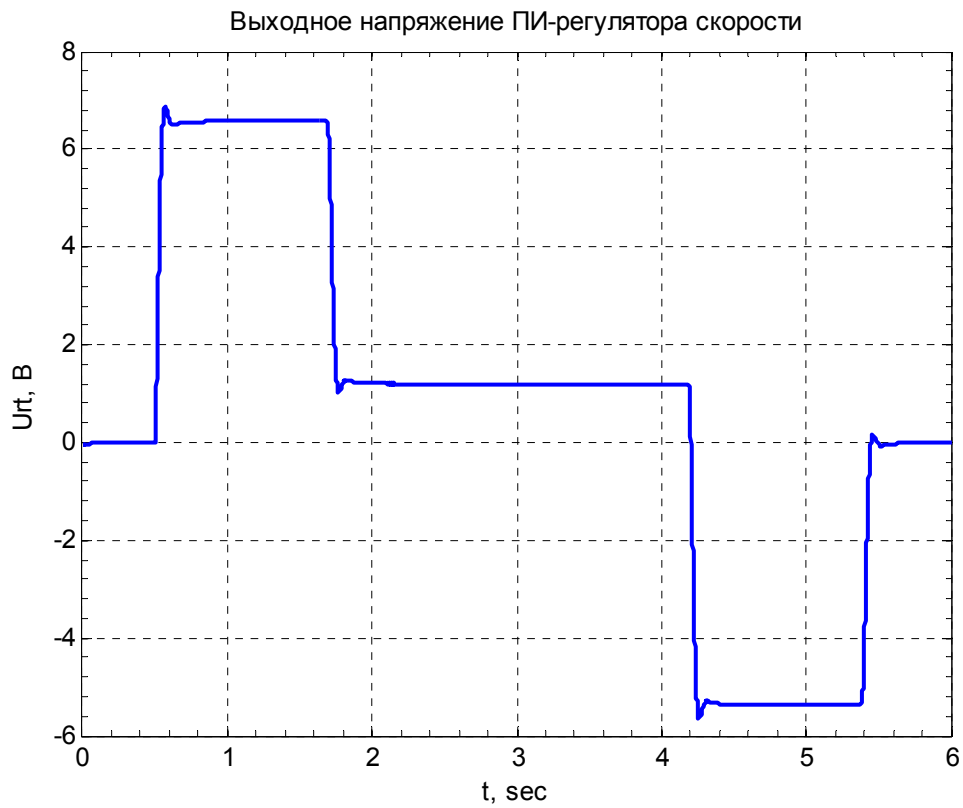


Рисунок 5.8 - График переходного процессу напруги ПИ-регулятора швидкості ( $I_c = 0,3I_H$ )



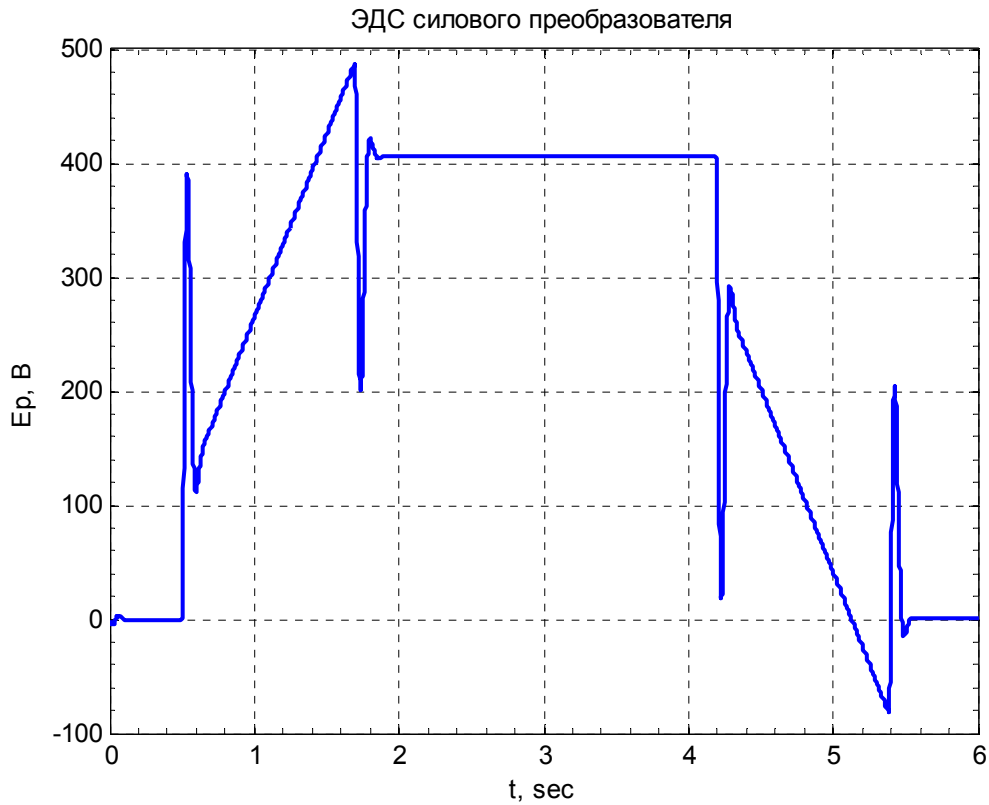


Рисунок 5.9 - Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача ( $I_c = 0,3I_H$ )

