

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 перед чорною кліттю	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.....	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	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
3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (SIMOREG DC Master)	51
3.4.2 Резервування перетворювальної техніки	51

	5
3.5 Вимоги до системи автоматизації	51
4 Синтез системи підпорядкованого керування електроприводом станинних роликів.....	53
4.1 Математичний опис об'єкту керування.....	53
4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу	54
4.3 Синтез регулятора струму.....	56
4.4 Синтез регулятора швидкості	61
4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості.....	65
5 Моделювання системи підпорядкованого керування електроприводом станинних роликів у середовищі MATLAB/SIMULINK	69
6 Охорона праці	84
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів	84
6.2 Заходи з техніки безпеки праці та безпечної експлуатації установки.....	86
6.3 Заходи пожежної безпеки на базовому підприємстві (цеху, дільниці)	91
Висновок.....	93
Перелік джерел посилання	94
Додаток А	96

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 кліткою 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 Нмм² 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 ± 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
190-200	8	9	9	10	10	11	12	13	14	15	16	16
170-180	9	10	10	11	11	12	13	14	15	16	18	17
150-160	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	19
130-140	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	20
110-120	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24
100-105	15	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
90-95	17	20	21	22	23	24	25	26	28	30	30	32
80-85	20	22	23	25	26	27	28	30	32	34	38	36
70-75	24	25	27	28	30	32	33	35	36	38	39	40
60-65	28	30	31	32	36	38	40	41	42	44	46	46
50-55	32	35	37	39	42	44	46	48	50	52	52	54

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 частинок 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 перед чорною кліттю

1.6.1 Опис конструкції

Кінематична схема механізму представлена на рис.1.1.

Станинні ролики встановлюються між станинами з обох боків кліті 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.

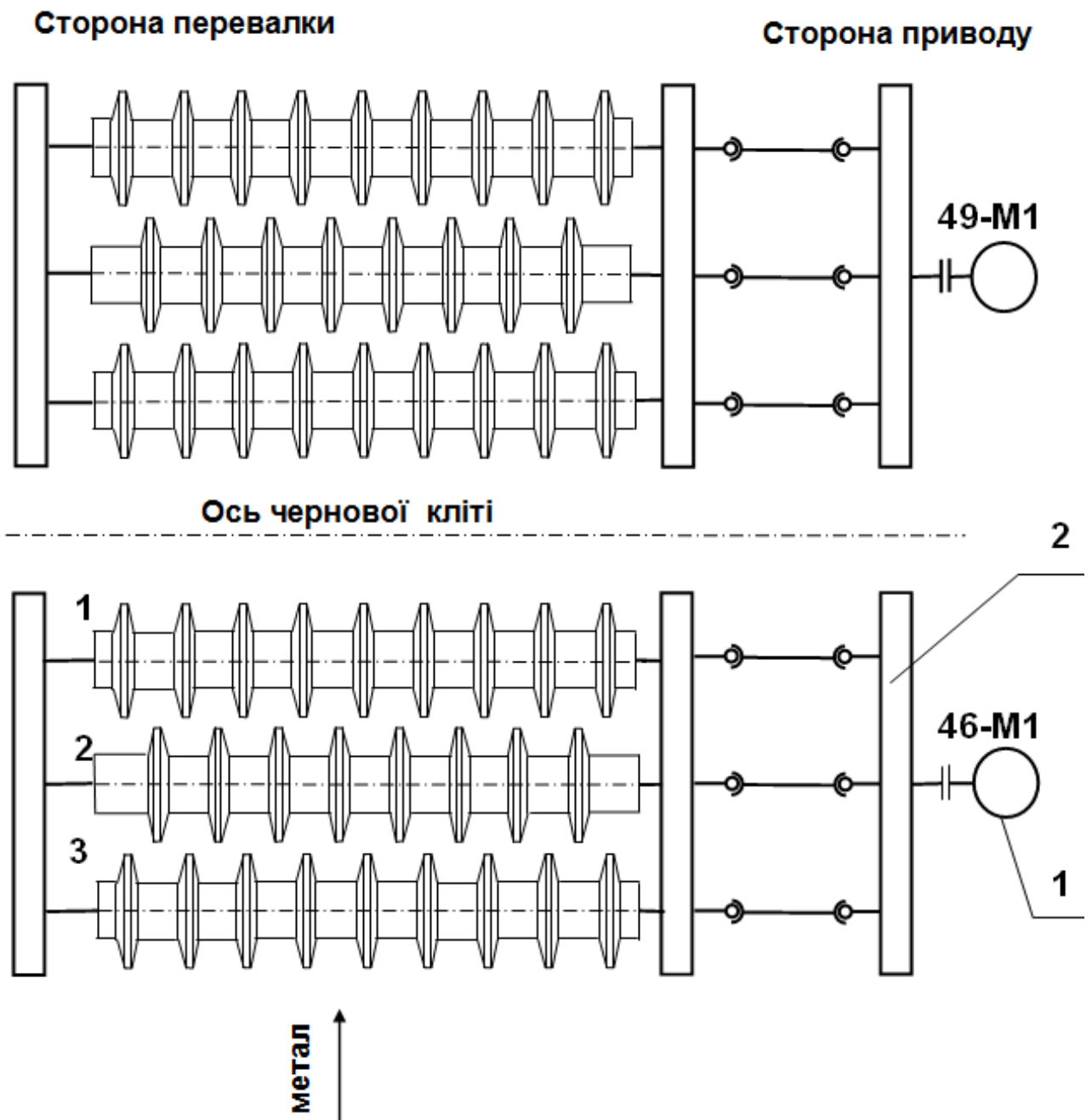


Рисунок 1.1 – Кінематична схема станинних роликів чорної кліті

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.

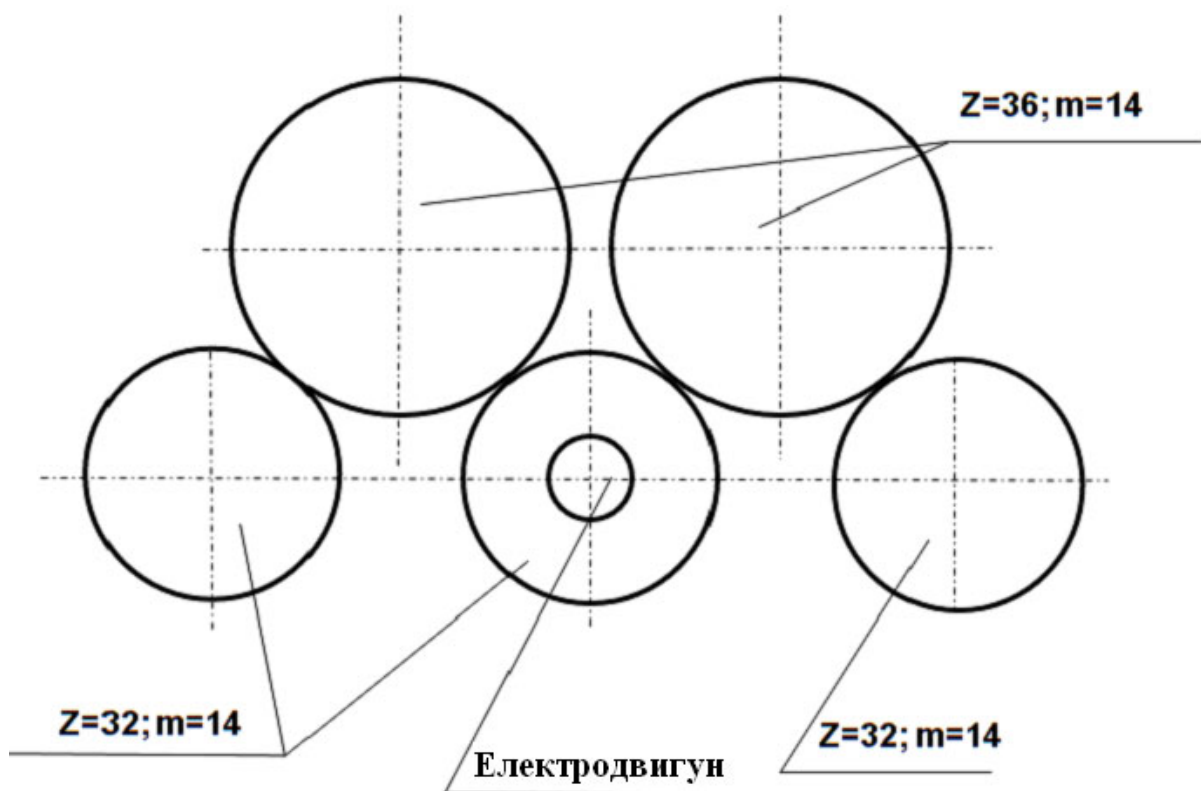


Рисунок 1.2 – Кінематична схема роздавального редуктора

1.6.2 Опис роботи механізму

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

Найменування і розмірність технічного параметра	Значення параметра
1.1. Товщина слябу, мм	200...250...300
1.2. Ширина сляба, мм	1500...2800
1.3. Довжина сляба, мм	1600...2300
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	3
3.2 Момент прокатки у кліті, кНм	3500
3.3 Зусилля прокатки в кліті, кН	40000

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

На даний момент в якості приводного електродвигуна електроприводу станинних роликів перед чорною кліттю кварто товстолистого стану 3000 встановлено електродвигун постійного струму типу П100/1600УЗ 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 П100/160УЗ

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 ²	$J_{дв} = 54,9$

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;

η_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 / с² - 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)

$$M_{x.p} = \frac{93140 \cdot 0,2 \cdot 0,007}{2 \cdot 1 \cdot 0,475} = 137,3 \text{ Нм}$$

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

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

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:

$$M_x = M_{x,р} + M_{x,д} = 137,3 + 417,7 = 555 \text{ Нм}, \quad (2.5)$$

Момент транспортування металу по роликам:

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

$$= \frac{9,81 \cdot 7500 \left(0,007 \frac{0,2}{2} + 0,0015 \right)}{0,475} = 340,7 \text{ Нм}$$

де $m_M = m_{сл} = 7500 \text{ кг}$ - маса металу, яка припадає на станинний блок (прийнятий рівним максимальній вазі сляба масою 7,5 т);

$f = 0,0015$ - 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:

$$M_{c,т} = M_x + M_{тр} = 555 + 340 = 895,7 \text{ Нм} \quad (2.7)$$

Момент буксування, приведений до валу електродвигуна:

$$M_{\delta} = \frac{9,81 m_M d_p \mu_{\delta}}{2 \eta_H} = \frac{9,81 \cdot 7500 \cdot 0,5 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,95} = 5808,5 \text{ Нм} \quad (2.8)$$

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

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

Повний момент статичного опору при буксуванні:

$$M_{\text{сб}} = M_x + M_{\delta} = 555 + 5808,5 = 6363,5 \text{ Нм} \quad (2.9)$$

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

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

де a - лінійне прискорення розкату.

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

$$m_M a \leq G_M \mu_{\delta}, \quad (2.11)$$

Оскільки $G_M = m_M g$, 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 μ_{δ} .

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:

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

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

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

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

Виразимо кутове прискорення електродвигуна через лінійне прискорення розкату,

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

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

i - 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

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

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'_{Σ} - сумарний момент інерції (з урахуванням моменту інерції транспортованого злитка), приведений до валу двигуна в кожному пропуску.

Момент інерції механізму дорівнює:

$$J_{\text{мех}} = J_{\text{дв}} + J_{p1} + J_{p2} + J_{p3} = 54,9 + 100,7 + 98,5 + 97,5 = 351,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.21)$$

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

$$J_{p1} = m_1 \frac{d_p^2}{8} = 3222 \frac{0,5^2}{8} = 100,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ - момент інерції 1-го ролика;}$$

$$J_{p2} = m_2 \frac{d_p^2}{8} = 3154 \frac{0,5^2}{8} = 98,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ - момент інерції 2-го ролика;}$$

$$J_{p3} = m_3 \frac{d_p^2}{8} = 3122 \frac{0,5^2}{8} = 97,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ - момент інерції 3-го ролика;}$$

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

$$J'_{\Sigma} = 351,6 + 468,7 = 820,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

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

$$\begin{aligned} M_{\text{п.о.р}} &= (J_{\text{мех}} + J_{\text{м}}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} + M_{\text{с.т}} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} J'_{\Sigma} + M_{\text{с.т}} = \\ &= \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{0,5} 820,3 + 895,7 = 10552,3 \text{ Нм} = 1,7 M_{\text{н}} \end{aligned} \quad (2.22)$$

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

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

або

$$\begin{aligned} M_{п.о.т} &= (J_{мех} + J_{м}) \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} - M_{с.т} = \frac{2 \cdot 9,81 \mu_6}{d_p} J_{\Sigma}' - M_{с.т} \\ &= \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{0,5} 820,3 - 895,7 = 8760,8 \text{ Нм} = 1,5 M_{н} \end{aligned} \quad (2.24)$$

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

2.3 Час керування електроприводом

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

- 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 чорною кліттю

№ проходу	Час, с						
	розгін до швидкості захоплення	холостий хід на швидкості захоплення	розгін до швидкості транспортування	рух на швидкості транспортування	Гальмування	Швидкість прокатки, м/с	Пауза перед проходом
1	0,6	3,42	0,5	0,72	0,8	1,4	3,2
2		1,02	0,53	0,91	0,83	1,4	2,1
3(к)		1,56	0,22	0,8	0,72	1,25	5,4
4		0,53	0,35	1,25	0,8	1,4	1,5
5		3,22	0,35	1,4	0,8	1,4	2,4
6		1,13	0,7	1,25	1,2	1,75	3,1
7		2,5	0,7	1,5	1,1	1,75	2,8
8		1,36	0,7	1,63	1,1	1,75	3,2
9		2,3	0,75	2,3	1,2	1,75	2,9
10		0,9	0,75	2,5	1,2	1,75	2,3
11		1,8	0,75	2,6	1,2	1,75	3,2
12		1,2	0,75	2,9	1,2	1,75	2,7
13		0	2,2	4,2	2,0	3,0	3,9
Загальний час	7,8	21,11	8,25	23,96	14,15		38,7
Машинний час	75,27					Час циклу	114

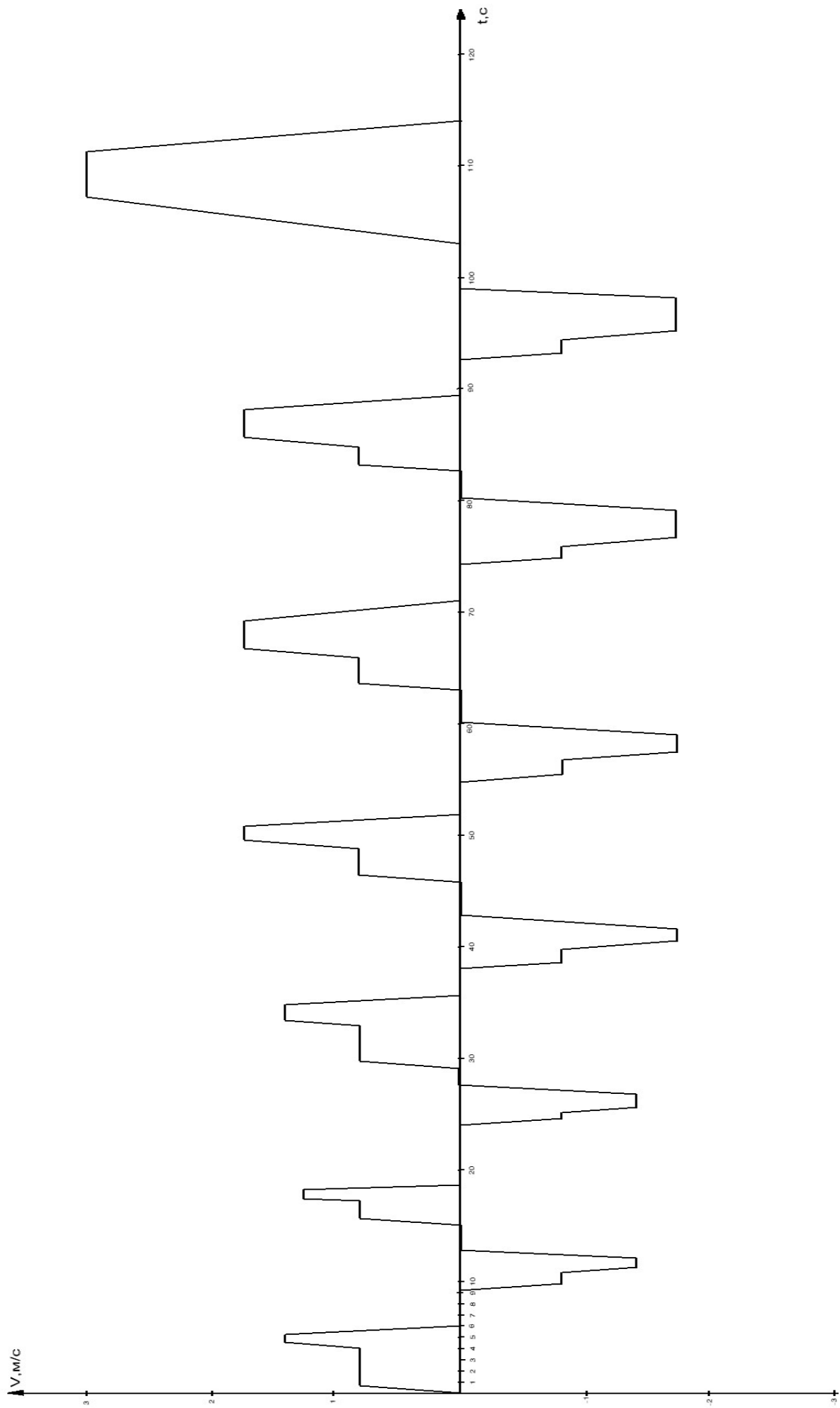


Рисунок 2.1 – Тахограми роботи ЕП станинних роликів перед чорною кліткою за цикл роботи прокатного стану

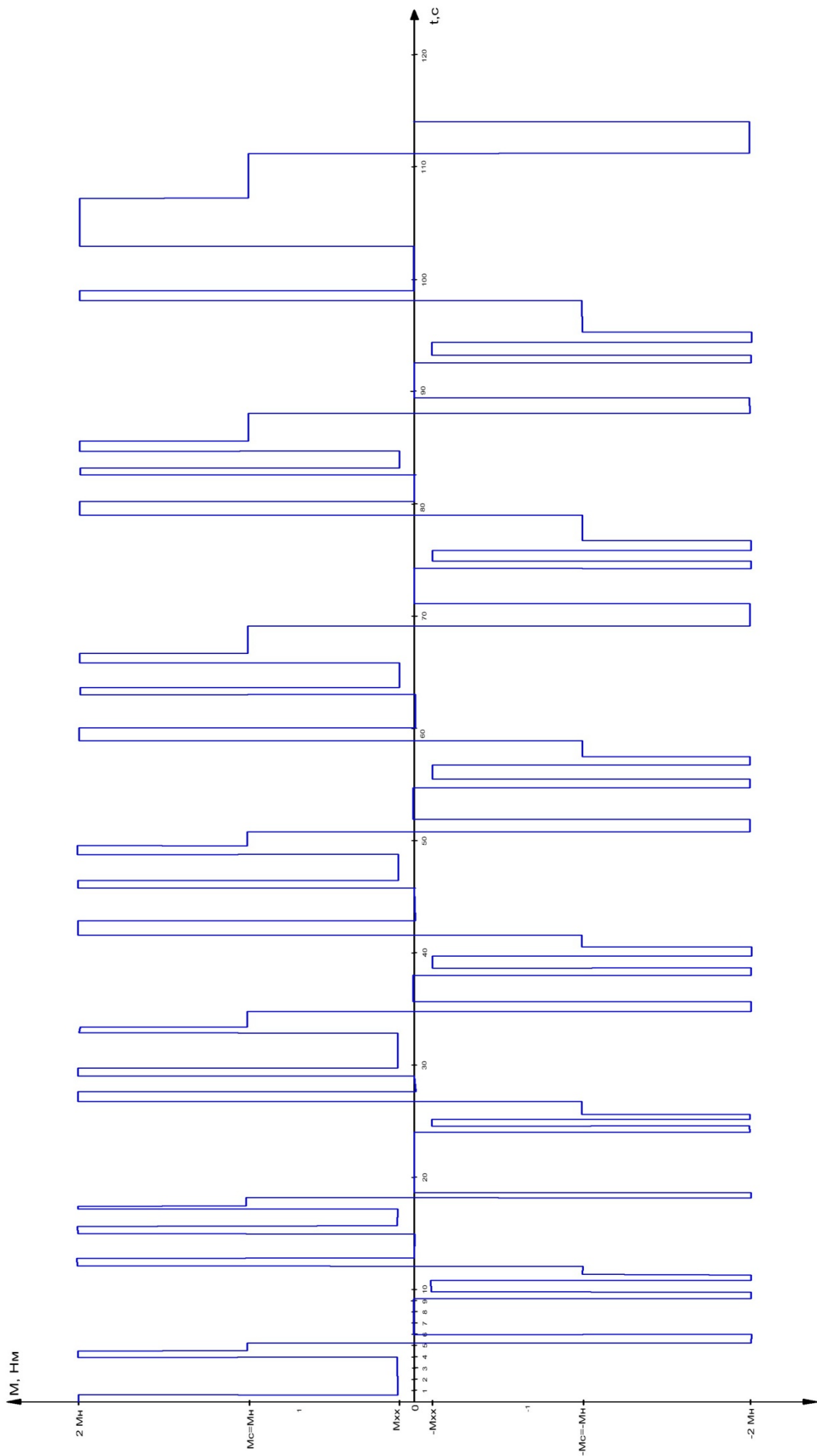


Рисунок 2.2 – Навантажувальна діаграма роботи ЕП станинних роликів перед чорною кліткою за цикл роботи стану