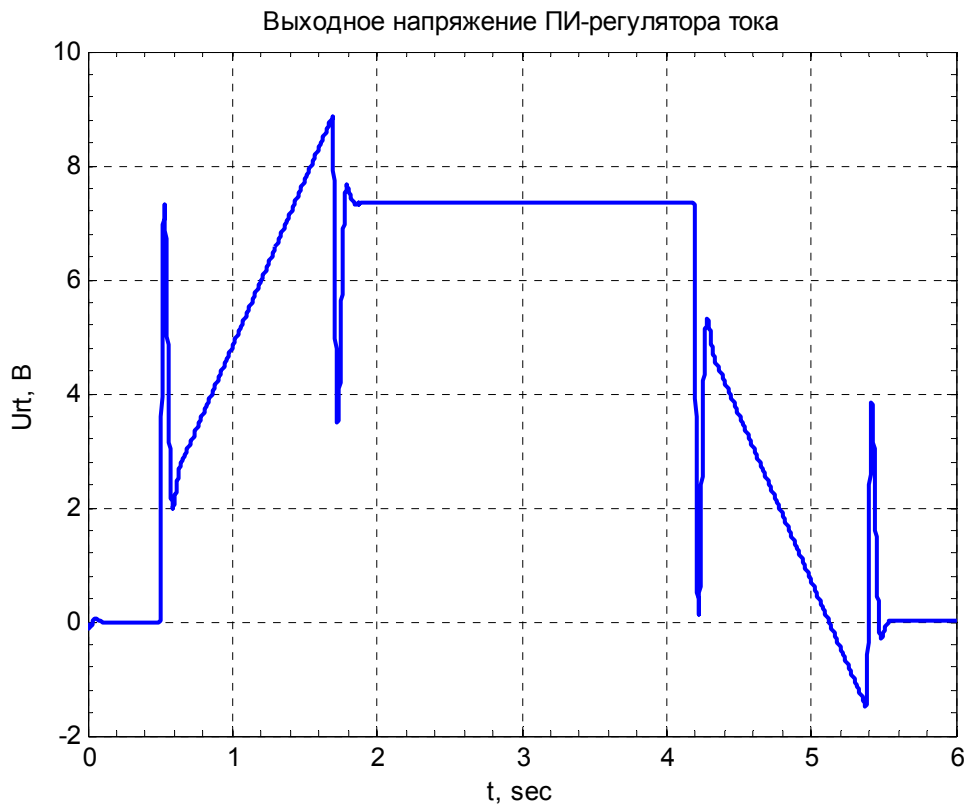


Рисунок 5.10 - Графік перехідного процесу напруги ПІ-регулятора струму ( $I_c = 0,3I_H$ )

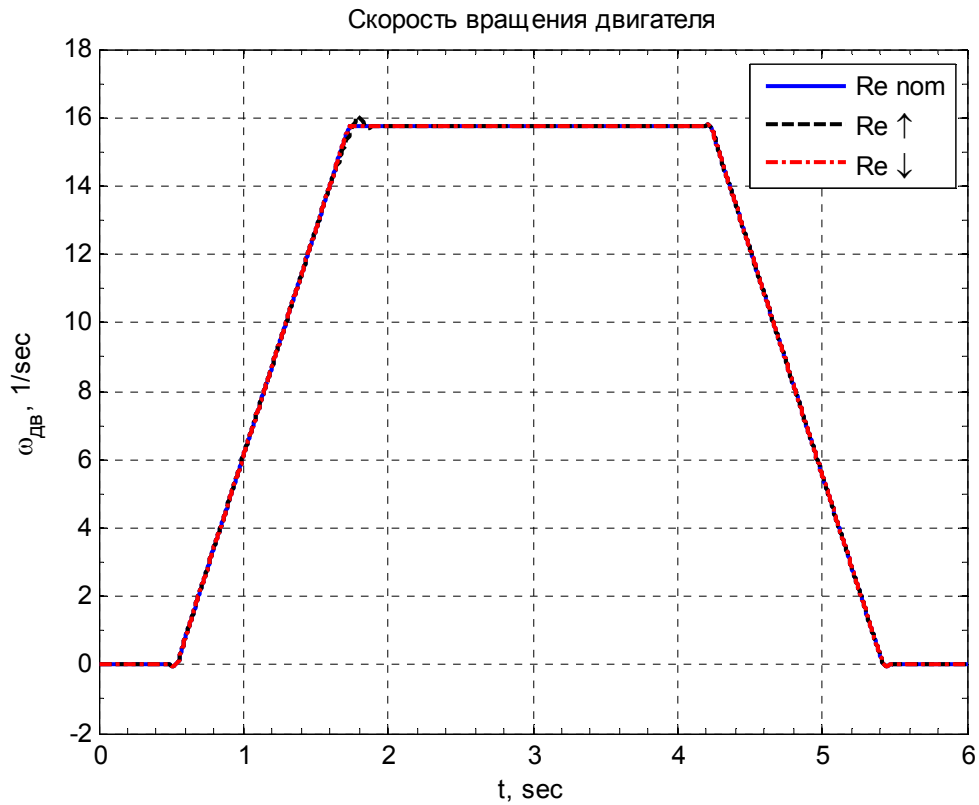


Рисунок 5.11 – Графики переходного процесса швидкості обертання двигуна при зміні  $R_e$  у 2 рази ( $I_c = 0,3I_H$ )

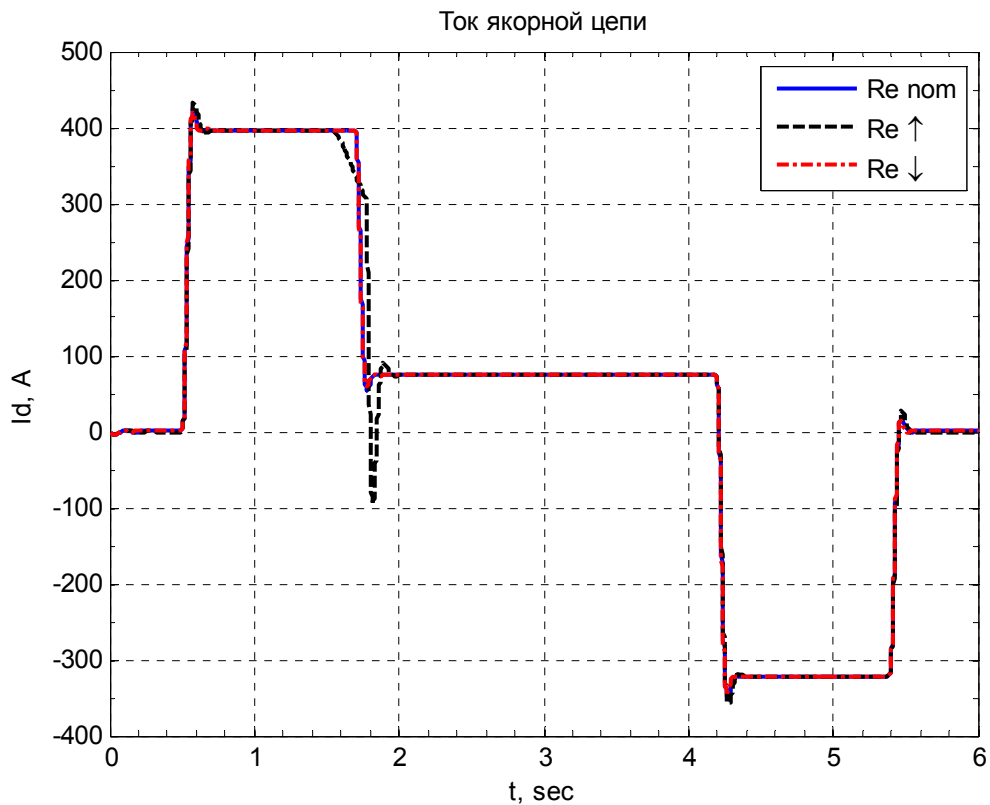


Рисунок 5.12 – Графики переходного процесу струму якоря при зміні  $R_e$  у 2 рази ( $I_c = 0,3I_H$ )

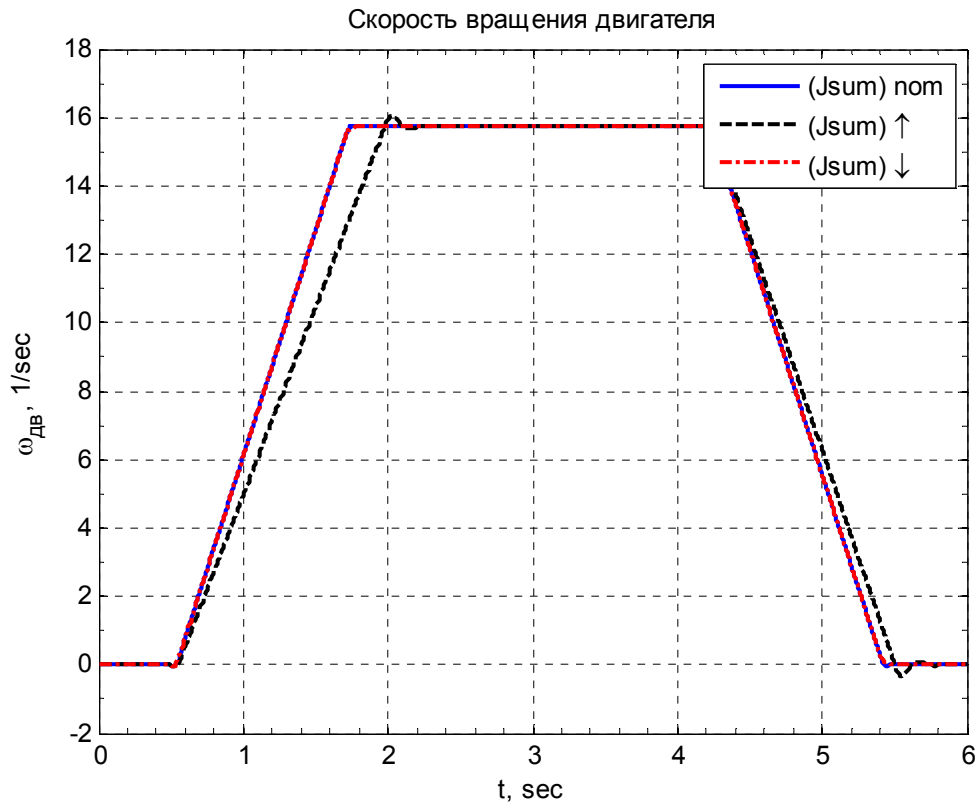


Рисунок 5.13 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні  $J_{\Sigma}$  у 2 рази ( $I_c = 0,3I_H$ )