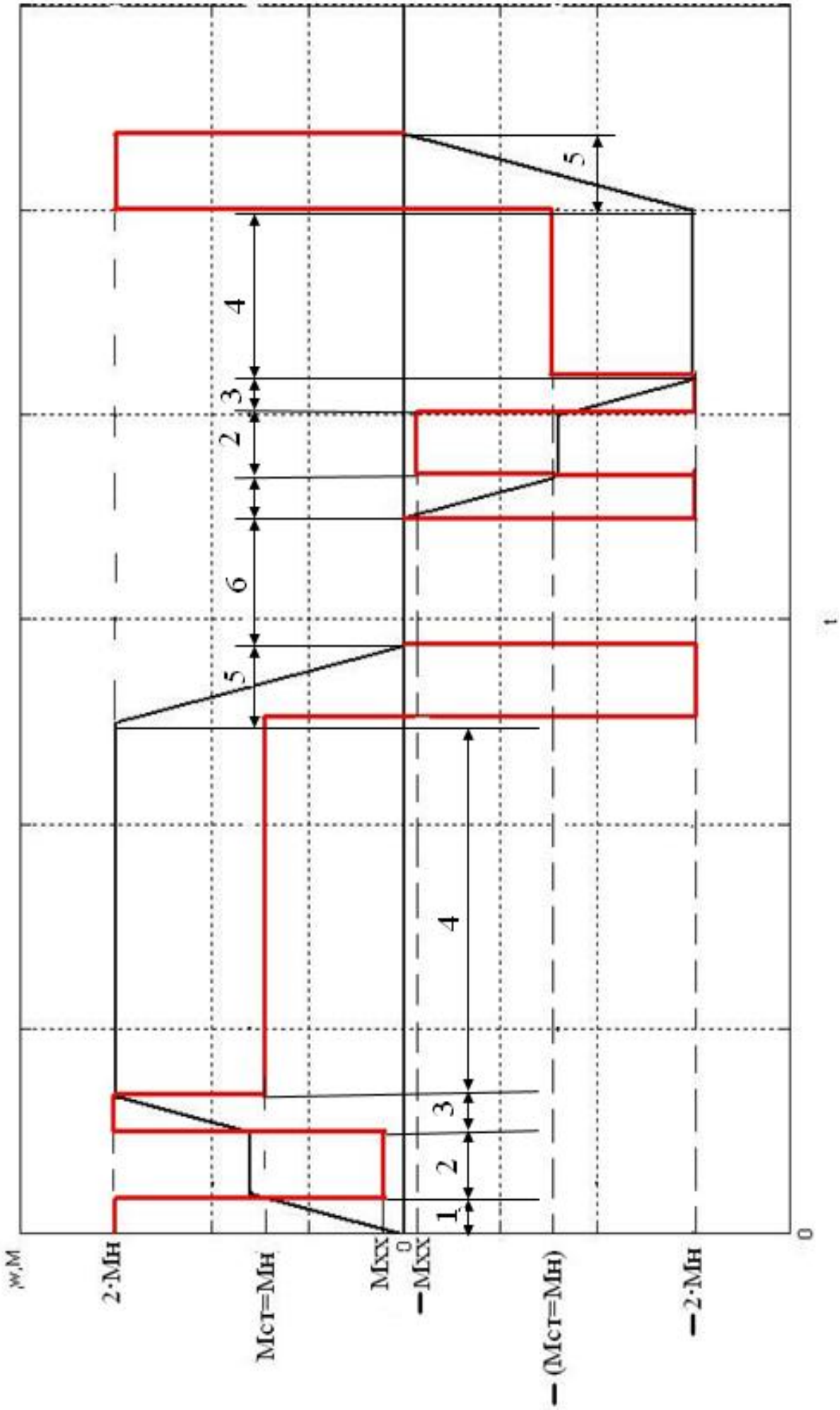


Рисунок 2.3 – Тахограма і навантажувальна діаграма роботи ЕП станинних роликів перед чорною кліттю 1-2 прохід

2.4 Перевірка потужності обраного електродвигуна по нагріву

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

Еквівалентний момент електродвигуна:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{13} (M_{\text{пт}}^2 (t_{\text{п}} + t_{\text{т}} + t_{\text{р}}) + M_{\text{х}}^2 \cdot t_{\text{х}} + M_{\text{тр}}^2 \cdot t_{\text{тр}})}{t_{\text{ц}} \cdot \text{ТВ}}} = \quad (2.25)$$

$$= \sqrt{\frac{2,814 \cdot 10^9}{114 \cdot 1}} = 4986,3 \text{ Нм} = 0,8M_{\text{н}}$$

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 20% -го резерву потужності двигуна досить для покриття додаткових моментів.

3 ВИБІР СИЛОВОЇ ТА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ СТАТИННИХ РОЛИКІВ

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	$U_{H1\text{ TP}} = 460$
Номінальний вхідний струм, А	$I_{H1\text{ TP}} = 233$
Номінальна випрямлена (постійна) напруга, В	$U_{H\text{ TP}} = 480$
Номінальна випрямлена (постійна) струм, А	$I_{H\text{ TP}} = 280$
Номінальна потужність, кВт	$P_{H\text{ TP}} = 134$
Номінальна напруга збудження, В	$U_{B\text{ TP}} = 373$
Номінальний струм збудження, А	$I_{B\text{ TP}} = 15$
Маса, кг	$m_{\text{TP}} = 200$

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 кнопок 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 вимірених 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 60 A to 210 A, 575 V

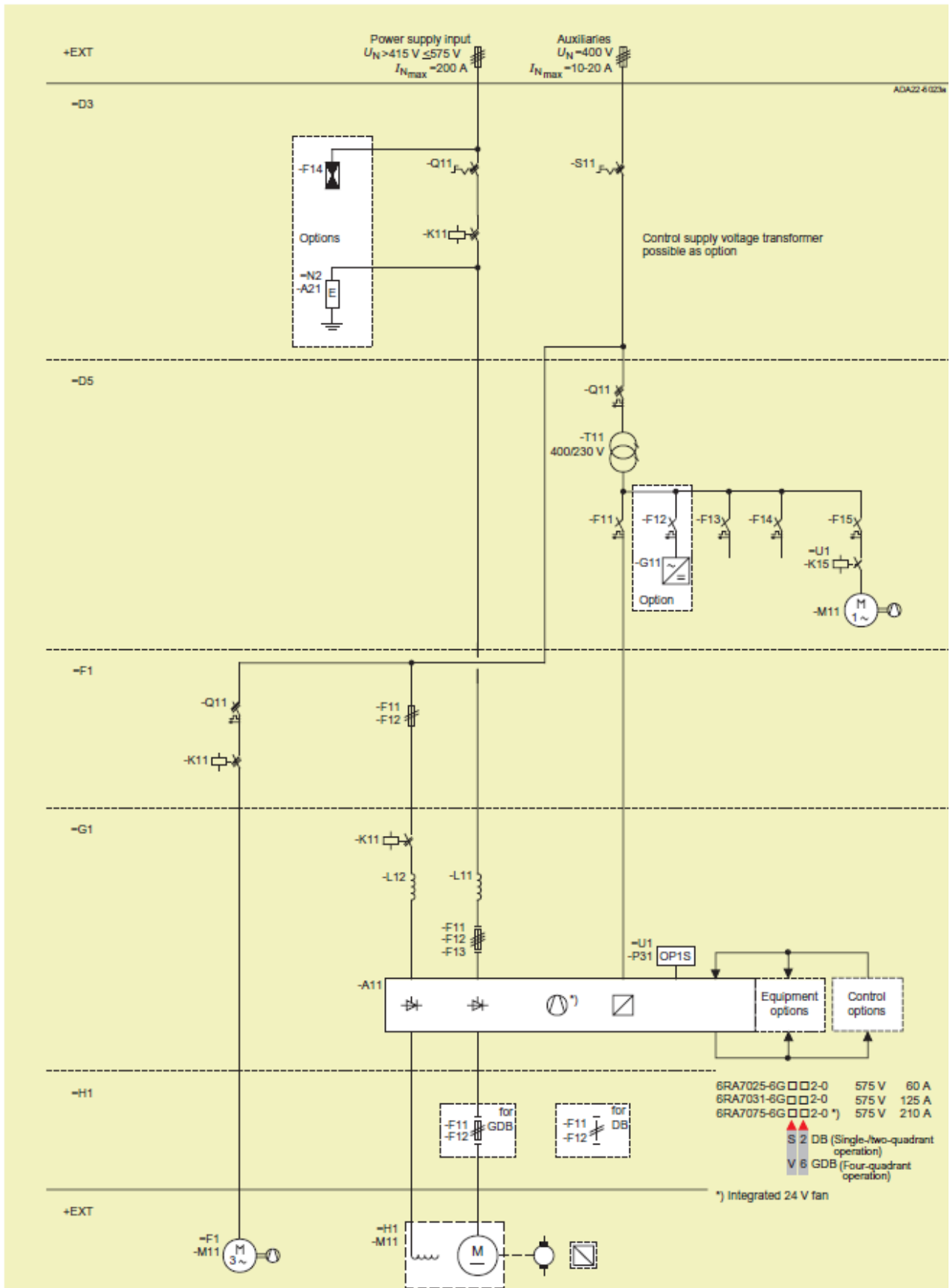


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема силовій частини комплектного електроприводу SIMOREG DC MASTER

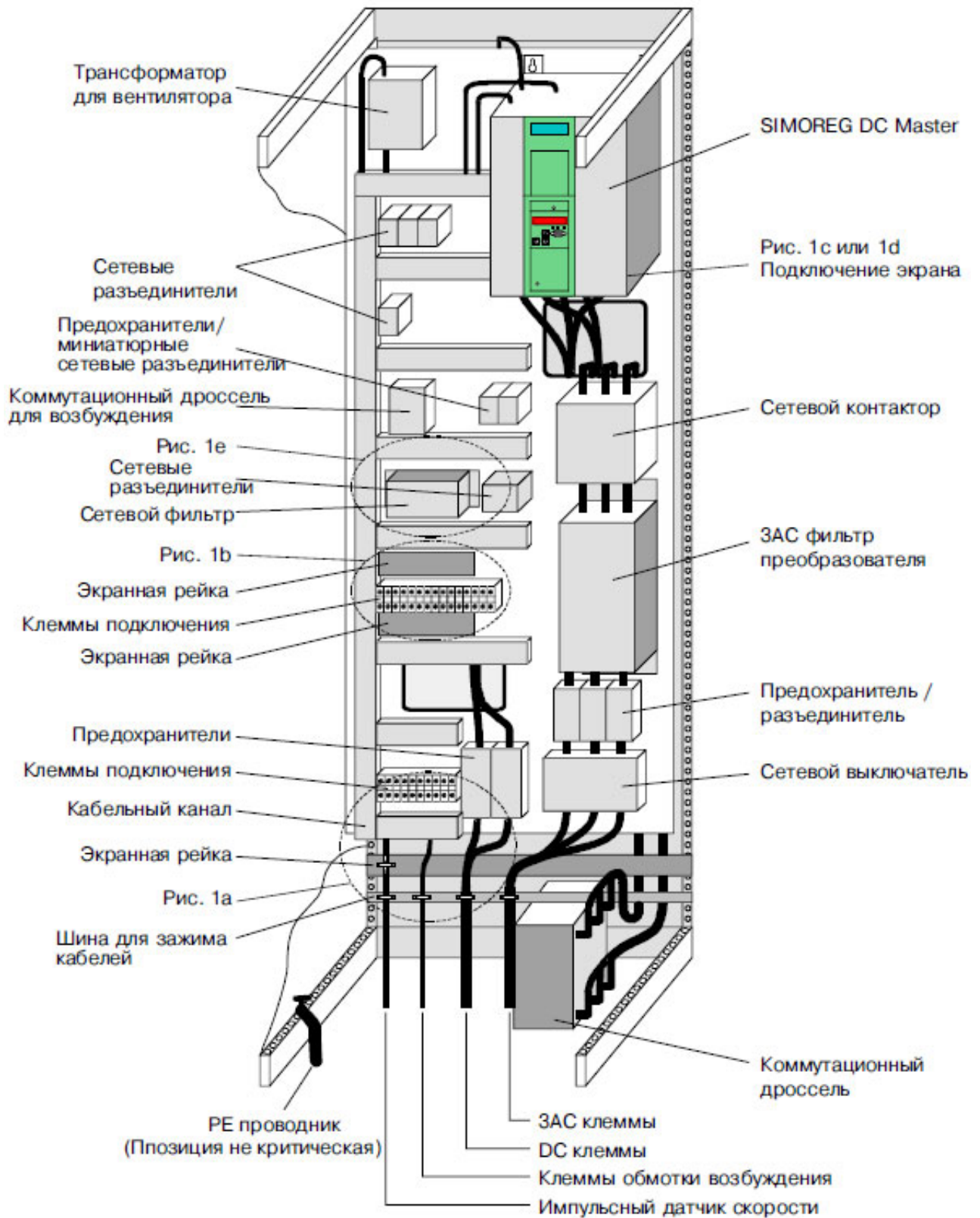


Рисунок 3.2 - Конструкция шкафа комплектного тиристорного электроприводу SIMOREG DC MASTER серии 6RM70

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.

Трансформаторне обладнання вибирається відповідно до параметрів тиристорного перетворювача.

Для узгодження тиристорних перетворювачів (12 + 1) з мережею живлення з довідника [7] обираємо силовий трансформатор ТСЗП-1000/10УЗ технічні дані, якого наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні дані силового трансформатора ТСЗП-1000 / 10УЗ виконання 5 для живлення тиристорного перетворювача

Найменування параметра	Позначення і чисельне значення
Потужність, кВ·А	$P_{\text{тр}} = 402$
Номінальна первинна напруга, В	$U_{1 \text{ тр}} = 6000$
Номінальна вторинна напруга, В	$U_{2 \text{ тр}} = 569$
Діюче значення струму вторинної обмотки, А	$I_{2 \text{ тр}} = 408$
Потужність втрат холостого ходу, Вт	$\Delta P_{\text{хх}} = 795$
Потужність втрат короткого замикання, Вт	$\Delta P_{\text{кз}} = 2400$
Напруга короткого замикання, %	$U_{\text{кз}\%} = 4,7$
Струм холостого ходу, %	$I_{\text{хх}\%} = 5,2$
Маса, кг	$m_{\text{тр}} = 1700$

Оскільки пульсації струму, що протікає в якірному ланцюзі, погіршують тепловий режим електродвигуна і 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 реактора, що згладжує 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 за 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 згладжувального дроселя [8, приклад 1-24, 1-27]. Значення максимально випрямленою ЕРС (напруга на виході перетворювача):

$$E_{d0} = 1,35U_{2 \text{ тр}} = 1,35 \cdot 569 = 768,15 \text{ В} \quad (3.1)$$

де 1,35 - коефіцієнт мостової схеми випрямлення;

$U_{2 \text{ тр}}$ - номінальна напруга 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 мережі живлення, Гц;

m_ϕ - число фаз випрямлення.

Активний, індуктивний і повний опір силового трансформатора:

$$r_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} U_{2\text{ тр}}^2}{P_{\text{тр}}^2} = \frac{2400 \cdot 569^2}{(402 \cdot 10^3)^2} = 4,808 \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$

$$z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}\%} U_{2\text{ тр}}}{100 I_{2\text{ тр}} \sqrt{3}} = \frac{4,7 \cdot 569}{100 \cdot 408 \cdot \sqrt{3}} = 37,843 \cdot 10^{-3} \quad (3.4)$$

$$x_{\text{а тр}} = \sqrt{z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{37,843 \cdot 10^{-3} - 4,808 \cdot 10^{-3}} = 33,035 \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

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 випрямля-леного струму:

$$L_{\text{тр}} = \frac{x_{\text{а тр}} \pi}{2\pi f_c} = \frac{33,035 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 105,154 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (3.6)$$

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

Індуктивність якоря двигуна визначається емпіричною формулою:

$$L_{\text{дв}} = k \frac{U_{\text{н}}}{2p \cdot n_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}} = 6 \frac{440}{4 \cdot 160 \cdot 248} = 16,633 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.7)$$

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

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

$I_{\text{н}} = 248$ А - номінальний струм електродвигуна;

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

$n_{\text{н}} = 160$ об/хв - номінальна частота обертання електродвигуна.

Необхідна індуктивність згладжувального дроселя:

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

$$= \frac{0,24 \cdot 768,15}{0,024 \cdot 1884,956 \cdot 248} - (2 \cdot 105,154 \cdot 10^{-6} + 16,633 \cdot 10^{-3}) = \quad (3.8)$$

$$= -0,41 \text{ мГн}$$

де e_n - відносна величина ефективного значення пульсацій першої гармоніки випрямленої напруги, може бути підрахована за допомогою рівнянь [8, с. 40], або з графіка [8, с. 47 рис. 1.31]. На цьому графіку зображено залежність для бруківки трифазної схеми випрямлення в функції кута регулювання α . Приймаємо граничний кут регулювання $\alpha_{\text{max}} = 90$ ел. град., тоді значення $e_n = 0,24$;

$E_{\text{d0}} -$ значення максимально випрямленої ЕРС (напруга на виході перетворювача), 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 [8, с. 46, 59];

ω_1 - кругова частота 1-ої гармоніки випрямленої напруги, Гц;

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

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

Виходячи з результату формули (3.8) в установці згладжувального дроселя немає необхідності, оскільки індуктивності якоря двигуна і трансформатора досить для згладжування пульсацій, що виникають в роботі електропривода. Це істотно зменшить вартість і масогабаритні показники електроприводу.

3.4 Опис принципової схеми силового ланцюга електроприводу станинних роликів

Принципова схема силового ланцюга станинних роликів перед чорною кліттю наведена на рис. 3.3.