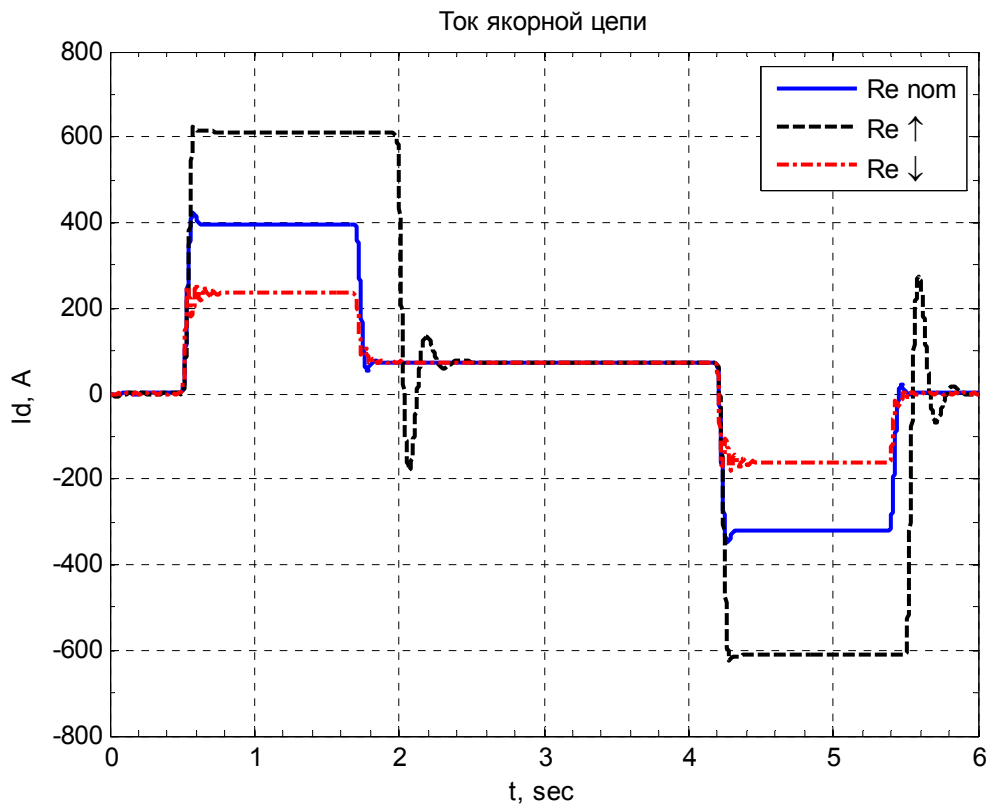


Рисунок 5.14 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні  $J_{\Sigma}$  у 2 рази ( $I_c = 0,3I_H$ )

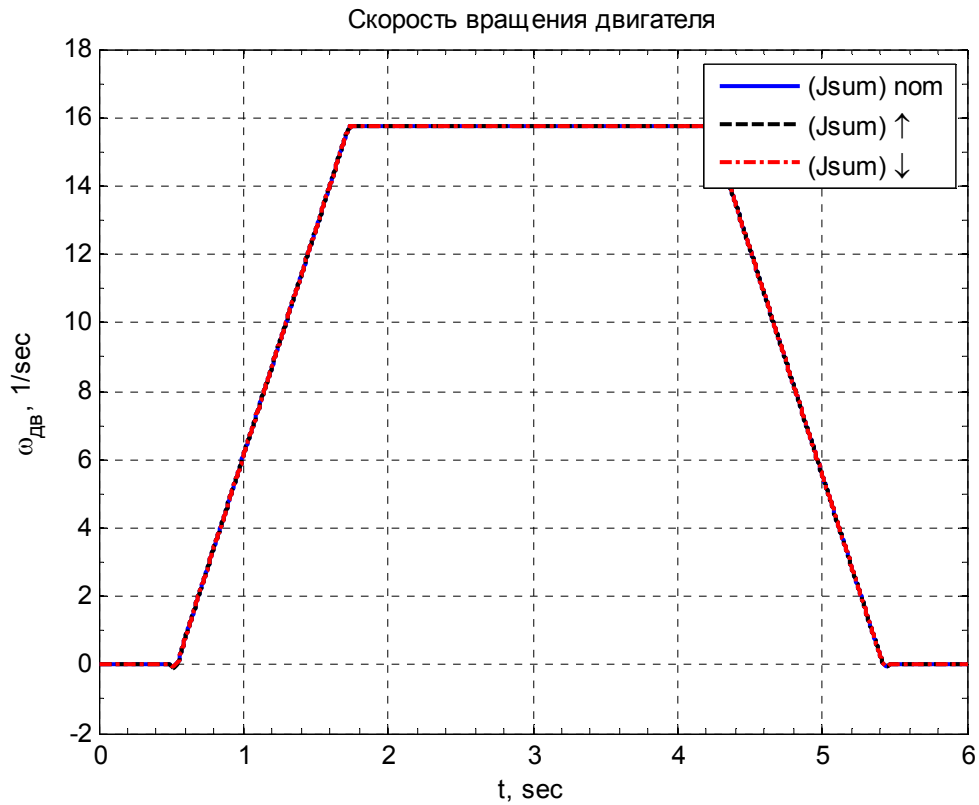


Рисунок 5.15 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при зміні  $M_c$  в 2 рази

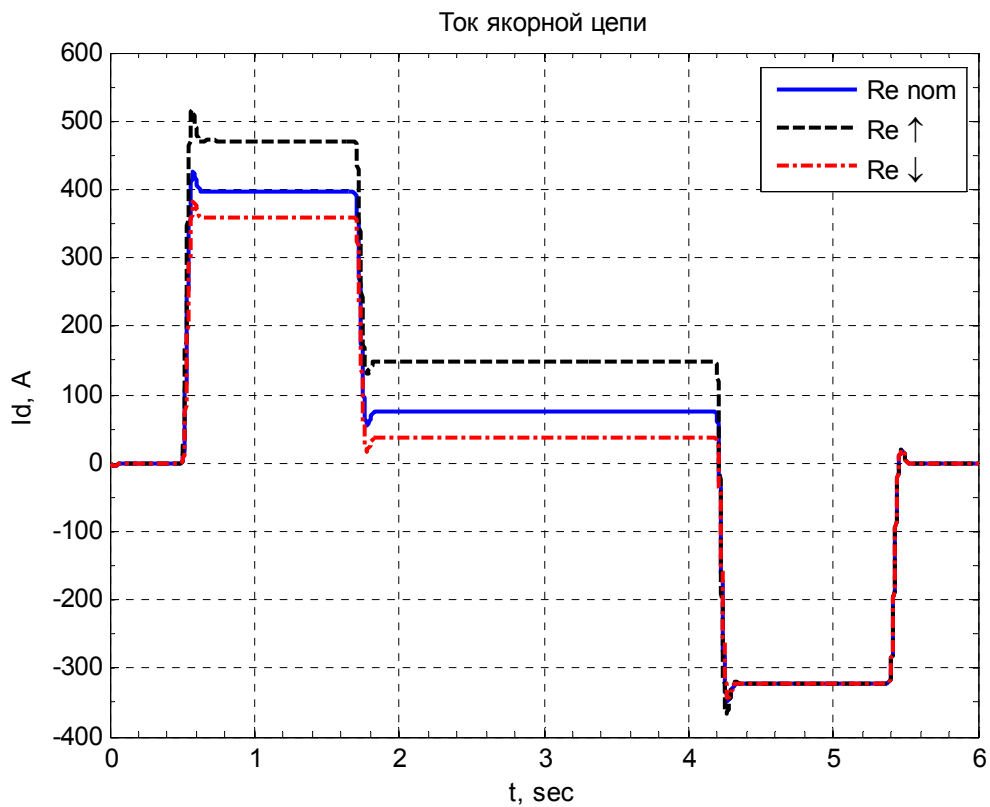


Рисунок 5.16 – Графіки перехідного процесу струму якоря при зміні  $M_c$  в 2 рази

За результатами моделювання можна зробити висновок про те, що система відпрацьовує задані режими швидкості.

При зменшенні еквівалентного опору струм зростає, але знижуються перерегулювання швидкості при скиданні і набиранні навантаження.

При зміні сумарного моменту інерції затухаючі коливання струму в перехідних режимах виникають при зниженні значення, а при збільшенні у 2 рази від номінального спостерігається збільшення амплітуди струму в перехідних режимах і «затягування» перехідного процесу.

У всіх режимах перерегулювання швидкості знаходяться в допустимих межах. Проведена варіація параметрів говорить про те, що система здатна витримати зміни параметрів електроприводу і на належному рівні відпрацьовувати необхідні швидкісні режими.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів**

Прокатне виробництво відрізняється безперервністю технологічного процесу, що вимагає одночасного виконання різних за характером операцій: нагрівання, прокатка, транспортування та складування металу. Виконання цих операцій суворо регламентовано за часом як графіком виконання виробничого плану, так і умовами безпеки. Так, недостатній нагрівання заготовки перед прокаткою, передчасна подача заготовки до стану, її охолодження на приймальному рольганге може привести до поломки валків і аварії на стані. До травмування обслуговуючого персоналу може привести збільшення швидкості прокатки на одній кліті, так як це призведе до обриву розкату або утворення петлі.

Висока інтенсивність виробництва зумовлює і високу інтенсивність праці персоналу прокатних цехів. Це призводить до великої розумової стомленню, що пов'язане з помилками в управлінні механізмами і виникнення небезпечних ситуацій.

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

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

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори за природою дії поділяються на: фізичні, хімічні; біологічні; психофізіологічні.

Стосовно механізму рольганга можна говорити про домінування наступних шкідливих виробничих чинників: фізичних і психофізичних.

Шкідливі фактори фізичної природи:

- рухомі частини виробничого обладнання; предвігаючіся вироби, заготовки, матеріали;
- підвищена температура поверхонь устаткування, матеріалів;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може статися через тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- відсутність або нестача природного світла.

До психофізіологічних небезпечних виробничих чинників відносять нервово-психічні перевантаження персоналу, які особливо виражені на тлі статичних і динамічних фізичних перевантажень.