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

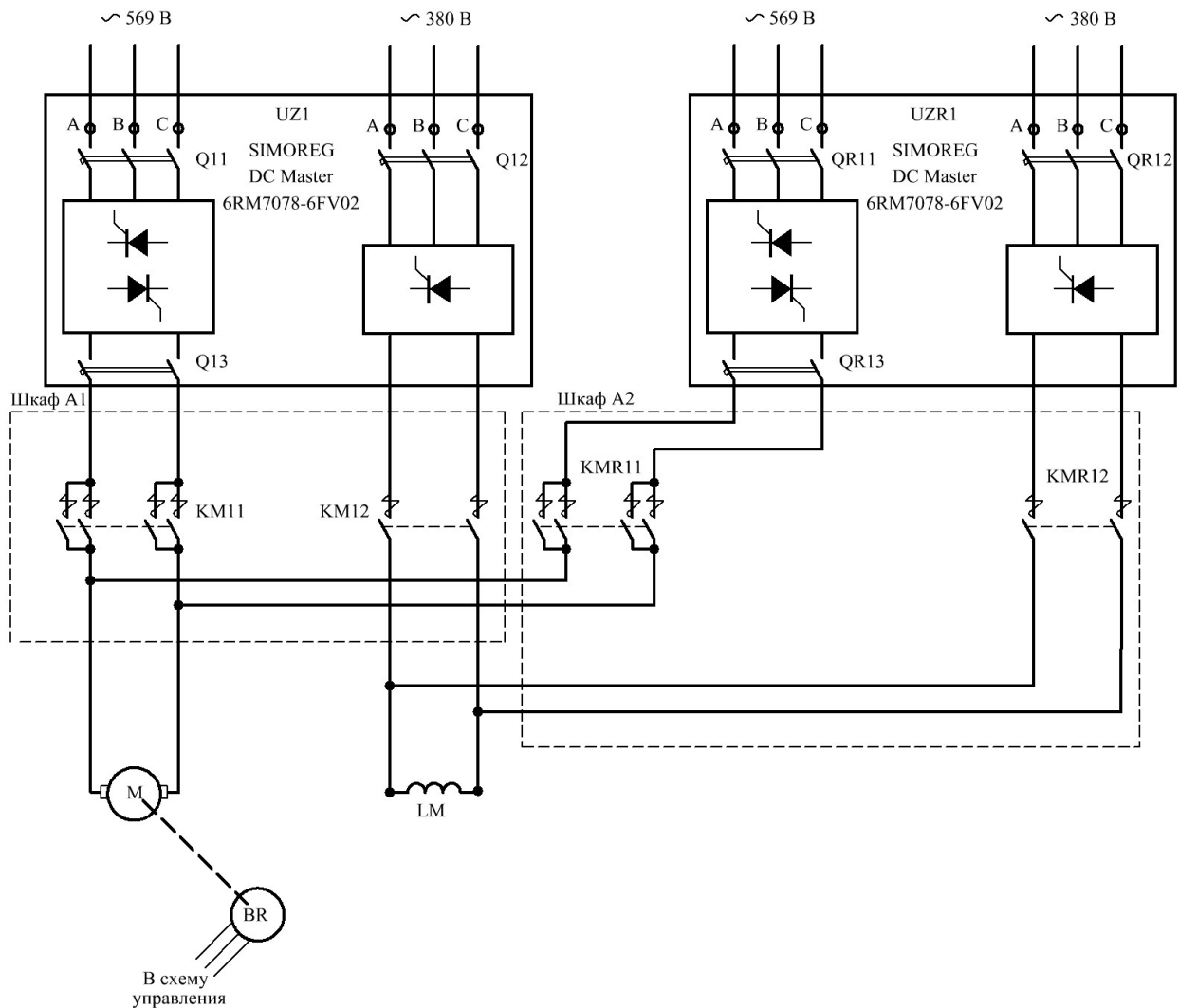


Рисунок 3.3 – Принципова схема силового ланцюга електроприводу станинних роликів перед чорною кліттю

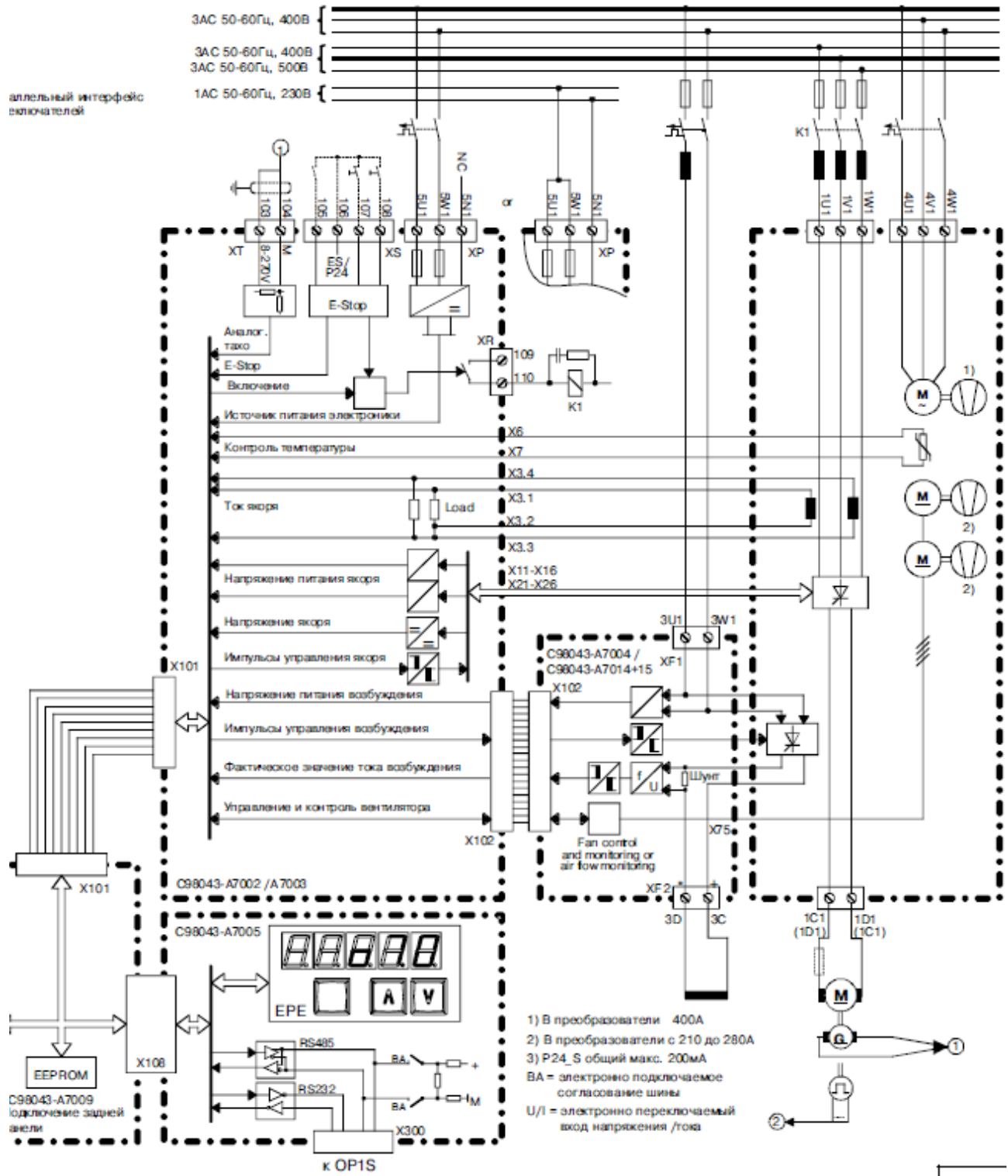


Рисунок 3.4 - Функціональна схема підключення (силова схема) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

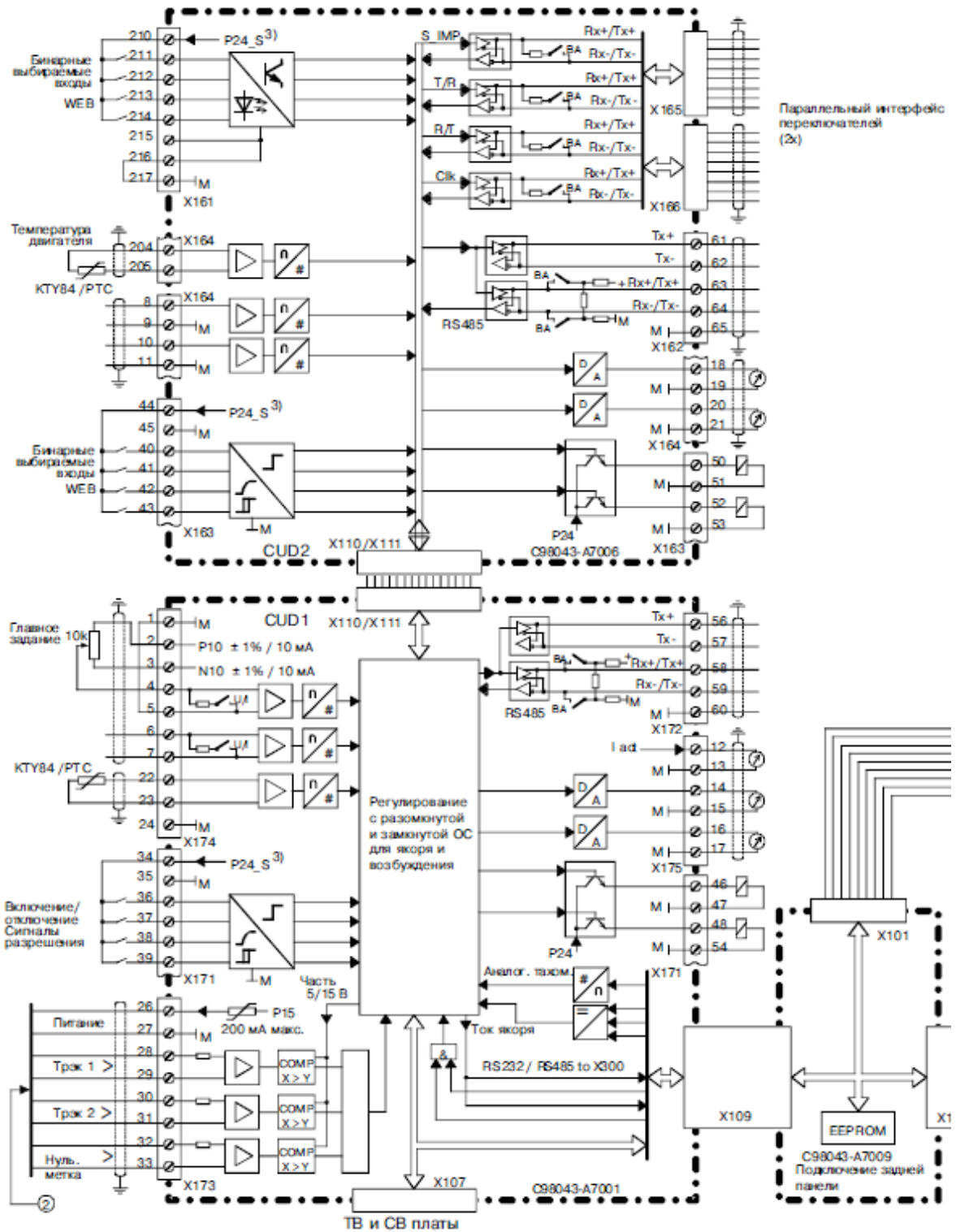


Рисунок 3.5 - Функціональна схема підключення (схема керування) тиристорного електроприводу SIMOREG DC MASTER серії 6RM70

3.4.1 Джерела живлення електродвигунів (SIMOREG DC Master)

Для живлення електродвигунів використовуються комплектні тиристорні електроприводи SIMOREG DC Master 6RM7028-6DV02 (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 станиними роликками перед і за чорною кліткою кварто здійснюється з поста керування чорною кліткою ПУЗ.

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СТАНИННИХ РОЛИКІВ

4.1 Математичний опис об'єкту керування

При синтезі системи керування приймаються звичайні для систем електроприводу допущення, лініаризуючі 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 α , 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 керованості 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 [11].

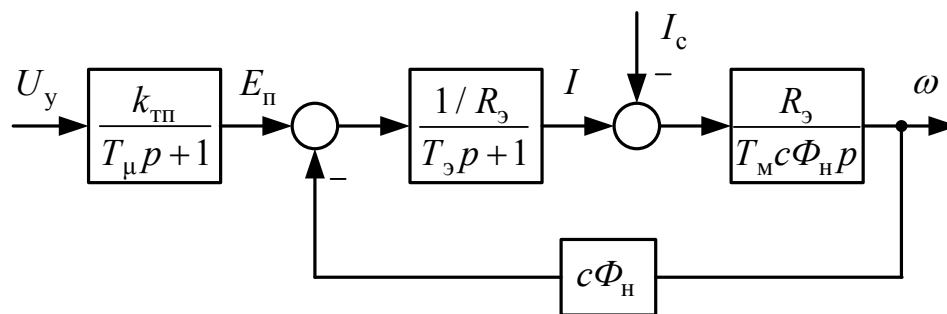


Рисунок 4.1 – Структурна схема силової частини електроприводу

4.2 Розрахунок основних параметрів елементів системи електроприводу

Сумарний опір якірного ланцюга електродвигуна:

$$r_{я.дв} = \beta(r_{я} + r_{дп} + r_{к}) = 1,32(0,0533 + 0,01027 + 0,026) = 0,118 \text{ Ом} \quad (4.1)$$

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

при нагріванні машини на 80°C ;

$r_{\text{я}} = 0,0533$ Ом - опір обмотки якоря (холодний) при 20°C ;

$r_{\text{дп}} = 0,01027$ Ом - опір додаткових полюсів (холодний);

$r_{\text{к}} = 0,026$ Ом - опір компенсаційної обмотки (холодний);

Активний опір трансформатора (комутаційний опір) викликаний реактивністю розсіювання:

$$r_{\text{к}} = \frac{m_{\text{ф}} \cdot x_{\text{а}}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 33,035 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 31,546 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \quad (4.2)$$

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

$x_{\text{а}} = 33,035$ мОм - повний опір силового трансформатора.

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

$$k_{\text{ТП}} = \frac{E_{\text{д0}}}{U_{\text{у max}}} = \frac{768,15}{10} = 76,8 \quad (4.3)$$

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

$E_{\text{д0}} = 768,15$ В - значення максимально випрямленою ЕРС.

Еквівалентний активний опір якорного ланцюга системи ТП-Д:

$$\begin{aligned} R_{\text{я}} &= r_{\text{я.дв}} + 2r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{ш}} = \\ &= 0,118 + 2(4,808 \cdot 10^{-3}) + 31,546 \cdot 10^{-3} + 11,8 \cdot 10^{-3} = 0,17 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (4.4)$$

де $r_{\text{я.дв}} = 0,118$ Ом - активний опір якорного ланцюга двигуна;

$r_{\text{тр}} = 4,808$ мОм - активний опір силового трансформатора;

$r_{\text{к}} = 31,546$ мОм - комутаційний опір;

$r_{\text{ш}} = 0,1r_{\text{я.дв}} = 0,1 \cdot 0,118 = 11,8$ мОм - активний опір шин або кабелю, що

з'єднують ТП з якорем двигуна.

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга системи ТП-Д:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{дв}} + 2L_{\text{тр}} = 16,633 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 105,154 \cdot 10^{-6} = 0,017 \text{ Гн} \quad (4.5)$$

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

$$J'_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{р}} + J_{\text{м}} = 54,9 + 296,7 + 468,7 = 820,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4.6)$$

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

$J_{\text{р}} = 296,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент інерції роликів;

$J_{\text{м}} = 468,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент інерції транспортованого злитка, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Коефіцієнт двигуна (постійна двигуна):

$$c\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}r_{\text{я,дв}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{440 - 248 \cdot 0,118}{16,75} = 24,5 \text{ Вс} \quad (4.7)$$

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

Електромагнітна стала часу системи ТП-Д:

$$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,017}{0,17} = 0,1 \text{ с} \quad (4.8)$$

Електромеханічна стала часу електроприводу:

$$T_{\text{м}} = \frac{J'_{\Sigma}R_{\Sigma}}{c\Phi_{\text{н}}^2} = \frac{820,3 \cdot 0,17}{24,5^2} = 0,23 \text{ с} \quad (4.9)$$

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

4.3 Синтез регулятора струму

При розгляді контуру регулювання струму будемо вважати, що електромеханічна стала часу набагато більше електромагнітної сталої часу T_{Σ} .

Можна також знехтувати зворотним зв'язком по ЕРС двигуна, вважаючи його збурюючим впливом в контурі струму.

Структурна схема контуру струму представлена на рисунку 4.2.

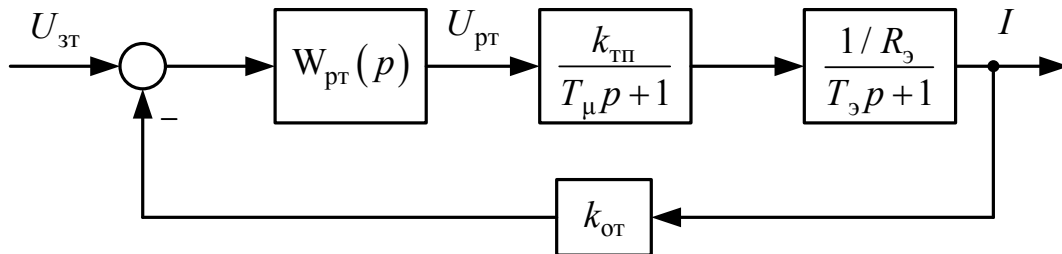


Рисунок 4.2 - Структурна схема контуру струму

Як малої сталої часу контуру струму приймаємо малу постійну ТП $T_{\mu} = 5$ мс. Налаштовуємо контур струму на модульний оптимум.

Передавальна функція регулятора має вигляд:

$$W_{\text{рті}}^{\text{м}}(p) = \frac{R_{\text{э}}(T_{\text{э}}p + 1)}{k_{\text{тп}}k_{\text{от}}2T_{\mu}p} = \frac{R_{\text{э}}(T_{\text{э}}p + 1)}{k_{\text{тп}}k_{\text{от}}T_{\text{от}}p} = k_{\text{рті}} + \frac{k_{\text{рті}}}{p} \quad (4.10)$$

Пропорційна та інтегральна частина ПІ-регулятора струму:

$$k_{\text{рті}} = \frac{R_{\text{э}}T_{\text{э}}}{k_{\text{тп}}k_{\text{от}}T_{\text{от}}} = \frac{0,17 \cdot 0,1}{76,8 \cdot 0,016 \cdot 0,01} = 1,383 \quad (4.11)$$

$$k_{\text{рті}} = \frac{R_{\text{э}}}{k_{\text{тп}}k_{\text{от}}T_{\text{от}}} = \frac{0,17 \cdot 0,1}{76,8 \cdot 0,016 \cdot 0,01} = 13,835 \quad (4.12)$$

де $T_{\text{э}} = 0,1$ с - електромагнітна стала часу системи ТП-Д;

$k_{\text{тп}} = 76,8$ - коефіцієнт передачі ТП по напрузі;

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

зв'язку по струму;

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

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

двигуна (струм упору);

$$T_{от} = 2T_{\mu} = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ с} - \text{ стала часу інтегрування контуру струму при}$$

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 A/D, 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.