## **6.2 Заходи з техніки безпеки праці та безпечної експлуатації електроустановки**

Нормативними документами [20] встановлюються такі вимоги до електроустановок:

- все електроустановки повинні знаходитися в технічно справному стані, що забезпечує безпечні умови праці та функціонування технічних пристроїв;
- для кожної електроустановки повинні бути складені експлуатаційні схеми режимів роботи. Схеми і зміни, що вносяться до них, має затверджувати особа, відповідальна за електрогосподарство підприємства;
- в електричних схемах повинна бути передбачений захист електроустановок від перевантаження і короткого замикання;
- при роботах, пов'язаних з небезпекою ураження електричним струмом або впливу електромагнітного поля, повинні застосовуватися засоби захисту;
- у електрифікованих інструментів, переносних електричних ламп, знижувальних трансформаторів та перетворювачів частоти перед застосуванням повинні бути перевірені відсутність замикання на корпус, стан

ізоляції живлячих проводів і справність заземлювального проводу.

– переносний електрифікований інструмент повинен відповідати вимогам міждержавних стандартів безпеки праці, зберігатися в інструментальній і видаватися робітникам на період роботи. Електрифікований інструмент напругою вище 42 В повинен видаватися в комплекті із засобами індивідуального захисту.

Технічне обслуговування двигунів постійного струму.

Під час експлуатації двигуна необхідно вести його технічне обслуговування, яке за видами і періодичності ділиться на 3 групи:

– загальне спостереження - періодичний контроль режиму роботи, стану контактів, нагріву, чистоти двигуна.

– технічний огляд (не рідше одного разу на два місяці) - очистити двигун від пилу і бруду, перевірити надійність заземлення та з'єднання з приводним механізмом.

– профілактичний ремонт (не рідше одного разу на рік) - розбирання двигуна, продування, обтирання, внутрішня очистка, заміна мастила, підшипників, перевірка надійності заземлення і всіх з'єднань.

Загальними вимогами безпеки для всіх прокатних станів є:

– головний пост управління прокатним станом повинен мати переговорний зв'язок і сигналізацію з машинним залом і з постами управління допоміжних агрегатів;

– при необхідності переходу через головний з'єднувальний вал кожної кліти прокатного стана повинні встановлюватися перехідні містки з огорожею;

– виробляти усунення несправностей вузлів і механізмів станів під час прокатки металу забороняється;

– замір профілю прокочується металу на ходу стану повинен проводитися тільки дистанційно з використанням відповідних вимірювальних приладів;

– проміжки між роликami рольгангів, за винятком робочих рольгангів у блюмінгів і слябінгів, повинні бути перекриті;



– для захисту працюючих від відлітають при прокатці частинок окалини і шлаку з боків кліті блюмінга (слябінга) проти прорізи в станині і збоку робочих рольгангів встановлено відповідне захисне огороження (запобіжні щити, сітчасте огороження);

– показчик натискного пристрою кліті блюмінга (слябінга) повинен бути доступний для регулювання і добре освітлений.

## **6.3 Промислова санітарія**

### **6.3.1 Температура повітря**

В результаті періодичності проведення гарячих операцій мікроклімат цехів нестійкий, з часто змінюються параметрами, є підвищена вологість (при охолодженні гарячого металу). Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що призводить до зневоднення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів. Це викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання. Зважаючи вимог технологічного процесу рух повітря у виробничих приміщеннях небажано. В результаті дії теплового випромінювання навколишніх поверхонь і взаємодії виробленого металу атмосфера прокатного цеху являє собою суміш теплого повітря і металевого пилу.

### **6.3.2 Шум**

Інтенсивне шумове вплив на організм людини несприятливо впливає на центральну нервову систему (зниження працездатності і зменшення продуктивності праці), сприяє змінам у серцево-судинної системи та зниження слуху. У виробничих умовах джерелами шуму є: механізми прокатних станів, кранові механізми, електричні машини (компресори, вентиляційні установки, кондиціонери). Шуми характеризуються великим значенням звукового тиску, сталістю в часі. Основний шум прокатного цеху лежить в області частот до 1000 Гц. Рівень звукового тиску змінюється в залежності від виробничої дільниці і може досягати 75-100 дБ і вище.

Для зниження механічного шуму застосовують вібропоглинаючі прокладки і еластичні муфти. Для захисту органів слуху застосовують зовнішні і внутрішні протишуми (антифони).

### 6.3.3 Вібрація

В умовах прокатного виробництва спостерігається місцева (локальна) і загальна вібрації. Вібрація має неоднорідністю по спектру частот і непостійністю у часі. Локальна вібрація залежить від контакту оператора з вагається тілом. Виробничими джерелами локальної вібрації є ручні механізовані машини ударного, ударно-обертального і обертального дії з пневматичним або електричним приводом.

### 6.3.4 Хімічні шкідливі речовини

При прокаті металу найбільш ймовірно проникнення в організм речовин у вигляді пари і пилу через органи дихання (близько 95% всіх отруень). Виділення шкідливих речовин у повітряне середовище відбувається при проведенні технологічних процесів прокату металу і виробництві робіт, пов'язаних із застосуванням хімічних речовин і матеріалів. Пил є найбільш поширеним несприятливим фактором виробничого середовища. Численні технологічні процеси та операції в прокатному виробництві супроводжуються утворенням і виділенням пилу, її впливу можуть піддаватися практично всі працюючі цеху.

Для зниження кількості шкідливих речовин в цеху використовують різні види вентиляції: загальнообмінна, місцевої; припливна або витяжна; природна або механічна. Видалення забрудненого повітря від технологічного обладнання здійснюється осьовими вентиляторами, встановленими в торцях ліхтарів, і природним шляхом - через фрамуги ліхтаря.

### 6.3.5 Ультразвук і інфразвук

Ультразвуком - механічні коливання пружного середовища з частотою, що перевищує верхню межу чутності в 20000 Гц. При виробництві прокату

використовуються передові методи очищення поверхні металевих виробів із застосуванням ультразвуку. Тривалий систематичний вплив ультразвуку, що поширюється повітряним шляхом, викликає зміни нервової, серцево-судинної та ендокринної систем, слухового і вестибулярного аналізаторів.

Інфразвук - акустичні коливання з частотою нижче 20 Гц. Цей частотний діапазон лежить нижче порога чутності і людське вухо не здатне сприймати коливання зазначених частот. Виробничий інфразвук виникає за рахунок тих же процесів що і шум чутних частот. Найбільшу інтенсивність інфразвукових коливань створюють механізми стану 3000, що має поверхню великих розмірів, які вчиняють низькочастотні механічних коливання. Максимальні рівні низькочастотних акустичних коливань від промислових джерел досягають 100-110 дБ. Інфразвук викликає зниження слуху переважно на низьких і середніх частотах. Інфразвук при прокаті металу має постійний характер.

#### **6.4 Пожежна безпека**

У всіх службових приміщеннях є «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища спалаху і вказує місця розташування пожежної техніки.

Будівля прокатного цеху другого ступеня вогнестійкості. Усі будівельні конструкції виконані з негорючих матеріалів (стіни - цегляні; покриття - збірні залізобетонні плити; фундаменти під стіни - стрічкові із збірних бетонних блоків; перегородки - цегляні).

Виробничі процеси в будівлі відносяться до категорій «В», «Г», «Д» [3]. Категорія будівлі по вибухопожежної та пожежної небезпеки відноситься до «Г». Димовидалення з коридорів передбачено через фрамуги над входом. Для забезпечення пожежогасіння до будівлі і зовнішнім установкам передбачається пристрій автопод'ездов.

У цеху встановлено протипожежні пости, де знаходиться протипожежний інвентар (ломи, сокири, лопати, багри, відра) та засоби гасіння пожежі (вогнегасники, ящики з сухим піском).

У прокатному цеху використовуються такі види вогнегасників: ручні вуглекислотні ОУ-2, ОУ-3, ОУ-8; пінні і повітряно-пінні ОХГ1-10; порошкові ОП-5, ОП-10. Заміна вогнегасного складу вогнегасників здійснюється:

- Вуглекислоти - 1 раз на 6 років (ОУ-2, ОУ-5);
- Піноутворювача - 1 раз в рік (ОХП, ОХВП);
- Порошку - відповідно з паспортними даними (ОП-5, ОП-10).

Проектом передбачається адресна система пожежної автоматики. Прилад приймально-контрольний пожежний (ППКП) розташовується в приміщенні оператора, забезпечене прямим телефонним зв'язком. ППКП закріплюється на стіні, на висоті 0,8-1,5 м від підлоги. Установка пожежної сигналізації є споживачем електроенергії 1-ої категорії та її електроживлення передбачено від двох незалежних джерел електропостачання: основний ввід - 220 В, 50 Гц, резервне живлення ППКП - від вбудованих акумуляторів.

В якості технічних засобів виявлення пожежі в приміщеннях, що захищаються прийняті сповіщувачі пожежні димові ІП 212-3 СУ, сповіщувачі пожежні полум'я ІТТ 332-1/1.

Із зовнішнього боку будівлі встановлюються ручні пожежні сповіщувачі ІПР. В кінці кожного шлейфу встановлюються пристрої контролю шлейфу УКШ 1.

Для гасіння пожеж передбачений протипожежний водопровід, який живиться від мережі зовнішнього водопроводу. Внутрішні пожежні крани для подачі води встановлені на майданчиках сходових клітин. Кожен пожежний кран забезпечений пожежним стволом і пожежним рукавом завдовжки 20 м. Відповідальним за забезпечення пожежної безпеки є начальник цеху. Відповідальними за пожежну безпеку окремих ділянок, майстерень, складів і так далі є керівники дільниць, служб, або особи, їх заміщають.

## ВИСНОВОК

В ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення та особливості роботи електроприводу станинних роликів чистової кліті «Кварто» товстолистового стану 3000. Була розрахована потужність двигуна, динамічні та статичні моменти навантаження. У результаті розрахунку було обрано/перевірено двигун типу П100/1600У3 закритого виконання з примусовою вентиляцією за розімкнутого циклу. У ході розрахунку були знайдені необхідні значення динамічного моменту розгону і гальмування електропривода, що забезпечують необхідну динаміку механізму.

Для живлення якоря і обмотки збудження двигуна обраний цифровий комплектний тиристорний електропривод концерну Siemens типу SIMOREG DC Master 6RM7078-6FV02 шафового виконання, призначений для керування електродвигунами постійного струму. Для узгодження тиристорного перетворювача з мережею живлення обраний силовий трансформатор ТСЗП-400/10У3 виконання 2 потужністю 364 кВА.

В проекті розраховано параметри двоконтурної системи підпорядкованого керування, з зовнішнім контуром швидкості (оскільки станинні ролики це швидкісна система) і внутрішнім контуром струму.