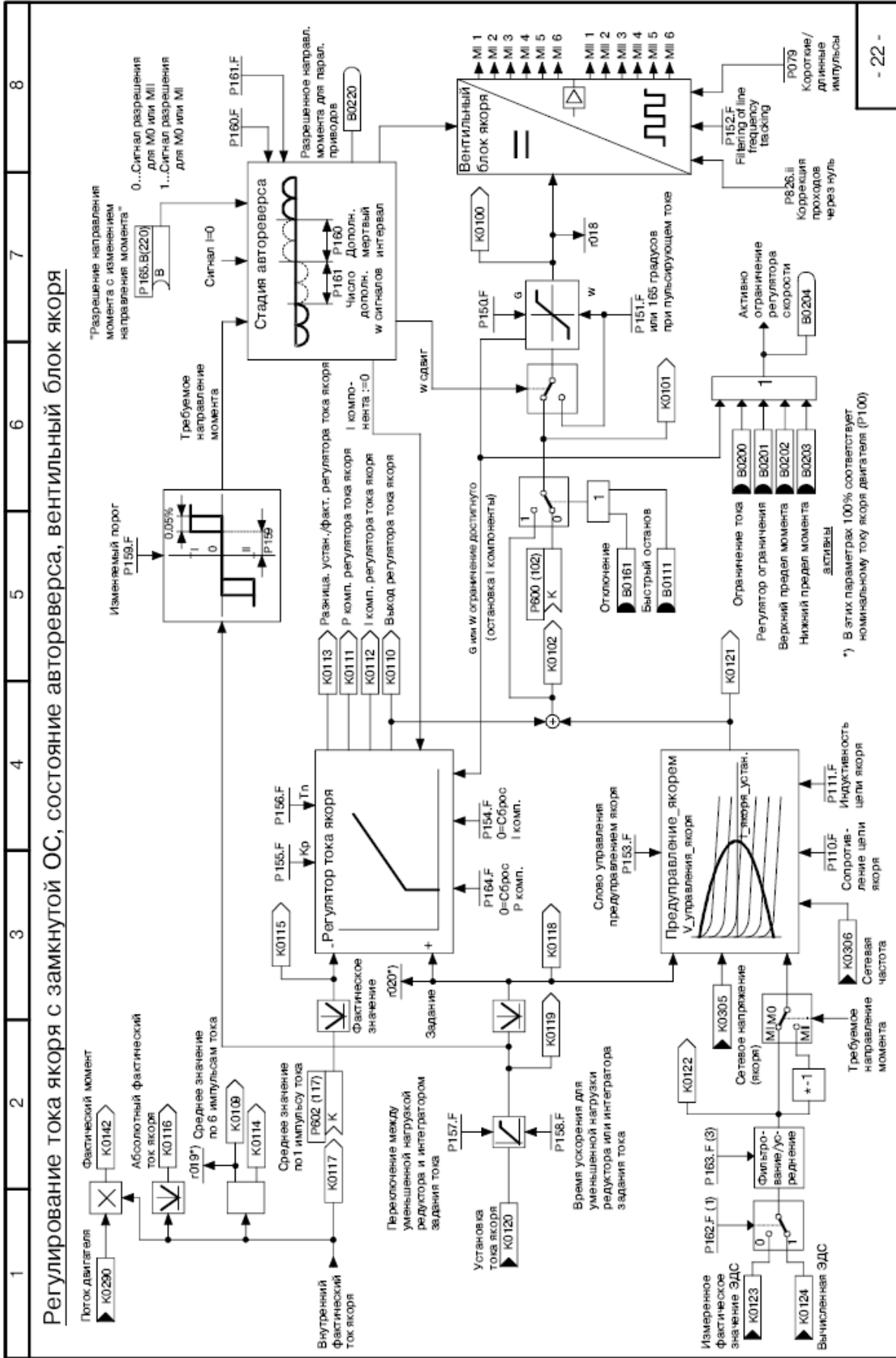


Рисунок 4.3 – Функціональна схема контуру регулювання струму у перетворювачі SIMOREG DC Master

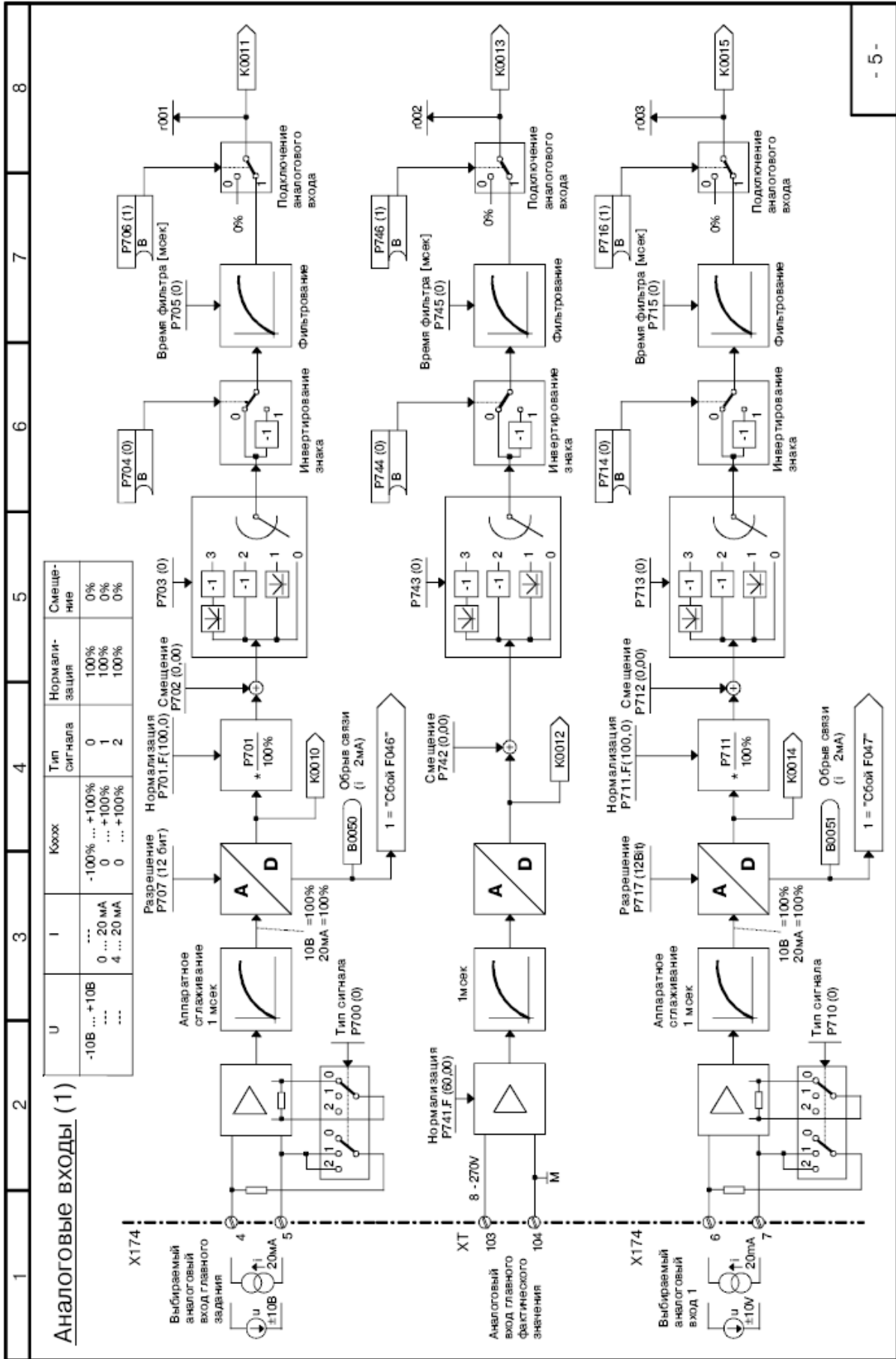


Рисунок 4.4 – Канал формирования сигнала зворотного зв'язку по струму в перетворювачі SIMOREG DC Master

4.4 Синтез регулятора швидкості

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

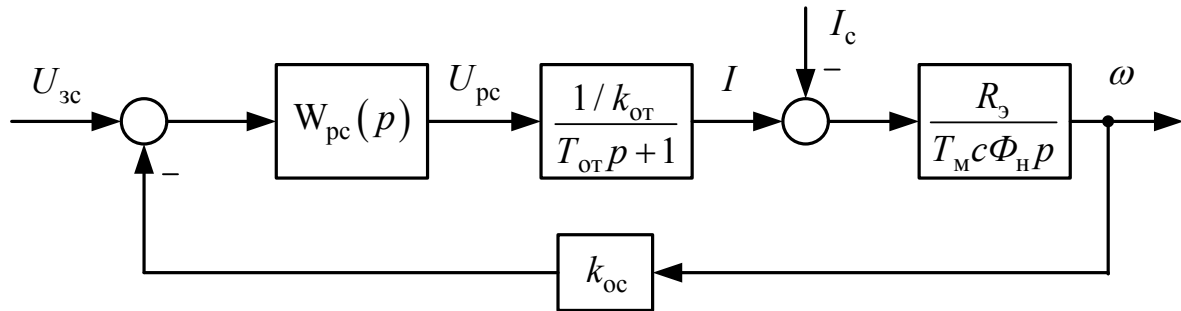


Рисунок 4.5 - Структурна схема контуру швидкості

Регулятор швидкості організований по пропорційному (П) закону керування з налаштуванням на модульний оптимум. Регулятор для забезпечення необхідних динамічних параметрів повинен компенсувати електромеханічну постійну часу системи T_m , а також малу постійну часу контуру швидкості T_{oc} . В цьому випадку передавальна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{рс}^c(p) = \frac{T_m c \Phi_n k_{от}}{R_э k_{ос} 2T_{от}} = \frac{T_m c \Phi_n k_{от}}{R_э k_{ос} T_{oc}} = k_{рсП} \quad (4.13)$$

Пропорційна частина П-регулятора швидкості:

$$k_{рсП} = \frac{T_m c \Phi_n k_{от}}{R_э k_{ос} T_{oc}} = \frac{0,23 \cdot 24,5 \cdot 0,016}{0,1 \cdot 0,6 \cdot 0,02} = 75,1 \quad (4.14)$$

$$k_{рсИ} = \frac{T_m c \Phi_n k_{от}}{R_э k_{ос} 2T_{oc}^2} = \frac{0,23 \cdot 24,5 \cdot 0,016}{0,1 \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot 0,02^2} = 1878,4 \quad (4.15)$$

де $T_m = 0,23$ с - електромеханічна стала 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;

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

$\omega_{max} = \omega_H = 16,75 \text{ 1/с}$ - 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.

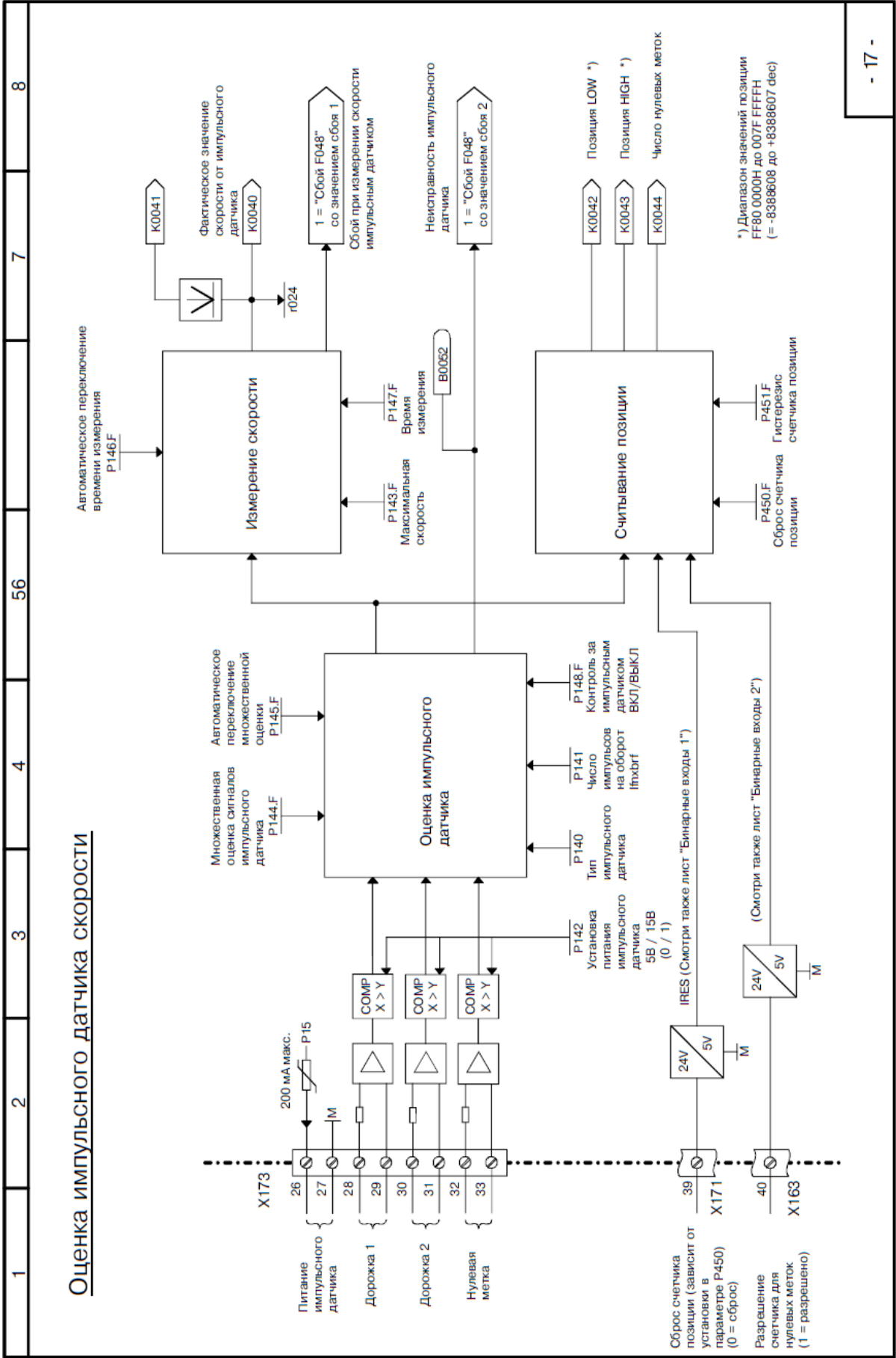


Рисунок 4.7 – Функциональна схема регулятора швидкості в перетворювачі SIMOREG DC Master

4.5 Розрахунок задатчика інтенсивності швидкості

Для розгону і гальмування двигуна з динамічним струмом, меншим уставки струмообмеження ($I_{\max} = 2,5I_{\text{н}}$) 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.

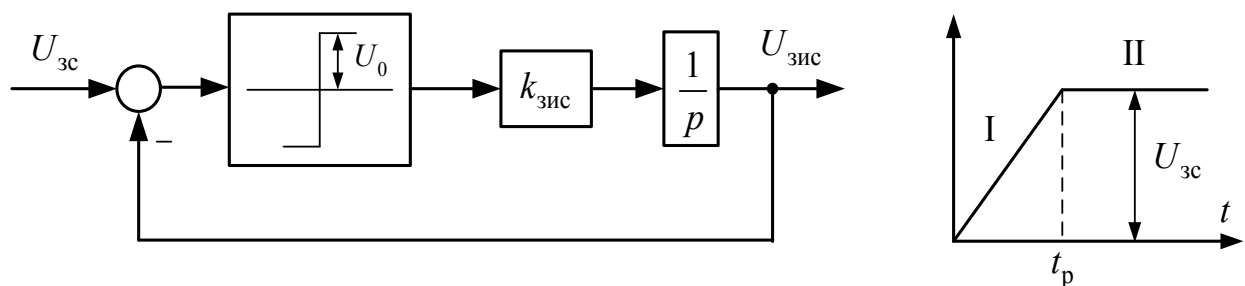


Рисунок 4.8 - Структурна схема задатчика інтенсивності швидкості

Вихідну напругу задатчика інтенсивності можна описати наступними рівняннями:

I ділянка:

$$U_{\text{зис}}^{\text{I}} = U_0 k_{\text{зис}} t_p = \frac{R_{\text{э}}}{T_{\text{м}} c \Phi_{\text{н}}} \frac{I_{\text{дин}} U_{\text{зс}}}{\omega_{\text{з.уст}}} t_p \quad (4.17)$$

II ділянка:

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

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

$\omega_{\text{з.уст}} = 13,85$ 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 - полиця релейного елемента.

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

$$t_p = \frac{T_M c \Phi_H}{R_\Omega} \cdot \frac{\omega_{з.уст}}{I_{дин}} \quad (4.19)$$

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.

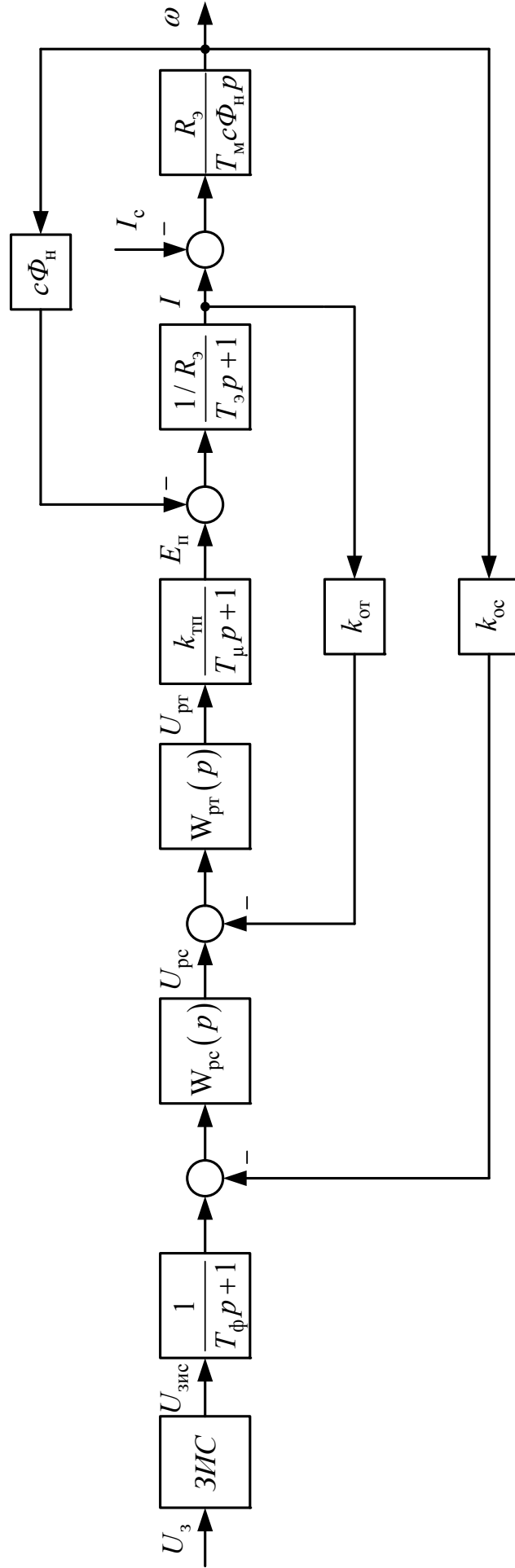


Рисунок 4.9 – Структурна схема швидкісної системи підпорядкованого керування

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 - 5.17.