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

У розділі «Охорона праці» розглянуто Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, заходи з техніки безпеки праці та безпечної експлуатації електроустановки, промислова санітарія та пожежна безпека.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов: Учебное пособие / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
2. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.С. Коцюбинский. – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – 205 с.
3. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 384 с.
4. Гарнов В.К. Унифицированные системы автоуправления электроприводом в металлургии / В.К. Гарнов, В.Б. Рабинович, Л.М. Вишневецкий ; Под ред. Д.С. Ямпольского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1977. – 191 с.
5. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
6. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводами / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко. – Минск: Высшая шк., 1986. – 143 с.
7. Решмин Б.И. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования / Б.И. Решмин, Д.С. Ямпольский. М.: Энергия, 1975. – 184 с.
8. SIEMENS: SIMOREG DC MASTER 6RM70: Преобразователи шкафного исполнения: Каталог. – DA 22, 2002 – 50 с.
9. Инструкция по эксплуатации SIMOREG DC MASTER серия 6RA70. Микропроцессорные преобразователи на мощность 6 кВт - 1900 кВт для проводов постоянного тока с регулируемой скоростью.
10. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.: ил.

11. Башарин А.В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода / А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.
12. Пілецький В.Т. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
13. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов / Р.Т. Шрейнер. Екатеринбург: Изд-во: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. – 279 с.
14. Зимин Е.Н. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями / Е.Н. Зимин., В.Л. Кацевич, С.К. Козырев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192 с.
15. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.
16. Половко А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, П.Н. Бутусов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.
17. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowersystem и Simulink. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
18. 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.
19. Шевченко І.С. Динаміка складних електромеханічних систем: Навч. посібн. – І.С. Шевченко, Д.І. Морозов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – 171 с.
20. Охрана труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
21. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1982. – 800 с.





## Додаток А

## Технічні дані перетворювача SIMOREG DC Master 6RM7078-6FV02

## SIMOREG DC MASTER 6RM70

### Digital Converter Cabinet Units

#### Selection and ordering data

Three-phase connection		DC connection, armature circuit		Field current connection		SIMOREG cabinet unit				
Rated input voltage V	Rated input current A	Rated DC voltage V	Rated DC current A	Rated output kW	DC field voltage V	DC field current A	Order No.	Weight ca. kg		
<b>SIMOREG cabinet units for four-quadrant operation (B6)A (B6)C</b>										
 <b>3-ph. 400</b>	13	420	15	6.3	325	3	<b>6RM7013-6DV02</b>	110		
	25		30	12.6		5	<b>6RM7018-6DV02</b>	120		
	50		60	25		10	<b>6RM7025-6DV02</b>	125		
	75		90	38		10	<b>6RM7028-6DV02</b>	185		
	104		125	52.5		10	<b>6RM7031-6DV02</b>	200		
	175		210	88		15	<b>6RM7075-6DV02</b>	205		
	233		280	118		15	<b>6RM7078-6DV02</b>	215		
	332		400	168		25	<b>6RM7081-6DV02</b>	270		
	498		600	252		25	<b>6RM7085-6DV02</b>	290		
	705		850	357		30	<b>6RM7087-6DV02</b>	455		
	998		1200	504		30	<b>6RM7091-6DV02</b>	525		
	1326		1600	672		40	<b>6RM7093-4DV02</b>	640		
	1658		2000	840		40	<b>6RM7095-4DV02</b>	695		
 <b>3-ph. 460</b>	25	480	30	14.4	373	5	<b>6RM7018-6FV02</b>	120		
	50		60	28.8		10	<b>6RM7025-6FV02</b>	125		
	75		90	43		10	<b>6RM7028-6FV02</b>	185		
	104		125	60		10	<b>6RM7031-6FV02</b>	200		
	175		210	100		15	<b>6RM7075-6FV02</b>	205		
	233		280	134		15	<b>6RM7078-6FV02</b>	220		
	375		450	216		25	<b>6RM7082-6FV02</b>	270		
	498		600	288		25	<b>6RM7085-6FV02</b>	290		
	705		850	408		30	<b>6RM7087-6FV02</b>	455		
	995		1200	576		30	<b>6RM7091-6FV02</b>	495		
	50		520	60		31		10	<b>6RM7025-6GV02</b>	185
104	125	65		10	<b>6RM7031-6GV02</b>	275				
175	210	109		15	<b>6RM7075-6GV02</b>	295				
332	400	208		25	<b>6RM7081-6GV02</b>	415				
498	600	312		25	<b>6RM7085-6GV02</b>	480				
705	850	442		30	<b>6RM7087-6GV02</b>	655				
912	1100	572		30	<b>6RM7090-6GV02</b>	730				
1326	1600	832		40	<b>6RM7093-4GV02</b>	870				
1658	2000	1040		40	<b>6RM7095-4GV02</b>	890				
 <b>3-ph. 690</b>	630	725		760	551			30	<b>6RM7086-6KV02</b>	685
	1000			1000	725			30	<b>6RM7090-6KV02</b>	730
	1244		1500	1088	40		<b>6RM7093-4KV02</b>	870		
	1658		2000	1450	40		<b>6RM7095-4KV02</b>	915		
 <b>3-ph. 830</b>	788	875	950	831		30	<b>6RM7088-6LV02</b>	765		
	1244		1500	1313		40	<b>6RM7093-4LV02</b>	895		
	1575		1900	1663		40	<b>6RM7095-4LV02</b>	925		