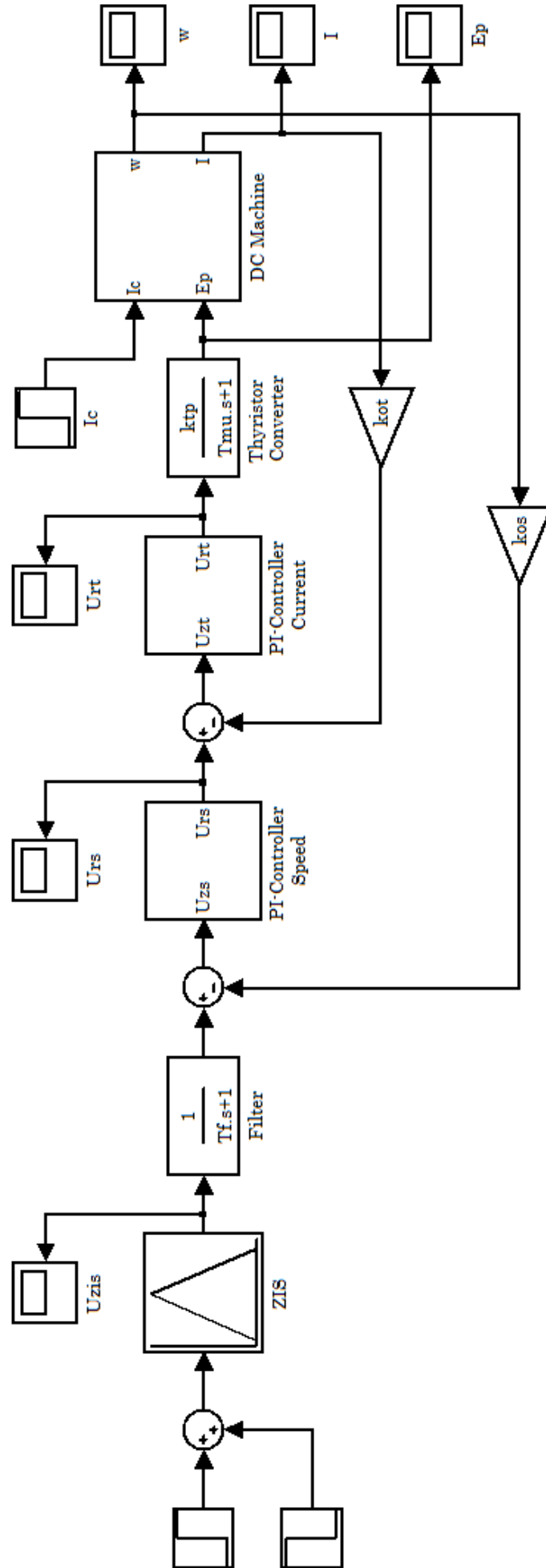


Рисунок 5.1 – Simulink-модель швидкісної системи підпорядкованого керування

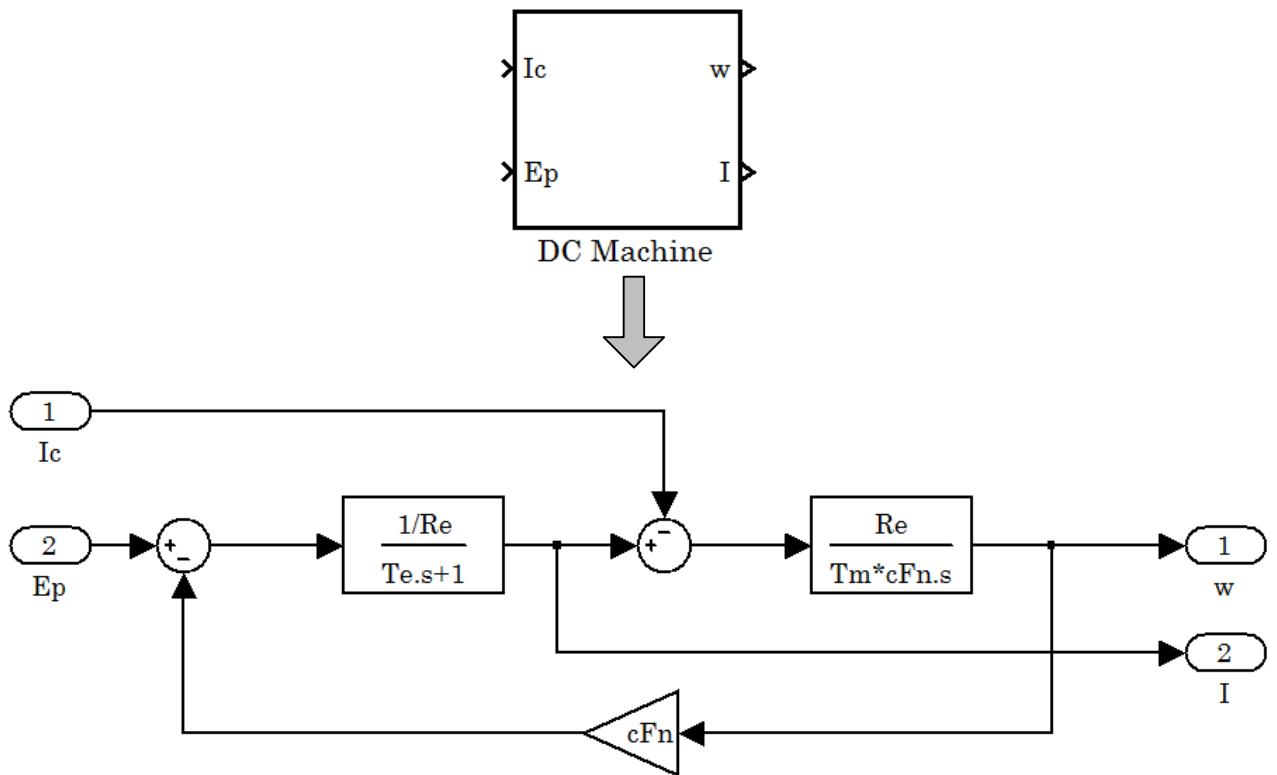


Рисунок 5.2 - Внутрішня структура підсистеми двигуна постійного струму (DC Machine)

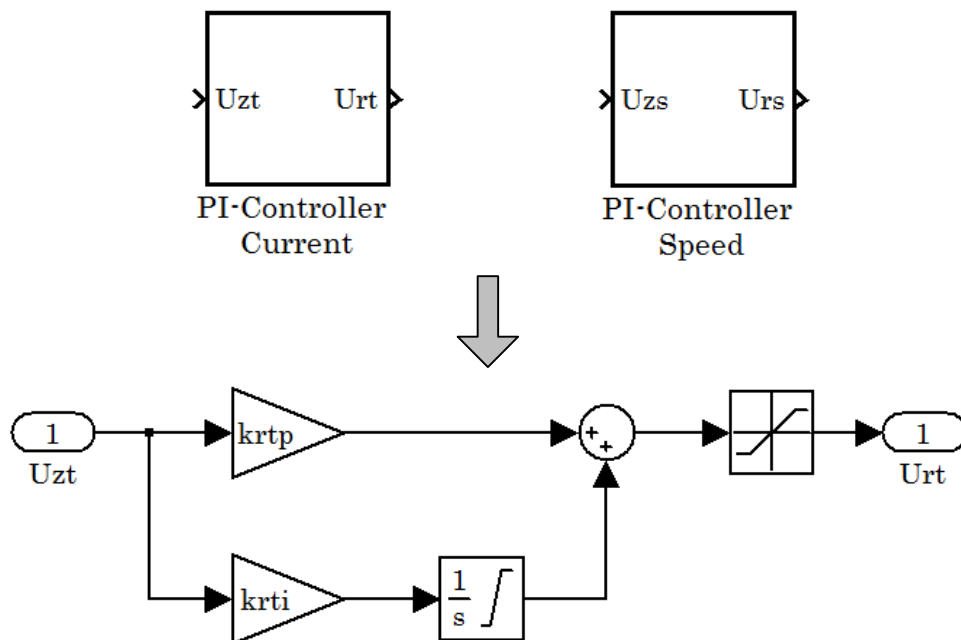


Рисунок 5.3 - Підсистема «ПІ-регулятор» струму (PI-Controller Current) і швидкості (PI-Controller Speed), що враховує поріг насичення регулятора

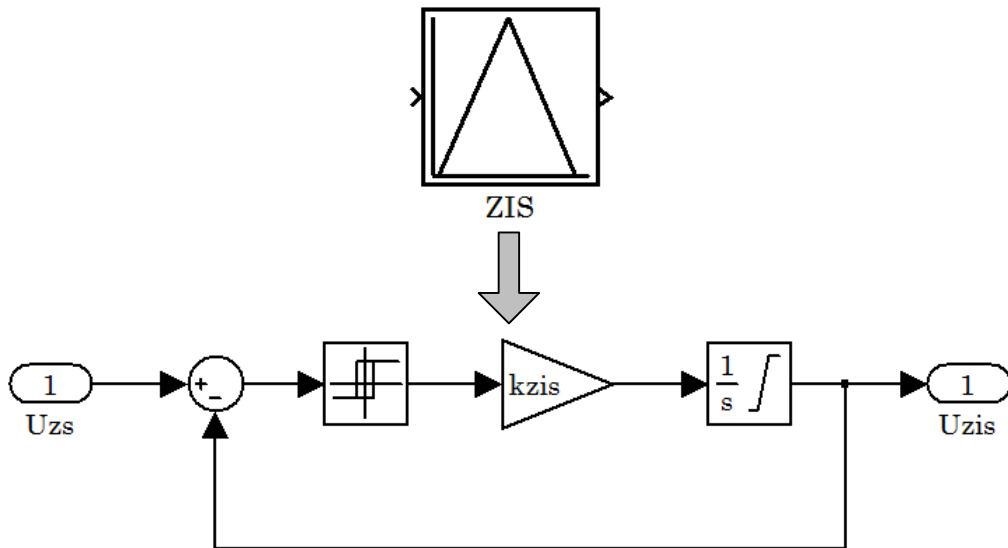


Рисунок 5.4 - Підсистема «Задатчик інтенсивності швидкості» (ZIS), що реалізує раціональну динаміку

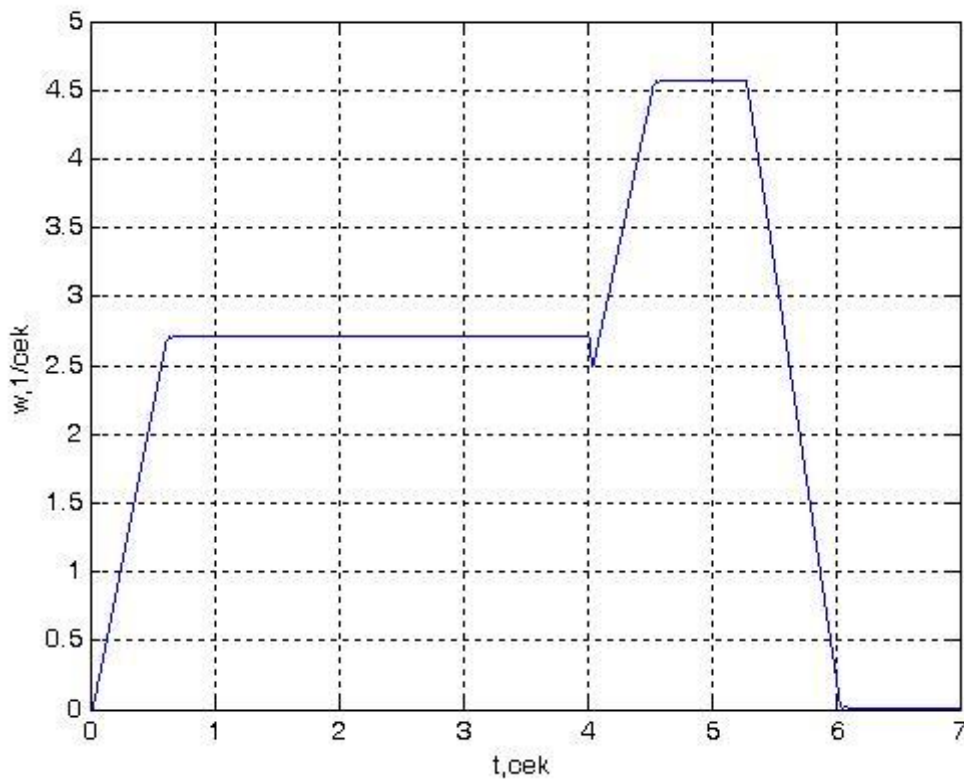


Рисунок 5.5 – Графіки перехідного процесу швидкості обертання двигуна при номінальних параметрах

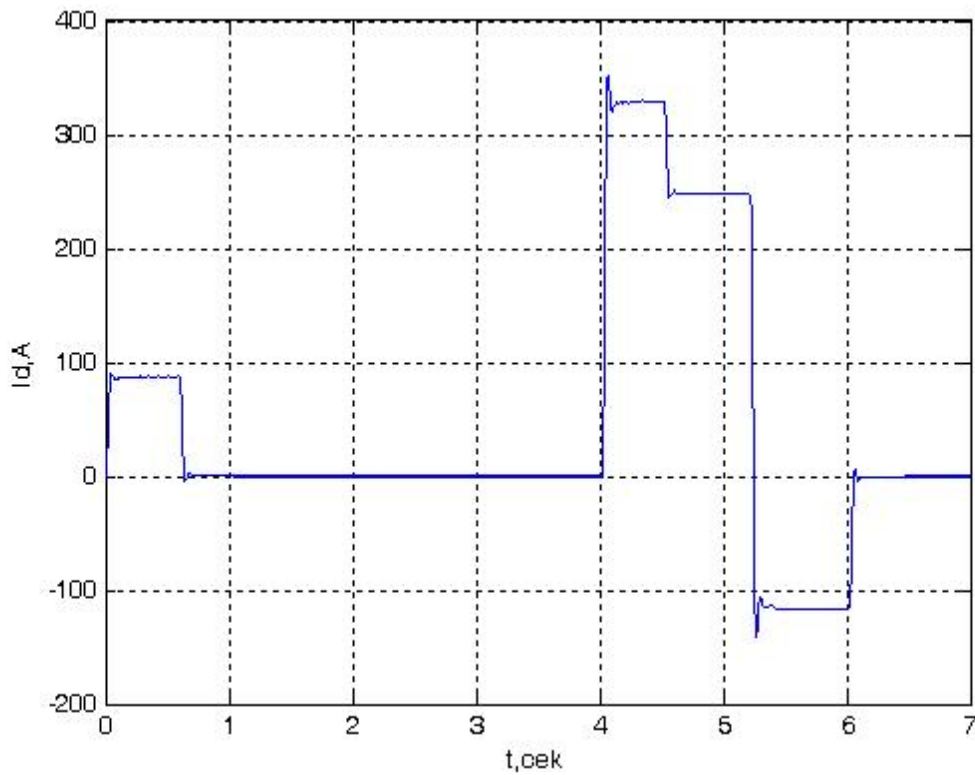


Рисунок 5.6 – Графік перехідного процесу струму якоря при номінальних параметрах

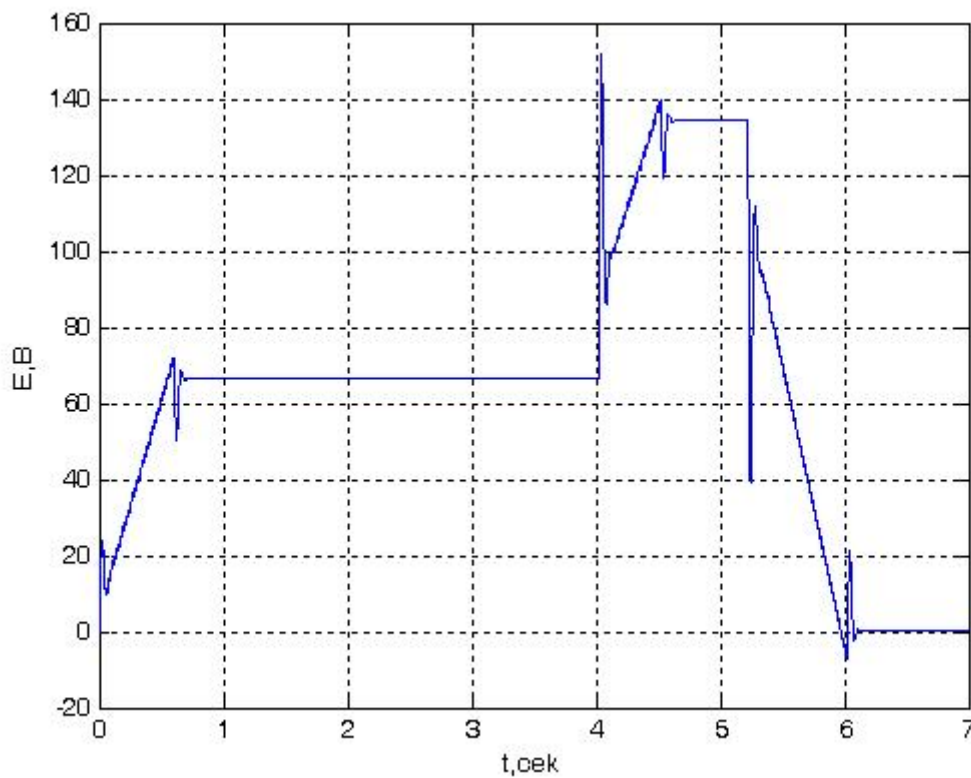


Рисунок 5.7 – Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача при номінальних параметрах

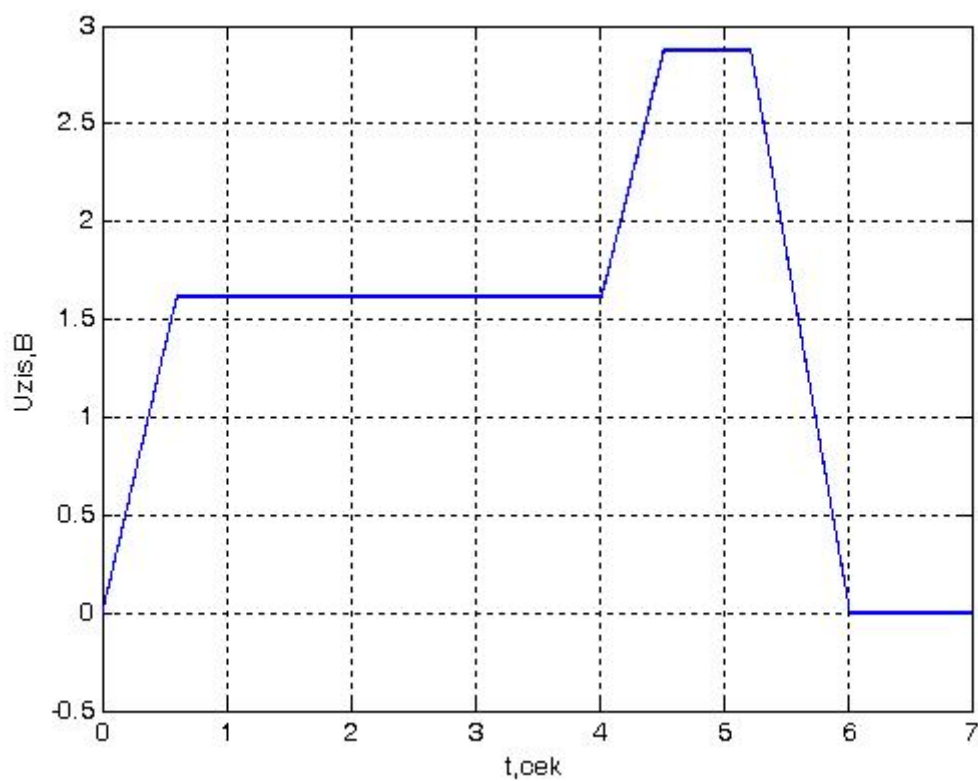


Рисунок 5.8 – Графік переходного процесу напруги на виході датчика інтенсивності при номінальних параметрах

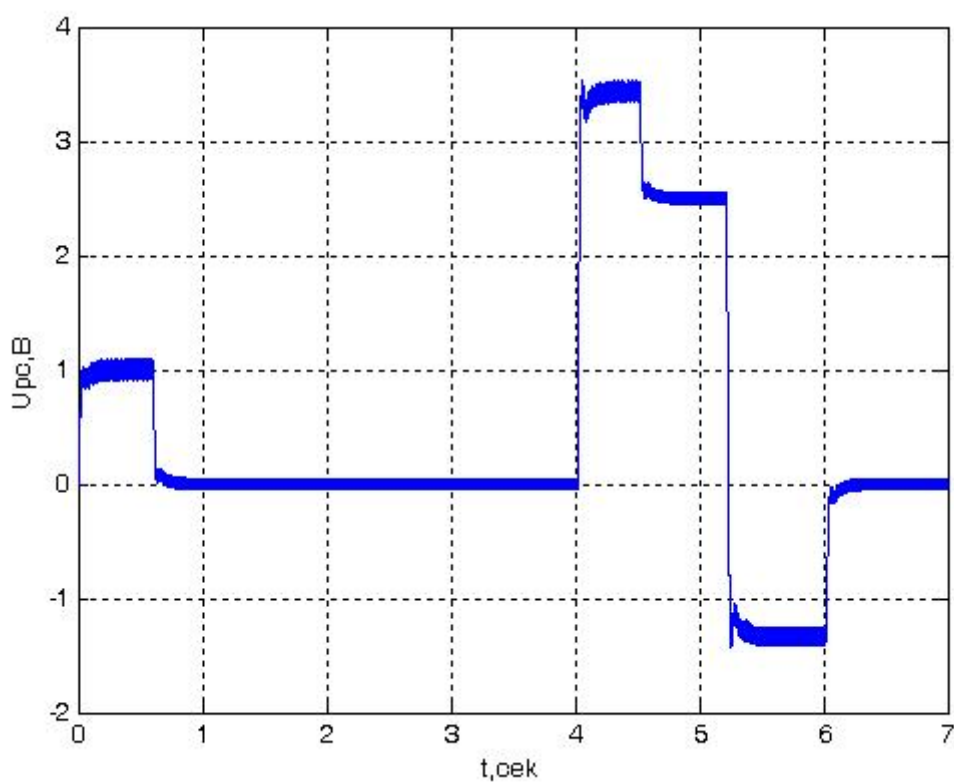


Рисунок 5.9 – Графік переходного процесу напруги на виході ПІ-регулятора швидкості при номінальних параметрах

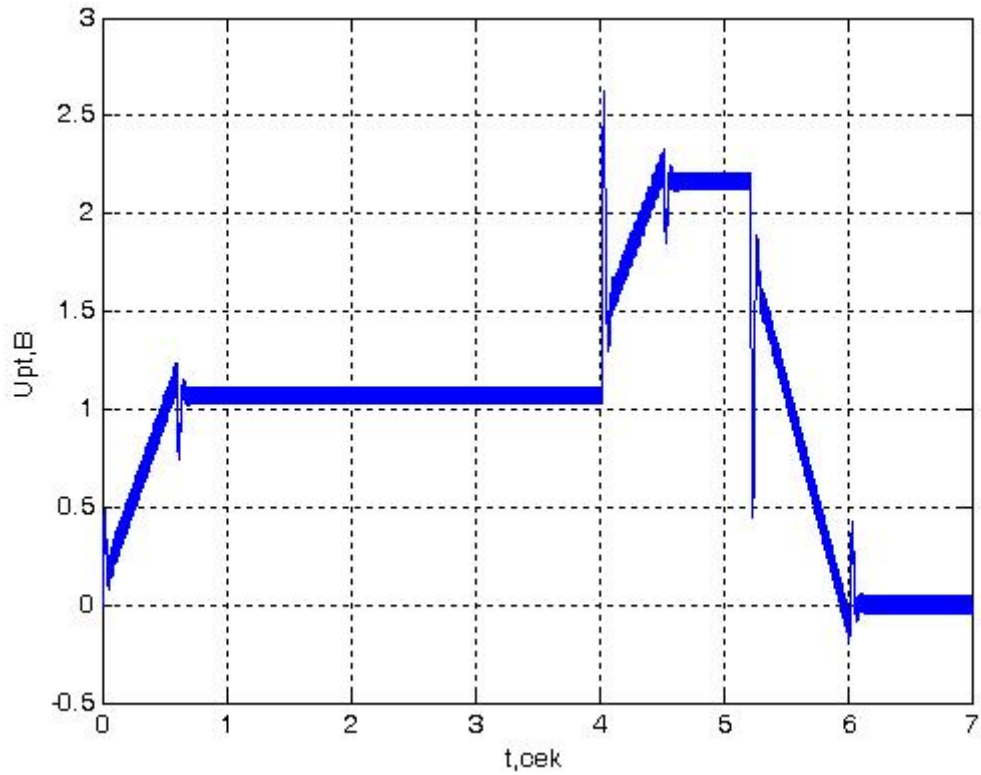


Рисунок 5.10 – Графік переходного процесу напруги на виході ПІ-регулятора струму при номінальних параметрах

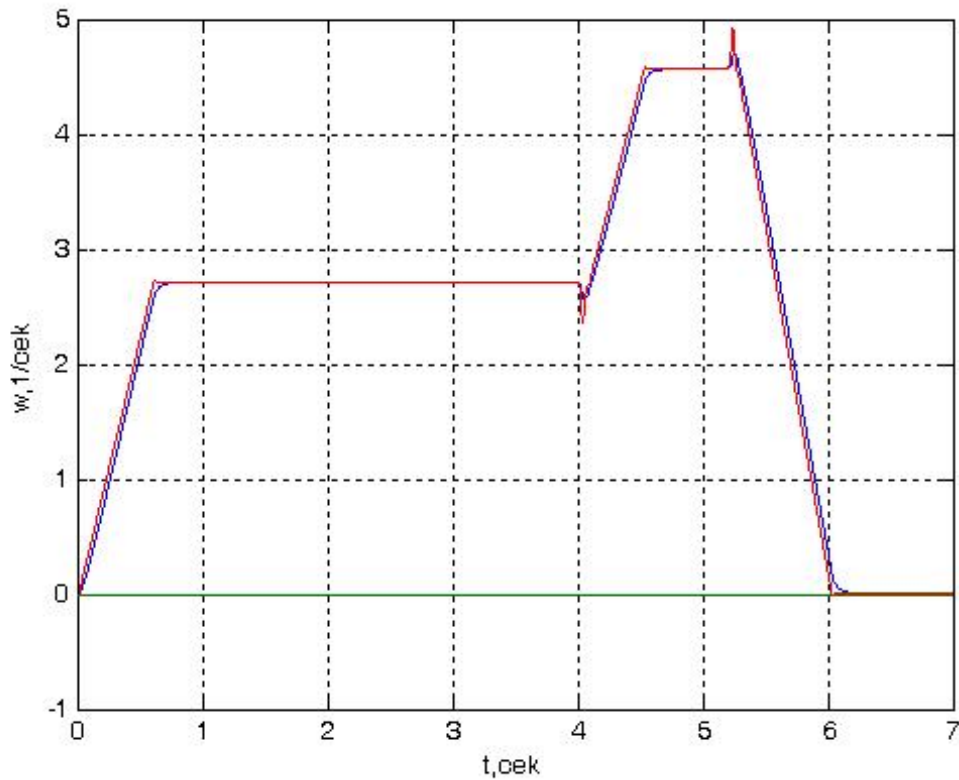


Рисунок 5.11 – Графіки переходного процесу швидкості обертання двигуна при зміні R_s у 2 рази

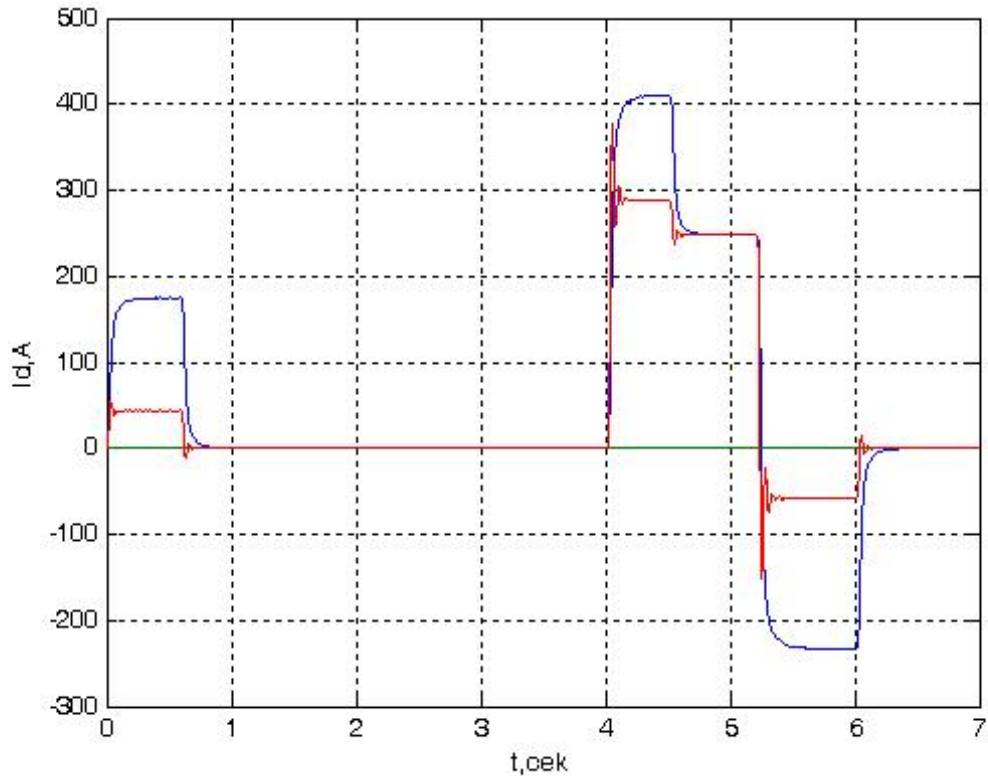


Рисунок 5.12 – Графік перехідного процесу струму якоря при зміні R_s у 2 рази

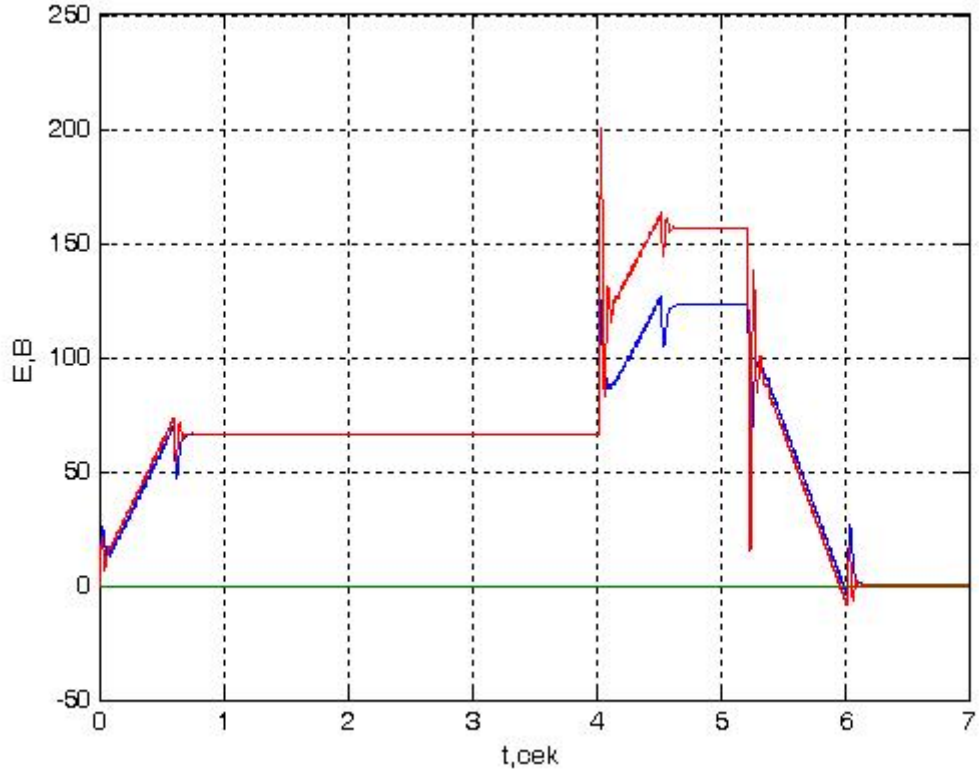


Рисунок 5.13 – Графік перехідного процесу EPS тиристорного перетворювача при зміні R_s у 2 рази

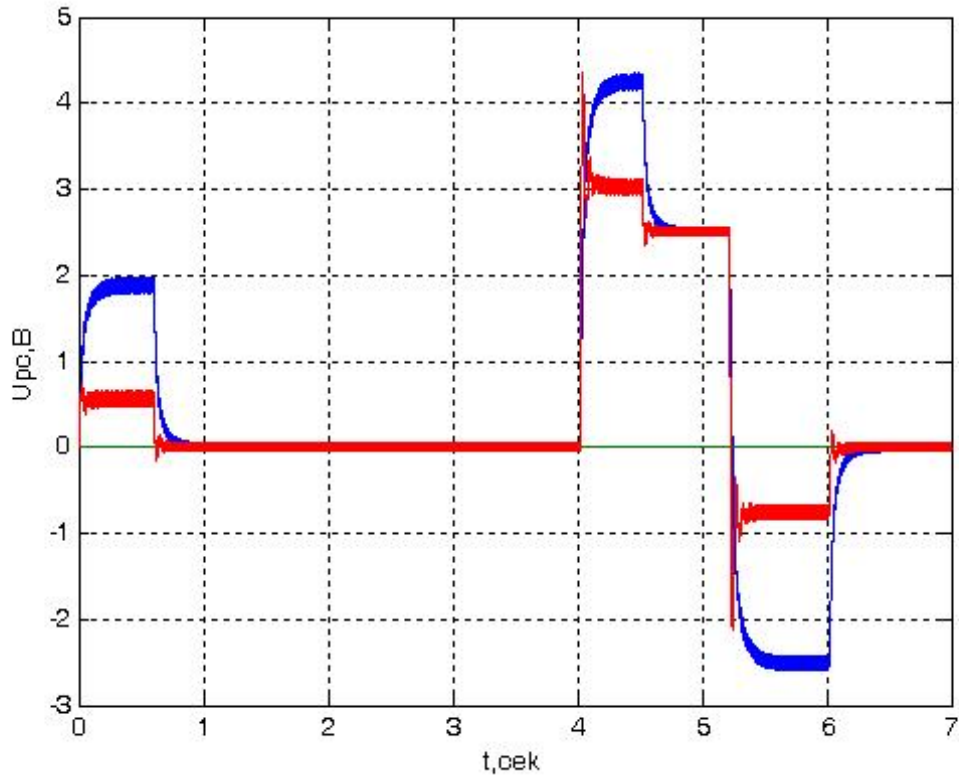


Рисунок 5.14 – Графік перехідного процесу напруги на виході ПІ-регулятора швидкості при зміні R_3 у 2 рази

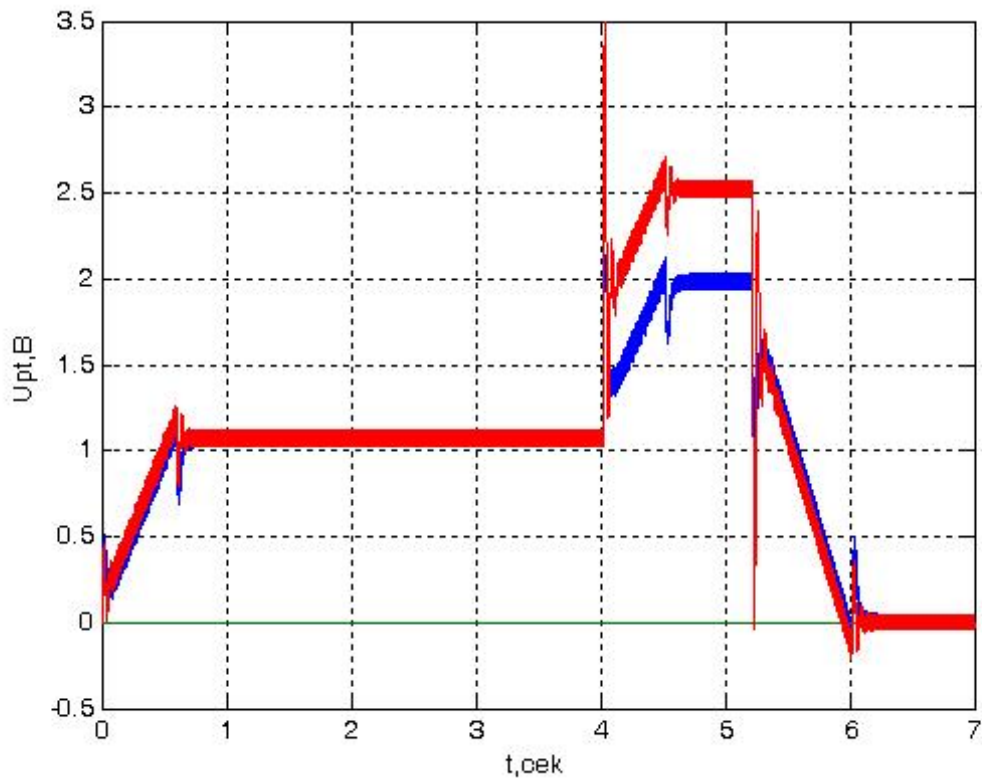


Рисунок 5.15 – Графік перехідного процесу напруги на виході ПІ-регулятора струму при зміні R_3 у 2 рази

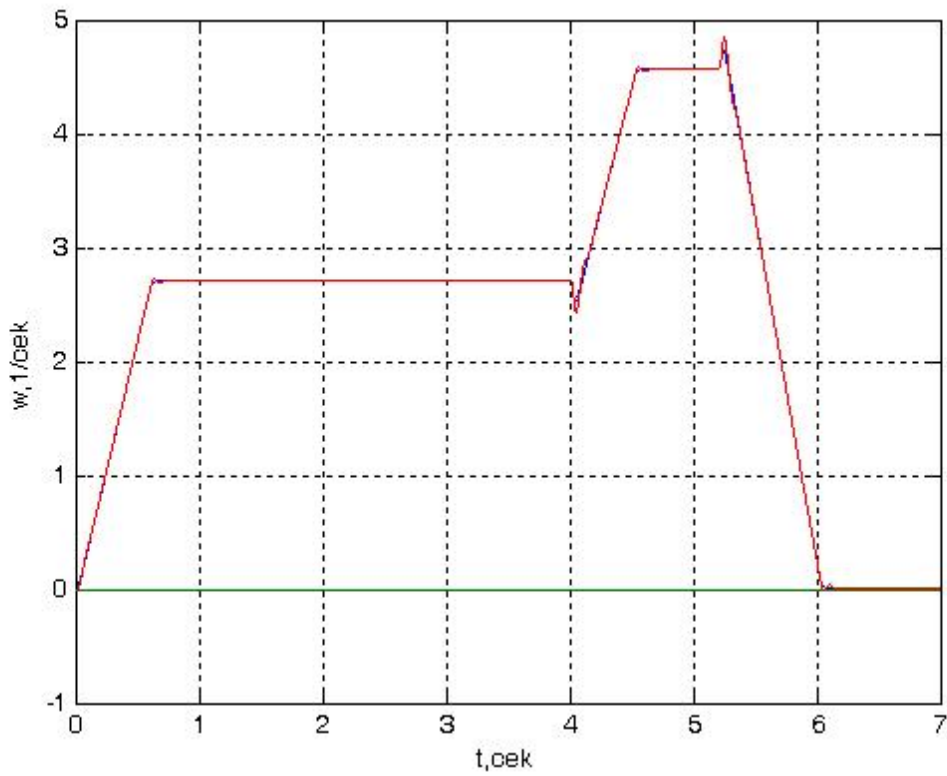


Рисунок 5.16 – Графіки переходного процесу швидкості обертання двигуна при зміні L_σ у 2 рази

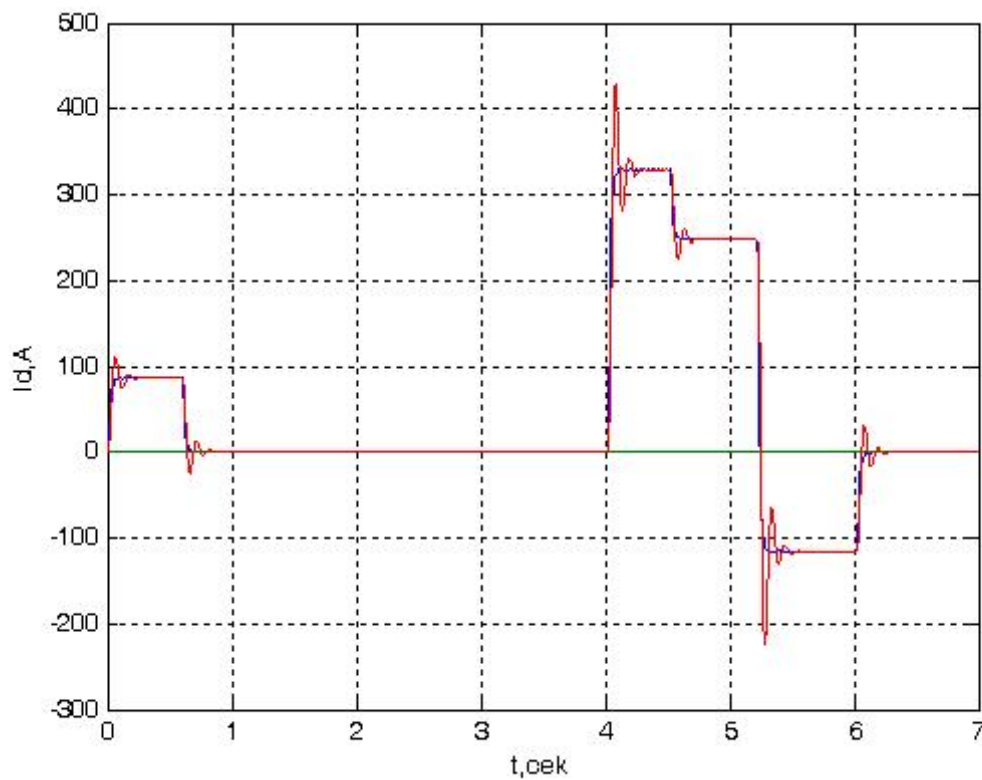


Рисунок 5.17 – Графік переходного процесу струму якоря при зміні L_σ у 2 рази

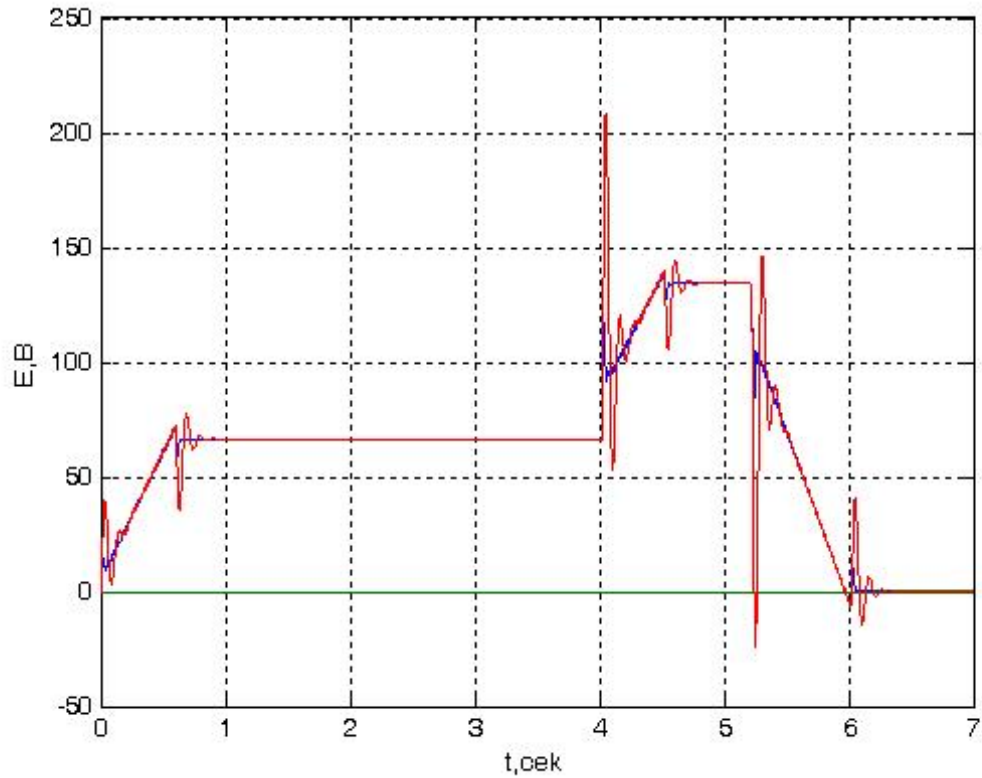


Рисунок 5.18 – Графік переходного процесу ЕРС тиристорного перетворювача при зміні L_3 у 2 рази

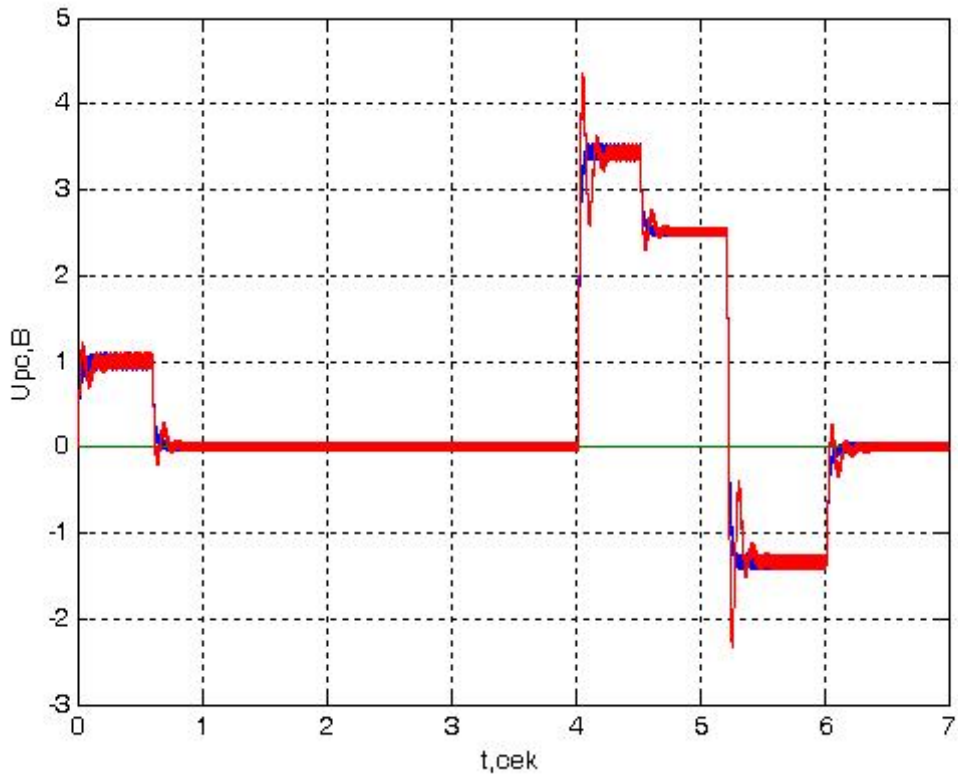


Рисунок 5.19 – Графік переходного процесу напруги на виході ПІ-регулятора швидкості при зміні L_3 у 2 рази

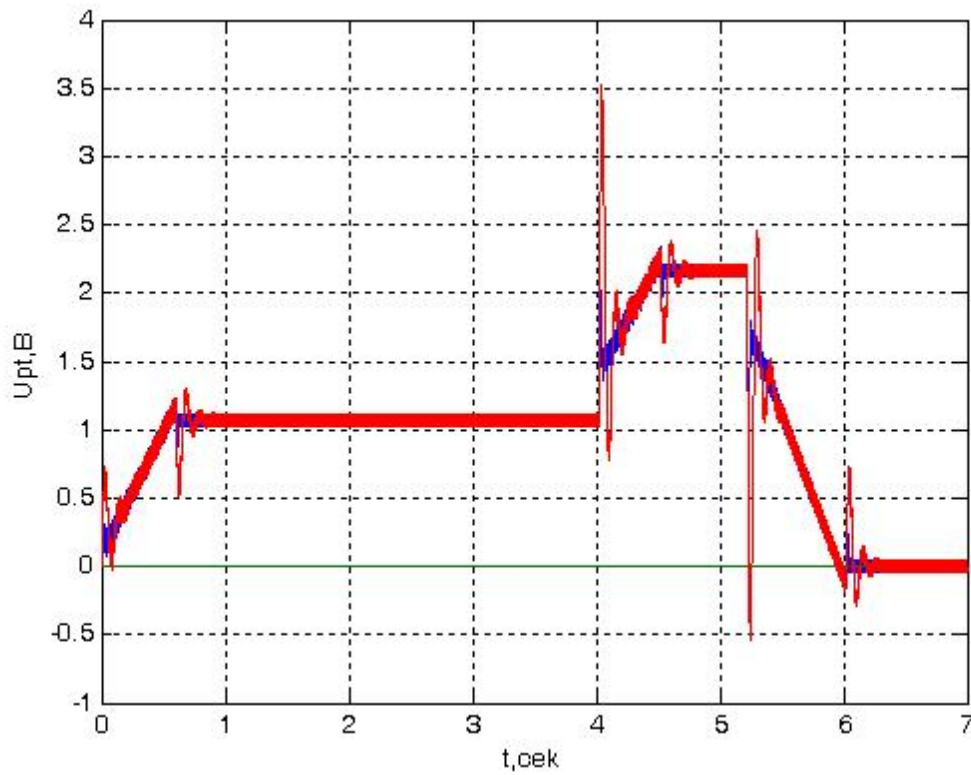


Рисунок 5.20 – Графік переходного процесу напруги на виході ПІ-регулятора струму при зміні L_3 у 2 рази

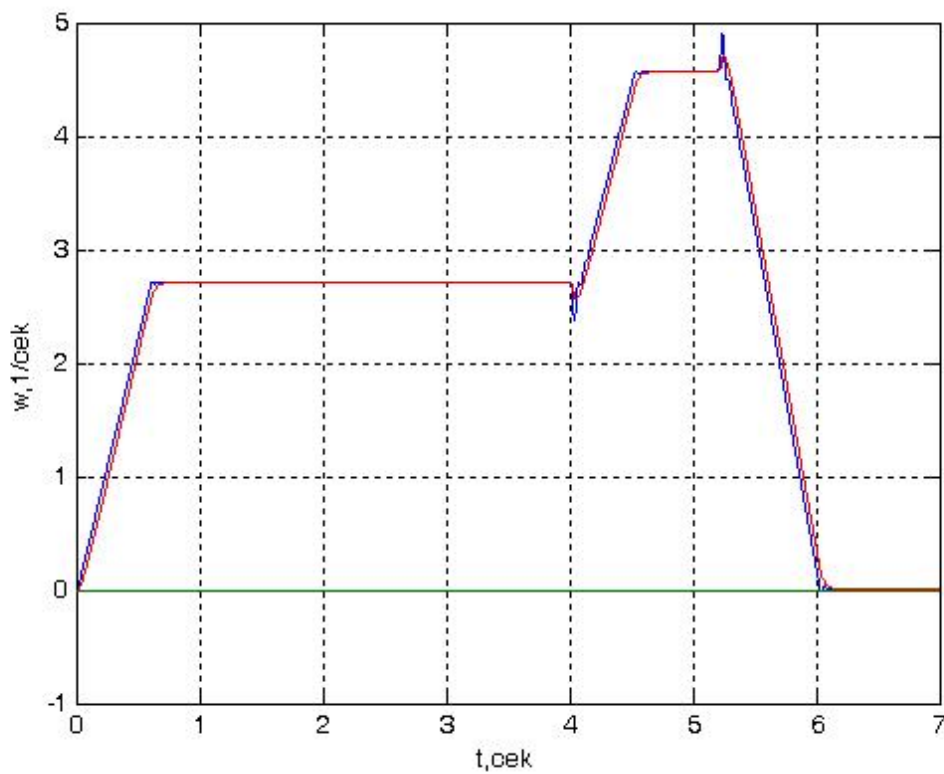


Рисунок 5.21 – Графіки переходного процесу швидкості обертання двигуна при зміні J'_Σ у 2 рази

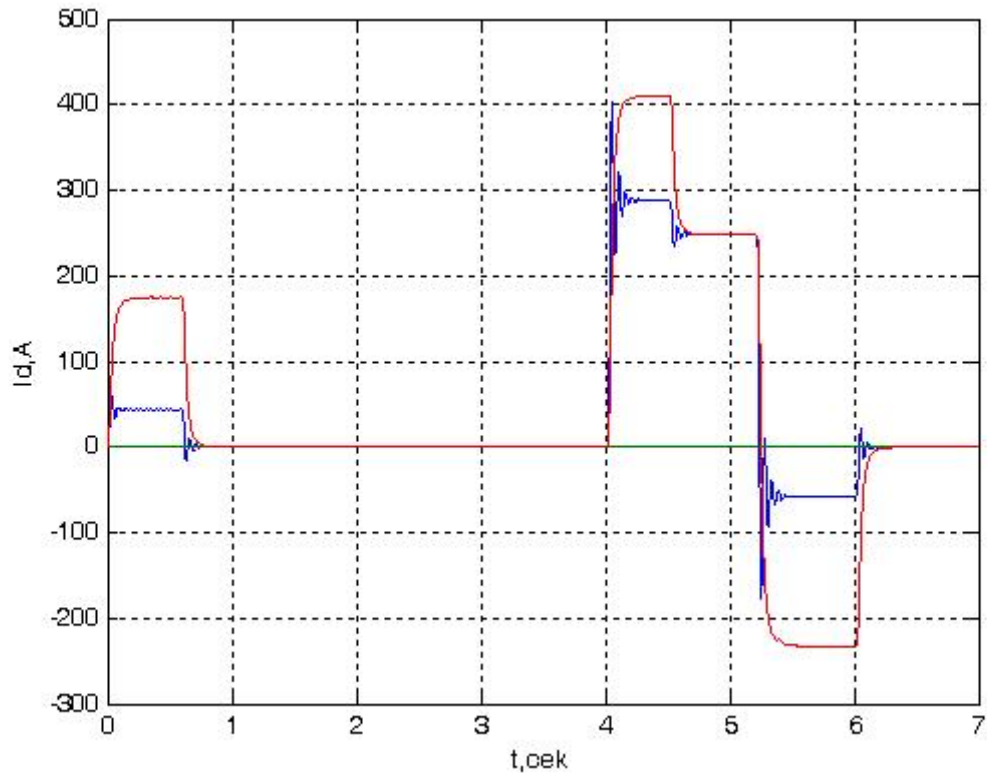


Рисунок 5.22 – Графік перехідного процесу струму якоря при зміні J'_Σ у 2 рази

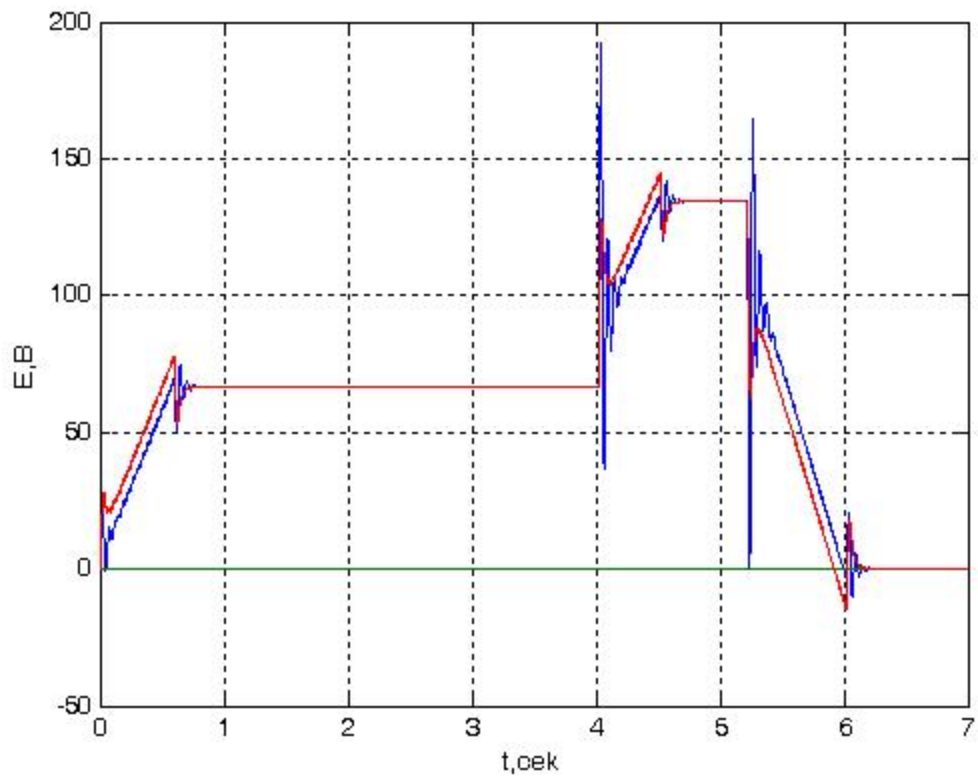


Рисунок 5.23 – Графік перехідного процесу ЕРС тиристорного перетворювача при зміні J'_Σ у 2 рази

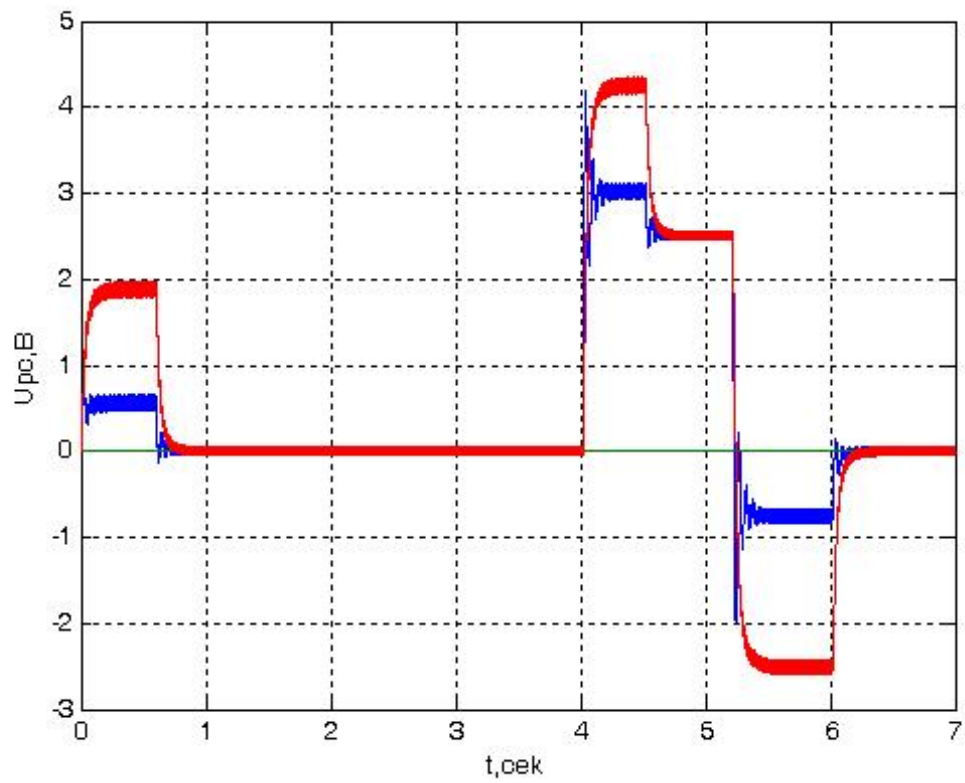


Рисунок 5.24 – Графік перехідного процесу напруги на виході
 ПІ-регулятора швидкості при зміні J'_Σ у 2 рази

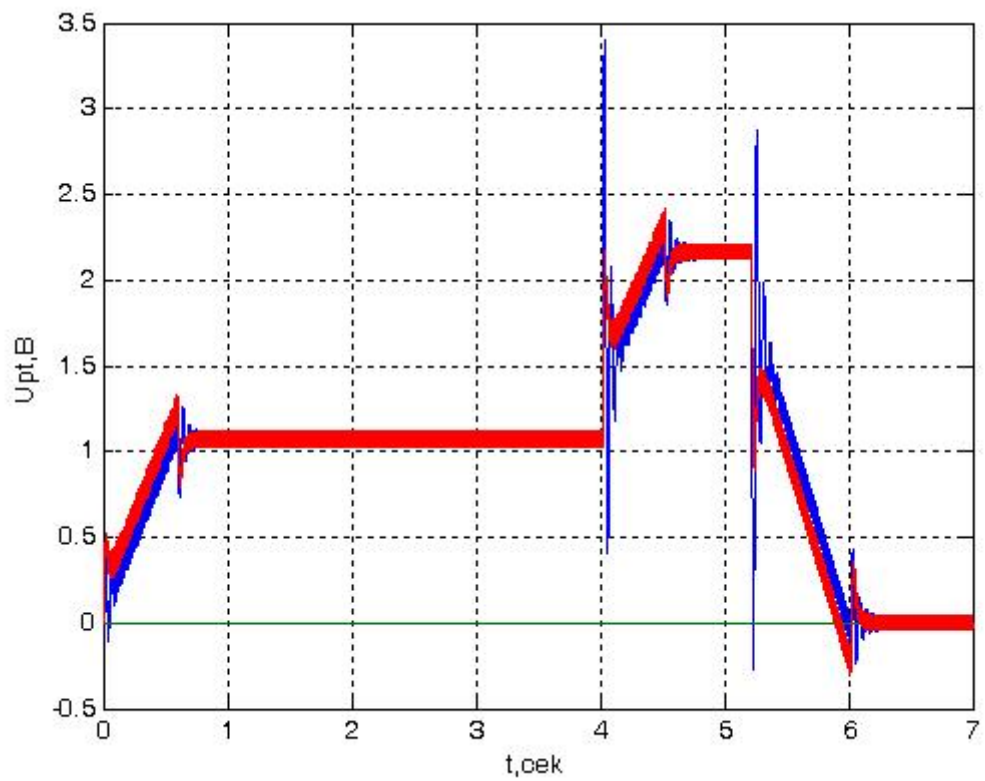


Рисунок 5.25 – Графік перехідного процесу напруги на виході
 ПІ-регулятора струму при зміні J'_Σ у 2 рази

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.

У разі варіації еквівалентної індуктивності спостерігається виникнення згасаючих коливань струму при збільшенні значення, і «затягування» перехідного процесу при зменшенні.

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 відпрацювати необхідні швидкісні режими.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

Виробництво на комбінаті характеризується впливом небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть бути постійними, метушні-кається періодично або випадково. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори – це фактори, вплив яких на працюючих в умовах виробництва призводить до захворювання або травми.

До шкідливих факторів належать:

- мікроклімат;
- вібрація;
- виробничий шум;
- електромагнітне випромінювання;
- запиленість.

Постійно діючими небезпечними і шкідливими виробничими факторами на території комбінату, є рухомі і обертові частини механізмів і обладнання, вантажопотоки, теплові випромінювання, шум, вібрація і т.п. Тимчасовими періодично діючими небезпечними і шкода-ними виробничими факторами є: розпечений метал, запиленість, загазованість і т.д. Велика розмаїтість небезпечних і шкідливих виробничих факторів вимагає постійного їх обліку, аналізу, вибору засобів і методів для їх запобігання або зменшення їх впливу на робітників. Це здійснюється шляхом розробки нормативів, постійного обліку за виконанням цих нормативів, введенням засобів колективного та індивідуального захисту, виконанням вимог техніки безпеки.

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

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

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

До аналогічних наслідків може призвести і передчасна подача заготовки до стану, її охолодження на приймальному рольгангу. До травмування обслуговуючого персоналу може привести збільшення швидкості прокатки на одній клітці, оскільки це призведе до обриву гуркоту або утворення петлі. 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 також велика протяжність і розкиданість механізмів, що обслуговуються, мають дистанційне керування і розташованих на висоті і в підвальних приміщеннях, що знижує видимість і чутність світлової та звукової сигналізації, ускладнює прийом попереджувальних сигналів. Згідно міждержавного стандарту ГОСТ 12 ГОСТ 12.0.003-74, небезпечні і шкідливі виробничі фактори за природою дії поділяються на:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

Для даної установки шкідливі фактори фізичної природи можна розділити на кілька основних груп:

- рухомі машини і механізми; рухомі частини виробничого обладнання; пересуваються вироби, заготовки, матеріали;
- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- відсутність або нестача природного світла.

6.2 Заходи з техніки безпеки праці та безпечної експлуатації установки

Говорячи про техніку безпеки праці персоналу обслуговуючого на-режимних пристрій і прокатну кліть в цілому, слід, в першу чергу, виділяти правила для персоналу який обслуговує електроустановки, правила для персоналу обслуговуючого механічну частину, ну і звичайно правила загальні для всіх трудящих в металургійній галузі.

Нормативними документами встановлюються наступні вимоги до електроустановок:

- Всі електроустановки металургійних виробництв повинні знаходитися в технічно справному стані, що забезпечує безпечні умови праці і функціонування технічних пристроїв.

- Експлуатація електрообладнання металургійних виробництва повинна проводитися відповідно до НПА та ТНПА, що встановлюють вимоги технічної експлуатації електроустановок споживачів і техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

- Для кожної електроустановки повинні бути складені експлуатаційні схеми режимів роботи. Всі зміни, що вносяться до схеми електричних з'єднань, а так само зміни місць установки заземлення повинні бути відзначені в схемі з обов'язковим зазначенням, ким, коли і з якої причини внесено ту чи іншу зміну.

Експлуатаційні електричні схеми та 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, а так само захист персоналу від впливу електромагнітного поля.

- Під час виконання робіт, 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 електричного струму перед застосуванням повинні бути перевірені відсутність замикання на корпус, стан ізоляції проводів живлення і справність заземлювального проводу.

Переносний електрифікований інструмент повинен відповідати вимогам міждержавних стандартів безпеки праці, зберігатися в коморі (інструментальній) і видаватися робочим на період роботи. Електрифікований інструмент напругою вище 42 В повинен видаватися в комплекті із засобами індивідуального захисту.

Особи, що обслуговують і ремонтують електроустановок повинні знати і дотримуватися вимог діючих ПУЕ.

Технічне обслуговування двигунів постійного струму:

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

- Загальний нагляд;
- Технічний огляд;
- Профілактичний ремонт.

- Загальне спостереження полягає в періодичному контролі режиму роботи, стану контактів, нагріву, чистоти двигуна.

- Технічний огляд проводити не рідше одного разу на два місяці. Під час технічного огляду потрібно очистити двигун від пилу і бруду, перевірити надійність заземлення і з'єднання з приводним механізмом.

Профілактичних ремонт двигуна виробляти в залежності від виробничих умов, але не рідше одного разу на рік.

При профілактичному ремонті проводити розбирання двигуна, продувку, внутрішнє очищення, заміну мастила, підшипників, перевірку надійності заземлення і всіх з'єднань, перевірку стану ввідних решт.

Розбирання двигуна проводиться в такому порядку:

- а) від'єднуються від двигуна струмопровідні дроти;
- б) від'єднують двигун від приводного механізму;
- в) знімається напівмуфта з вала за допомогою знімного пристосування, відвернути болти, що кріплять кожух двигуна і зняти кожух;
- г) зняти зовнішнє кільце вала, що замикає вентилятор. Зняти вентилятор за допомогою віджимних болтів, вийняти шпонку;
- д) відвернути болти, що кріплять кришку підшипників до переднього і заднього підшипниковий щитам, і зняти кришки;
- є) відвернути болти, що кріплять передній щит, розташований з боку приводу, і задній щит, розташований на звороті приводу;
- ж) вивести задній щит із замку станини, подати ротор легкими поштовхами в сторону заднього щита і підтримуючи його вивести обережно з статора, щоб не пошкодити лобові частини обмотки;
- з) покласти вийнятий ротор з заднім щитом на дерев'яну підставку, щоб уникнути його пошкодження.

Підшипники знімають тільки в разі їх заміни, для цього:

- а) зняти пружинні кільця, що фіксують положення підшипника на валу;
- б) зняти мастильний диск і підшипник за допомогою знімача;
- в) очистити і ретельно промити бензином або гасом поверхні під підшипник;
- г) нагріти підшипник в чистому мінеральному маслі до температури 70-800 С;
- д) насадити нагрітий підшипник на вал до упору внутрішнього кільця вала.

Збирають двигун в послідовності зворотному розбиранні.

При насадці муфти на вал нагріти його до температури 80-1000С. Перевірити рукою обертася вільно ротор після складання двигуна. Ротор

повинен обертатися без особливих зусиль, шуму, стуку, і заїдань і в кінцевому підсумку перевіряють опір ізоляції обмотки відносно корпусу.

Загальними вимогами безпеки для всіх прокатних станів є:

- головний пост керування прокатним станом повинен мати переговорний зв'язок і сигналізацію з машинним залом і з постами керування допоміжних агрегатів. Пуск в хід стану повинен проводитися після подачі відповідного сигналу;

- пуск стана в несправному стані, а також при відсутності або несправності захисних і запобіжних пристроїв забороняється;

- при необхідності переходу через головний сполучний вал кожної кліти прокатного стану (далі – стан) повинні встановлюватися перехідні містки з огороженням;

- на безперервних станах замість окремих містків через з'єднувальні вали кожної кліти до кається влаштування одного суцільного містка уздовж всіх клітей з драбинами для спуску до кожної з клітей;

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

- непрацюючі калібри валків повинні закриватися щитами;

- перевірка калібрів, зазору між валками, а так само положення проводок повинна проводитися за допомогою відповідного оснащення;

- регулювання зазору між валками на нових станах повинна бути механізована;

- замір профілю прокочуваного металу на ходу стана повинен здійснюватися тільки дистанційно з використанням відповідних вимірювальних приладів;

- на станах «тріо» при наявності системи гідравлічного зрівноважування середнього валка проміжки між траверсою приводу і станиною кліти повинні бути закриті огорожувальними щитами.

- при ручному завданні металу у валки кліщі вальцювальників повинні відповідати сортаменту металу, що прокочується і бути в справному стані. Для

охолодження кліщів близько станів повинні бути встановлені ємності з проточною водою, температура якої не повинна перевищувати 45 °С;

- конструкція підйомно-гойдаючих столів повинна виключати можливість падіння з них металу, що прокочується;

- для запобігання травмуванню працюючих бічні поверхні підйомно-гойдаючих столів повинні бути обшиті листовим металом. При верхньому положенні столу обшивка не повинна бути вище плитового настилу робочого місця;

- для ремонту і огляду механізмів підйомно-гойдаючими столами повинні бути влаштовані приямки з похилими сходами;

- у випадках, коли пристрій приямків з похилими сходами неможливий, допускається влаштування збоку підйомно-гойдаючих столів колодязів з вертикальними сходами або скобами;

- під час огляду і ремонту механізмів, розташованих під підйомно-гойдаючими столами, стан повинен бути зупинений, а підйомно-гойдаючий стіл надійно закріплений;

- проміжки між роликами рольгангів, за винятком робочих рольгангів у блюмінгів і слябінгів, повинні бути перекриті;

Далі перераховані основні правила для блюмінгів і слябінгів:

- для захисту працюючих від відлітають при прокатці частинок окалини і шлаку з боків кліті блюмінга (слябінга) проти прорізи в станині і збоку робочих рольгангів має бути встановлено відповідне захисне огороження (захисні щити, сітчасту огорожу);

- показчик натискного пристрою кліті блюмінга (слябінга) повинен бути доступний для регулювання і добре освітлений. При рясному паротворенні для поліпшення видимості повинен бути передбачений віддув пару за допомогою вентилятора;

- таврування блюмів і слябів після різання повинно проводитися автоматично клеймувальною машиною;

- керування машиною має бути дистанційне;

- роботи з навантаження і прибирання обрізу повинні виконуватися відповідно до вимог технологічної інструкції;
- при навантаженні обрізу в залізничні вагони місця навантаження повинні бути огорожені;
- під час пересування вагонів для установки під скидний жолоб повинні подаватися звукові сигнали. На ділянці навантаження повинні бути встановлені відповідні знаки безпеки;
- при збиранні обрізу в коробки переповнювати їх забороняється;
- для спостереження за навантаженням обрізу у вагони пости керування повинні бути обладнані телевізійними установками, а конвеєр обрізу – дистанційним керуванням.

6.3 Заходи пожежної безпеки на базовому підприємстві (цеху, дільниці)

Протипожежні заходи повинні відповідати положенням Закону України «Про пожежну безпеку в Україні», затвердженим 14.06.95. Ці положення обов'язкові для виконання всіма органами влади, підприємствами, установами, посадовими особами та громадянами.

У виробничих приміщеннях, на підстанціях і в електромашин приміщення повинні бути первинні засоби вогнегасіння, які застосовує обслуговуючий персонал для ліквідації пожежі до прибуття викличної пожежної частини.

Для гасіння пожеж можна використовувати воду, водяну пару, повітряно-механічну піну і спеціальні хімічні засоби (вуглекислота). Для гасіння пожеж застосовуються: вогнегасник типу УП-1М, вуглекислотні-брометилові вогнегасники, а також найпростіші засоби такі як пісок, азбестова тканина і т.д. Протипожежні вогнегасники вивішуються на видних місцях.

Організаційні заходи зводяться до наступного:

- забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої діяльності посадових осіб, працівників, знаходить відображення в трудових договорах;

- керівником підприємства визначаються обов'язки посадових осіб, зокрема забезпечення пожежної безпеки, призначаються відповідальні за пожежну безпеку окремих ділянок технологічного та інженерного обладнання;

- на підприємстві повинні бути розроблені загальна інструкція та заходи пожежної безпеки для всіх пожежонебезпечних установок, ділянок і т.д. Електроустановки (можливість їх застосування, монтаж, налагодження, експлуатація) повинні відповідати вимогам правил улаштування електроустановок, правил технічної експлуатації та інші.

Електричні машини з нормально іскристими частинами повинні розміщуватися на відстані не менше одного метра від горючих матеріалів, відділятися екранами.

Електродвигуни, світильники, проводи, розподільні пристрої необхідно не рідше одного разу на місяць очищати від пилу.

При електрозварювальних роботах устаткування зварювальних установок повинно відповідати умовам навколишнього середовища; потрібно використовувати спеціальні трансформатори, для підводки струму до держателю установки ручного дугового зварювання використовувати зварювальний дріт в гумовій оболонці.

У разі пожежі на робочому місці необхідно сповістити пожежну охорону і аварійні служби за допомогою засобів зв'язку або в усній формі. У разі необхідності відключити обладнання, електроустановки. При можливості гасити пожежу існуючими засобами пожежогасіння, евакуювати людей. Після прибуття пожежних розрахунків надавати допомогу в створенні рукавних ліній, участь в евакуації матеріальних цінностей та виконувати роботи відповідно до розпоряджень керівника пожежогасіння.

ВИСНОВОК

В ході проектування була розглянута технологія роботи, призначення та особливості роботи електроприводу станинних роликів перед чорнової кліттю «Кварто» товстолистового стану 3000. Була розрахована потужність двигуна, динамічні та статичні моменти навантаження. У результаті розрахунку було обрано/перевірено двигун типу П100/1600УЗ 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-400/10УЗ.

В проекті розраховано параметри двоконтурної системи підпорядкованого керування, з зовнішнім контуром швидкості (оскільки станинні роликів 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, еквівалентної індуктивності та сумарного моменту інерції, тим самим отримана оцінка якості перехідних процесів при зміні її динамічних процесів. Отримані перехідні процеси свідчать про правильність налаштування системи. Досліджуваний електропривод з синтезованою системою керування повністю задовольняє технологічним вимогам.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зеленов А.Б. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов / А.Б. Зеленов. – К.: УМК ВО, 1990. – 200 с.
2. Переходченко В.А. Расчет мощности электродвигателей широкополосных станов горячей прокатки / В.А. Переходченко. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 384 с.
3. Коцюбинский В.С. Выбор мощности электропривода общепромышленных механизмов: Учебное пособие / В.С. Коцюбинский. – Алчесвк: ДГМИ, 2002. – 150 с.
4. Catalog DA 22 - 2002. SIMOREG DC MASTER 6RM70 Digital Converter Cabinet Units.
5. Инструкция по эксплуатации SIMOREG DC MASTER серия 6RA70. Микропроцессорные преобразователи на мощность 6 кВт - 1900 кВт для проводов постоянного тока с регулируемой скоростью.
6. Технологическая инструкция по прокатке металла в толстолистовом стане 3000.
7. 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.
8. Башарин А.В. Примеры расчетов автоматизированного электропривода / А.В. Башарин, Ф.Н. Голубев, В.Г. Кепперман. – Л.: Энергия, 1971. – 440 с.
9. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму / В.Т.Пілецький. – К.: ІСДО, 1994. – 148 с.
10. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С.Н. Вешеневский. – Изд. 6-е, исправленное. – М.: «Энергия», 1977. – 432 с.: ил.
11. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Методика проектування електроприводів: підручник / А.Б. Зеленов. - Луганськ: вид-во «Ноулідж», 2010. – 670 с.

12. Акимов Л.В. Автоматизированный электропривод: элементы, теория системы управления. 3000 вопросов для самостоятельного обучения и контроля знаний: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Л.В. Акимов, П.А. Качанов, А.Н. Черенов. – Харьков: Видавництво «Підручник НТУ «ХП»», 2011. – 532 с.

13. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.

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

15. 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.

16. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей / Главное управление государственного энергетического надзора. – 4 –е изд., пераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 432 с.

17. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд. - перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат. 1984. - 448 с.






18. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1982. – 800 с.

Додаток А

Технічні данні перетворювача SIMOREG DC Master 6RM7087-6FS02

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	DC field current A	Order No.	Weight ca. kg
SIMOREG cabinet units for single-/two-quadrant operation B6C								
 3-ph. 400	25	485	30	14.5	325	5	6RM7018-6DS02	120
	50		60	29		10	6RM7025-6DS02	125
	75		90	44		10	6RM7028-6DS02	185
	104		125	61		10	6RM7031-6DS02	200
	175		210	102		15	6RM7075-6DS02	205
	233		280	136		15	6RM7078-6DS02	220
	332		400	194		25	6RM7081-6DS02	270
	498		600	291		25	6RM7085-6DS02	290
	705		850	412		30	6RM7087-6DS02	455
	995		1200	582		30	6RM7091-6DS02	495
	1326		1600	776		40	6RM7093-4DS02	620
1658	2000	970	40	6RM7095-4DS02	685			
 3-ph. 460	25	550	30	16.5	373	5	6RM7018-6FS02	120
	50		60	33		10	6RM7025-6FS02	125
	75		90	49.5		10	6RM7028-6FS02	185
	104		125	68.7		10	6RM7031-6FS02	200
	175		210	115		15	6RM7075-6FS02	205
	233		280	154		15	6RM7078-6FS02	220
	375		450	247		25	6RM7082-6FS02	270
	498		600	330		25	6RM7085-6FS02	290
	705		850	467		30	6RM7087-6FS02	455
	995		1200	660		30	6RM7091-6FS02	495
	 3-ph. 500¹⁾		50	600		60	36	
104		125	75		10	6RM7031-6GS02	275	
175		210	126		15	6RM7075-6GS02	305	
332		400	240		25	6RM7081-6GS02	415	
498		600	360		25	6RM7085-6GS02	480	
663		800	480		30	6RM7087-6GS02	650	
829		1000	600		30	6RM7090-6GS02	725	
1326		1600	960		40	6RM7093-4GS02	860	
1658		2000	1200		40	6RM7095-4GS02	870	
 3-ph. 690		597	830		720	598		
	788	950		789	30	6RM7088-6KS02		725
	1244	1500		1245	40	6RM7093-4KS02		855
	1658	2000		1660	40	6RM7095-4KS02		870
 3-ph. 830	746	1000	900	900		30	6RM7088-6LS02	760
	1244		1500	1500		40	6RM7093-4LS02	875
	1575		1900	1900		40	6RM7095-4LS02	900

1) Optionally, max. 3-ph. 575 V and therefore 690 V DC for B6C and 600 V DC for (B6)A (B6)C possible.

2) With cable lugs acc. to DIN 57 205; greater cable sections optionally possible on request.

3) Max. permissible backup fuse provided by customer or –for data in kA– max. permissible short-circuit current at the incoming circuit-breaker of the cabinet unit. Maximum permissible short-circuit current 50 kA with a 3-ph. 400 V mains voltage and motor fan outputs greater than 12.5 A.

4) For option V47 (supply voltage 575 V) max. permissible short-circuit current 50 kA.